

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux et Télécommunications
Thème

Etude, Simulation d'un Thermomètre Numérique
à base d'Arduino

Présenté Par :

- 1) Melle. BRADAI Ikhlas
- 2) Melle. GHEZEL Roumaissa

Devant le jury composé de :

Dr FEROUANI Souheyla	MCA	UAT.B.B	Ain Temouchent	Président
Dr Lahouaria Badir BENKREIFA	MCB	UAT.B.B	Ain Temouchent	Examineur
Pr. AYACHE Choukria	Pr	UAT.B.B	Ain Temouchent	Encadrant

Année Universitaire 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Tout d'abord on remercie le bon dieu de nous avoir donnée la force, et la volonté de terminer notre mémoire. »

Nous remercions ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Ce travail a été effectué au centre universitaire de Belhadj Bouchaib à Ain Témouchent sous la direction du Professeur AYACHE Choukria.

Nous remercions le Professeur AYACHE Choukria très vivement de nous avoir accueilli en me proposant le sujet et en assurant le suivi. Nous le remercions également pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques.

Nous tiens à exprimer mes plus sincères remerciements au Docteur Souheila FEROUANI, qui me fait l'honneur d'être le président du jury. nous adressons également mes remerciements à Docteur BENKREIFA Lahouaria Badir d'avoir accepté de participer à ce jury. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la responsabilité

Ma MERE.

A celui qui a été toujours la source d'inspiration et de courage

Mon PERE.

A mes chères sœur houria, Amel et ses enfants

A mes frères amine et yacine , abdelhak et zahreddine

A mes amis hichem, zenagui.

A mon binôme : roumaissa

A tous les enseignants et toutes les enseignantes

IKHLAS

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la responsabilité

Ma MERE.

A celui qui a été toujours la source d'inspiration et de courage

Mon PERE.

A Mon mari abdelrahman

A mon binôme : Ikhlas

A tous les enseignants et toutes les enseignantes

ROUMAÏSSA

Résumé :

Notre travail s'intitule «étude simulation d'un thermomètre numérique à base d'Arduino», et a pour objet d'une simulation d'un thermomètre numérique à base de capteur LM335 piloté par Arduino-Uno R3, qui permet d'afficher la valeur de température mesurée sur un afficheur LCD16 qui permet d'afficher la valeur de la température en degré Kelvin (°K) qui sera converti en degré Celsius(°C) ensuite afficher sur l'écran LCD.

Mots-clés : Thermomètre numérique, Arduino-Uno, Température.

Abstract :

Our work is entitled "simulation study of a digital thermometer based on Arduino", and aims at a simulation of a digital thermometer based on LM335 sensor driven by Arduino-Uno R3, which allows to display the temperature value measured on an LCD16 display which allows to display the temperature value in Kelvin degree (° K) which will be converted into Celsius degree (° C) then display on the LCD screen.

Keywords : digital thermometer, Arduino-Uno, temperature.

الملخص:

عملنا بعنوان "دراسة محاكاة لميزان حرارة رقمي يعتمد على Arduino"، ويهدف إلى محاكاة مقياس حرارة رقمي على أساس مستشعر LM335 مدفوعاً بواسطة Arduino-Uno R3، والذي يسمح بعرض قيمة درجة الحرارة المقاسة على شاشة LCD16 والتي يسمح بعرض قيمة درجة الحرارة في درجة كلفن (درجة كلفن) والتي سيتم تحويلها إلى درجة مئوية (درجة مئوية) ثم عرضها على شاشة LCD.

الكلمات المفتاحية : ميزان الحرارة الرقمي، Arduino-Uno، درجة الحرارة.

Sommaire

Remercîment
Dédicace
Résumé
liste des figures
Introduction Générale01

Chapitre 01 : généralités sur les capteurs de température

I.1. Introduction..... 02
I.2. Unités et conversion de température 02
I.3. Définition d'un capteur 03
I.4. Structure d'un capteur 04
I.5. Rôle du capteur 04
I.6. Les capteurs de température 04
I.6.1. Les capteurs actifs 04
I.6.2. Les capteurs passifs 05
I.6.3. Les capteurs de températures les plus connus 05
I.7. Classification des capteurs 08
I.7.1. signal logique 08
I.7.2. signal analogique 09
I.7.3. signal numérique 09
I.8. Chaîne de mesure 09
I.9. Les caractéristiques d'un capteur 10
I.10. Capteur de température..... 11
I.10.1. Définitions 11
I.10.2. Les caractéristiques de LM335 11
I.10.3. Différents version du LM335 12
I.10.4. Fonctionnement du capteur de température LM335..... 13
I.10.5. Étalonnage du capteur 15
I.11. Conclusion 16
Références Bibliographiques..... 17

Chapitre 02 : Description et mise en oeuvre du arduino

II.1. Introduction 18
II.2. Définition du module Arduino..... 18
II.3. Le but et l'utilité de la carte Arduino 20

II.4. Applications du module Arduino	20
II.5. Les types de la carte Arduino	20
II.6. Pourquoi Arduino UNO ?.....	22
II.7. La constitution de la carte Arduino UNO	22
II.7.1. Partie matérielle.....	22
II.7.2. Partie programme.....	26
II.8. Les accessoires de la carte Arduino.....	28
II.8.1. Les capteurs.....	28
II.8.2. communications.....	29
II.9. Conclusion.....	30
Références Bibliographiques.....	31

Chapitre 03 : Etude et simulation du thermomètre de température

III.1. Introduction	32
III.2. ISIS (Intelligent Schematic Input System).....	32
III.3. ARES.....	33
III.4. Sélection des composants à utiliser.....	33
III.5. Présentation du système.....	34
III.6. Conception du circuit électronique.....	34
III.6.1. Les composants utilisés.....	34
III.6.2. Conception du circuit électronique sous Proteus	38
III.6.3. Programmation en Aduino	40
III.6.4. Schéma du circuit électronique sous ARES	42
III.6.5. Visualisation 3D.....	43
III.6.6. Conception du circuit sous logiciel FRITZING	44
III.7. Conclusion.....	45
Références Bibliographiques.....	46
Conclusion Générale	47
Annex	48

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Figure I.1	Fonctionnement du capteur	03
Figure I.2	courbes caractérisant la CTP et CTN.	05
Figure I.3	représentation schématique.	06
Figure I.4	A courant constant, la tension V est linéaire en fonction de la température	08
Figure I.5	Classification des capteurs	09
Figure I.6	Constitution d'une chaîne de mesure classique	10
Figure I.7	Etendue de mesure et courbe d'étalonnage du capteur	10
Figure I.8	capteur LM335	11
Figure I.9	Schéma électrique du capteur de température Le LM335 dans la plage de -40°C à 100°C	12
Figure I.10	Les différentes versions du LM335	13
Figure II.1	la carte Arduino UNO	18
Figure II.2	Le microcontrôleur de l'Arduino	19
Figure II.3	Architecture d'un système à base d'une carte Arduino	19
Figure II.4	type de carte Arduino	21
Figure II.5	illustre une carte Arduino UNO	23
Figure II.6	MicrocontrôleurATMega328	23
Figure II.7	Interface IDE Arduino	26
Figure II.8	Paramétrage de la carte	27
Figure II.9	Les étapes de téléchargement du code	28
Figure II.10	capteur Arduino	29
Figure II.11	Type de modules Bluetooth	29
Figure II.12	Module shield wifi	30
Figure II.13	Module XBee	30
Figure III.1	Logiciel ISIS	32
Figure III.2	Bibliothèque ISIS.	33
Figure III.3	Schéma synoptique d'un thermomètre numérique	34
Figure III.4	résistance	35
Figure III.5	Capteur LM335	35
Figure III.6	photo d'un LCD et son brochage	36
Figure III.7	schéma d'adaptation pour le LM335	39
Figure III.8	Circuit électronique à base d'une carte arduino	40

Liste des figures

	sous Proteus ISIS	
Figure III.9	configuration du LCD	41
Figure III.10	affichage de température sur LCD	42
Figure III.11	Circuit électronique sous ARES	43
Figure III.12	Visualisation 3D sous ARES	43
Figure III.13	Le typon sous ARES	44
Figure III.14	Conception du circuit sous logiciel FRITZING	45

Liste des tableaux :

Tableau I.1	conversion entre différentes échelles de température	03
Tableau I.2	Les lettres de références des thermocouples les plus utilisés.	06
Tableau I.3	L'intervalle de température et la sensibilité moyenne de quelques capteurs	07
Tableau I.4	les Différentes versions du LM335	12
Tableau II.1	quelques cartes Arduino et leur caractéristique	21
Tableau II.2	Différentes broches entrées/sorties numériques	24
Tableau III.1	brochage d'un afficheur	<u>36</u>

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction général :

Un thermomètre est un appareil qui sert à mesurer et afficher la valeur de la température, le premier thermomètre a été inventé en 1654 par le duc de Toscane à Florence. Plusieurs phénomènes font face à des variations de température. Ainsi, de nos jours, l'on distingue plusieurs types de thermomètre selon le phénomène en présence, surtout les thermomètres électroniques que l'on rencontre dans de nombreux domaines aujourd'hui, vu l'évolution de tout ce qui est électronique.

Dans le cadre de notre formation, il nous est demandé de réaliser un projet afin d'améliorer nos connaissances dans le domaine de l'électronique et notre capacité de travailler. L'objectif de ce projet est une simulation d'un thermomètre numérique à base d'une carte Arduino-Uno et des composantes électronique capable d'effectuer des mesures de température avec affichage sur un écran LCD.

Le manuscrit se décompose en trois chapitres :

- Le premier chapitre sera une généralité sur les capteurs et les mesures de température
- Dans le deuxième chapitre sera consacré à une étude approfondie sur la carte d'interfaçage (Arduino) en mettant la lumière sur modèle de base qui est (Arduino-Uno) sa construction, son environnement de programmation est son principe de fonctionnement
- Le troisième chapitre, on a présenté la simulation finale de notre circuit électronique pour mesurer la température
- Enfin, on terminera avec une conclusion générale qui résumera l'intérêt de notre étude.

CHAPITRE 01 :
GENERALITES
SUR LES
CAPTEURS DE
TEMPERATURE

I.1. Introduction :

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs, etc. ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité, etc. ...). Le capteur est donc l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques. [1]

Ainsi la température pourra donc se repérer par la mesure d'un volume, d'une longueur, d'une pression, d'une résistance, d'une luminance ou d'un fém(force électromagnétique). [4]

I.2 Unités et conversion de température :

❖ Echelle Celsius [2] :

Le degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) est l'unité de l'échelle de température Celsius, introduite en 1948. Son nom est une référence à l'astronome et physicien suédois Anders Celsius, inventeur en 1742 d'une des premières échelles de température. Cette unité de mesure est d'usage courant à travers le monde, à l'exception de quelques rares pays dont les Etats-Unis.

L'échelle Celsius a deux points fixes :

- La valeur 0°C correspond à la température de solidification/fusion de l'eau à pression atmosphérique normale (1013, 25 hPa).
- La valeur 100°C correspond à la température d'ébullition/de condensation de l'eau, également à pression atmosphérique normale.

Entre les deux points fixes, l'échelle est subdivisée en 100 segments de même longueur.

Le symbole utilisé pour exprimer une température en degrés Celsius est la lettre grecque «thêta» : θ .

❖ Echelle kelvin [2] :

Le kelvin est l'unité SI de la température.

Son nom est une référence à William Thomson, mieux connu sous le nom de Lord Kelvin.

Cette unité est en relation directe avec l'énergie interne d'un corps: si un corps n'a plus aucune énergie interne (c'est-à-dire si ses particules ont complètement arrêté à vibrer et qu'il n'y a plus aucune agitation thermique), il a une température de 0 K (on dit que le corps a atteint «le zéro absolu») : c'est la température la plus basse qui puisse exister.

Le symbole utilisé pour exprimer une température en kelvin est T.

❖ Echelle Fahrenheit [2] :

Le degré Fahrenheit (°F) est une unité de mesure de la température, proposée par le physicien Allemand Daniel Fahrenheit 2 en 1724. Aujourd’hui, cette échelle est utilisée aux Etats-Unis, à Belize et aux îles Caïman.

Fahrenheit a décidé de définir son échelle par deux températures de référence :

- La valeur de 0°F correspond à la température la plus basse qu’il ait mesurée durant de rude hiver de 1708 à 1709 dans sa ville natale de Danzig.
- La valeur de 100°F correspond à celle du sang du cheval.

Le symbole utilisé pour exprimer une température en degrés Fahrenheit est tF.

Conversion :

	°C	K	°F
°C	1	$T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15$	$t(^{\circ}F) = 1,8 t (^{\circ}C) + 32$
K	$t (^{\circ}C) = T(K) - 273,15$	1	$t(^{\circ}F) = 1,8[T(K) - 273,15] + 32$
°F	$T (^{\circ}C) = [T (^{\circ}F) - 32]/1,8$	$T(K) = [t(^{\circ}F) - 32]/1,8 + 273,15$	1

Tableau I.1 : Conversion entre différentes échelles de température[4]

I.3 Définition d’un capteur :

Organe de prélèvement d’information qui élabore à partir d’une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

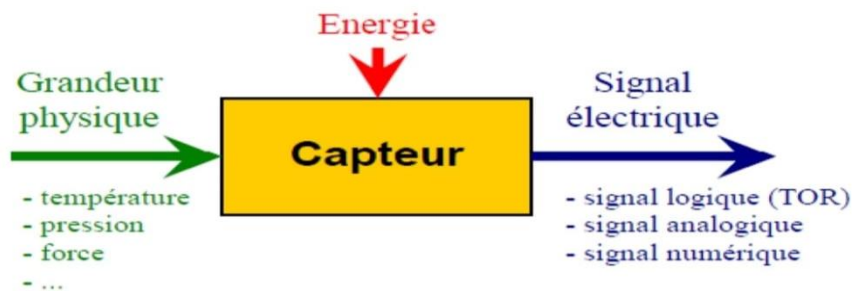


Figure I.1 :Fonctionnement du capteur[3]

I.4 Structure d'un capteur :

Certains capteurs sont des capteurs dits « composites », c'est à dire composés de deux parties ayant un rôle bien défini[4] :

- a) **Corps d'épreuve** :C'est un élément qui réagit sélectivement aux variations de la grandeur à mesurer. Il a pour rôle de transformer cette grandeur en une autre grandeur physique dite mesurable.
- b) **Elément de transduction** :C'est un élément lié au corps d'épreuve qui traduit ses réactions en une grandeur physique exploitable.

I.5 Rôle du capteur :

Ils existent plusieurs grandeurs physiques notamment : température- flux optique-position-débit- vitesse- humidité...etc. Le rôle du capteur est de rendre exploitable ces différentes grandeurs physiques en vue de leur traitement ultérieur[1].

- ✓ Mesure de présence : indique la présence d'un "objet" à proximité immédiate ;
- ✓ Mesure de position, de déplacement ou de niveau : indique la position courante d'un objet animé d'un mouvement de rotation ou de translation ;
- ✓ Mesure de vitesse : indique la vitesse linéaire ou angulaire d'un "objet";
- ✓ Mesure d'accélération, de vibrations ou de chocs ;
- ✓ Mesure de débit, de force, de couples, de pressions ;
- ✓ Mesure de température, d'humidité.

I.6 Les capteurs de température :

Les capteurs électriques ont l'avantage d'une plus grande souplesse d'emploi (information, transmission, enregistrement) tout en gardant une précision suffisante pour les emplois industriels et beaucoup d'emplois de laboratoire. [5]

Les capteurs électriques de température sont décomposés en deux catégories :

- ✚ Les capteurs actifs, à couple thermoélectrique.
- ✚ Les capteurs passifs, à résistance ou thermistance.

I.6.1. Les capteurs actifs :

Un capteur actif fonctionne en générateur, est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la température à prélever. Le signal de sorti d'un capteur actif peut être un courant, une tension ou une quantité de charge en fonction de l'intensité et de la température mesurée. L'effet physique exploité pour la mesure de la température par les capteurs actifs et la

thermoélectricité [5].

La thermoélectricité: est la force électromotrice d'origine thermique obtenue à des jonctions de deux conducteurs de nature différente à des températures différentes .[5]

I.6.2. Les capteurs passifs :

Il s'agit généralement d'impédances dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la température, et dans l'expression littérale de cette impédance on trouve des termes liés à [5]:

1. La géométrie de ce capteur ou de ses dimensions.
2. Les propriétés électriques des matériaux utilisés comme la résistivité, la perméabilité.
3. Magnétique, ou des différentes constantes.

I.6.3. Les capteurs de températures les plus connus :

I.6.3.1. Les thermistances :

Pour une thermistance de composition donnée, à une température donnée, elle traduit cette température à une résistance spécifique. Leur constitution est un alliage de semi-conducteur et d'oxydes métalliques (fer, titane) que l'on appelle oxyde céramiques, elles sont utilisées généralement pour mesurer des températures entre -46 C et 150° C. Les propriétés de ces thermistances dépendent du choix du semi-conducteur utilisé ainsi que du dosage des oxydes. Les thermistances font parties des résistances non linéaires. [5] Il existe deux types de thermistances :

- La CTN, coefficient de température négatif (NTC thermistor)
- La CTP, coefficient de température positif (PTC thermistor)

Les caractéristiques d'une thermistance de type CTP et CTN sont représenté sur la **Figure I.2** et la représentation schématique sur la **Figure I.3**:

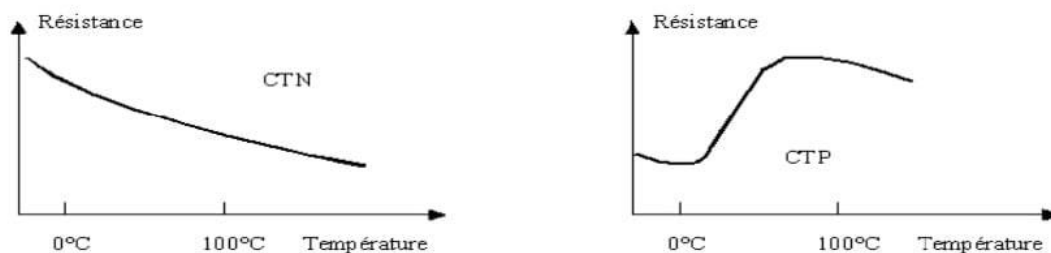


Figure I.2 : courbes caractérisant la CTP et CTN.[5]



Figure I.3 : représentation schématique[5]

Les paramètres essentiels d'une thermistance sont :

- ✓ La valeur de sa résistance.
- ✓ Sa sensibilité thermique ou coefficient de température.
- ✓ Sa stabilité (fourni par le constructeur).

Les avantages : le temps de réponse rapide, moins chers.

Les inconvénients : loi non linéaire des caractéristiques dans les séries, sensible à l'auto échauffement et à la variation des résistances de connexion.[5]

I.6.3.2. Thermocouple :

Les thermocouples sont des capteurs actifs qui délivrent une f.é.m. lorsque ceux-ci sont soumis à une modification de la température. Une fois que l'on a la f.é.m. pour pouvoir remonter à la valeur de la température, il faut connaître l'une des deux jonctions et surtout sa température. Celle-ci se nommera jonction de référence. La nature des matériaux conducteurs utilisés définit le type du thermocouple. Il existe beaucoup de type de thermocouple qui sont pour la plupart repérée par une lettre ainsi un thermocouple de type J est constitué d'une jonction en fer et d'une jonction en constantan. [6]

Le tableau suivant indique les thermocouples les plus utilisés :

Lettre	Conducteur positif	Conducteur négatif
T	Cuivre	Nickel-Cuivre (Constantan)
J	Fer	Constantan
E	Nickel-chrome (chromel)	Constantan
K	Chromel	Nickel-Aluminium (Alumel)
S	Platine-10% Rhodium	Platine-6 % Rhodium
R	Platine-13% Rhodium	Platine
B	Platine-30% Rhodium	Platine-6 % Rhodium
N	Nickel-Chrome-Silicium (Nicrosil)	Nickel-Chrome-Magnésium (Nisil)
U	Cuivre	Constantan
G	Tungstène	Tungstène-26 % Rhénium
C	Tungstène-5 % Rhénium	Tungstène-26 % Rhénium

D	Tungstène-3 % Rhénium	Tungstène-25 % Rhénium
---	-----------------------	------------------------

Tableau I.2: Les lettres de références des thermocouples les plus utilisés[6]

Le domaine d'utilisation est souvent l'un des premiers éléments pour choisir un capteur mais aussi sa sensibilité. Le tableau suivant donnera les valeurs de ces deux paramètres pour quelques capteurs.

Lettre	Domaine d'utilisation (°C)	Sensibilité moyenne ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
T	-200 à 370	51
J	-40 à 800	55
E	-270 à 870	78,5
K	-270 à 1270	41
S	-50 à 1600	11,4
R	-50 à 1600	12,9
B	0 à 1700	10,6
N	-270 à 1300	38
G C et D	0 à 2600	20
Pt/Au	0 à 1000	25

Tableau I.3 : L'intervalle de température et la sensibilité moyenne de quelques capteurs[6]

I.6.3.3. Les capteurs de température à semi-conducteur :

Une jonction silicium diode ou transistor alimenté par un courant constant donne une tension proportionnelle à la température. On utilise cette propriété pour fabriquer des capteurs. En générale, on ajoute un circuit intégré pour conditionné le capteur. Il existe aussi des circuits intégrés permettant d'enregistrer la température sur une période longue.[5]

La tension aux bornes du semi-conducteur (formant une diode ou un transistor) et le courant qui le traverse dépendent de la température :



Figure 1.4 : A courant constant, la tension V est linéaire en fonction de la température[5]

Il existe aussi des mesures de températures basées sur la mesure du bruit de fond, qui représente l'agitation thermique des électrons dans un matériau. Parmi les avantages des capteurs à semi-conducteur: Les semi-conducteurs ont un cout faible, La simplicité de mise en œuvre et la bonne linéarité.

1.6.3.4. Les pyromètres optiques[5]:

La pyrométrie optique est une méthode de mesure de la température, basée sur la relation entre la température d'un corps et le rayonnement optique (infrarouge ou visible) que ce corps émet. Les capteurs utilisés sont donc des capteurs optiques, photo-électriques ou thermiques. L'intérêt de la pyrométrie optique est de permettre la détermination d'une température sans contact avec l'objet.

Les pyromètres optiques sont utilisés principalement dans les conditions ou il est impossible de traiter avec les capteurs classiques comme:

- Température très élevée (supérieur à 2000 °C) ;
- Mesure à grande distance ;
- Environnement très agressif ;
- Pièce en mouvement.

1.7.Classification des capteurs :

Selon la nature du signal de sortie des capteurs on peut les classer en trois catégories :

1.7.1. Signal logique :

L'information ne peut prendre que la valeur 1 ou 0. On parle alors d'un détecteur tout ou rien « TOR ». La figure 2a présente la caractéristique d'un thermostat réglé à une température de 25°C.

I.7.2. Signal analogique :

L'information peut prendre toutes les valeurs possibles entre 2 certaines valeurs limites. On parle alors d'un capteur analogique. La **Fig1.6** montre la caractéristique d'un thermomètre analogique.

I.7.3. Signal numérique :

Est une information binaire codée sur plusieurs fils ou bits de différents poids représentant une valeur numérique (mot).[2]

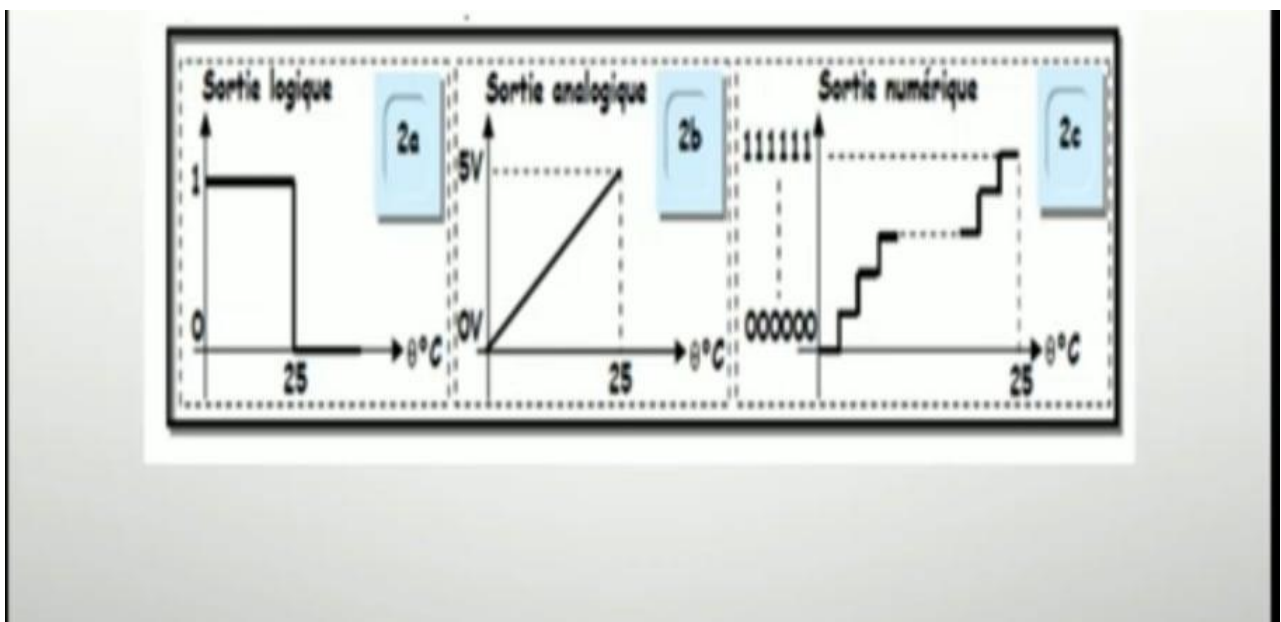


Figure I.5: Classification des capteurs[7]

I.8. Chaîne de mesure :

La chaîne de mesure est constituée trois étapes [4]:

- **Corps d'épreuve** :celui en contact direct avec la mesurande.
- **Capteur intermédiaire** :ce transducteur est associé à un conditionneur qui fournit une grandeur électrique de sortie exploitable.
- **Conditionneur** :qui fournit une grandeur électrique de sortie exploitable et d'autre part, il détermine la nature finale du signal électrique.

L'ensemble de ces étapes constitue la chaîne de mesure (**Figure1.6**).

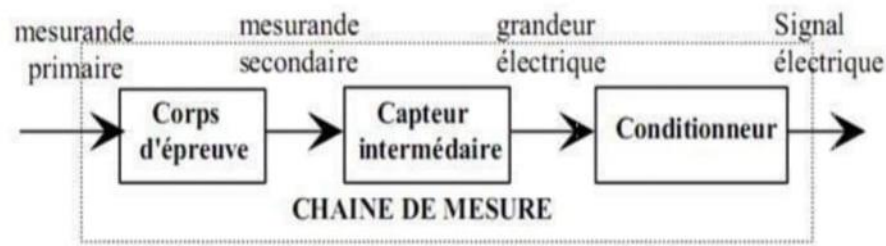


Figure I.6: Constitution d'une chaîne de mesure classique[4]

I.9. Les caractéristiques d'un capteur :

Les caractéristiques des capteurs sont [14]:

- ✚ **Etendue de mesure** : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.
- ✚ **Résolution** : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- ✚ **Sensibilité** : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- ✚ **Précision** : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.
- ✚ **Rapidité** : Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
- ✚ **Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.
- ✚ **Fidélité** : un capteur est fidèle si ses valeurs ne changent pas au cours du temps (mesures reproductibles) : si on mesure deux fois la même grandeur à deux moments différents, on doit obtenir deux fois la même valeur.[8]

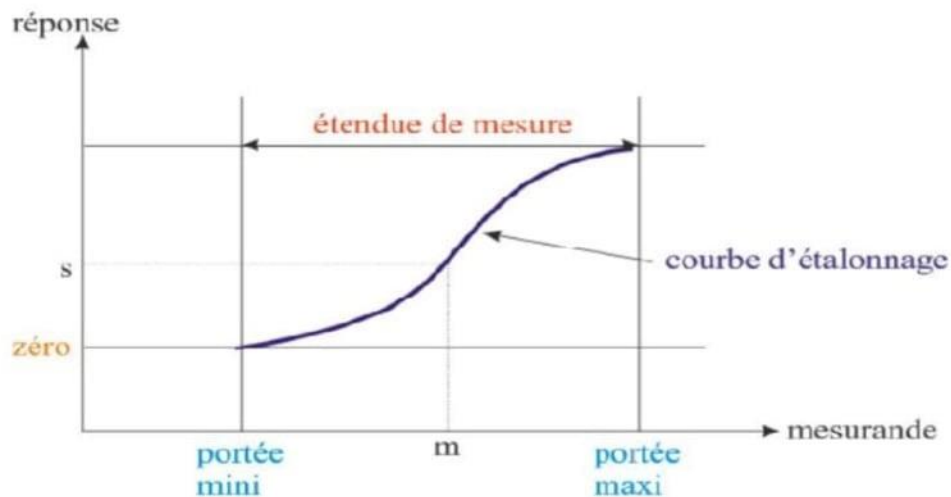


Figure I.7 : Etendue de mesure et courbe d'étalonnage du capteur[14]

I.10. Capteur de température

I.10.1. Définitions :

LM335 est un capteur de température analogique, in est dispositif à 3 broches (comme un transistor) qui convertit la température en tension analogique. Ce capteur nécessite un module ADC (Analog-to-Digital Converter) afin de convertir la tension analogique en donnée numérique.

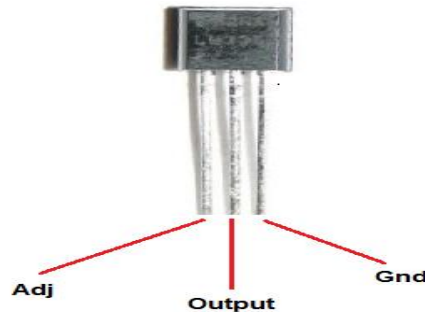


Figure I.8 : Capteur LM335[10]

I.10.2. Les caractéristiques de LM335 :

- Directement calibré à l'échelle de température kelvin.
- Précision initiale de 1°C disponible.
- Fonctionne de 400 μ A à 5mA
- Impédance dynamique de moins 1 Ω
- Facilement calibré.
- Large plage de température de fonctionnement (-40°C à 100°C).
- Faible cout.
- 200°C Ovrerange

Le LM335 a une tension de panne directement proportionnelle à la température absolue à 10 mV/°K. Si la tension de sortie du LM335 par exemple est de 3,03 (3030 mV), cela signifie que la température est : 303 °Kelvin = 30 °Celsius. Le montage le plus utilisé pour ce composant est donnée par la figure suivant :

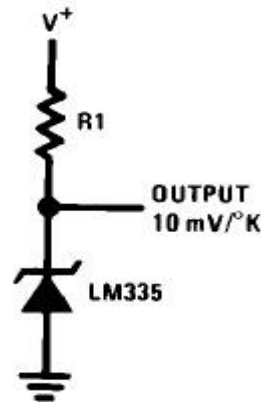


Figure I.9 : Schéma électrique du capteur de température Le LM335 dans la plage de -40°C à 100°C

I.10.3. Différents version du LM335 :

Voici le brochage des différentes versions du LM335 :

Référence fabricant	Description	Type de capteur	Température de détection - Locale	Précision - La plus élevée (la plus faible)	Quantité disponible
LM335Z/NOPB	SENSOR ANALOG - 40C-100C TO92-3	Analogique, local	-40°C ~ 100°C	$\pm 6^\circ\text{C}$ ($\pm 9^\circ\text{C}$)	2996- Immédiatement 9000-Stock usine
LM335AZ/NOPB	SENSOR ANALOG - 40C-100C TO92-3	Analogique, local	-40°C ~ 100°C	$\pm 3^\circ\text{C}$ ($\pm 5^\circ\text{C}$)	4256- Immédiatement 9000 - Stock usine
LM335MX/NOPB	SENSOR ANALOG - 40C-100C 8SOIC	Analogique, local	-40°C ~ 100°C	$\pm 6^\circ\text{C}$ ($\pm 9^\circ\text{C}$)	3510- Immédiatement 740 - Stock usine
LM335AH/NOPB	SENSOR ANALOG - 40C-100C TO46-3	Analogique, local	-40°C ~ 100°C	$\pm 3^\circ\text{C}$ ($\pm 5^\circ\text{C}$)	315- Immédiatement 9000 - Stock usine
LM335AMX/NOPB	SENSOR ANALOG- 40C-100C 8SOIC	Analogique, local	-40°C ~ 100°C	$\pm 3^\circ\text{C}$ ($\pm 5^\circ\text{C}$)	0

LM335M/NOPB	SENSOR ANALOG-40C-100C 8SOIC	Analogique, local	-40°C~100°C	±6°C(±9°C)	93- Immédiatement 9975 - Stock usine
LM335AM/NOPB	SENSOR ANALOG-40C-100C 8SOIC	Analogique, local	-40°C~100°C	±3°C(±5°C)	1385- Immédiatement 9975 - Stock usine
LM335H/NOPB	SENSOR ANALOG-40C-100C TO46-3	Analogique, local	-40°C~100°C	±6°C(±9°C)	1207- Immédiatement 7000 - Stock usine
LM335M	SENSOR ANALOG-40C-100C 8SOIC	Analogique, local	-40°C~100°C	±6°C(±9°C)	323- Immédiatement 9975 - Stock usine
LM335AM	SENSOR ANALOG-40C-100C 8SOIC	Analogique, local	-40°C~100°C	±3°C(±5°C)	214 – Immédiatement

Tableau I.4: les Différentes versions du LM335 [11]

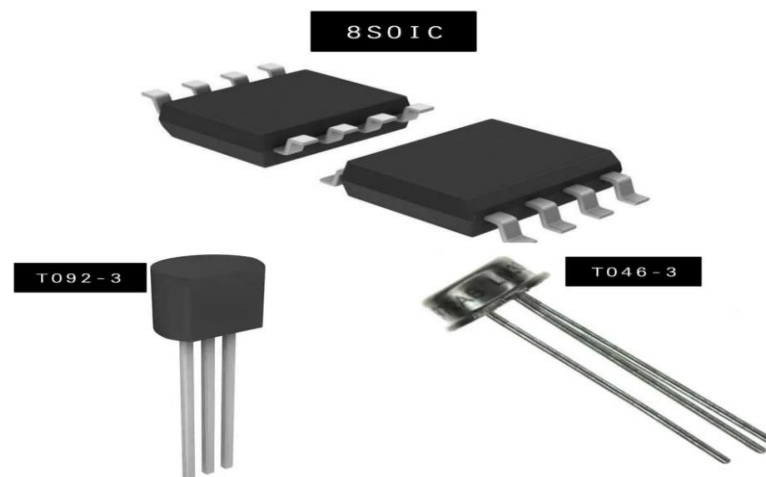
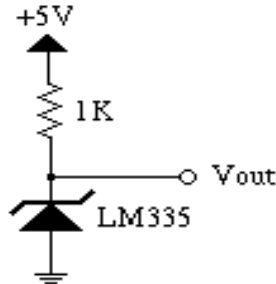


Figure I.10: Les différentes versions du LM335

I.10.4. Fonctionnement du capteur de température LM335 [9]:

Étant donné que le capteur est une diode zener, un courant de biais doit être établi afin d'utiliser l'appareil. La fiche technique indique que la diode doit être biaisée entre 400 μ A et 5

mA; On va le biaiser à 2 mA. Il est important de noter que l'auto chauffe peut être un facteur important, c'est pourquoi je ne choisis pas un courant de biais plus élevé. Le circuit de biais est le suivant:

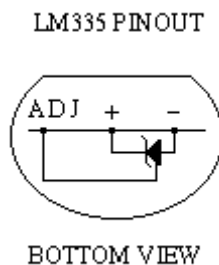


La sortie de tension du capteur de température est liée à la température absolue par l'équation suivante :

$$V_{out} = V_{outT_0} * T / T_0,$$

Où T_0 est la température de référence connue où V_{outT_0} a été mesuré. Le V_{outT_0} nominal est égal à $T_0 * 10 \text{ mV/K}$. Ainsi, à 25 C, V_{outT_0} est nominale 298 K * 10 mV /K = 2,98 V (pour être vraiment précis, nous avons besoin d'une température de référence et un voltmètre, mais les valeurs nominales sont OK pour nos fins). Ainsi, la tension a chuté entre +5 et la diode est de $5V - 2.98V = 2.02V$. Afin d'obtenir 2 mA biais actuel, nous avons besoin d'une résistance 1 K pour R_1 .

Un pinout du capteur est fourni ci-dessous:



Notez que la broche adj n'est pas connectée. La goupille adj est utilisée pour couper la diode pour être plus précise.

Voici les mesures que vous devez prendre pour assembler le capteur de température :

1. Couper les fils du capteur de température à environ 5 mm de longueur.

2. Couper les fils de la résistance 1K à environ 2,5 mm de longueur.
3. À l'aide d'une troisième main et d'un bon fer à soucoupe propre, étain les fils du capteur et de la résistance.
4. Attachez une extrémité de la résistance 1K à la goupille « + » du capteur de température.
5. Couper une longueur de câble à trois conducteurs (comme le câble ruban). Je suggère une longueur d'au moins deux ou trois pieds, vu que la façon dont vous souhaitez placer le capteur à un endroit arbitraire dans votre chambre. Je suggère une longueur maximale de 15 pieds.
6. Fendre et dépouiller une extrémité du câble ruban, et étain les fils.
7. Soudez deux conducteurs du câble ruban à l'extrémité libre de la résistance et la broche « - » du capteur de températures.
8. Maintenant, voici la partie la plus difficile. Soudez le conducteur restant du câble ruban à la jonction de la résistance 1K et le « + » plomb du capteur de température. Vous voudrez vous assurer que le conducteur est juste la bonne longueur pour « tomber » en place, parce que si vous devez le plier environ, la tension dans le câble rendra la soudure très difficile.
9. Envelopper le câblage exposé dans de la colle chaude. Assurez-vous de ne pas gobe la colle sur le capteur; vous voulez laisser autant de capteur découvert que possible. Trop de colle peut interférer avec le temps de réponse du capteur.
10. Connectez Vout à l'une des entrées analogiques du HC11.

I.10.5. Étalonnage du capteur :

Le capteur IM335 est déjà étalonner et linéarisé alors ont utilisé justement la résistance R4 pour faire préciser la valeur de température afin d'obtenir une température réel.

Procédé pratique d'étalonnage : Puisque le capteur est linéaire 10mv/K alors après la réalisation du système on pose le capteur dans l'eau glacé de 0° puis on ajuster le potentiomètre pour obtenir 0 degré.[12]

I.11. Conclusion :

Ce chapitre décrit les notions de la thermométrie et il donne un petit aperçu sur les capteurs en général, puis une description sur les caractéristiques et le fonctionnement du capteur de température LM335 utilisée pour la simulation de notre projet.

Références Bibliographiques :

[1] : TERTAG Fatima et FERNANE Kheira, « REALISATION D'UN THERMOMETRE ELECTRONIQUE », Mémoire de fin d'études, Université Abou BakrBelkaïd de Tlemcen, 2016.

[2] : https://www.lnw.lu/Departements/Physique/personnel/reiyy/documents/3bc/cours_3BC_I,1.pdf

[3] : http://www.edu-set.fr/signal/co/Generalites_capteurs.html

[4] : DJEBLI ASSIA et BEZZA FATNA, « Conception, simulation et réalisation d'un détecteur de pulsation cardiaque couplé à un thermomètre électronique », Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE DE SAÏDA DR MOULAY TAHAR, 2018.

[5]: AMMARKHODJA Nassim, « Etude et réalisation d'une alarme de température à base d'une carte Arduino », Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU ,2017/2018.

[6] : Mr BOUROUROU Zakarya et Mr LAMA Abderrazzak, « Réalisation d'un thermomètre à LEDs », Mémoire de fin d'études,UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID – TLEMEN, Soutenu en 09 JUIN 2015.

[7] : <https://www.youtube.com/watch?v=CRCHbuLNW9s>.

[8] : <https://p.21-bal.com/doc/2488/index.html#:~:text=Un%20capteur%20est%20fid%C3%A8le%20si%20ses%20valeurs%20ne,on%20doit%20obtenir%20deux%20fois%20la%20m%C3%A8me%20valeur.>

[9] : <http://web.mit.edu/rec/www/workshop/lm335.html>

[10]: <https://amazingpprogramsnetworkzv.blogspot.com/2019/12/download-lm335-datasheet.html>

[11]: <https://www.digikey.fr/fr/product-highlight/t/texas-instruments/lm335-temperature-sensor>

[12]: Yacine a. AMKASSOU et Omar ELBARMAKI et Sliman ELNAIRY, « mini projet : THERMOMETRE A BASE DU Arduino UNO », ECOLE NATIONALE DES SCIENCES APPLIQUEED DE KHOURIBGA, 2012/2013.

CHAPIRE 02 :

**DESCRIPTION ET
MISE EN OEUVRE
DU ARDUINO**

II.1 Introduction :

Le système Arduino donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, pour programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique. [1]

II.2. Définition du module Arduino:

Arduino est une carte électronique sur laquelle se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques.

- **Circuit imprimé** : C'est une sorte de plaque sur laquelle sont soudés plusieurs composants électroniques reliés entre eux par un circuit électrique plus ou moins compliqué. L'Arduino est donc un circuit imprimé. La photo donne une idée de la taille par rapport à la connexion USB carrée (à gauche sur la photographie, la même que sur votre imprimante par exemple).[2]

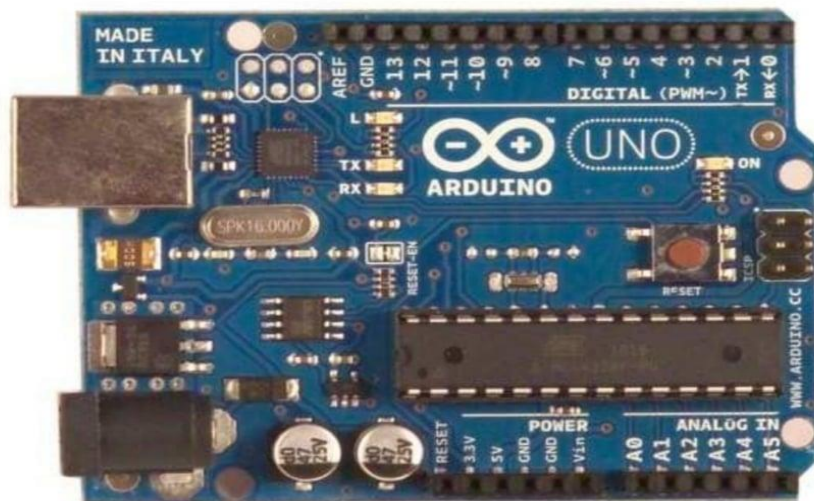


Figure II.1 : la carte Arduino UNO[9]

- **Matériel libre** : En fait, les plans de la carte elle-même sont accessibles par tout le monde, gratuitement. La notion de libre est importante pour des questions de droits de propriété.
- **Microcontrôleur** : C'est le cœur de la carte Arduino. C'est une sorte d'ordinateur minuscule (mémoire morte, mémoire vive, processeur et entrées/sorties) et c'est lui que nous allons programmer. Sur la photo précédente, c'est le grand truc rectangulaire noir avec plein de pattes. Une fois lancé et alimenté en énergie, il est autonome. La force de l'Arduino est de nous proposer le microcontrôleur, les entrées/sorties, la connectique et l'alimentation sur une seule carte. La carte Arduino

est construite autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (pas toujours le même en fonction de la date de sortie de la carte) avec une capacité de mémoire de 32000 octets pour l'Arduino UNO. Soit 32 Ko, ce qui n'est vraiment pas beaucoup et qui permet pourtant de réaliser un max de projets ![2]

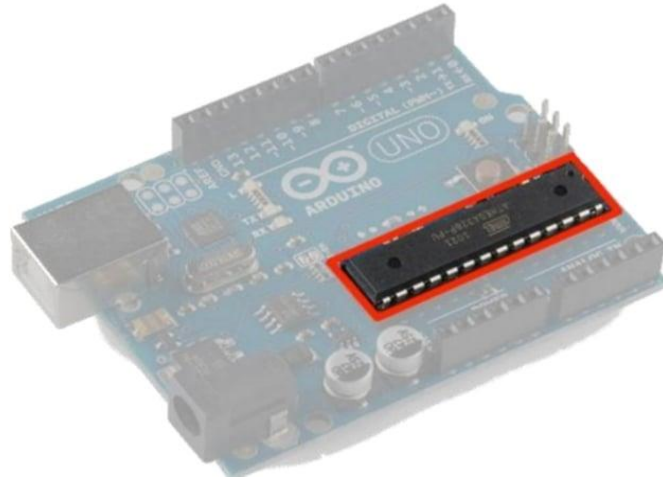


Figure II.2 : Le microcontrôleur de l'Arduino[2]

L'Arduino est donc une carte qui se connecte sur l'ordinateur pour être programmée, et qui peut ensuite fonctionner seule si elle est alimentée en énergie. Elle permet de recevoir des informations et d'en transmettre depuis ou vers des matériels électroniques (diodes, potentiomètres, récepteurs, servomoteurs, moteurs, détecteurs...).

Voici un schéma qui résume les principales interactions en jeu lorsque l'on programme une carte Arduino pour contrôler du matériel. Les flèches vertes indiquent la circulation des signaux électriques, la flèche orange pointillée représente l'envoi du programme vers l'Arduino et les flèches bleues les interactions avec le monde réel.[2]

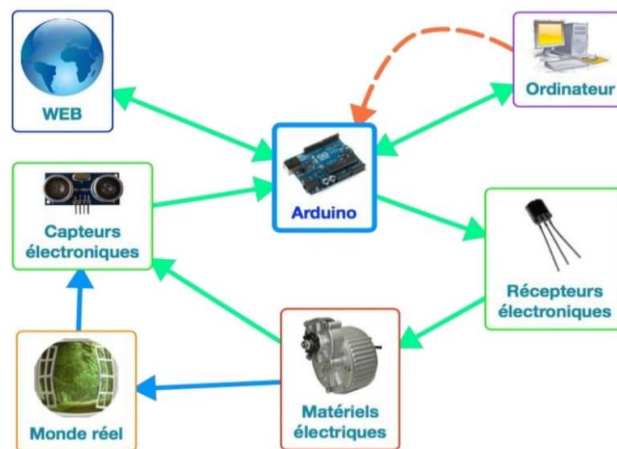


Figure II.3 : Architecture d'un système à base d'une carte Arduino[2]

II.3. Le but et l'utilité de la carte Arduino :

Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, nous allons programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

L'utilité est sans doute quelque chose que l'on perçoit mal lorsque l'on débute, mais une fois que vous serez rentré dans le monde de l'Arduino, vous serez fasciné par l'incroyable puissance dont il est question et des applications possibles ![3]

II.4. Applications du module Arduino :

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines ! Je vous l'ai dit, l'étendue de l'utilisation de l'Arduino est gigantesque.

Pour vous donner quelques exemples, vous pouvez :

- ✓ contrôler les appareils domestiques
- ✓ fabriquer votre propre robot
- ✓ faire un jeu de lumières
- ✓ communiquer avec l'ordinateur
- ✓ télécommander un appareil mobile (modélisme) etc.

Avec Arduino, nous allons faire des systèmes électroniques tels qu'une bougie électronique, une calculatrice simplifiée, un synthétiseur, etc. Tous ces systèmes seront conçus avec pour base une carte Arduino et un panel assez large de composants électroniques.[3]

II.5. Les types de la carte Arduino :

Il existe plusieurs types de carte Arduino, on trouve les originaux et les dérivés (compatibles avec Arduino). Parmi les plus utilisées dans le monde des systèmes embarquées on a : la UNO, laLEONARDO, la DUE, la MEGA et sa petite amélioration la MEGA2560, et la Yun[4]

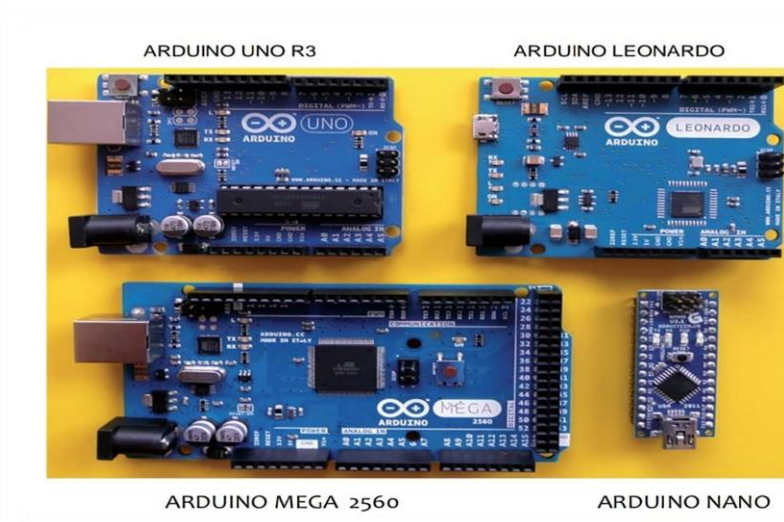


Figure II.4 : type de carte Arduino[2]

Le tableau II-1 décrit brièvement quelques importantes caractéristique des cartes précitées :

Arduino	microcontrôleur	Flash KO	EEPROM KO	SPAM KO	Broches d'E/S analogique	Broches d'entrée analogique	Vitesse du processeur
UNO	ATmega238P	32	1	2	14	6	16MHZ
LOENARDO	ATmega32U4	32	1	2.5	20	12	16MHZ
MEGA	ATmega1280	128	4	8	54	16	16MHZ
MEGA2560	ATmega2560	256	4	8	54	16	16MHZ
DUE	Atmel SAM3x8E	512	0	96	54	12	84MHZ
Yun	ATmega32u4	23	1	2.5	20	12	16MHZ

Tableau II.1: quelques cartes Arduino et leur caractéristique[4]

Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt de cette carte est de faciliter la mise en œuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite.[4]

II.6. Pour quoi Arduino UNO ?

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation, et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs, tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit: [5]

- **Le prix (réduits):**les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 2500 Dinars).
- **Multi plateforme:** le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- **Un environnement de programmation clair et simple:** l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- **Logiciel Open Source et extensible:** le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).
- **Matériel Open source et extensible:** les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût. [5]

II.7. La constitution de la carte Arduino UNO :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMEL AVR, 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 préprogrammé avec un boot loader, de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.[5]

II.7.1. Partie matérielle :

Généralement, tout module électronique possédant une interface de programmation, est basé toujours dans sa construction sur un circuit programmable ou plus.[5]

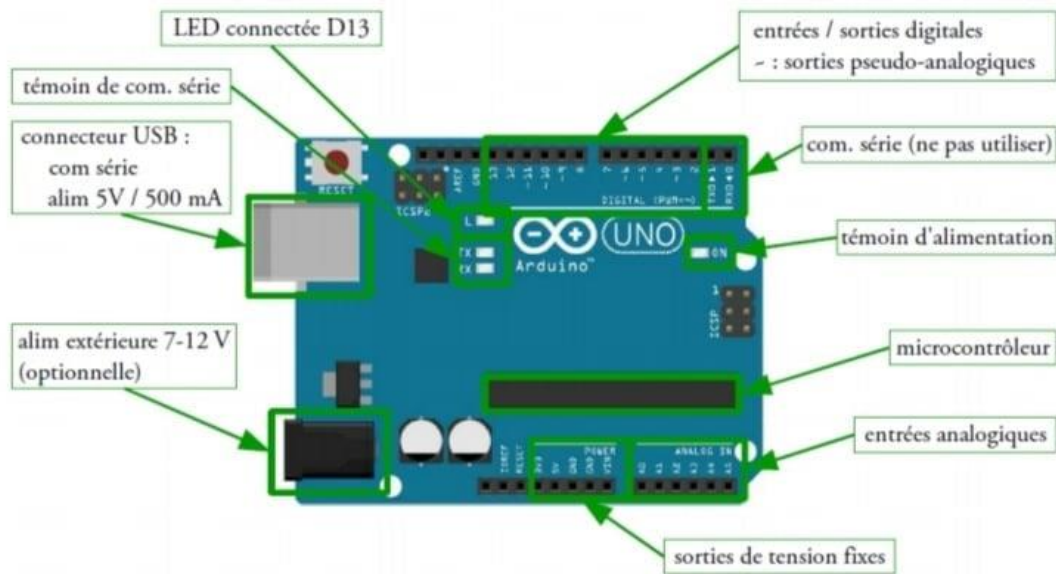


Figure II.5 : illustre une carte Arduino UNO[4]

a) **Microcontrôleur :**

C'est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments dans un espace réduit, qui est un système à microprocesseur contenant des périphériques intégrés tel mémoire données, des programmes pouvant être utilisés comme un système embarqué. L'architecture de la carte Arduino a été publiée en open-source, et toute sa philosophie s'appuie sur le monde du libre, au sens large.

Les microcontrôleurs sont de plus en plus utilisés dans les applications embarquées tels les téléphones, les automobiles.....[4]

La **Figure II.6** : illustre un microcontrôleur ATmega328 de la carte Arduino Uno.

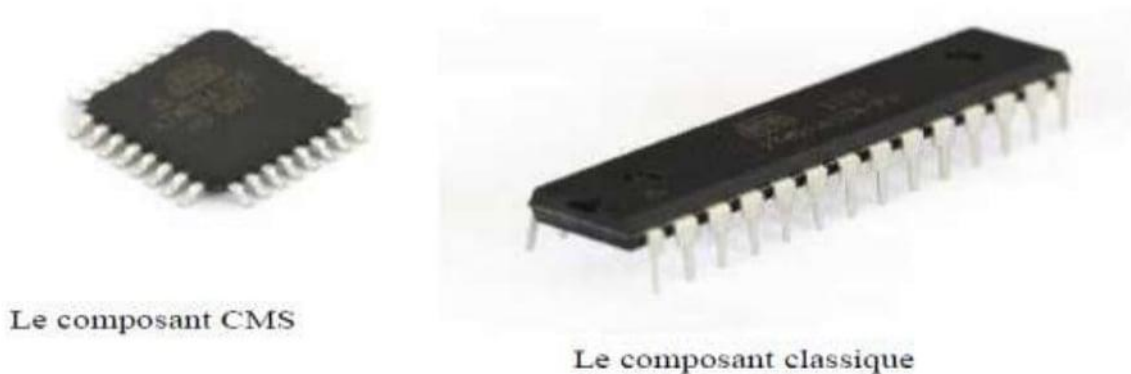


Figure II.6 : Microcontrôleur ATmega328[6]

Le microcontrôleur est composé de quatre parties principales :

- Un microprocesseur dont la fonction est le traitement des informations, composé d'une unité arithmétique et logique(UAL), d'un bus de données, d'adresse et de commande, ayant pour tâche l'exécution du programme embarqué dans le microcontrôleur.
- Une mémoire de données (RAM ou EEPROM) dans laquelle seront stockées les données temporaires nécessaires aux calculs qui est une mémoire de travail volatile.
- Une mémoire de programme (flash), contenant les instructions du programme à exécuter. Il s'agit ici d'une mémoire non volatile.
- La dernière partie correspond aux ressources auxiliaires qui sont [4]:
 - Des ports d'entrées / sorties (parallèle ou série).
 - Des timers servant à générer ou mesurer des signaux.
 - Des convertisseurs A/N pour le traitement des signaux analogiques.

b) Entrées et sorties numériques :

Chacune des 54 broches numériques de la carte Arduino UNO peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions **pinMode ()**, **digitalWrite ()** et **digitalRead ()** du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V.

Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KΩ. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction digitalWrite (broche, HIGH).[7]

De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

Communication Série	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Port série serial 0 : 0 (RX) and 1 (TX) ; ✓ Port série serial 1 : 19 (RX) and 18 (TX) ; ✓ Port série serial 2 : 17 (RX) and 16 (TX) ; ✓ Port série serial 3 : 15 (RX) and 14 (TX) ; • Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données sériées de niveau TTL. • Les broches 0 (RX) and 1 (TX) sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Broche 2 (interruption 0) ; ✓ Broche 3 (interruption 1) ; ✓ Broche 18 (interruption 5) ; ✓ Broche 19 (interruption 4); ✓ Broche 20 (interruption 3) ;

Interruptions Externes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Broche 21 (interruption 2) ; <p>Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. (l'instruction <i>attachInterrupt ()</i>).</p>
Impulsion PWM	Impulsion PWM (Largeur d'impulsion modulée). Les Broches 0 à 13 fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction <i>analogWrite ()</i> .
SPI (Interface Série Périphérique)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Broche 50 (MISO) ; ✓ Broche 51 (MOSI) ; ✓ Broche 52 (SCK) ; ✓ Broche 53 (SS) ; • Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. • Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Uno, Duemilanove et Diecimila.
I2C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Broche 20 (SDA) ; ✓ Broche 21 (SCL) ; • Supportent les communications de protocole I2C ou interface TWI (TwoWireInterface Interface « 2 fils »), disponible en utilisant la librairie <i>Wire/I2C</i>(ou <i>TWI-Two-Wire</i> interface « 2 fils »). • Noter que ces broches n'ont pas le même emplacement que sur les cartes Uno, Duemilanove ou Diecimila.
LED	Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.

Tableau 1.2: Différentes broches entrées/sorties numériques [7]

c) Broches analogiques :

La carte Arduino Méga 2560 dispose de 16 entrées analogiques, chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (c.-à-d. sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile **fonction *analogRead ()*** du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction ***analogReference ()*** du langage Arduino. [7]

Note: Les broches analogiques peuvent être utilisées en tant que broches numériques. [7]

Il y a deux autres broches disponibles sur la carte :

- ❖ **AREF:** Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V). Utilisée avec l'instruction **analogReference ()**.
- ❖ **RESET:** Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation (ou le redémarrage) du microcontrôleur. Typiquement, cette broche est utilisée pour ajouter un bouton de réinitialisation sur le circuit qui bloque celui présent sur la carte.[7]

II.7.2. Partie programme :

La carte Arduino est une carte électronique qui ne sait rien faire sans qu'on lui dise quoi faire. Pourquoi ? Eh bien c'est dû au fait qu'elle est programmable. Cela signifie qu'elle a besoin d'un programme pour fonctionner.

L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).[2]

II.7.2.1. L'environnement de la programmation :

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino.[2]

II.7.2.2. Structure générale du programme (IDE Arduino) :

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.[8]

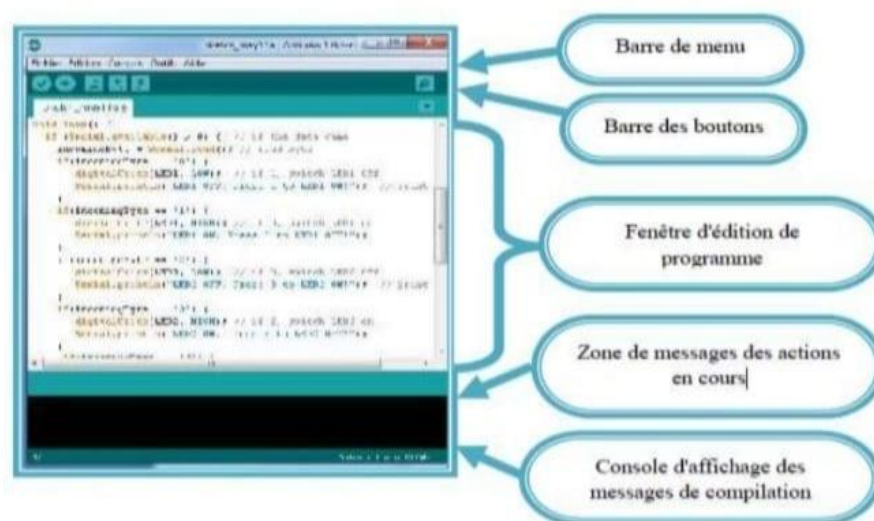


Figure II-7 : Interface IDE Arduino[8]

II.7.2.3. Injection du programme :

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 3) comme à titre d'exemple cette figure suivante.[2]

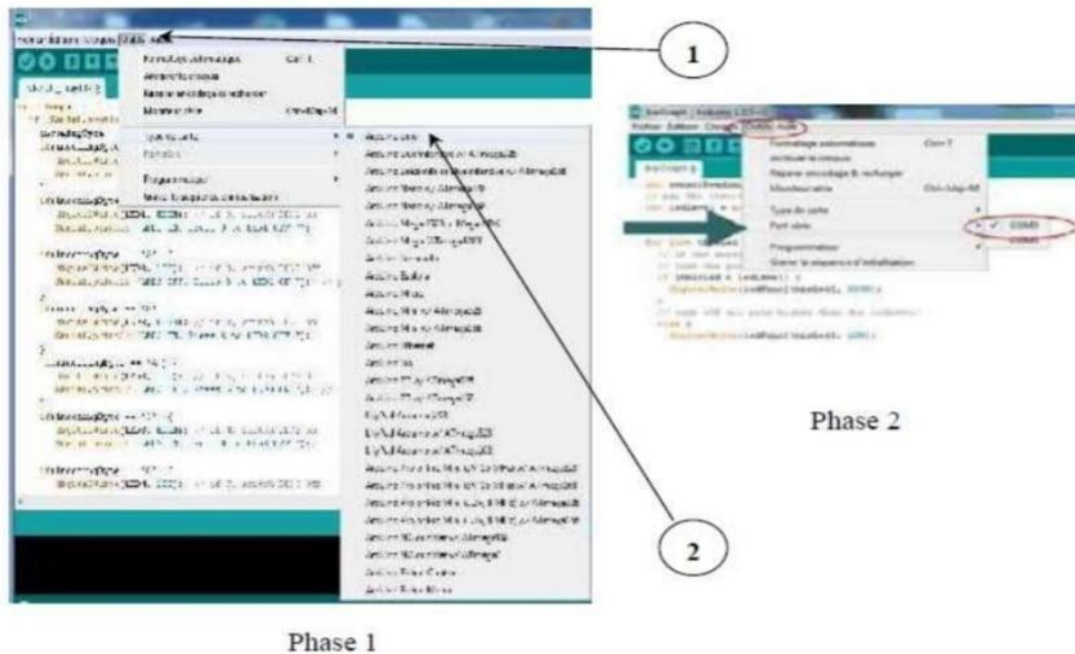


Figure II.8 : Paramétrage de la carte[5]

II.7.2.4. Description du programme :

Un programme 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 codes.

Commentaires :

Les commentaires sont, en programmation informatique, des portions du code source ignorées par le compilateur ou l'interpréteur, car ils ne sont pas censés influencer l'exécution du programme.[2]

II.7.2.5. Les étapes de télé versement du programme :

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB.[2]

1. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
2. On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).

3. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
4. On charge le programme sur la carte.
5. On câble le montage électronique.
6. L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
7. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome (pile 9 volts par exemple).
8. On vérifie que notre montage fonctionne.

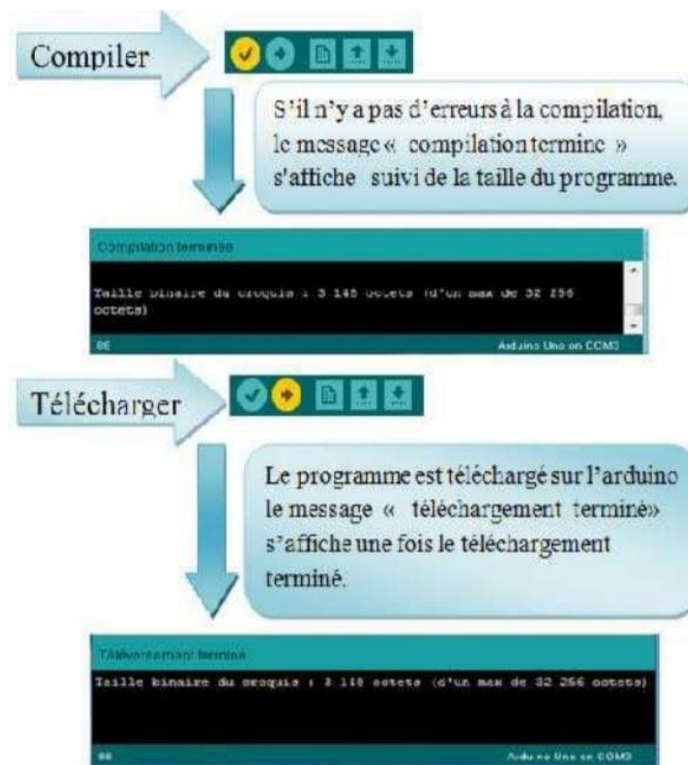


Figure II.9 : Les étapes de téléchargement du code[5]

II.8. Les accessoires de la carte Arduino :

La carte Arduino généralement est associée aux accessoires qui simplifient la réalisation.[5]

II.8.1. Les capteurs :

Un capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable est compréhensible par un système d'information.[5]



Figure II.10 : capteur Arduino[5]

Dans notre cas en utilise un LM335 qui est un capteur de température.

II.8.2. Communications :

Le constructeur a suggéré qu'une telle carte doit être dotée de plusieurs ports de communications ; on peut éclaircir actuellement quelques types.[5]

II.8.2.1. Le module Arduino Bluetooth :

Le Module Microcontrôleur Arduino Bluetooth est la plateforme populaire Arduino avec une connexion série Bluetooth à la place d'une connexion USB, très faible consommation d'énergie, très faible portée (sur un rayon de l'ordre d'une dizaine de mètres), faible débit, très bon marché et peu encombrant.[5]



Figure II.11 : Type de modules Bluetooth[5]

II.8.2.2. Le module shields Arduino Wifi:

Le module Shield Arduino Wifi permet de connecter une carte Arduino à un réseau internet sans fil Wifi.[5]



Figure II.12: Module shield wifi[5]

II.8.2.3. Le Module XBee:

Ce module permet de faire de la transmission sans fil, faible distance /consommation /débit/ prix.[5]



Figure II.13: Module XBee[5]

II.9. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présentés les caractéristiques de la carte Arduino donnant ainsi les raisons pour lesquelles on l'a choisie, puis nous avons cité des différents types de cette dernière. Ensuite, nous avons expliqué les deux parties essentielles de la carte Arduino ; la partie matérielle et la partie programmation. Enfin, Nous avons expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino et ses caractéristiques.

Références Bibliographiques :

[1] :<https://studylibfr.com/doc/5961550/tutoriel-arduino>

[2]:ZERROUKI Mohamed Amine, NESNAS Riadh, «CONCEPTION ET RÉALISATION D'UN SYSTÈME DE COMMANDE D'UNE HABITATION », Mémoire de fin d'études ,UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE « TIZI-OUZOU », 2017/2018.

[3] :<https://wiki.mdl29.net/lib/exe/fetch.php?media=elec:arduino-pour-bien-commencer-en-electronique-et-en-programmation.pdf>

[4]:Aghiles ABED, Hassina KACI MOUSSA, « Conception et réalisation d'un système de régulation à base d'un microcontrôleur », Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Ammeri De « Tizi-Ouzou », 12 juillet 2018.

[5] :AMMARKHODJA Nassim, « Etude et réalisation d'une alarme de température à base d'une carte Arduino », Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI « TIZI-OUZOU », 2017/2018.

[6] :https://www.researchgate.net/figure/MicrocontroleurATMega328_fig18_328006263

[7] :Aboubakr ELHAMMOUMI, Mohammed SLIMANI, « Conception et réalisation d'un prototype d'une maison domotique intelligente «My Smart Home»», Mémoire de fin d'études Mémoire de fin d'études, Université Hassan 1^{er}, 06 Octobre 2016.

[8]:Mokeddem Fatima ET Bachra Meryem Horyia, « Etude et réalisation d'une seringue électrique avec une carte Arduino », Mémoire de fin d'études, Université Abou BakrBelkaïdde Tlemcen, 16 juin2016.

[9] :Yacine a. AMKASSOU Omar ELBARMAKI Sliman ELNAIRY, « THERMOMETRE A BASE DU Arduino UNO », Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE HASSAN 1^{ER}.SETTAT, 2012/2013.

CHAPITRE 03 :

ETUDE ET SIMULATION DU THERMOMETRE DE TEMPERATURE

III.1. Introduction [1]:

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

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.

III.2. ISIS (Intelligent Schematic Input System) [2]:

Le module ISIS de Proteus est principalement utilisé pour éditer un schéma structurel d'un circuit électronique (assemblage de composants électroniques dont on fixe les valeurs et les références) reliés par des connexions électrique (fils). Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler les différents types de montages 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.



Figure III.1:Logiciel ISIS [1]

III.3. 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. [3]

III.4. Sélection des composants à utiliser [4] :

Pour faire la sélection des éléments qu'on veut utiliser:

Un clique sur l'icône (Component Mode) puis sur bouton parcourir la bibliothèque (**Figure III.2.**)

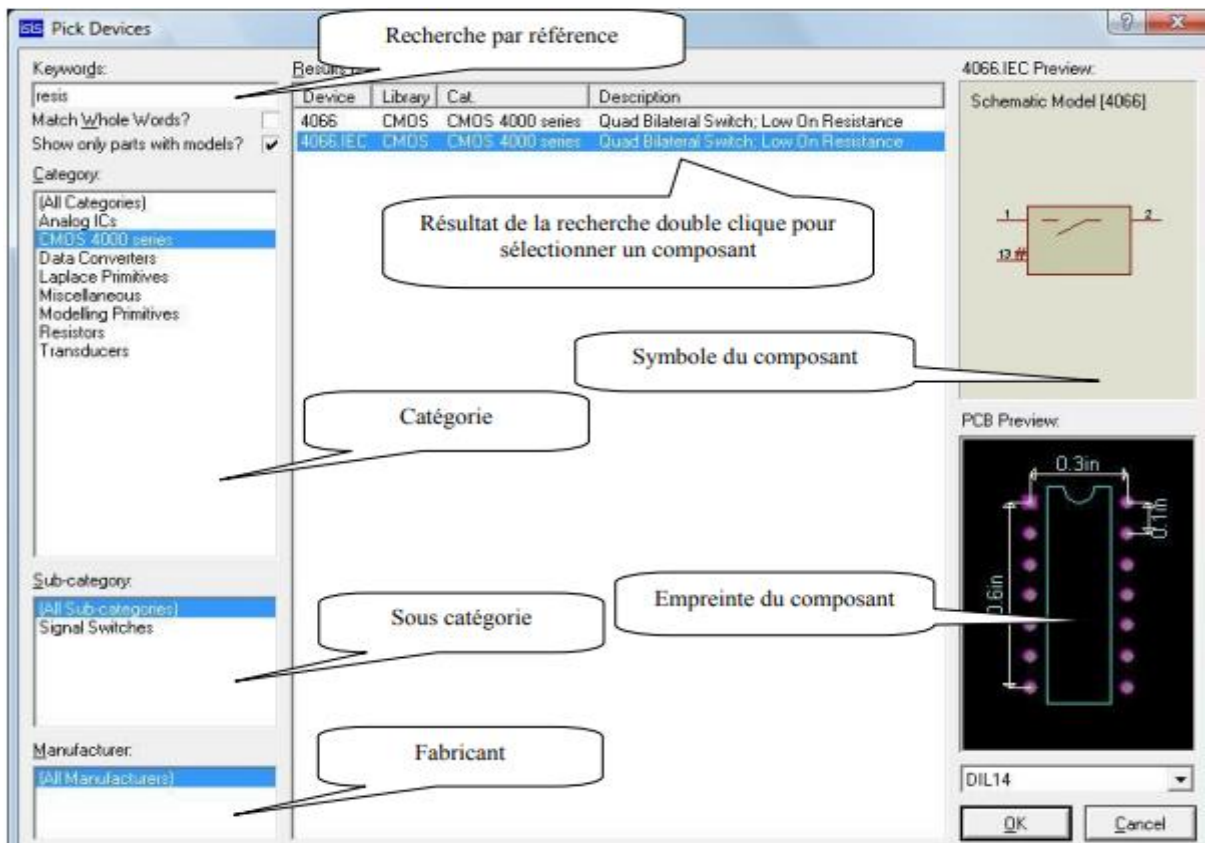


Figure III.2: Bibliothèque ISIS.[4]

III.5. Présentation du système [5] :

Un thermomètre numérique est composé d'un capteur de température LM335 et des composants électroniques qui ont pour rôle de traiter l'information et la rendre exploitable par l'utilisateur.

Notre projet consiste à réaliser un thermomètre numérique à base de capteur LM335 piloté par Arduino UNO R3 qui permet d'afficher la valeur de la température mesurée sur un afficheur LCD16 (liquid Crystal display).

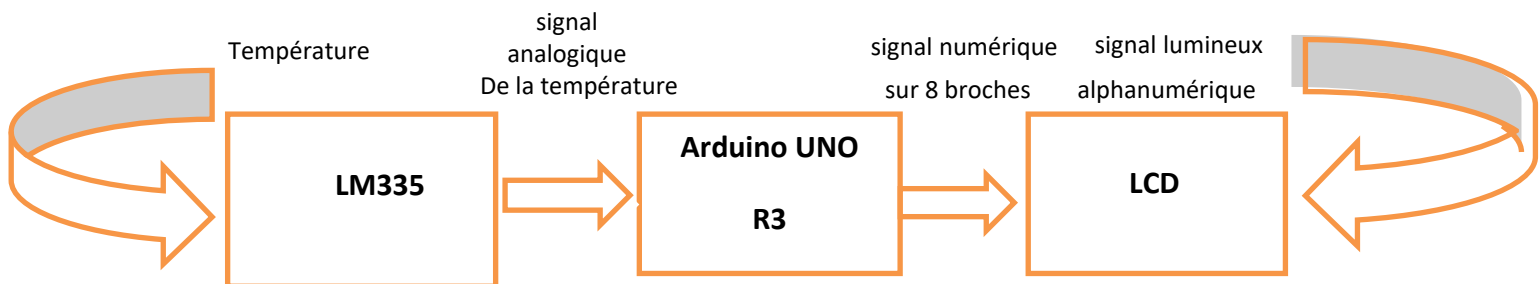


Figure III.3 : Schéma synoptique d'un thermomètre numérique

La grandeur physique que nous manipulons est une grandeur thermique : la température exprimée en °C. Le support nous permettant de la véhiculer (la température) est la tension analogique qui a pour unité le Volt.[6]

III.6. Conception du circuit électronique

III.6.1. Les composants utilisés :

Le schéma électrique comme le montre la Figure est composé de :

- ✓ Arduino UNO ;
- ✓ La résistance ;
- ✓ Capteur de température LM335 ;
- ✓ Afficheur LCD ;
- ✓ POT-hg

➤ **La résistance [7] :**

Une résistance est un composant électronique ou électrique dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance (mesurée en ohms) à la circulation du courant électrique.

La résistance électrique traduit la propriété d'un composant à s'opposer au passage d'un courant électrique (l'une des causes de perte en ligne d'électricité). Elle est souvent désignée par la lettre R et son unité de mesure est l'Ohm (symbole : Ω). Elle est liée aux notions de résistivité et de conductivité électrique.



Figure III.4: résistance[5]

➤ **Capteur de température LM335 [5] :**

Le LM335 est un capteur de température qui produit une tension qui varie en fonction de la température, la variation de la tension est très faible, et sa représentation graphique est une droite linéaire.



Figure III.5: LM335 [5]

➤ **Afficheur LCD (liquid Crystal display) [8]:**

Les afficheurs à cristaux liquides, appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA).

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), et aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro-éclairage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module.

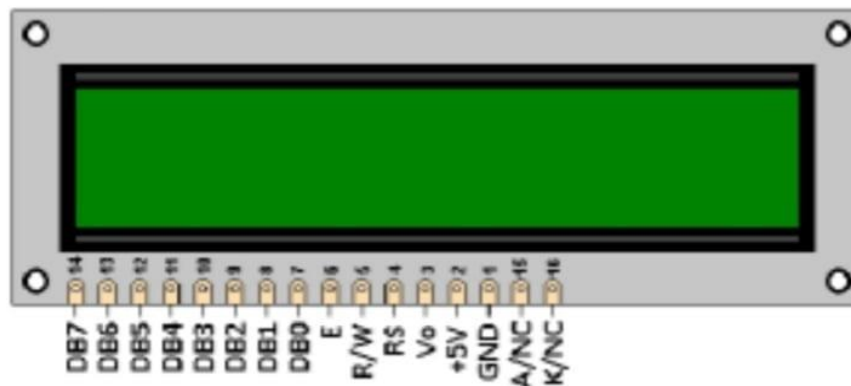


Figure III.6 : photo d'un LCD et son brochage [8]

Le Brochage du LCD est le suivant:

Brochage	Nom	Niveau	Fonction
1	Vss	-	Masse
2	Vdd	-	Alimentation positive +5V
3	V0	0-5V	Cette tension permet, en la faisant varier entre 0 et +5V, le réglage du contraste de l'afficheur.
4	RS	TTL	Sélection du registre (Register Select) Grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence entre une commande et une donnée. Un niveau bas indique une commande et un niveau haut indique une donnée.
5	R/W	TTL	Lecture ou écriture (Read/Write) L : Écriture/H : Lecture

6	E	TTL	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant. Le niveau haut doit être maintenue pendant au moins 450 ns à l'état haut.
7	D0	TTL	
8	D1	TTL	
9	D2	TTL	
10	D3	TTL	D0 → D7 Bus de données bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
11	D4	TTL	
12	D5	TTL	
13	D6	TTL	
14	D7	TTL	
15	A	-	Anode rétro éclairage (+5V)
16	K	-	Cathode rétro éclairage (masse)

Tableau III.1 : brochage d'un afficheur LCD [8]

Les avantages et les inconvénients des écrans LCD [6] :

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.

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.

➤ **POT-hg [9] :**

Le potentiomètre est le dispositif à trois bornes utilisé pour mesurer les différences de potentiel en faisant varier manuellement les résistances. La tension connue est attirée par la cellule ou toute autre source d'alimentation. Le potentiomètre utilise la méthode comparative qui est plus précise que la méthode de déviation. Donc, il est principalement utilisé dans les endroits où une plus grande précision est requise ou où aucun courant ne coule de la source sous test. Le potentiomètre est utilisé dans le circuit électronique, notamment pour contrôler le volume.

Les caractéristiques majeures du potentiomètre sont:

- Le potentiomètre est très précis car il travaille sur la méthode de comparaison plutôt que sur la méthode du pointeur de déflexion pour déterminer les tensions inconnues.
- Il mesure le point zéro ou le point d'équilibre qui ne nécessite pas de puissance pour la mesure.
- Le fonctionnement du potentiomètre est libre de la résistance de la source car aucun courant ne circule à travers le potentiomètre lorsqu'il est équilibré.

III.6.2. Conception du circuit électronique sous Proteus :

A l'aide du logiciel de simulation Proteus, on va alimenter le LM335 par une batterie de 5V et on place une résistance de protection du LM335 de valeur de $2k\Omega$ à la sortie du LM335 alors on obtient une tension continue proportionnel à la température mesuré.

Le montage le plus utilisé pour le LM335 est le suivant :

Le code source qui permet de configurer le LCD :

```
/*cette partie n'est à exécuter sous isis à affichage sur LCD */  
#include <LiquidCrystal.h>  
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);  
int outputPin=0;  
  
void setup() {  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.clear();  
  pinMode(9,OUTPUT);  
  pinMode(10,OUTPUT);  
  void loop(){  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(3,0);  
    lcd.print("UBBT");  
    delay(1000);  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("2020/2021");  
    delay(1000);  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(3,0);  
    lcd.print("M2");  
    delay(1000);  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(4,0);  
    lcd.print("MASTER");  
    delay(1000);  
    lcd.setCursor(2,1);  
    lcd.print("RESEAU");  
    delay(1000);  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(4,0);  
    lcd.print("18 JUIN");  
    delay(1000);  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(4,0);  
    lcd.print("JOURNEE");  
    delay(1000);  
    lcd.setCursor(3,1);  
    lcd.print("DU SOUTINANCE");  
    delay(1000);  
    lcd.setCursor(3,1);  
    lcd.print("PRESENTER PAR BRADAI GHEZEL");  
    delay(1000);  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(2,1);  
    lcd.print("ENCADREUR");  
    delay(1000);  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(2,1);  
    lcd.print("PR AYACHE");  
    delay(1000);  
    lcd.clear();  
  }  
}
```

Figure III.9 : Configuration du LCD


```
//cette partie n°2 principale du capteur lm335
int valeur=analogRead(outputPin);
float valeurVolt=(valeur*5.0)/1024.0;
float valeurTemperatureKelvin=valeurVolt;
int
valeurTemperaturecelsius=((valeur*5.0)/10.24)-273.15;
if(valeurTemperaturecelsius>25){digitalWrite(9,HIGH);
delay(500);
digitalWrite(10,LOW);}
if(valeurTemperaturecelsius<25){digitalWrite(10,HIGH);
delay(500);
digitalWrite(9,LOW);
}
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("TEMPERATURE");
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print(valeurTemperaturecelsius);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("DEGRE.C");
delay(3000);
}
```

Figure III.10 : Affichage de température sur LCD

III.6.4. Schémas du circuit électronique sous ARES

Après avoir s'assurer du fonctionnement du circuit sous l'environnement ISIS, nous sommes passés au dessin du schéma du circuit électronique sous l'environnement ARES (Figure III.11).

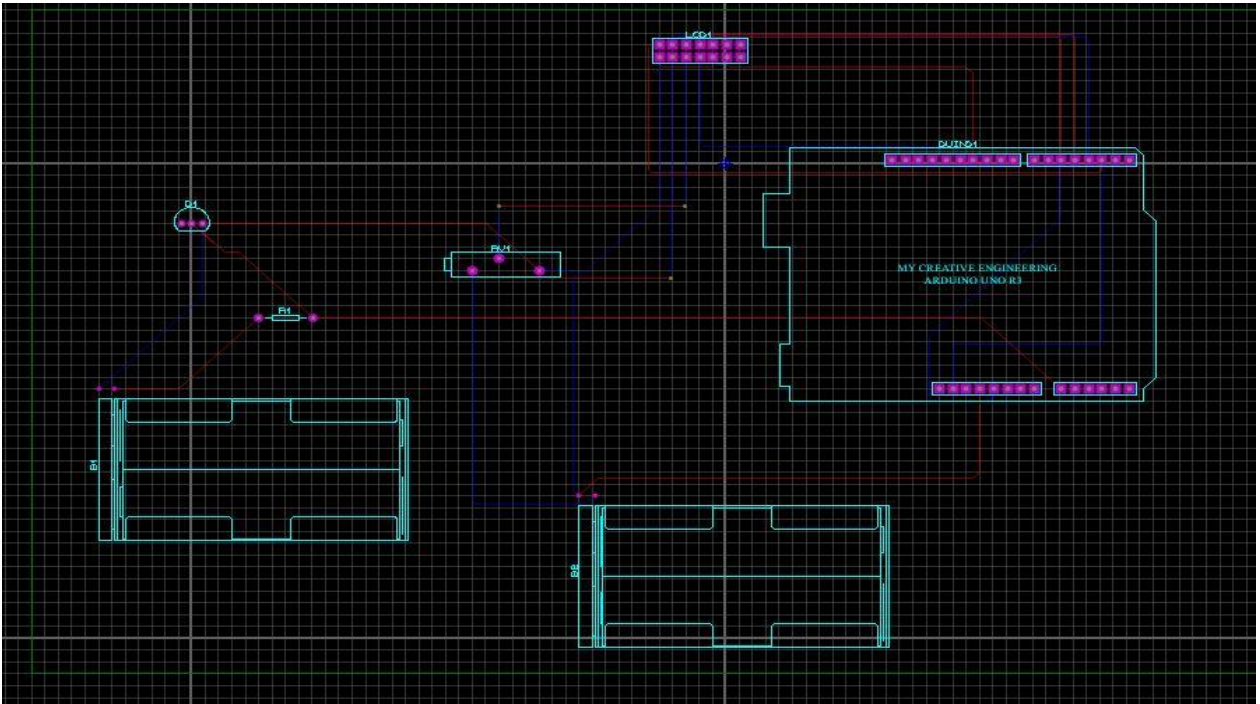


Figure III.11: circuit électronique sous ARES

III.6.5. Visualisation 3D:

Une vue en 3D de notre thermomètre numérique est montrée dans la **Figure III.12**.

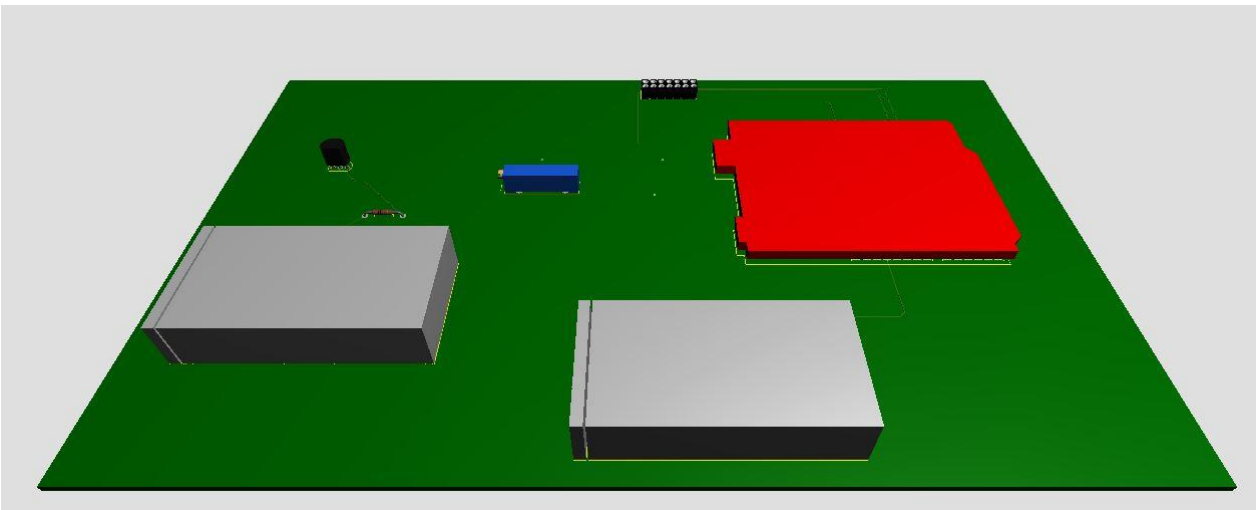


Figure III.12 : Visualisation 3D sous ARES

Sous l'environnement ARES, nous avons pu dessiner le schéma de circuit imprimé (typon) pour notre thermomètre, présenté ci-dessous.

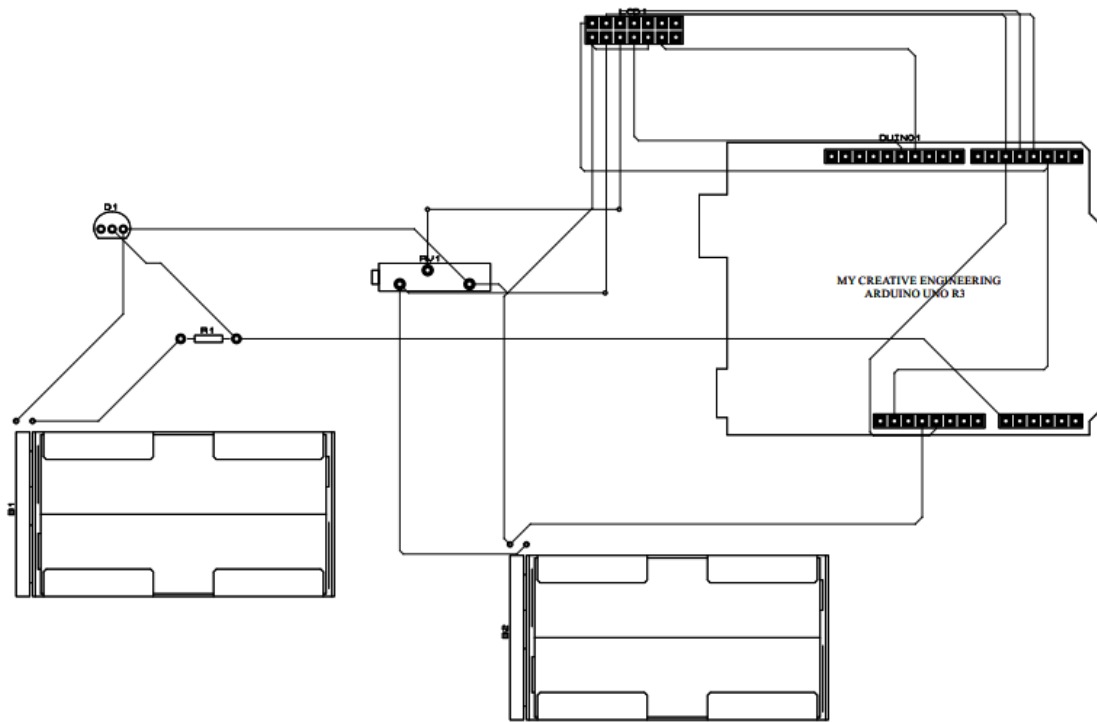


Figure III.13 : le typon sous ARES

III.6.6. Conception du circuit sous logiciel FRITZING :

Fritzing est un projet de logiciel libre, destiné aux à l'électronique. Il a notamment pour vocation de favoriser l'échange de circuits électroniques libres et d'accompagner l'apprentissage de la conception de circuits. Le logiciel conçu par la faculté de sciences appliquée de l'Université de Potsdam et dont le développement est assuré par la fondation, également nommée Fritzing, est un logiciel d'édition de circuit imprimé. Il est disponible dans seize langues dont le français. Il est adapté aux débutants ou confirmés en électronique pour faire rapidement des circuits simples, et est également un bon outils didactiques pour apprendre à bidouiller en électronique par la pratique. [10]

La visualisation de notre circuit sous logiciel FRITZING :

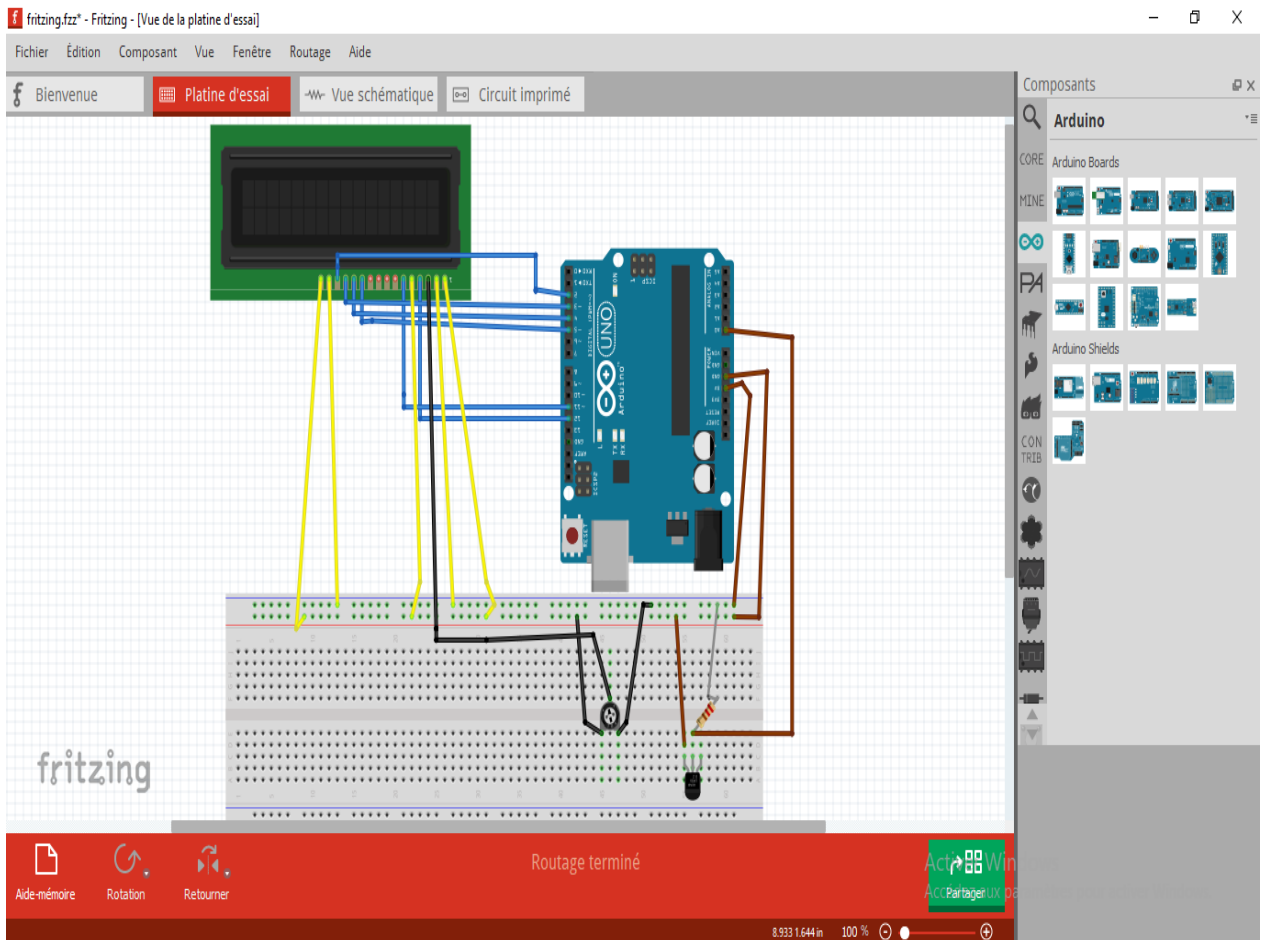


Figure III.14 : Conception du circuit sous logiciel FRITZING

III.7. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présenté la partie qui concerne la conception du circuit électronique qui compose la simulation d'un thermomètre numérique à l'aide d'un capteur de température LM335 à l'aide du logiciel Proteus ISIS et ARES; La visualisation de la plaque d'essai a été réalisée par le logiciel Fritzing et La programmation par le logiciel Arduino.

Références Bibliographiques :

[1] :HASSANI ALAOUI Fatima Zahra, « Conception et réalisation du thermomètre électronique à mémoire »,Mémoire de fin d'études, Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Soutenu le mardi 21 Juin 2011.

[2] :BOUALAM Lydia, HACHICHE Nadia, « Conception et Réalisation d'une Carte de Commande d'une Maquette d'Ascenseur à base d'une Carte Arduino Mega2560. », Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI « TIZI-OUZOU », soutenu le 06 septembre 2016.

[3] : <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>

[4]: SADI Adel, « Conception et simulation d'une carte d'acquisition de données météorologique en temps réels à base d'un microcontrôleur 18F45K22 », Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, 27/09/2018

[5] :Achraf HAMMOUMI, Adil BELHAJI, Karim LAGHRISSI, « Conception et réalisation d'un thermomètre numérique à base du PIC16F877A », Mémoire de fin d'études, Institut Supérieur d'ingénierie& des Affaires, « ISGA Rabat » Ecole d'ingénierie, 2015-2016.

[6] :DJEBLI ASSIA, BEZZA FATNA, « Conception, simulation et réalisation d'un détecteur de pulsation cardiaque couplé à un thermomètre électronique », Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE DE SAÏDA DR MOULAY TAHAR, Soutenu en Juin 2018.

[7] : SOUAK Elmahdi, ELOUAFI Hamza, CHAHID Amal, ELAZAOUY Achraf, « THERMOMETRE A BASE D'Arduino », office de la formation professionnelle et de la promotion du travail.

[8]: Alibi Elmehdi, Jawadi Sami, « conception et réalisation d'un enregistreur de données », Mémoire de fin d'études, Université Virtuelle de Tunis, 2010/2011.

[9] :TOUCHERIFT IDRIS, TAIEB HAMID, « Contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole », Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou, 2017-2018.

[10] : EBATA-ATIPO Hugor, BENTOUNSI Mohamed, « Réalisation et commande d'un robot détecteur d'obstacle », Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaghanem, 08/07/2019.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion Générale

Dans ce travail nous avons fait la conception d'un thermomètre numérique à base de l'ARDUINO UNO. Notre thermomètre utilise un capteur intégré LM335 pour la mesure de température. Les calculs et la conversion nécessaires sont confiés au microcontrôleur, et l'affichage sur l'Afficheur LCD, et les données sont traitées par le logiciel ISIS.

Dans la première partie nous avons commencé notre travail par une généralité sur les capteurs, et mettre la lumière sur capteur de température LM335, ainsi une étude approfondie sur la carte Arduino utilisé pour recevoir, traiter, et transmettre des données, et pour communiquer entre les systèmes électroniques.

La deuxième partie nous avons entamé notre simulation avec le logiciel ISIS. Ce qui nous amène à introduire dans notre schéma les éléments permettant de prendre en compte :

- Le capteur de température LM335 qui mesure la température avec un signal électrique (tension) proportionnel à la température en °C
- Un afficheur LCD qui permet l'affichage des variations de température en °C
- la carte Arduino UNO.

L'élaboration de ce travail nous a permis d'accéder à plusieurs domaines tels que l'utilisation de l'ARDUINO nous a introduits au domaine de μC , à leurs mises en œuvre et à leur système de développements ainsi que les différentes fonctionnalités qu'ils offrent.

ANNEX



LM135-LM235-LM335

Precision temperature sensors

Features

- Directly calibrated in °K
- 1°C initial accuracy
- Operates from 450µA to 5mA
- Less than 1Ω dynamic impedance

Description

The LM135, LM235, LM335 are precision temperature sensors which can be easily calibrated. They operate as a 2-terminal Zener and the breakdown voltage is directly proportional to the absolute temperature at 10mV/°K.

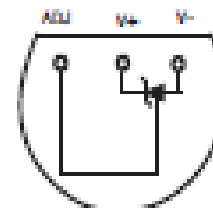
The circuit has a dynamic impedance of less than 1Ω and operates within a range of current from 450µA to 5mA without alteration of its characteristics.

Calibrated at +25°C, the LM135, LM235, and LM335 have a typical error of less than 1°C over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135, LM235, LM335 have a linear output.

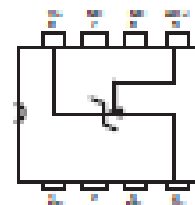


Pin connections

TO-92
(Bottom view)



SO-8
(Top view)



3 Temperature accuracy

Table 2. Temperature accuracy

Parameter	LM135 - LM235 - LM335A			LM335			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating output voltage $T_{\text{case}} = +25^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{q}} = 1\text{mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated temperature error ($I_{\text{q}} = 1\text{mA}$) $T_{\text{case}} = +25^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{case}} \leq T_{\text{max}}$		1 2	3 5		4 5	6 9	$^{\circ}\text{C}$
Temperature error with 25°C calibration $T_{\text{min}} \leq T_{\text{case}} \leq T_{\text{max}}$, $I_{\text{q}} = 1\text{mA}$ LM135 - LM235 LM335 LM335A		0.5 0.5	1.5 1		1 2	2	$^{\circ}\text{C}$
Calibrated error at extended temperature $T_{\text{case}} = T_{\text{max}}$ (intermittent)		2			2		$^{\circ}\text{C}$
Non-linearity ($I_{\text{q}} = 1\text{mA}$) LM135 - LM235 LM335 LM335A		0.3 0.3	1 1.5		0.3 1.5	1.5	$^{\circ}\text{C}$

4 Electrical characteristics

Table 3. Electrical characteristics

Parameter	LM135 - LM235			LM335-LM335A			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating output voltage change with current $450\mu\text{A} \leq I_{\text{q}} \leq 5\text{mA}$ at constant temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic impedance ($I_{\text{q}} = 1\text{mA}$)		0.5			0.6		Ω
Output voltage temperature drift		+10			+10		mV/ $^{\circ}\text{C}$
Time constant Still air Air 0.5m/s Stirred oil		80 10 1			80 10 1		s
Time stability ($T_{\text{case}} = +125^{\circ}\text{C}$)		0.2			0.2		$^{\circ}\text{C}/\text{kh}$

Note: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self-heating must be considered

Figure 2. Reverse voltage change

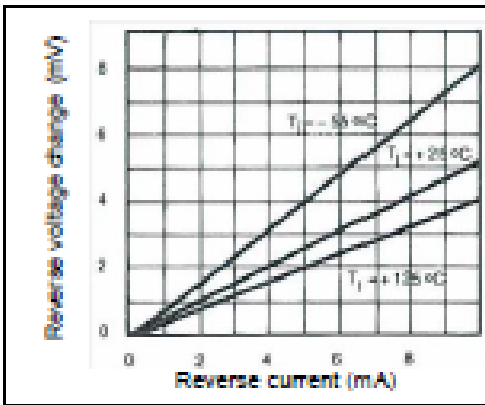


Figure 3. Calibrated error

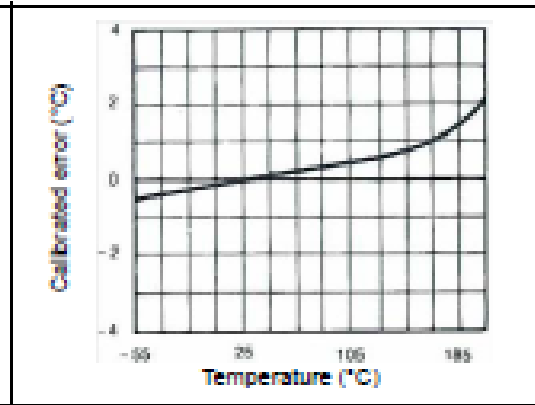


Figure 4. Reverse characteristics

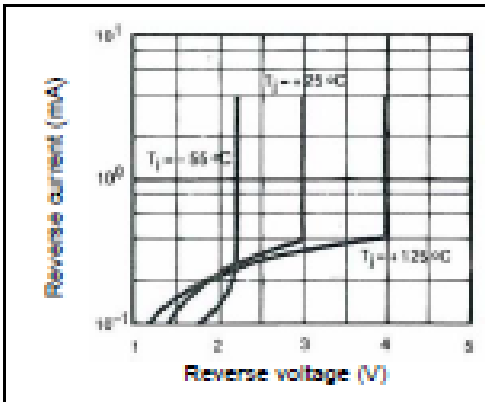


Figure 5. Response time

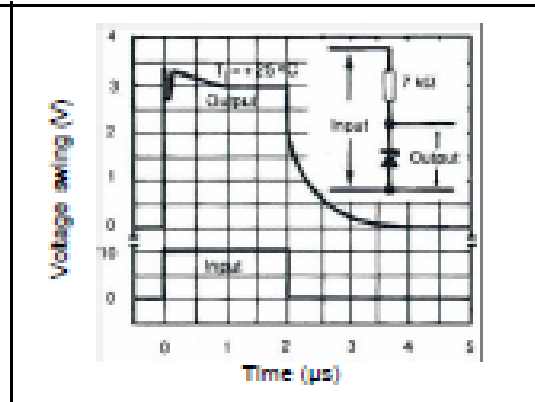


Figure 6. Dynamic impedance

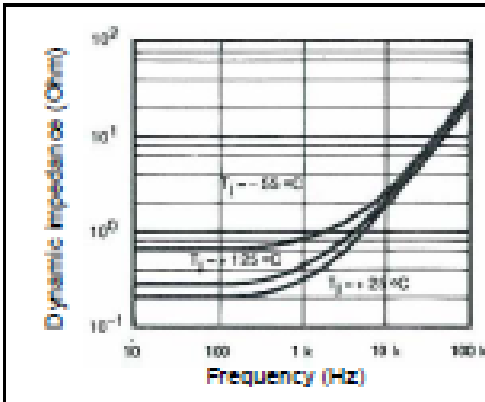


Figure 7. Noise voltage

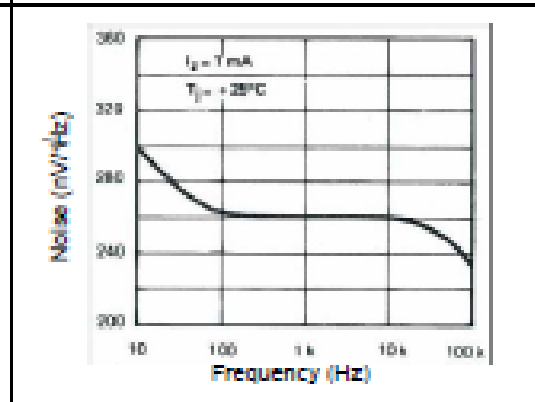


Figure 8. Thermal resistance junction to air

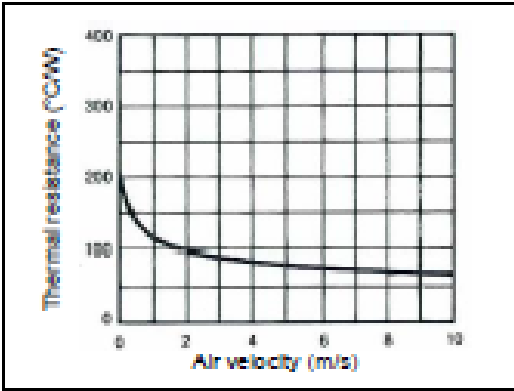


Figure 9. Thermal time constant

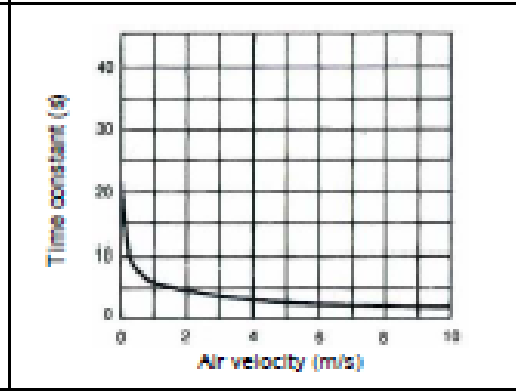


Figure 10. Thermal response in still air

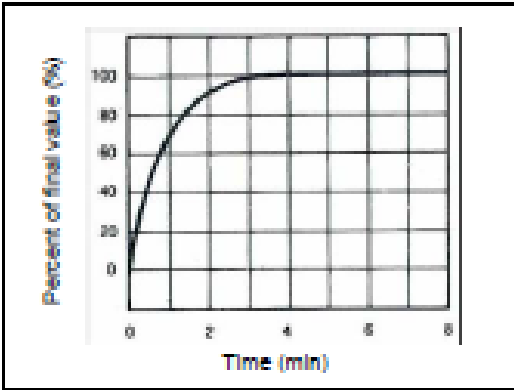


Figure 11. Thermal response in stirred oil bath

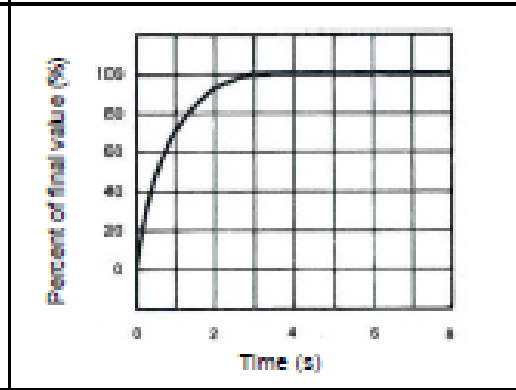
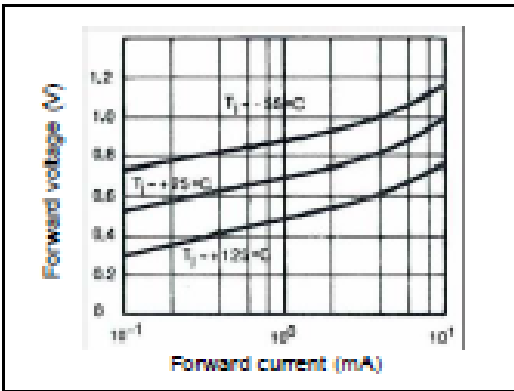


Figure 12. Forward characteristics



5 Application information

There is an easy method of calibrating the device for higher accuracies (see [Typical applications](#)).

The single point calibration works because the output of the LM135, LM235, LM335 is proportional to the absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope. Thus a calibration of the slope at one temperature corrects errors at all temperatures.

The circuit output (calibrated or not) is given by the equation:

$$V_{OUT} = V_{O_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T₀ is the reference temperature (In °K).

Nominally, the output is calibrated at 10mV/°K.

Precautions should be taken to ensure good sensing accuracy. As in the case of all temperatures sensors, self-heating can decrease accuracy. The LM135, LM235, and LM335 should operate with a low current but sufficient to drive the sensor and its calibration circuit to their maximum operating temperature.

If the sensor is used in surroundings where the thermal resistance is constant, the errors due to self-heating can be externally calibrated. This is possible if the circuit is biased with a temperature stable current. Heating will then be proportional to Zener voltage and therefore temperature. In this way, the error due to self-heating is proportional to the absolute temperature as scale factor errors.

Typical applications

Figure 13. Basic temperature sensor

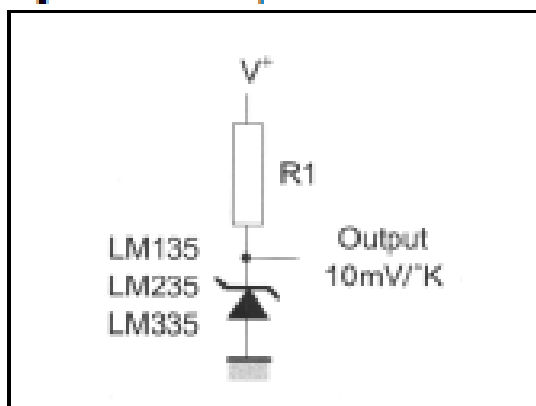


Figure 14. Wide operating supply

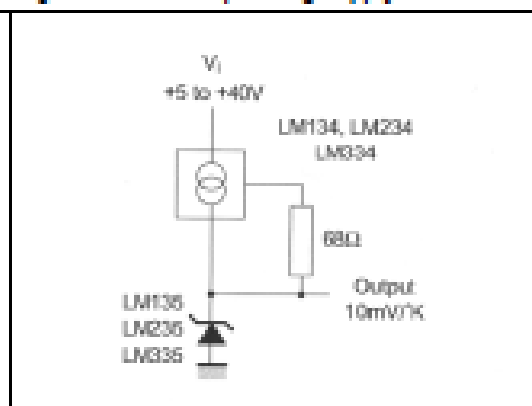


Figure 16. Calibrated sensor

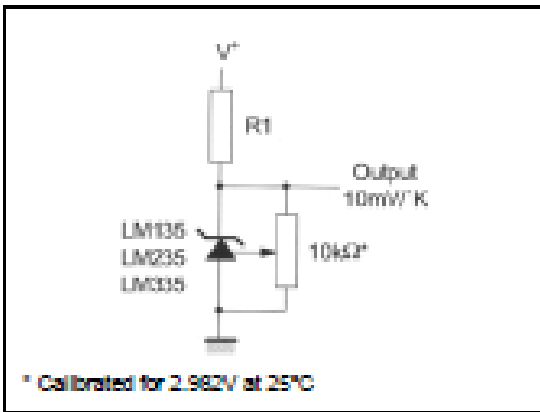


Figure 18. Average temperature sensing

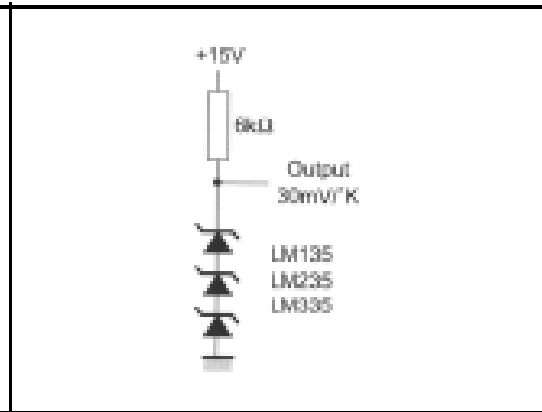


Figure 17. Isolated temperature sensor

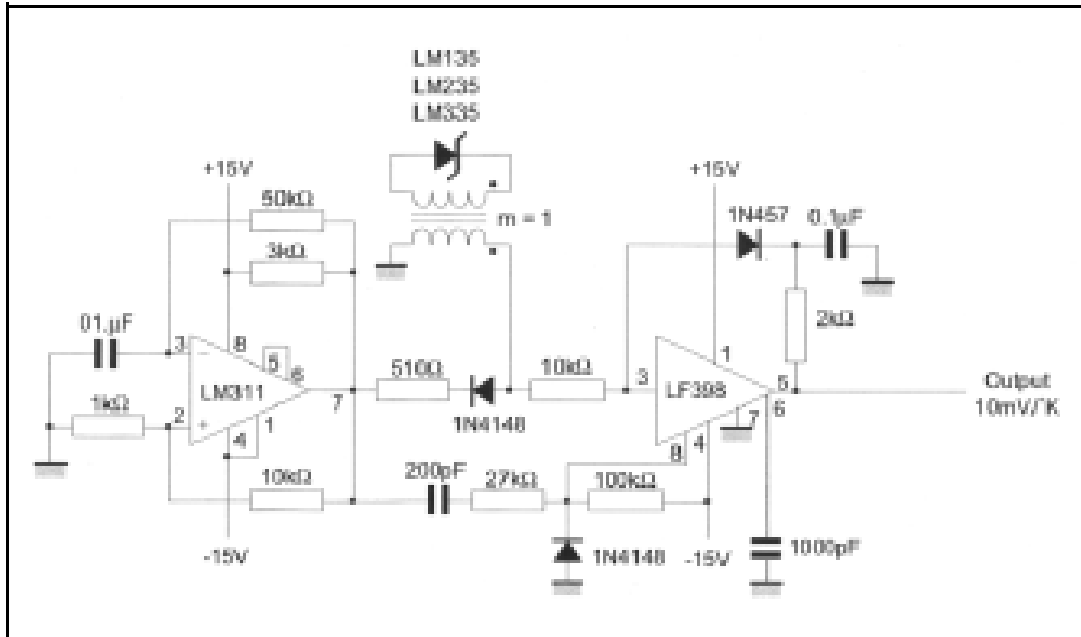


Figure 18. Simple temperature controller

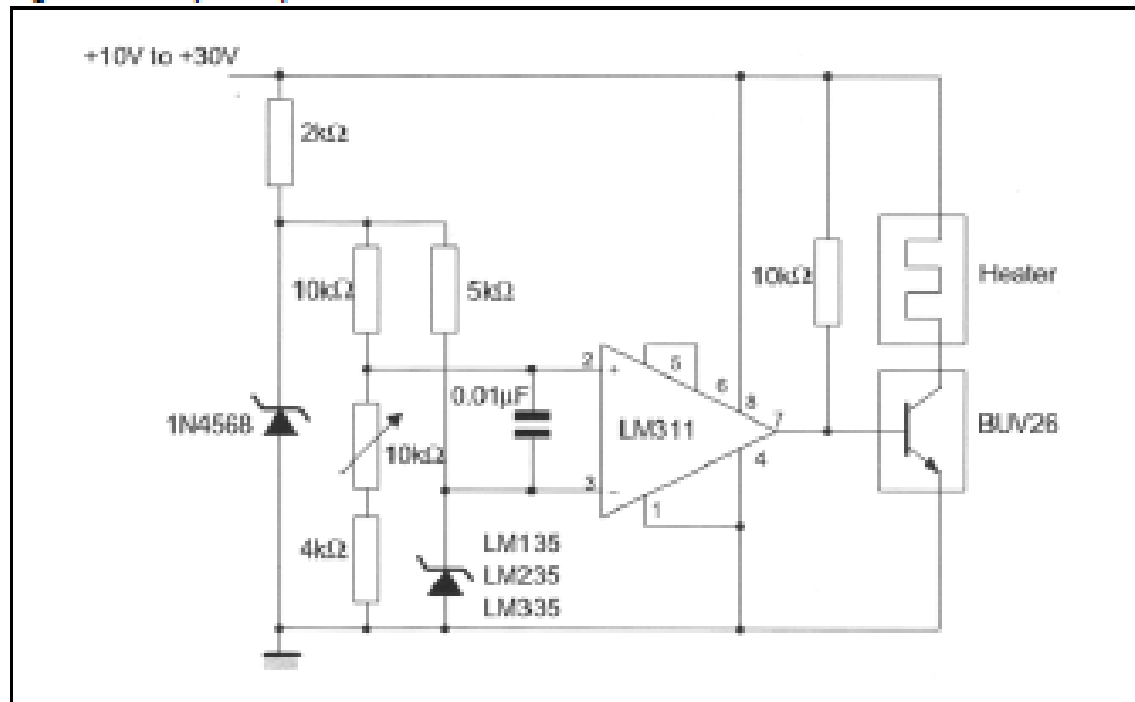


Figure 19. Centigrade thermometer

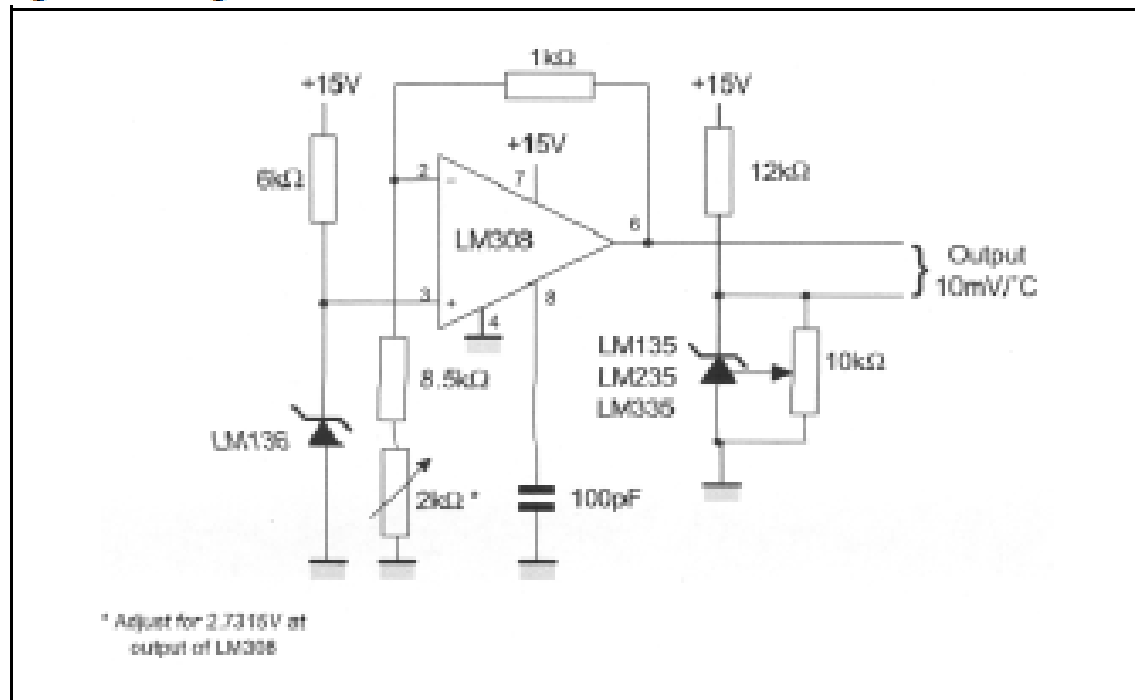


Figure 20. Differential temperature sensor

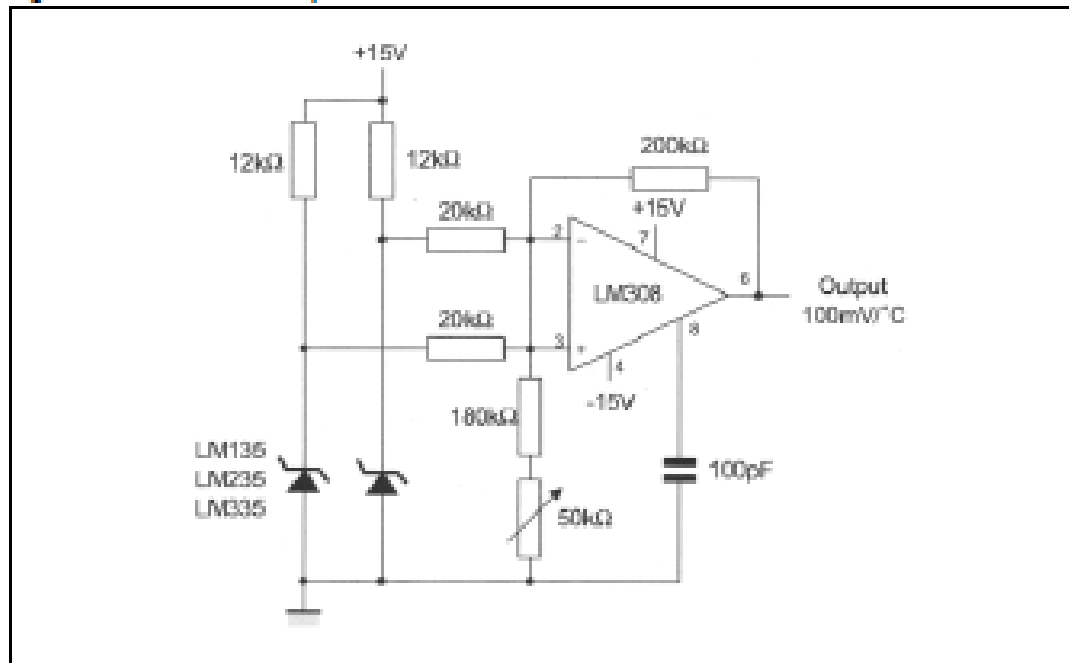
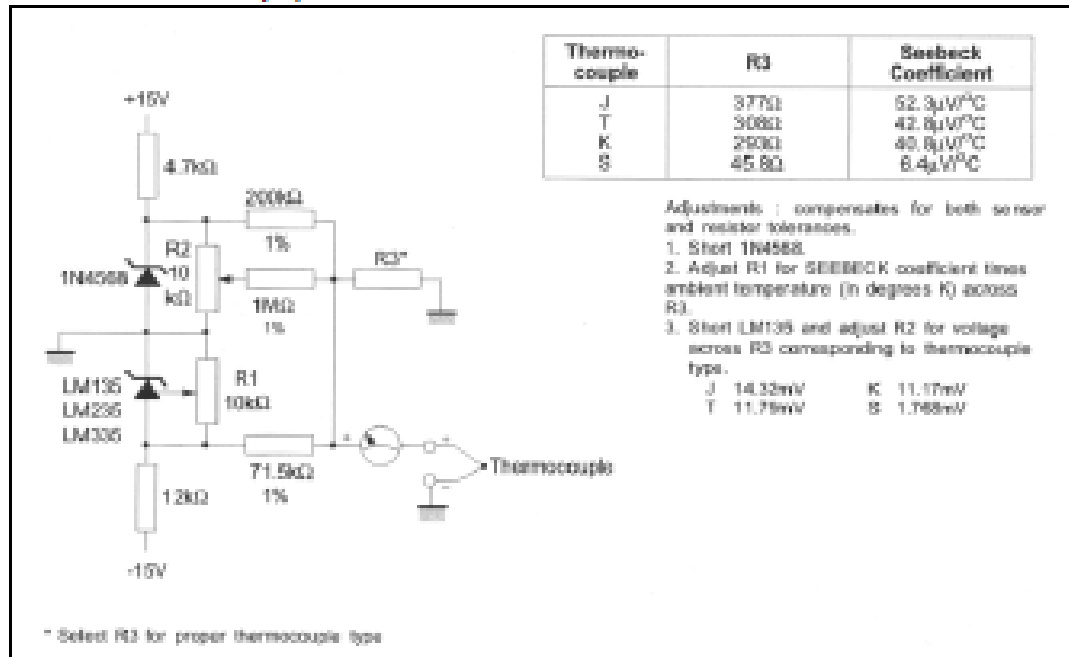


Figure 21. Thermocouple cold junction compensation (compensation for grounded thermocouple)



6 Package information

In order to meet environmental requirements, STMicroelectronics offers these devices in ECOPACK[®] packages. These packages have a lead-free second level interconnect. The category of second level interconnect is marked on the package and on the inner box label, in compliance with JEDEC Standard JESD97. The maximum ratings related to soldering conditions are also marked on the inner box label. ECOPACK is an STMicroelectronics trademark. ECOPACK specifications are available at www.st.com.

6.1 TO-92 tape & reel package information

Figure 23. TO-92 tape & reel package mechanical drawing

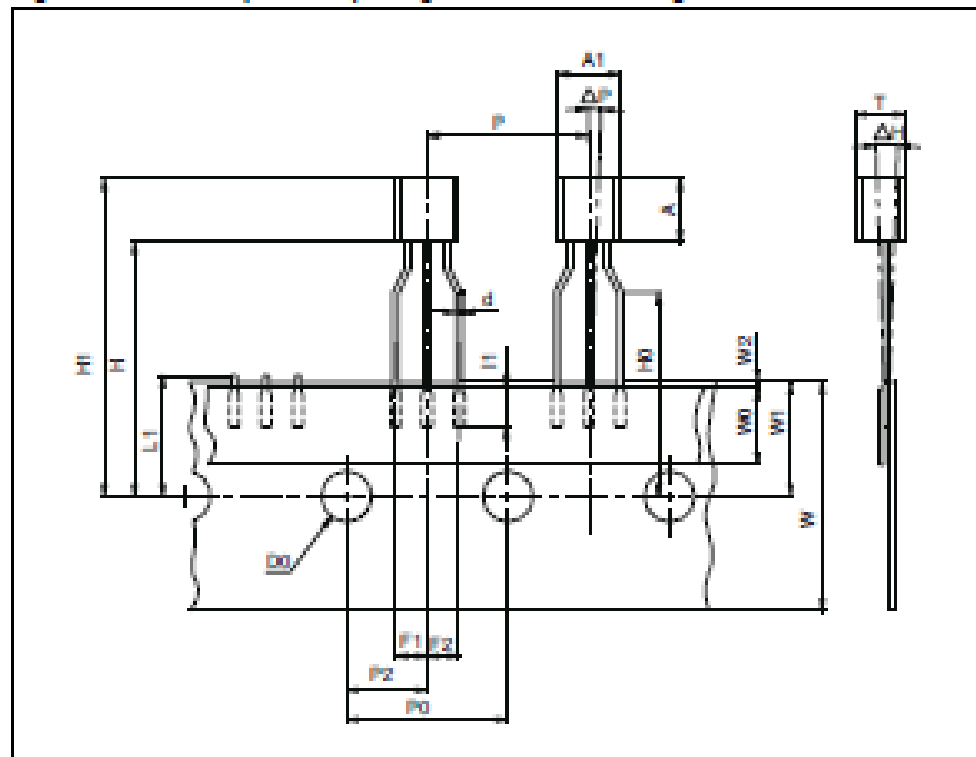


Table 4. TO-92 tape & reel package mechanical data

Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
AL			5.0			0.197
A			5.0			0.197
T			4.0			0.157
d		0.45			0.018	
H	2.5			0.098		
P	11.7	12.7	13.7	0.461	0.500	0.539
PO	12.4	12.7	13	0.488	0.500	0.512
P2	5.95	6.35	6.75	0.234	0.250	0.266
F1/F2	2.4	2.5	2.8	0.094	0.098	0.110
Δh	-1	0	1	-0.039	0	0.039
ΔP	-1	0	1	-0.039	0	0.039
W	17.5	18.0	19.0	0.689	0.709	0.748
WD	5.7	6	6.3	0.224	0.236	0.248
W1	8.5	9	9.75	0.335	0.354	0.384
W2			0.5			0.020
H			20			0.787
HD	15.5	16	16.5	0.610	0.630	0.650
H1			25			0.984
DO	3.8	4.0	4.2	0.150	0.157	0.165
L1			11			0.433

6.2 TO-92 bulk package information

Figure 24. TO-92 bulk package mechanical drawing

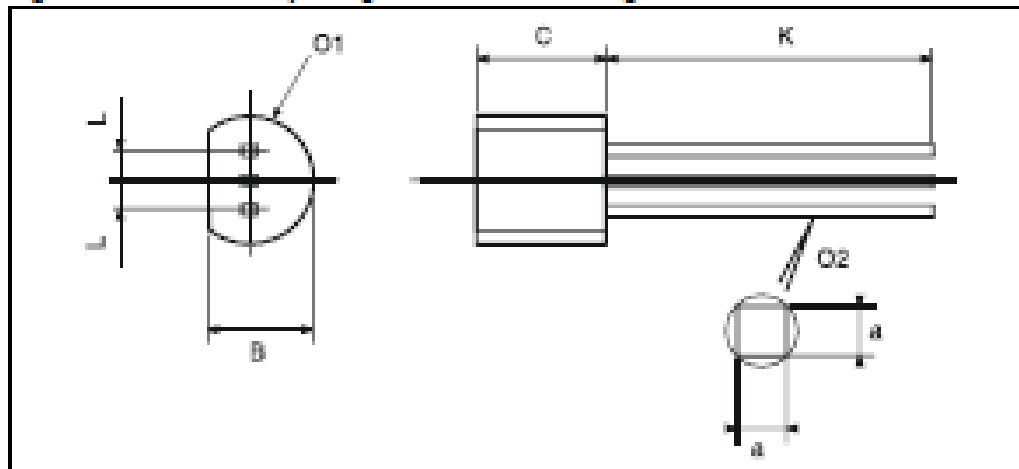


Table 6. TO-92 bulk package mechanical data

Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
L		1.27			0.05	
B	3.2	3.7	4.2	0.126	0.1457	0.1654
O1	4.45	5.00	5.2	0.1752	0.1969	0.2047
C	4.58	5.03	5.33	0.1803	0.198	0.2098
K	12.7			0.5		
O2	0.407	0.5	0.508	0.016	0.0197	0.02
a	0.35			0.0138		

6.3 SO-8 package information

Figure 25. SO-8 package mechanical drawing

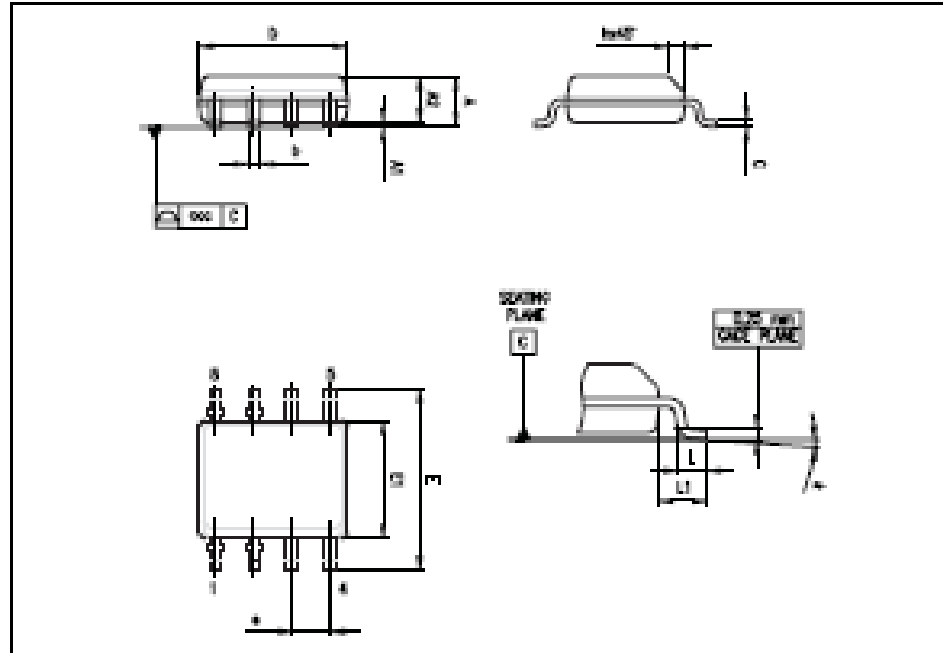


Table 8. SO-8 package mechanical data

Ref.	Dimensions					
	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
A1	0.10		0.25	0.004		0.010
A2	1.25			0.049		
b	0.28		0.48	0.011		0.019
c	0.17		0.23	0.007		0.010
D	4.80	4.90	5.00	0.189	0.193	0.197
H	5.80	6.00	6.20	0.228	0.236	0.244
E1	3.80	3.90	4.00	0.150	0.154	0.157
e		1.27			0.050	
h	0.25		0.50	0.010		0.020
L	0.40		1.27	0.016		0.050
k	1°		8°	1°		8°
ccc			0.10			0.004

7 Ordering information

Table 7. Order codes

Order code	Temperature range	Package	Packaging	Marking
LM135Z	-55°C to +150°C	TO-92	Bulk	LM135
LM235D LM235DT	-40°C to +125°C	8C-8	Tube or Tape & reel	LM235
LM235Z	-40°C to +125°C	TO-92	Bulk	LM235
LM335D LM335DT	-40°C to +100°C	8C-8	Tube or Tape & reel	LM335
LM335AD LM335ADT				LM335A
LM335Z	-40°C to +100°C	TO-92	Bulk	LM335
LM335AZ LM335AZT			Bulk or Tape & reel	LM335A

8 Revision history

Table 8. Document revision history

Date	Revision	Changes
6-May-2003	1	Initial release.
13-April-2004	2	Corrected error in pinout diagram for TO-92 package on cover page (it is a bottom view, not a top view).
11-Feb-2007	3	Updated Section 6: Package information and Table 7: Order codes . Corrected typical values for uncalibrated temperature error in Table 2 . Improved quality of electrical characteristics curves.

Please Read Carefully:

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

UNLESS EXPRESSLY APPROVED IN WRITING BY AN AUTHORIZED ST REPRESENTATIVE, ST PRODUCTS ARE NOT RECOMMENDED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN MILITARY, AIR CRAFT, SPACE, LIFE SAVING, OR LIFE SUSTAINING APPLICATIONS, NOR IN PRODUCTS OR SYSTEMS WHERE FAILURE OR MALFUNCTION MAY RESULT IN PERSONAL INJURY, DEATH, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE. ST PRODUCTS WHICH ARE NOT SPECIFIED AS "AUTOMOTIVE GRADE" MAY ONLY BE USED IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS AT USER'S OWN RISK.

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2008 STMicroelectronics - All rights reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America

www.st.com