



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique et Electronique

Filière : ELECTRONIQUE

Projet de Fin d'Etudes

Master : Electronique

Option : Instrumentation Electronique

Intitulé : Etude et Réalisation d'un thermomètre à diode

Présenté par :

MAZARI Abdellatif

BELLAOUEDJ Ilyès

Jury :

Président : BOUAZZA Benyounès

Encadreur : GHAF FOUR Kheireddine

Examineur : KERAI Salim

Examineur : NEMMICHE Ahmed

Année Universitaire : 2012 - 2013

DÉDICACE

Dédicace

A mes chers Parents,

Pour tous vos sacrifices pour moi, nul mot ne saura exprimer mon amour envers vous.

Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie.

A mon frère et mes sœurs,

Je vous remercie pour votre amour inconditionnel.

Que dieu vous garde, Je vous aime et je vous souhaite une vie pleine de succès et de réussite.

A tous mes amis,

Pour vos encouragements et pour avoir été là pour moi chaque fois que j'en avais besoin. A tous ceux qui m'aiment,

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réussite de ce projet

Veillez trouver ici le respect et la reconnaissance que j'éprouve pour vous.

Remerciements

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près au bon déroulement de notre travail.

En particulier, nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur :

Mr. GHAF FOUR Kheireddine, Professeur à la Faculté des sciences de l'ingénieur pour nous avoir permis de bénéficier de son aide consistante, de ses conseils judicieux, de ses connaissances intéressantes dans la matière et de la confiance qu'il nous a témoignée.

Nous voudrions à cette occasion exprimer notre profonde gratitude à tous nos enseignants qui ont contribué par leur collaboration, disponibilité et sympathie à notre formation.

Table des matières

Introduction générale.....	6
Chapitre I Thermométrie	7
I. Introduction.....	7
II. Température : histoire et échelles de mesure.....	7
III. Les Effets Thermoélectriques	8
III.1. Effet Seebeck.....	9
III.2. Effet Peltier.....	10
III.3. Effet Thomson.....	10
IV. Quelques moyens de mesure de température	11
IV.1. Thermomètres à dilatation.....	11
IV.1.1 Présentation	11
IV.2. Thermomètres à dilatation de liquide.....	11
IV.3. Thermomètres à dilatation de gaz	14
IV.4. Thermomètres à tension de vapeur.....	15
IV.5. Thermomètres à dilatation de solide	17
V. Conclusion	19
Chapitre II La Jonction PN effet de la température	20
I. Introduction.....	20
II. Théorie.....	20
II.1. Thermomètre à résistance métallique.....	20
II.2. Thermomètre à résistance semi-conductrice.....	20
II.3. Thermomètre à diode	21
III. La diode.....	21
III.1. Caractéristiques électriques.....	24
III.2. Autour de zéro.....	26
III.3. Effet de la température	27
IV. Conclusion.....	28
Chapitre III Etude et conception du thermomètre à diode	29
I. Définition	29
II. Méthode.....	29
III. Etude du Capteur de température : DIODE 1N4007	29
III.1. Caractéristique $U = f(\theta)$	29
III.2. La diode : un capteur paide température.....	29
III.2.1 Caractéristique directe ($V_d > 0$)	29
III.3. L'expérience :	30
III.4. Mesures	30
III.5. Tableau de valeurs :.....	31
III.6. Courbe $U = f(\theta)$	31
IV. Montage Conditionneur	31
IV.1. Etude Du Conditionneur :.....	32
IV.2. Etalonnage du thermomètre.....	33
IV.3. Calculs préliminaires.....	34
IV.4. Etalonnage.....	34
V. La partie d'affichage	34
V.1. Présentation	34
V.2. Schéma	34

V.3.	Principe général	35
V.4.	Tension mesurée	35
V.5.	Acquisition et affichage.....	36
VI.	Conclusion.....	36
Chapitre IV Description du thermomètre à diode réalisé		37
I.	Introduction.....	37
II.	Présentation Du Système	37
III.	Objectif principal.....	37
IV.	Les composants utilisés	38
IV.1.	Définition d'un PIC :(Programmable Interface Contrôler)	38
IV.2.	LE PIC 16F88	38
IV.3.	Fonctionnement du PIC 16F88	39
V.	Etude de l'amplificateur opérationnel	46
V.1.	Introduction	46
V.2.	Matériel.....	46
V.3.	Représentation schématique et caractéristiques.....	47
V.4.	Bande passante: BP --> ∞	48
V.5.	Etude en mode amplificateur inverseur	48
V.6.	D'autres montages à base d'amplificateur opérationnel :	49
VI.	Simulation avec le logiciel Proteus-ISIS	50
VI.1.	Présentation	50
VI.2.	Présentation générale	50
VI.3.	ISIS	50
VI.4.	ARES.....	51
VI.5.	Définition Des Dimensions De La Feuille De Travail.....	51
VI.6.	Compilation du programme sous assembleur et simulation sous ISIS	51
VII.	Les étapes de réalisation pratique de la carte.....	53
VII.1.	Le typon	53
VII.2.	Insolation	53
VII.3.	Révélation.....	54
VII.4.	Gravure	54
VII.5.	Perçage	55
VII.6.	Test du circuit imprimé.....	55
VII.7.	Soudure	56
VIII.	Conclusion.....	56
	Conclusion générale.....	56
	Annexe.....	57
	Bibliographie.....	61

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

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. Sa valeur sera utilisée pour la correction ou la compensation. Certains procédés industriels ou biologiques favorisent des environnements de températures spécifiques, ainsi la régulation de température s'impose. Cette régulation passe par la mesure de température de manière continue.

Dans ce travail nous avons fait la conception d'un thermomètre à base de diode. Notre thermomètre utilise une diode pour la mesure de température. La conversion nécessaires sont confiés au microcontrôleur, et l'affichage sur des afficheurs 7 segments.

CHAPITRE I

Chapitre I Thermométrie

I. Introduction

Autrefois, les humains se fiaient à leurs sens afin de déterminer la température d'un objet ou de l'air ambiant. Nos sens nous fournissent des indices qualificatifs de la température .

Ils sont souvent trompeurs. Nous devons donc disposer de méthodes fiables pour établir une échelle de température. Depuis plusieurs années et même des décennies, de nombreuses questions restent inexplicables quant à la façon de mesurer la chaleur. Plusieurs scientifiques, tels que Réaumur, Celsius, Fahrenheit et bien d'autres, se sont penchés sur ce sujet. Il existe aujourd'hui des techniques de toutes sortes, conçus dans l'intention de répondre aux besoins de chaque domaine.

II. Température : histoire et échelles de mesure

Le premier thermomètre véritable a été inventé à Florence en 1654 par le grand duc de Toscane. L'appareil, à alcool, portait 50 graduations. En hiver, il descendait jusqu'à 7 degrés et montait, en été, jusqu'à 40 degrés, dans la glace fondante, il marquait 13,5°.

Puis en 1702, l'astronome danois OLE Römer fabrique un thermomètre à alcool marquant l'eau bouillante à 60° et la glace pilée à 7,5°.

En 1717, le savant allemand Fahrenheit remplace l'alcool par du mercure. Il fixa à 32° la température de la glace fondante et à 96° la température normale du sang. Il donne au thermomètre sa forme définitive.

En 1730, Réaumur, physicien et naturaliste français, construisit le thermomètre à alcool pour lequel il utilisait l'échelle 0-80.

Celsius, physicien suédois construisit en 1742 un thermomètre à mercure qui marquait 0° pour la glace fondante et 100° pour l'eau bouillante.

En 1794, la Convention a décidé que le "degré thermométrique serait la centième partie de la distance entre le terme de la glace et celui de l'eau bouillante". En octobre 1948, le nom de degré Celsius a été choisi par la IX^{ème} Conférence Internationale des Poids et Mesures.

Choisir une échelle de 0 à 100, fut très difficile car le choix d'une telle échelle impliquait l'utilisation de nombres négatifs. Au XVII^{ème} siècle on ne maîtrisait pas les nombres négatifs.

Nous avons donc plusieurs échelles de mesure des températures : l'échelle Celsius nommée centigrade jusqu'en 1948 adoptée par la plupart des nations, l'échelle Fahrenheit adoptée par la Grande-Bretagne, et l'échelle Réaumur à peu près abandonnée.

Nous avons également l'échelle absolue, utilisée par les scientifiques dont l'unité est le

CHAPITRE I

Kelvin ou K (lord Kelvin, 1824-1907) : glace fondante 273,15°C, ébullition 373,15°C. Un degré K correspond à un degré Celsius, mais le zéro absolu est -273° Celsius, limite approchée de très près aujourd'hui.

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

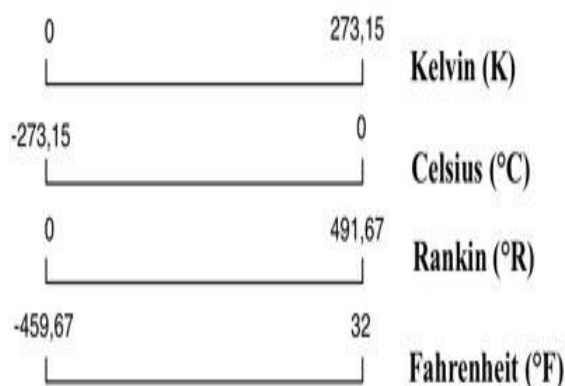
L'échelle atomique, elle est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière.

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

La plus ancienne est l'échelle centésimale (1742), attribuant arbitrairement les valeurs 0 et 100°C 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:

$$T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273.15$$

Cette dernière échelle, qui est celle du système international, ne dépend d'aucun phénomène particulier et définit donc des températures absolues. Le zéro absolu (-273,15°C) a pu être approché à quelques millièmes de degrés près.



Echelles de température

III. Les Effets Thermoélectriques

Les phénomènes de transport de chaleur et d'électricité dans les conducteurs donnent lieu à différentes manifestations connues sous le nom d'effets thermoélectriques. Ces effets, que l'on

CHAPITRE I

distingue pour la commodité de l'étude, n'ont en fait pas d'existence séparée et sont la résultante de deux phénomènes de transport (chaleur et électricité) se produisant simultanément. L'effet Joule (effet irréversible) n'est pas considéré comme un effet thermoélectrique. Il est néanmoins présent dans tout conducteur résistif parcouru par un courant, indépendamment des effets thermoélectriques pouvant se manifester.

Trois effets thermoélectriques ont été établis expérimentalement : l'effet Seebeck (1821), l'effet Peltier (1834) et l'effet Thomson (1847). Nous allons rappeler les définitions ainsi que les relations établies par Thomson entre ces différents effets.

III.1. Effet Seebeck.

Considérons une chaîne de conducteurs M_1 - M_2 - M_1 , constituée de deux matériaux différents. Soit un conducteur (par exemple M_2) soumis à un gradient de température. Les électrons du côté chaud ont une vitesse instantanée statistiquement plus grande et un libre parcours moyen plus faible que du côté froid. Ces deux effets induisent une répartition spatiale non homogène stationnaire des électrons, et donc une différence de potentiel (ddp) aux bornes du matériau. La ddp peut aller dans le sens du gradient de température ou dans le sens inverse, car les deux effets sont antagonistes et leur prépondérance dépend du matériau étudié.

Au premier ordre, on peut modéliser cet effet par une relation linéaire entre les différences de température et de potentiel aux bornes du matériau, avec un coefficient de proportionnalité a , dit "coefficient de Seebeck" ou "pouvoir thermoélectrique absolu du matériau".

En pratique, on peut mesurer cet effet que si on relie le matériau aux instruments de mesures électrique par des conducteurs de nature différente, M_1 dans le cas de la figure (sinon la ddp à mesurer serait annulée par la ddp inverse due au gradient de température opposé !). On va donc en pratique manipuler des coefficients de Seebeck à une jonction entre deux matériaux, qui ne sont rien d'autre que les différences des coefficients Seebeck des deux matériaux en contact.

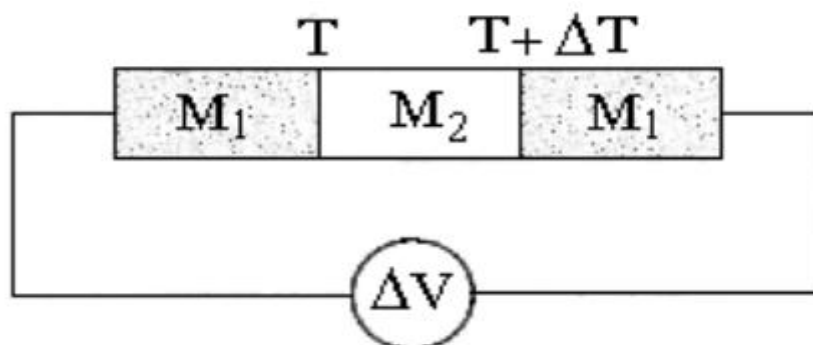


Figure 1 : Effet Seebeck.

CHAPITRE I

D'un point de vue plus formel, cet effet est caractérisé par le coefficient de Seebeck que l'on définit comme le rapport de la tension à l'écart de température lorsque ce dernier est infiniment petit :

$$a_{12}(T) = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} (\Delta V / \Delta T)$$

L'unité pratique est le $\mu\text{V K}^{-1}$; par exemple, pour une jonction Cuivre/Constantan

$$a_{12}(273\text{K}) = 39\mu\text{V K}^{-1}.$$

III.2. Effet Peltier.

Si l'on fait passer un courant électrique à travers une jonction formée de deux conducteurs différents à la même température, on observe à l'interface une absorption ou un dégagement de chaleur par unité de temps P_P proportionnels à l'intensité qui traverse la jonction : $P_P = \pi_{12}(T)I$

Le coefficient de proportionnalité $\pi_{12}(T)$ est le coefficient de Peltier de la jonction. Il dépend de la nature des matériaux et de la température de la jonction. L'unité pratique est le mV; à 273 K, on a par exemple pour une jonction Bi/Cu : $\pi_{12} = 21\text{mV}$ et pour une jonction Fe/Cu : $\pi_{12} = 3\text{mV}$.

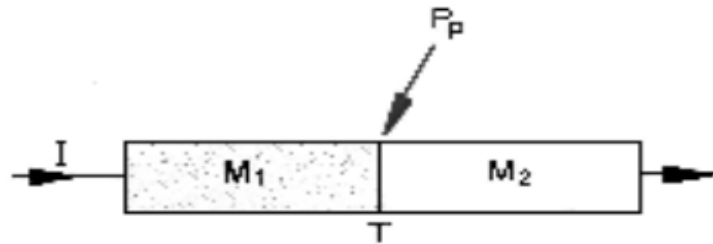


Figure 2 : Effet Peltier

Lorsque l'on inverse le sens du courant, l'effet thermique (absorption ou dégagement de chaleur) est lui-même inversé. L'effet Peltier est un effet réversible au sens thermodynamique du terme. Le signe du coefficient de Peltier π_{12} , entre deux matériaux M1 et M2, est pris positif lorsqu'un courant électrique, circulant dans le sens de M1 vers M2, entraîne une absorption de chaleur à la jonction. On notera l'analogie avec un changement de phase. Le passage des molécules d'alcool (par exemple) de l'état liquide à l'état gazeux (évaporation) s'accompagne d'une absorption de chaleur qui refroidit le doigt sur lequel l'alcool est déposé. L'effet est inverse dans le cas de la condensation

III.3. Effet Thomson.

Un conducteur unique, soumis à un gradient de température et parcouru par un courant électrique, échange de la chaleur (absorption ou dégagement) avec le milieu extérieur.

CHAPITRE I

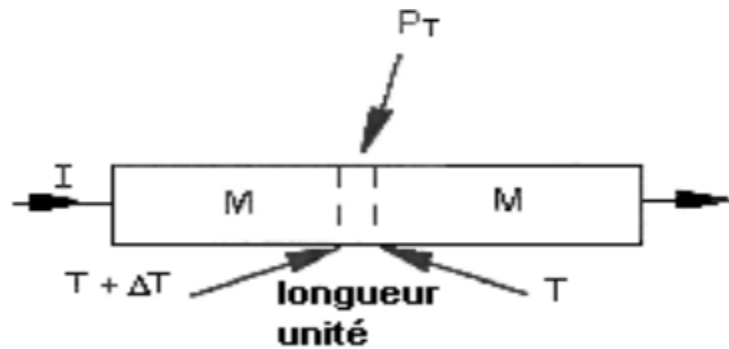


Figure 3 : Effet Thomson

Si ΔT est la différence de température entre deux points distants d'une unité de longueur, la puissance échangée P_T par unité de longueur, lorsque le conducteur est parcouru par un courant I est :

$$P_T = \tau \Delta T \cdot I$$

τ est le coefficient de Thomson. Il est cette fois caractéristique du seul conducteur considéré. L'effet Thomson est réversible comme l'effet Peltier : une inversion de courant par rapport au sens du gradient de température inverse le sens des effets thermiques. Le signe du coefficient de Thomson est pris positif si le conducteur absorbe de la chaleur lorsque les gradients de température et de tension sont dans le même sens (le courant circule de l'extrémité chaude vers l'extrémité froide). L'unité pratique est le $\mu V K^{-1}$;

Par exemple pour le Cuivre, on a $\tau = 2.2 \mu V K^{-1}$ et pour le Fer $\tau = -8.4 \mu V K^{-1}$.

IV. Quelques moyens de mesure de température

IV.1. Thermomètres à dilatation

IV.1.1 Présentation

Dans ce paragraphe, c'est la dilatation des corps qui sera le phénomène image de la grandeur thermométrique. On constate en effet que le volume d'un corps augmente en général, lorsque sa température s'élève (sans qu'il y ait de changement d'état physique). La dilatation étant réversible, elle fournit un mode pratique de repérage des températures. Ce phénomène se retrouve de façon analogue, mais avec une ampleur différente pour les liquides, les gaz et les solides.

IV.2. Thermomètres à dilatation de liquide.

a) Description

Il est constitué d'un réservoir surmonté d'un capillaire de section faible et régulière (ordre de grandeur : $D = 0,2 \text{ mm}$) se terminant par une ampoule de sécurité (utile lors d'un dépassement de la température admissible).

CHAPITRE I

Il est réalisé en verre. Sous l'effet des variations de température, le liquide se dilate plus ou moins. Son niveau est repéré à l'aide d'une échelle thermométrique gravée sur l'enveloppe.

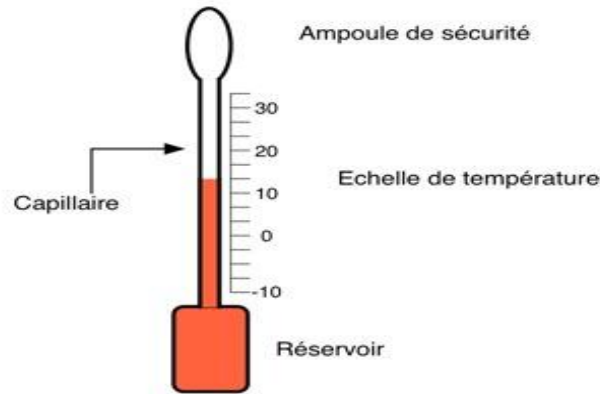


Figure 4 : Thermomètre à dilatation de liquide

b) Loi de variation

La loi de variation du volume du liquide en fonction de la température est :

$$V = V_0(1 + \alpha \cdot T) \quad \text{avec :}$$

V_0 : volume du liquide à 0 °C.

V : volume de liquide à T en °C.

α : coefficient de dilatation du liquide en °C⁻¹.

Cette équation nous montre que la sensibilité du thermomètre à dilatation de liquide est proportionnelle au volume V_0 (fonction du volume du réservoir), au coefficient de dilatation du liquide (donc au type de liquide choisi) et inversement proportionnel à la section S du capillaire

Car :

$$\Delta h = \Delta V / S$$

c) Liquides thermométriques

Liquides thermométriques	Gamme de mesure de température T (°C)
Pentane	-200 à 20
Alcool éthylique	-110 à 100
Toluène	-90 à 100
Créosote - Alcool éthylique	-10 à 200
Mercure	-38 à +650
Mercure – Thallium	-58 à +650
Mercure – Gallium	0 à 1 000

CHAPITRE I

L'espace libre au-dessus du liquide peut-être vide. Toutefois, pour empêcher la colonne de liquide de se fractionner facilement et aussi pour permettre de mesurer des hautes températures, l'espace libre est rempli d'un gaz neutre (azote ou argon) mis sous une pression fonction de la température à mesurer. La chambre d'expansion évite les trop fortes variations de pression.

d) Nature de l'enveloppe

En fonction de la température à mesurer, il y a lieu de choisir le matériau constituant l'enveloppe du thermomètre :

Verre d'Iéna jusqu'à 450 °C.

Verre Supremax jusqu'à 630 °C.

Silice pure fondue jusqu'à 1 000 °C.

e) Colonne émergente

En dehors des réglages classiques (zéro, échelle), on doit penser à corriger la mesure de la température si il est impossible d'immerger complètement la colonne.

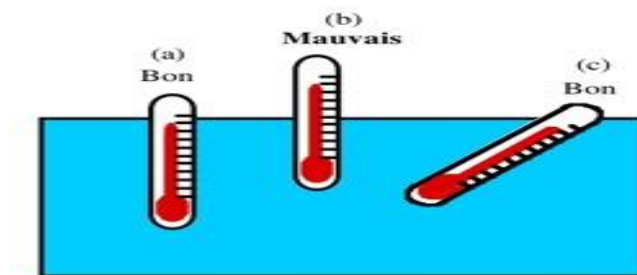


Figure 5 : Mesure de température dans d'un bain

Dans les cas (a) et (c) la colonne de liquide thermométrique est totalement immergée dans l'enceinte dont on mesure la température. La dilatation de ce liquide se fait donc pleinement.

Dans le cas (b) la colonne de liquide est immergée jusqu'à la graduation n , dans l'enceinte de température inconnue. La partie de la colonne située entre n et h est en contact avec la température ambiante. Le volume correspondant à une graduation est noté v .

Le volume à la température ambiante est :

$$V = (h-n).v$$

Ce volume est à la température ambiante, donc il en résulte un défaut de dilatation de :

$$\text{La correction à apporter est donc : } \delta h = \delta V/v = (h-n).\alpha. (x-t) \quad (4)$$

En réalité, la partie émergée n'est pas à la température ambiante. Dans la pratique on prend les 7/10 de la correction calculée. Cette correction n'étant pas très précise, on essayera, dans la mesure du possible, de positionner au mieux le thermomètre (cas a ou c).

CHAPITRE I

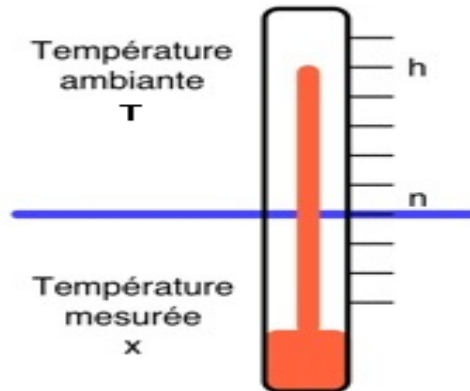


Figure 6 : Colonne émergente

IV.3. Thermomètres à dilatation de gaz

a) Rappel

L'équation d'un gaz parfait est :

$$PV = n R T, \quad \text{Avec :}$$

n : Nombre de moles.

$$R=8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}.$$

T :Température en K.

P :Pression en Pa.

On voit donc que, si l'on enferme une certaine quantité de gaz dans une enveloppe de volume constant V , la pression développée par le gaz est proportionnelle à la température absolue :

$$P= RT/V, \quad \text{avec} \quad \text{le rapport} \quad R/V = \text{constant.}$$

b) Principe

Sous une forme schématisée, un thermomètre à gaz est composé d'une sonde (A), formant une enveloppe dans laquelle est enfermé le gaz thermométrique. Cette sonde est reliée par un tube capillaire de raccordement à l'extrémité (B) d'un tube de Bourdon, appelée spiral de mesure. Cette extrémité est fixe. La longueur du tube de raccordement ne doit pas excéder 100 mètres. Sous l'effet de la température du milieu dans lequel la sonde est placée, la pression du gaz va varier, ce qui modifiera l'équilibre de l'extrémité libre du tube de Bourdon. Cette variation de pression se traduira par un mouvement de rotation de l'index indicateur qui se déplacera devant un cadran portant des graduations thermométriques.

Gaz employés dans les thermomètres

CHAPITRE I

Gaz employés dans les thermomètres	à T (°C)
Hélium	-267,8°C
Hydrogène	-239,9°C
Azote	-147,1 °C
gaz carbonique	-31,1°C

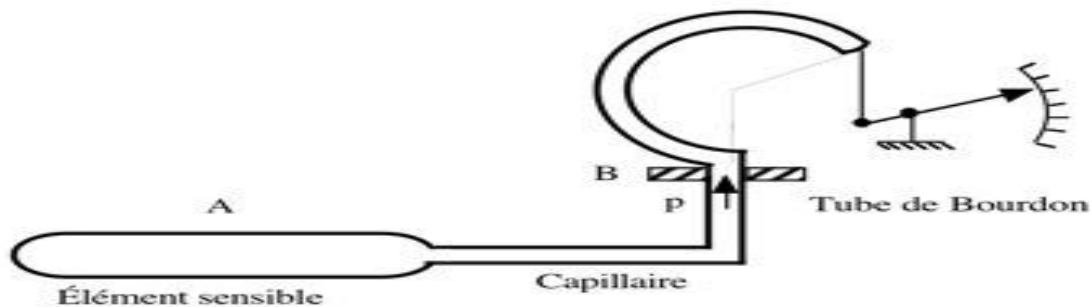


Figure 7 : Thermomètre à gaz

Remarque :

La température critique, c'est la température maximale à laquelle un gaz ou une vapeur peut être liquéfié par variation de pression uniquement.

La différence de hauteur entre la sonde sensible et la spirale de mesure est sans effet, puisque la masse du gaz est négligeable.

Le gaz doit être soigneusement séché avant l'emploi et être utilisé dans des conditions qui le rapprochent de l'état parfait.

L'avantage des thermomètres à gaz est leur précision, 1 % en mesures industrielles. Mais leur sonde est d'assez grande dimension, Ils permettent le repérage des très basses températures. Certains thermomètres à gaz sont de véritables instruments de précision, auxquels on a recours pour les déterminations de référence de la température. Le thermomètre à hydrogène en est l'exemple classique.

IV.4. Thermomètres à tension de vapeur

a) Définition

On appelle tension de vapeur d'un liquide, la pression sous laquelle ce liquide est en équilibre thermodynamique avec sa phase vapeur. La tension de vapeur n'est fonction que de la température d'un liquide donnée. T une température correspond pour le liquide choisie une pression de vapeur fixe.

CHAPITRE I

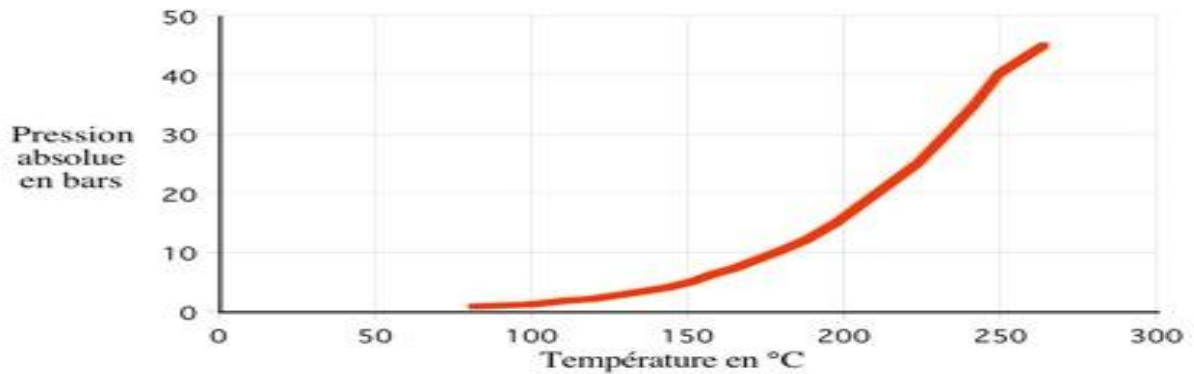


Figure 8 : Tension de vapeur saturante en fonction de la température (eau)

b) Principe

La mesure de la tension de vapeur d'un liquide permet donc de connaître sa température. La mesure thermométrique se fait par l'intermédiaire d'une mesure de pression. Les thermomètres à tension de vapeur sont très sensibles. Mais la graduation n'est pas linéaire, comme le montre la courbe de tension de vapeur ci-dessus. La réalisation la plus simple est le thermomètre à simple remplissage.

L'élément sensible est une sonde analogue à celle du thermomètre à gaz, mais le tube de raccordement plonge dans la sonde. Celle-ci et le tube de raccordement sont garnis de liquide vaporisable. Lorsque la sonde est placée dans une enceinte chaude, une partie du liquide se vaporise. Un équilibre liquide/vapeur s'établit, fonction de la température. En même temps, la pression a augmenté pour se fixer à la valeur de la tension de vapeur du liquide. Cette pression est transmise par le liquide au manomètre de mesure qui agit sur l'élément indicateur.

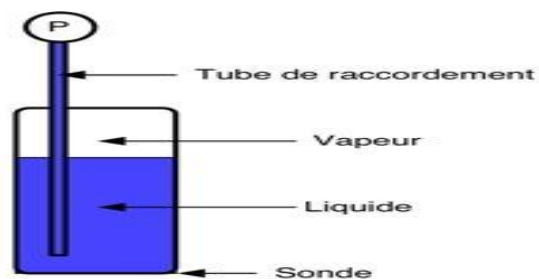


Figure 9 : Thermomètre à simple remplissage

La vaporisation du liquide se faisant toujours au point le plus chaud du système clos, les capteurs à simple remplissage ne sont utilisables que si le bulbe est à une température supérieure à la température ambiante (sinon, la vaporisation se ferait au niveau du capteur de pression). Pour pallier cet inconvénient et permettre des mesures de températures inférieures et supérieures à la température ambiante, on utilise le bulbe à double remplissage. Le liquide évaporable est placé dans la zone médiane du bulbe. C'est un liquide transmetteur non

CHAPITRE I

évaporable qui est dans le fond du bulbe et dans l'ensemble capillaire - capteur de pression. Ce liquide est soit de l'huile, soit de la glycérine. Il transmet au manomètre la pression de la vapeur.

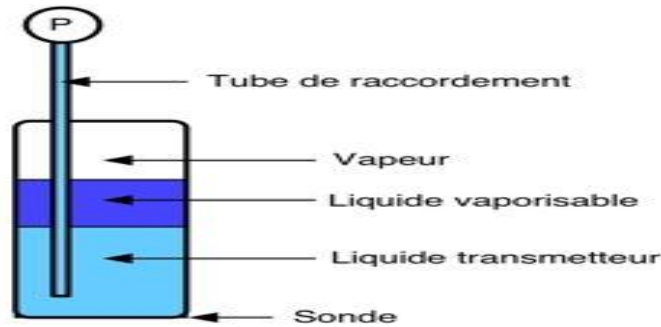


Figure 10 : Thermomètre à double remplissage

Liquides de remplissage	Température en °C	Pression en bars
Ammoniac	-20 à +60	2 à 25
Propane	0 à +100	5 à 45
Butane	+20 à +140	2 à 30
Chlorure d'éthyle	+30 à +180	2 à 50
Alcool méthylique	+60 à +220	1 à 53
Benzène	+80 à +280	1 à 43

Remarque :

La position de la sonde par rapport au capteur de pression influence sur la mesure.

L'ordre de grandeur de la classe de précision est 1 %.

IV.5. Thermomètres à dilatation de solide

a) Principe

Lorsqu'une tige métallique est portée à la température T sa longueur varie. La relation entre sa longueur L et α est :

$$L=L_0(1+\alpha T) \quad (5)$$

Avec :

L : la longueur de la tige à la température T.

L_0 : la longueur de la tige à 0 °C.

T : la température en °C.

α : le coefficient de dilatation linéaire du métal en °C⁻¹.

La dilatation linéaire du métal peut servir de grandeur thermométrique.

CHAPITRE I

Quelques valeurs de α :

$9.10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ pour le platine ;

$30.10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ pour le Zinc ;

$0,5.10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ pour l'Invar.

b) Bilame

Un bilame thermique est constituée de deux bandes d'alliage dont les coefficients de dilatation sont très différents, soudées à plat sur toute leur surface. Lorsqu'une telle bande est soumise à une variation de température, les dilatations différentes des deux faces provoquent des tensions, il en résulte une incurvation de l'ensemble.

La soudure des deux constituants doit être suffisamment intime pour que la zone de jonction soit mécaniquement aussi résistante que chacune des deux lames.

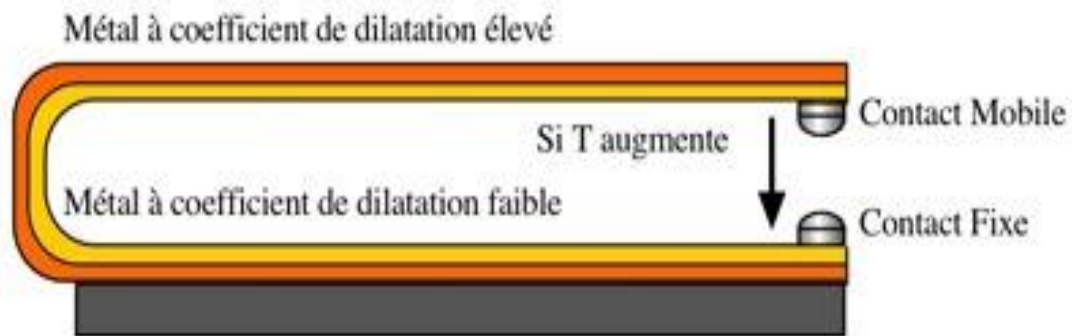


Figure 11 : Bilame

Exemple de constitution : Métal très dilatable : Alliage de fer.

Métal peu dilatable : Invar.

c) Pyromètre linéaire

La sonde est formée d'une gaine de silice dans laquelle est placé un barreau métallique dilatable. Une tige en l'invar (Ferronickel dérivé de l'invar auquel on a ajouté du chrome pour assurer un module d'élasticité constant) transmet la dilatation du barreau à un système amplificateur permettant la lecture (ou la transmission).

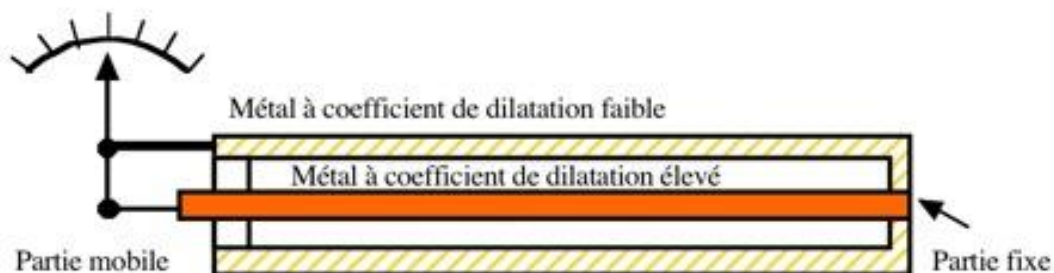


Figure 12 : Pyromètre linéaire

CHAPITRE I

V. Conclusion

Le thermomètre est un outil indispensable dans plusieurs domaines. Tout a débuté par nos Sens, mais aujourd'hui, nous profitons de plus de précision. Grâce aux scientifiques, la technologie ne cesse de s'améliorer, mais la perfection du thermomètre reste encore à venir. Bien que les techniques soient de plus en plus avancées, souhaitons que le commun des hommes puisse toujours se servir des thermomètres, car en plus d'être économiques et d'éviter plusieurs dangers, ils nous sont d'un grand secours dans la vie de tous les jours.

CHAPITRE II

Chapitre II La Jonction PN effet de la température

I. Introduction

Dans la majorité des phénomènes physiques, la température joue un rôle prépondérant. Pour la mesurer, les moyens les plus couramment utilisés sont : les thermomètres à gaz, les thermocouples ainsi que les thermomètres à résistance (métallique ou semi conductrice). De nos jours, les thermomètres basés sur un effet électrique sont les plus répandus, car le traitement des signaux est grandement facilité. Pour des mesures très précises de la température, on a encore recours aux thermomètres à gaz. Dans ce travail, nous étudierons 4 types de thermomètre qui tous délivrent une tension électrique qui dépend de la température suivant un mécanisme physique fondamental que nous décrivons brièvement ci-dessous.

II. Théorie

Lorsque la température d'un corps varie, certaines grandeurs physiques caractéristiques du corps sont modifiées : les phénomènes les plus souvent observés sont par exemple, la dilatation, la variation de la résistance électrique ou la modification du rayonnement émis. La détermination d'une température se fait toujours par la mesure de la variation d'une de ces grandeurs physiques.

II.1. Thermomètre à résistance métallique

Pour des métaux purs, la résistance électrique augmente linéairement avec la température, ceci sur une grande plage de température suivant la loi :

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha (T - 273.15)]$$

Où T est la température exprimée en kelvin, α est le coefficient de température du métal ($[\alpha] = K^{-1}$) et R_0 est la résistance à 273.15 K.

II.2. Thermomètre à résistance semi-conductrice

A l'inverse des résistances métalliques, la résistance d'un semi-conducteur diminue lorsque la température augmente. Ce comportement provient du fait que le nombre de porteurs de charge croît avec la température

$$R(T) = A_0 \exp\left[\frac{E_a}{k_B T}\right]$$

Où E_a est l'énergie d'activation des porteurs de charge [E_a] = joule, $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ Est la constante de Boltzmann et A_0 est un paramètre caractéristique du semi-conducteur [A_0] = Ω

CHAPITRE II

II.3. Thermomètre à diode

Une diode est un élément semi-conducteur qui a la propriété de ne conduire le courant que dans une direction. La relation tension courant est donc fortement non linéaire et est donnée par l'équation (5)

$$I = I_o \left\{ \text{Exp} \left[\frac{eV}{k_B T} \right] - 1 \right\}$$

où I_o est le courant inverse de la diode et est généralement très faible de quelques p A (pico= 10^{-12}) jusqu'à quelques n A (nano= 10^{-9}). Ce courant dépend également de la température suivant (6)

$$I_o = A \text{Exp} \left[- \frac{E_g}{k_B T} \right]$$

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

Aux alentours de la température ambiante (150 K à 300 K), on peut considérer A comme indépendant de la température, et l'équation (5) devient en tenant compte de (6) et du fait que $eV \gg k_B T$: (7)

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

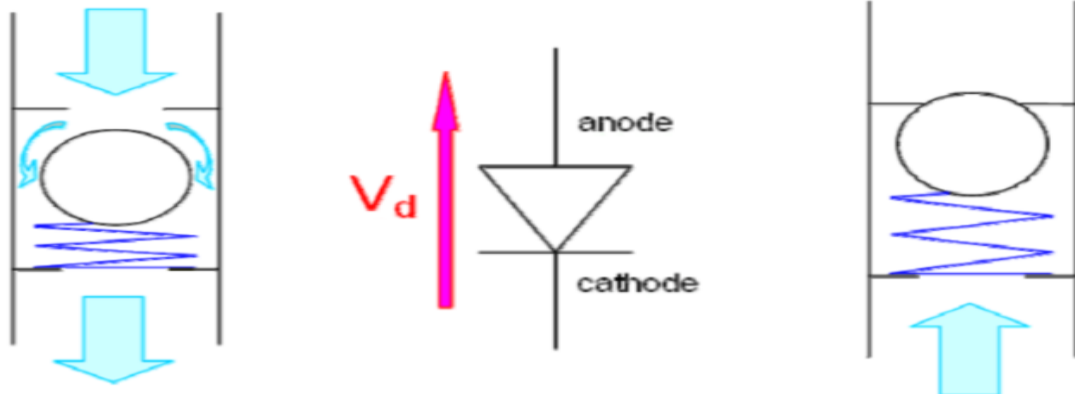
Sur un graphique V en fonction de T , on a une droite de pente négative (-2 à -3 mV/K) et dont la tension à $T=0$ donne le gap (E_g/e).

III. La diode

La diode est le composant électronique de base : on ne peut pas combiner du silicium dopé plus simplement.

Son fonctionnement macroscopique est celui d'un interrupteur commandé par une tension (V_d) qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens.

CHAPITRE II



Le clapet s'ouvre sous la pression du fluide, le fluide passe

le clapet se ferme sous la pression fluide, le fluide ne passe pas

Figure 1: Analogie hydraulique de la diode

Cette propriété lui ouvre un champ d'applications assez vaste en électronique dont les plus courantes sont :

- Le redressement du courant alternatif issu du secteur ;
- la régulation de tension à l'aide de diodes Zener, qui ont un comportement de source de tension quasi idéale.

La fonction diode a existé bien avant l'arrivée du silicium : on utilisait alors des diodes à vide (les lampes ou tubes, voir Figure 2) dont le fonctionnement était basé sur l'effet thermoélectronique. Le silicium a apporté une amélioration de la fiabilité du composant, une réduction de son encombrement, une plus grande simplicité d'utilisation et une réduction de prix.

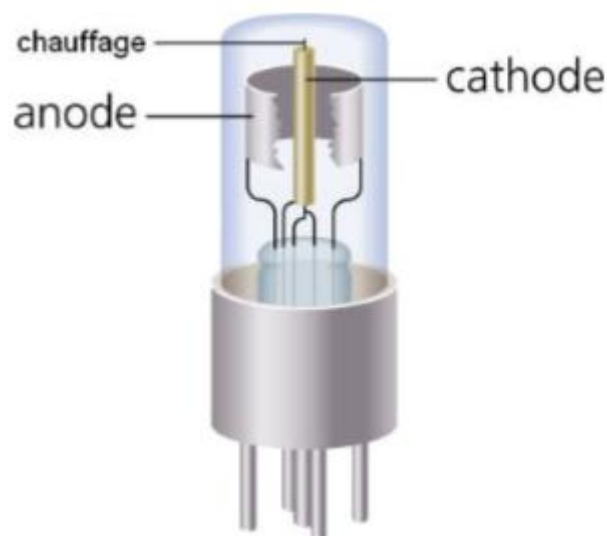


Figure 2 : diode « tube »

CHAPITRE II

La jonction PN est un élément fondamental de l'électronique. En modifiant certains paramètres (concentration en impureté, géométrie de la jonction, etc.) on obtient des composants diversifiés utilisables dans de nombreux domaines dont le classement succinct est le suivant :

- Diodes de redressement et de l'électronique de puissance
 - Diodes de redressement classique,
 - Diodes à avalanche contrôlée,
 - Diodes rapides de commutation et de récupération,
 - Diodes haute tension, etc.
- Diodes de signal dans le domaine général
 - Diodes rapides
 - Diodes à faible courant de fuite, etc.
- Diodes utilisées en avalanche inverse
 - Diodes stabilisatrices de tension (diodes « Zener »),
 - Diodes de référence,
 - Diodes de protection, etc.
- Diodes de l'électronique rapide
 - Diodes tunnel et backward,
 - Diodes Schottky,
 - Diodes varicap,
 - Diodes PIN,
 - Diodes gunn,
 - Diodes Impatt, etc.
- Diodes de l'optoélectronique
 - Diodes électroluminescentes LED,
 - Diodes laser,
 - Photodiodes,
 - Photopiles,
 - Cellules photovoltaïques, etc.
- Autres dispositifs
 - Thermistance,
 - Varistances,
 - Cellules photorésistantes,
 - Cellules de Hall, etc.

CHAPITRE II

Dans les pages qui suivent, nous nous intéresserons seulement aux diodes de redressement et aux diodes Zener.

III.1. Caractéristiques électriques

C'est la caractéristique globale courant/tension. On a vu précédemment que le courant était négligeable pour une tension $V_d = V_p - V_n$ négative (ceci est vrai jusqu'à une tension V_c dite tension de claquage). Au-dessus d'un certain seuil V_0 de tension V_d positive, le courant direct croît très rapidement avec V_d .

Le seuil V_0 (barrière de potentiel) dépend du semi-conducteur intrinsèque de base utilisé. Il est d'environ 0,2V pour le germanium et 0,6V pour le silicium. La caractéristique a la forme suivante :

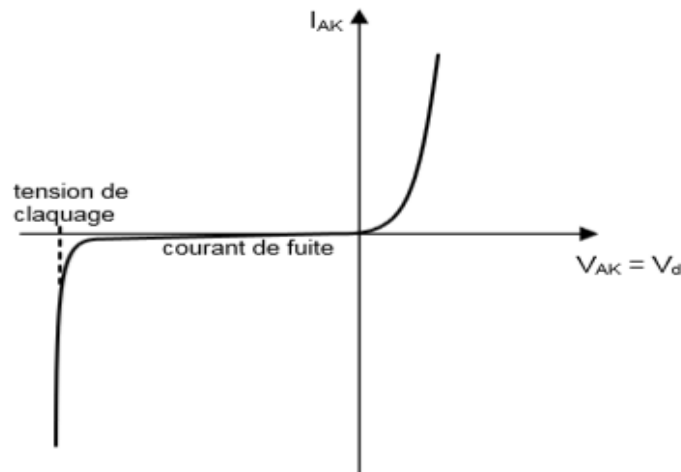


Figure 3 : Caractéristique complète

Caractéristique directe ($V_d > 0$)

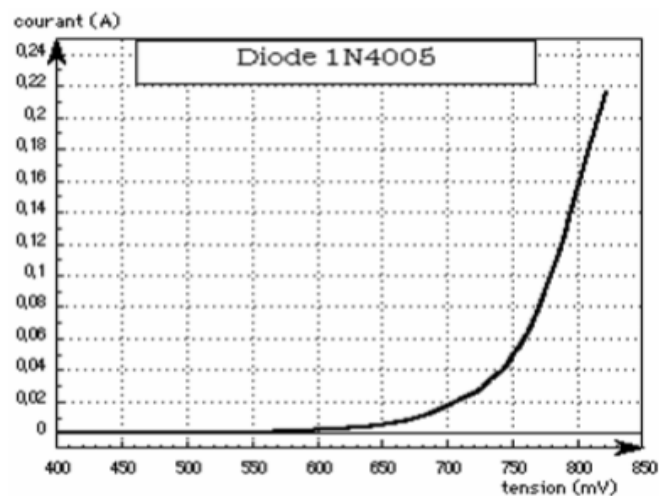


Figure 4: Caractéristique directe d'une diode.

Sur ce type de diode au silicium, le courant croît assez rapidement au-delà de 0,7V. C'est une diode de redressement supportant 1 A en direct et 600 V en tension inverse.

CHAPITRE II

La caractéristique d'une diode semi-conductrice est illustrée par les courbes de la Figure 5. Afin de bien mettre en évidence la dépendance du courant par rapport à la tension appliquée, des échelles différentes ont été utilisées. On notera en particulier (Figure 5 c et d) que l'allure de la caractéristique est pratiquement la même pour des courants faibles ou élevés ; seule la tension a changé en passant d'environ 0.6 V pour $I_D = 1\text{mA}$ à environ 0.8 V pour $I_D = 100\text{mA}$.

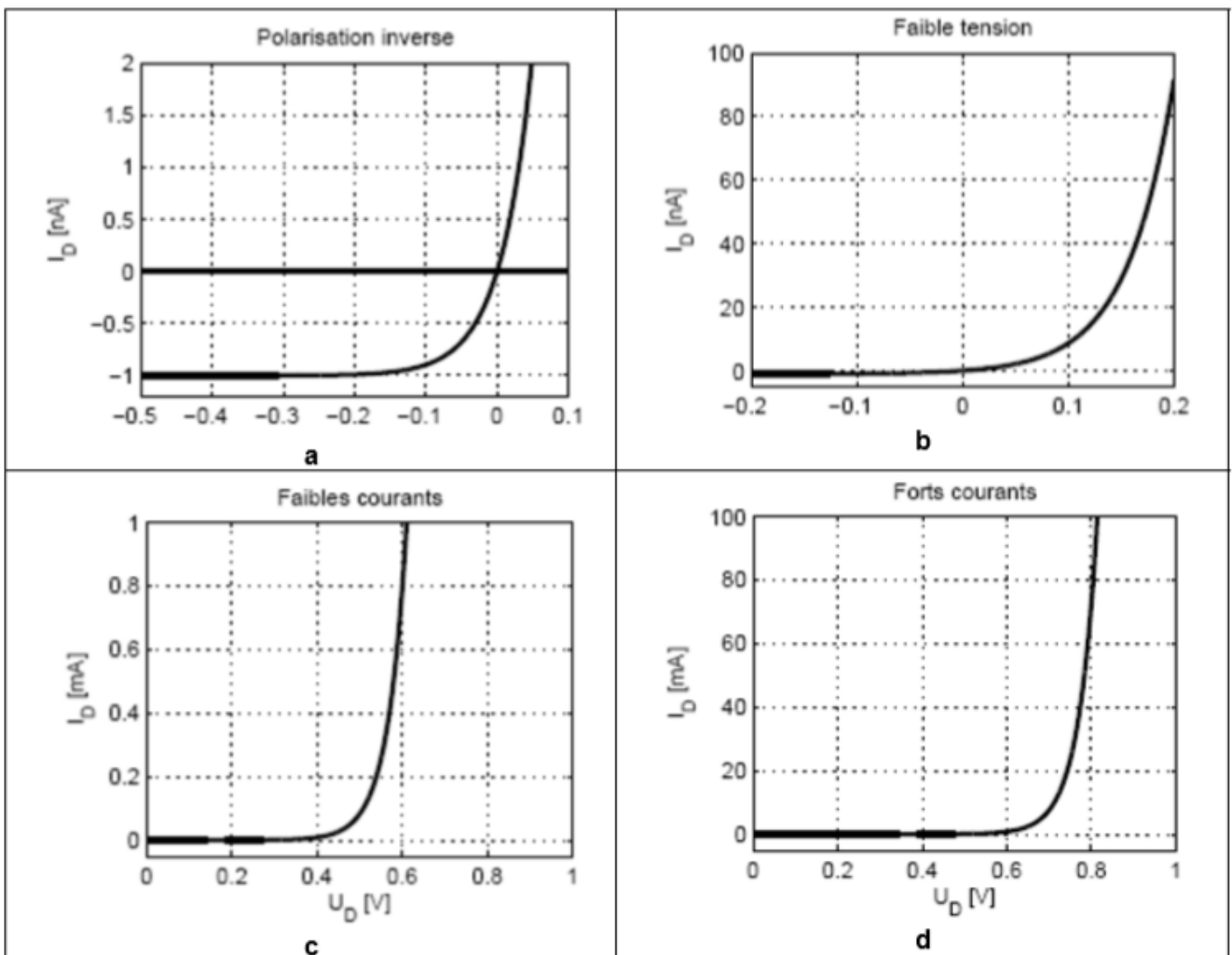
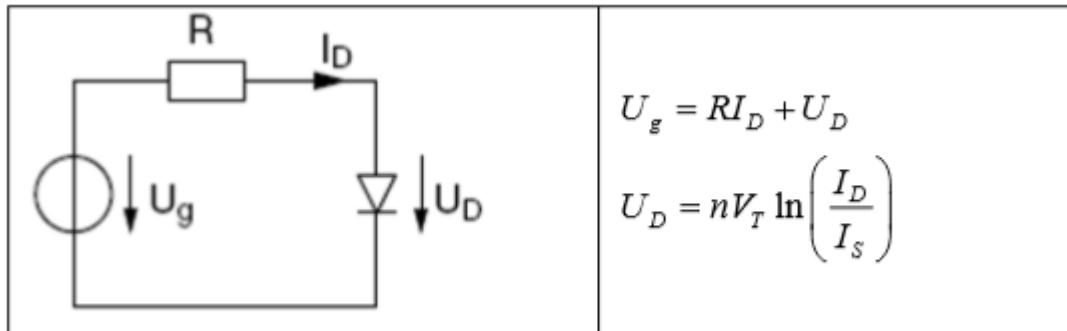


Figure 5 : Caractéristiques d'une diode a) en polarisation inverse, b) pour de faibles tensions c) pour de faibles courants, d) pour de forts courants

La connaissance de cette caractéristique non linéaire, fondamentale pour décrire le comportement des diodes, ne nous permet malheureusement pas de résoudre analytiquement un circuit constitué simplement d'un générateur, une résistance et une diode. Les équations décrivant ce circuit sont en effet non linéaires et ne peuvent pas être résolues simplement :

CHAPITRE II



Seule la donnée de modèles linéaires approchant aussi bien que possible la caractéristique de la diode permet de calculer le courant circulant dans le circuit.

III.2. Autour de zéro

La caractéristique passe par l'origine. Pour V_d négatif, le courant tend rapidement vers la limite $-I_f$ (courant de fuite), car le courant de diffusion dû aux porteurs majoritaires va s'annuler.

Caractéristique inverse ($V_d < 0$), phénomène de claquage :

Quand la tension appliquée dépasse la valeur spécifiée par le fabricant, le courant décroît (attention : il est déjà négatif !) très rapidement. S'il n'est pas limité par des éléments externes, il y a destruction rapide de la diode due à deux phénomènes :

- phénomène d'avalanche : quand le champ électrique au niveau de la jonction devient trop intense, les électrons accélérés peuvent ioniser les atomes par chocs, ce qui libère d'autres électrons qui sont à leur tour accélérés. Il y a divergence du phénomène, et le courant devient très important en un temps extrêmement court.

- phénomène Zener : les électrons sont arrachés aux atomes directement par le champ électrique dans la zone de transition et créent un courant qui devient vite intense quand la tension V_d atteint une valeur V_z dite tension Zener.

Si on construit la diode pour que le phénomène Zener l'emporte sur le phénomène d'avalanche (en s'arrangeant pour que la zone de transition soit étroite), on obtient une diode Zener. On utilise alors cette diode en polarisation inverse. L'effet Zener n'est pas destructif dans ce cas. Ces diodes sont très utilisées pour la régulation de tension.

CHAPITRE II

Équation :

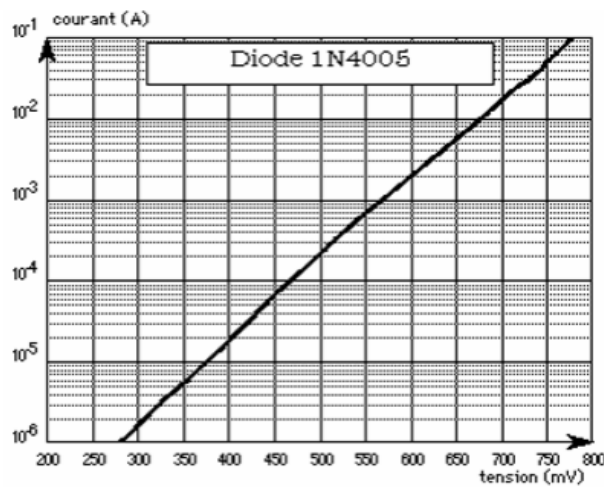


Figure 6 : Linéarité de Log (I) fonction de V.

La courbe de la Figure 6 (à l'exception de la zone de claquage) répond assez bien à la formule

$$I_d = I_f \left(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1 \right) [1]$$

suivante, expliquée par la thermodynamique statistique :

Où :

- I_f est le courant de fuite ;
- q la charge de l'électron = $1,6E-19C$;
- k constante de Boltzman = $1,38E-23 J/K$;
- T température absolue (en degré Kelvin).

La loi logarithmique [1] est bien illustrée par : la Figure 4, la Figure 5, et la Figure 6. La courbe expérimentale s'éloigne toutefois de la théorie lorsque le courant anode cathode devient important car le modèle ne tient pas compte d'autres phénomènes dont les chutes de tension ohmiques dans le semi-conducteur.

A noter que sur la Figure 6, le courant maximum représenté est égal au 1/10 ème admissible par cette diode.

III.3. Effet de la température

Pour V_d positif, la diode a un coefficient de température négatif égal à $-2mV/K$. Cette dérive en température est suffisamment stable pour qu'on puisse utiliser des diodes comme thermomètres. Pour V_d négatif, le courant de fuite I_f varie très rapidement avec la température. Il est plus important pour le germanium que pour le silicium, et croît plus vite, ce qui devient rapidement gênant. Dans le silicium, ce courant double tous les $6^\circ C$.

CHAPITRE II

Résistance différentielle (ou dynamique).

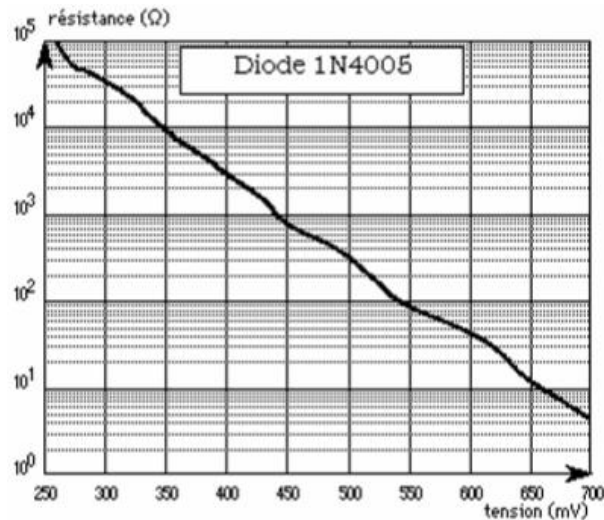


Figure 7 : Résistance dynamique.

La résistance dynamique étant l'inverse de la pente de la caractéristique en un point donné, on

$$r_d = \frac{k \cdot T}{q \cdot I_d} \quad [2]$$

peut la déduire par dérivation de la formule [1] :

C'est la résistance dynamique au point de fonctionnement (V_d , I_d). Elle est fonction du courant de polarisation I_d au point étudié.

La Figure 7 donne la valeur de r_d en fonction de la tension de la diode : les variations sont très importantes.

IV. Conclusion

Les capteurs de températures sont des composants dont une caractéristique de sortie varie proportionnellement à la température. Cette caractéristique de sortie peut être une variation de tension, de courant, de résistance.

CHAPITRE III

Chapitre III Etude et conception du thermomètre à diode

I. Définition

Un capteur est un instrument de mesure qui convertit une grandeur physique (température, flux lumineux ...) en un signal électrique (tension, intensité ...).

Dans le cas d'un capteur de température, l'objectif est d'obtenir une tension U (en V) proportionnelle à la température θ (en °C) telle que : $U = k \cdot \theta$.

L'utilisation d'un voltmètre numérique, sur le calibre mV, permet alors de lire directement une valeur de température.

II. Méthode

Première partie : Tracé de la caractéristique du capteur - grandeur thermométrique - vérification de la réponse linéaire (fonction affiné).

Deuxième partie : Réalisation d'un montage conditionneur simplifié à partir d'amplificateurs opérationnels.

Troisième partie : Acquisition d'une courbe thermométrique après étalonnage du capteur.

III. Etude du Capteur de température : DIODE 1N4007

III.1. Caractéristique $U = f(\theta)$

On vous propose d'étudier le principe d'un thermomètre électronique mettant en œuvre une diode au silicium comme capteur. Polarisée en sens direct,

On peut admettre que pour un *courant d'intensité constante* I , la tension U aux bornes de la diode varie suivant une fonction affine décroissante de la température θ .

III.2. La diode : un capteur paide température.

III.2.1 Caractéristique directe ($V_d > 0$)

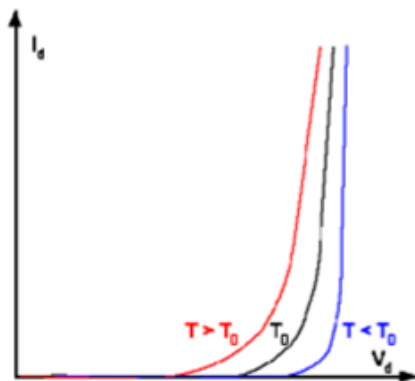


Figure 1 : effets de la température

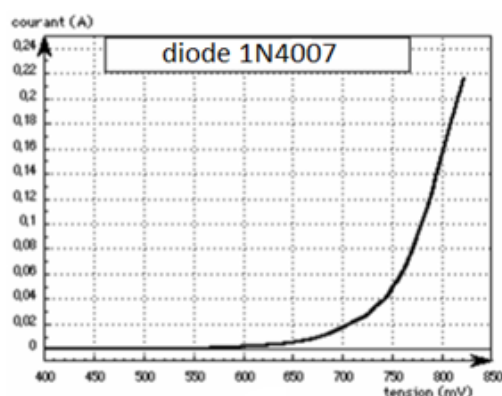


figure 2 : caractéristique d'une diode

CHAPITRE III

III.3. L'expérience :

On désire utiliser une diode au Silicium en tant que capteur de température. Pour cela, on mesure la tension U aux bornes de la diode, ainsi que la température correspondante θ et on trace le graphique $U = f(\theta)$

III.4. Mesures

Première partie : Etude du transducteur.

Pour différentes valeurs de la température θ de l'eau, on a relevé la tension U_d aux bornes de la diode.

Le transducteur employé est une diode

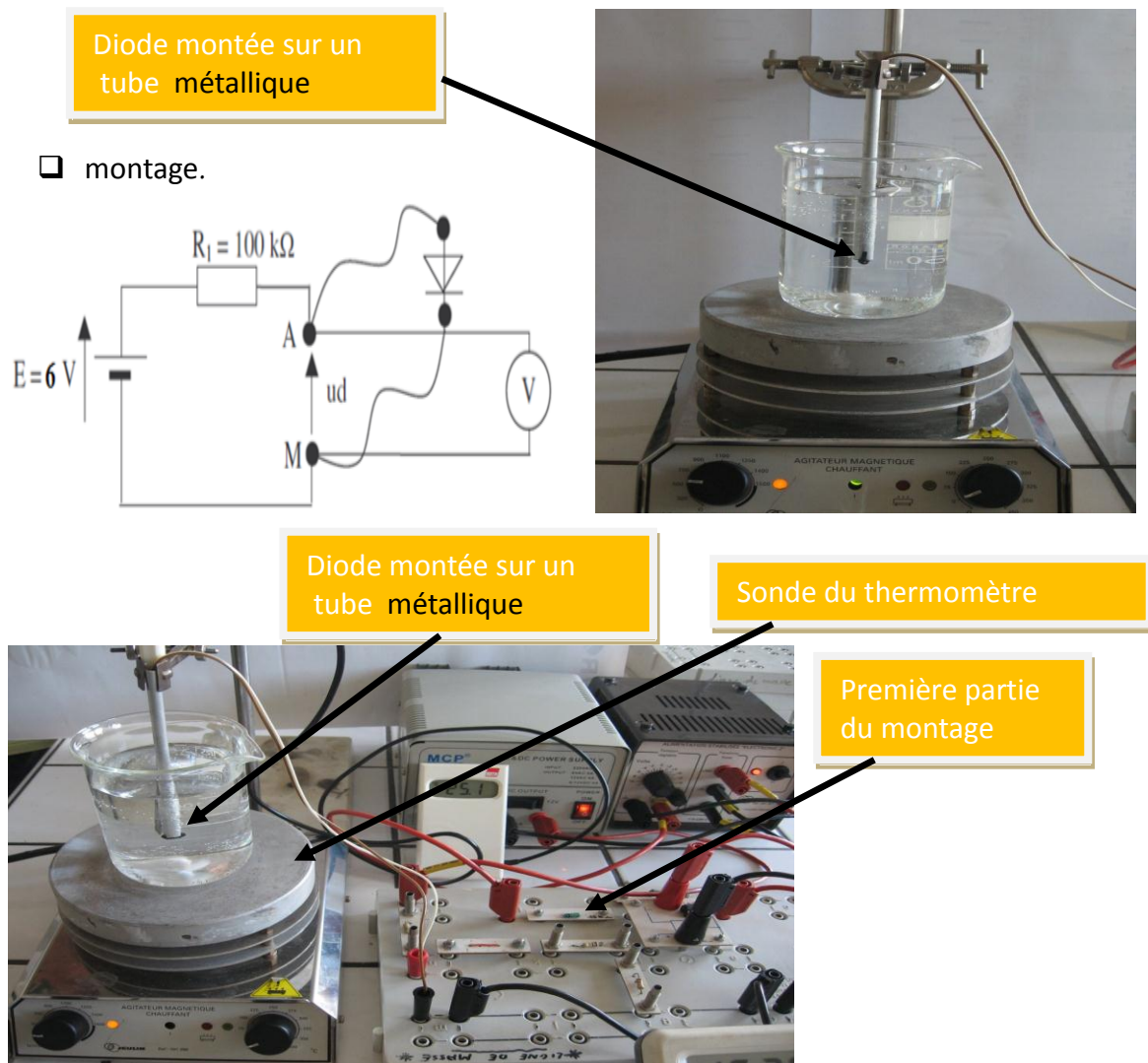


Figure 3 : Etude du transducteur

CHAPITRE III

III.5. Tableau de valeurs :

$\theta/^{\circ}\text{C}$	10	16	24	30	37	41	44	50	57	62	66	70
U_d/V	0,651	0,636	0,620	0,607	0,592	0,583	0,577	0,565	0,549	0,540	0,530	0,520

III.6. Courbe $U = f(\theta)$

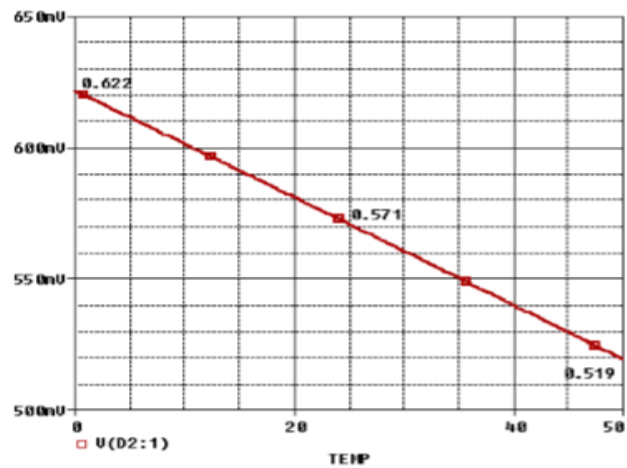
- Introduire les valeurs numériques U et θ dans un tableur et tracer la courbe

$$U = f(\theta)$$

-La tension varie avec la température en suivant une fonction affine $U = a + b.$

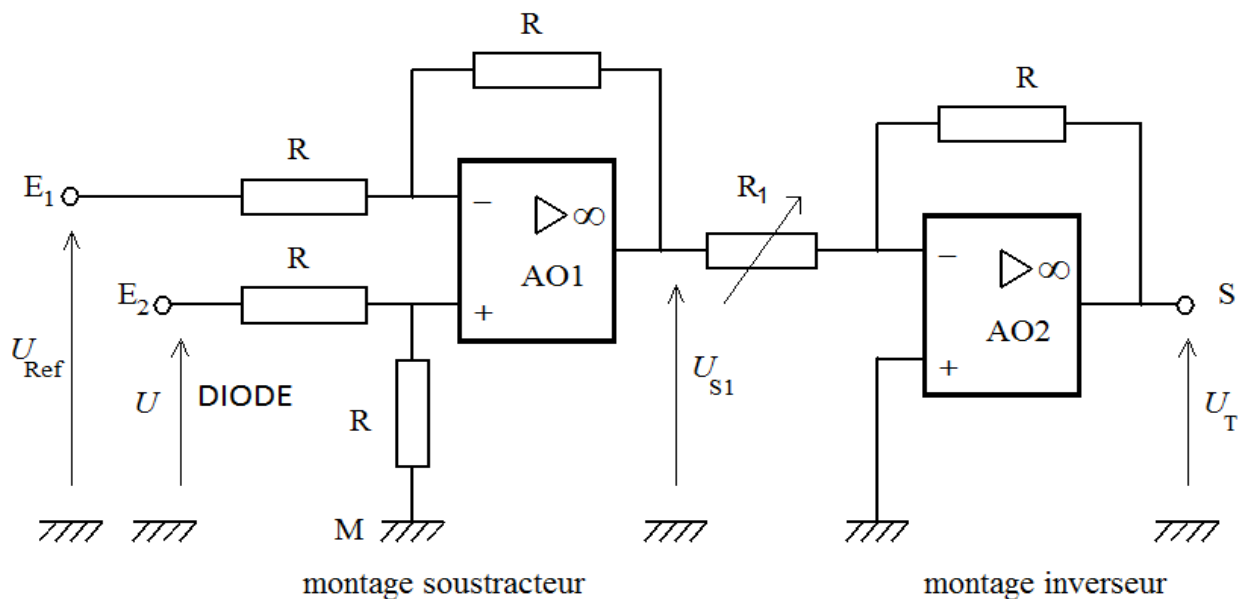
-Déterminer la valeur des coefficients a et b .

Pour $I = 2.5 \text{ mA}$, on a:
 $U (\text{enV}) = 0,615 - k \theta$
 avec θ en $^{\circ}\text{C}$ et $k = 2,15 \times 10^{-3} \text{ V} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$.



IV. Montage Conditionneur

L'ensemble est constitué d'un étage soustracteur (AO_1) suivi d'un étage amplificateur inverseur à gain ajustable (AO_2) afin d'obtenir une réponse linéaire $U_T = k \theta$.



CHAPITRE III

IV.1. Etude Du Conditionneur :

IV.1.1 Linéarisation de u_d :

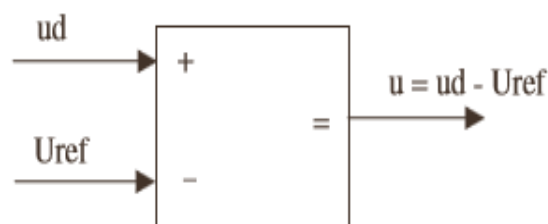
On désire obtenir $u = a \cdot \theta$.

D'après le modèle la tension u_d se met sous la forme $a \cdot \theta + b$.

Il faut donc effectuer l'opération $u_d - b = a \cdot \theta = u$, on posera $b = U_{\text{réf}}$.

IV.1.2 Comment soustraire b à u_d ?

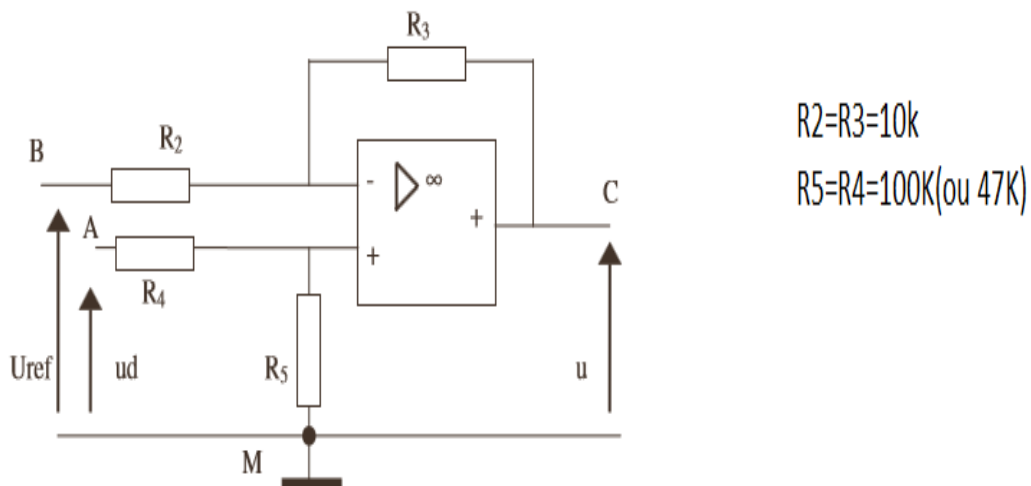
Principe



Le montage soustracteur permet d'éliminer le terme constant b de l'équation $U = a \theta + b$.

On câble ce montage en composants discrets :

IV.1.3 Mesures sur le montage



On règle $u_d = 5 \text{ V}$ et $U_{\text{réf}} = 0 \text{ V}$, on mesure u

On règle $u_d = 0 \text{ V}$ et $U_{\text{réf}} = 5 \text{ V}$, on mesure u

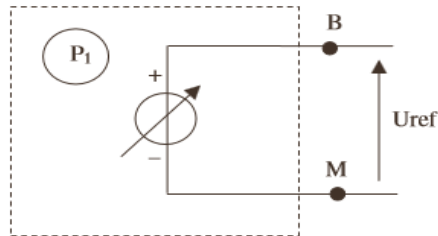
On règle $u_d = 5 \text{ V}$ et $U_{\text{réf}} = 5 \text{ V}$, on mesure u

Ce montage s'appelle soustracteur,

CHAPITRE III

IV.1.4 Comment réaliser et ajuster la tension $U_{\text{réf}}$: (rôle de P1)

On reprend la maquette entre les bornes B et M.



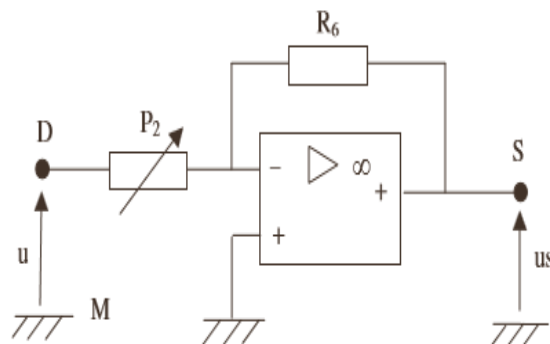
Régler le bouton de P1 pour obtenir $U_{\text{réf}} = b$

IV.1.5 Vérification du bon réglage de $U_{\text{réf}}$

On plonge le capteur, branché entre A et M, dans la glace pilée ($\theta \approx 0^\circ\text{C}$). On mesure et on note u , tension entre C et M, puis on ajuste $U_{\text{réf}}$ pour obtenir $u = 0$ en agissant sur P1 (si nécessaire), enfin on mesure et on note $U_{\text{réf}}$ et on ne touche plus à P1.

IV.1.6 Mise à l'échelle : (rôle de P2)

Rappel : on désire obtenir une tension de sortie qui varie de 0 à 1000 mV lorsque la température varie de 0 à 100 °C. a) On étudie le montage de la maquette entre les bornes d'entrée D et M et de sortie S et M.



Le montage inverseur permet d'obtenir une fonction croissante et d'ajuster le gain pour avoir une lecture directe $U_T = k \theta$ avec $k = 0,1 \text{ V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

IV.2. Etalonnage du thermomètre

Montage soustracteur :

$$U_{S1} = U - U_{\text{Réf}}$$

$$U_T = -\frac{R}{R_1} U_{S1}$$

Montage inverseur :

CHAPITRE III

IV.3. Calculs préliminaires

Calculer la valeur de la tension de référence $U_{\text{réf}}$ que l'on doit appliquer à l'entrée E_1 du soustracteur pour éliminer la constante b .

Calculer la valeur de la résistance R_1 du montage inverseur pour obtenir une tension de sortie $U_T = 0,1 \theta$

IV.4. Etalonnage

Réaliser le montage complet en remplaçant la diode dans la glace fondante ($\theta = 0^\circ\text{C}$)

Appliquer la tension U aux bornes de la diode à l'entrée (+) E_2 du soustracteur.

Appliquer et régler la tension de référence $U_{\text{réf}}$ à l'entrée (-) E_1 du soustracteur.

+ La tension de sortie U_{S1} du premier étage doit être pratiquement nulle, corriger éventuellement la valeur de $U_{\text{réf}}$ pour affiner le réglage.

Placer une résistance ajustable de valeur R_1 dans le montage inverseur.

Remplacer l'eau froide par de l'eau chaude à la température $\theta^\circ\text{C}$

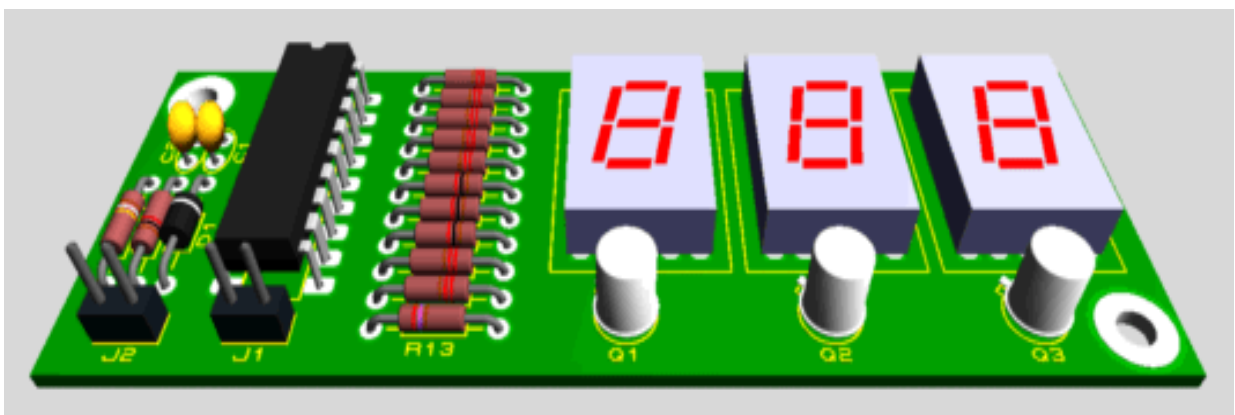
Ajuster la valeur de R_1 afin d'obtenir une tension de sortie $U_T = 0,1\theta$.

+ Afin de vérifier la qualité de l'étalonnage, observer la valeur de la tension U_T et l'indication correspondante d'un thermomètre témoin lorsque la température de l'eau varie.

V. La partie d'affichage

V.1. Présentation

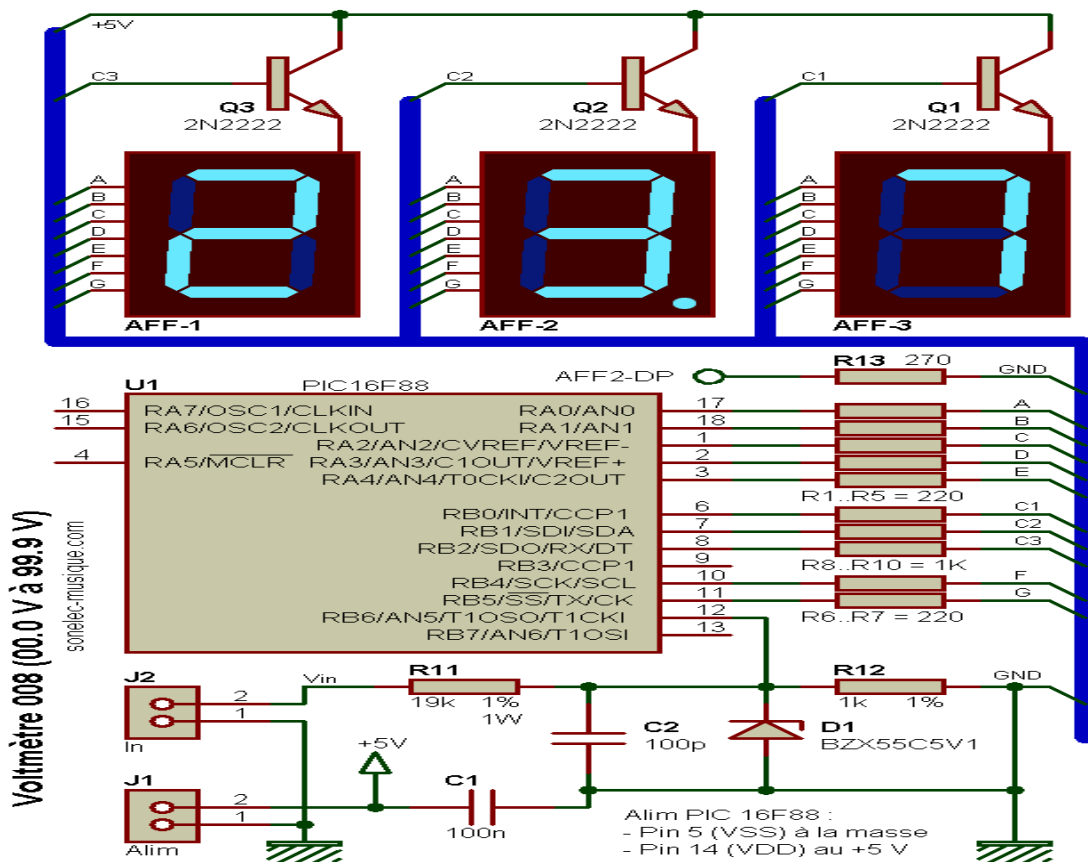
L'utilisation d'un voltmètre numérique, sur le calibre mV, permet alors de lire directement une valeur de température.



V.2. Schéma

Un circuit intégré programmable (PIC 16F88), trois afficheurs sept segments et une poignée de composants traditionnels, il n'en faut pas plus pour ce petit voltmètre "d'appoint".

CHAPITRE III



V.3. Principe général

Ce voltmètre dispose d'une résolution de quelques mV qui est directement liée à celle du CAN (Convertisseur Analogique Numérique) intégré dans le PIC 16F88 utilisé ici. La tension d'entrée, appliquée sur le connecteur J2, est atténuée dans un rapport de 20 afin d'étendre la plage d'entrée du CAN de 5 V à 100 V. L'affichage de la tension mesurée se fait via trois afficheurs sept segments de type "anode commune". Les acquisitions ont lieu approximativement toutes les 15 ms, ce qui correspond à une fréquence de rafraichissement voisine de 66 Hz. Même cadence pour le rafraichissement de l'affichage

V.4. Tension mesurée

Elle doit être appliquée entre l'entrée V_{in} et la masse. Comme le PIC est alimenté sous +5 V et que le CAN intégré ne peut accepter sans souffrir une tension supérieure à cette valeur, un diviseur de tension par vingt, constitué de R11 et R12, est monté à l'entrée du circuit. La pleine échelle du convertisseur (CAN) est obtenue pour +100 V sur V_{in} , ce qui correspond à +5 V sur l'entrée AN5 (broche 12) du PIC. La diode zener D1 de 5,1 V permet de protéger l'entrée du PIC contre toute tension d'entrée V_{in} supérieure à 100 V, qui pourrait s'avérer destructrice pour le composant.

CHAPITRE III

V.5. Acquisition et affichage

Une fois l'acquisition de la tension d'entrée effectuée, la valeur lue est "codée" afin de pouvoir être envoyée sous forme parallèle et multiplexée aux trois afficheurs sept segments. Cette façon de faire permet d'économiser sur le nombre de fils requis entre élément de commande (PIC) et circuit d'affichage (afficheurs sept segments), mais demande un poil de précautions supplémentaires pour que l'affichage se fasse sans problème

- Acquisition de la tension d'entrée (mesurée sur la broche RB6/AN5 du PIC) - valeur comprise entre 0 et 1023 - temps requis environ 92 us;
- Transformation de la valeur lue (0 à 1023) en valeur de tension (0 V à 100 V) - temps requis environ 330 us
- Transformation de la valeur unique de tension (0 V à 100 V) en trois chiffres indépendants (dizaine, unité et dixième) - temps requis environ 2 ms
- Affichage séquentiel des trois chiffres (dizaine, unité et dixième) - temps requis environ 12 ms (4 ms pour chaque chiffre)

La sommation de l'ensemble des périodes de temps requises pour chaque opération conduit au taux de rafraîchissement global de 15 ms (66 Hz), environ 200 Hz au niveau de chaque afficheur. Cette valeur est assez élevée pour tromper l'œil et limiter tout scintillement gênant.

VI. Conclusion

Il était relativement facile à mettre en œuvre un capteur de température d'une diode, la configuration de l'ampli op nous a permis de faire varier la pente avec le gain de l'amplificateur et en même temps de mettre notre référence. Tout en travaillant à DC, certaines limites de l'ampli op ne sont pas venues en jeu, tels que le produit gain-bande

CHAPITRE IV

Chapitre IV Description du thermomètre à diode réalisé

I. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter le montage électronique et on va l'étudier et le simuler et réaliser ainsi la partie pratique.

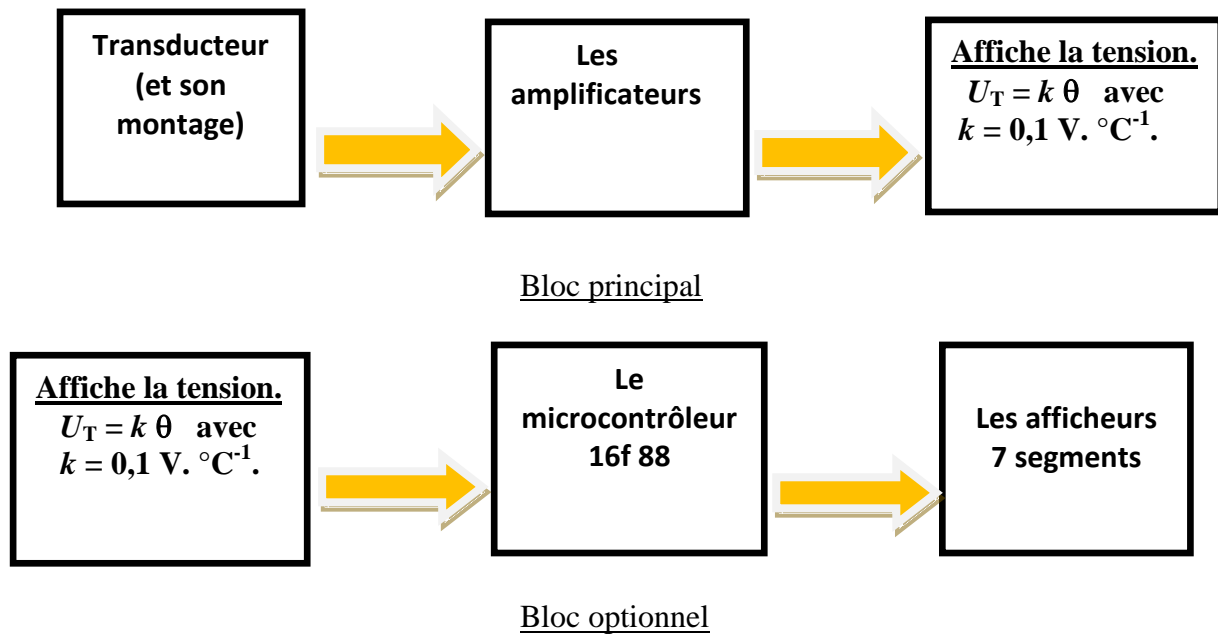
II. Présentation Du Système

Un thermomètre électronique est composé d'un capteur de température à base de diode et des composants électroniques qui ont pour rôle de traiter l'information et la rendre exploitable par l'usage.

Notre projet consistera à créer un thermomètre électronique qui devra afficher la température via de 7 segment. En somme cela se présente sous la forme d'une carte électronique pour remplacer la colonne d'un thermomètre classique.

III. Objectif principal

Créer un thermomètre électronique qui affiche la température sur les afficheurs 7 segments



Réalisation

La température devra être captée à l'aide d'une diode.

Afin de traiter les informations nous utiliserons le microcontrôleur 16F88 pour Contrôler l'affichage de la température.

CHAPITRE IV

IV. Les composants utilisés

IV.1. Définition d'un PIC :(Programmable Interface Contrôler)

Un microcontrôleur est un circuit intégré rassemblant dans un même boîtier un microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communication (entrée – sorties).

IV.2. LE PIC 16F88

IV.2.1 Caractéristiques du PIC 16F88

Ce microcontrôleur, possède jusqu'à 16 broches configurables, réparties sur 2 ports, le tout en boîtier DIL 18 broches.

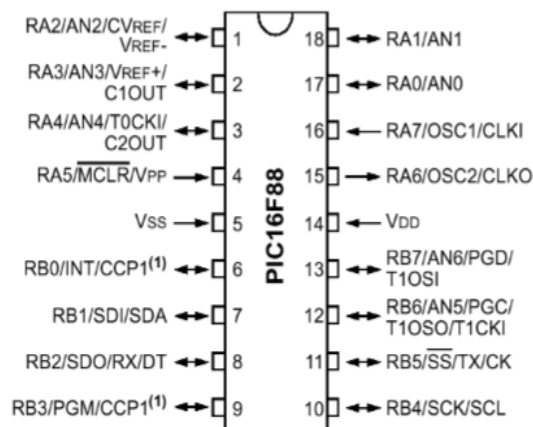


Figure 1 : brochage du circuit

Alimenté de 2 à 6 V continu, il est compatible avec le mode de programmation ICSP (In Chip Serial Programming), et dispose d'un oscillateur interne pouvant monter jusqu'à 8 Mhz. Sur oscillateur externe, le PIC peut monter jusqu'à 20 MHz.

Au niveau mémoire, ce PIC dispose de 4 KO de mémoire flash pour le firmware, de 368 octets de RAM et de 256 octets d'E²PROM.

Côté fonctionnalité, outre les E/S numériques classiques, le 16f88 dispose de 7 CAN, de 2 comparateurs, d'1 PWM 10 bits, d'1 module de communication série synchrone et asynchrone, de 3 timers, ...

Et outre cela, le 16F88 est également compatible broche à broche avec le 16F84 et le 16F628, et peut donc permettre un remplacement de ces derniers. En effet, pour rappel, le 16F84 n'est plus fabriqué, et si vous en trouvez encore chez votre revendeur, il s'agit de stock.

Remarque

Dans le cas où RA5, 6 & 7 sont utilisées en E/S, sachez que RA5 & 7 ne peuvent être que des entrées, et RA6 qu'une sortie.

CHAPITRE IV

Voici un tableau récapitulatif des principales caractéristiques du 16F88:

Caractéristiques	16F88
Broches	18
E/S max	16
µy flash	4 KO
µy EPROM	256 O
CAN	7
PWM	1 de 10 bits
TIMER	3
Comparateur	2
Interruptions	13
Oscillateur	20 MHz MAX

IV.3. Fonctionnement du PIC 16F88

IV.3.1 Les entrées/sorties

Dans cette partie, nous allons voir les différentes possibilités de chaque patte, en les désignant par leur numéro. A noter, qu'une seule fonction est disponible à la fois, par patte.

Broche 1: E/S numérique RA2, CAN2, CVREF (référence comparateur), V réf- (référence basse CAN), entrée + du comparateur 2

Broche 2: E/S numérique RA3, CAN3, VREF+ (référence haute CAN), sortie du comparateur 1, entrée + du comparateur 1

Broche 3: E/S numérique RA4, CAN4, entrée de comptage timer 0, sortie du comparateur 2

Broche 4: E numérique RA5, reset

Broche 5: Masse

Broche 6: E/S numérique RB0, interruption externe, sortie PWM

Broche 7: E/S numérique RB1, entrée data SPI, data PC

Broche 8: E/S numérique RB2, sortie data SPI, entrée asynchrone, détection synchrone

Broche 9: E/S numérique RB3, sortie PWM

Broche 10: E/S numérique RB4, horloge SPI, horloge PC

Broche 11: E/S numérique RB5, sélection esclave SPI, sortie asynchrone, horloge synchrone

Broche 12: E/S numérique RB6, CAN5, sortie oscillateur timer1, entrée horloge timer 1

Broche 13: E/S numérique RB7, CAN6, entrée oscillateur externe timer 1

Broche 14: Alimentation positive, 5V

Broche 15: S numérique RA6, entrée quartz, sortie horloge

Broche 16: E numérique RA7, entrée quartz, entrée horloge externe

Broche 17: E/S numérique RA0, CAN0, entrée – du comparateur 1

CHAPITRE IV

Broche 18: E/S numérique RA1, CAN1, entrée – du comparateur 2

Les E/S se configurent via le registre TRISA, TRISB.

IV.3.2 Les modes d'horloge

Dans cette partie, nous allons voir les différents modes d'horloge. Dans le cas d'un quartz (mode1), vous pourrez choisir horloge XT (jusqu'à 4 Mhz), ou HS (jusqu'à 20 MHz).

MODE 1 : LP, quartz low power à 32 KHz

MODE 2 : XT, quartz ou résonateur céramique jusqu'à 4 MHz

MODE 3 : HS, quartz ou résonateur céramique jusqu'à 20 MHz

MODE 4 : RC, oscillateur externe sur OSCIN, sortie de F/4 sur CLKOUT

MODE 5 : RCIO, idem mode 4, mais avec OSC2/CLKOUT en E/S

MODE 6 : INTIO1, oscillateur interne avec F/4 sur RA6 et E sur RA7

MODE 7 : INTIO2, oscillateur interne avec S sur RA6 et E sur RA7

MODE 8 : ECIO, horloge externe avec sur RA6

Le mode est configurable sur 3 bits du registre CONFIG, de 16 bits, dédiés à la configuration du PIC. L'utilisation de ce registre est transparente à travers les options du compilateur.

Les deux registres qui peuvent éventuellement réellement servir sont l'OSCON et

OSCON

	IRCF2	IRCF1	IRCF0	OSTS	IOFS	SCS1	SCS0
--	-------	-------	-------	------	------	------	------

l'OSCTUNE.

IRCF2-0: fréquence de l'oscillateur interne (voir tableau)

OSTS: en lecture seulement

IOFS: en lecture seulement

SCS1-0: oscillateur défini dans CONFIG (00), T1OSC (01), oscillateur interne RC (10)

Bit Value	Fréquence
000	31 KHz
001	125 KHz
010	250 KHz
011	500 KHz
100	1 MHz
101	2 MHz
110	4 MHz
111	8 MHz

CHAPITRE IV

OSCTUNE

		TUN5	TUN4	TUN3	TUN2	TUN1	TUN0
--	--	------	------	------	------	------	------

TUN5-0: de 011111 (max) à 000000 (défaut, neutre) puis 111111 à 100000 (min)

Dans le cas de l'utilisation de l'oscillateur interne, OSCTUNE permet d'ajuster précisément la fréquence.

IV.3.3 Les Interruptions

A chaque source d'interruption activée, correspond un drapeau, un "flag", permettant de savoir si l'interruption a eu lieu. Dans les registres, les bits terminant par un E, sauf précision contraire, correspondent à une interruption. Les bits terminant par F correspondent aux drapeaux. Chaque drapeau, une fois passé à "1" est à remettre à zéro de manière logique.

Ainsi pour savoir si une interruption a eu lieu, il suffit de surveiller le flag de l'interruption concernée.

La mise en marche des interruptions se fait via le bit GIE du registre INTCON.

Voici les registres concernés, avec les explications de chaque bit. Nous ne détaillerons pas les bits flags (finissant par F).

INTCON:

GIE	PEIE	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF
-----	------	--------	--------	------	--------	--------	------

GIE: active ou non les interruptions INTCON du PIC

PEIE: active ou non les interruptions du registre PIE1 du PIC

TMR0IE: interruption du timer 0

INT0IE: interruption externe (GP2)

PIE1:

	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
--	------	------	------	-------	--------	--------	--------

RBIE: changement d'état du port B (patte 4 à 7)

ADIE: interruption de fin de conversion des CAN

RCIE: interruption de réception de l'AUSART

TXIE: interruption de transmission de l'AUSART

SSPIE: interruption du port série synchrone (I²C, SPI)

CCP1IE: interruption du CCP1 (inutilisé en PWM)

TMR2IE: interruption de comparaison timer 2, PR2

CHAPITRE IV

PIR1:

	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF
--	------	------	------	-------	--------	--------	--------

TMR1IE: interruption de timer 1

Le registre PIR1 contient tous les flags du registre PIE1.

OSFIE: interruption de problème d'oscillateur

PIE2:

OSFIE	CMIE		EEIE				
-------	------	--	------	--	--	--	--

CMIE: interruption de comparateur

PIR2:

OSFIF	CMIF		EEIF				
-------	------	--	------	--	--	--	--

EEIE: interruption de fin d'écriture E²PROM

Le registre PIR2 contient tous les flags du registre PIE1.

IV.3.4 Les TIMERS

Ils sont au nombre de 3. Un timer permet de compter le temps, ou des impulsions. Chaque timer possède des spécificités précises. La compréhension à 100% des timers est assez difficile. Heureusement, la plupart des compilateurs nous permettent de nous en servir de manière relativement transparente.

TIMER 0

Ce timer est le timer de base, et se configure via le registre OPTION_REG.

Timer 8 bit, le timer 0 est un compteur pouvant être initialisé à une valeur donnée, via le

OPTION_REG

RBPU\	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
-------	--------	------	------	-----	-----	-----	-----

registre TMR0 (charger la valeur désirée dans ce registre). Lorsque l'interruption du timer 0 est activée, le passage de 0xFF à 0x00 du timer provoque l'activation du flag du timer0.

RBPU\ : port B pull up activé (1) ou désactivé (0)

INTEDG: interruption sur front montant (1) ou descendant (0) de GP2

T0CS: utilisation de l'horloge interne (0, f/4) ou de l'entrée T0CKI (1)

T0SE: incrémentation sur front montant (0) ou descendant (1) de T0CKI

PSA: prédiviseur pour le watchdog (1) ou pour le timer 0 (0)

CHAPITRE IV

Bit Value	Timer 0	Watchdog
000	1:2	1:1
001	1:4	1:2
010	1:8	1:4
011	1:16	1:8
100	1:32	1:16
101	1:64	1:32
110	1:128	1:64
111	1:256	1:128

PS2-PS0: prédiviseur (voir tableau ci-dessous)

Remarque

L'INTEDG ne sert que si l'interruption sur GP2 est activée.

TIMER 1

Second timer, il est sur 16 bits. Ce registre se configure via T1CON. Tout comme le timer 0, le timer 1 est initialisable en chargeant la valeur désirée dans les 2 registres dédiés: TMR1H pour l'octet supérieur, et TMR1L pour l'octet inférieur. A noter que l'entrée timer 1 (autre que

T1CON

	T1RUN	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC\	TMR1CS	TMR1ON
--	-------	---------	---------	---------	---------	--------	--------

T1CKI), est en fait une porte logique inverseuse.

T1RUN: horloge système dérivée de l'oscillateur du timer 1(1) ou non

T1CKPS1-0: prédiviseur du timer 1 (voir tableau ci-après)

T1OSCEN: oscillateur timer 1 actif (1) ou non

T1SYNC\ : actif si TMR1CS=1. Le timer 1 se synchronise sur l'entrée horloge externe (0) ou non (1)

TMR1CS: fonctionnement sur horloge interne (0, f/4), ou T1CKI (1)

TMR1ON: active (1) ou non le timer 1

Bit Value	Timer 1
00	1:1
01	1:2
10	1:4
11	1:8

CHAPITRE IV

TIMER 2

Troisième timer du PIC, et second timer 8 bits, le timer 2 est notamment utilisé pour générer la PWM. Il possède également, en plus d'un prédiviseur, un post diviseur. Il est, lui, initialisable via le registre TMR2. La période du timer 2 peut être configurée via PR2 (1 octet).

T2CON

	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0
--	---------	---------	---------	---------	--------	---------	---------

TOUTPS3-0: post diviseur (binaire)

TMR2ON: active (1) ou non le timer 2

T2CKPS1-0: prédiviseur

Bit Value	Timer 2	Bit Value	postdiviseur
00	1:1	0000	1:1
01	1:4	0001	1:2
10	1:16
11	1:16	1111	1:16

IV.3.5 La tension de référence

Le 16F88 possède une tension de référence interne, utilisant un réseau de résistances. Cette tension est configurable via VRCON. Toutefois cette source est dédiée au comparateur (d'où le C de CVREF).

VRCON

CVREN	CVROE	CVRR		CVR3	CVR2	CVR1	CVR0
-------	-------	------	--	------	------	------	------

CVREN: active (1) ou non la référence de tension

CVROE: la tension de référence est connectée sur RA2 (1) ou non

CVRR: sélection de la formule de calcul de tension

CVR3-0: si CVRR=1, alors $CVREF = (CVR3-0/24)*VDD$, si CVRR=0, alors $CVREF = (CVR3-0/32)*VDD + VDD/4$

Attention toutefois, car la tension maximale que peut atteindre cette référence de tension est d'environ 3,6V.

IV.3.6 Les CAN

Le PIC dispose de 7 CAN, répartis sur ses entrées. 3 registres permettent la configuration de ces convertisseurs,

CHAPITRE IV

ADCON0

ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO-DONE\		ADON
-------	-------	------	------	------	----------	--	------

ADCS1-0: selon l'état d'ADCS2

CHS2-0: sélection du CAN (000 pour le 0 à 110 pour le 6)

GO-DONE\ : à 1, la conversion est en cours, à 0, elle est finie

Bit Value	ADCS2=0	ADCS2=1
00	Fosc/2	Fosc/4
01	Fosc/8	Fosc/16
10	Fosc/32	Fosc/64
11		

ADON: activation (1) ou non des CAN

Bit Value	Vref+	Vref-
00	AVdd	AVss
01	AVdd	Vref-
10	Vref+	AVss
11	Vref+	Vref-

ADFM: aligne les résultats à gauche (0) ou à droite

ADCS2: horloge de conversion divisée par 2 (1) ou non

VCFG1-0: défini les références de tension des convertisseurs

ADCON1

ADFM	ADCS2	VCFG1	VCFG0				
------	-------	-------	-------	--	--	--	--

Pour utiliser les V refs, configurer les pattes adéquates en entrées.

ANSEL

	ADCS2	ADCS1	ADCS0	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0
--	-------	-------	-------	------	------	------	------

ADCS2-0: détermine l'échantillonnage des CAN (voir tableau ci-après)

CHAPITRE IV

ANS3-0: pour chaque CAN, un 1 configure l'entrée en CAN, un 0 en E/S numérique

Bit Value	Fréquence
000	f/2
001	f/8
010	f/32
x11	500 KHz max
100	f/4
101	f/16
110	f/64

Remarque

Sauf exception particulière, vous pouvez laisser l'échantillonnage à sa valeur par défaut.

2 autres registres permettent de récupérer la valeur de la conversion: ADRESH et ADRESL. Pour des raisons de commodités de traitement de la conversion, 2 cas sont possibles selon la valeur d'ADFM (ADRESH en haut)

ADFM=1

						ADR9	ADR8
ADR7	ADR6	ADR5	ADR4	ADR3	ADR2	ADR1	ADR0

ADFM=0

ADR9	ADR8	ADR7	ADR6	ADR5	ADR4	ADR3	ADR2
ADR1	ADR0						

V. Etude de l'amplificateur opérationnel

V.1. Introduction

C'est un composant électronique analogique. Il constitue une brique de base dans un circuit électronique. Il peut réaliser diverses opérations sur un signal électrique: amplification, comparaisons, soustractions, additions, déphasages (décalages dans le temps), filtrages, etc... Les différentes fonctions à réaliser par le composant sont définies par les résistances, condensateurs, diodes, etc... Auxquels il est branché ainsi que de la topologie du circuit externe.

V.2. Matériel

Le composant se présente sous forme d'un boîtier plastique ou métallique muni de bornes de raccordement.

CHAPITRE IV

C'est un circuit intégré, c'est à dire qu'il est formé d'une multitude de composants électroniques élémentaires (résistances, transistors, condensateurs, diodes, etc...) Formant un circuit complexe et intégrés dans un boîtier. Ce circuit est connecté à l'extérieur par des bornes de raccordement : 3 bornes fonctionnelles et 2 bornes d'alimentation, par exemple de +15 et -15V.

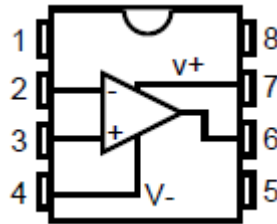


Figure 2 : Vue de dessus Ampli op dans un boîtier à 8 broches

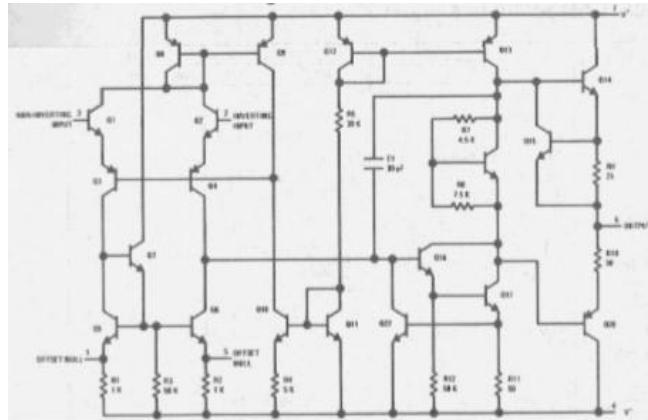


Figure 3 : schéma interne

V.3. Représentation schématique et caractéristiques

C'est un composant muni de 3 bornes de raccordements fonctionnelles: deux entrées + et - et une sortie. Il possède 2 bornes d'alimentation dont la tension est en général symétrique $\pm 5V$, $\pm 10V$, $\pm 12V$, $\pm 15V$... Dans certains cas l'alimentation peut aussi être dissymétrique

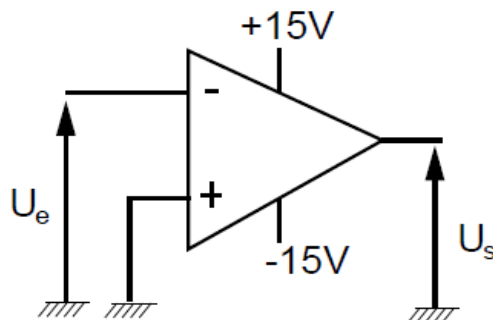


Figure 4 : Représentation schématique

CHAPITRE IV

V.4. Bande passante: BP $\rightarrow \infty$

En réalité quelques centaines de kilo hertz ou méga hertz pour l'ampli. Op. C'est la capacité de l'ampli. à répondre linéairement à une variation rapide du signal d'entrée.

De manière générale, la bande passante est définie comme étant la bande de fréquences pour laquelle le gain ne change pas.

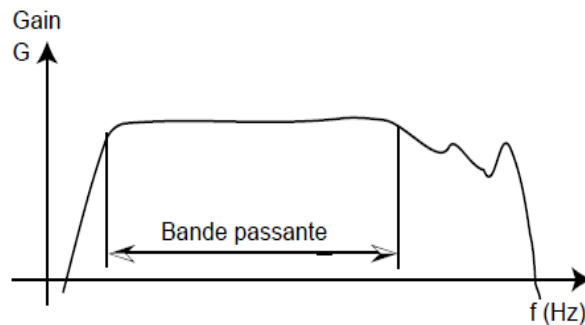


Figure 5 : Réponse en fréquences d'un amplificateur

V.5. Etude en mode amplificateur inverseur

En utilisant les caractéristiques propres de l'amplificateur opérationnel définis précédemment:

Résistance d'entrée infinie signifie que le courant qui traverse R_1 et R_2 est le même.

Le gain de l'ampli. Op. En fonctionnement linéaire est infini, ce qui entraîne que la différence de potentiel u est nulle.

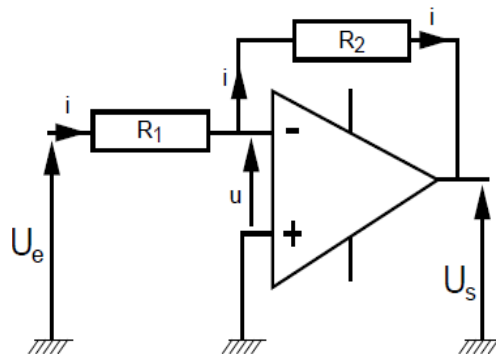


Figure 6 : inverseur

Cela signifie que l'on pourra obtenir le gain que l'on désire par le choix d'un rapport de 2 résistances, ce qui est commode parce que les résistances sont des composants très bon marché, de bonne qualité et de valeurs extrêmement variées.

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{U_e - u}{R_1} = \frac{U_e}{R_1} \\ i &= -\frac{U_s - u}{R_2} = -\frac{U_s}{R_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{U_s}{U_e} = G = -\frac{R_2}{R_1}$$

CHAPITRE IV

V.6. D'autres montages à base d'amplificateur opérationnel :

IV.6.1 Non-inverseur

Dans ce montage, il faut se souvenir que la différence de potentiel entre la borne d'entrée + et - de l'ampli. Est nulle, ce qui signifie que la tension aux bornes de R1 est égale à U_e , celle aux bornes de R2 est égale à $U_s - U_e$, on peut alors poser les équations donnant le courant i traversant R1 et R2 et montrer que :

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

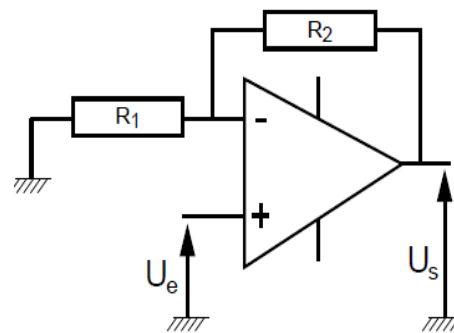


Figure 7 : Non-inverseur

IV.6.2 Suiveur

Le suiveur est un montage à gain = 1, $U_s = U_e$.

Il ne réalise pas d'amplification, son utilisation se justifie pour bénéficier des avantages de résistance d'entrée très élevée et de résistance de sortie nulle.

On l'appelle aussi un étage tampon; en effet il assure la séparation entre 2 montages successifs. A l'entrée, le montage ne consomme pas de courant, mais transmet le signal U_e vers le montage suivant. A la sortie, le suiveur agit comme un générateur de tension U_s , de résistance interne nulle, dont le courant i ne dépend que de la résistance de charge.

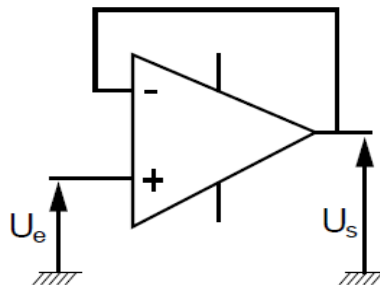


Figure 8 : Suiveur

IV.6.3 Comparateur

Le comparateur compare les niveaux de tensions U_1 et U_2 .

Si $U_1 > U_2$ alors $U_s = - U_a$

CHAPITRE IV

Si $U_2 > U_1$ alors $U_s = +U_a$

Ce montage présente un gain $\rightarrow \infty$ la moindre différence de potentiel entre les bornes d'entrée fait basculer la sortie à la tension d'alimentation maximale. Ce montage fonctionne toujours en saturation.

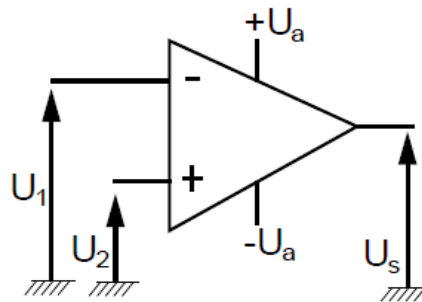


Figure 9 : Comparateur

VI. Simulation avec le logiciel Proteus-ISIS

VI.1. Présentation

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels inclus dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM.

VI.2. Présentation générale

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser

- Le support technique est performant

- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet

VI.3. ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

CHAPITRE IV

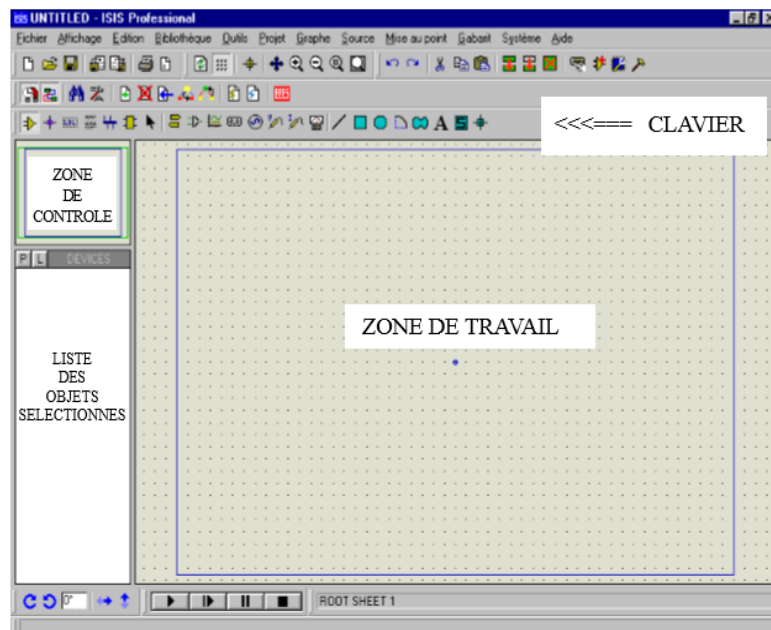
VI.4. ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complètement parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

VI.5. Définition Des Dimensions De La Feuille De Travail

Sélectionnez dans le menu déroulant "Système" l'instruction "Définir taille des feuilles", puis cochez la rubrique "Perso", et donnez-lui les dimensions 8.26 in par 11.69 in, ce qui correspond au format A4 réel.

Si l'orientation souhaitée est le format dit "Paysage", il convient de permuter ces valeurs.

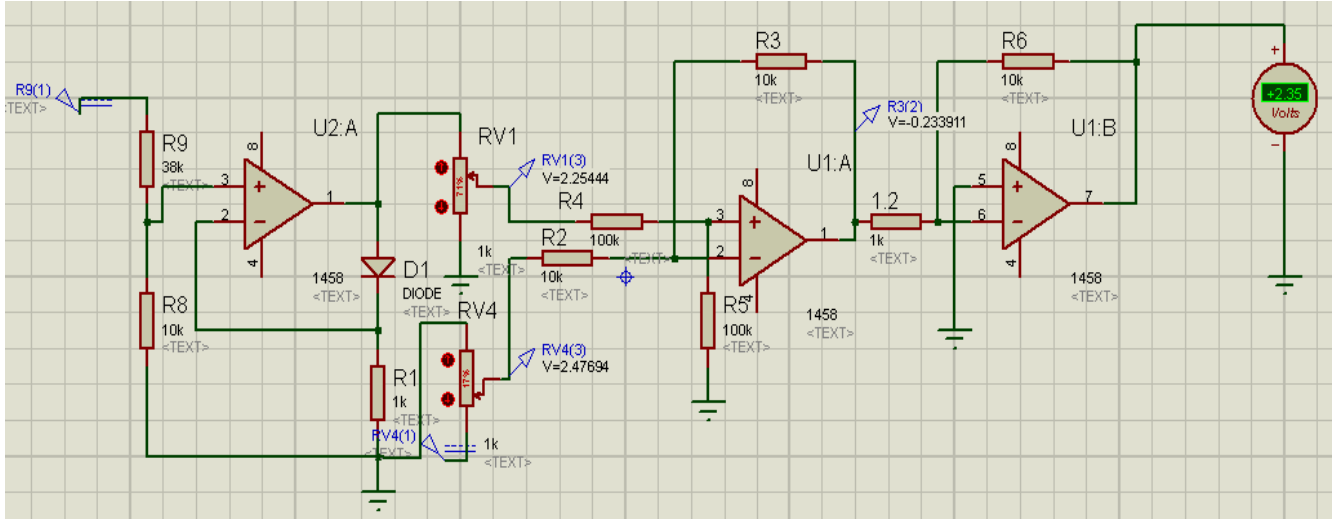


VI.6. Compilation du programme sous assembleur et simulation sous ISIS

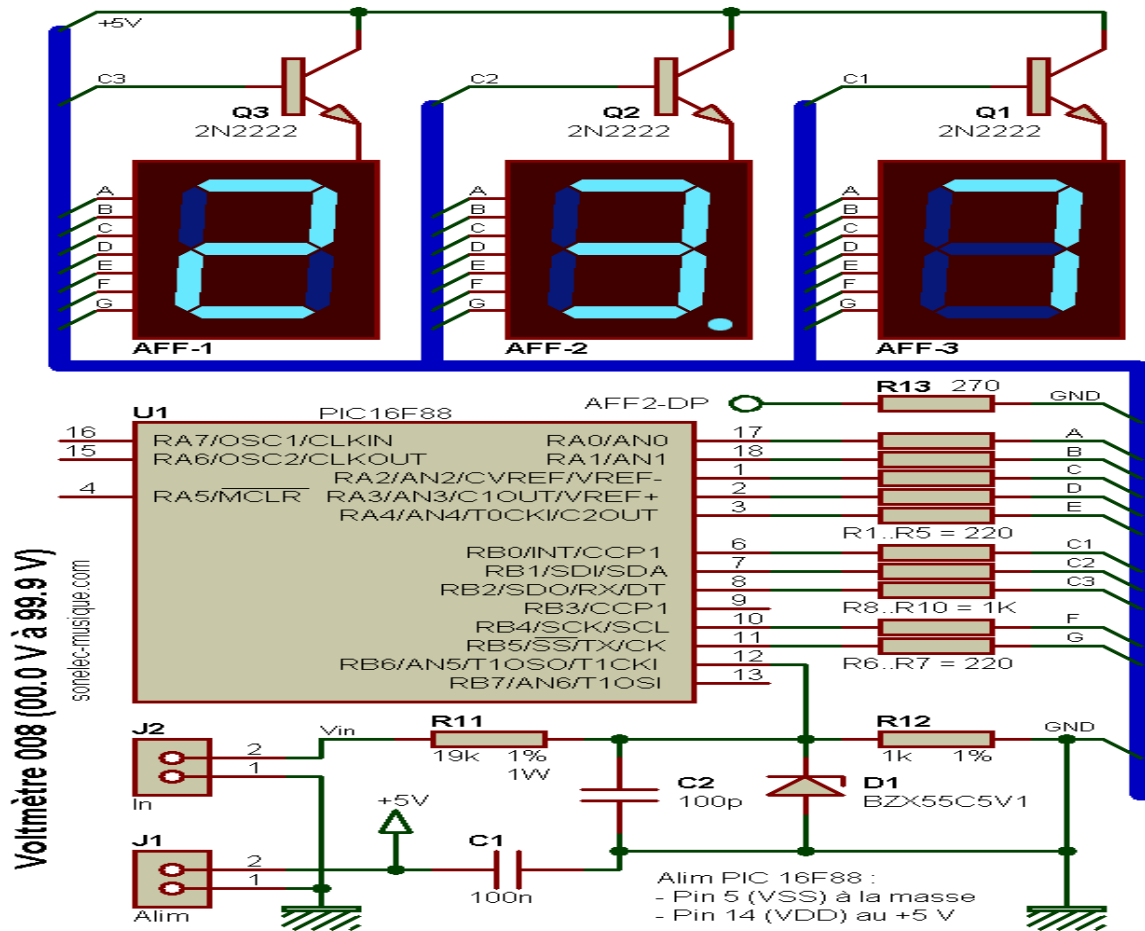
Le programme a été réalisé et compilé sous assembleur afin de générer deux fichiers qui contiennent le programme codé en hexadécimal qui sert à programmer l'assembleur sous Isis, et un en assembleur qui sert comme source pour Isis.

CHAPITRE IV

VI.6.1 La première partie



VI.6.2 La partie d'affichage



CHAPITRE IV

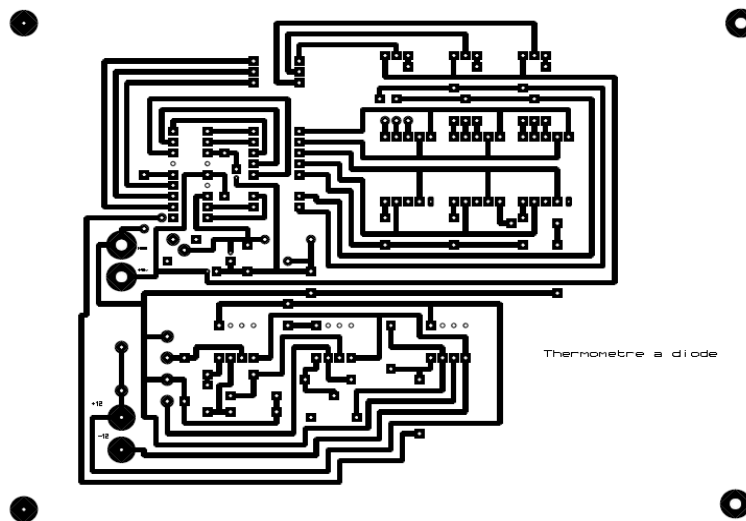
VII. Les étapes de réalisation pratique de la carte

VII.1. Le typon

Pour préparer le typon on a recours au même logiciel de simulation qui est ISIS produit par la société LABCENTER ELECTRONICS.

L'ISIS est un éditeur de création de schémas électroniques ; il fait de même toutes les manipulations de simulation analogique et logique à fin d'atteindre un résultat bien précis.

Un typon est une image du circuit imprimé. Les pistes sont en noir et le reste doit être transparent à la lumière. L'idéal est d'imprimer avec une imprimante jet d'encre sur du papier transparent spécial jet d'encre. Il faut régler l'impression sur 'papier photo épais' pour avoir un maximum d'encre sur le papier et obtenir un noir plus opaque. La photocopieuse et l'imprimante laser convient aussi.



VII.2. Insolation

Le temps d'insolation est très important. Si ce dernier est trop long les rayons UV passeront au travers les zones noires du typon, et inversement on aura du mal à révéler notre plaque. Les étapes à suivre pour réaliser cette opération on suit la démarche ci-dessous :

Découper la plaque d'époxy à la taille du typon en laissant une marge de 1 cm au moins.

- ✓ Positionner le typon dans le bon sens sur la vitre de l'insoleuse. (Vue coté composant)
- ✓ Retirer la pellicule protectrice de la plaque (au dernier moment).
- ✓ Poser cette plaque avec le coté vert sur le typon dans l'insoleuse et fermer le capot.

Insoler environ 1 à 5 minutes.

CHAPITRE IV

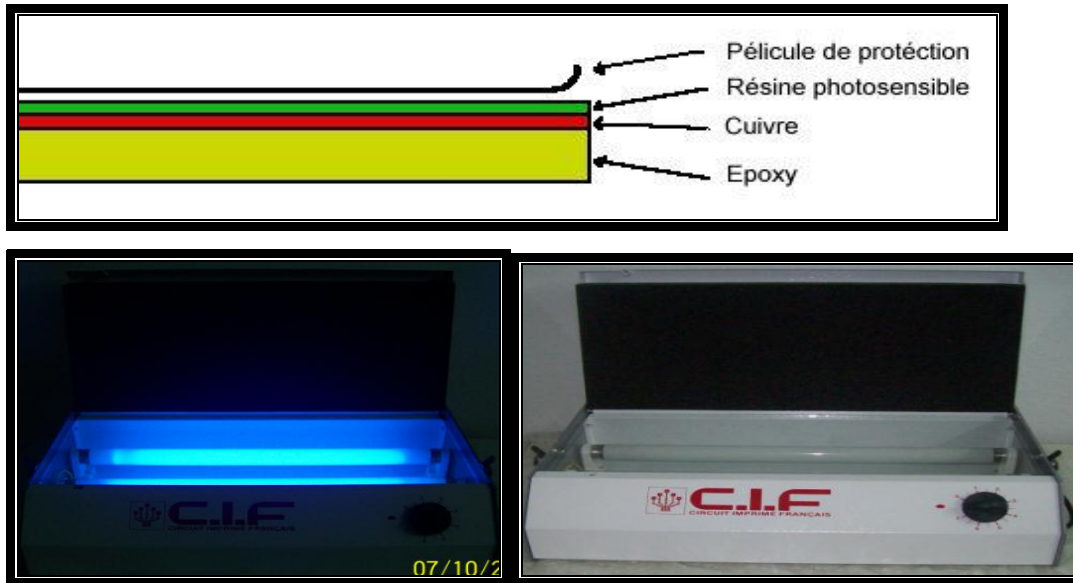


Figure 10 : matériel d'Insolation

VII.3. Révélation

Cette étape va dissoudre la résine qui à été exposé aux UV. Ce qui mettra le cuivre à nu et les pistes resteront protégé par la résine verte. Préparation du révélateur: Ce révélateur pourra vous servir pour une bonne dizaine de circuits.

VII.3.1 Utilisation du révélateur

- ✓ Verser votre révélateur dans une cuvette en plastique.
- ✓ Plonger la plaque qui vient d'être insolé.
- ✓ Rincer soigneusement la plaque sous le robinet en frottant avec les doigts jusqu'à ce qu'elle ne soit plus 'grasse' au toucher.

Voilà... elle est prête à être gravé. Notez que la résine protège encore les pistes.

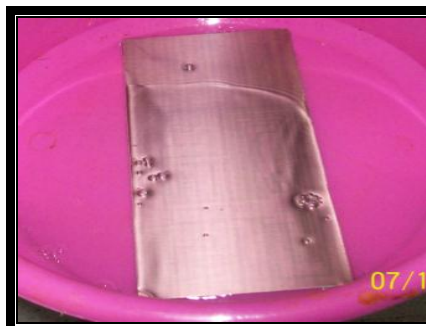


Figure 11 : Schéma de la carte dans le révélateur

VII.4. Gravure

La gravure consiste à plonger le circuit dans un bain d'acide (Perchlorure de fer). Le cuivre mis à nu lors de la révélation sera dissous. Seules les pistes protégées par la résine resteront.

CHAPITRE IV

VII.4.1 Utilisation de graver

- ✓ Plonger la plaque d'époxy dans le bain d'acide. Temps : 5 à 30min suivant la graveuse...
- ✓ Lorsque tout le cuivre à disparu, sortez le circuit et rincez le sous l'eau.

Frotter les pistes avec de l'acétone ou de l'alcool à brûler pour retirer la résine et ainsi apparaît les pistes de cuivres.

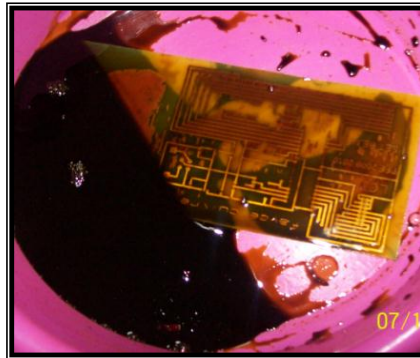


Figure 12 : Schéma de la carte dans le Perchlorure de fer

VII.5. Perçage

L'opération de perçage est l'ultime étape dans la réalisation d'un circuit imprimé, si l'on fait abstraction de la mise en place des composants et du soudage.

- ✓ Une simple petite perceuse alimenté en 12 V suffit.

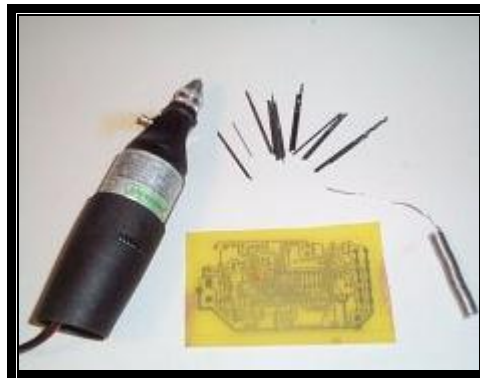


Figure 13 : Schéma d'une perceuse

VII.6. Test du circuit imprimé

Si vous doutez de votre carte, utiliser un Ohmmètre ou un testeur de continuité pour vérifier:

- ✓ La continuité des pistes.
- ✓ L'absence de court-circuit.

CHAPITRE IV

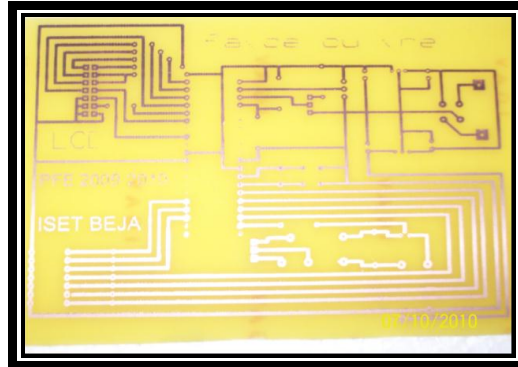


Figure 14 : Schéma de la carte

VII.7. Soudure

L'opération de soudure est faite à l'aide d'un fer à souder et l'étain. On commencera par:
Des composants neutres: supports de circuit Intégrés, connectiques...

- ✓ Passifs:
- ✓ Résistances. Utiliser un Gabarit de pliage et donner vous un sens de lecture des résistances. Les bandes de couleurs se lisent de la Droite vers la Gauche et de Haut en Bas.
- ✓ Condensateurs. Pour les plastiques ou non polarisé, donnez-vous aussi un sens de lecture.
- ✓ actifs: Diodes, transistors, circuits intégrés si vous ne mettez pas de support.

VIII. Conclusion

Ce dernier chapitre a été entamé par une réalisation pratique en exploitant une méthodologie d'analyse hiérarchique. Cette analyse a été suivie d'une explication détaillée des différentes étapes qu'il faut suivre pour la réalisation.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Dans le but de conclure ce projet, rappelons tout d'abord que l'objectif était d'étudier le principe de conception et de réalisation des thermomètres électroniques. Dans ce sens, il a été judicieux de diviser le travail en deux parties, une théorique et une autre pratique.

L'étude nous a permis de conclure que, la mesure de température se ramène à l'étude d'une variation de tension.

Ainsi, concevoir un thermomètre électronique; c'est donc mettre en place un système pouvant effectuer des mesures par variation de tension. Dans le milieu industriel et généralement pour plusieurs mesures de température, l'on a recours aux thermomètres électroniques (à capteur de température).

Par ailleurs, la conception d'un thermomètre aujourd'hui ne se ramène plus à la mise au point d'un montage permettant de prélever une variation de tension. Le fait que l'on souhaite généralement faire des traitements informatiques sur les valeurs prélevées, nous amène à introduire dans notre montage des éléments permettant de prendre en compte la diode qui mesure la température avec un signal électrique (tension) proportionnel à la température

(En ° C)

Le PIC 16F88 utilisé pour recevoir, traiter, et conversion, et pour la communication entre la première partie et partie d'affichage qui permet d'affichée la variation de la température

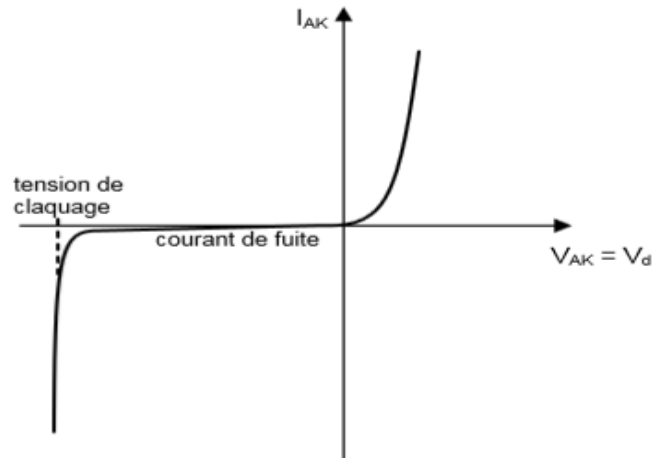
(En °C)

ANNEXES

ANNEXES

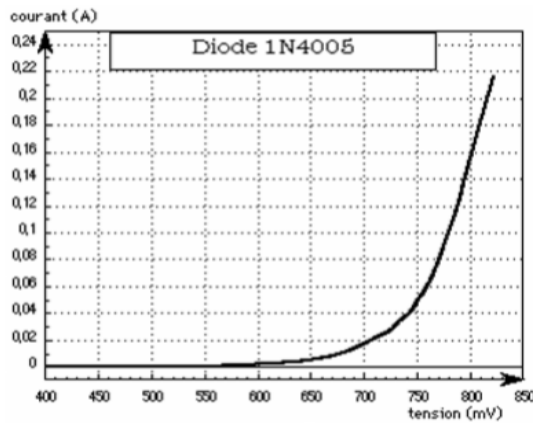
Annexe 1

Caractéristique globale courant/tension.



Caractéristique complète

Caractéristique directe ($V_d > 0$)



Caractéristique directe d'une diode.

Effet de la température

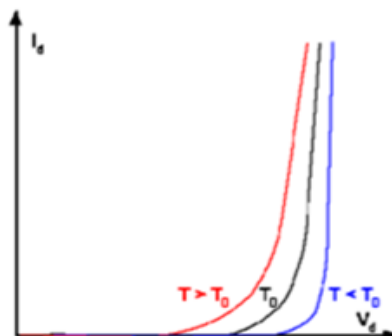


Figure 1 : effets de la température

ANNEXES

Annexes 2

Schéma et brochage de pic 16F88

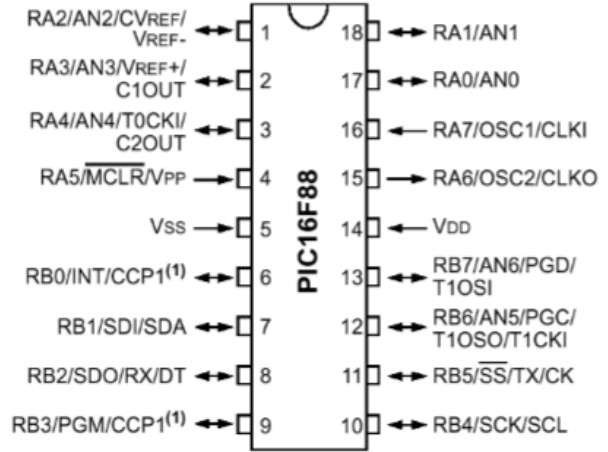


Schéma et brochage d'amplificateur opérationnel TL082

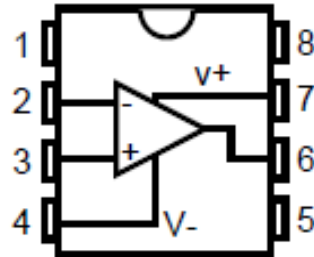
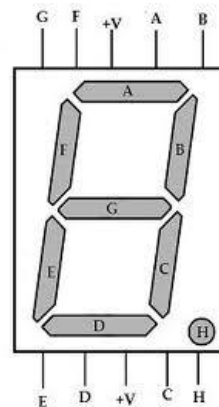
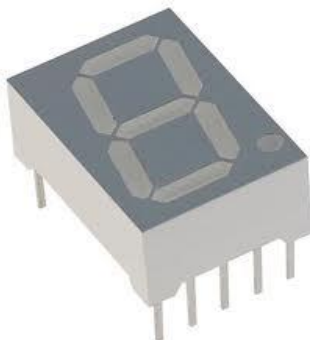
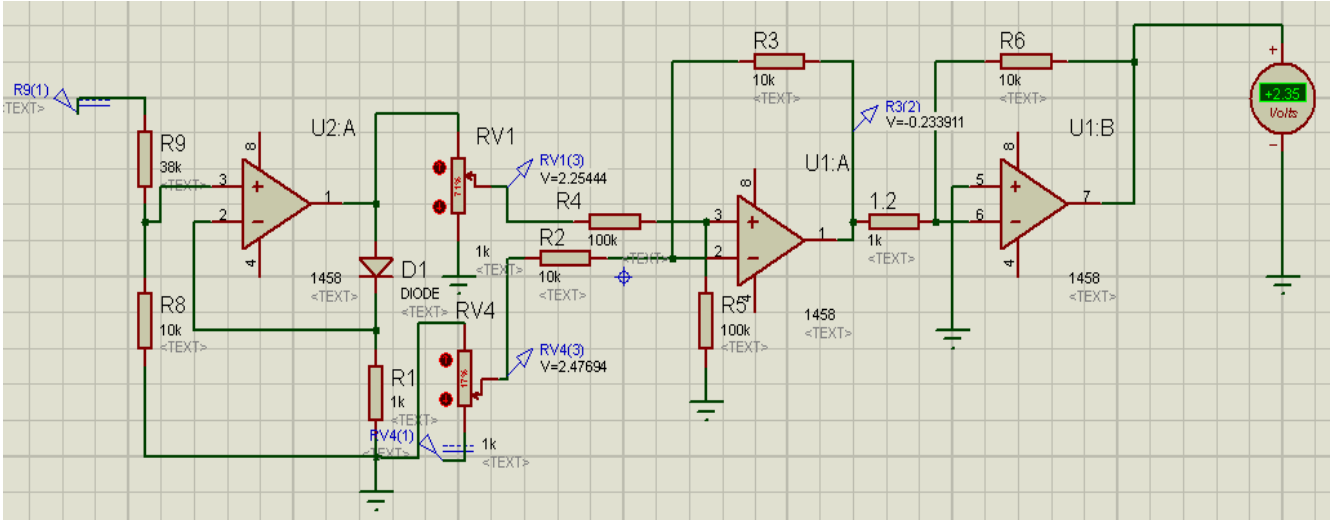


Schéma et brochage de afficheur 7 segments à anodes communes

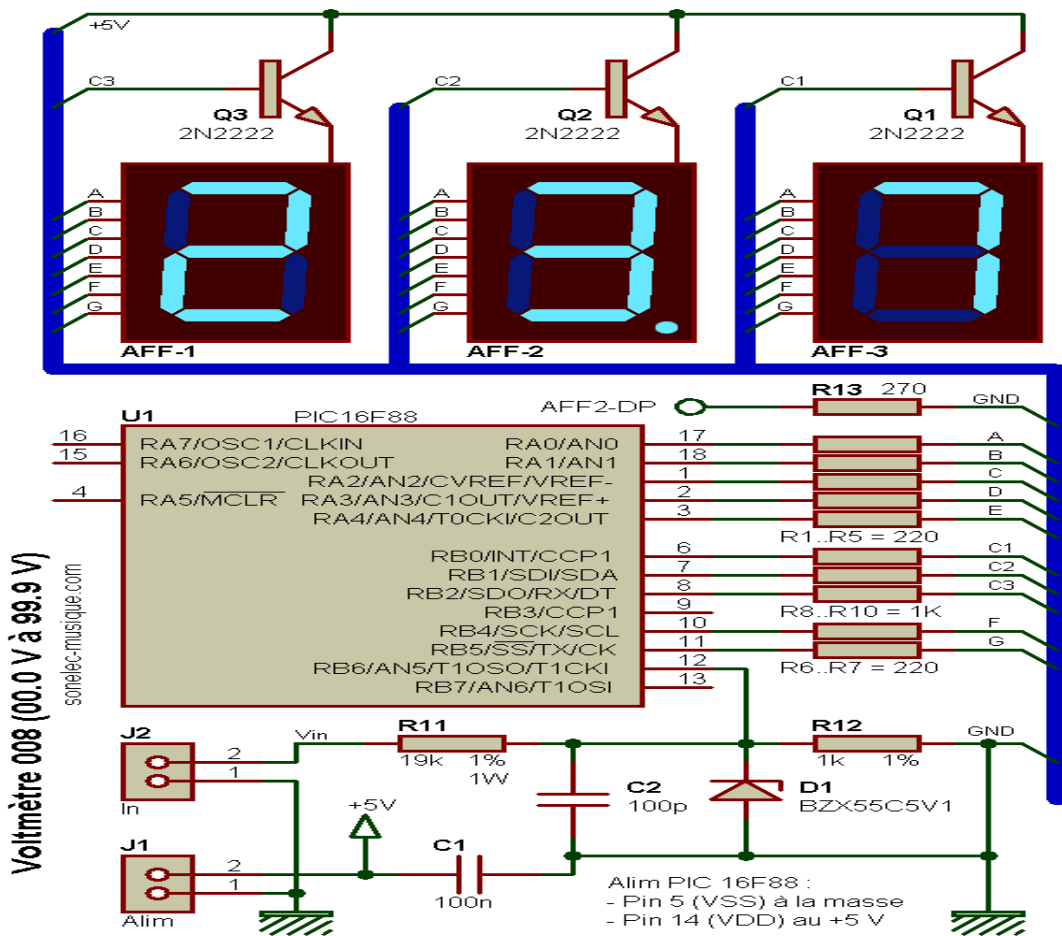


ANNEXES

Annexes 3 Schéma électronique La première partie

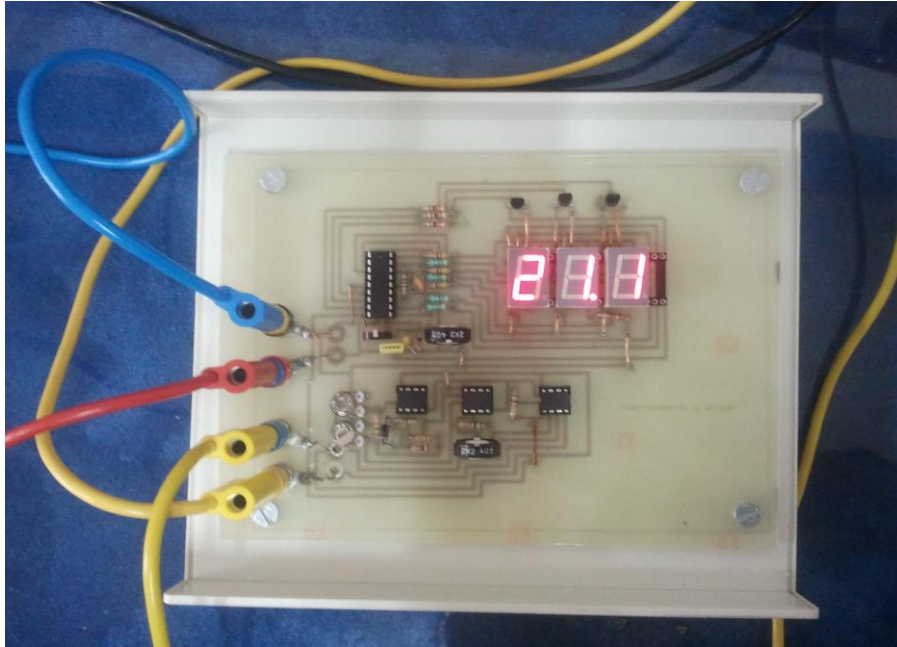


La partie d'affichage



ANNEXES

Annexes 4 Le circuit final



Le circuit final à l'intérieur de la boîte



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Internet :

- **gatt.club.fr/page1/page29/page29.html.**
- **home.scarlet.be/lestechriques/regulati.htm.**

Cours de capteur 2^{eme} de EST-Safi (Pr. A.Soulmani)

Livre : Les.Diodes.Sur.Ebook-Land.net

SOMMAIRE
