



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

Laboratoire de Recherche de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour obtenir le Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Instrumentation Biomédicale

Présenté par :

✚ SAIDI Mohammed Amir

✚ TALEB BENDIAB Mohammed El Amin

**REALISATION PRATIQUE D'UN THERMOMETRE
ELECTRONIQUE**

Soutenu le 26 Mai 2015 devant le Jury

M.	HAMZA CHERIF Lotfi	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Président
M	DEBBAL Sidi Mohamed	<i>Prof</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
M.	TAOULI Sidi Mohamed	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Examinateur

Année universitaire 2014-2015

Remerciements

*Ce travail de recherche a été entrepris au Laboratoire du Génie Biomédicale de la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr BELKAID sous la direction de Monsieur **DEBBAL Sidi Mohamed**, que nous remercions d'avoir pris en charge la direction de notre mémoire de fin d'étude. Malgré son emploi du temps chargé, nous a fait profiter de ses conseils et ses suggestions pertinentes. Grâce à sa rigueur scientifique, il a su nous aider au travers de nos interrogatoires. Il a été toujours disponible et à l'écoute de nos raisonnements. Pour tous les moments qu'il nous a consacrés, qu'il retrouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.*

*Nous sommes très honorés que Monsieur **HAMZA CHERIF Lotfi** Maître de conférences (B) à la faculté de Technologie ait accepté de présider le jury de ce travail de mémoire de PFE. Il a toujours montré un intérêt pour l'électronique numérique. Nous voudrions bien le remercier.*

*Je suis très heureux de la présence dans mon jury Monsieur **TAOULI Sidi Mohamed**, maître de conférences (B) à la même faculté en tant qu'examinateur. Il s'est montré toujours disponible pour les discussions scientifiques. C'est également un grand plaisir pour nous d'avoir en sa personne un représentant de la chaleureuse et dynamique équipe l'électronique Biomédicale.*

*Nous voudrions bien remercier le professeur **BEREKSI REGUIG Fethi**, qui a assuré notre formation du 1^o et 2^o cycle. Ses savoir-faire qui touchent à plusieurs domaines, ses bienveillances sont d'un apport considérable dans la rigueur scientifique.*

*Sans jamais oublier le **Dr. Salim KERAI** qui nous a vivement encouragés à poursuivre nos études. Il a été pendant toute la période de l'année universitaire disponible chaque fois que nous sollicitons son aide et ses conseils.*

La collaboration de l'ensemble des enseignants ayant assuré notre formation qu'ils soient vivement remerciés. C'est eux qui nous ont guidé nos premiers pas vers ce monde merveilleux de l'électronique.

Nous tenons aussi à remercier certains collègues et nos amis de l'université de Tlemcen avec lesquels, nous avons appris énormément de choses et dans divers domaines.

DÉDICACES

Je commence mes dédicaces les plus personnels à mes parents. Pour mon père et ma mère, la richesse d'une présence, mais aussi ses patiences, ses participations actives durant les périodes d'absences ont contribué énormément à la réalisation de ce travail. Un grand merci pour eux.

Ensuite, je ne saurais oublier ma grande famille, mes oncles de Chlef et de Tlemcen, ses femmes, leurs enfants, mes grand parents maternels pour leur soutien moral. Mes tantes paternelles et maternelles pour leurs soutiens inconditionnels.

Enfin, à ceux qui me sont très chers mon grand père et ma grand mère paternel et que je n'ai pas assisté à leurs enterrement, je leur dédie ce travail de fin d'étude à leurs mémoire.

*Je dédie aussi ce travail à une reconnaissance qui m'est très chère au **Dr. Boukli Fouad** et le **Dr. Abdelbaki Cherifa**, Enseignants à la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bakr BELKAID de Tlemcen avec qui j'ai passé de bons moments de joie et de détente. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma très grande reconnaissance et de mon amitié, pour l'agréable moment que j'ai passé avec eux, pour leur disponibilité et leur sympathie dans les moments difficiles. Leur présence a compensé en partie l'éloignement de ma famille et de ma ville. Je ne saurais les oublier tant !*

*Je ne remercie jamais assez pour sa collaboration à un moment ou un autre, sa bonne humeur et sa sympathie, **Mustapha Hammouche**. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.*

*À tous, ceux que j'ai cités et à ceux qui ne sont pas cités comme **Anouar, Nounou, Naila, Hamza, Dalila, Youssouf**, et les autres et qui m'ont apporté à un moment ou un autre une aide à la conduite de ce travail : un grand Merci du fond de mon cœur.*

A TOUS, JE LEUR DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL.

DÉDICACES

Avec l'aide de dieu clément, on a pu réaliser ce modeste mémoire qui est le fruit d'un long et dure travail.

Je dédie ce travail avec grande joie et cœur ouvert à mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé avec leur présence et leurs participations actives durant mes études. Un grand merci pour eux.

Ensuite, à ceux qui me sont très chers mon grand père et ma grand mère paternelle je leur dédie ce travail de fin d'étude à leurs mémoire.

*Enfin, je ne saurais oublier ma grande famille, mon chère oncle **RED A** et sa femme, mes grand parents maternels pour leur soutien moral. Mes tantes paternelles et maternelles pour leurs soutiens inconditionnels.*

*Sans jamais oublier mes frères **SAADALLAH** et **ANES** et ma sœur **NIHEL** qu'ils ont été toujours disponible à chaque fois que je sollicite leurs aide et leurs conseils.*

*Je dédie aussi ce travail à mes très chers amis **HADRI MAHMOUDDIDI ALI, MEZIANE ASSIA, DIB ADIL, BRIXI AMINE, MAHI REDOUANE, ZINEB YADI, HIND YADI, SELMA YADI, FADIA BENOSMANE** a tout mes collègues de la piscine olympique avec qui j'ai passé de bons moments de joie et de détente. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma très grande reconnaissance et de mon amitié, pour l'agréable moment que j'ai passé avec eux, pour leur disponibilité et leur sympathie.*

*Je voudrai bien dédier ce travail à mes entraîneurs **REDA YADI, FETHI BEDIOWIS, YADI KAMEL** un grand Merci du fond de mon cœur.*

*Je ne remercie jamais assez pour sa collaboration à un moment ou un autre, sa bonne humeur et sa sympathie, **ZAZOUA KHAMES ANIS**. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.*

À tous, ceux que j'ai cités et à ceux qui ne sont pas cités comme Mourad, Anouar, Karim, et les autres et qui m'ont apporté à un moment ou un autre une aide à la conduite de ce travail : un grand Merci du fond de mon cœur.

A TOUS, JE LEUR DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL.

Table des Matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

PARTIE 1 : ETUDE THEORIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA THERMOMETRIE

I.1. Notion de température	2
I.1.1 Les différentes unités de température	2
I.1.2. Les échelles de température.....	2
I.2. Types de thermomètres.....	3
I.2.1 Les thermomètres à dilatation.....	4
I.2.1.1 Thermomètre à gaz	4
I.2.1.2 Thermomètre à dilatation de liquide	4
I.2.1.3 Thermomètre à dilatation de solide	5
I.2.2 Les thermomètres à changement d'état.....	5
I.2.2.1 Thermomètre à pression de vapeur.....	5
I.2.2.2 Thermomètre à repères.....	6
I.2.2.3 Thermomètre à changement de couleur.....	6
I.2.3 Les thermomètres optiques	6
I.2.3.1 Thermomètre à rayonnement total.....	6
I.2.3.2 Pyromètres monochromatiques.....	6
I.2.3.3 Pyromètres bi-chromatiques.....	6
I.2.4 Les thermomètres électriques	6
I.2.4.1 Thermomètre à résistance.....	6
I.2.4.2 Thermomètre à couple thermo-électrique.....	6
I.2.4.3 Thermomètre à semi conducteurs.....	7
I.2.4.3.1 relation tension température	8

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES CAPTEURS

II.1. Définition d'un Capteur.....	11
II.1.1. La chaine de mesure électronique	11
II.1.1.1 La chaine de mesure analogique	12
II.1.1.2 La chaine de mesure numérique.....	12
II.1.2 Type de grandeur physique.....	13
II.2. Classification des capteurs.....	13
II.2.1 Capteurs actifs	14
II.2.1.1 Effet d'induction électromagnétique.....	14
II.2.1.2 Effet piézoélectrique	14
II.2.1.3 Effet pyroélectricité.....	15
II.2.1.4 Effet thermoélectricité	15
II.2.1.5 Effet photoélectricité	15
II.2.1.4 Effet Hall.....	16
II.2.2 Capteurs passifs.....	16
II.2.2.1 Capteur résistifs.....	16
II.2.2.2 Capteur capacitifs.....	17
II.2.2. Capteur inductifs.....	18

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES METROLOGIQUES D'UN CAPTEUR

III.1 Etendue de mesure	19
III.1.1 Zone nominale d'emploi	19
III.1.2 Zone de non-détérioration	19
III.1.3 Zone de non-destruction	19
III.2 Résolution	20
III.3 Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur	20
III.4 Sensibilité.....	20
III.5 Finesse.....	20
III.6 Linéarité.....	21
III.7 Caractéristiques statiques d'un capteur.....	21

III.7.1 Fidélité.....	21
III.7.2 Justesse.....	22
III.7.3 Précision.....	22
III.8 Rapidité (temps de réponse).....	22
III.9 hystérésis	22

CHAPITRE IV : CAPTEURS DE TEMPERATURE

IV.1 Thermistances	23
IV.1.1 Caractéristiques des thermistances.....	23
IV.1.1.1 Résistance à coefficient de température négatif (CTN).....	23
IV.1.1.2 Résistance à coefficient de température positif (CTP)	24
IV.1.2 Caractéristiques courant tension d'une thermistance.....	24
IV.2 capteurs de température LM135, LM235, LM335, LM35	25
IV.2.1 Description LM135, LM235, LM335.....	25
IV.2.2 Symbole LM135, LM235, LM335.....	26
IV.2.3 Description LM35.....	26
IV.2.4 Brochage du capteur LM35.....	26

CHAPITRE V : NOTIONS D'ELECTRONIQUE

V.1 .Amplificateurs opérationnels.....	28
V.1.1 Définition	28
V.1.2 Caractéristiques d'un amplificateur opérationnel idéal.....	29
V.1.3 Caractéristiques d'un amplificateur opérationnel réel.....	29
V.1.3.1 Tension de sortie résiduelle et tension de décalage	29
V.1.3.2 Courant de décalage.....	30
V.1.3.3 Courant d'entrée de polarisation	30
V.1.3.4 Coefficient de température de la tension de décalage à l'entrée.....	30
V.2 Montages de base à amplificateur opérationnel.....	31
V.2.1 Les amplificateurs linéaire intégré en mode linéaire.....	31
V.2.1.1 Amplificateur inverseur.....	31
V.2.1.2 Amplificateur non inverseur.....	32

V.2.1.3 Montage suiveur	34
V.2.1.4 Montage soustracteur	34
V.2.1.5 Montage intégrateur	35
V.2.1.6 Montage dérivateur.....	36
V.2.2 Amplificateur intégré en mode non linéaire	37
V.2.2.1 Comparateur à simple seuil.....	37
V.2.2.2 Comparateur à deux seuils.....	39

CHAPITRE VI : AFFICHAGE D'UNE TENSION CONTINUE

VI.1 Affichage à l'aide d'un millivoltmètre	43
VI.1.1 Brochage et description du CA3162.....	44
VI.1.1.2 Description du CA3162.....	44
VI.1.2 Principe de fonctionnement du CA3162	46
VI.1.3 Etude sur le décodage et affichage.....	48
VI.1.3.1 Brochage du décodeur.....	48
VI.1.3.2 Description et brochage des afficheurs.....	48
VI.1.4 Principe de fonctionnement du système d'affichage.....	49
VI.2 Affichage à l'aide d'un Arduino	50
VI.2.1 Définition.....	50
VI.2.2 Description du matériel	51
VI.2.3 Le logiciel utilisé.....	53
VI.2.4 Convertisseur analogique numérique.....	54

PARTIE 2 : ETUDE PRATIQUE

Introduction.....	56
Schéma synoptique du thermomètre électronique.....	56
Schéma électrique du thermomètre électronique	57

CHAPITRE I : ETUDE ET COMPARAISON PRATIQUE DE PLUSIEURS CAPTEURS DE TEMPERATURE

I.1 Analyse expérimentale des différents capteurs de température.....	58
I.1.1 Diode 1N4011.....	58
I.1.2 PT100.....	60

I.1.3 Thermistance CTN.....	62
I.1.4 Capteur de température LM 335.....	64
I.1.5 Amplification et soustraction pour LM335.....	66
I.1.6 Capteur de température LM35.....	68
I.2 Application de la méthode des moindres carrée	70

CHAPITRE II : CHAINE DE MESURE DE THERMOMETRE

DIGITALE

II. 1 Source de tension 5V.....	74
II.2 Capteur utilisé.....	75
II.3 Arduino UNO.....	77
II.3.1 Instructions	78
II.3.2 programmation du microcontrôleur (Arduino Uno).....	78
II.3.3 Explication du programme.....	79

CHAPITRE III : AFFICHAGE DE LA TEMPERATURE

III.1 Description de l’afficheur LCD.....	80
III.1.1 Brochage de l’afficheur LCD	80
III.1.2 Fonctionnement de l’afficheur LCD	81
III.1.3 Les avantages et les inconvénients des écrans LCD.....	81
III.2 Comparateur à fenêtre	82
III.2.1 étage de comparaison.....	84
III.2.2 encodeur de priorité	84
III.2.3 Affichage avec LED.....	85
Conclusion.....	86
Nomenclature.....	87
Bibliographie.....	88
Annexe	

Table des Figures

PARTIE 1 : ETUDE THEORIQUE

CHAPITRE I

Figure (I.1) : Echelle de température	3
Figure (I.2) : Figure du thermomètre à gaz.....	4
Figure (I.3) : Figure du thermomètre à dilatation.....	4
Figure (I.4) : figure du bilame	5
Figure (I.5) : Figure du thermomètre à vapeur	5
Figure (I.6) : Diode	7
Figure (I.7) : transistor monté en diode	7
Figure (I.8) : transistor appairés monté en diodes.....	7
Figure(I.9) :comparaison de l'erreur de linéarité d'un transistor capteur de température de celle d'une résistance en platine et d'un thermomètre de type T.....	9
Figure(I.10) : Comparaison de linéarité de capteurs de température à transistors unique et à transistor appairés.....	10

CHAPITRE II

Figure (II.1) : Définition d'un capteur.....	11
Figure (II.2) : Constitution d'une chaîne de mesure classique.....	12
Figure (II.3) : Nature de l'information du capteur.....	13
Figure (II.4) : Effet d'induction électromagnétique.....	14
Figure (II.5) : Effet piézoélectrique	14
Figure (II.6) : Effet pyroélectricité.....	15
Figure (II.7) : Effet thermoélectricité.....	15
Figure (II.8) : Effet photoélectricité.....	15
Figure (II.9) : Effet Hall.....	16
Figure (II.10) : Capteurs à résistance(variation du liquide).....	16
Figure (II.11) : Capteurs à résistance (variation de pression).....	17
Figure (II.12) : Capteur capacitif.....	18

Figure (II.13) : Capteur inductif.....	18
--	----

CHAPITRE III

Figure (III.1) : L'étendue de mesure d'un capteur.....	19
Figure (III.2) : Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif.....	20
Figure (III.3) : Exemple de linéarisation de caractéristiques	21
Figure (III.4) : Caractéristiques statique d'un capteur	22
Figure (III.5) : courbe d'Erreur d'hystérésis.....	22

CHAPITRE IV

Figure (IV.1) : Caractéristique d'une CTN	23
Figure (IV.2) : Caractéristique d'une CTP	24
Figure (IV.3) : Caractéristique courant-tension d'une thermistance.....	25
Figure (IV.4) : Symbole de LM 335.....	26
Figure IV-5 : Brochage du LM 35.....	26

CHAPITRE V

Figure (V.1): Symbole d'un amplificateur opérationnel.....	28
Figure (V.2) : Tension de décalage	29
Figure (V.3) : Courant de décalage	30
Figure (V.4): Montage électrique d'un amplificateur inverseur	31
Figure (V.5) : Montage d'un amplificateur non inverseur.....	33
Figure (V.6) : Montage suiveur.....	34
Figure (V.7) : Montage soustracteur.....	34
Figure (V.8) : Montage intégrateur.....	35
Figure (V.9) : Montage dérivateur.....	36
Figure (V.10): comparateur non- inverseur.....	37
Figure (V.11) : Vs en fonction de Ve du comparateur non-inverseur.....	37
Figure (V.12) : comparateur inverseur.....	38
Figure (V.13) : Vs en fonction de Ve du comparateur inverseur.....	38

Figure (V.14): comparateur à 2 seuils non inverseur.....	39
Figure (V.15) : Vs en fonction de Ve du comparateur à 2 seuils non inverseur.....	40
Figure (V.16) : comparateur à 2 seuils inverseur.....	41
Figure (V.17) : Vs en fonction de Ve du comparateur à 2 seuils inverseur	41
Figure (V.18) : comparateur à fenêtre.....	42
Figure (V.19): Exemple avec une fonction comparateur à fenêtre.....	42

CHAPITRE VI

Figure (VI.1) : représente la tension de sortie de l'intégrateur (Charge du condensateur)...	46
Figure (VI.2) : représente la tension de sortie de l'intégrateur	47
Figure (VI.3) : Représente l'affichage en utilisant CA3161 et CA3162	50
Figure (VI.4) : représente un Arduino Uno.....	51
Figure (VI.5) : représente les composants d'un Arduino Uno.....	52
Figure (VI.6) : représente le logiciel de programmation.....	53
Figure (VI.7) : Convertisseur analogique digital.....	54

PARTIE 2 : ETUDE PRATIQUE

CHAPITRE I

Figure (I.1) : circuit de conditionnement de la diode 1N4001.....	58
Figure (I.2) : Représentation de la température en fonction de la tension pour la diode 1N4001.....	59
Figure (I.3): circuit de conditionnement de la sonde pt100.....	60
Figure (I.4) : Représentation de la température en fonction de la tension pour la résistance en platine PT100.....	61
Figure (I.5) : circuit de conditionnement de la thermistance C.T.N.....	62
Figure (I.6) : Représentation de la température en fonction de la tension pour thermistance NTC.....	63
Figure (I.7) : schéma synoptique du circuit de conditionnement du capteur LM335.....	64
Figure (I.8) : circuit de conditionnement de la thermistance C.T.N.....	64

Figure (I.9) : Représentation de la température en fonction de la tension pour le LM335.....	65
Figure (I.10) : circuit d'amplification et soustraction	66
Figure (I.11) :Représentation de la température en fonction de la tension pour le LM335 avec soustracteur.....	67
Figure (I.12) : circuit de conditionnement du capteur LM35.....	68
Figure (I.13) :Représentation de la température en fonction de a tension pour le LM35 ...	69
Figure (I.14) : Représentation de la température en fonction de la tension pour le LM335 après l'application de la méthode des moindre carrée.....	70
Figure (I.15) : Représentation de la température en fonction de la tension pour le LM35 après l'application de la méthode des moindre carrée.....	71

CHAPITRE II

Figure (II.1) : Schéma électrique du l'alimentation	74
Figure (II.2) : Régulateur de tension.....	75
Figure (II.3) : Capteur LM35.....	76
Figure (II.4) : Montage LM35 avec Arduino.....	77
Figure (II.5) : photo du thermomètre digital à base d'Arduino.....	77

CHAPITRE III

Figure (III.1): Afficheur LCD.....	80
Figure (III.2) : Présentation d'un afficheur LCD.....	81
Figure (III.3) : Photo du l'afficheur LCD monté sur Arduino.....	81
Figure (III.4) : Schéma synoptique du comparateur.....	82
Figure (III.5) : Schéma électrique du comparateur.....	83
Figure (III.6) : Photo du comparateur.....	83

INTRODUCTION GENERALE

Nous avons tous dit au moins une fois : «Qu'est ce qu'il fait chaud !». Cette sensation est liée principalement à la notion de température. Elle est présente dans de nombreux actes quotidiens.

Le thermomètre est un instrument qui sert à mesurer la température. Il est utilisé dans différents domaines (médical, alimentaire, industrie.....etc.). Le thermomètre médical évalue la température de notre corps.

Les premiers modèles de thermomètres avaient vu le jour grâce à certains hommes de science vers le 16ème siècle. Le modèle primitif était un instrument buccal. Il était encombrant et devait rester en contact avec le malade plus de 25 minutes. Vers la fin du 18ème siècle, les scientifiques perfectionnèrent les modèles et étendirent l'utilisation du thermomètre à la clinique médicale. Plusieurs savants ont participé à l'évolution du thermomètre (Santorio, Huygens, Fahrenheit.). Dès 1870, le thermomètre acquiert sa forme définitive (grâce à Sir Albert). Depuis plusieurs années, de nombreux modèles ont été conçus.

En revanche, une température repérée au moyen de l'échelle thermométrique n'est pas une grandeur mesurable car nous pouvons définir l'égalité de deux températures mais nous ne pouvons pas en faire la somme.

On devrait donc dire : évaluer, comparer, marquer, indiquer la température et non pas la mesurer au sens propre du terme.

La température constitue une information importante dans plusieurs processus industriels et de laboratoire. Elle intervient comme une grandeur principale dont la valeur doit être connue avec précision ou comme paramètre influant sur la qualité d'autres mesures.

Le travail de ce mémoire de fin d'étude consiste à étudier la conception et la réalisation d'un thermomètre électronique. Il est structuré en deux parties.

La première partie est consacrée d'une part à l'étude des différents thermomètres existants ainsi que les caractéristiques de chaque type de capteurs et d'autre part à la description des moyens d'affichage de la grandeur mesurée.

Dans la deuxième partie, nous nous sommes intéressés à étudier la linéarité de plusieurs capteurs de température afin de sélectionner le plus approprié pour la suite de notre chaîne de mesure. Les principes de chaque étage de la chaîne de mesure sont définis et décrits.

PARTIE 1

ETUDE THEORIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA THERMOMETRIE

I.1 Notion de température :

La notion de température est liée à la sensation du chaud et du froid due au sens du toucher.

Soit un corps, solide, liquide ou gazeux au repos. En fait le repos n'est qu'apparent car il se produit en tout point une agitation moléculaire ; les molécules sont précipitées les unes contre les autres à grande vitesse et il y a une transformation de l'énergie cinétique en énergie thermique. La température apparaît donc comme un paramètre susceptible de caractériser le niveau énergétique.

I.1.1 Les différentes unités de température :

La température est une grandeur intensive, qui peut être mesurée de deux façons différentes :

A l'échelle atomique, elle est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière.

Au niveau macroscopique, certaines propriétés des corps dépendant de la température (volume massique, résistivité électrique, etc....) peuvent être choisies pour construire des échelles de température.

I.1.2 Les échelles de température :

La plus ancienne est l'échelle centésimale (1742), attribuant arbitrairement les valeurs 0 et 100 degrés à la glace fondante et à l'eau bouillante, sous la pression atmosphérique normale. La température ainsi définie dépendant du phénomène choisi (la dilatation d'un fluide) pour constituer le thermomètre étalon, on utilise de préférence l'échelle Celsius, définie à partir de l'échelle Kelvin par :

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (1)(1.1)$$

Cette dernière échelle, qui est celle du système international, ne dépend d'aucun phénomène particulier définie donc des températures absolues. Le zéro absolu (-273,15 °C) a pu être approché à quelques millièmes de degrés près. Les phénomènes physiques qui se manifestent aux très basses températures connaissent d'importantes applications (supraconductivité). Dans le domaine des hautes températures, les torches à plasma permettent d'atteindre 50 000 K et les lasers de grande puissance utilisés pour les recherches

sur la fusion nucléaire contrôlée donnent, pendant des temps très brefs, des températures dépassant 100 millions de degrés.

- À l'échelle atomique, elle est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière ;
- Au niveau macroscopique, certaines propriétés des corps dépendant de la température (volume massique, résistivité électrique, etc.) peuvent être choisies pour construire des échelles de température.

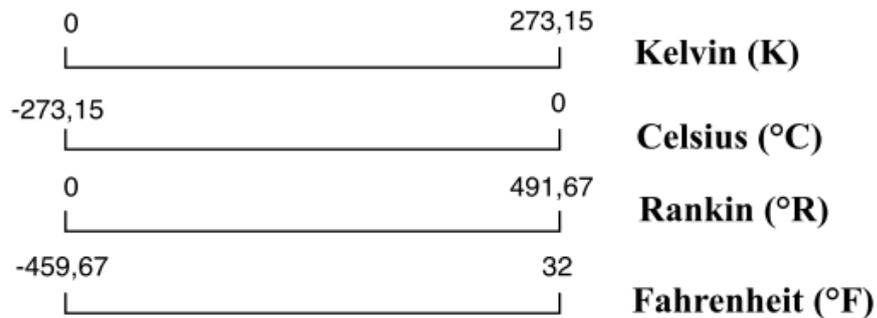


Figure I.1 Echelle de température

I.2 Types de thermomètres : [1]

La température intervient dans la plupart des phénomènes physiques et il est naturel qu'il existe un grand nombre de dispositifs susceptibles de fournir un repère de température. Nous distinguons quatre familles de thermomètres :

- A dilatation,
- A changement d'état,
- Optique,
- Electrique.

I.2.1 Thermomètres à dilatation :

I.2.1.1 Thermomètres à gaz :

Le détecteur est un récipient de gaz, la variation de température du détecteur entraîne une variation de pression que l'on mesure.

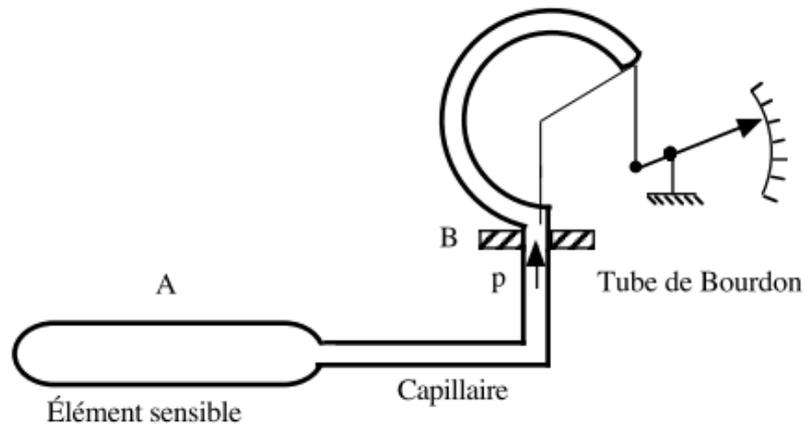


Figure I.2 Figure du thermomètre à gaz

I.2.1.2 Thermomètres à dilatation de liquide :

Le détecteur est un récipient rempli de liquide dont on repère la température

Soit :

- Par la hauteur du liquide dans un tube capillaire en verre comme dans les thermomètres à mercure ou à l'alcool.
- Par le déplacement d'une aiguille liée mécaniquement à un tube métallique contenant le liquide.

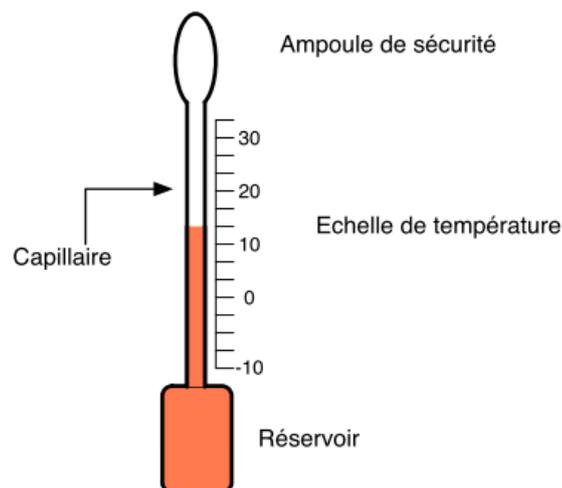


Figure I.3 Figure du thermomètre à dilatation

I.2.1 .3 Thermomètres à dilatation de solide :

Utilisent :

- Soit la variation de longueur d'une tige métallique.
- Soit la variation différentielle de longueur de deux lames minces accolées l'une à l'autre (bilames).

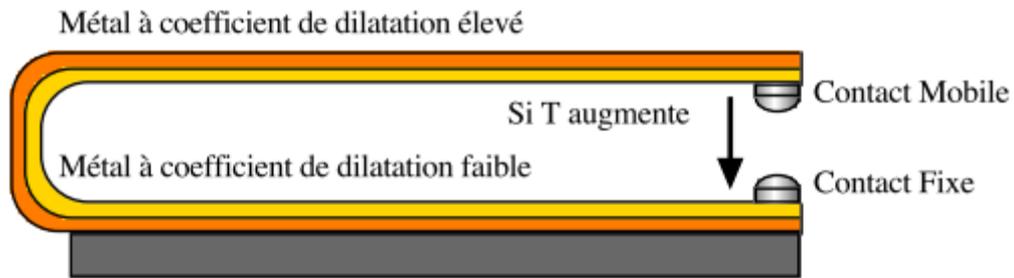


Figure I.4 figure du bilame

I.2.2 Thermomètres à changement d'état :

I.2.2.1 Thermomètres à pression de vapeur :

Lorsque l'on chauffe un liquide sous une pression donnée, un équilibre s'établit entre les phases liquides et gazeux à une température déterminée. La mesure de la pression de vapeur fournit un repère de la température.

Les fluides généralement employés sont l'alcool éthylique, l'eau, le chlorure d'éthyle ...etc.

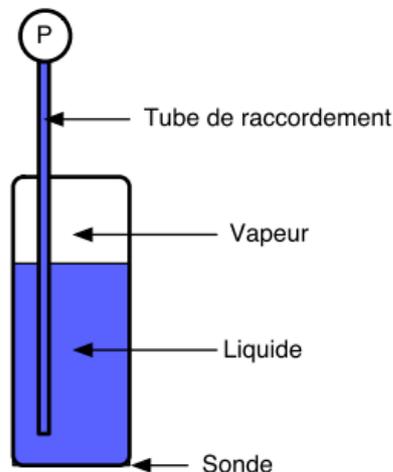


Figure I.5 Figure du thermomètre à vapeur

I.2.2.2 Thermomètres à repères :

Les thermomètres sont constitués par une matière dont l'aspect change à une certaine température. A l'aide de plusieurs thermomètres dont les transformations s'effectuent à différentes températures, on peut situer un point de température par rapport aux repères.

I.2.2.3 Thermomètres à changement de couleur :

Ce sont généralement des éléments solides dont la couleur change à une température connue.

I.2.3 Thermomètres optique :

On utilise la loi de rayonnement des corps en fonction de la température. La caractéristique importante de ces procédés est qu'il n'y a pas de contact direct du capteur avec le corps étudié.

I.2.3.1 Thermomètres à rayonnement total :

Le rayonnement issu du corps est reçue à l'intérieur de l'appareil par un détecteur de température (généralement plusieurs thermocouples montés en série).

I.2.3.2 Pyromètres monochromatiques :

On ne s'intéresse qu'à une bande étroite du spectre du rayonnement. Le compteur est alors un capteur optique sensible à cette bande de fréquence.

I.2.3.3 Pyromètres bi chromatiques :

On s'intéresse à deux bandes de fréquences dans le spectre et on détermine la température par comparaison des mesures effectuées dans chaque bande.

I.2.4 Thermomètres électriques :

Ces appareils sont constitués par un capteur susceptible de fournir une grandeur électrique dépendant de la température selon une loi connue.

I.2.4.1 Thermomètres à résistance :

On utilise la variation de résistance d'un conducteur électrique en fonction de la température. On distingue :

➤ Thermomètres à résistance métallique :

Ce sont les plus répandus. Les métaux utilisés sont le platine, le nickel, le cuivre. Le thermomètre à résistance de platine sert à définir l'échelle internationale pratique des températures du point triple de l'hydrogène en équilibre (-259,34 C°) au point de congélation de l'antimoine.

➤ Thermomètres à thermistances :

Le conducteur électrique est un semi-conducteur dont la résistance décroît d'une façon exponentielle en fonction de la température.

I.2.4.2 Thermomètres à couple thermoélectrique :

Le capteur est constitué par deux fils métalliques réunis à chacune de leur extrémité pour former un circuit fermé. Une différence de température entre les deux jonctions

provoque la circulation d'un courant dans le circuit. On sélectionne un certain nombre de couples en fonction de leur faculté de donner un plus fort courant sous une différence de température déterminée.

Le thermocouple constitué par du platine-rhodié 10% de rhodium et du platine sert à la détermination de l'échelle internationale pratique des températures du point de congélation de l'antimoine (630,74 C°) au point de congélation de l'or (1064,43 C°).

I.2.4.3 Thermomètre à semi-conducteurs :

Les composants utilisés, diodes ou transistors au silicium montés en diodes (base et collecteur reliés), sont alimentés dans le sens direct à courant I constant : la tension V à leurs bornes, qui est en fonction de la température et donc être la grandeur électrique de sortie du capteur de température qu'ils constituent (**Figure I.6 et I.7**).

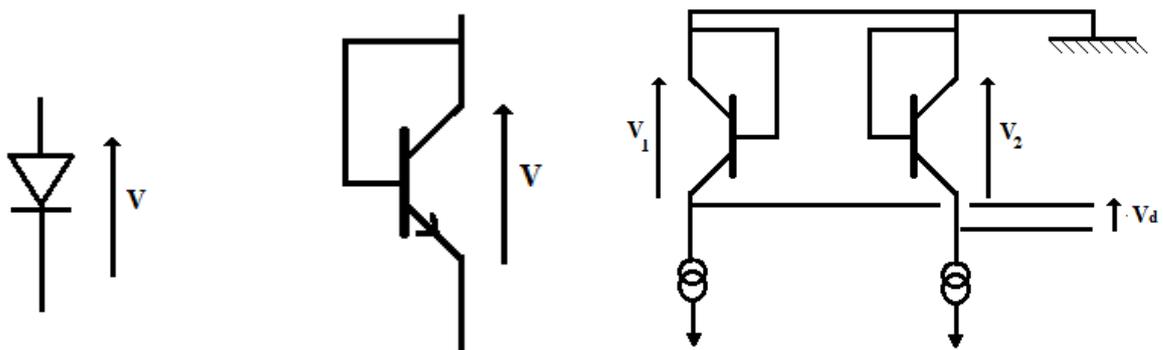


Figure I.6 Diode en diode **Figure I.7 transistor monté en diodes** **Figure I.8 transistor appairés**

La sensibilité thermique S d'une diode ou d'un transistor monté en diode est définie par : $S = \frac{dV}{dT}$; sa valeur est voisine de 2.5 mV/C° mais elle n'est pas strictement indépendante de la température. En outre la sensibilité comme la tension V dépend du courant inverse I_0 ; celui-ci pouvant varier de façon importante d'un composant à l'autre, l'interchangeabilité n'est assurée qu'en sélectionnant les composants ayant les caractéristiques recherchées identiques (même valeur de V pour un courant donné et même valeur de I_0).

Une amélioration notable de la linéarité et de l'interchangeabilité résulte de l'emploi de deux transistors appairés monté en diodes, parcourus par des courants I_1 et I_2 et dont on mesure la différence des tensions base-émetteur (**Figure I.8**). Ceci permet d'éliminer l'influence du courant I_0 .

La sensibilité thermique de l'ensemble a pour expression :

$$S = \frac{d(V_1 - V_2)}{dT} \quad (1.2)$$

Soit numériquement : $S=86.56 \times \text{Log} \left(\frac{I_1}{I} \right)$ en $\mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$.

Les valeurs de cette sensibilité thermique sont généralement supérieures à celles des thermocouples et il n'est pas nécessaire de disposer d'une température de référence ; elles sont cependant inférieures à celles de résistances thermocouples associées à leur conditionneur. L'évolution des propriétés électriques aux températures extrêmes limite le domaine d'utilisation entre -50°C et $+150^\circ\text{C}$. Dans cette plage les capteurs ont une stabilité excellente.

1.2.4.3.1 Relation tension-température :

➤ Diode ou transistor monté en diode :

Le courant I est lié à la tension V par la relation classique :

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{KT} \right) - 1 \right] \quad T \text{ en Kelvin (1.3)}$$

En polarisation direct ($I \gg I_0$) se ramène à :

$$I = I_0 \cdot \exp \left(\frac{qV}{KT} \right) \quad (1.4)$$

$$\text{Où :} \quad I_0 = C \cdot T^m \cdot \exp \left(\frac{-qV\phi}{KT} \right) \quad (1.5)$$

$V\phi$: Étant la hauteur de la bande interdite exprimée en volts, soit, pour le silicium : 1.12V.

m : est généralement voisin de 3.

C : est une constante indépendante de T mais dépendant de la géométrie de la jonction et des niveaux de piégeage.

D'après les relations précédentes on tire a tension V :

$$V = V_\phi + \left(\frac{KT}{q} \right) \cdot \text{Log} I - \left(\frac{KT}{q} \right) \cdot m \text{Log} T - \left(\frac{KT}{q} \right) \cdot \text{Log} C \quad (1.6)$$

La constante C et le courant I peuvent être éliminés de l'expression précédente si l'on connaît la tension V_1 , pour un même courant I , mais à une température T_1 :

$$V = V_1 \cdot \left(\frac{T}{T_1} \right) + V_\phi \left(1 - \frac{T}{T_1} \right) + m \cdot \left(\frac{KT}{q} \right) \cdot \text{Log} \left(\frac{T_1}{T} \right) \quad (1.7)$$

Cette expression qui n'est pas linéaire en température met en outre en évidence les termes qui déterminent l'interchangeabilité : la tension V pour $T=T_1$ et la valeur de m .

L'erreur de linéarité entre -20°C et $+150^{\circ}\text{C}$ d'un transistor MTS 102 (fabricant Motorola) et représenté par la **Figure I.9**

Elle est comparé aux erreurs de linéarité d'une résistance de platine et d'un thermocouple de type T : on y constate que la linéarité du transistor est aussi bonne que celle de la résistance de platine et très supérieure à celle du thermocouple.

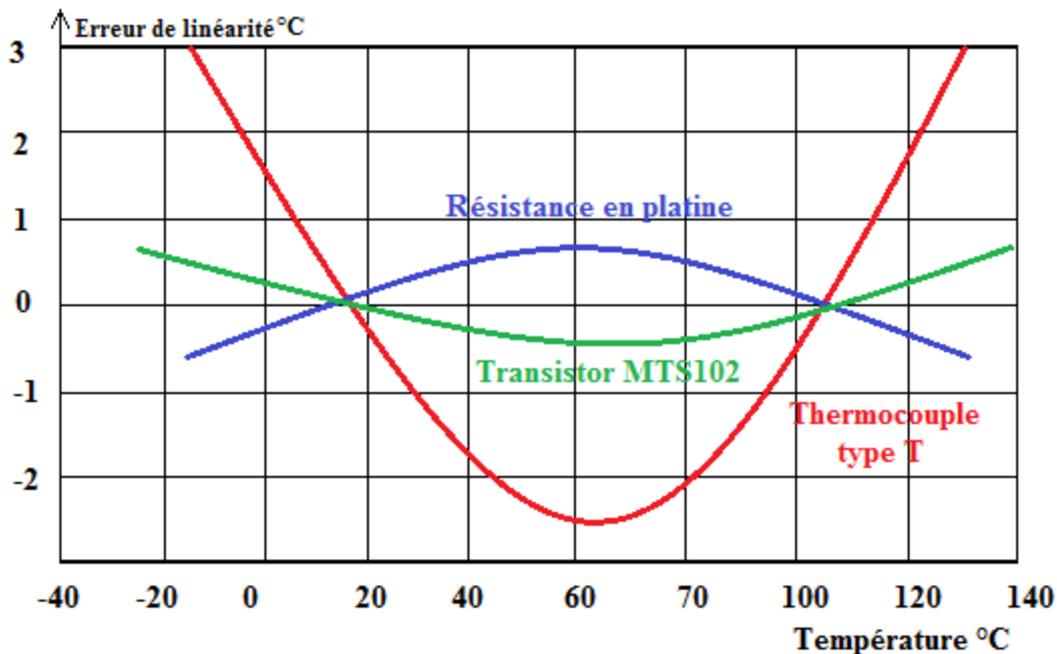


Figure I.9 comparaison de l'erreur de linéarité d'un transistor capteur de température de celle d'une résistance en platine et d'un thermomètre de type T

Des équations précédentes, on tire facilement une expression de la sensibilité thermique :

$$\frac{dV}{dT} = (V_1 - V_\phi) \frac{1}{T_1} - \frac{mK}{q} \left[1 + \log \frac{T}{T_1} \right] \quad (1.8)$$

Ou, en fonction de V :

$$\frac{dV}{dT} = -m \cdot \left(\frac{K}{q} \right) + (V - V_\phi) \cdot \left(\frac{1}{T} \right) \quad (1.9)$$

Pour les transistors de la série MTS, le constructeur (Motorola) indique une expression numérique linearisée de l'équation précédente valable lorsque $V=600\text{mV}$ à 25°C .

$$\frac{dV}{dT} = -2.25 + 0.0033(V - 600)\text{mV.K}^{-1} \quad (1.10)$$

➤ **Tension différentielle de transistors appairés :**

On utilise deux transistors Q_1 et Q_2 réalisés sur même substrat et qui ont donc même courant I_0 ; ils sont alimentés à courant constant I_1 et I_2 et leurs tensions base-émetteur sont V_1 et V_2 :

$$I_1 = I_0 \exp\left(\frac{qV_1}{KT}\right), \text{ soit } : V_1 = \left(\frac{KT}{q}\right) \cdot \text{Log}\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \quad (1.11)$$

$$I_2 = I_0 \exp\left(\frac{qV_2}{KT}\right), \text{ soit } : V_2 = \left(\frac{KT}{q}\right) \cdot \text{Log}\left(\frac{I_2}{I_0}\right) \quad (1.12)$$

La mesure de la tension différentielle $V_d = V_1 - V_2$ permet d'éliminer l'influence de I_0 :

$$V_d = \left(\frac{KT}{q}\right) \cdot \text{Log}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = \left(\frac{KT}{q}\right) \cdot \text{Log } n \quad (1.13)$$

Où n : est le rapport des courants constants Numériquement on a :

$$V_d = 86.56 \times T \text{ Log } n \quad V_d \text{ en Mv, T en K} \quad (1.14)$$

Soit, pour $n=2$: $V_d=59.73T$

La sensibilité thermique a pour expression :

$$S = \frac{dv_d}{dT} = \frac{K}{q} \cdot \text{Log } n \quad (1.15)$$

Soit numériquement : $S=86.56 \times \text{Log } n$ en mV.K^{-1}

La sensibilité thermique est réduite par rapport au montage à une seul diode ou transistor mais elle est en principe indépendante de T ; en fait la linéarité est très améliorée comme le montre la **figure I.10**

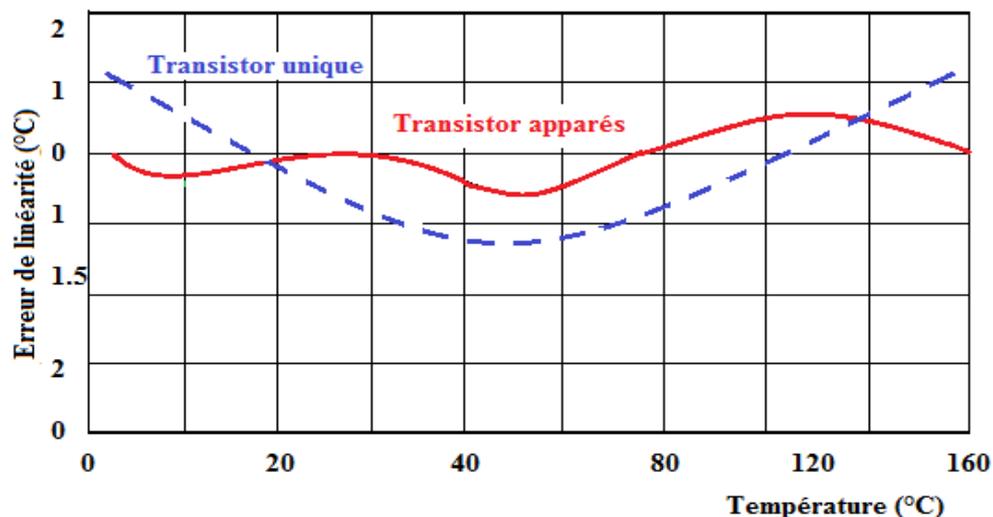


Figure I.10 : Comparaison de linéarité de capteurs de température à transistors unique et à transistor appairés

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES CAPTEURS

II.1 Définition d'un capteur:

Les capteurs jouent un rôle très important dans divers domaines (physique, électronique, mécanique, etc...). Ils permettent en effet la mesure de phénomènes de toute nature agissant sur notre environnement et ceci en transformant ces grandeurs physiques non électriques en grandeurs électriques exploitables.

Les capteurs sont définis comme étant des organes fournissant des signaux à partir d'une mesure d'une grandeur physique.

Vu que les grandeurs physiques intéressant l'industrie sont nombreuses, le nombre de capteurs leur correspondant devient important. De ce fait, il existe une multitude de détecteurs différents ayant chacun un rôle très précis à remplir.

Afin de permettre le choix du capteur correspondant à notre réalisation, on rappelle tout d'abord le principe de base qu'ils utilisent et leurs principales caractéristiques.

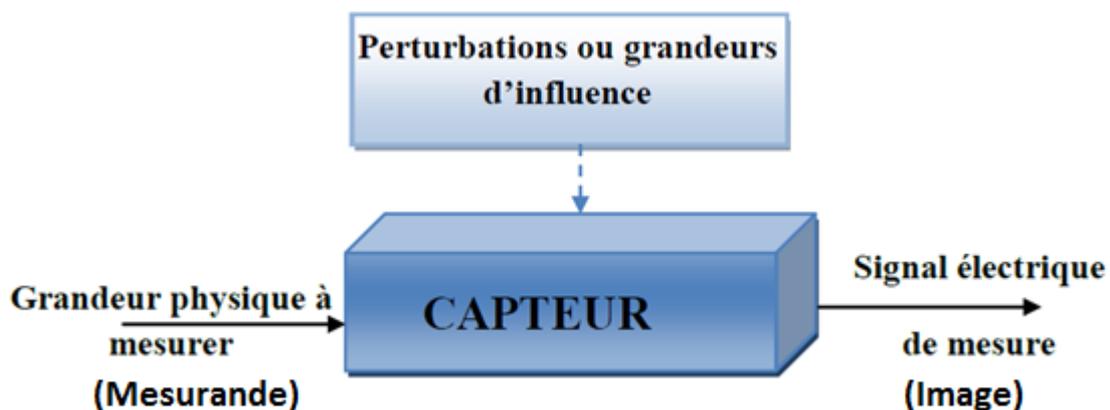


Figure II-1 Définition d'un capteur

II.1.1 La chaîne de mesure électronique : [2]

Pour obtenir une image d'une grandeur physique, on fait appel à un capteur qui peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents.

Par exemple, la mesure d'un débit peut se faire en plusieurs étapes :

- * transformation du débit en une pression différentielle.
- * transformation de la pression différentielle en la déformation mécanique d'une membrane.
- * transformation de la déformation mécanique en une grandeur électrique (à l'aide d'un piézo-électrique) via un circuit électronique associé.

Le capteur est ainsi le premier maillon (bloc) d'une chaîne de mesure, mesurant la mesure total d'une grandeur physique.

La chaîne de mesure est donc constituée de plusieurs blocs assurant divers étapes.

L'ensemble de ces étapes constitue la *chaîne de mesure*.

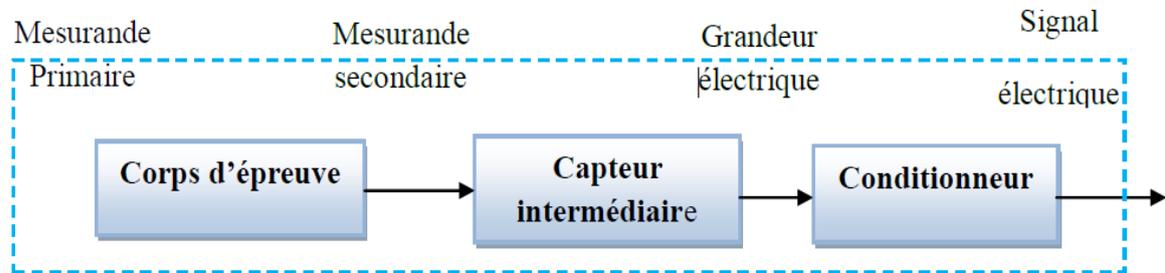


Figure II-2 : Constitution d'une chaîne de mesure classique

De manière classique la sortie d'une chaîne de mesure est du type électrique.

Si la chaîne de mesure fait intervenir plusieurs transducteurs, on appelle corps d'épreuve celui en contact direct avec le mesurande.

Par définition, un corps d'épreuve est un transducteur (partie d'un capteur) qui permet la transduction d'une grandeur physique non exploitable en grandeur physique exploitable.

Le dernier transducteur est associé à un conditionneur qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière exploitable. Le choix de ce conditionneur est une étape importante dans le cadre de la chaîne de mesure car, associé au capteur, il détermine la nature finale du signal électrique et va influencer les performances de la mesure.

II.1.1.1 La chaîne de mesure analogique :

C'est l'ensemble de circuits assurant les tâches d'amplification, de linéarisation, de filtrage, de compensation thermique ou de traitement de bruit. Ce type de chaîne utilise la grandeur analogique dans son fonctionnement.

II.1.1.2 La chaîne de mesure numérique :

C'est l'ensemble de circuits assurant les tâches de conversion analogique numérique, d'échantillonnage, de filtrage numériques, etc... Ce type de chaîne utilise la grandeur numérique dans son fonctionnement et peuvent faire appel à des Capteurs intelligents (Smart sensors). Ce sont des capteurs qui renferment dans un même boîtier : le

capteur, le conditionneur, le CAN et un microcontrôleur capable de communiquer avec d'autres dispositifs numériques (PC, automates, systèmes d'acquisition de données, ...).

II.1.2 Types de grandeur physique : [2]

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

- Mécanique : déplacement, force, masse, débit etc...
- Thermique : température, capacité thermique, flux thermique etc...
- Electrique : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc...
- Magnétique : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc...
- Radiatif : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc...

II.2 Classification des capteurs :

On classe les capteurs en deux grandes familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie.

Cette classification influe sur le conditionneur qui lui est associé (Figure II-3) :

- **Tout Ou Rien (TOR)** : Le signal logique ou Tout Ou Rien peut prendre deux valeurs (0 ou 1).
- **Signal analogique** : Un signal analogique varie de façon continue dans le temps. Il peut prendre une infinité de valeurs dans une plage donnée.
- **Signal numérique** : Un signal numérique est une suite d'informations logiques qui peuvent être transmises de deux manières différentes :
 - En série sur un bit.
 - En parallèle sur plusieurs bits.

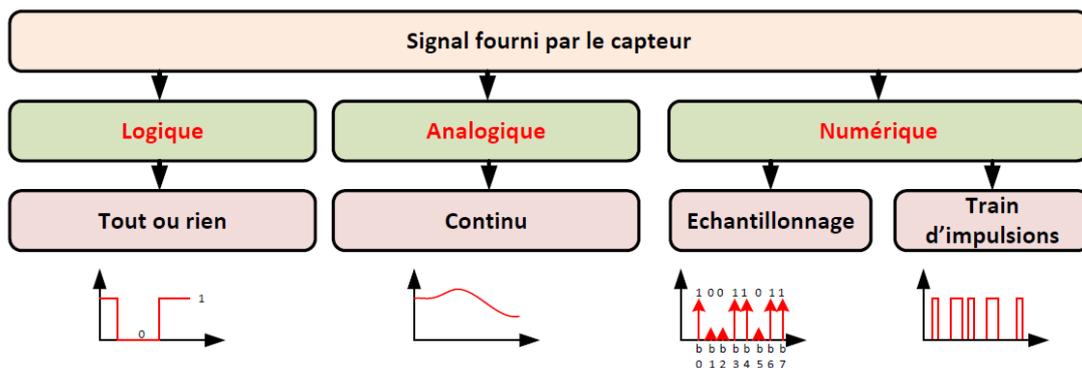


Figure II-3 : Nature de l'information du capteur.

II.2.1 Capteurs actifs : [2]

Le capteur actif travaille comme un générateur, il assure la conversion de toute forme d'énergie de grandeur d'entrée (thermique, mécanique, ...etc.) en énergie électrique.

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

II.2.1.1 Effet d'induction électromagnétique :

Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, une différence de potentiel apparaît entre ses extrémités, on dit alors qu'une tension est induite dans le conducteur (figure II-4) c'est la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique, ce principe de fonctionnement qu'utilise le tachygénérateur pour mesurer la vitesse angulaire d'un moteur peut être utilisé aussi pour mesurer la vitesse du vent ou d'un liquide, lorsque la rotation est effectuée par le vent ou le liquide.

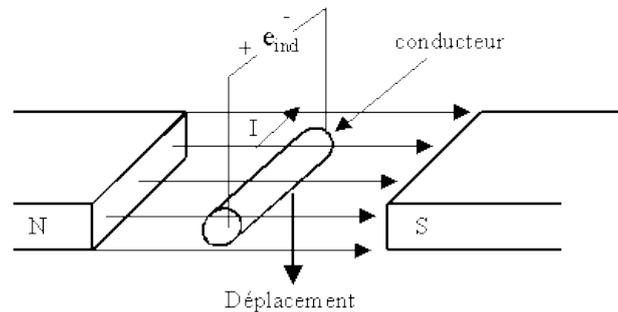


Figure II-4 : Effet d'induction électromagnétique

II.2.1.2 Effet piézoélectrique :

Soumis à des forces sur leurs surfaces, les matériaux piézoélectriques (quartz) entraînent l'apparition de charges électriques donc d'une DDP en fonction des forces appliquées.

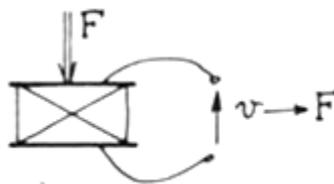


Figure II-5 : Effet piézoélectrique

II.2.1.3 Effet pyroélectricité :

Les cristaux pyroélectrique entraînent une modification de leur polarisation lorsque leur température est modifiée par une absorption d'un flux lumineux.

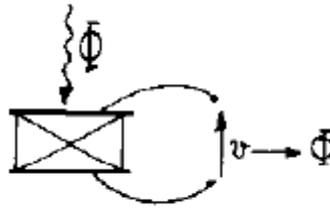


Figure II-6 :Effet pyroélectricité

II.2.1.4 Effet thermoélectricité :

C'est le principe de tout thermocouple. C'est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes T_1 et T_2 . Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température ($T_1 - T_2$).

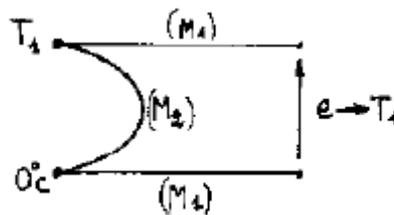


Figure II-7 :Effet thermoélectricité

II.2.1.5 Effet Photoélectricité :

Sous l'influence d'un rayonnement lumineux, le matériau libère des charges électriques et celles-ci en fonction du rayonnement.

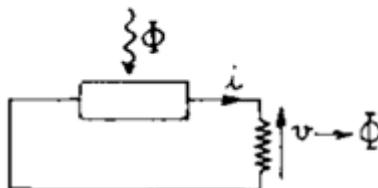


Figure II-8 :Effet photoélectricité.

II.2.1.6 Effet Hall :

Un semi-conducteur de type parallélépipède rectangle, placé dans une induction B et parcouru par un courant I , voit l'apparition, dans la direction perpendiculaire au courant et à l'induction, d'une différence de potentiel qui a pour expression :

$$U_H = K_H . I . B . \sin \theta$$

K_H est fonction du matériau, θ est l'angle entre I et B .

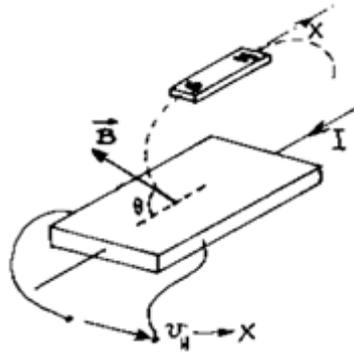


Figure II-9 : Effet Hall.

II.2.2 Capteurs passifs : [3]

Le capteur passif, consiste à obtenir à partir d'une variation de la grandeur d'entrée une variation paramétrique d'une résistance, d'une inductance ou d'une capacité.

Ces variations ne peuvent pas être mesurées sans la présence d'une source extérieure qu'on appelle souvent le conditionneur.

II.2.2.1 Capteurs à résistance:

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

Les figures II-10 et II-11 représentent une forme schématique des exemples sur les capteurs à résistance.

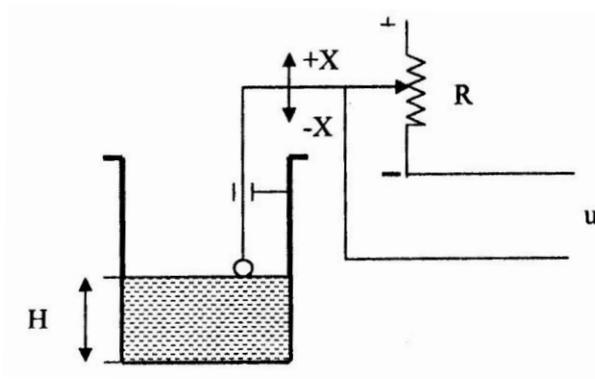


Figure II-10 : Capteurs à résistance (variation du liquide)

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

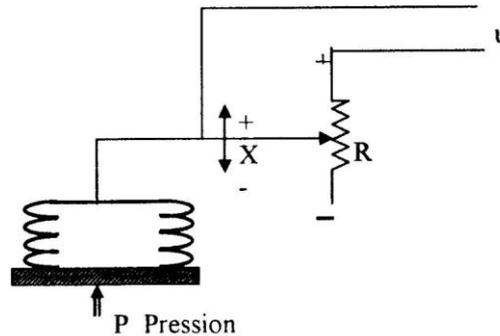


Figure II-11 :Capteurs à résistance (variation de pression)

La figure (II-11) représente la variation de la pression P qui entraîne la déformation du soufflet. Cette dernière met en déplacement le curseur du potentiomètre R (variation de la résistance).

II.2.2.2 Capteurs capacitifs :

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

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

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2}{d} \quad (2.1)$$

Avec : ϵ_0 : Permittivité absolue.

ϵ_2 : Permittivité du milieu.

S : Surface des plaques (section).

d : La distance entre les armatures.

La variation de distance entre les armatures : le condensateur est destiné à la traduction de déplacements rectilignes ; il est inséré dans un montage en pont. Pour $dl=0$, le pont est équilibré : $V_s=0$. Pour un déplacement dl de l'armature mobile, la tension de sortie V_s est proportionnelle à dl . (Figure II-12)

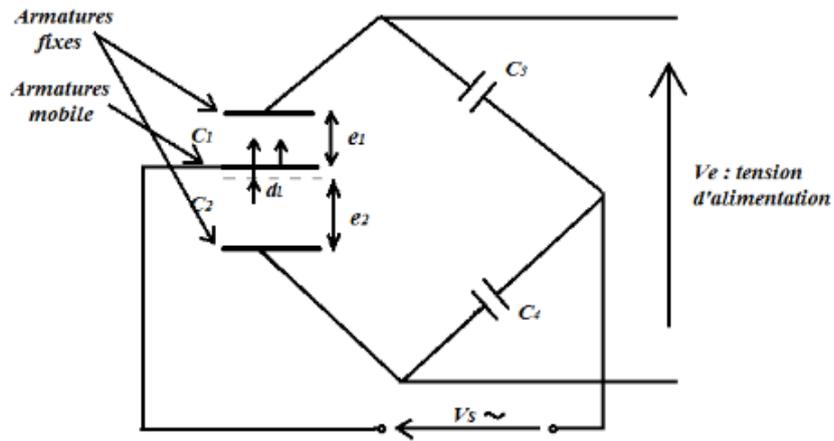


Figure II-12 :Capteur capacitif

II.2.2.3 Capteurs inductifs :

D'une manière analogue, le capteur inductif transforme la grandeur d'entrée en une variation de la résistance inductive figure (II-13).

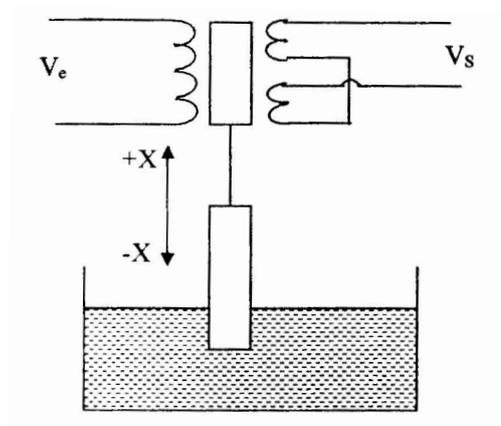


Figure II-13 :Capteur inductif

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES METROLOGIQUES D'UN CAPTEUR

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

III. Caractéristiques métrologiques d'un capteur:[2]

III.1 Etendue de la mesure :

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

III.1.1 Zone nominale d'emploi

Zone dans laquelle le mesurande peut évoluer sans modification des Caractéristiques du capteur.

III.1.2 Zone de non-détérioration

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

III.1.3 Zone de non-destruction

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

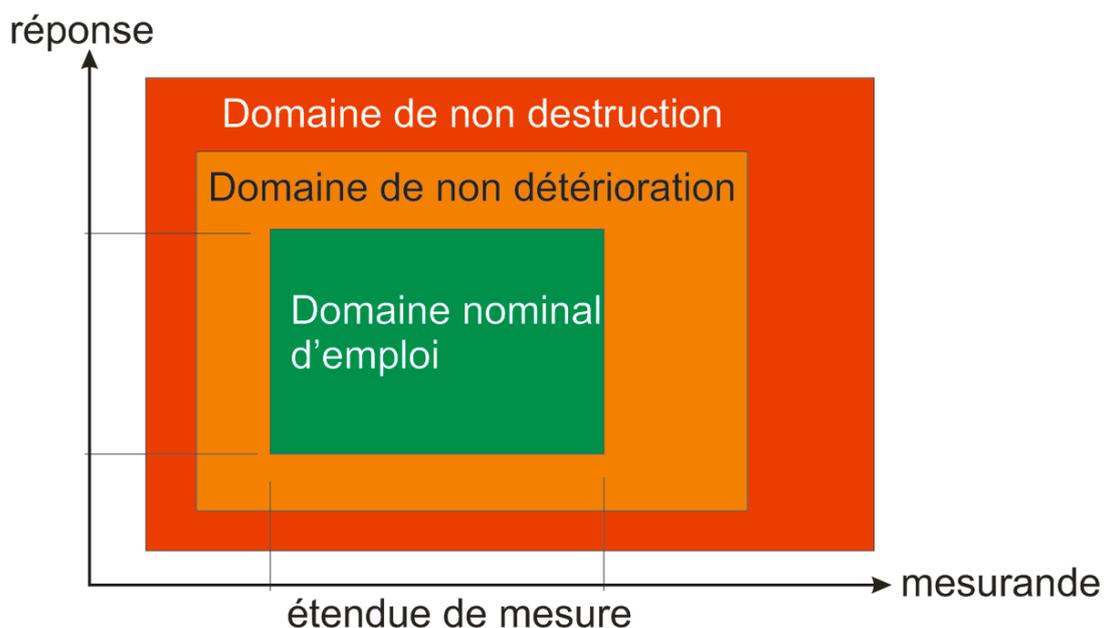


Figure III.1 : L'étendue de mesure d'un capteur

III.2 Résolution

Elle correspond à la plus petite variation du mesurande que le capteur est susceptible de détecter.

III.3 Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur

Elle donne la relation d'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée. Elle est donnée classiquement par une courbe en régime permanent. Elle ne donne pas d'informations sur les caractéristiques transitoires du capteur. Figure (III-2)

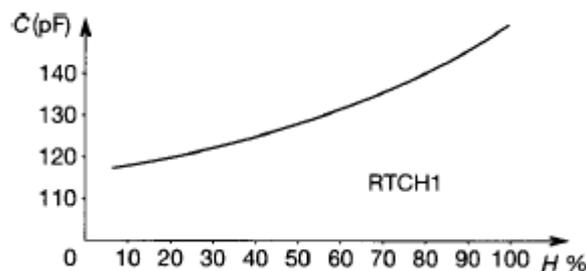


Figure III-2 : Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif

III.4 Sensibilité :

Elle détermine l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné. C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur.

Dans le cas d'un capteur linéaire, la sensibilité du capteur est constante.

$$\text{Sensibilité} = \frac{d(\text{Grandeur de sortie})}{d(\text{Mesurande})} \quad (3.1)$$

III.5 Finesse :

C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure. On la définit non seulement vis à vis du capteur mais aussi vis à vis de l'environnement d'utilisation du capteur.

Par exemple, dans le cas d'une mesure thermique, on cherchera un capteur à faible capacité calorifique vis à vis des grandeurs l'environnant.

Finesse et sensibilité sont en général antagonistes. Il peut y avoir un compromis à faire.

Pour un capteur d'induction B, un capteur à forte perméabilité sera très sensible, par contre sa présence aura tendance à perturber les lignes de champ et la mesure de l'induction ne sera pas celle sans capteur, d'où une mauvaise finesse. Mais cette erreur

peut être évaluée en vue d'une correction post-mesure et ainsi faire abstraction de la présence du capteur.

III.6 Linéarité

Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande.

Cette zone peut être définie à partir de la définition d'une droite obtenue comme approchant au mieux la caractéristique réelle du capteur, par exemple par la méthode des moindres carrés.

On définit à partir de cette droite l'écart de linéarité qui exprime en % l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite approchant la courbe.

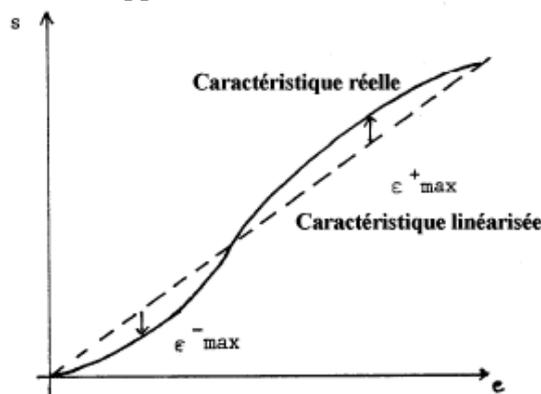


Figure III-3 : Exemple de linéarisation de caractéristiques

III.7 Caractéristiques statistiques d'un capteur

Ces paramètres permettent de prendre en compte la notion d'erreurs accidentelles qui peuvent survenir sur un capteur.

Rappel : soit n mesures effectuées sur un mesurande, on définit à partir de ces n mesures :

- la valeur moyenne : $\langle m \rangle = \frac{\sum_i m_i}{n}$ (3.2)

- l'écart type (dispersion des résultats autour de la valeur moyenne) :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (m_i - \langle m \rangle)^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

III.7.1 Fidélité :

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

III.7.2 Justesse :

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et

ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.

III.7.3 Précision :

Elle définit l'écart en % que l'on peut obtenir entre la valeur réelle et la valeur obtenue en sortie du capteur. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse.

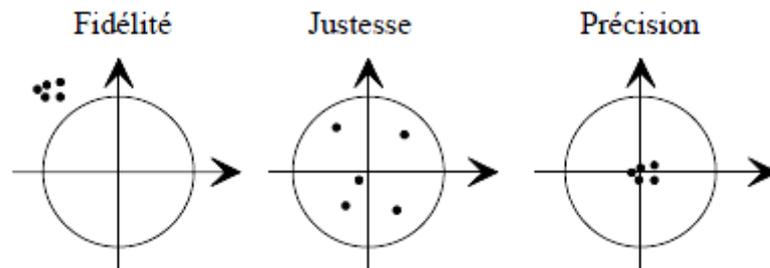


Figure III-4 : Caractéristiques statique d'un capteur

III.8 Rapidité :

C'est la qualité d'un capteur à suivre les variations du mesurande. On peut la chiffrer de plusieurs manières :

- bande passante du capteur. (à -3 dB par exemple).
- Fréquence de résonance du capteur.
- Temps de réponse (à $x\%$) à un échelon du mesurande.

III.9 L'hystérésis :

Lorsque les courbes de transfert du capteur pour une variation croissante et décroissante de la grandeur physique ne sont pas identiques, on parle d'une erreur due à l'hystérésis du capteur.

Cette erreur est exprimée en pourcentage par rapport à l'étendue de mesure.

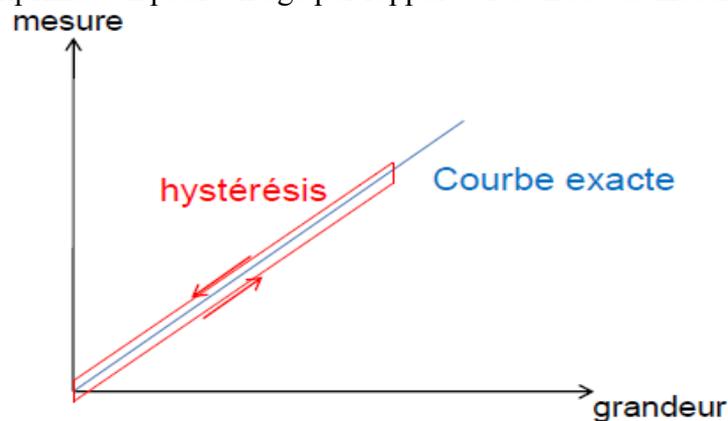


Figure III-5 : courbe d'Erreur d'hystérésis

CHAPITRE IV : CAPTEURS DE TEMPERATURE

IV.1 Thermistances :[3]

On appelle thermistances, les résistances sensibles aux variations de température. On utilise généralement deux sortes de thermistances les CTN (résistance à coefficient de température négatif) et les CTP(résistance à coefficient de température positif).

IV.1.1 Caractéristiques des thermistances :

IV.1.1.1 Résistance à coefficient de température négatif (CTN) :

Les CTN (Coefficient de Température Négatif) sont des thermistances dont la résistance diminue de façon uniforme quand la température augmente et vice-versa, ils obéissent à une loi exponentielle (figure IV-1) de la forme :

$$R = R_0 \exp\left[B \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T}\right)\right] \quad (4.1)$$

Avec : B : Coefficient caractéristique de la R_{CTN} .
 T_0 : la température ambiante (23°K-25°K).
 R_0 : la résistance à la température T_0 (souvent 25 °C).

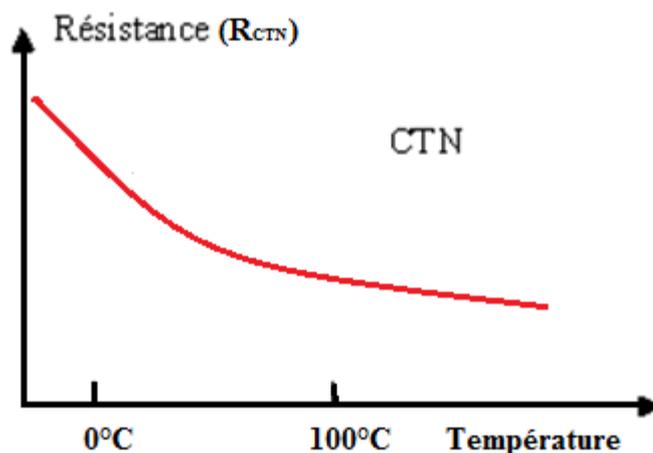


Figure IV-1 : Caractéristique d'une CTN .

Les CTN sont fabriquées à base d'oxydes de métaux de transition (manganèse, cobalt, cuivre et nickel). Ces oxydes sont semi-conducteurs.

Les CTN peuvent être utilisées dans une large plage de températures, de(-200 °C à + 1 000 °C), et elles sont disponibles en différentes versions : perles de verre, disques, barreaux, pastilles, rondelles, puces...etc.

Les CTN sont utilisées pour les mesures et le contrôle de la température, la limitation d'impulsions transitoires, la mesure de flux de liquides.

IV.1.1.2 Résistance à coefficient de température positif (CTP) :

Les CTP (Coefficient de Température Positif), sont des thermistances dont la résistance augmente avec la température. (Figure IV-2)

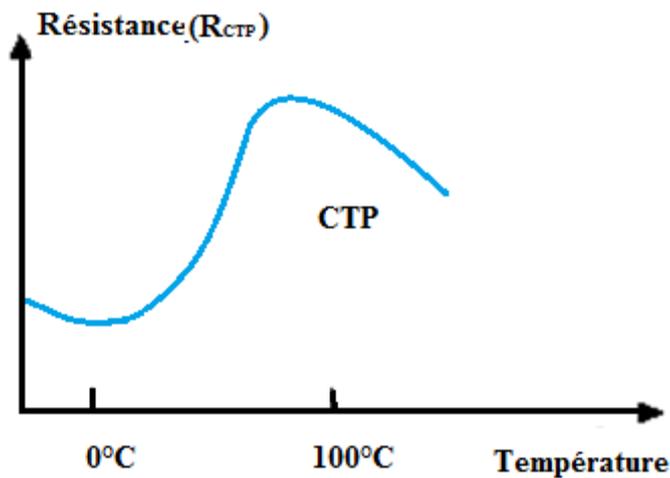


Figure IV-2 : Caractéristique d'une CTP.

Les CTP peuvent être utilisées :

- Comme détecteur de température, pour protéger des composants (moteurs, transformateurs) contre une élévation excessive de la température ;
- comme détecteur de niveau de liquide : la température de la CTP et donc sa résistance, sera différente lorsque le capteur est dans l'air ou plongé dans un liquide.

IV.1.2 Caractéristique courant-tension d'une thermistance :

La résistance d'une thermistance à (CTN) dépend de sa température, comme nous l'avons indiqué précédemment.

La caractéristique courant-tension présente, pour les courants faibles, une partie linéaire puis un plateau et enfin pour les courants plus intenses une zone à pente négative correspond à l'auto échauffement du composant.

A cause de l'intensité thermique (champ thermique), l'effet joule par exemple, le tracé de cette courbe représentative est donnée par la figure IV-3.

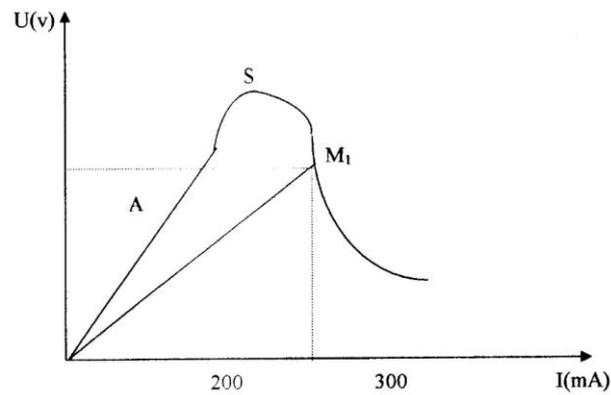


Figure IV-3 :Caractéristique courant-tension d'une thermistance

Dans la courbe de la figure IV-3, on constate que lorsque le point de fonctionnement est situé entre l'origine et le point A de la courbe, La R_{CTN} se comporte comme une résistance métallique obéissant à la loi d'ohm.

Lorsque ce point se situe au-delà de S, la thermistance s'échauffe, le nombre d'électrons croit, le courant croit et donc la résistance diminue. Le point S est dit point de basculement.

La thermistance peut au-delà de S être caractérisée par sa résistance statique R_S . En un point M_1 :

$$R_S = \frac{U}{I} \quad (4.2)$$

En plus au-delà de S on peut définir la résistance dynamique R_d la relation (IV-3).

$$R_d = \frac{dU}{dI} \quad (4.3)$$

Avec : $R_d \leq 0$.

IV.2 Capteurs de température LM135, LM235, LM335, LM35:[3]

IV.2.1 Description des (LM135, LM235, LM335) :

Les LM135, LM235, LM335 sont des capteurs de température de précision qui sont facilement étalonnés.

Ils fonctionnent comme deux diodes zener et la chute de tension est directement proportionnelle à la température absolue (10mV/K).

Le circuit a une impédance dynamique inférieure à 1Ω , ils fonctionnent dans une gamme de courant de 5mA sans modifier leurs caractéristiques.

Étalonnée $+25^\circ\text{C}$, ont une erreur typique moins de 1°C sur un intervalle de température de 100°C . Contrairement à d'autres capteurs, les LM135, LM235, LM335 ont une sortie linéaire.

IV.2.2 Symbole (LM135, LM235, LM335) :

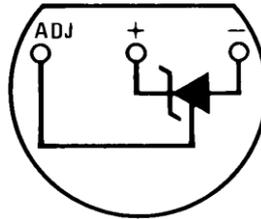


Figure IV-4 : Symbole de LM 335.

IV.2.3 Description du capteur (LM35) :

Le LM 35 est un circuit intégré calibré en usine pour être utilisé comme capteur de température de précision. Sa principale caractéristique tient en ceci que sa tension de sortie V_{out} est linéairement proportionnelle à la température exprimée en degrés Celsius. Plus exactement, la tension de sortie V_{out} augmente de 10 mV chaque fois que la température augmente de 1°C.

Parmi les points forts de ce capteur, mentionnons sa consommation très faible (de l'ordre de 60µA), d'où une puissance dissipée également très faible, et sa linéarité qui demeure excellente sur toute sa plage de sensibilité. Cette plage va de -40°C à +110°C pour les LM35C et de 0°C à 100°C pour les LM35D.

IV.2.4 Brochage du capteur (LM35) :

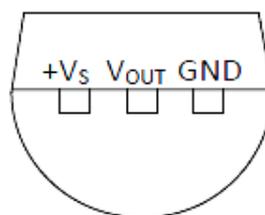


Figure IV-5 : Brochage du LM 35

Remarques :

- 1- La différence entre ces capteurs est toute simple :

Toutes ces capteurs donnent 10mV par degré, sauf que le LM35 est calibré en degrés Celsius et les capteurs LM135, LM235, LM335 sont calibrés en degrés Kelvin.

- 2- Les LM135, LM235, LM335 possèdent une possibilité de calibrage fin que n'a pas le LM35.

3- La différence entre Etalonnage et calibrage :

Etalonnage : table de différence entre la valeur mesurée et celle donnée par un étalon.

Calibration : modification des réglages du produit pour que la valeur mesurée entre dans une fourchette donnée.

CHAPITRE V : NOTIONS D'ELECTRONIQUE

V.1 Amplificateurs opérationnels :[4]

Les amplificateurs opérationnels ont été conçus initialement pour la résolution analogique de problèmes numériques tels que l'étude d'équations différentielles dont les solutions analytiques sont inconnues. Le développement des calculateurs numériques a rendu caduc l'usage de ces calculateurs analogiques.

Les amplificateurs opérationnels ont d'abord été réalisés avec des composants discrets.

L'électronique intégrée permet actuellement la fabrication d'amplificateurs dont les performances sont excellentes. Ils ne nécessitent que peu de composants périphériques et les problèmes délicats de polarisation des amplificateurs réalisés avec des composants discrets sont éliminés. Ils sont maintenant utilisés dans de nombreux domaines de l'électronique analogique.

V.1.1 Définition :

Un amplificateur opérationnel est un amplificateur d'une très grande stabilité qui sert à implémenter une assez grande variété d'opérations linéaires et non linéaires à travers simplement le changement de quelques éléments extérieurs de connexions.

Le symbole d'un amplificateur opérationnel à la forme suivante :

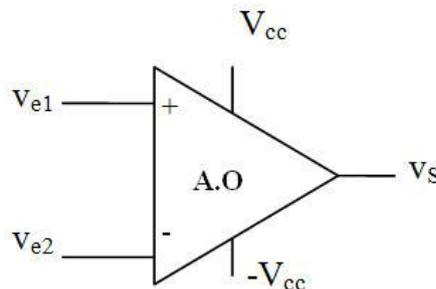


Figure V-1 :Symbole d'un amplificateur opérationnel

- V_{e1} et V_{e2} sont respectivement les entrées du terminal positives (entrée non inverseuse) et négatives (entrée inverseuse).
- V_s La sortie.
- La plupart des amplificateurs opérationnels nécessitent une alimentation de deux sources de tensions. Néanmoins, il existe des amplificateurs opérationnels qui nécessitent l'alimentation d'une seule source de tension.

V.1.2 Caractéristique d'un amplificateur opérationnel idéal :

- Un gain (G_d) infini (gain de l'amplificateur opérationnel en circuit ouvert).
- Une impédance d'entrée (Z_e) infinie.
- Une impédance de sortie (Z_s) nulle.

Il est à remarquer que si on considère G_d infini on a $V_d=0$ puisque $V_d = \frac{V_s}{G_d}$.

V.1.3 Caractéristique d'un amplificateur opérationnel réel :

En pratique, un amplificateur opérationnel possède une impédance d'entrée de l'ordre de $1M\Omega$, un gain de l'ordre de 10^5 , et une impédance de sortie de l'ordre de 100Ω .

La tension de différence d'entrée (V_d) est négligeable et peut être considérée comme étant nulle.

Lorsqu'une application donnée nécessite une grande précision, il devient nécessaire de prendre en considération durant le processus de conception, les caractéristiques suivantes :

V.1.3.1 Tension de sortie résiduelle (V_{sr}) et tension de décalage ($V_{d\acute{e}c}$) :

L'origine de ces deux tensions se situe au niveau de l'amplificateur différentiel d'entrée.

La dissymétrie des transistors entraîne, lorsque $V_1=V_2$, une tension appelée tension d'offset ou de décalage ($V_{d\acute{e}c}$) et par conséquent cette tension ($V_{d\acute{e}c}$) sera amplifiée à la sortie pour nous donner une tension appelée tension de sortie résiduelle ou tension parasite (V_{sr}) qui varie avec la température.

$V_{d\acute{e}c}$ est de l'ordre de $1mV$.

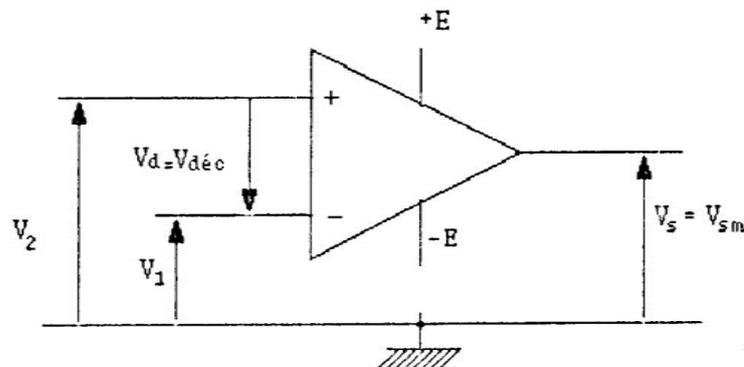


Figure V-2 : Tension de décalage

Pour annuler la tension de décalage ($V_{\text{déc}}$), les fabricants prévoient un dispositif compensateur (potentiomètre) dont le but est d'appliquer à l'entrée une tension $-V_{\text{déc}}$.

V.1.3.2 Courant de décalage ($I_{\text{déc}}$) :

Le courant de décalage est encore une conséquence de la dissymétrie de l'amplificateur différentiel d'entrée.

C'est la différence des courants d'entrées des terminaux positifs et négatifs lorsque la tension de sortie est rendue nulle (de l'ordre de 100 nA).

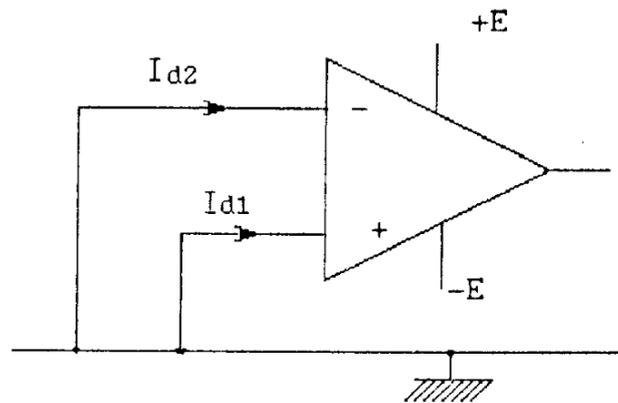


Figure V-3 : Courant de décalage

V.1.3.3 Courant d'entrée de polarisation :

C'est la moyenne des deux courants d'entrées nécessaire à la polarisation des transistors du circuit intégré.

V.1.3.4 Coefficient de température de la tension de décalage à l'entrée :

La tension de décalage à l'entrée varie avec la température (elle augmente avec la température par un facteur de $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$).

V.2 Montages de base à amplificateur opérationnel: [4]

V.2.1 Les amplificateur linéaire intégré en mode linéaire :

V.2.1.1 Amplificateur inverseur :

C'est le montage de base à amplificateur opérationnel. L'entrée non inverseuse est reliée à la masse et le signal d'entrée est relié à l'entrée inverseuse par une résistance R_1 . La sortie est reliée à cette entrée par une résistance R_2 .

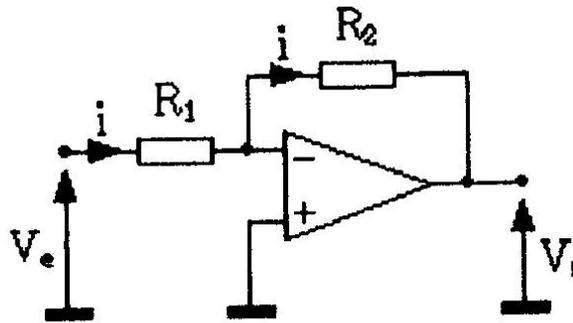


Figure V-4 :Montage électrique d'un amplificateur inverseur

La mise en équation est très simple, et s'appuie sur les conditions vues lors de la définition de l'AOP :

Les impédances d'entrée étant infinies, il n'y a pas de courant qui rentre dans l'entrée inverseuse (V_-) ; par conséquent, tout le courant i arrivant dans R_1 ira par R_2 vers la sortie de l'AOP.

Le gain A_{vd} est infini ; dans ces conditions, $(V_+ - V_-)$ va tendre vers 0.

De cette dernière constatation, on peut tirer une équation simplifiée, mais fondamentale, et toujours vraie en fonctionnement linéaire :

$$V_+ = V_- \quad (5.1)$$

Comme V_+ est à la masse, V_- se retrouve au même potentiel. Comme ce point n'est pas relié physiquement à la masse, on parle de masse virtuelle. Pratiquement, et du point de vue calcul, tout se passe comme si V_- était vraiment relié à la masse.

Ces constatations étant faites, le calcul du gain en tension est :

$$V_e = R_1 i \quad (5.2)$$

$$V_s = -R_2 i \quad (5.3)$$

$$A_v \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (5.4)$$

La tension et le courant sont dans le même sens, d'où le signe (-).

Le gain en tension est donc négatif, et sa valeur ne dépend que des deux résistances R_1 et R_2 qui peuvent être très précises. Contrairement aux montages à transistors, le résultat va être fiable et répétable.

Le calcul de l'impédance d'entrée est aussi simple :

$$Z_e = -\frac{V_e}{i_e} \quad (5.5)$$

$$Z_e = R_1 \quad (5.6)$$

On voit ici les limites de ce montage amplificateur. Pour obtenir un fort gain en tension, il faut augmenter R_2 et diminuer R_1 ; or on va de ce fait diminuer l'impédance d'entrée. Comme celle-ci devra rester suffisamment grande et que d'autres part, on ne peut pas augmenter R_2 au-delà de quelques $M\Omega$ (problèmes de bruit, les imperfections des amplis réels deviennent sensibles...), le gain sera limité et ne pourra pas trop dépasser quelques centaines, ce qui est déjà très bon.

L'impédance de sortie sera nulle, comme celle de l'AOP, et comme celle de tous les autres montages basés sur un AOP :

$$Z_s = 0 \quad (5.7)$$

V.2.1.2 Amplificateur non inverseur :

L'amplificateur non inverseur est le deuxième amplificateur de base. Pour calculer le gain en tension, on va servir de l'équation (5.1) et on déduire :

$$V_+ = V_- \quad (5.8)$$

R_2 et R_1 forment un pont diviseur entre V_s et V_- soit :

$$V_e = V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (5.9)$$

On en tire :

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (5.10)$$

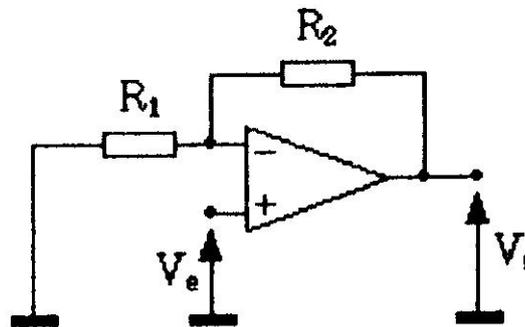


Figure V-5 :Montage d'un amplificateur non inverseur

Le gain est non seulement positif (ampli non inverseur), mais il est aussi toujours supérieur à 1, alors que l'ampli non inverseur autorisait un gain (en valeur absolue) inférieur à 1, soit une atténuation. Notons que pour un ampli, cette caractéristique n'est pas trop gênante...

Pour ce qui est de l'impédance d'entrée, on attaque directement l'entrée de l'ampli. Elle sera donc infinie dans le cas d'un AOP, et très grande dans tous les cas. De plus, elle ne dépend pas du gain choisi, ce qui laisse plus de latitude dans le choix de R_1 et R_2 pour régler le gain que dans le cas du montage inverseur. L'impédance de sortie est nulle :

$$Z_e = \infty \quad (5.11)$$

$$Z_s = 0 \quad (5.12)$$

On a donc ici un ampli qui présente des caractéristiques idéales.

On notera la simplicité de mise en œuvre du montage, comparé à un étage à transistor ; impédances idéales, gain ajustable de façon précise (réglable par un simple potentiomètre), transmission de signaux continus. Tout ceci avec un seul amplificateur opérationnel (généralement en boîtier 8 broches) et deux résistances.

Tout comme pour l'amplificateur inverseur, une généralisation de ce montage est faisable avec n'importe quels dipôles d'impédances Z_1 et Z_2 remplaçant respectivement les résistances R_1 et R_2 . L'expression du gain devient :

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1} \quad (5.13)$$

V.2.1.3 Montage suiveur :

Ce montage est une extrapolation de l'ampli précédent, avec $R_1 = \infty$ et $R_2 = 0$. On obtient un montage tout simple, de gain unité, dont la seule fonction est l'adaptation d'impédance. On le placera donc en tampon entre deux portions de circuit de façon à isoler l'une de l'autre pour prévenir toute interaction parasite.

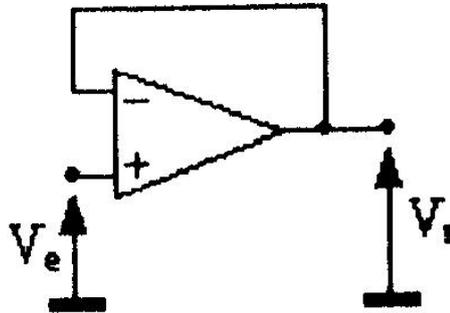


Figure V-6 :Montage suiveur

Ce circuit est aussi idéal en entrée et en sortie d'un montage pour bénéficier d'impédance d'entrée infinie (ou presque) et d'impédance de sortie très basse.

V.2.1.4 Montage soustracteur :

C'est un amplificateur différentiel intégré (A.D.I.) ; il amplifie la différence entre la tension V_1 appliquée à l'entrée inverseuse et la tension V_2 appliquée à l'entrée non inverseuse.

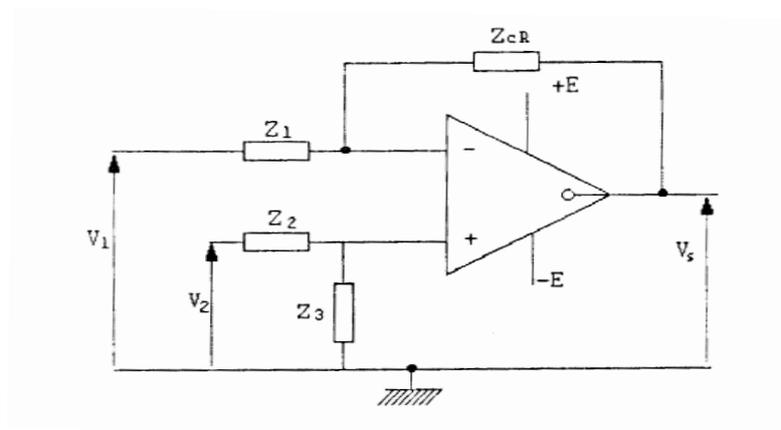


Figure V-7 :Montage soustracteur

$$V_s = \frac{Z_3}{Z_2} \cdot V_2 - \frac{Z_{CR}}{Z_1} \cdot V_1 \quad (5.14)$$

Pour : $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_{CR}(5.15)$

On a : $V_s = V_2 - V_1(5.16)$

V.2.1.5 Montage intégrateur :

Nous attaquons ici les montages opérationnels plus sophistiqués que de simples additions ou soustractions.

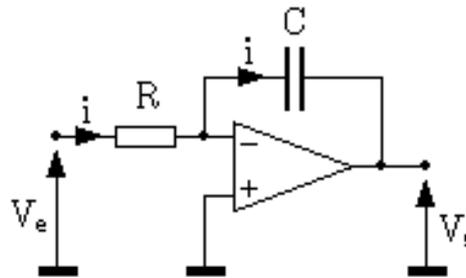


Figure V-8 :Montage intégrateur

Le calcul de la réponse V_s à un signal d'entrée V_e se traite comme dans le cas de l'amplificateur inverseur. On a :

$$V_e = R \times i(5.17)$$

En sortie, le condensateur a aux bornes de ses armatures une charge électrique q égale à :

$$q = C \times V_s(5.18)$$

Cette charge électrique est l'intégrale du courant i qui traverse le condensateur ; compte tenu du sens de i , on a :

$$q = \int -i \times dt(5.19)$$

Si on remplace dans (5.18) i et q par leur valeur en fonction de V_e et de V_s [équations (5.16) et (5.17)], on obtient :

$$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt(5.20)$$

On retrouve en sortie l'intégrale du signal d'entrée. Ce montage est délicat à utiliser et devra faire l'objet de précautions : en effet, la moindre tension continue présente à l'entrée (y compris et surtout une tension parasite) sera intégrée et générera une rampe en sortie. Il

faudra donc prévoir des dispositifs annexes, soit un système de stabilisation, soit un système de remise à zéro de la sortie.

V.2.1.6 Montage dérivateur :

Ce montage est similaire au précédent et se traite de la même manière.

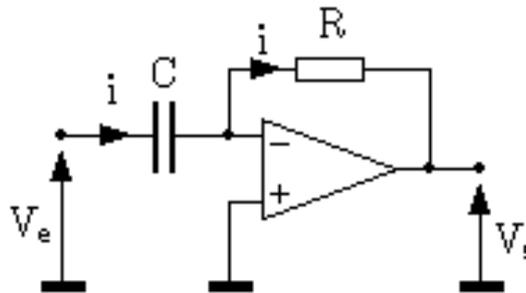


Figure V-9 :Montage dérivateur

En entrée et en sortie, on a :

$$V_s = -R \times i \quad (5.21)$$

$$q = C \times V_e \quad (5.22)$$

Le courant i est la dérivée de la charge électrique q présente sur les électrodes du condensateur :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (5.23)$$

Au final, on obtient :

$$V_s = -RC \frac{dV_e}{dt} \quad (5.24)$$

La sortie est proportionnelle à la dérivée de l'entrée. Comme pour le montage précédent, avec un amplificateur réel, on aura des difficultés à faire fonctionner ce circuit tel quel (système instable), et il faudra rajouter des éléments pour le rendre pleinement fonctionnel

V.2.2 Les amplificateur linéaire intégré en mode non linéaire : [5]

Il existe plusieurs types de comparateurs : comparateur simple, Comparateur à 2 seuils, Comparateur à Fenêtre.

V.2.2.1 Le Comparateur à Simple Seuil :

Un comparateur à un seuil est très facile à réaliser. Il suffit juste d'un ALI et de connaître son seuil de basculement. Mais il faut tout d'abord savoir si le comparateur fonctionne en inverseur ou non-inverseur.

V.2.2.1.1 Le Comparateur Non Inverseur

Un comparateur non inverseur est un comparateur simple seuil composé d'un ALI uniquement.

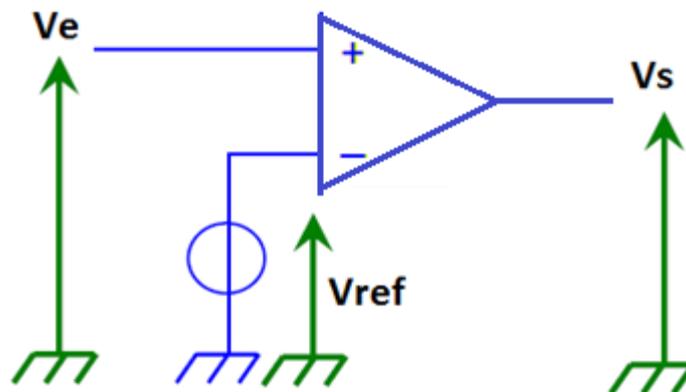


Figure V-10 : comparateur non- inverseur

Sur ce schéma on trouve l'ALI non inverseur car sa tension V_e est sur la patte La tension V_e est la tension d'entrée qui est en amont, la tension V_s est la tension de sortie donc celle en aval, la tension V_{ref} quant à elle est la tension qui fixe le basculement

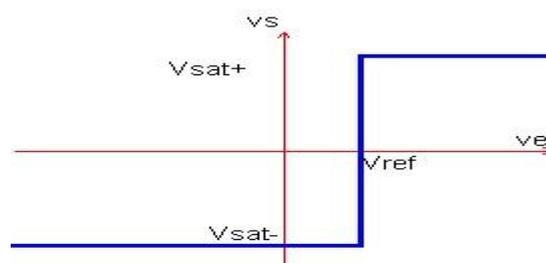


Figure V-11 : V_s en fonction de V_e du comparateur non-inverseur

Comme on le voit sur la courbe c'est à cette tension que le composant change d'état de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ ou inversement. Les tensions V_{sat+} et $-$ correspondent aux tensions d'alimentation du circuit intégré soit $+15V$ $-15V$ ou $+15V$ $0V$. Dans ce cas la courbe s'arrête au 0 et $V_{sat}=0$.

V.2.2.1.2 Le Comparateur Inverseur

Un comparateur inverseur fonctionne à l'inverse d'un non inverseur. C'est à dire que sa tension d'entrée est sur la patte $-$ et sa tension V_{ref} qui fixe le basculement est sur la patte $+$.

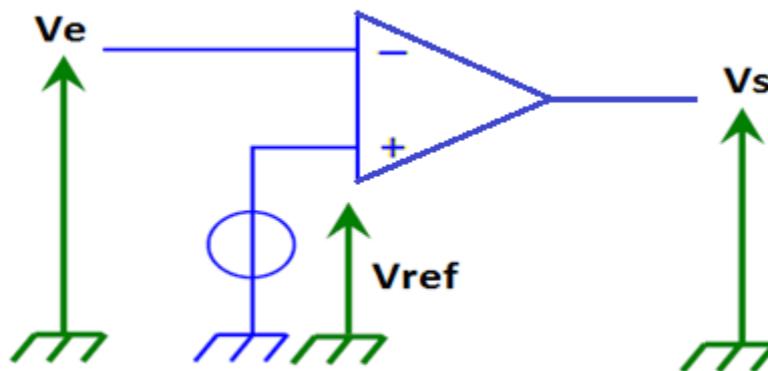


Figure V-12 : comparateur inverseur

Voyons maintenant sa courbe de fonctionnement. On voit bien que le comparateur fonctionne en inverse niveau haut puis niveau bas.

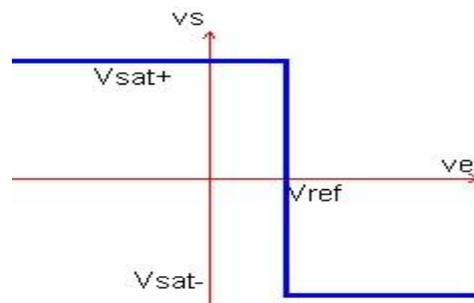


Figure V-13 : V_s en fonction de V_e du comparateur inverseur

Celui-ci prend toujours les valeurs de V_{sat+} et V_{sat-} .

Exemple Avec un Non Inverseur :

Nous allons maintenant voir un exemple avec un ALI Non Inverseur. On applique une tension en entrée sur la patte V_e et une tension V_{ref} de basculement fixe. Avec un Inverseur on aurait la courbe de sortie inverse de celle qu'on a.

V.2.2.2 Le Comparateur à 2 Seuils :

Un comparateur à un seuil, comme nous avons vu avant, c'est bien mais certains systèmes passeraient leur temps à basculer d'un état à un autre. Il faut donc créer un système qui ne bascule pas tout le temps même au moindre parasite. C'est là qu'intervient le comparateur à 2 seuils. Comme le comparateur simple il existe sous 2 formes le Non Inverseur et l'Inverseur.

V.2.2.2.1 Le Comparateur Non Inverseur à 2 Seuils :

Un comparateur à 2 seuils ou à trigger est toujours composé d'un ALI mais avec 2 résistances, une entre la sortie et la patte + et l'autre en entrée.

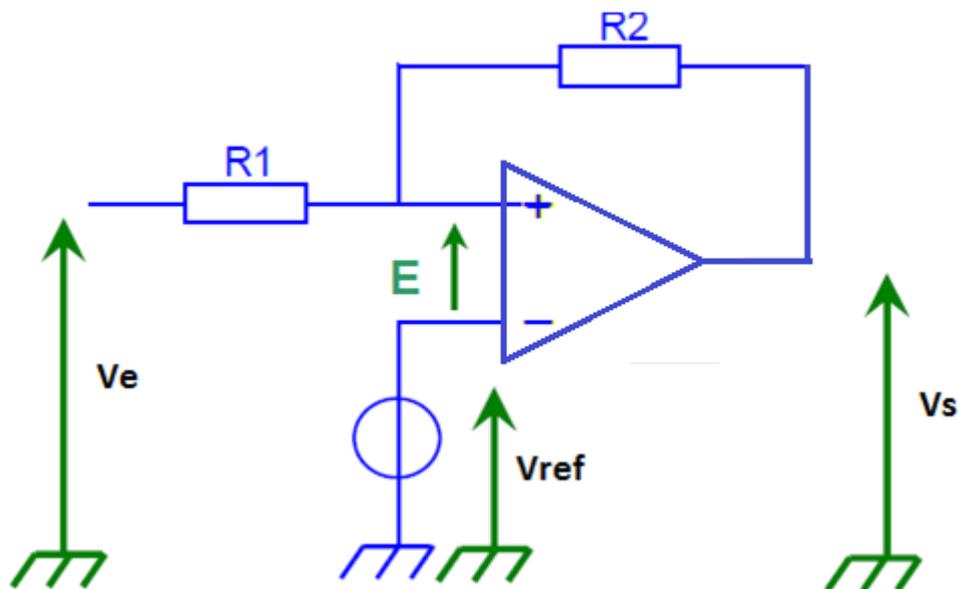


Figure V-14 : comparateur à 2 seuils non inverseur

On constate toujours que la tension d'entrée est sur la patte + (entrée non-inverseuse) les résistances permettent de régler le cycle d'hystérésis (écart entre les 2 branches de la courbe).

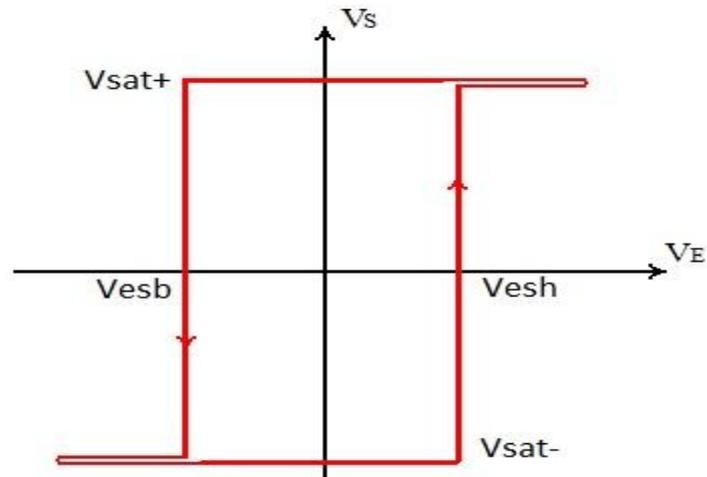


Figure V-15 : V_s en fonction de V_e du comparateur à 2 seuils non inverseur

Pour calculer les seuils de basculement, il faut utiliser la formule suivante :

$$V_{esh} = \{V_{ref}(R_1 + R_2) - R_1 \times V_{sat-}\} / R_2 \quad (5.25)$$

$$V_{esb} = \{V_{ref}(R_1 + R_2) - R_1 \times V_{sat+}\} / R_2 \quad (5.26)$$

V.2.2.2 Le comparateur Inverseur à 2 Seuils

Comme pour un simple seuil le comparateur double seuils inverseur suit la même courbe sauf qu'elle a 2 branches. Les résistances R_1 et R_2 ne sont plus branchées sur la patte + mais sur la patte (-).

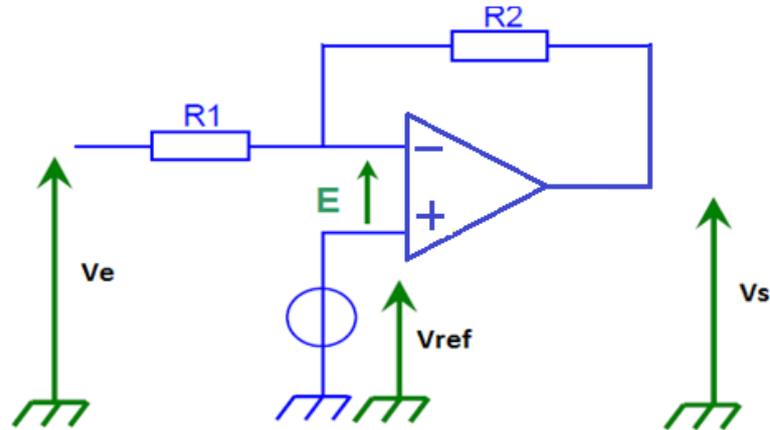


Figure V-16 : comparateur à 2 seuils inverseur

Sa courbe est donc l'inverse de la courbe d'un non inverseur

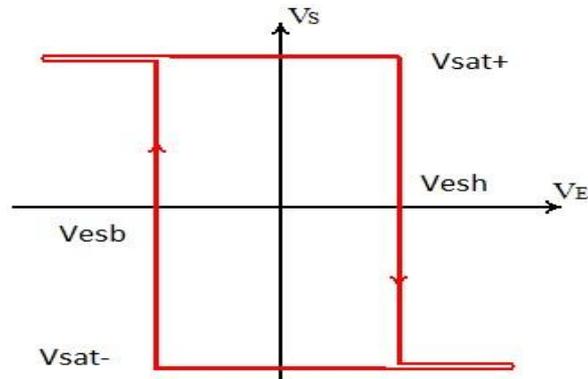


Figure V-17 : Vs en fonction de Ve du comparateur à 2 seuils inverseur

Pour calculer les seuils de basculement il faut utiliser la formule suivante :

$$V_{esh} = \{V_{ref}(R_1 + R_2) - R_1 \times V_{sat+}\} / (R_1 + R_2) \quad (5.27)$$

$$V_{esb} = \{V_{ref}(R_1 + R_2) \times V_{sat-}\} / (R_1 + R_2) \quad (5.28)$$

V.2.2.3 Le Comparateur à fenêtre

Un comparateur à fenêtre fonctionne lui aussi en non linéaire mais il possède 2 ALI montés côte à côte. La fonction comparateur à fenêtre consiste à détecter si l'amplitude d'un signal est à l'intérieur ou à l'extérieur d'une « fenêtre » définie par un seuil haut et un seuil bas.

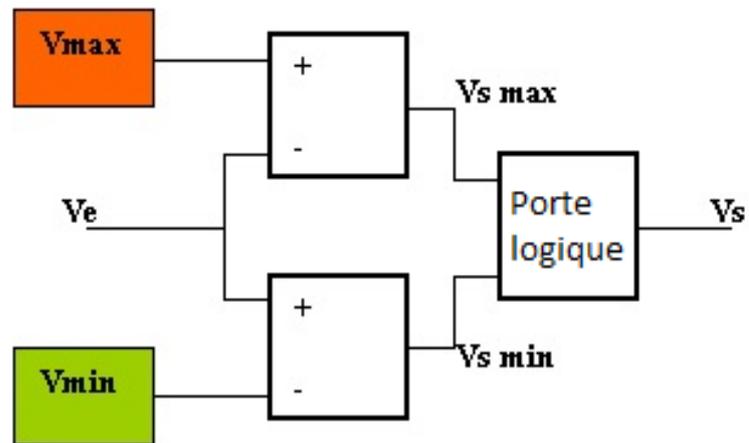


Figure V-18 : comparateur a fenêtre

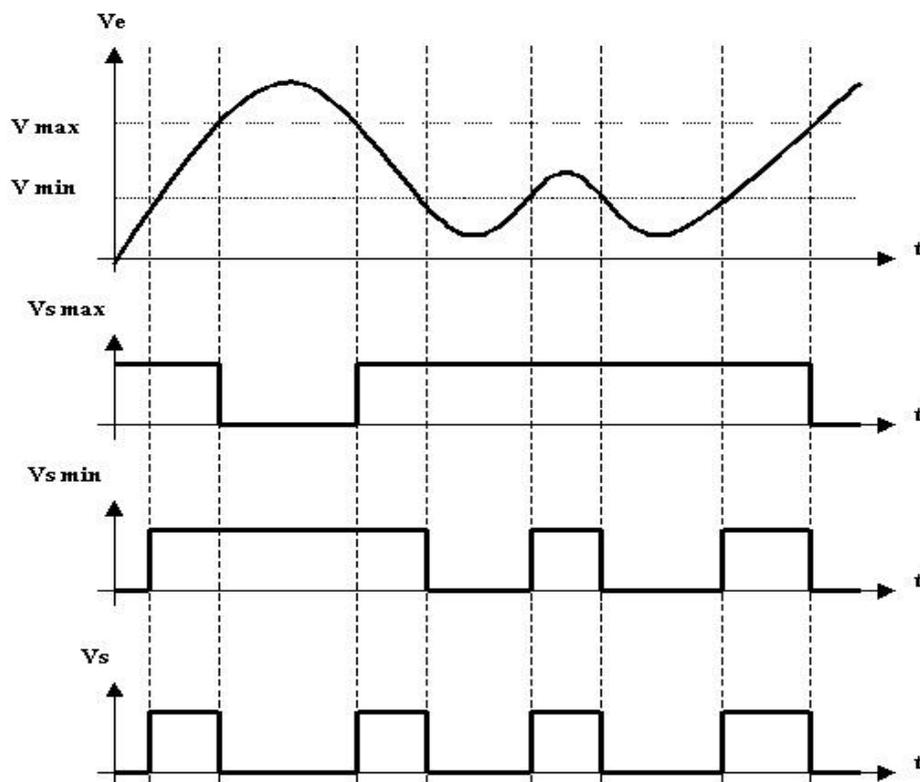


Figure V-19 : Exemple avec une fonction comparateur à fenêtre

CHAPITRE VI : AFFICHAGE D'UNE TENSION CONTINUE

VI.1 Affichage à l'aide d'un millivoltmètre : [6]

La solution la plus élégante à présent consiste à afficher le résultat numériquement. Ceci nécessite une conversion A/N qui est une traduction du signal analogique V qui provient du capteur en un signal numérique.

Il serait peut être intéressant de rappeler brièvement le principe de cet affichage.

[... Dans un instrument numérique, le signal délivré par le capteur est transformé au moyen d'un convertisseur analogique numérique (C.A.N) en une série de niveaux hauts ou bas exprimant dans un code convenu un nombre représentant l'amplitude du signal analogique du capteur. Ce signal codé est appliqué à un organe d'affichage permettant la lecture de cette amplitude...].

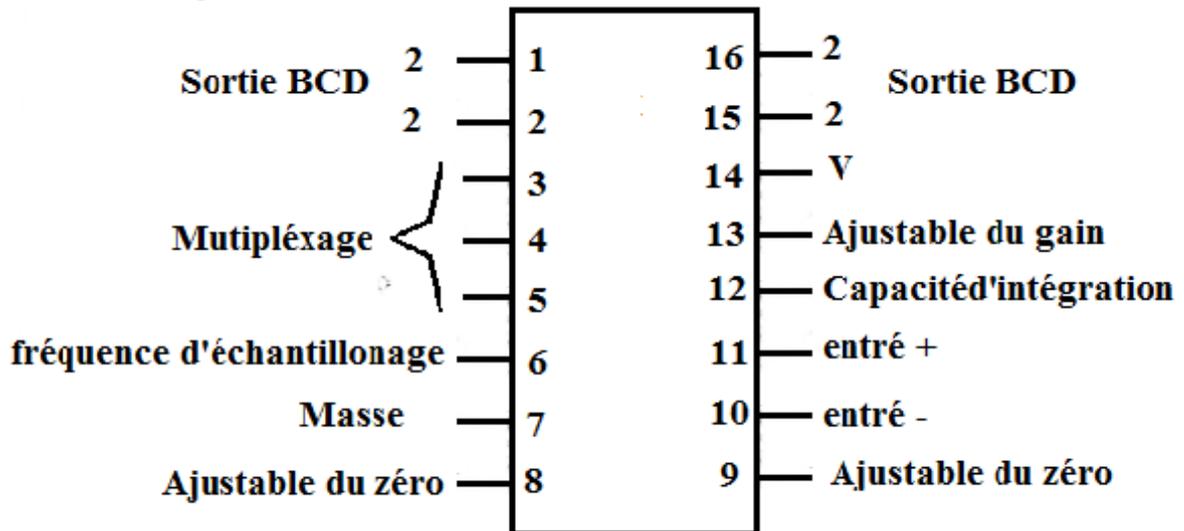
Chaque convertisseur utilise l'une des quatre principales méthodes de conversion :

- Simple rampe.
- Double rampe.
- Tension-fréquence.
- Approximation successive.

Pour notre premier montage, on a choisi un convertisseur A/N a double rampe qui est le circuit CA3162 car ce convertisseur a une bonne précision et peu sensible au bruit et un temps de conversion assez court de 5 à 100 ms et une bonne réjection des signaux parasite qui proviennent du secteur.

VI.1.1 Brochage et description du CA3162 :

VI.1.1.1 Brochage :



VI.1.1.2 Description du CA3162 :

Celui-ci comprend, un boîtier D à 16 broches tous les éléments nécessaires à la conversion A/N à double rampe. Ce circuit comprend également une référence interne ultra stable à barrière de potentiel, une horloge et une sortie BCD à trois digit multiplexés, il permet en plus de fixer le taux de conversion à deux valeurs différentes (4 et 96 Hz).

- Le CA3162 est associé à un décodeur CA3161 qui effectue le décodage 7 segments ; deux potentiomètres sont nécessaires pour l'ajustage ; des transistors petits signaux sont nécessaires pour attaquer l'anode des afficheurs. La valeur typique du courant d'alimentation du circuit est inférieure à 60 mA.

- La lecture se fait de -99 mV à +999 mV, la polarité étant indiquée automatiquement. Le dépassement de la valeur maximale est indiqué par EEE pour une tension d'entrée supérieure à +999 mV et de même si elle est inférieure à -99 mV.

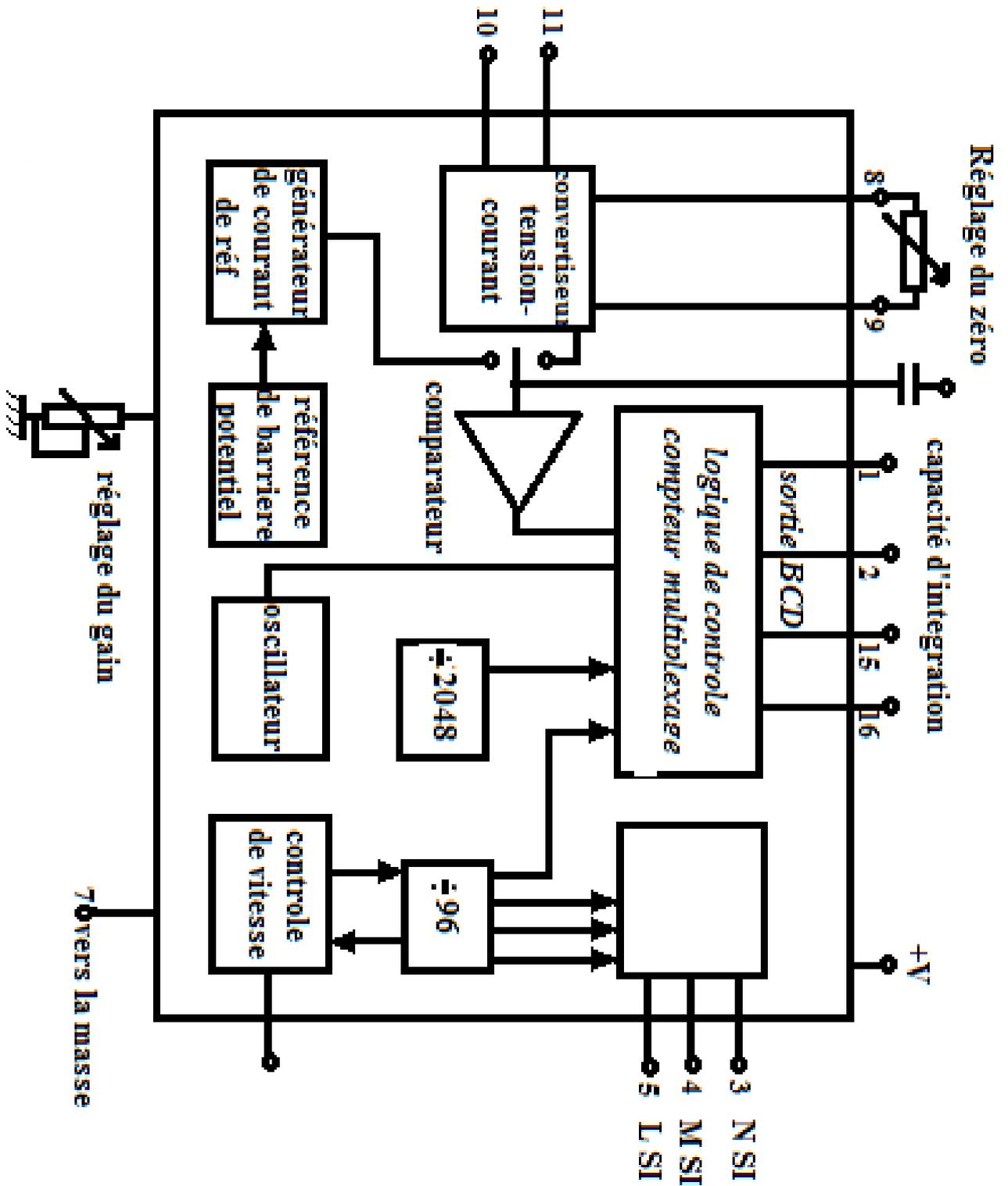


Schéma interne du CAN 3162

VI.1.2 Principe de fonctionnement du CA3162 :

La partie analogique comprend un intégrateur qui est le cœur du système, un convertisseur tension-courant et un générateur du courant de référence. La tension à convertir (positive) est appliquée entre les broches (11) et (10).

Au début de la conversion, le condensateur se décharge et le compteur se remet à zéro ; lorsque la tension appliquée entre (11) et (10) sera convertie en courant et appliquée à l'intégrateur le condensateur se charge linéairement avec un courant constant.

La tension de sortie de l'intégrateur est donnée par :

$$V_c = \frac{1}{R.C} \int_{t_0}^{t_1} v_x \cdot dt = \frac{V_x}{R_c} \cdot N \cdot T(6.1)$$

N : Nombre d'impulsion pendant une période.

T : Période.

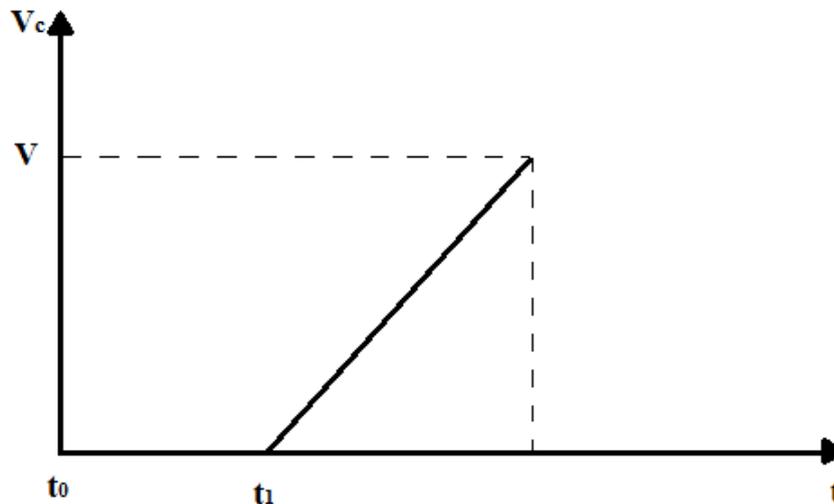
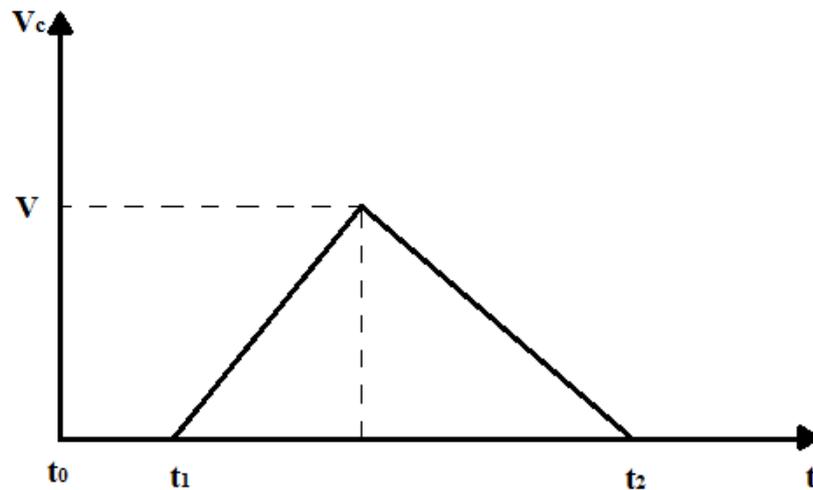


Figure VI-1 : représente la tension de sortie de l'intégrateur (Charge du condensateur)

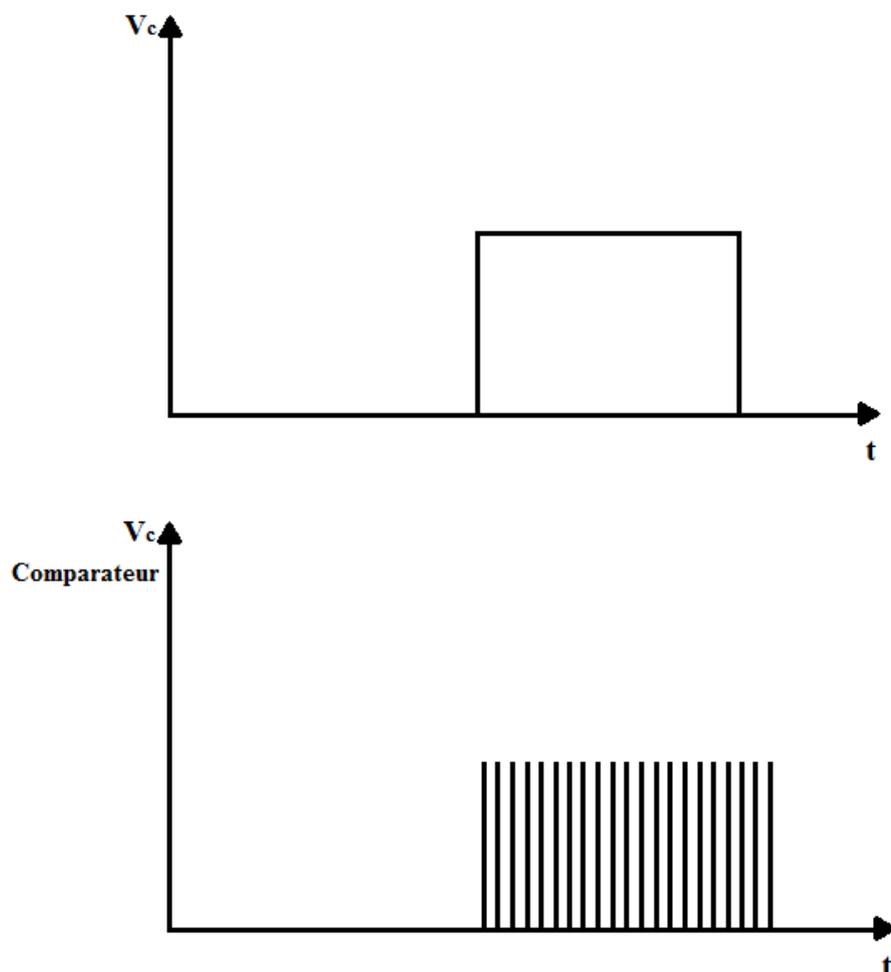
Ces dents de scie appliquées à l'entrée du comparateur, seront transmises au compteur. Lorsque le compteur atteint sa capacité maximale, l'entrée de l'intégrateur est commutée sur une autre source de courant de référence ce qui ramène le condensateur à se décharger linéairement.

$$V_d = \left(\frac{V_{ref}}{RC} \right) \cdot t_2(6.2)$$



**Figure VI-2 :représente la tension de sortie de l'intégrateur
(Décharge du condensateur)**

Lorsque le compteur enregistre ces impulsions, lors de cette décroissance le comparateur détecte le passage à zéro et à cet instant, le compteur s'arrête de compter et le comptage sera multiplexé vers la sortie BCD.



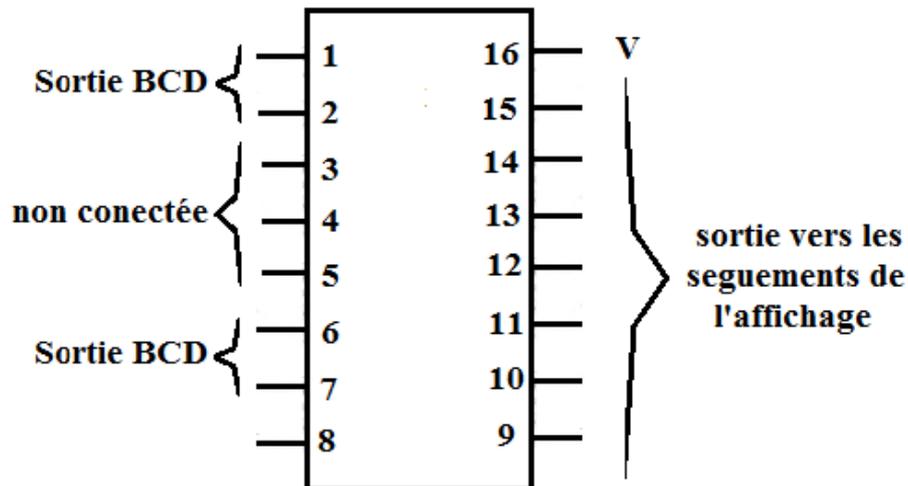
La temporisation du circuit intégré CA3162 est alimentée par un oscillateur et l'entrée (6) donne la fréquence d'échantillonnage :

- Si la broche (6) est alimentée par une tension +5V, elle peut donner au circuit une fréquence d'échantillonnage de haute vitesse (96 Hz).
- Si la broche (6) est à la masse, on aura une fréquence d'échantillonnage de faible vitesse (4 Hz).

VI.1.3 Etude sur le décodage et affichage :

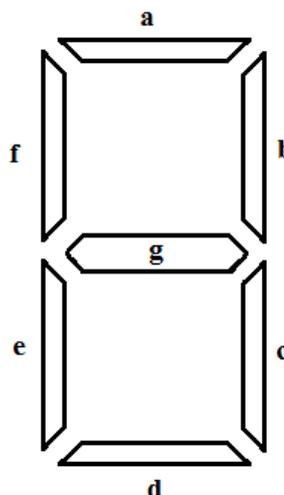
- Le résultat du comptage est recueilli à la sortie du convertisseur A/N à travers quatre sorties et cette information BCD sera décodée à l'aide d'un décodeur CA3161.
- Le circuit intégré CA3161 est un décodeur BCD 7 segments.

VI.1.3.1 Brochage du décodeur :



VI.1.3.2 Description et brochage des afficheurs :

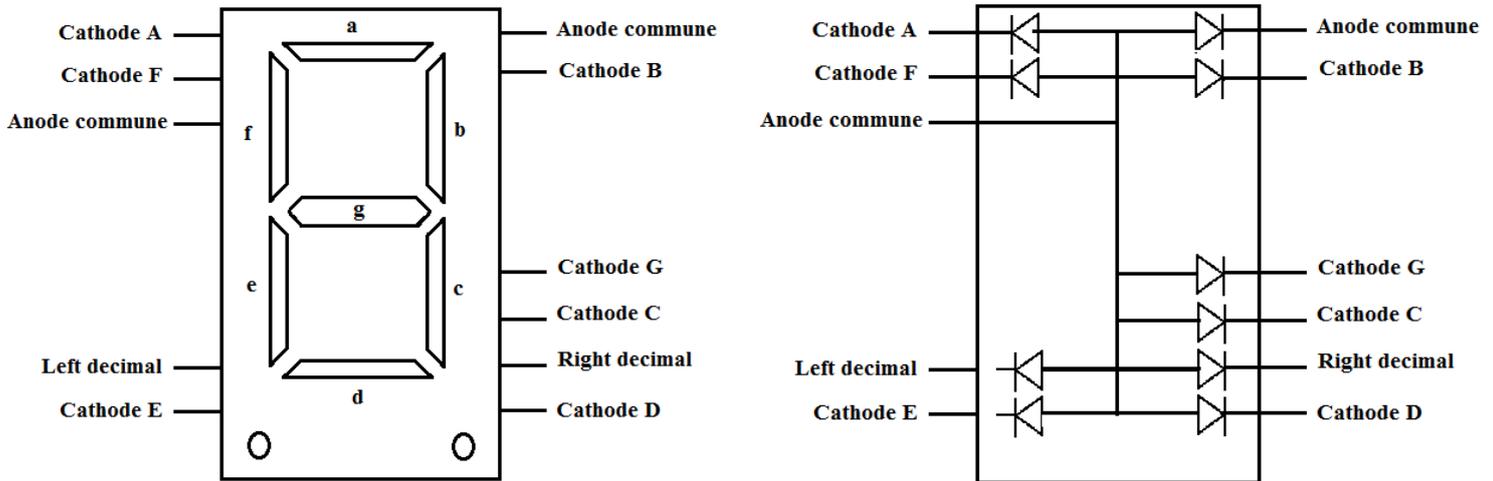
- L'afficheur comporte sept diodes (segments) électroluminescentes disposées comme suit :



- Chaque segment est utilisé pour afficher une partie du chiffre.
- Chaque afficheur est alimenté sous une tension de +5V à l'aide de transistors PNP qui se débloquent pour fournir à la sortie un courant qui attaque les segments des afficheurs.

Schéma du principe du circuit d'affichage :

-Afficheurs à anodes communes type (7751- F₁)



VI.1.4 Principe de fonctionnement du système d'affichage :

- On remarque bien que le circuit d'affichage fait appel à deux circuits intégrés le CA3162 et le CA3161 et le CA3161.
- Le CA3162 est un convertisseur A/N possédant des sorties BCD multiplexés broches (16, 11, 1,2) et autorisant des valeurs inférieures à +999mV.
- Le potentiomètre P3 (50K) sert à stabiliser la tension minimale et le potentiomètre P4 (1K) permet de régler le gain et puisque le CA3162 utilise la méthode de la double rampe, le condensateur détermine la fréquence de génération des rampes.
- Le CA3162 attaque le décodeur CA3161 (BCD 7segments) et le signal multiplexé commande les trois afficheurs à l'aide de transistors.
- Le CA3161 est un décodeur BCD 7 segments, à chaque combinaison d'entrée correspond une combinaison à sept bits à sa sortie selon le tableau suivant :

Entrées				Sorties							Affichage
2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	2
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	3
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	4
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	5
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	6
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	9

Enfin pour afficher la tension nous étions contraints de choisir des afficheurs à LED disponibles.

Notons que ces derniers consomment un courant assez fort. En effet un test de mesure de courant nous a permis de connaître le courant consommé par ces afficheurs et qui peut atteindre 70mA.

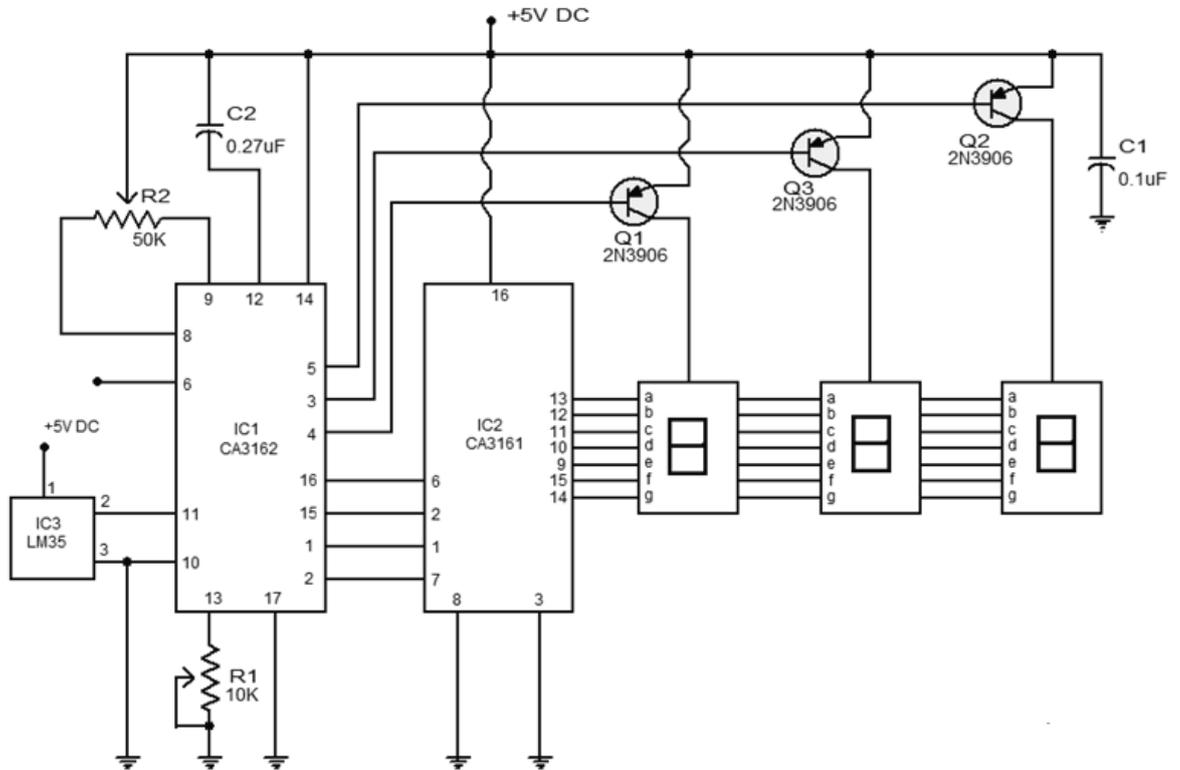


Figure VI-3 :Schéma électrique du millivoltmètre

VI.2 Affichage à l'aide d'un Arduino : [7]

VI.2.1 Définition :

Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (dont les plans sont publiés en licence libre) sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la domotique (chauffage, éclairage, pilotage d'un robot,...) c'est une plateforme basée sur une interface entrée/sortie simple. Il était destiné à l'origine principalement mais pas exclusivement à la programmation multimédia interactive en vue de spectacle ou d'animations artistiques.

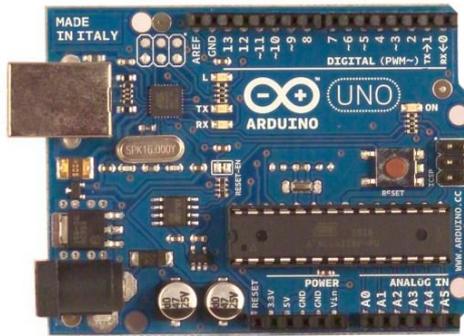


Figure VI-4 :Module Arduino Uno

Arduino peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototype rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer avec ses logiciels (ex : Macromedia Flash, processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider). En 2011, les versions vendues sont pré-assemblées.

VI.2.2 Description du matériel :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est pré-programmé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.

Les modules sont programmés au travers d'une connexion série RS-232, mais les connexions permettant cette programmation diffèrent selon les modèles. Les premiers Arduino possédaient un port série, puis l'USB est apparu sur les modèles Diecimila, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble).

L'Arduino utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits. Le modèle Diecimila par exemple, possède 14 entrées/sorties numériques, dont 6 peuvent produire des signaux PWM, et 6 entrées analogiques. Les connexions sont établies au travers de connecteurs femelle HE14 situés sur le dessus de la carte, les modules d'extension venant s'empiler sur l'Arduino. Plusieurs sortes d'extensions sont disponibles dans le commerce.

Les modules non officiels « BoArduino » et « Barebones », compatibles avec la technologie Arduino, utilisent des connecteurs mâle pour une utilisation aisée avec des plaques de test.

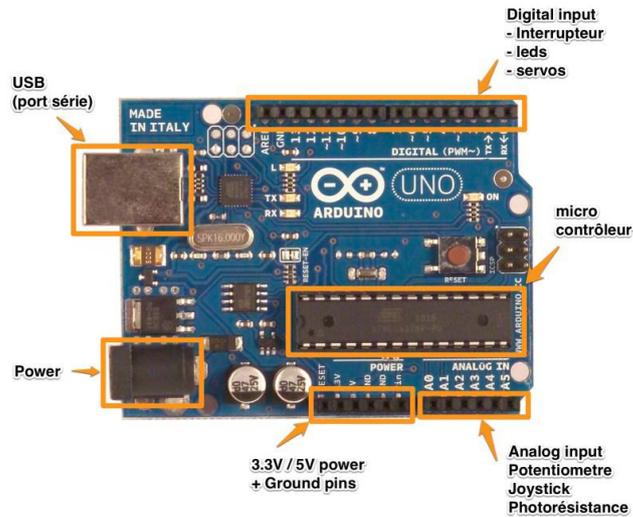


Figure VI-5 : Les composants d'un Arduino Uno

VI.2.3 Le logiciel utilisé :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multiplateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, et de compiler les programmes via l'interface en ligne de commande.

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec `avr-g++ 3`, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++.

Programmer avec Arduino

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code.

Structure d'un programme
Il y a trois phases consécutives:

- 1/La définition des constantes et des variables
`void setup()`
- 2/La configuration des entrées et sorties
`void setup()`
- 3/La programmation des interactions et comportements
`void loop()`

Une fois la dernière ligne exécutée, la carte revient au début de la troisième phase et recommence sa lecture et son exécution des instructions successives. Et ainsi de suite.

Cette **boucle** se déroule des milliers de fois par seconde et anime la carte.

Commentaires

```

/* Ce programme fait clignoter une LED branchée sur la broche 13
 * et fait également clignoter la diode de test de la carte
 */
int ledPin = 13; // LED connectée à la broche 13

void setup()
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // configure ledPin comme une sortie
}

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // met la sortie à l'état haut (led allumée)
  delay(3000); // attente de 3 secondes
  digitalWrite(ledPin, LOW); // met la sortie à l'état bas (led éteinte)
  delay(1000); // attente de 1 seconde
}

```

Done compiling.

22

Figure VI-6 : Le logiciel de programmation

VI.2.4 Convertisseur analogique numérique:

La fonction conversion analogique-numérique consiste à transformer une grandeur électrique en une grandeur numérique exprimée sur N bits. Ce convertisseur est composé de :

- Un multiplexeur 8 entrées maximum permet de sélectionner l'entrée analogique à convertir.
- Un échantillonneur bloqueur permet de mémoriser la tension analogique à convertir pendant la conversion.
- Un convertisseur analogique numérique de 10 bits.

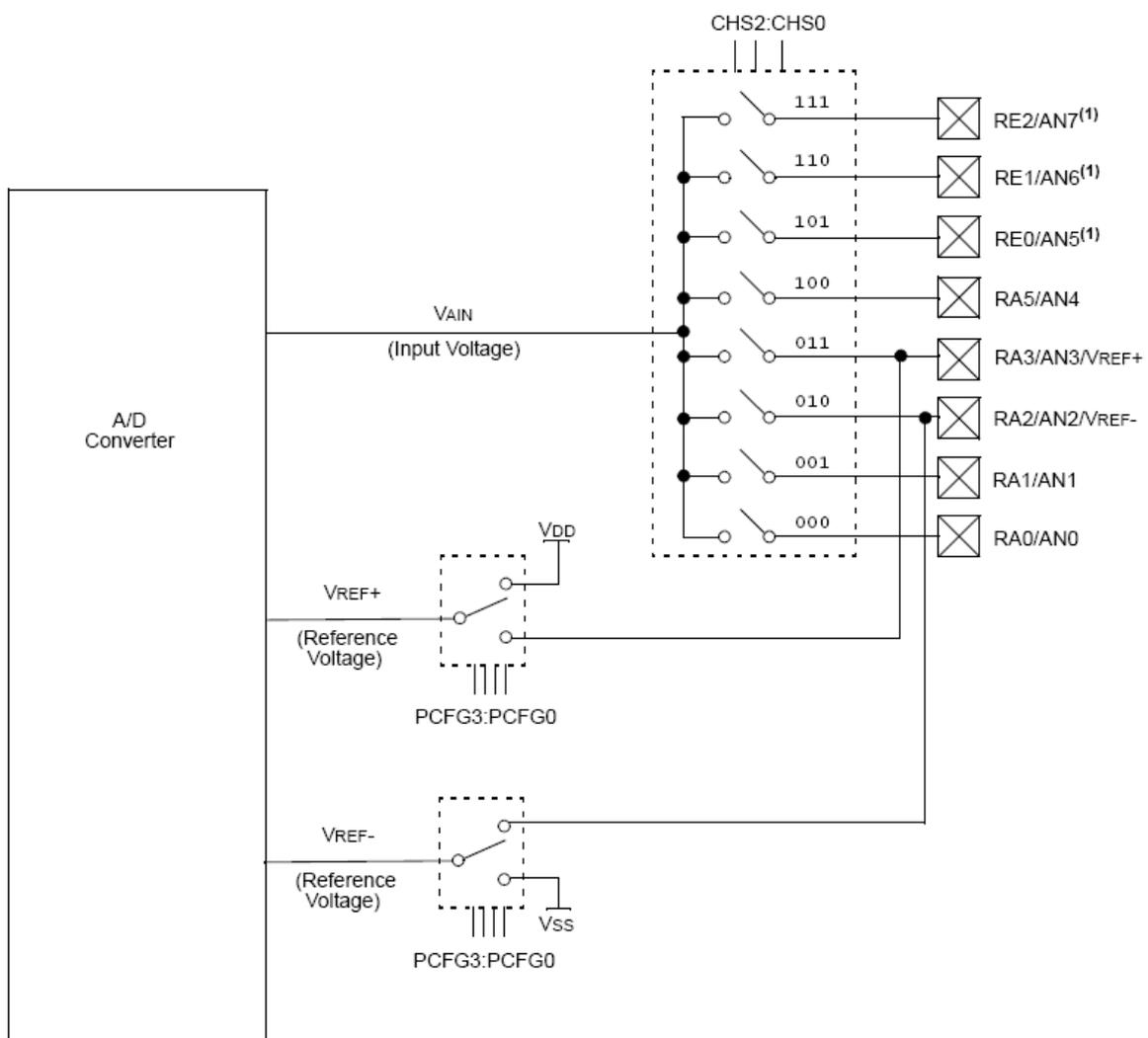


Figure VI-7 :Convertisseur analogique digital

Le CAN convertit le signal analogique présent sur une de ses 8 entrées en son équivalent numérique, codé sur 10 bits. Le signal numérique peut donc prendre 1024 valeurs possibles. Les pattes AN2 et AN3 peuvent être utilisées comme références de tension ou comme entrées analogiques standard. Les références de tension étant dans ce dernier cas prises sur les tensions d'alimentations du ATmega:Vdd et Vss.(Vdd pour Vref+ et Vss pour Vref-).

La conversion se passe en 2 temps :

- 1er temps le signal à convertir est appliqué sur l'entrée à convertir, ce signal doit être présent au moins pendant le temps Tacq(temps d'acquisition environ 20µS pour 5V).
- 2ème temps la conversion, approximations successives. Le temps de conversion minimum est de 12 TAD (TAD c'est le temps de conversion dépendant de l'horloge interne, typiquement 1,6µS).

Valeurs représentées :

Les relations qui lient les valeurs analogiques et les représentations numériques sont :

$$N(\text{Valeur numérisée}) = \frac{(V_{in} - V_{ref-})}{(V_{ref+} - V_{ref-})} \times 1023 \quad (6.3)$$

$$\text{Valeur analogique} = \left(\frac{V_{al}}{1023} \times (V_{ref+} - V_{ref-}) \right) + V_{ref-} \quad (6.4)$$

Vref- : tension minimale analogique (référence négative).

Vref+ : tension maximale analogique (référence positive).

VIN : tension d'entrée à numériser.

N : valeur numérique sur 10 bits.

PARTIE 2

ETUDE PRATIQUE

Introduction :

Dans cette partie nous allons faire une analyse expérimentale sur différents capteurs de température et expliquer les différentes opérations et traitements effectués sur la tension issue du capteur de température le plus linéaire pour la convertir en une valeur numérique égale à la valeur de la température à afficher, ainsi en ajoutant un comparateur pour suivre l'évolution de la température.

Schéma synoptique du thermomètre digital :

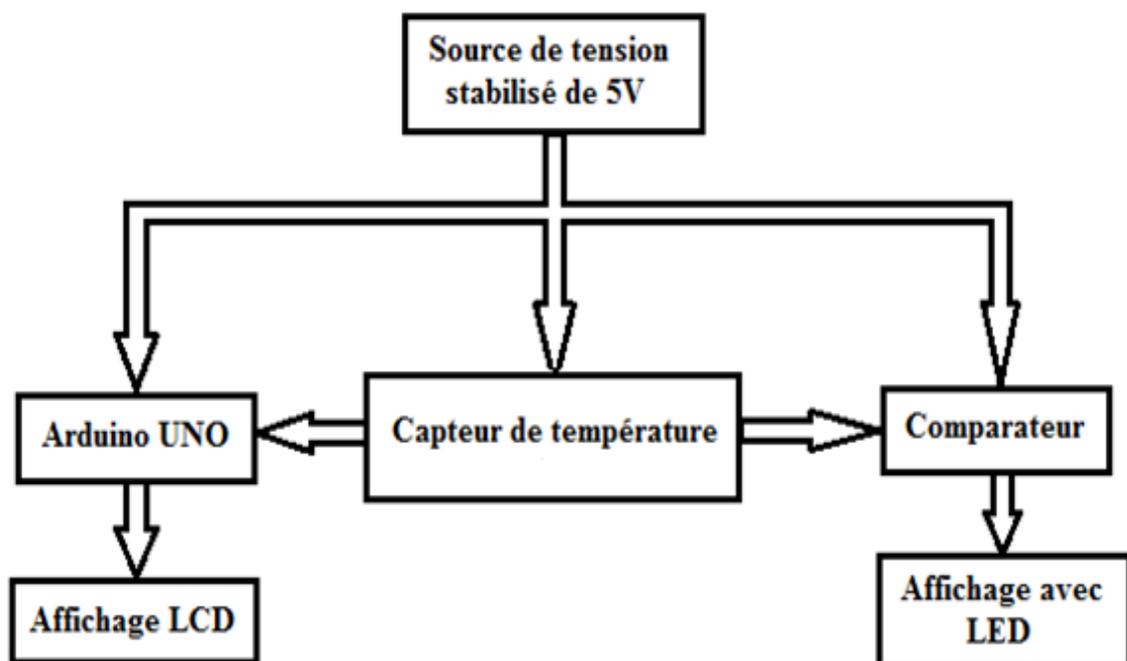


Schéma synoptique du thermomètre électronique

CHAPITRE I : ETUDE ET COMPARAISON PRATIQUE DE PLUSIEURS CAPTEURS DE TEMPERATURE

I.1 Analyse expérimentale des différents capteurs de températures :

I.1.1 Diode 1N4001 :

Pour une meilleure sensibilité aux variations de température délivrer par le capteur, nous avons réalisé le pont de Wheatstone suivant avec la diode 1N4001. Ce dernier est largement utilisé dans divers détecteurs pour leurs conditionnement :

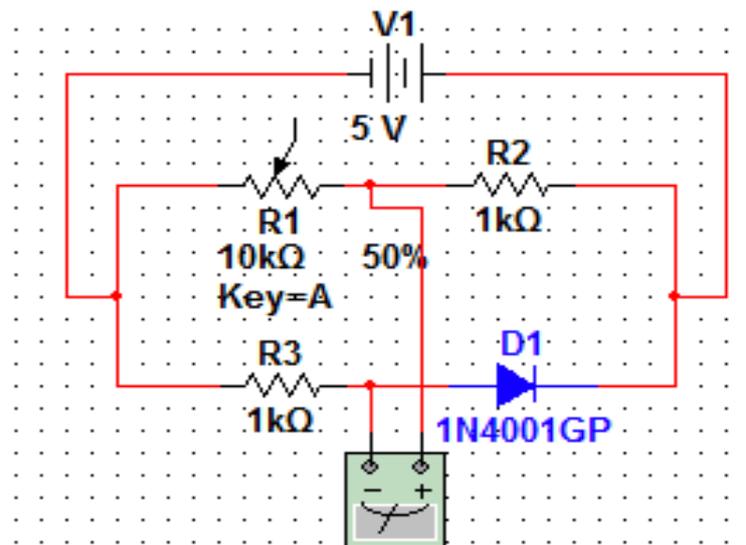


Figure I.1 : circuit de conditionnement de la diode 1N4001

V1 : source de tension 5V.

R2, R3 : résistances de 1KΩ.

R1 : potentiomètre de 10 KΩ.

D1 : diode au Silicium 1N4001.

Pour réaliser l'équilibre du pont on a plongé la diode dans la glace fondante (0c°) et on a agis sur le potentiomètre R1 jusqu'à avoir l'équilibre du pont. C'est-à-dire $V_{AB} = 0$ V.

Les variations de la tension du pont VAB en fonction de la température sont représentées sur le tableau suivant :

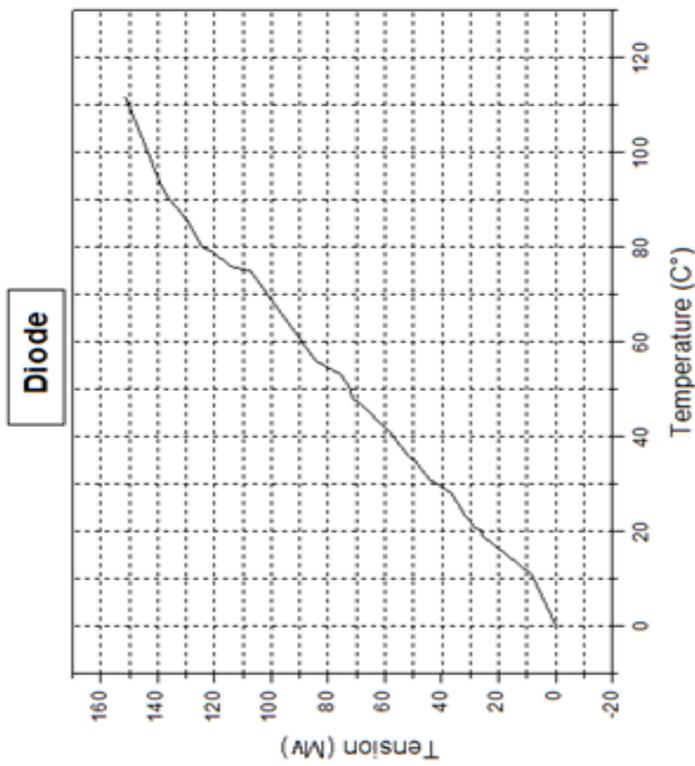


Figure (I.2) : Représentation de la température en fonction de a tension pour la diode 1N4001

T (C°)	0	11	19	20	21	22	23	25	26	28	31	33	35	36	41	47	48	50	53	56	75	76	79	80	85	88	90	93	98	112
V (Mv)	0	8.4	25.6	26.1	28.5	29.7	31.6	33.2	34.2	36.8	44.1	47.1	49.5	51.9	58.2	69.2	71.8	72.3	75.6	84.5	107.2	114.6	120.8	124.1	128.7	133	136.1	139	142.3	151.2

La représentation graphique figure (I.2), des résultats du tableau montre qu'il ya une certaine linéarité sur des parties mais pas totalement linéaire

I.1.2PT100 :

La même expérience que précédemment mais avec une sonde à résistance en platine. Sa résistance augmente en même temps que la température.

Pour réaliser l'équilibre du pont on utilise toujours la technique utilisée dans l'expérience précédente.

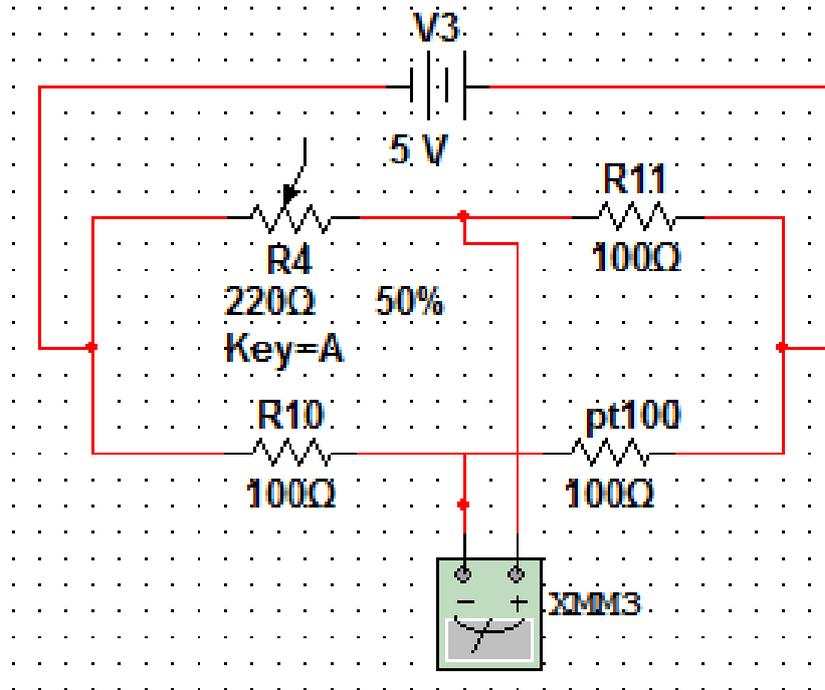


Figure I.3 : circuit de conditionnement de la sonde pt100

V3 : source de tension 5V.

R10, R11 : résistances de 100Ω.

R4 : Potentiomètre de 220Ω.

Pt100 : Résistance en platine (100Ω).

Les variations de la tension du pont VAB en fonction de la température sont représentées sur le tableau suivant :

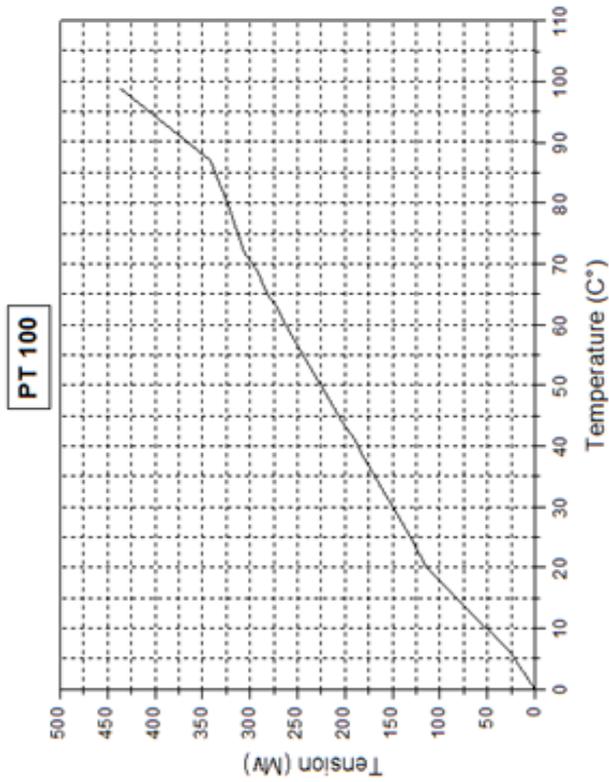


Figure (I.4) : Représentation de la température en fonction de la tension pour la résistance en platine PT100

T (C°)	0	6	14	20	25	38	40	41	44	50	52	57	60	63	65	69	72	79	87	99
V (mV)	0	26.1	76.5	114.8	130.5	180.3	186.7	188.6	203	225	234	251	262	273	282	292	307	321	342	438

D'après la représentation graphique remarquons tout de suite qu'il y a des intervalles linéaire et d'autres non linéaire chose qui nous a poussé à abandonner ce capteur pt100.

I.1.3 Thermistance C.T.N (4.7K Ω)

En réalisant le circuit de la figure (I.6) qui est composé d'une thermistance CTN et un pont de Wheatstone pour le Conditionnement.

Pour réaliser l'équilibre du pont on utilise toujours la technique utilisée dans l'expérience précédente.

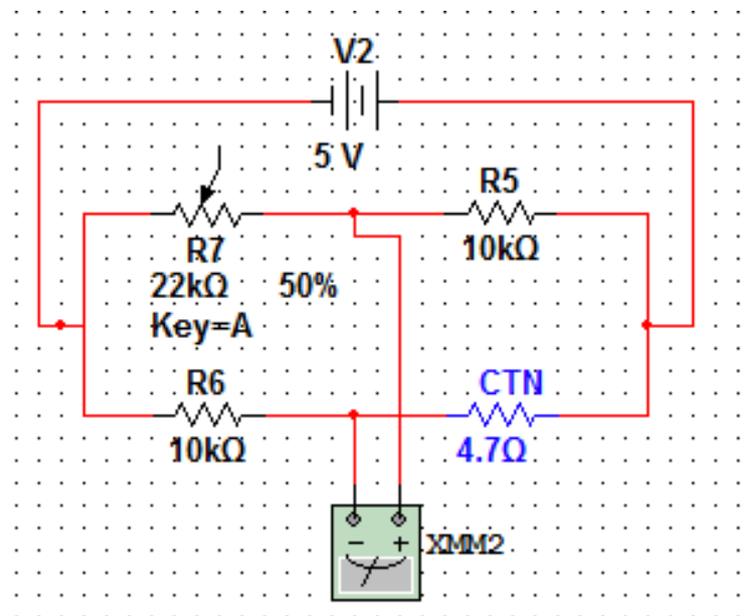


Figure I.5 circuit de conditionnement de la thermistance C.T.N

V2 : source de tension 5V.

R6, R5 : résistances de 10K Ω .

R4 : Potentiomètre de 22K Ω .

CTN : Thermistance de 4.7k Ω

Les variations de la tension du pont VAB en fonction de la température sont représentées sur le tableau suivant :

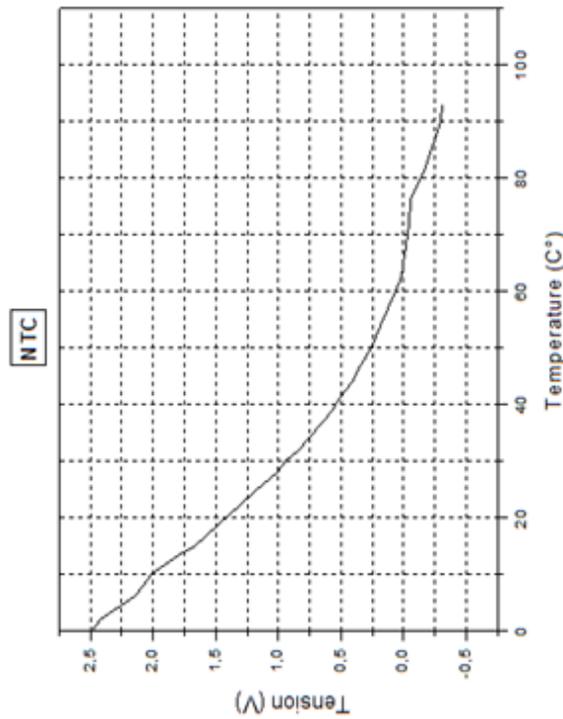


Figure (I.6) : Représentation de la température en fonction de la tension pour thermistance NTC

T(C°)	0	2	6	8	10	14	15	26	27	28	30	32	34	37	39	44	50	54	57	60	62	65	66	72	82	90	93
V(V)	2.49	2.42	2.15	2.08	2.01	1.76	1.66	1.11	1.06	1.01	0.94	0.83	0.76	0.64	0.57	0.41	0.26	0.19	0.12	0.07	0.03	0.00	-0.01	-0.04	-0.18	-0.29	-0.31

Remarquons tout de suite que la réponse de la thermistance CTN présente une non linéarité accentuée, chose qui nous a poussée à l'abandonner.

I.1.4 Capteur de température LM335

La chaîne de mesure de cette partie est la suivante :

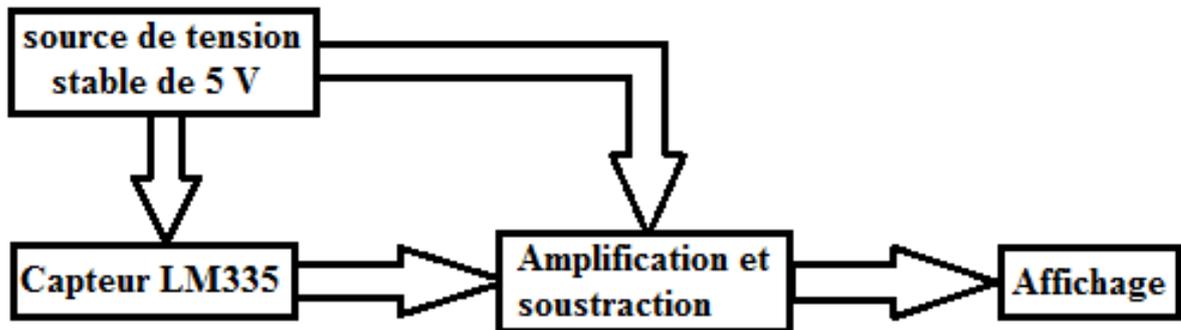


Figure I.7 : schéma synoptique du circuit de conditionnement du capteur LM335

Le capteur utilisé appartient à la classe des capteurs passifs, il est alimenté par une source de tension notons que notre alimentation présente une perturbation sur la mesure, alors on a préféré l'alimenté avec l'alimentation du laboratoire.

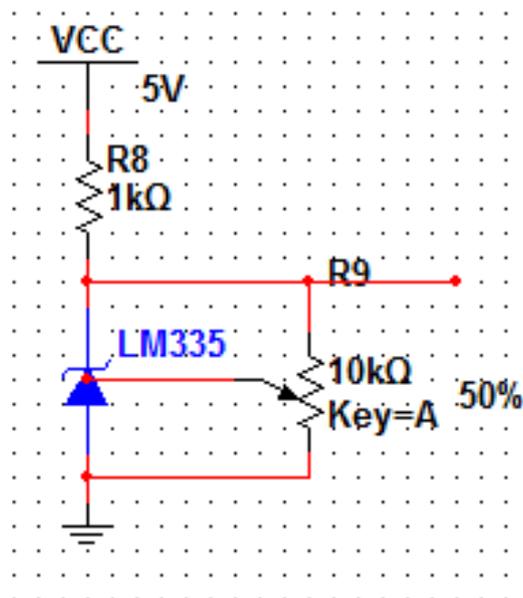


Figure I.8 circuit de conditionnement du capteur LM335.

Vcc : source de tension 5V.

R8 : résistance de 1KΩ.

R9 : Potentiomètre de 10KΩ.

LM 335 :capteur de température

Les variations de la tension a la sortie du capteur C'est en fonction de la température sont représentées sur le tableau suivant :

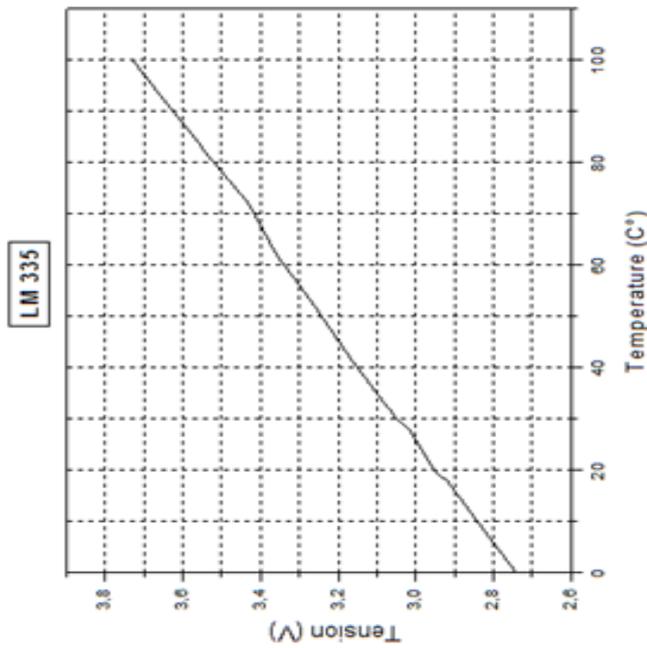


Figure (I.9) : Représentation de la température en fonction de la tension pour le LM335

T(C°)	0	8	16	18	19	20	21	26	28	30	31	32	33	38	39	40	41	43	44	45	47	52	56	62	72	82	83	93	100
V(V)	2,74	2,82	2,90	2,92	2,94	2,95	2,96	3,0	3,03	3,05	3,06	3,07	3,08	3,13	3,14	3,15	3,16	3,18	3,19	3,20	3,21	3,28	3,30	3,34	3,43	3,54	3,55	3,68	3,73

Remarquons que la représentation graphique (I.9) montre clairement la linéarité du capteur LM335 de 0 à 100°C.

I.1.5 Amplificateur et soustracteur pour le LM335 :

Cette tension résiduelle est prévue par le constructeur pour donner la température directement en degré Kelvin, rappelons que : ($0^{\circ}\text{C}=273^{\circ}\text{K}$).

D'autre part les variations de température de notre capteur sont toujours décalées de 2.73 volt, chose qui n'est pas pratique dans notre cas puisqu'on veut afficher la température en degré Celsius.

Le circuit qui permet de réaliser ces opérations n'est autre qu'un soustracteur permanent qui soustrait une tension référence choisie à 2.73 volt et qui est réglé par le potentiomètre P_1 .

Pour l'amplification on a décidé de faire un gain égale à 1 (adaptation d'impédance), qui veut dire que $R_1=R_2$, parce que dans le montage précédent on a ajusté par un potentiomètre la sortie à $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

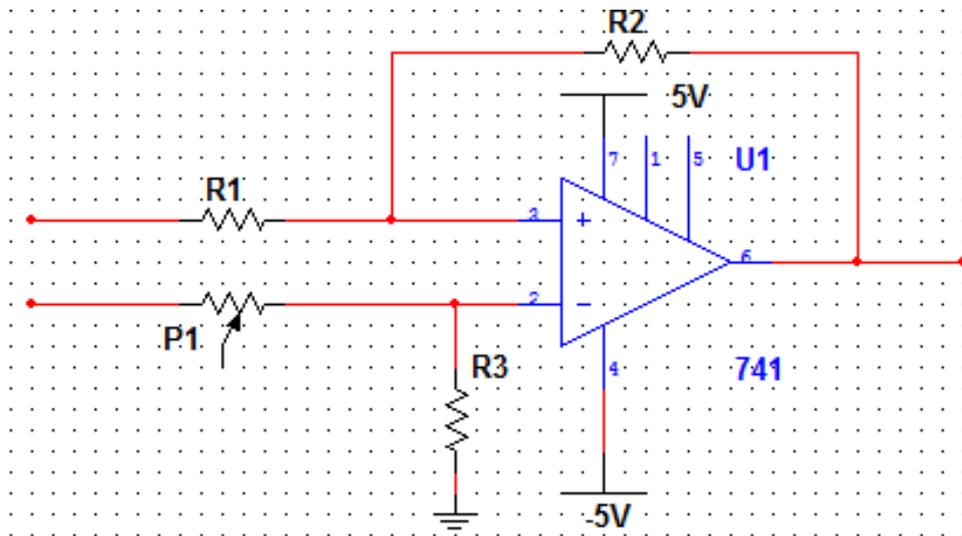


Figure I.10 circuit d'amplification et soustraction

Les résultats obtenus à la sortie du soustracteur sont représentés dans le tableau suivant :

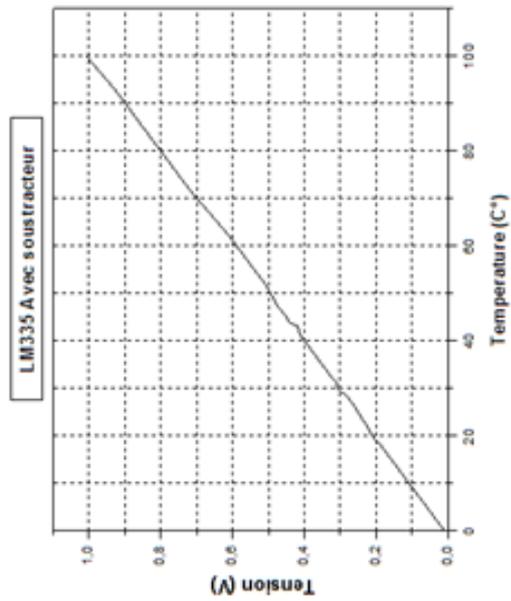


Figure (I.11) : Représentation de la température en fonction de la tension pour le LM335 avec soustracteur

T(C°)	0	8	16	18	19	20	21	26	28	30	31	32	33	38	39	40	41	43	44	45	47	52	56	62	72	82	83	93	100
V(V)	0.01	0.09	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.26	0.28	0.31	0.32	0.32	0.33	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.51	0.55	0.61	0.72	0.82	0.83	0.93	1.01

On remarque que la courbe obtenue représente clairement une linéarité et une pente droite positive qui passe par l'origine (0mV=0°C).

I.1.6 Capteur de température LM35

Le capteur utilisé appartient à la classe des capteurs passifs, il est alimenté par une source de tension.

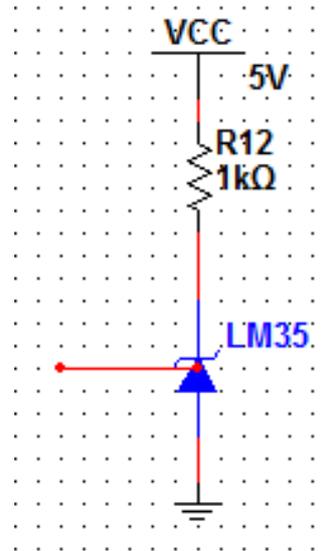


Figure I.12 circuit de conditionnement du capteur LM35

Vcc : source de tension 5V.

R12 : résistance de 1KΩ.

LM 35 : capteur de température.

Les variations de la tension a la sortie du capteur C'est en fonction de la température sont représentées sur le tableau suivant :

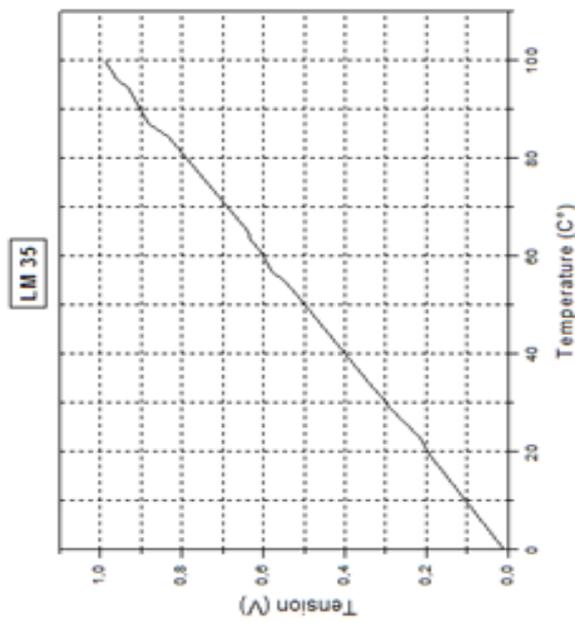


Figure (I.13) : Représentation de la température en fonction de a tension pour le LM35

T(C°)	0	19	23	29	31	33	40	43	46	53	55	57	61	63	65	84	87	94	96	100
V(V)	0.01	0.19	0.22	0.29	0.31	0.33	0.40	0.43	0.46	0.53	0.55	0.58	0.61	0.63	0.64	0.83	0.88	0.93	0.96	0.99

On remarque que la courbe obtenu représente clairement une linéarité et une pente droite positive qui passe par l'origine (0mV=0°C) sans ajouter un soustracteur et un suiveur, pour cela on a abandonné le LM335 et on a opté pour le capteur LM35.

I.2 Application de la méthode des moindres carrée :

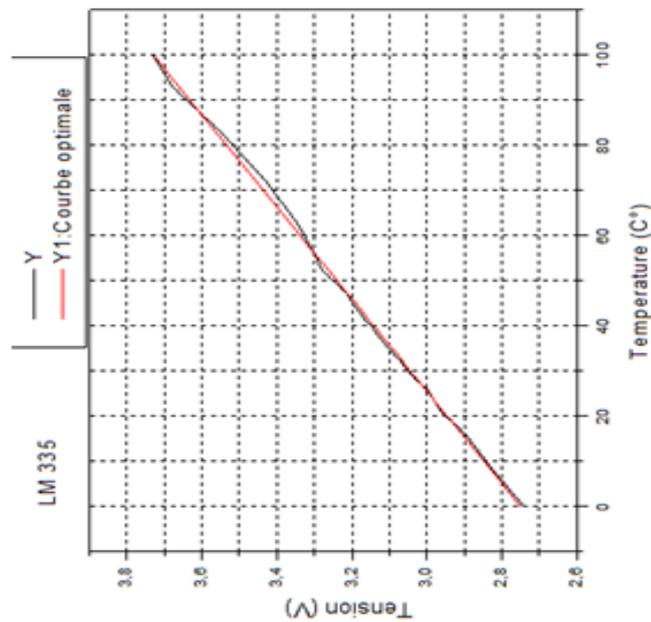


Figure (I.14) : Représentation de la température en fonction de la tension pour le LM335 après l'application de la méthode des moindres carrée

X	0	8	16	18	19	20	21	26	28	30	31	32	33	38	39	40	41	43	44	45	47	52	56	62	72	82	83	93	100	1219
Y	2.74	2.82	2.9	2.92	2.94	2.95	2.96	3	3.03	3.05	3.06	3.07	3.08	3.13	3.14	3.15	3.16	3.18	3.19	3.2	3.21	3.28	3.3	3.34	3.43	3.54	3.55	3.68	3.73	91.73
X²	0	64	256	324	361	400	441	676	784	900	961	1024	1089	1444	1484	1521	1600	1681	1849	1936	2025	2704	3136	3844	5184	6724	6889	8649	10000	68675
XY	0	22.56	46.4	52.56	55.86	59	62.16	78	84.84	91.5	94.86	98.24	101.64	118.94	122.46	126	129.56	136.74	140.36	144	150.87	170.56	184.8	207.08	246.96	290.28	294.65	342.24	373	4026.12
Y1	2.75	2.8284	2.9068	2.9264	2.9362	2.946	2.9558	3.0048	3.0244	3.044	3.0538	3.0636	3.0734	3.1224	3.1322	3.142	3.1518	3.1714	3.1812	3.191	3.2106	3.2596	3.2988	3.3576	3.4556	3.5536	3.5634	3.6614	3.73	3.73

Nombre de mesure : 29

Y1: Par la méthode des moindres carrée

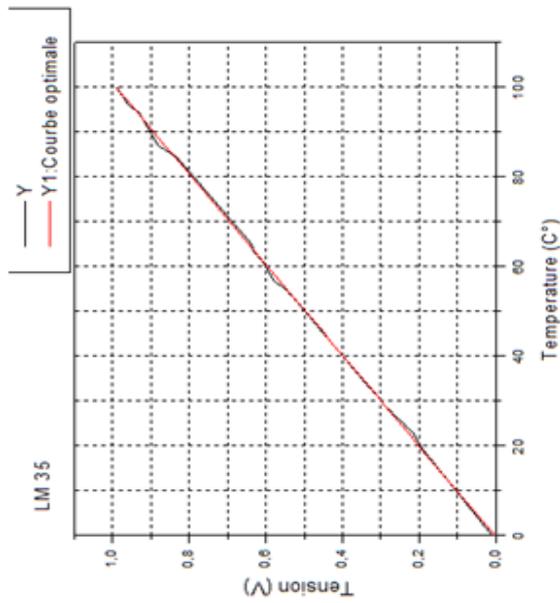


Figure (I.15) : Représentation de la température en fonction de la tension en fonction de la méthode des moindres carrés

X	0	19	23	29	31	33	40	45	46	53	55	57	61	63	65	84	87	94	96	100	1079
Y	0,01	0,19	0,22	0,29	0,31	0,33	0,4	0,43	0,46	0,53	0,55	0,58	0,61	0,63	0,64	0,83	0,88	0,93	0,96	0,99	10,77
X ²	0	361	529	841	961	1089	1600	1849	2116	2809	3025	3249	3721	3969	4225	7056	7569	8836	9216	10000	73021
XY	0	3,61	5,06	8,41	9,61	10,89	16	18,49	21,16	28,09	30,25	33,06	37,21	39,69	41,6	69,72	76,56	87,42	92,16	99	727,99
Y1	0,003	0,1911	0,2307	0,2901	0,3089	0,3297	0,399	0,4287	0,4584	0,5277	0,5475	0,5673	0,6069	0,6267	0,6465	0,8346	0,8643	0,9336	0,9534	0,993	10,993

Nombre de mesure : 20
 Y1: Par la méthode des moindres carrés

On utilise la méthode des moindres carrée pour obtenir courbe optimale concernant les mesures obtenus par l'utilisation du LM 335 :

$$\left\{ \begin{array}{l} (91,73 = a \cdot 1219 + 29b) * 42,03448276 \\ 4026,12 = a \cdot 68675 + 1219 b \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 3855,82 = a \cdot 51240,03 + 1219 b \dots\dots\dots 1 \\ 4026,12 = a \cdot 68675 + 1219 b \dots\dots\dots 2 \end{array} \right.$$

$$Y = a x + n b$$

$$XY = a x^2 + x b$$

n : Nombre de mesure

$$X = \sum x_i$$

$$Y = \sum y_i$$

$$XY = \sum x_i y_i$$

$$2 - 1 \implies 170,3 = 17434,97 a$$

$$\mathbf{a = 0,0098}$$

On remplace a dans 1 :

$$91,73 = 11,9462 + 29 b$$

$$\mathbf{b = 2,75}$$

Alors :

$$\mathbf{Y = 0,0098 x + 2,75}$$

On utilise aussi la méthode des moindres carrée pour obtenir courbe optimale concernant les mesures obtenus par l'utilisation du LM 35 :

$$\left\{ \begin{array}{l} (10,77 = 1079 a + 20 b) * 53,95 \\ 727,99 = 73021 a + 1079 b \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 581,0415 = 58212,05 a + 1079 b \dots\dots\dots \mathbf{1} \\ 727,99 = 73021 a + 1079 b \dots\dots\dots \mathbf{2} \end{array} \right.$$

$$\mathbf{2} - \mathbf{1} \implies 146,9485 = 14808,95 a$$

$$\mathbf{a = 0,0099}$$

On remplace a dans **1** :

$$0,006 = 20 b$$

$$\mathbf{b = 0,003}$$

$$\mathbf{Y = 0,0099 x + 0,003}$$

CHAPITRE II : CHAÎNE DE MESURE DU THERMOMETRE ELECTRONIQUE

Dans ce chapitre, nous aborderons la chaîne de mesure de notre thermomètre digital, qui est composé de :

- Source de tension.
- Capteur LM35.
- Arduino Uno.
- Affichage et comparateur.

II.1 Source de tension 5 V :

Tous les blocs du circuit sont alimentés par une tension +5V. Cette tension est générée à partir du circuit suivant :

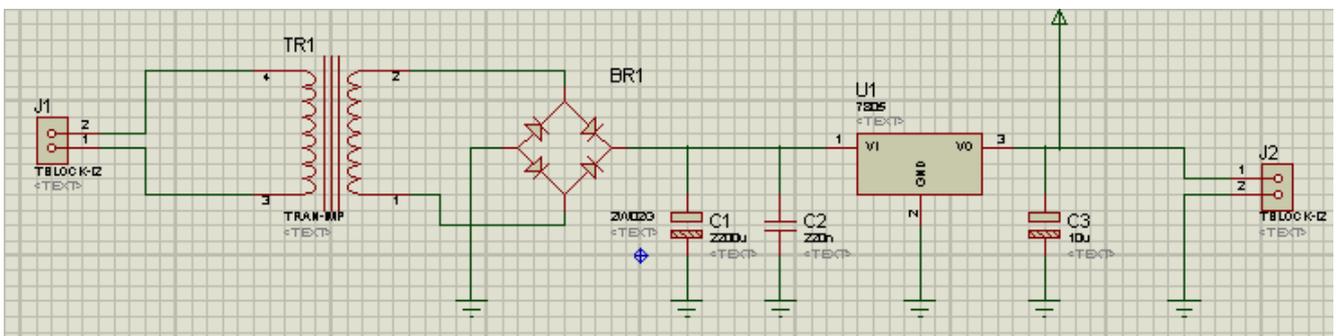


Figure II.1 Schéma électrique de l'alimentation

Le schéma électrique de l'alimentation contient quatre étages fonctionnels sont :

- **Etage abaisseur** : contient le transformateur abaisseur 9V, qui permet de passer d'une tension sinusoïdale de valeur élevée à une tension de même forme mais de valeur plus faible.
- **Etage redresseur** : contient le pont de Greatz constitué par quatre diodes qui sert à garder que la partie positive (ou négative) de la sinusoïde d'entrée.
- **Etage de filtrage** : formé de C1 ($C1=2200\mu F$) à pour rôle de maintenir la tension de sortie supérieure à une certaine valeur. Les condensateurs

($C_2=220\text{nF}$, $C_3=10\mu\text{F}$) sont conseillées par le constructeur pour réduire les bruits HF et éviter tout risque d'oscillation parasite du régulateur.

- **Etage de régulation :** contient le régulateur de tension 7805, qui assure de garder la tension de sortie constante quelque soit le courant demandé.

Les constructeurs de composants électroniques proposent des régulateurs intégrés à trois bornes, très répandus, tels que la série 78XX positives et la 79XX négatives. Ces régulateurs sont faciles à utiliser et avec un prix dérisoire. En effet, les trois bornes sont : une pour la tension non régulée d'entrée, une pour la tension régulée de sortie et une pour la masse. Le schéma de principe est représenté sur la figure (II.2)

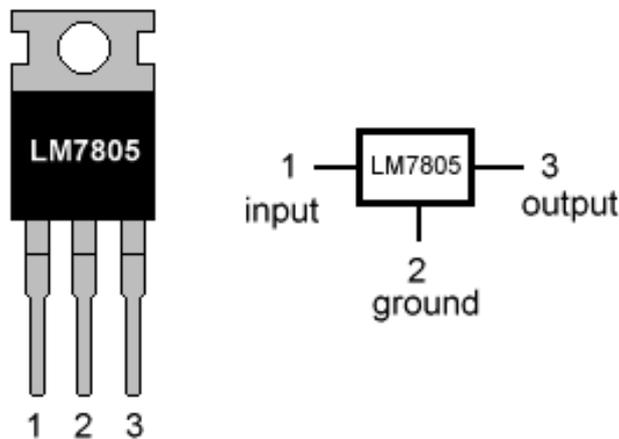


Figure II.2 Régulateur de tension

II.2 Capteur utilisé :

Le capteur de température utilisé est un circuit intégré spécialisé LM 35(annexe 4). Ce capteur utilisé appartient à la classe des capteurs actifs, il est alimenté par une source de tension. Lorsqu'il est alimenté sous une tension de 5 V, la tension de sortie est proportionnelle à la température du milieu dans lequel est plongé ce capteur.

Notons que dans notre cas la stabilité de la source de tension alimentant notre capteur est recherchée, car une perturbation de celle-ci influe directement sur la précision de mesure ; c'est pour cela nous avons ajouté un régulateur de tension du type LM7805 (5V).

Et d'après l'analyse expérimentale, on a observé que le LM35 présente une meilleure linéarité et une pente droite positive qui passe par l'origine ($0\text{mV}=0^\circ\text{C}$).pour cela on a opté d'utilisé ce capteur dans la réalisation de notre thermomètre.

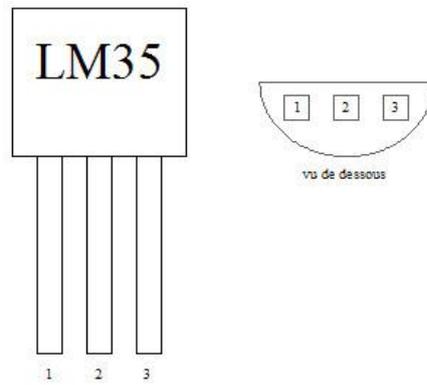


Figure II.3 : Capteur LM35

- $+V_s$ = alim positive (par rapport à la masse)
- V_{out} = tension de sortie proportionnelle à la température
- GND = masse.

Il existe plusieurs modèles de LM35. Pour la présente application, on a travaillé avec le CZ.

II.3.1 Instructions :

- Connecter tous les fils de cavalier comme indiqué sur le schéma.
- Brancher la sortie V_{out} du LM35 à la broche analogique 1, assurez-fil de terre reliée à la terre et +Vs à la broche 5V.

II.3.2 programmation du microcontrôleur (Arduino Uno) :

```
Temperature Sensor
// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>
// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
//declare variables
float tempC;
float tempF;
int tempPin = 1;
void setup(){
  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Temp1=");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Temp2=");
}
void loop(){
  tempC = analogRead(tempPin); //read the value from the sensor
  tempC = (5.0 * tempC * 100.0)/1024.0; //convert the analog data to temperature
  tempF = ((tempC * 9)/5)+32; //convert the analog data to fahrenheit
  // print result to lcd display
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(tempC,1);
  lcd.print("'C");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(tempF,1);
  lcd.print("'F");
  // sleep...
  delay(1000);
}
```

II.3.3 Explication du programme :

```
lcd.print ("Temp1 =");
```

étiquette de température d'impression.

```
lcd.setCursor (0, 1);
```

étiquette de température d'impression, l'impression démarre à la colonne 0, deuxième ligne
(0 = 1ère ligne, 1 = 2ème ligne)

```
tempC = analogRead (tempPin);
```

lecture Vout de LM35 à la broche analogique 1

```
tempC = (5,0 * * tempC 100,0) /1024.0;
```

convertir des données analogiques à lecture Celsius

```
tempF = ((tempC*9)/5) + 32;
```

convertir des données de Celsius vers fahrenheit

```
lcd.print (tempC, 1);
```

imprimer valeur tempC (1) est de 1 point décimal.

CHAPITRE III : AFFICHAGE DE LA TEMPERATURE

III.1 Affichage :

Ce projet utilise, bien évidemment des afficheurs LCD 2*16 dits à logique intégrée que l'on trouve aujourd'hui très facilement sur le marché. C'est un moyen d'affichage des informations. Et comme il ne fait aucune interprétation des codes de commandes des afficheurs il est compatible de tous les modèles existants, de 1 ou 2 lignes de 16 ou 20 caractères. Il existe deux interfaces normalisées : une version « parallèle » et une autre « série ». dans cette étude on a utilisé la version parallèle qui est composée de 2 lignes et 16 caractères.



Figure III.1: Afficheur LCD.

III.1.1 Brochage de l'afficheur LCD :

Au dessus de l'écran à cristaux liquides proprement dit, on trouve une série de 14 broches aux rôles suivantes :

- Broche 1 : masse.
- Broche 2 : Vcc.
- Broche 3 : luminosité.
- Broche 4, RS (Registre Select) : sert à dire au module dans quel registre il doit écrire les données.
- Broche 5, R/W : sélection du mode lecture ou écriture.
- Broche 6, E : Commande des opérations d'écriture ou de lecture.
- Broche 7 à 14 : utilisées pour le transfert des données ou des instructions. Le transfert peut se faire sur 8 bits, toutes les broches sont alors utilisées, ou sur 4 bits.

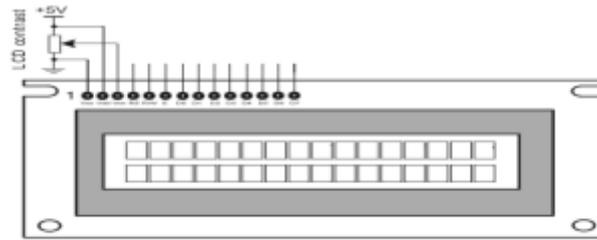


Figure III.2 Présentation d'un afficheur LCD.

III.1.2 Fonctionnement de l'afficheur LCD : [8]

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques Symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres Caractères. Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7 broches 7 A 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions telles Que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur.

III.1.3 Les avantages et les inconvénients des écrans LCD : [8]

a) **Les avantages** : la faible consommation d'énergie qui est inférieure à celle des écrans CRT et l'absence de dégagement de chaleur. Au niveau de la qualité de l'image, les écrans LCD actuels, démontrant de très bons niveaux de gris et de couleur.

b) **Les inconvénients** : Manques de luminosité, contraste limite et couleur peu saturée. Temps de repense insuffisant pour les images animées et surtout l'angle de vision trop faible.

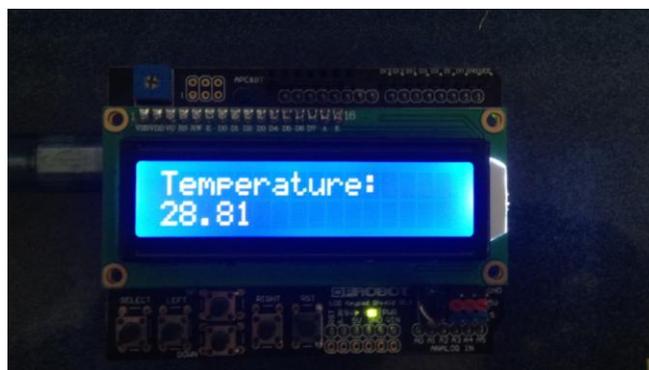


Figure III.3 Photo de l'afficheur LCD monté sur Arduino

III.2 Comparateur à fenêtre :

Pour donner un aspect de monitoring à ce thermomètre on a ajouté ce comparateur qui a été étudié pour donner une indication de la température au moyen de trois LED : une jaune pour "froid", une verte pour "tiède" et une rouge pour "chaud".

Les trois températures de consigne peuvent individuellement être ajustées entre 10 °C et 80 °C.

Ce comparateur à fenêtre peut nous être utile dans divers domaines, on peut citer quelques exemples :

- La régulation de température dans un réfrigérateur, four, chauffe-eau ...etc.
- Monitoring de température d'un malade.
- Monitoring de température ambiante dans un bloc-opérateur.

Un capteur de température de type LM35 est associé à des AOP montés en comparateurs de tension, et ces derniers sont suivis d'un encodeur de priorité de la famille CMOS CD4000. Nous le verrons plus loin, on peut se passer de cet encodeur si on accepte un mode d'affichage différent.

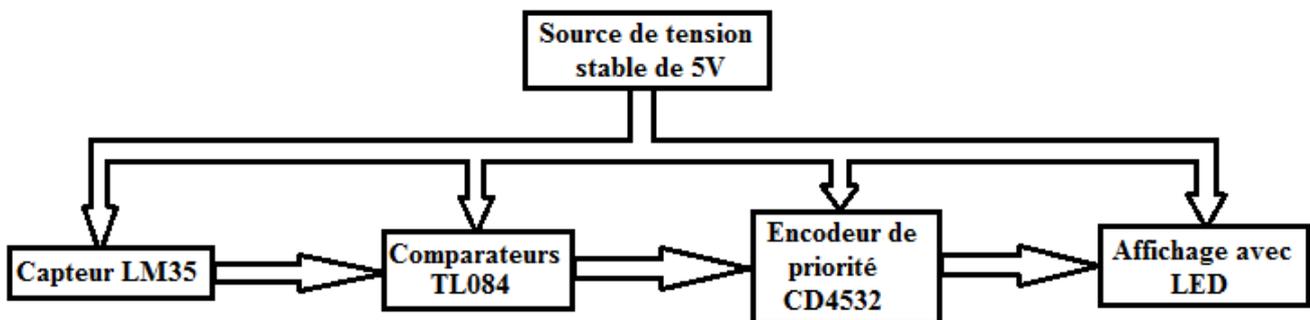


Figure III.4 Schéma synoptique du comparateur

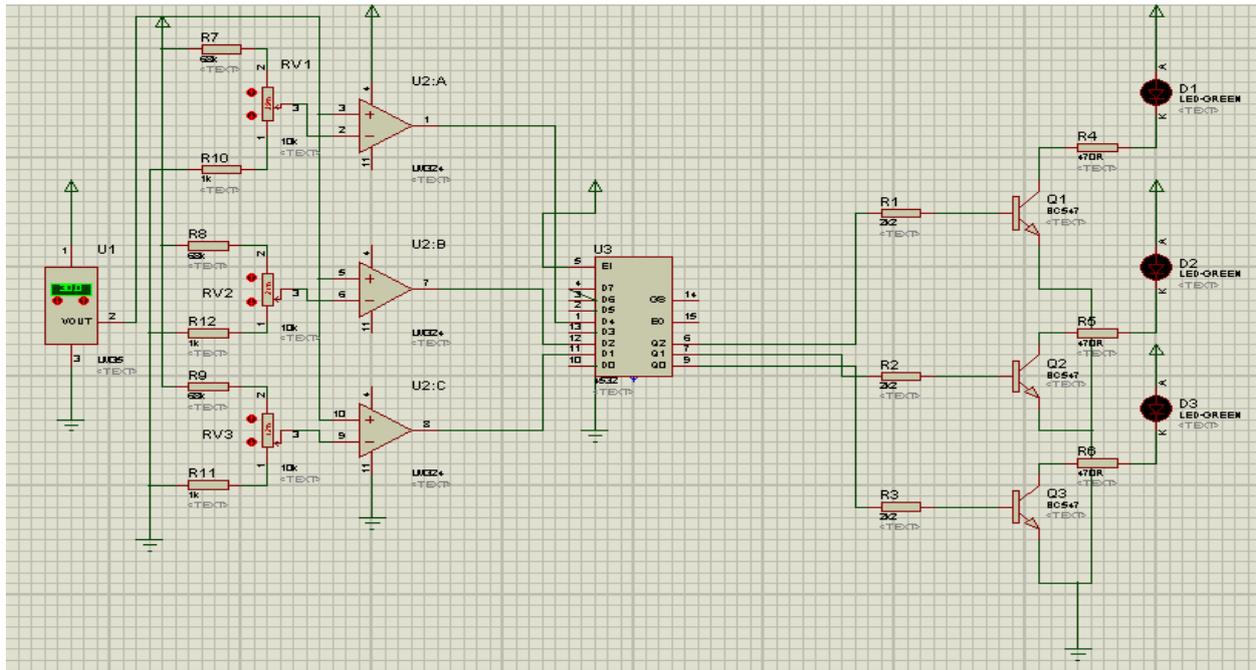


Figure III.5 Schéma électrique du comparateur à fenêtre.

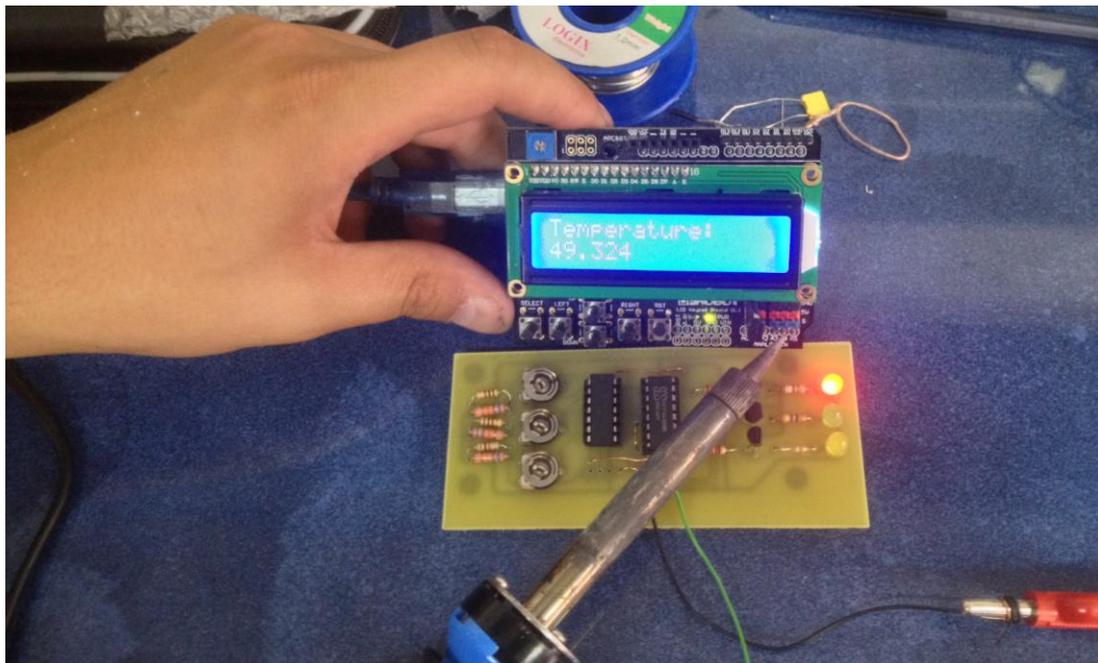


Figure III.6 : Photo du comparateur

III.2.1 étage de comparaison :

Pour le comparateur on s'est mis d'accord pour un boîtier TL084 qui contient quatre AOP, ce dernier peut être remplacé par un LM324 et qui est tout aussi répandu.

Les comparateurs sont tous utilisés de la même façon. On applique sur leur entrée inverseuse une tension de référence qui correspond à la température à partir de laquelle on décide d'allumer les LED, et on applique sur leur entrée non-inverseuse la tension qui sort du LM35 et qui est fonction de la température.

Prenons l'exemple du comparateur U2B qui est utilisé pour l'allumage de la LED "Froid". Le rapport température sur tension est le même pour les valeurs de consigne et pour la valeur mesurée, à savoir $10 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$. Si on veut que la LED "Froid" s'allume au-delà de 20 degrés, il suffit de régler le potentiomètre RV1 de telle sorte qu'on ait sur son curseur une tension de 200 mV. Pour un basculement à $25 ^\circ\text{C}$, il faudrait régler RV1 pour disposer d'une tension de seuil de 250 mV.

Même chose pour les autres réglages de seuils assurés par les potentiomètres ajustables RV2 (tiède) et RV3 (chaud). Comme les trois comparateurs sont montés en "parallèle" et de façon indépendante, le fonctionnement est le suivant :

- La sortie du comparateur U2:B passe à l'état haut si la température mesurée est supérieure à la température de consigne "froid" (mesurable en SL).
- La sortie du comparateur U2:A passe à l'état haut si la température mesurée (mesurable en TP1) est supérieure à la température de consigne "tiède" (mesurable en SM).
- La sortie du comparateur U2:D passe à l'état haut si la température mesurée (mesurable en TP1) est supérieure à la température de consigne "chaud" (mesurable en SH).
- La sortie du comparateur U2:C est dans un état quelque peu indéterminé et on s'en fiche, pour une fois.

III.2.2 encodeur de priorité :

Notez qu'avec ce type de fonctionnement, on peut avoir une, deux ou trois LED allumées selon le nombre de seuils dépassés. Pour n'avoir qu'une seule LED allumée à la fois, on a décidé d'utiliser... un encodeur de priorité. C'est une solution parmi d'autres qui reste optionnelle et qu'on a utilisé ici vu le contexte de ce projet.

Un encodeur de priorité dispose de plusieurs entrées et de plusieurs sorties, ces dernières sont activées ou désactivées selon l'état des entrées.

L'encodeur choisi est un CD4532, qui dispose de 8 entrées et de 3 sorties codées en binaire.

Le code binaire de sortie dépend de l'entrée de plus haut niveau activée. Si aucune entrée n'est activée, la sortie est à "000".

Si une seule entrée est activée, la sortie est le reflet en binaire de sa position (sortie "000" si entrée D0 activée, sortie "001" si entrée D1 activée, sortie "010" si entrée D2 activée, sortie "011" si entrée D3 activée, sortie "100" si entrée D4 activée, etc).

Si plusieurs entrées sont activées en même temps, l'entrée de plus haut rang est prioritaire et c'est elle qui est prise en compte, les autres entrées sont ignorées. Dans le cas qui nous intéresse ici, on cherche à n'avoir qu'une seule LED allumée à la fois. On évite donc d'utiliser les entrées qui conduisent à avoir un code binaire de sortie où il y a plusieurs sorties actives en même temps.

III.2.3 Affichage avec LED :

Les seuls codes binaires qui nous intéressent sont finalement "001", "010" et "100", qui correspondent respectivement aux entrées D1, D2 et D4. Ces entrées D1, D2 et D4 sont donc reliées sur les sorties des comparateurs, et les sortie de l'encodeur alimentent les LED via un petit transistor de type 2N2222 qui fait une amplificateur de courant.

Les transistors Q1 à Q3 sont conseillés voir indispensables si vous utilisez des LED standard qui réclament 10 mA à 20 mA pour s'allumer correctement, car le courant de sortie maximal du CD4532 n'est que de quelques mA sous une tension d'alimentation de 9 V. Si par contre vous utilisez des LED haute luminosité qui éclairent déjà fort bien sous quelques mA, elles peuvent être reliées directement sur les sorties Q0 à Q2 de l'encodeur de priorité.

Pour le réglage des potentiomètres deux méthodes sont possibles :

- Soit on branche un multimètre sur les points SL, SM et SH et on règle les potentiomètres pour avoir les tensions de seuils qui correspondent aux températures désirées.
- Soit on met le capteur LM35 sous l'eau et on ajuste les potentiomètres pour avoir le basculement à la température désirée et sentie à la main.

Rien ne nous empêche d'utiliser les deux méthodes, ça nous permettra de nous rendre compte, le cas échéant, que 55 °C n'est pas "tiède" pour tout le monde.

CONCLUSION

Cette étude était focalisée principalement sur la conception d'un thermomètre électronique avec en arrière plan la mise en évidence de quelques bases d'électroniques générale, l'électronique numérique en introduisant les notions de capteurs.

Pour aborder ce travail, nous avons sélectionné le capteur approprié grâce à sa précision et à sa linéarité sur un grand intervalle à l'aide d'un multimètre. Ensuite nous avons mis en place un schéma électronique de notre thermomètre qui comprend l'alimentation, capteur, microcontrôleur, afficheur et comparateur. La mise en marche du thermomètre à l'aide de plusieurs essais selon des sources de chaleur est établie pour bien élucider la température affichée selon un comparateur contenant uniquement des LEDs de couleur différentes.

La suite de notre travail a consisté à utilisation du microcontrôleur qui permet la réalisation de la conversion numérique et l'acquisition des données en utilisant *Arduino Uno*. Cet instrument a la possibilité d'effectuer les calculs pour afficher la température sur un afficheur LCD. Le résultat final est concordant et en accord avec les références bibliographiques.

Néanmoins, il est à signaler qu'au cours de nos essais au laboratoire, le manque de composantes était une contrainte pour notre expérience.

Ce modeste travail n'est pas une fin en soi mais notre contribution a suscité pour nous, les grandes possibilités de développement de cet axe comme la conception des thermomètres de divers model miniature. Les intérêts pratiques de ces thermomètres à model réduits seront d'une utilité certaine et d'une grande importance dans divers domaines d'interventions.

NOMENCLATURE

Les résistances :

R1= R2= R3=2.2K Ω

R4= R5= R6=470 Ω

R7= R8= R9=68 K Ω

R10= R11 =R12=1 K Ω

Les capacités :

C1=2200nF

C2=220nF

C3=10 μ F

Les résistances variables :

RV1= RV2= RV3=10k Ω

Les diodes :

D1 : diode rouge

D2 : diode verte

D3 : diode jaune

Les transistors :

Q1= Q2= Q3=BC547

Les circuits intégrés :

U1 : LM7805

U2 :TL084

U3 : CD4532

U4 : LM35

TR1 : Transformateur 9V

BR1 : Pont de diode

SIM1 : μ contrôleur Arduino Uno

LCD1 : Afficheur LCD

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Mr Bendimered.Z et Mr Bettfal.D «Etude et réalisation d'un thermomètre électronique»
(Pfe) Dirigé par : Mr Sari Abd El Hamid (1997-1998)
- [2] Olivier français. Capteurs et électronique associée. ESIEE-(2000)
http://www.esiee.fr/~fraciao/enseignement/version_pdf/II_capteurs.pdf
- [3] Mr Mekdad.A et Mr Zenasni.H «Conception et réalisation d'un régulateur de température»
(Pfe) Dirigé par : Mr Boussaid.A (2003-2004)
- [4] Mr Bendi.H et Mr Bouazzaoui.B « Thermomètre à thermocouple»
(Pfe) Dirigé par : Mr Boussaid.A (1992-1993)
- [5] « Chapitre 9: Les ALI En Mode Non Linéaire»
http://ashido.free.fr/Electronique_facile/Chapitre_9.php
- [6] Mr Bekkouche S.M et Mr Merah .I « Conception et réalisation d'un thermomètre électronique»
(Pfe) Dirigé par : MrDali-youcef .B (2000-2001)
- [7] Mr Amkassou.YA « Thermomètre à base d'Arduino»
(Pfe) Dirigé par : Mr Elbarbri .N (2012-2013) Université hassan 1^{er} settat
- [8] Mini projet « Etude et réalisation d'un thermomètre à base d'un pic 16F877»
Université Abderrahmane Mira- bejaia-2010

ANNEXES

Annexe 1



1N4001 - 1N4007

1.0A RECTIFIER

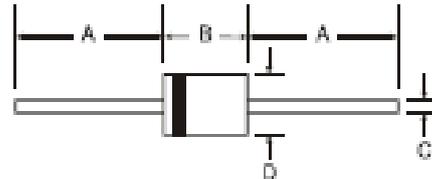
[Please click here to visit our online spice models database.](#)

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)

Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molded Plastic, UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-030D
- Terminals: Finish - Bright Tin, Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (approximate)



Dim	DO-41 Plastic	
	Min	Max
A	25.40	—
B	4.06	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}								V	
Working Peak Reverse Voltage	V _{WRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
DC Blocking Voltage	V _C								V	
RMS Reverse Voltage	V _{RRM(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = 75°C	I _O					1.0				A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}					30				A
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}					1.0				V
Peak Reverse Current @T _A = 25°C	I _{RM}					5.0				µA
at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 100°C	I _{RM}					50				µA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J					15			8	pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}					100				K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _A					+150				°C
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}					-65 to +150				°C

- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 0.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

Annexe 2

TE2 - Pt100 Temperature Sensors

Case in stainless steel

Wetted parts in acid-proof, stainless steel or PEEK

Maintenance-free, hygienic, conical tightening
metal-to-metal or metal-to-PEEK

EHDG approval

Process temperature -50...250°C

Pt100 sensors, 2-wire (single or duplex element)

DIN A or B (1/1 or 1/3) elements

Standard or fast response sensor tip

Integrated temperature transmitter (Option)

Industrial M12 plug

Defined weld-in position (M12 plug position)



Description

The TE2 Pt100 temperature sensor system has a stainless steel case with a build-in plug.

All models can be supplied as a "small, smart sensor" with an integrated, fixed-range temperature transmitter with a 4...20 mA output.

The system complies standard industrial process connections as well as hygienic connections with high cleanability and bacteria tightness.

Fast response sensor tips ensures accurate measurements. Standard DIN A or B, single or double elements connected via 2-, 3- or 4 wires can be supplied according to customers wishes.

The M12 process connection can be supplied with a PEEK cone for tightening (chuck cone). The FDA-approved PEEK material has very unique characteristics, such as high elasticity, non-floating and extremely resistant against abrasive and corrosive media. That makes it ideal for hygienic process applications.

The non-hygienic process connections are used in the general industry such as measurements on water and steam whereas the hygienic connections are ideal in CIP systems, breweries, dairies and in the pharmaceutical industry.



Annexe 3



LM135, LM135A, LM235, LM235A, LM335, LM335A

SH15150E – MAY 1999 – REVISED FEBRUARY 2015

LMx35, LMx35A Precision Temperature Sensors

1 Features

- Directly Calibrated to the Kelvin Temperature Scale
- 1°C Initial Accuracy Available
- Operates from 400 μ A to 5 mA
- Less than 1- Ω Dynamic Impedance
- Easily Calibrated
- Wide Operating Temperature Range
- 200°C Overrange
- Low Cost

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

3 Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at 10 mV/°K. With less than 1- Ω dynamic impedance, the device operates over a current range of 400 μ A to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C, the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to 150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry are especially easy.

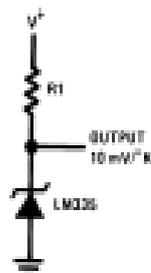
The LM135 operates over a -55°C to 150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to 125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to 100°C. The LMx35 devices are available packaged in hermetic TO transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Device Information⁽¹⁾

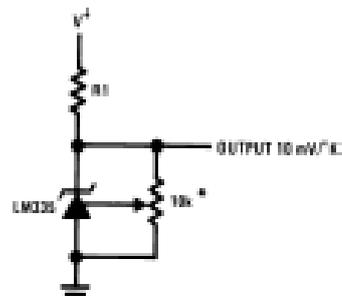
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM135	TO-48 (3)	4.699 mm × 4.699 mm
LM135A		
LM235	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
LM235A		
LM335	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
LM335A		

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Basic Temperature Sensor Simplified Schematic

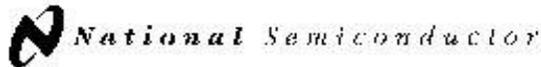


Calibrated Sensor



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Annexe 4



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 1/2^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10 with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-48 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^\circ\text{Celsius}$ (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

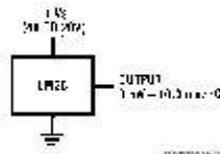
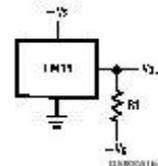


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)

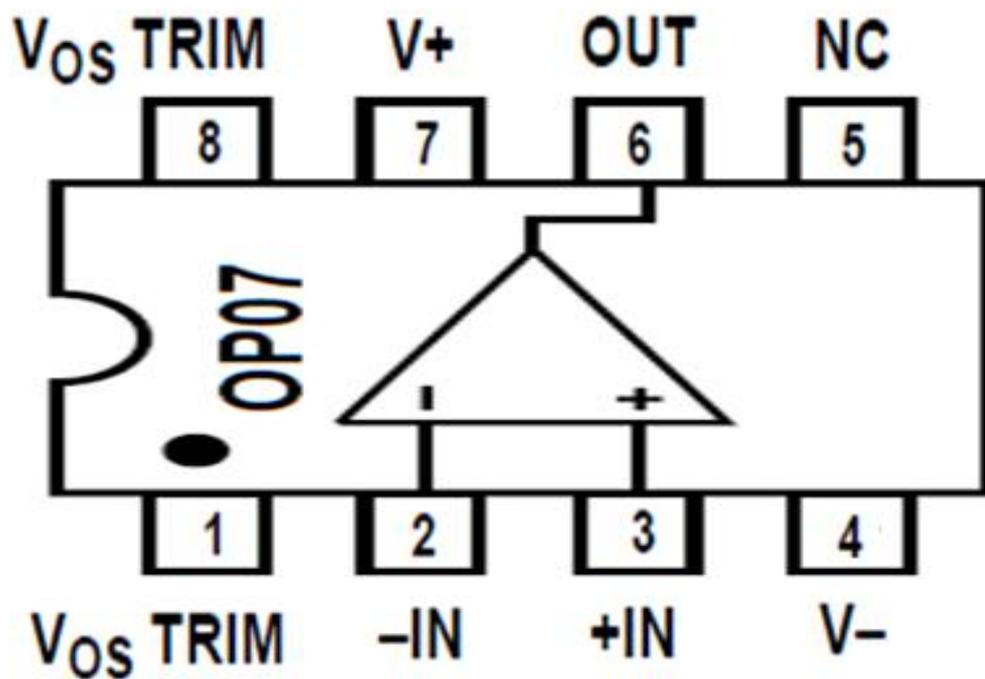


Choose $R_1 = -V_{CC}/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1.500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

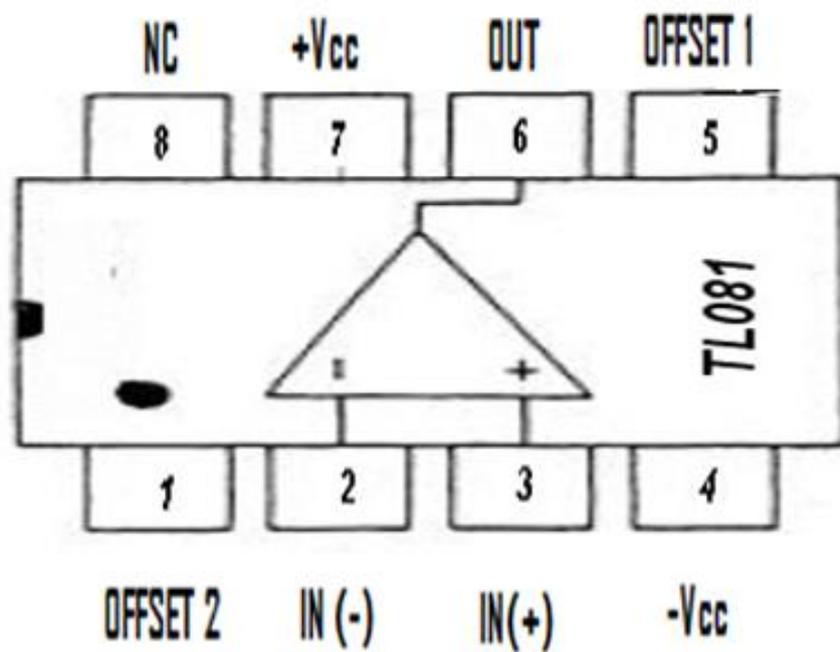
Annexe 5

NC = NO CONNECT



BROCHAGE DU CIRCUIT OP07

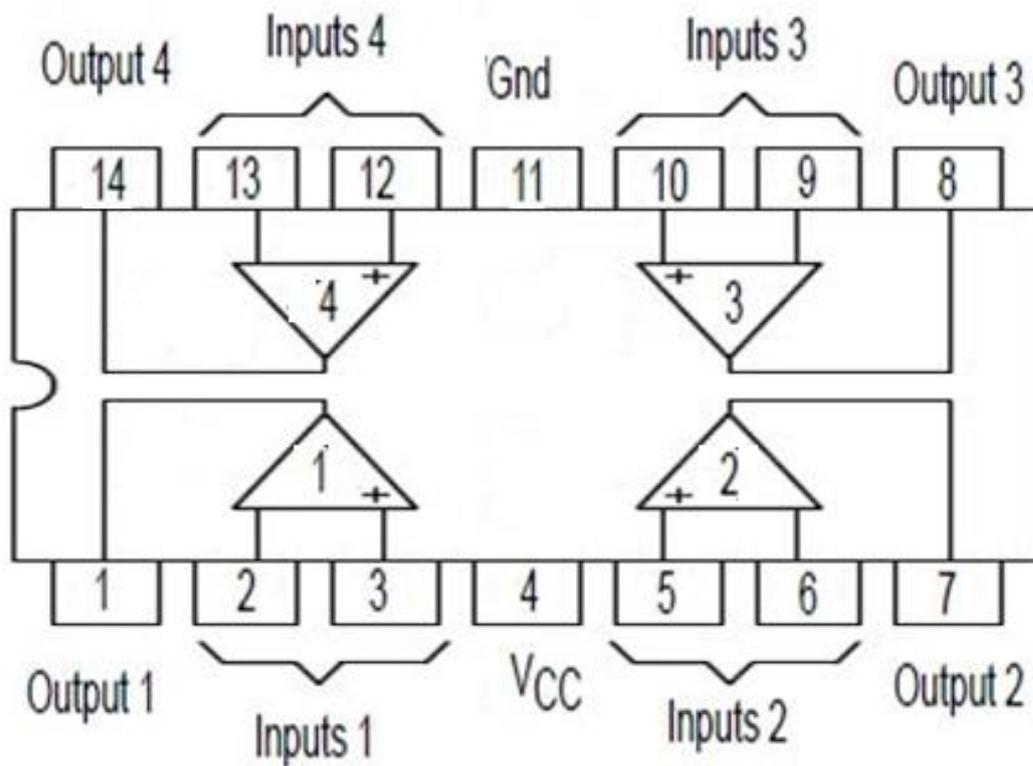
Annexe 6



BROCHAGE DU CIRCUIT TL 81

Annexe 7

Le TL 084 est constitué de 4 amplificateurs opérationnels de types TL081



BROCHAGE DU CIRCUIT TL 84

Annexe 8



Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCH5062C - Revised October 2003

CD4532B Types

CMOS 8-Bit Priority Encoder

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

■ CD4532B consists of combination logic that encodes the highest priority input (D7-D0) to a 3-bit binary code. The eight inputs, D7 through D0, each have an assigned priority; D7 is the highest priority and D0 is the lowest. The priority encoder is inhibited when the chip-enable input E_1 is low. When E_1 is high, the binary representation of the highest-priority input appears on output lines O2-O0, and the group select line GS is high to indicate that priority inputs are present. The enable-out (E_0) is high when no priority inputs are present. If any one input is high, E_0 is low and all cascaded lower-order stages are disabled.

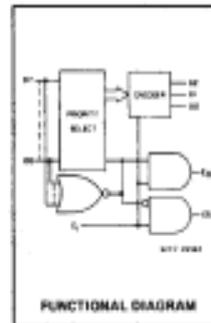
The CD4532B types are supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 16-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 16-lead small-outline packages (M, M96, MT, and NSR suffixes), and 16-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

Features:

- Converts from 1 of 8 to binary
- Provides cascading feature to handle any number of inputs
- Group select indicates one or more priority inputs
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μ A at 18 V over full package temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Noise margin (full package-temperature range):
 - 0.5 V at $V_{DD} = 5$ V
 - 1.5 V at $V_{DD} = 10$ V
 - 1.5 V at $V_{DD} = 15$ V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Device"

Applications:

- Priority encoder
- Binary or BCD encoder (keyboard encoding)
- Floating point arithmetic



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges.

Characteristic	Min.	Max.	Units
Supply Voltage Range (for T_A)	3	18	V
Full Package Temp. Range			

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD})

Voltages referenced to V_{SS} Terminal -0.5V to +20V

INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS -0.5V to $V_{DD} + 0.5$ V

DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT ± 10 mA

POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_D):

For $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$ 500 mW

For $T_A = +100^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ Derate Linearly at 12 mW/ $^\circ\text{C}$ to 200 mW

DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR

For $T_A = \text{FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)}$ 100 mW

OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A) -55°C to $+125^\circ\text{C}$

STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg}) -65°C to $+150^\circ\text{C}$

LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):

At distance 1/16 \pm 1/32 inch (1.58 \pm 0.76 mm) from case for 10s max $+260^\circ\text{C}$

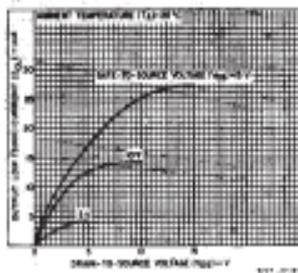
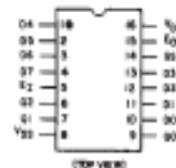


Fig. 1 - Typical output low (sink) current characteristics.

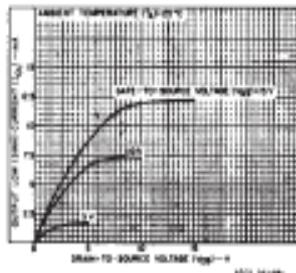


Fig. 2 - Minimum output low (sink) current characteristics.

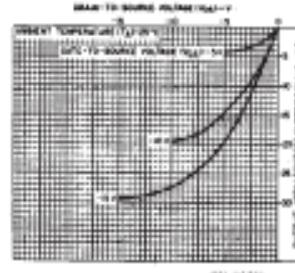


Fig. 3 - Typical output high (source) current characteristics.

COMMERCIAL CMOS
HIGH VOLTAGE ICs

Annexe 9

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

Features

- Short-Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and FTAL Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



PDIP-14
N-SUFFIX
CASE 646

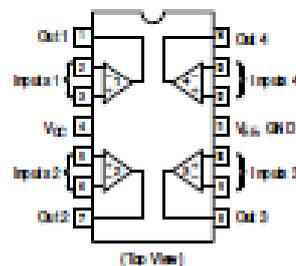


SOIC-14
D-SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB-SUFFIX
CASE 949G

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See applied ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

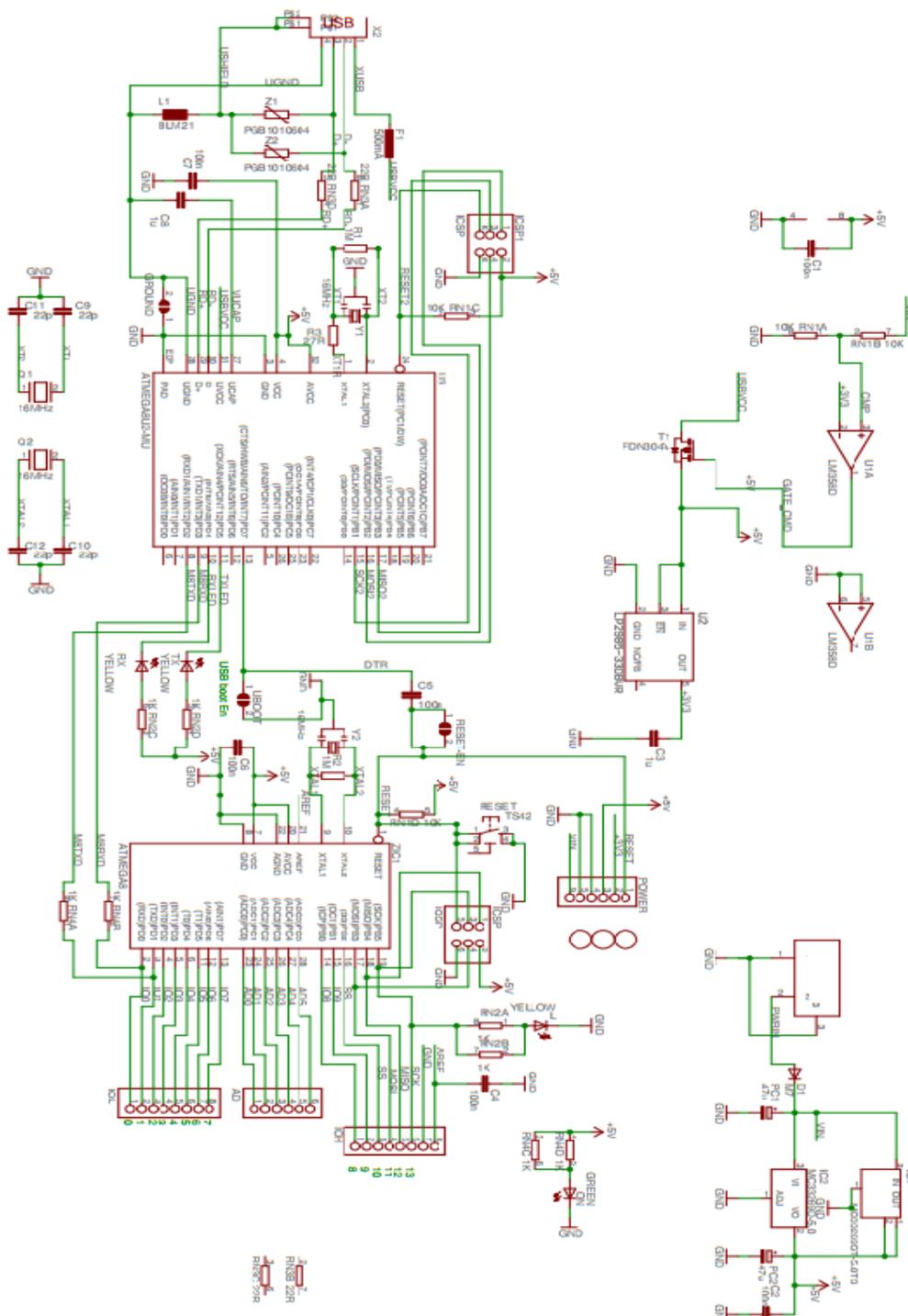
DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

Annexe 10

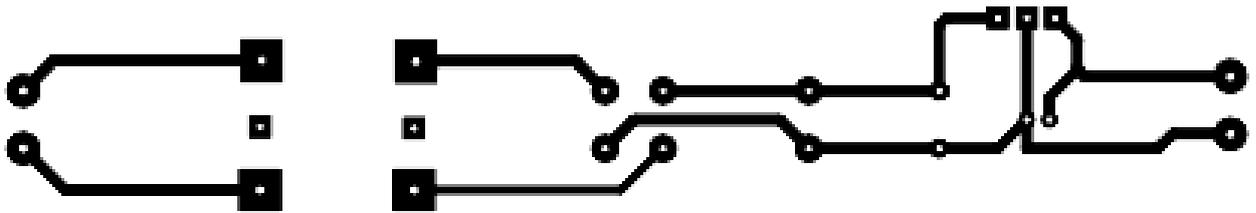
Arduino™ UNO Reference Design

AROUND MAY MAKE CHANGES TO SPECIFICATIONS AND PRODUCT DESCRIPTIONS AT ANY TIME, WITHOUT NOTICE. THE CUSTOMER MUST NOT REPRODUCE OR TRANSMIT THIS DOCUMENT IN ANY MANNER, IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM. THE CUSTOMER MUST NOT REPRODUCE OR TRANSMIT THIS DOCUMENT IN ANY MANNER, IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM. THE CUSTOMER MUST NOT REPRODUCE OR TRANSMIT THIS DOCUMENT IN ANY MANNER, IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM.

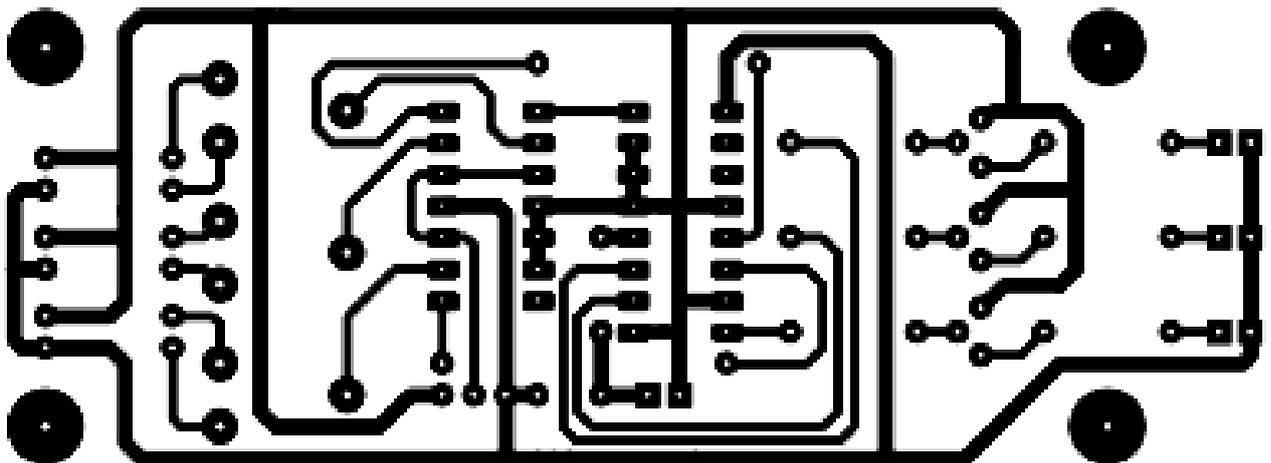


Annexe 11

1/ Circuit imprimé du regulateur de tension



2/ Circuit imprimé du comparateur



3/ Photo du thermomètre digital réalisée de notre projet fin d'étude

