

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU

Faculté de Génie Électrique et D'informatique

Département d 'électronique



## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en Electronique

Option : Réseaux et Télécommunication

# Thème

**Conception et réalisation d'un système d'acquisition et de transmission des paramètres météorologique à base d'une thermistance**

Proposé et dirigé par :

Mr. M.LAGHROUCHE

Réalisé par :

Mr. TEMAM Rabah

Promotion 2012-2013

# REMERCIEMENTS

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude et mes remerciements à Mr M.LAGHROUCHE pour m'avoir confié ce sujet et pour ses conseils et sa disponibilité durant sa réalisation.

Je remercie Mr Makhlouf enseignant au département de génie mécanique pour son aide.

Mes remerciements vont également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger mon travail.

## DEDICACES

Je dédie ce travail à:

- Mes parents.
- Mes frères: Samir, Nacer, Hacene, Mourad, Nassim
- Mes amis: Mahfoudh , Mhenna, Sofiane, Hichem, Djamel, Rafik
- Tous ceux que j'ai connus durant mon cursus universitaire.

# SOMMAIRE

# SOMMAIRE

Introduction général.....	1
<b>Chapitre I : La mesure en météorologie</b>	
I.1. Généralités:.....	3
I.2. Description des variables météorologiques:.....	3
I.2.1 La température:.....	4
I.2.2 L'humidité de l'air.....	5
I.2.3 Le vent:.....	5
I.3 Mesure en surface des paramètres météorologiques.....	6
I.4 Les stations classiques.....	7
I.4.1 Le thermomètre.....	7
I.4.2 Le capteur d'humidité.....	8
I.4.3 Le vent.....	9
I.5 Les stations automatiques.....	10
I.6. Les transducteur électriques.....	11
I.6.1 Les capteurs de température.....	11
I.6.2.Les capteurs d'humidité.....	13
I.7.Les anémomètres.....	15
<b>Chapitre II : Description de la carte de développement</b>	
II .1.Généralités.....	18
II.2.Description et fonctionnement de la carte MBED NXP LPC1768.....	19
II.2.1Protocole SPI.....	19

II.2.2 Protocole Série.....	21
II.2.3 Protocol I2C.....	21
II.2.4 Le bus CAN (control Area Network).....	22
II.2.5 Protocol Ethernet.....	22
II.2.6. Convertisseurs A/D et D/A.....	23
II.2.7 Signal PWM.....	24

### **Chapitre III : Réalisation du système d'acquisition en Temps réel**

III. Réalisation du système d'acquisition.....	25
III.1. Schéma synoptique du système.....	25
III.2.Description du capteur utilisé.....	27
III.3.Caractéristiques électriques de la thermistance.....	27
III.3.1.Caractéristiques résistances -température.....	27
III.3.2.Caractéristiques courant-tension.....	28
III.3.3.Caractéristique temps-courant.....	28
III.4.Etalonnage de la thermistance.....	28
III.5.Description détaillée du système.....	30
III.5.1.Mesure de la température.....	30
III.5.2.Mesure d'Humidité.....	32
III.5.3.Mesure de la vitesse et de la direction du vent.....	34
III.5.3.1.Principe de la mesure.....	34
III.5.3.2.Calcul de $V_s$ en fonction de la vitesse du vent $v$ .....	36
III.5.4. Etalonnage du capteur de vitesse en soufflerie.....	37
III.5.4.1.Présentation de la soufflerie et son fonctionnement.....	37
III.5.4.2.Résultats de l'étalonnage.....	38
III.5.5.Mesure de la direction du vent.....	39
III.6.Description de la chaine de transmission.....	40

III.6.1.Présentation du module.....	41
III.6.2.Modes de fonctionnement du module.....	42
III.6.3.Organigramme général de la mesure.....	43
III.7.Langage de programmation graphique LABVIEW.....	44
III.7.1.Mode de fonctionnement.....	44
III.7.2.Structure de données sous LABVIEW.....	47
III.7.3.Structure de programmation .....	47
III.7.4. L’interface de commande réalisé.....	48
CONCLUSION	
ANNEXE	
BIBLIOGRAPHIE	

# Introduction Générale

# Introduction générale

De nos jours, la connaissance des phénomènes météorologiques restent une préoccupation primaire pour les climatologues et les météorologues. En outre, de nombreux domaines tels que l'agriculture, l'aéronautique et le génie civil ont besoins de données précises sur ces phénomènes. Ces derniers peuvent s'exprimer par le biais de plusieurs grandeurs physiques telles que la température, l'humidité, la direction et la vitesse du vent. Elles sont mesurées à l'aide d'instruments électronique de haute précision et dont on cherche constamment à améliorer leurs performances.

Pour une meilleur acquisition de ces données et leur archivage, les ingénieurs ont mis on œuvre des techniques d'automatisation plus performantes et plus précises. Auparavant, les mesures se font par des moyens mécaniques à l'aide d'enregistreurs ou à la main. Cette façon de procéder était très pénible et entraînait de nombreuses erreurs.

Aujourd'hui, l'intégration des capteurs et des actionneurs au sein des puces microélectroniques ouvre un formidable éventail de possibilités. En effet, les puces de nouvelle génération peuvent devenir des systèmes autonomes, gérant de façon optimale leur consommation d'énergie.

Elles peuvent assurer d'autre fonctions tel que la communication avec d'autre puces positionnées autour d'elles par le biais de transmissions radioélectrique, optique ou acoustiques.

Fondamentalement, elles sont capables de percevoir leur environnement, d'analyser les données et d'interagir en conséquence avec celui-ci.

De ce fait, nous avons mis au point un système de mesure de quatre grandeurs météorologique (Température, humidité, vitesse et direction du vent) basé sur un seul type de capteur.

Les grandeurs physiques seront mesurées grâce à l'utilisation des caractéristiques de la carte MBED NXP LPC 1768. Et les données seront transmises à distance via les modules Zig-Bee.

Ce présent mémoire est organisé en trois chapitres.

Dans le premier nous nous intéresserons aux généralités sur la météorologie à travers la description des différents capteurs utilisés. Et la définition des différents termes du domaine.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de la carte MBED NXP LPC 1768 et son fonctionnement.

Dans le troisième chapitre, nous allons décrire le système d'acquisition des paramètres météorologiques réalisé.

# Chapitre I : La mesure en météorologie

## **I. La mesure en météorologie**

### **I.1. Généralités:**

De tout temps l'Homme a cherché à percer les mystères des phénomènes atmosphériques ces derniers conditionnent en effet grandement la vie, voire même la survie de l'être humain. Dès l'antiquité ces phénomènes étaient omniprésents dans la vie des peuples comme en témoigne par exemple la fonction attribuée aux dieux grecs et romains. Le plus célèbre d'entre eux, Zeus, étant en effet dieu de la foudre. Plus tard, les courants humanistes ont eu une approche plus scientifique afin d'expliquer ces phénomènes. Donnant ainsi naissance à une nouvelle science la météorologie. En 1847, J. Henry mit au point le premier système d'observations météorologique aux USA.

De par son importance et les conséquences qu'il peut avoir sur un nombre assez important de la population mondiale le changement climatique est l'un des sujets les plus épineux du moment. Ainsi divers débats scientifiques ont été organisés sur les interactions entre la biosphère et l'atmosphère. Les changements de l'occupation du sol tels que la déforestation, l'urbanisation et les conduites culturelles telles que l'irrigation sont autant de facteurs d'origine anthropiques engendrant des évolutions du climat à l'échelle locale et régionale.

A l'échelle globale, le problème de l'évolution du climat est beaucoup plus complexe à analyser et à comprendre. Principalement à cause des rétroactions des émanations des puits de pétrole et des gazes à effet de serre, aujourd'hui dans le monde peu sont les stations météorologiques qui sont capables de surveiller la qualité de l'environnement.

Afin de prévoir le temps, les météorologues ont besoin de rassembler des informations concernant l'atmosphère dans le monde entier, aussi bien à la surface de la terre qu'à haute altitude. Sur terre et sur mer, des millions de stations météorologiques enregistrent les variations atmosphériques au niveau de la surface terrestre. Pour compléter ces mesures, des données des radars sont également recueillies par des avions, des ballons et des satellites. Toutes les stations météorologiques utilisent les mêmes standards pour mettre en œuvre les mesures. Les résultats des observations sont consignés dans des rapports réunis et analysés par l'Organisation Météorologique Mondiale ; c'est alors à elle que les organismes nationaux s'adressent pour obtenir les informations nécessaires pour l'établissement de leurs propres bulletins.

### **I.2. Description des variables météorologiques:**

## Chapitre I : La mesure en météorologie

les phénomènes atmosphériques mesurés dans les stations météorologiques, sont essentiellement la température, l'humidité de l'air, la vitesse et la direction du vent.

### I.2.1 La température:

La température de l'air est exprimée en °C, est l'élément climatique par lequel toutes les formes de vie sont les plus influencées. C'est l'élément météorologique le plus important. En général, la température varie avec la hauteur. Cette variation est irrégulière jusqu'à 800m c'est à dire dans une zone influencée par le relief, puis dans la troposphère on observe une décroissance de 0.98°C tous les 100m. Cette variation est due à quatre facteurs essentiels:

- la compression et la détente adiabatique.
- la libération ou l'absorption de la chaleur par condensation ou par vaporisation
- l'effet de serre et la pollution atmosphérique
- les processus radiatifs

Au niveau du sol, la répartition de la température de l'air dépend de trois séries d'effets combinés:

- les variations diverses et saisonnières du rayonnement solaire
- le climat proprement dit régnant dans une région donnée
- les processus d'évaporation et de condensation.

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

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

Cette dernière échelle, qui est celle du système international, ne dépend d'aucun phénomène particulier et définit des températures absolues. le zéro absolu(-273,15°C) a pu être approché à quelques millièmes de degrés près. les phénomènes physiques qui se manifestent aux très basses températures connaissent d'importantes applications (supraconductivité).Dans le

## **Chapitre I : La mesure en météorologie**

domaine des hautes températures, les torches à plasma permettent d'atteindre 50 000 K et les lasers de grande puissance utilisés pour les recherches sur la fusion nucléaire contrôlée donnent, pendant des temps très brefs, des températures dépassant 100 millions de degrés.

### **I.2.2 L'humidité de l'air:**

C'est la masse d'eau contenue dans l'unité de masse d'air. Comme cette grandeur n'est pas directement accessible à la mesure, On considère plutôt soit l'humidité relative soit le point de rosée.

L'humidité relative de l'air se définit par le rapport de la pression exercée par la vapeur d'eau contenue dans l'air à une température donnée sur la pression de la vapeur d'eau saturante (c'est-à-dire au maximum de vapeur d'eau que cet air pourrait absorber à cette même température). Le point de rosée correspond à la température à laquelle l'air humide doit être amené à pression constante pour qu'il se sature. la température du point de rosée est donc inférieure ou égale à la température de l'air.

Afin de caractériser l'humidité de l'air, les météorologistes emploient à la fois la température de l'air et la température du point de rosée. Ils utilisent ensuite des abaques regroupant les valeurs de température et de pression pour déterminer l'état de saturation de l'atmosphère et connaître l'état de stabilité de l'air.

### **I.2.3 Le vent:**

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît de la différence de pression. Le vent se déplace des hautes pressions vers les basses pressions.

L'origine des vents est liée à la différence de distribution de la pression atmosphérique. Ces variations sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire reçue à la surface de la Terre, et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans. Par exemple, durant la journée, les terres auront tendance à être plus chaudes que les mers. L'air se met alors en mouvement, car l'air situé au-dessus des continents sera chauffé, il augmentera de volume, deviendra plus léger et s'élèvera. Il s'écoulera par-dessus l'air plus froid et plus lourd, qui lui sera aspiré sur le continent. Plus la différence de pression sera grande, plus le vent soufflera fort.

Direction et vitesse du vent sont des grandeurs mesurables dont la connaissance est nécessaire à l'étude de la dynamique des masses d'air. La direction indique d'où souffle le

## Chapitre I : La mesure en météorologie

vent. Ses unités sont soit les points cardinaux (N, S, E, O) ou les degrés centigrades. Un "vent de sud-ouest" signifie que l'air est en mouvement du sud-ouest vers le nord-est. La vitesse s'exprime soit en mètre par seconde (m/s), soit en kilomètre par heure (km/h) soit en nœud (KT, 1 nœud correspond à une distance de 1 mille nautique parcouru en 1 heure, soit 1,852 km/h). 1 m/s équivaut à 3,6 km/h et environ 2 nœuds. Sont généralement mesurées : la vitesse moyenne, la vitesse maximale et minimale durant un intervalle de temps donné. L'échelle Beaufort, utilisée en météorologie marine, classe les vents en 13 classes en fonction de leur vitesse et des effets qu'ils génèrent sur l'état de la mer, d'où le terme de force.

### I.3 Mesure en surface des paramètres météorologiques:

Les stations météorologiques d'observations sont des structures destinées à mesurer et évaluer les grandeurs météorologiques en un endroit donné. Elles sont capables de satisfaire certains besoins en matière d'observation en surface. Ce type de d'observation est réalisé soit par des stations classique (station avec personnel) ou des stations automatique. Dans tous les cas, ces stations sont composées de plusieurs capteurs pour mesurer les différents paramètres météorologiques, notamment la température de l'air et du sol, la vitesse et la direction du vent, l'humidité relative, les précipitations et le rayonnement solaire.

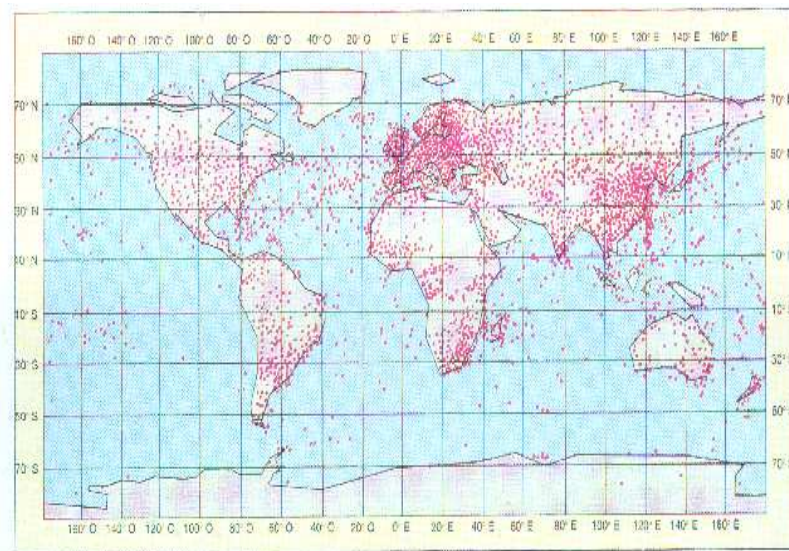


Fig1.1. Distribution des stations météorologiques à travers le monde

**I.4 Les stations classiques:**

Ce type de station est géré par un personnel qualifié qui relève les mesures enregistrées par des capteurs classiques à chaque heure de la journée. Ceci représente sans doute un handicap majeur car une personne seule ne peut pas assurer la permanence des observations étant donné que celles-ci ne doivent pas s'interrompre à aucun moment de la journée ou de la nuit. En effet ces observations doivent avoir lieu toutes les 6 heures et surtout à chaque fois que des perturbations se produisent. Les données mesurées sont portées dans un bulletin spécialisé.

**I.4.1 Le thermomètre:**

Le thermomètre au mercure est un instrument de mesure utilisé pour mesurer la température de l'air. Souvent utilisé dans les stations, cet instrument est très précis capable de fournir des données permettant de surveiller toute variation brusque de la température. Les thermomètres sont habituellement placés à 1.5 m du sol car la couche située entre ce dernier et le thermomètre est fortement perturbée du point de vue thermique. On utilise aussi des thermomètres à alcool par temps très froid lorsque le mercure peut geler.



Fig.1.2 thermomètre à mercure

Ce thermomètre consiste en une masse de mercure se dilatant sous l'effet de la chaleur dans un tube capillaire de verre. Dans ce cas-ci, la propriété thermométrique est la dilatation du mercure, d'où la définition : toute variation de température est proportionnelle à la variation de longueur de la colonne de mercure. On met le thermomètre en contact thermique avec des systèmes naturels à température constante afin de calibrer celui-ci. Règle générale, on choisit un mélange d'eau et de glace sous pression atmosphérique standard comme repère thermométrique. Dans tous les cas, on suppose que la propriété thermométrique varie de façon

linéaire en fonction de la température. Toutefois, on obtient habituellement des résultats différents si l'on utilise des thermomètres de plusieurs types pour mesurer une même température. Par exemple, un thermomètre à mercure et un thermomètre à alcool ne donneront pas exactement le même résultat, car ces deux liquides n'ont pas exactement les mêmes propriétés de dilatation thermique.

#### **I.4.2 Le capteur d'humidité:**

Les stations avec personnel utilisent des psychromètres avec thermomètres sec et mouillé (voir fig.1.3). Des tables appropriées permettent de déterminer le point de rosée et l'humidité relative. Le psychromètre est composé de deux thermomètres mesurant la pression partielle de vapeur d'eau par une méthode thermodynamique basée sur l'équation des gazes parfaits. L'un des thermomètres mesure la température de l'air et l'autre, la température d'une surface d'eau en évaporation.

Plus l'air est sec, plus l'évaporation est rapide et plus la différence de température entre les deux thermomètres est grande. Pour une tension de vapeur égale à la tension de valeur saturante, la tension de vapeur existante peut être déduite des mesures par un psychromètre, en utilisant la relation suivante :  $H_T - H_{T_0} = A(T - T_0)$  (1.2)

ou est la tension de vapeur réelle, est la tension de vapeur saturante par rapport à l'eau à la température, A, une constante dépendant de la vitesse de ventilation, T, la température du réservoir sec en °C et la température du réservoir humide.

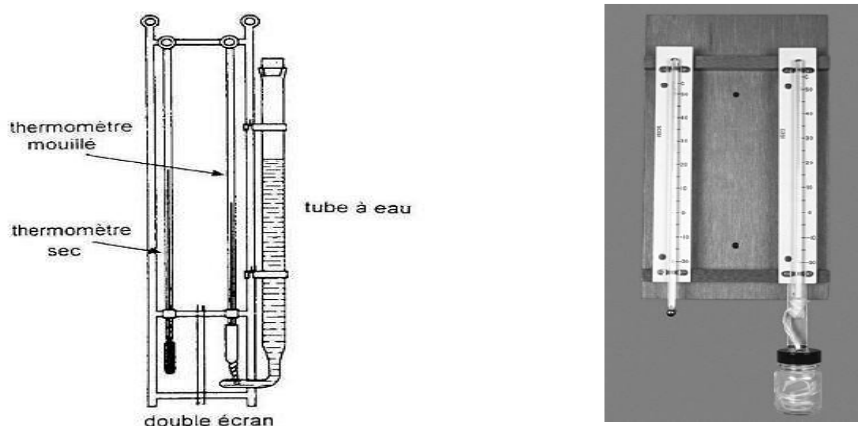


Fig.1.3. Psychromètres

**I.4.3 Le vent:**

Dans les stations classiques, la mesure du vent se fait avec un système formé de deux capteurs distincts. L'un mesure la vitesse grâce à la tension de sortie d'un générateur de courant continu actionné par un moulinet à coupelles qui est entraîné, à son tour, par la force du vent et l'autre mesure la direction grâce à la tension de sortie d'un moteur synchronisé en position commandé par une girouette. Le système nécessite un bloc d'alimentation externe. Les lectures de la vitesse et de la direction du vent sont transmises à des indicateurs à cadrans.

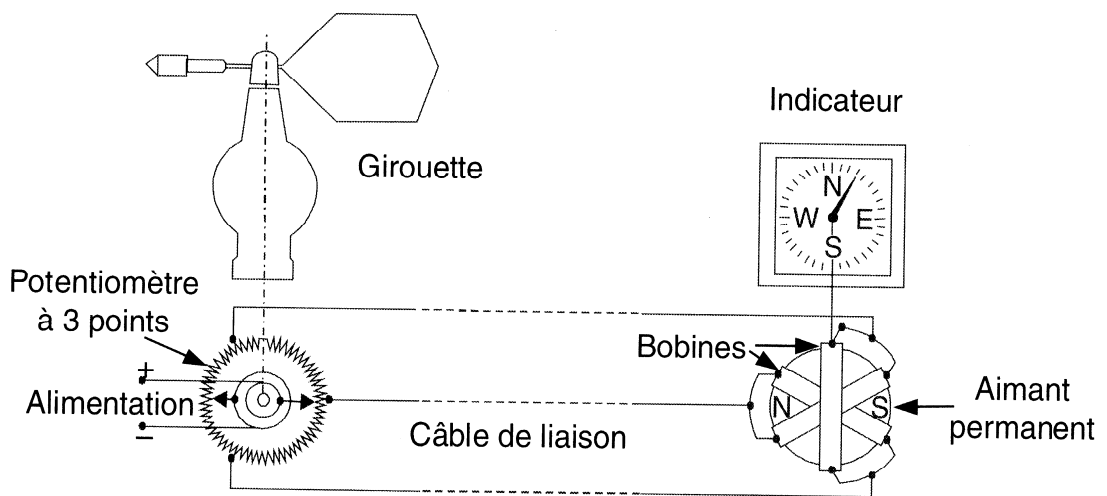


Fig.1.4. Girouette

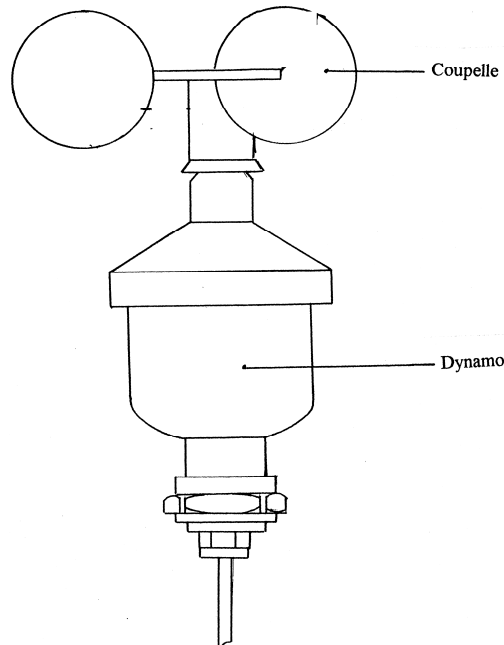


Fig.1.5. Anémomètre à coupelles

### **I.5 Les stations automatiques:**

Grâce au développement des circuits numériques et aux innovations de l'électronique, l'acquisition des paramètres météorologiques et leurs traitement est devenu de plus en plus simple. En effet, les stations automatiques de collecte de données météorologiques sont toutes équipées d'une ou plusieurs unités de calcul électronique. Cette dernière peut être un ordinateur, un microprocesseur, un microcontrôleur ou un DSP (Digital Signal Processing).

pour un bon fonctionnement de ces stations, l'utilisation des transducteurs électriques est indispensable. En effet, ces derniers sont des capteurs qui convertissent les grandeurs météorologiques en grandeurs électriques.

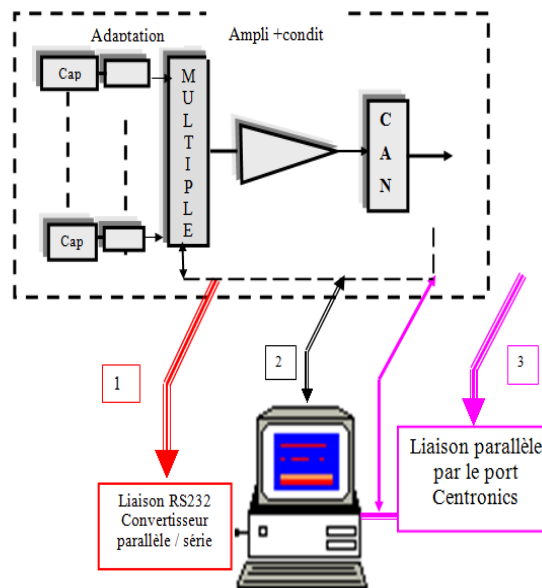


Fig.1.6. système d'acquisition muni d'un micro ordinateur

## I.6. Les transducteurs électriques

### I.6.1 Les capteurs de température:

Il existe plusieurs types de capteurs de température à sortie électrique. Parmi eux:

- **le thermomètre thermoélectrique:** le capteur est constitué de deux fils métalliques de matières différentes et torsadés l'un avec l'autre à leurs extrémités. Les deux jonctions ainsi obtenues, sont ensuite mises à des températures différentes. Il se produit alors une f.é.m. de thermocouple qui est proportionnelle à la différence de température et qui engendre un courant dans le circuit composé de deux conducteurs.

- **le thermomètre résistif:**

Il fait appel à la variation de résistance d'un conducteur électrique en fonction de la température. On distingue les résistances métalliques (Platine, Nickel, Cuivre) et les thermistances (formées de semi-conducteurs) dont la résistance varie d'une façon exponentielle en fonction de la température.

## Chapitre I : La mesure en météorologie

- **le thermomètre piézoélectrique:** L'élément sensible est formé d'une lame de quartz qui se déforme sous l'effet de la température. En plaçant le quartz dans un circuit oscillant, on obtient une fréquence propre de résonance qui dépend de la température.

- **le thermomètre à semi-conducteur :** On peut utiliser une diode ou un transistor puisque les courants obtenus varient en fonction de la température. En guise d'illustration, la table I donne les caractéristiques des divers éléments sensibles à la température.

Type de capteur	Thermistance CTN	Sonde au silicium CTP	Sonde à résistance métallique CTP	Sonde au platine
Matériau de base	Résistance CTN Couches D'oxydes Dopés	Résistances CTP Couches SI Dopés	Couches ou fil Bobiné	Couches ou fil
Domaine de température	-50+150	-50+150	-50+180	-50+550
Précision	1 à 2°C	1.3 à 4°C	1°C	0.3°C
Sensibilité (%/°C)	-0.4	0.8	0.5	0.4
Sensibilité (V/°C)	0.11 pour 0.5A et 500Ω	0.016 pour 1mA et 2KΩ	0.005 pour 2mA et 500Ω	0.016 pour 4mA et 100Ω
Linéarité	Non linéaire: corrections nécessaires	Non linéaire: Correction par résistances parallèle	Non linéaire: Correction par résistances Parallèle	Linéaire: 0.4°C/100°C
Loi de Variation R=f(T)	Exponentielle	Quasi linéaire	Quasi linéaire	Quasi linéaire
Erreur de Non Linéarité sur 100°C	1°C	0.5°C	2°C	-0.4°C

**Table1. Caractéristiques électriques des capteurs de température.**

**I.6.2. Les capteurs d'humidité: Ce sont principalement**

**-L'hygromètre capacitif:**

Dans son principe, un hygromètre capacitif est constitué par une lame de polymère hygroscopique sur laquelle sont déposées deux électrodes métalliques poreuses, l'ensemble constituant un condensateur. Lorsque le polymère adsorbe les molécules d'eau, son volume augmente et la distance entre les électrodes s'accroît, ce qui se traduit par une variation de capacité du condensateur (voir fig.1.7). Le signal mesuré correspond aux variations de fréquence du capteur. Ces hygromètres ont une réponse linéaire à  $\pm 1\%$  entre 0% et 80% d'humidité relative. Au-delà, la linéarité est moins bonne et l'écart peut atteindre  $\pm 3\%$  au voisinage de la saturation.

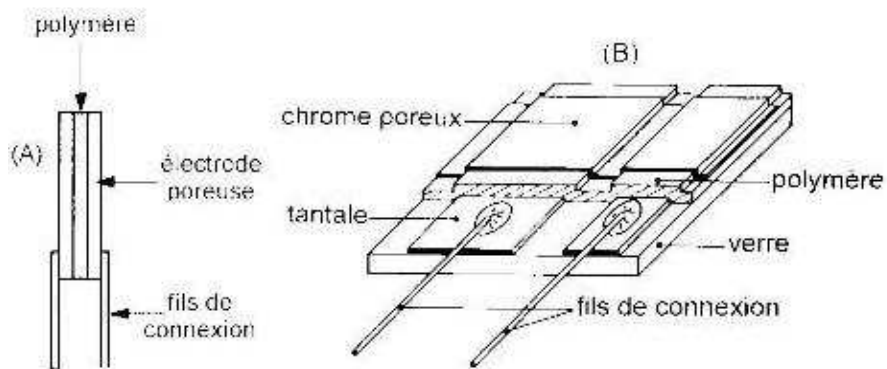


Fig.1.7. Hygromètre capacitif

**-L'hygromètre à condensation:**

Un hygromètre à condensation comporte un petit miroir refroidi (voir fig.1.8). Il est éclairé par une diode électroluminescente et lorsqu'il n'est pas recouvert de buée, le faisceau de lumière incident est réfléchi vers le boîtier de l'hygromètre. Lorsque de la buée apparaît, le miroir diffuse la lumière qui impressionne alors un détecteur (phototransistor). Ce détecteur est relié à un circuit de régulation de la température et commande alors le réchauffement du miroir. La rosée disparaît et entraîne de nouveau la commande de refroidissement et ainsi de suite. Grâce à un système de régulation approprié, il est possible de maintenir un dépôt constant de condensation sur le miroir et il suffit alors d'enregistrer sa température à l'aide d'un micro capteur thermique, délivrant un signal électrique. Ces hygromètres fonctionnent

généralement pour une gamme de température allant de  $-80^{\circ}\text{C}$  à  $+100^{\circ}\text{C}$  avec une incertitude qui peut être réduite à  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .

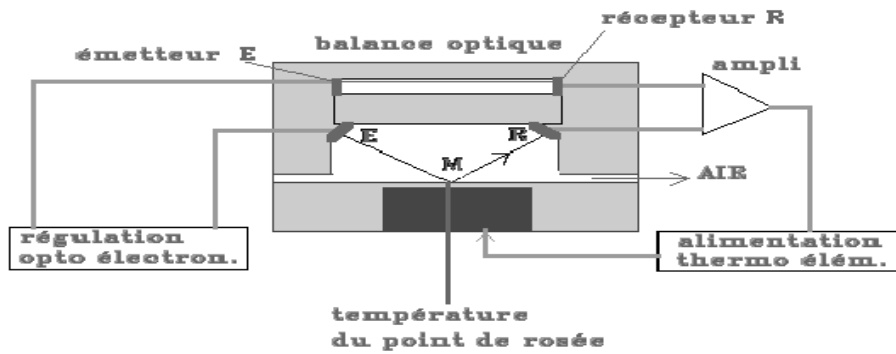


Fig.1.8 Hygromètre à condensation

**-le psychromètre:**

Le psychromètre est une combinaison de deux thermomètres dont l'un est entouré d'une mousseline mouillée en permanence et l'autre est sec. Avec ce principe simple, nous avons remplacé les capteurs classiques par des capteurs à semi-conducteur. La figure montre un psychromètre à thermistance.

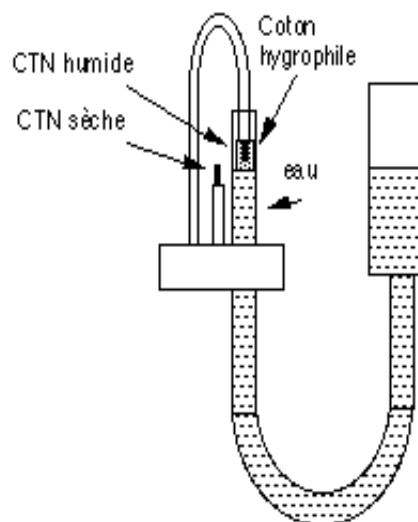


Fig.1.9. Psychromètre à thermistance

**I.7. Les anémomètres:**

Ils déterminent la vitesse et la direction du vent. La direction du vent ne s'indique pas seulement par Nord, Nord-Ouest, Ouest. Etc. mais s'exprime également en degrés. Le Nord est alors aussi bien 0° que 360°. La graduation tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, de sorte que l'Est est à 90° et le Sud à 180°. La vitesse du vent est indiquée en Kilomètres/heure (Km/h). En mètres par seconde. En nœuds par heure. Ou en chiffres allant de 1 à 12 selon l'échelle beaufort. Parmi ces anémomètres, On distingue:

**- Les anémomètres à trainée:**

Pour déterminer la vitesse du vent il est possible de la déduire à partir de la mesure de la trainée résultant du mouvement d'un corps dans l'air. La principale difficulté lors de la mise au point d'un tel système, est de trouver un corps dont le coefficient de trainée est constant tout au long de l'intervalle de mesure de la vitesse du vent. Ceux qui sont le plus souvent utilisés, sont équipés soit de sphères rugueuses ou perforées, soit de cylindres rugueux. Le cylindre permet de mesurer les composantes du vent selon deux axes, tandis que les sphères permettent de déterminer les trois composantes du vent. La force du vent est déterminée, soit à l'aide de jauges de contraintes, soit à l'aide de capteurs de déplacement à transformateurs différentiels. Associés à la méthode des fluctuations, ces appareils servent, en particulier, à évaluer les flux de chaleur échangés par les surfaces naturelles.

**- Les anémomètres à fil chaud:** L'anémométrie à fil chaud est une technique de mesure permettant de déterminer la vitesse instantanée d'un fluide (gazeux ou liquide) s'écoulant autour d'une sonde placée au sein de l'écoulement. Depuis son invention par L. V. King vers 1914, cet anémomètre a subi de nombreuses améliorations qui en font un appareil performant et fiable. L'idée de base est de ramener la mesure de la vitesse du fluide à celle d'une mesure de résistance électrique.

Ce principe peut être mis en œuvre de façon très différente suivant le type d'information recherchée. En effet, pour des mesures courantes en réglage de climatisation, la robustesse et la fidélité sont plus importantes que la sensibilité et la réponse rapide, alors que, si l'on veut déterminer les caractéristiques d'un écoulement turbulent, on cherche au contraire une sensibilité maximale et une très bonne réponse en fréquence. Les appareils proposés dans le commerce se classent dans l'une ou l'autre de ces deux catégories. Les instruments ne nécessitant pas de réponse rapide sont évidemment beaucoup plus faciles à mettre en œuvre

que les appareils destinés à la mesure de la turbulence qui, surtout ces dernières années, ont été utilisés dans des configurations où de nombreux capteurs fonctionnent simultanément.

Ce type de capteurs peut être réalisé en faisant appel aux techniques de la microélectronique et on utilisant soit du platine, soit des matériaux semi conducteur en tant que fil chaud.



Fig.1.10. Anémomètres à fil chaud

- **Les anémomètres soniques:** Ce genre de capteurs sont basés sur le fait que la vitesse de propagation de son dans l'air dépend de la composante longitudinale de vent dans la direction considérée. Ce type d'instrument se compose de trois couples d'émetteur/récepteur placés dans des directions orthogonales et mesurant chacun une composante du vent. Pour ce faire, le rôle de l'émetteur et le récepteur est permuté de façon que l'onde sonore soit envoyée alternativement dans un sens puis dans le sens opposé. en plus des mesures terrestres, les météorologues mesurent la vitesse et la direction du vent avec l'altitude en faisant appel à d'autres instruments tels que les ballons, les radars, les lidars ainsi que les principes de la télédétection en traitant les images satellitaires.



Fig.1.11. Anémomètre sonique

# Chapitre II : Description de la carte de développement

## II. Description de la carte MBED

Nous utiliserons pour notre projet la plate-forme MBED et son microcontrôleur ARM, le NXP LCP768. Cette plate-forme repose sur l'informatique en nuage. Il s'agit d'un concept révolutionnaire en développement logiciel. La programmation du microcontrôleur MBED ne nécessite en effet aucune installation de logiciel. Il suffit de disposer d'un navigateur Internet et d'un port USB. Une fois compiler, on peut accéder à notre programme depuis n'importe quel autre ordinateur. Un microcontrôleur ARM peut être vu comme un mini-ordinateur complet. A la différence d'un ordinateur tel qu'un PC, un ARM n'a pas été conçu pour interagir avec des humains mais avec des machines. cela signifie qu'il n'existe aucune façon simple et directe de le relier à un clavier ou à un terminal. Il existe cependant de nombreux moyens de connecter un tel microcontrôleur à une machine ou à l'une ou l'autre de ces parties, que ce soit à des commutateurs, des LED, des résistances variables, des capteurs de température ou infrarouge, voire à d'autres microcontrôleurs. C'est parce qu'ils sont au cœur des machines et parce qu'on ne communique pas directement avec eux de l'extérieur, mais par l'intermédiaire d'un clavier, d'une souris et d'un écran, que les microcontrôleurs sont souvent appelés (Systèmes Embarqués).

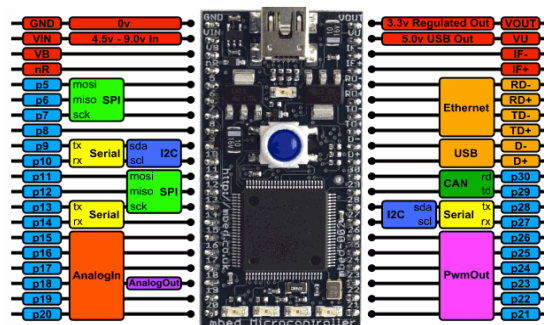


Fig.2.1. principales broches de la carte MBED

## Chapitre II : Description de la carte de développement

### II .1.Généralités:

La carte MBED NXP LCP1768 et son microcontrôleur ARM est utilisée pour le développement de grande vitesse multi variable à contrôle numérique et simulation à temps réel dans plusieurs domaines tel que:

- Robotique
- La commande et le contrôle
- Télécommunication
- L'industrie Automobile

Elle est aussi adapter pour la communication avec d'autre logiciel de développement tel que LABVIEW et MATLAB. L a carte dispose de plusieurs broches numériques destinées à l'utilisation de contrôle numériques dont 6 broches analogiques dotées de convertisseurs analogiques numériques. Le tableau suivant résume l'intégralité de ces broches et leurs fonctionnalités.

Fonction	Couleur	Description
Alimentation	Rouge	Broches d'alimentation, La carte mbed peut-être alimentée par connexion USB ou par alimentation séparée-reliée aux broches GND et Vin. Elle est dotée d'un régulateur de tension intégré capable de délivrer 3.3V et 5V.
Numérique	Bleu clair	Ces broches reconnaissent en tant qu'entrées ou délivrent en tant que sorties des tensions de 3.3V ou 0V, mais aucune tension intermédiaire.
SPI	Vert clair	SPI- Serial- Peripheral- Interface- est un protocole de communication. La carte mbed l'utilise pour communiquer avec d'autres composants et possède deux ports SPI distincts
Série	Jaune clair	Protocole de communication, aussi appelé RS232. La carte mbed l'utilise pour communiquer avec d'autre composants ou un PC et possède trois ports série distincts.
I2C	Bleu foncé	I2C-Inter-Integrated Circuit Communication- est un protocole de communication. La carte mbed l'utilise pour communiquer avec d'autres composants et possède deux ports I2C.
AnalogIn	Orange foncé	Ces broches lisent toute tension comprise entre 0V et 3.3V et la convertissent en valeur numérique comprise entre 0 et 1; par exemple une valeur de 1V est convertie en 0.303. La carte possède six de ces broches. dont l'une d'entres elles est utilisée Comme AnalogOut.
AnalogOut	Violet foncé	Cette broche peut délivrer une tension comprise entre 0 et3.3V La carte possède une seule broche.
PwmOut	Violet clair	Ces broches délivrent un signal PWM- Pulse Width Modulated- Qui pourra par exemple servir à contrôler la vitesse d'un moteur.
CAN	Vert foncé	CAN- Controller Area Network- est un protocole de communication, souvent utilisé dans l'industrie automobile et les

## Chapitre II : Description de la carte de développement

		équipements industriels. La carte l'utilise pour communiquer avec d'autres composants et possède un port CAN.
Ethernet	Orange clair	Ethernet est un protocole de réseau servant à relier entre eux des ordinateurs. Ethernet fait partie de la couche liaison du protocole Internet.

Tableau1. Les broches de la carte et leur fonctionnement

### **II.2.Description et fonctionnement de la carte MBED NXP LPC1768:**

La carte de développement MBED NXP LPC 1768 est basée sur le processeur 32 bits ARM cortex-M3 qui tourne à 96 MHz et comprends 512 Ko de mémoire flash et 64 Ko de RAM, ce qui est bien plus que la plupart des autres carte de prototypage.

Elle possède des interfaces série (UART), SPI, I2C et un bus CAN. Elle supporte également d'autres périphériques, comme l'Ethernet, un USB OTG, un convertisseur analogique numérique 12 bits et un convertisseur numérique-analogique 10 bit, qui ne sont pas accessibles à des cartes moins puissantes. La carte possède des connecteurs mâles 0.1" qui lui permettent d'être installée facilement sur des plaques de prototypage rapide sans soudure.

La carte MBED et son microcontrôleur ARM dispose de 40 broches est chacune d'elles possède ses propre fonctionnalité. parmi ces broches, en trouve celles qui possèdent des protocoles de communications souvent utilisés pour communiquer avec d'autres composants électroniques.

#### **II.2.1Protocole SPI:**

L' interface série synchrone ou SSP ( Synchronous Serial Port )dont disposent de nombreux PIC peut fonctionner également en mode SPI, appelé encore bus SPI ( Serial Port Interface ) ou bus série 3 fils. En effet, un bus de ce type permet la connexion sous forme série maître-esclave de plusieurs microcontrôleurs de la même famille et plusieurs microcontrôleurs de familles différentes disposant d'interfaces compatibles ainsi que tous les périphériques ou mémoires munis d'une interface de ce type appelée aussi interface série à 3 fils.

#### **Principe d'une liaison SPI:**

La figure 2.2 présente le principe général d'interconnexion d'un Protocol SPI, cependant, ce schéma ne doit pas être considéré comme unique. On peut en effet relier le SPI à de très

## Chapitre II : *Description de la carte de développement*

nombreux autres circuits: registres à décalage, afficheurs disposant de leur propre logique, etc. Sur la figure, on y voit trois lignes « utiles » que sont SDO, SDI et SCK et une ligne de sélection de mode de fonctionnement du circuit ( maître ou esclave ) appelée SS .La patte SDO, pour Serial Data Out, est la sortie de données séries. La patte SDI, pour Serial Data In, est l'entrée de données séries. La ligne SCK pour Serial Clock est utilisée pour synchroniser les échanges de données puisque on travaille en mode série synchrone. Cette ligne est nécessairement une sortie sur le maître et une entrée sur le ou les esclaves. La ligne SS est la sélection du mode maître ou esclave. Elle est au niveau haut sur un maître et au niveau bas sur un esclave. Pour éviter toute erreur de transmission, cette ligne doit être au niveau bas sur le ou les esclaves avant toute transmission et y rester pendant toute la durée de celle-ci. En outre, il est évident qu'à un instant donné, n'importe quel circuit peut être maître et n'importe quel autre esclave, mais il ne doit y avoir qu'un maître par transaction.

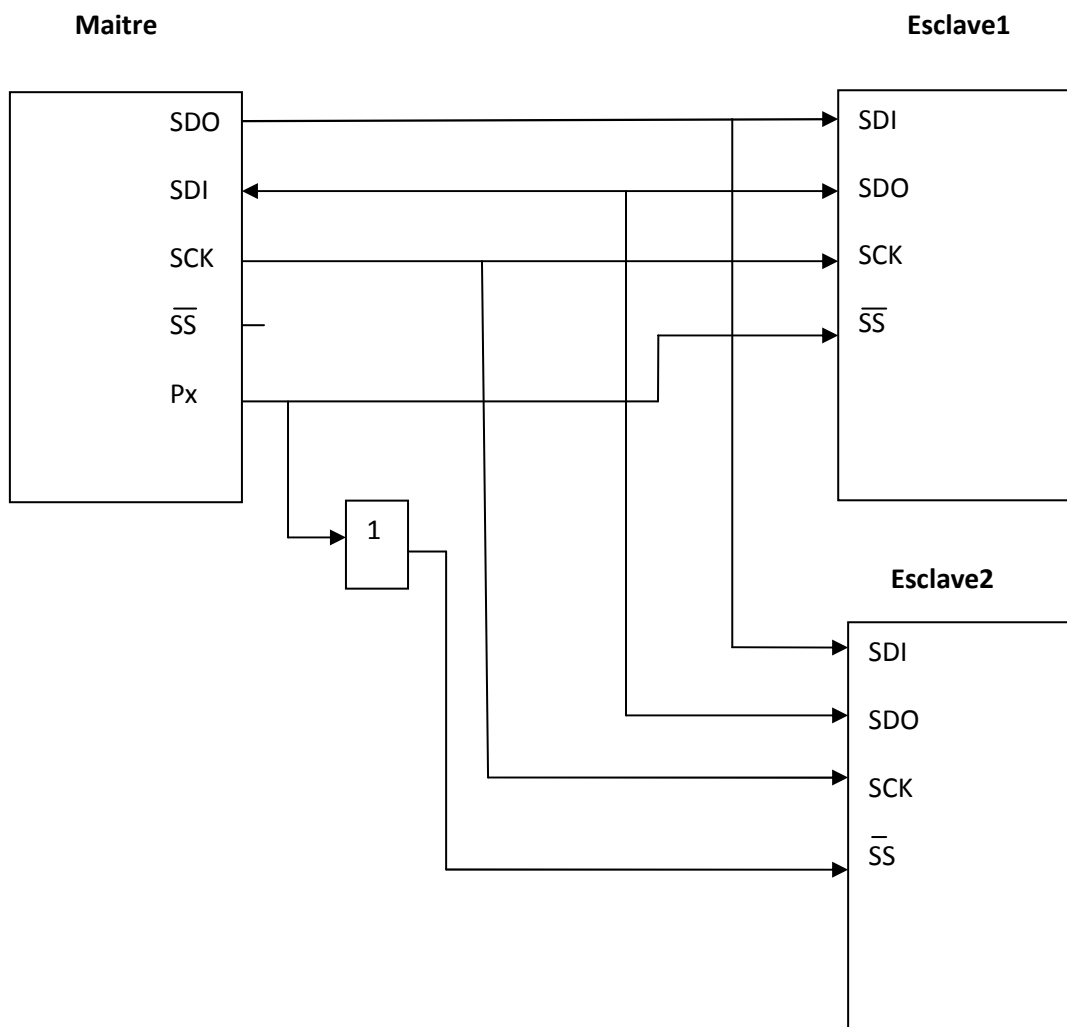


Fig.2.2 Principe d'interconnexion SPI

### II.2.2 Protocole Série:

Même si ce type de communication est peu à peu remplacé par l'USB, la liaison série de type RS232 est encore très utilisée dans l'industrie, mais aussi pour la fabrication de matériels informatiques professionnels. En effet, la plupart des composants (commutateur administrable, routeur...) d'un système de gestion de réseau informatique professionnel contiennent une liaison série de type RS232. Ceci permet, lors du «plantage» du système par exemple, aux techniciens et ingénieurs réseaux, d'intervenir en utilisant de simples commandes en lignes. C'est la raison pour laquelle, se trouve encore la traditionnelle prise SUB-D mâle à 9 contacts en façade des matériels réseaux professionnels. La transmission série de type RS232 est une des transmissions dites asynchrones (RS232, RS422, RS485) car il n'y a pas de signal d'horloge dans le câble ; cela implique que l'émetteur et le récepteur soient configurés au même débit, que l'on exprime en bits par seconde (on pourra introduire la notion de Bauds), et que la configuration de la liaison soit identique sur les deux postes informatiques utilisés (nombre de bits de chaque donnée identique, nombre de bits de stop (qui permettent de délimiter chaque donnée) identique et utilisation d'un même type de bit de parité (qui est un des moyens utilisés pour vérifier l'intégrité des données transmises à la réception) sur les deux postes.



Fig.2.3 fiches pour le câble RS232

### II.2.3 Protocole I2C:

Le bus I2C (Inter Integrated Circuit) a été développé au début des années 80 par Philips. On le trouvait initialement dans des équipements domestiques (magnétoscope) pour faire communiquer les différents éléments à l'intérieur du même boîtier. Il est devenu ensuite un bus de communication très répandu, y compris pour relier des équipements différents (plusieurs circuits électroniques)

à des distances plus grandes (grâce à des répéteurs). Nous l'utilisons car il est présent sur beaucoup de microcontrôleurs et est très facile à prendre en main.

### II.2.4 Le bus CAN (control Area Network):

Le protocole CAN (*Control Area Network*) est un protocole de communication série qui supporte des systèmes temps réel avec un haut niveau de fiabilité. Ses domaines d'application s'étendent des réseaux moyens débits aux réseaux de multiplexages.

✓ **caractéristiques physiques du bus CAN**

Le bus série est une paire différentielle connectée sur des résistances 120Ω ou des capacités de 30 pF résistant aux perturbations. il utilise deux fils (une paire torsadée ou non) dont les désignations sont CAN L (Low) et CAN H (High) Les états logiques (0 ou 1) sont codés par différence de potentiel entre les deux fils : tenue aux perturbations.

Il existe deux possibilités de configuration du bus suivant que l'on souhaite travailler :

- low speed (125 Kbits)
- high speed (1 M bits)

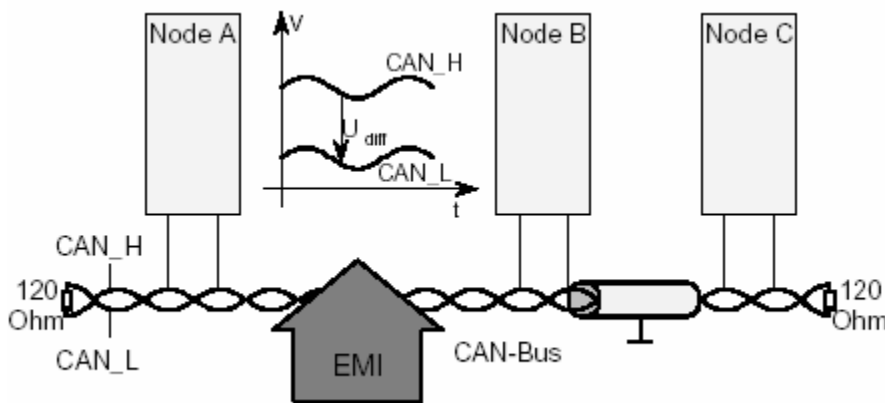


Fig.2.4 Caractéristiques physiques du CAN

### II.2.5 Protocole Ethernet:

Ethernet est actuellement le protocole le plus employé, surtout pour les applications bureautiques. Tous les constructeurs proposent une interface vers ce réseau. voici quelques caractéristiques du protocole Ethernet:

- Signalisation: bonde de base
- codage: Manchester

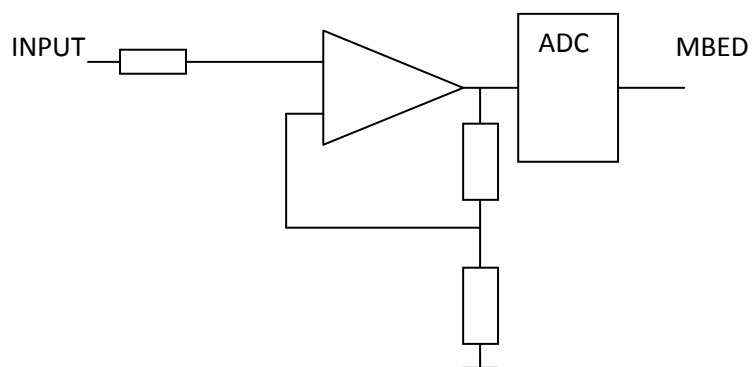
## Chapitre II : Description de la carte de développement

- Etendue: quelques kilomètres
- débits: 10Mbits/S
- Méthode d'accès: basée sur la probabilité dite aléatoire CSMA/CD.
- pas de priorité.

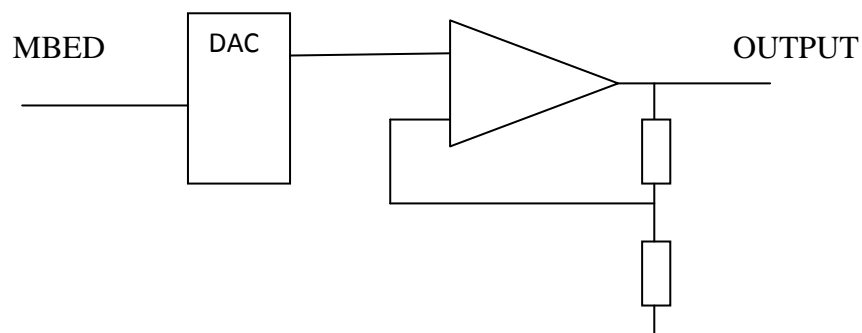
En plus de ces protocoles, on trouve des broches qui servent à produire en sortie ou recevoir en entrée un signal analogiques.

### II.2.6. Convertisseurs A/D et D/A:

la carte MBED possède un convertisseur analogique- numérique de 12bits et un convertisseur numérique-analogique de 10bits.



circuit d'entrée ADC



Circuit de sortie DAC

### II.2.7 Signal PWM:

La modulation de largeur d'impulsions (MLI, en anglais : *Pulse Width Modulation*, soit *PWM*), est une technique couramment utilisée pour synthétiser des signaux continus à l'aide de circuits à fonctionnement tout ou rien, ou plus généralement à états discrets.

Le principe général est qu'en appliquant une succession d'états discrets pendant des durées bien choisies, on peut obtenir en moyenne sur une certaine durée n'importe quelle valeur intermédiaire.

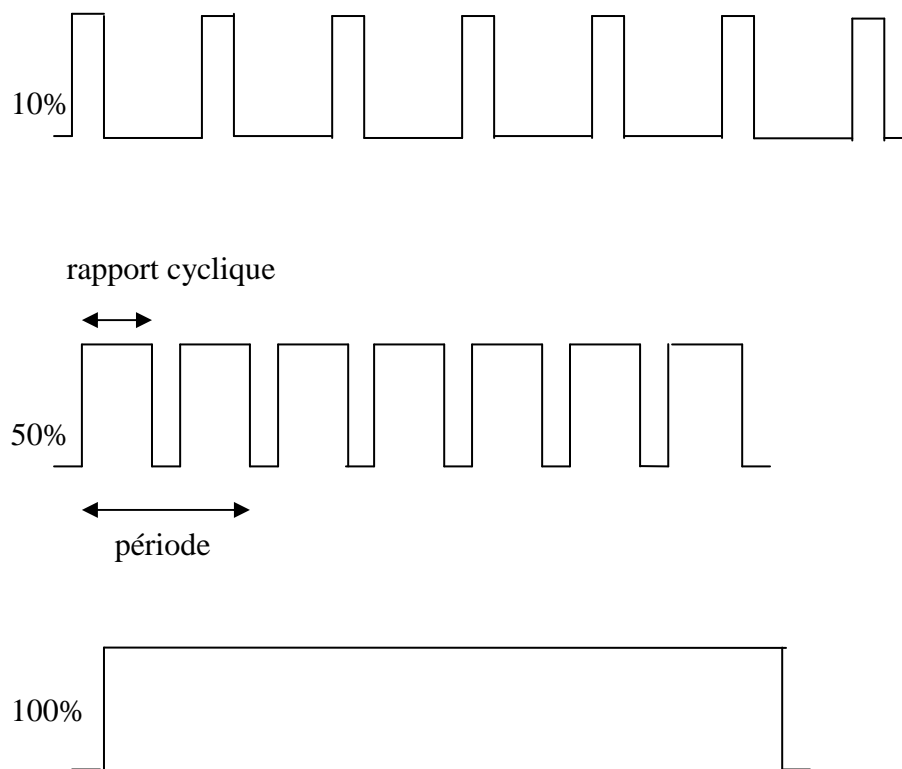


Fig.2.5. Différents rapports cycliques d'une PWM

Sur un signal (comme celui de la figure 2.6) représentant les instants où un moteur est mis sous tension, la période est par définition le temps qui s'écoule entre deux départs d'impulsions. Le rapport entre la durée d'une impulsion et la période est appelé **rapport cyclique**. On peut considérer ce rapport comme la fraction de temps durant laquelle le moteur délivre de la puissance. La figure 16 illustre trois rapports cycliques différents. Sur le premier tracé, la largeur de l'impulsion vaut 10% de celle de la période. Autrement dit, le moteur est sous tension pendant 10% de cette période.

# Chapitre III : Réalisation du système d'acquisition en temps réel

### **III. Réalisation du système d'acquisition:**

Pour la plus part des climatologues et les météorologues, la connaissance de l'évolution des grandeurs météorologiques, à savoir la température, l'humidité, la vitesse et la direction du vent,...etc. est une étape fondamentale et primordiale pour la prédiction du temps. Toutes ces données seront exploitées en agriculture, industrie et le transport aérien. Ils font souvent appelle à des systèmes d'acquisition de données composés de capteurs et de circuits de traitement et de transmission. Dans cette application, le système que nous avons réalisé est basé sur un microcontrôleur de type ARM et d'un module de transmission Zig Bée

#### **III.1. Schéma synoptique du système:**

La figure suivante est une représentation simplifiée de notre système de mesure, elle comporte

- Une unité capteur
- Une unité d'acquisition et de traitement
- Une unité de transmission et d'archivage de données

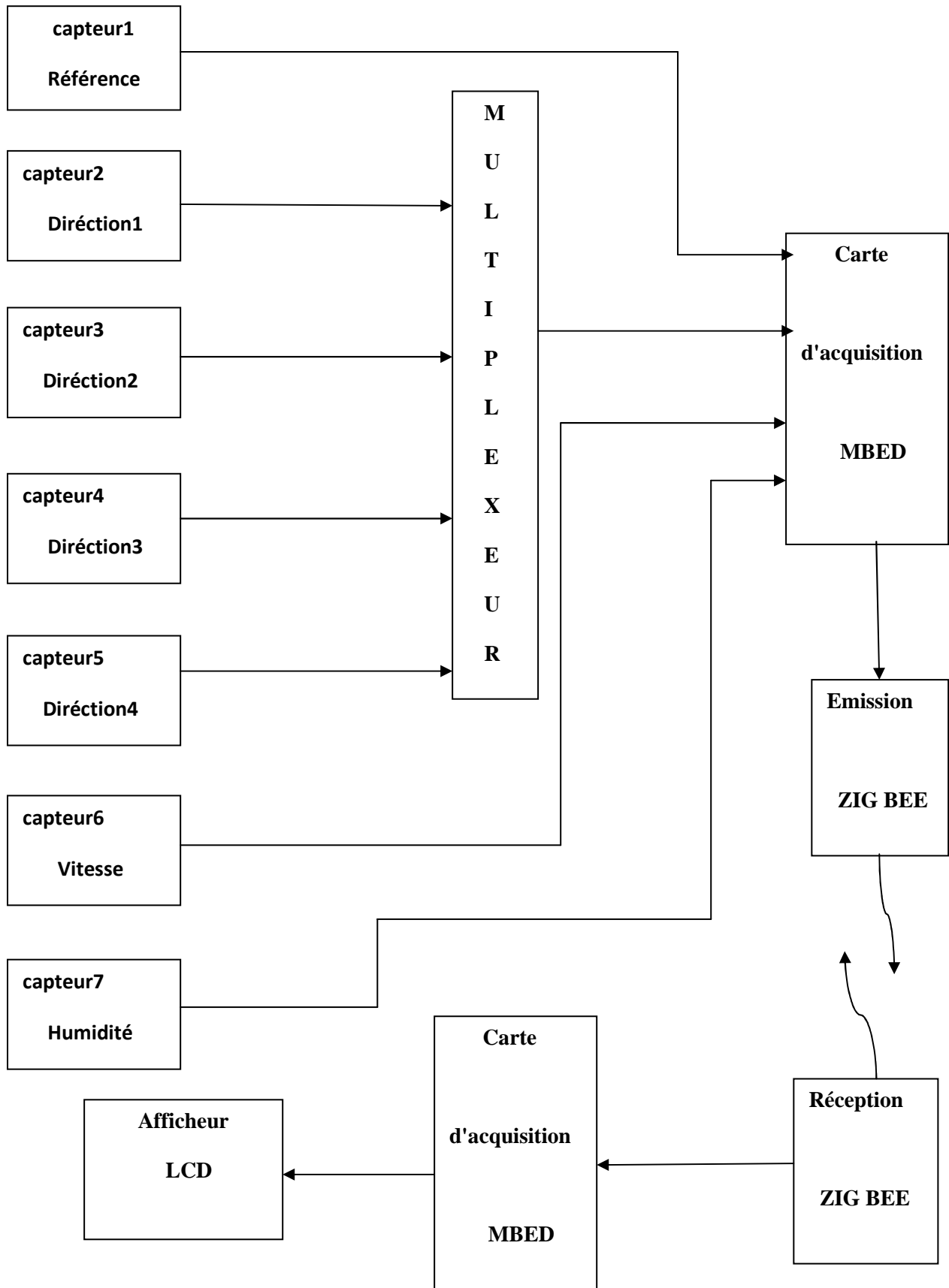


Fig.3.1. Schéma synoptique de la chaîne de mesure

### III.2. Description du capteur utilisé:

Le capteur est un élément indispensable dans une chaîne de mesure, son rôle consiste à transformer toutes les grandeurs physiques en une information électrique (tension, courant). Il existe plusieurs catégories de capteurs et chacune d'elles possède ses propres caractéristiques destinées à l'exploitation des différentes grandeurs physiques. Dans notre application, le capteur utilisé est une thermistance de type CTN, cette dernière se compose essentiellement d'un SC au silicium dopé de façon que sa résistance varie fortement avec la température. Elle est obtenue par frittage à haute température de la poudre d'oxyde métallique (Fe, Ni, Mn, V, Ti). Sa résistance varie à l'inverse de la température suivant la loi théorique :

$$R_T = R_0 \exp[B(1/T - 1/T_0)] \quad (1)$$

$R_T$  : Résistance à la température absolue  $T$ .

$B$  : « Constante » comprise entre 2000 à 9000 °K, suivant les thermistances.

$R_0$  : Résistance à la température absolue  $T_0$  (en degrés K).

$T_0$  : Température absolue à laquelle  $R_0$  a été mesuré, généralement  $T_0 = 273.16^\circ\text{K}$ .

Le courant passant dans la thermistance doit être le plus faible possible afin de ne pas augmenter sa température par effet joule. La puissance dissipée est de l'ordre du micro Watt, voir inférieure. Parfois ce courant ne passe dans la thermistance qu'au moment de la mesure.

### III.3. Caractéristiques électriques de la thermistance

#### III.3.1. Caractéristiques résistances -température:

La résistance d'une CTN décroît quand la température augmente suivant une loi approximativement exponentielle

L'indice de sensibilité thermique est donné par:

$$B = T \cdot T_0 / (T - T_0) \cdot \text{Log } R_T / R_0 \quad (2)$$

On définit le coefficient de la température  $\alpha$  tel que :  $\alpha = (1/R) dR/dT = -B/T^2$

**III.3.2.Caractéristiques courant-tension:**

La caractéristique  $V=f(I)$  passe toujours par un maximum. En général il est atteint à partir de  $B > 4T_0$ .il dépend de l'indice de sensibilité B, de la température  $T_0$ .

**III.3.3.Caractéristique temps-courant:**

Le courant ne passe pas instantanément à travers la thermistance et il varie pendant l'échauffement.Cette caractéristique dépend essentiellement de trois facteurs essentiels à savoir la température et la nature du milieu ainsi que la tension utilisée.

**III.4.Etalonnage de la thermistance:**

L'opération consiste à réaliser plusieurs mesures de la résistance de la thermistance à différentes températures en plaçant la thermistance dans un liquide qu'on chauffe progressivement.

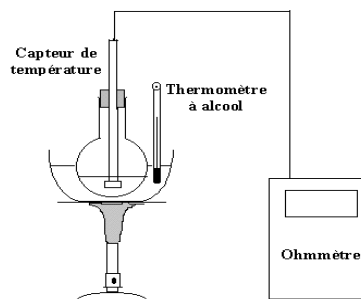


Fig.3.2. Etalonnage de la thermistance.

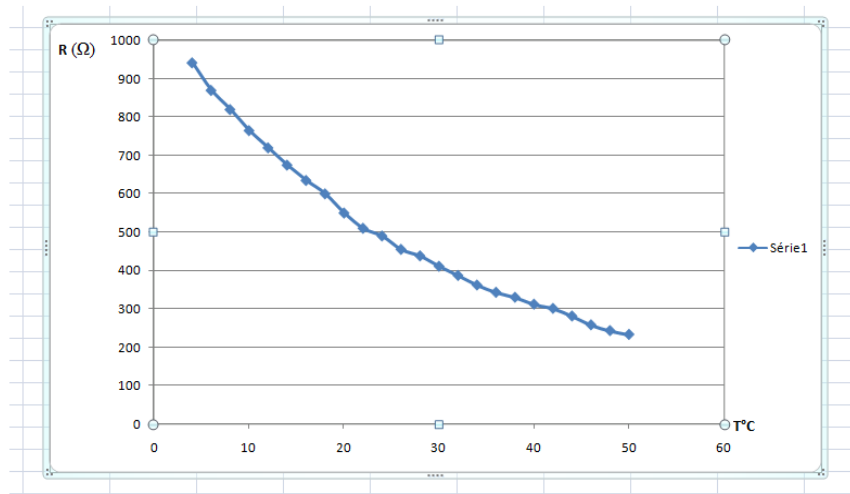


Fig.3.3. Evolution de la résistance en fonction de la température

En suivant l'allure du graphe, on remarque bien que si la température augmente, la résistance de la CTN diminue. A partir des valeurs obtenues, on trace la courbe  $R_T(T)$ . En fonction de la température et on calcule la valeur de a et b. tel que:

$$R_T(T) = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)} \quad (3)$$

Avec  $B = a T + b$

D'après la relation (3),

$$R_T(T) = R_0 (T/T_0)^{-a} e^{b(1/T - 1/T_0)} \quad \text{et} \quad B = T \cdot T_0 / (T - T_0) \ln .R_T / R_{25}.$$

Pour faciliter les calculs on prend:

$$T_{25} = 298^\circ\text{K}, \quad R_{25} = 470\Omega$$

$$T_{48} = 321^\circ\text{K}, \quad R_{48} = 243\Omega$$

$$\text{D'où } B = 2743.57$$

Pour le calcul de a et b, on exploite les données de la courbe d'étalonnage.

### Chapitre III : Réalisation du système d'acquisition en Temps réel

$$R_T(T) = R_0(T/T_0)^{-a} e^{(B - a T) (1/T - 1/T_0)}$$

$$243 = 470(321/298)^{-a} e^{-B (0.00024)} e^{aT (-0.00024)}$$

$$a = -\ln 0.34/0.775 - \ln(1.077)$$

$$a = 1.539$$

$$\text{On déduit alors } b = 2743.57 - 1.539 \times 321$$

$$b = 2249.55$$

#### III.5. Description détaillée du système:

Le système que nous avons conçu et réalisé comporte la mesure de la température, l'humidité, la vitesse et la direction du vent.

##### III.5.1. Mesure de la température:

Parmi toutes les grandeurs physiques, la température est celle que l'on mesure le plus souvent dans les stations météorologiques. C'est pourquoi sa mesure précise et son contrôle sont indispensables du fait qu'elle permet de déterminer d'autres paramètres tel que : L'humidité et l'écoulement d'air.

Notre premier objectif consiste à trouver une solution pour rendre linéaire le signal issu de la thermistance. Pour cela on a placé la CTN (résistance à coefficient négatif) en série avec une autre résistance, dont la valeur a été déterminée pour essayer de rendre la tension plus linéaire autour de la température de 25°C.

Pour trouver la valeur de résistance permettant de rendre l'évolution de la tension plus linéaire autour de 25°C, nous calculons le développement limité d'ordre 2 de la fonction de transfert par rapport à la température T et à 25°C. Nous cherchons la valeur de R<sub>n</sub> qui annule le terme d'ordre 2 de ce développement limité afin que la fonction de transfert soit une fonction affine de variable T.

$$H = R_n / R_T - R_n(4)$$

### Chapitre III : Réalisation du système d'acquisition en Temps réel

Comme nous avons expliqué précédemment, nous allons mettre la CTN en série avec une résistance  $R_n$  dont nous avons déterminé la valeur grâce au développement limité au voisinage de  $25^\circ\text{C}$ .

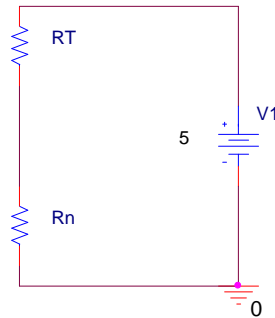


Fig.3.4. Association de la CTN avec une résistance

Pour calculer ce développement limité au voisinage de  $25^\circ\text{C}$ , nous utilisons la formule de Taylor-Lagrange à  $25^\circ\text{C}$ .

Dérivée première :

$$H'(T) = -R_n \times [(-k B/T^2 e^{B/T})] / (k \cdot e^{BT} + R_n) \quad (5)$$

Dérivée seconde : on se s'intéressera ici qu'au numérateur afin de trouver une valeur de résistance  $R_n$  qui permet d'annuler ce terme d'ordre 2.

$$\text{NUM}(H''(T)) = R_n \times KB \left( -\frac{2}{T^3} \times e^{\frac{B}{T}} - \frac{B}{T^4} \times e^{\frac{B}{T}} \right) \times \left( K \cdot e^{\frac{B}{T}} + R_n \right)^2 - \left( \frac{R_n \times KB}{T^2} e^{\frac{B}{T}} \times 2 \left( K \cdot e^{\frac{B}{T}} + R_n \right) \times \left( -\frac{KB}{T^2} e^{\frac{B}{T}} \right) \right)$$

On cherche à annuler ceterme:

$$\left( -2 - \frac{B}{T} \right) \times \left( K \cdot e^{\frac{B}{T}} + R_n \right) - 2 \times \left( -\frac{KB}{T} e^{\frac{B}{T}} \right) = 0$$

Après calcul:

$$R_n = K \left( \frac{2B}{2T + B} - 1 \right) e^{\frac{B}{T}}$$

**Application numérique:**

$$k = 7,26 \cdot 10^{-3}$$

$$B = 2743,57 \quad T \text{ en Kelvin}$$

$$R_n = 470\Omega$$

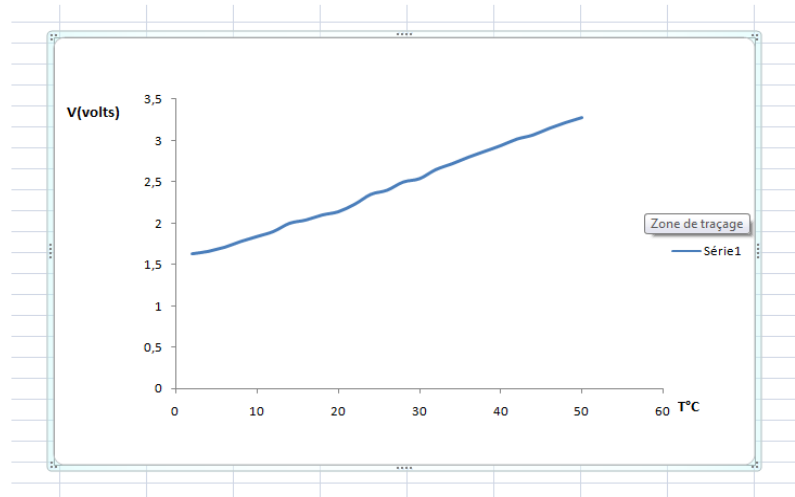


Fig.3.4.Evolution de la tension en fonction de la température.

En suivant l'allure du graphe, on remarque que la tension aux bornes de thermistance varie en linéairement fonction de la température. La tension diminue lorsque la température diminue.

**III.5.2.Mesure d'Humidité:**

La mesure de l'humidité relative est l'une des expériences les plus difficiles à réaliser de manière précise. Différentes techniques de mesures ont été mises en pratique mais l'obtention d'enregistrement fiable pose toujours problème.

L'humidité exprime la présence d'un mélange d'air sec et de vapeur d'eau dans l'air ambiant. En général, quand on parle de mesure d'humidité, on fait toujours allusion au taux d'humidité de l'air permet de calculer son humidité relative en tenant compte de la table psychrométrique ou des formules mathématiques. La mesure de la température 'humide' est effectuée par la mesure de la résistance d'une CTN entourée d'une mèche de coton hygrophile imbibé d'eau.

### Chapitre III : Réalisation du système d'acquisition en Temps réel

L'évaporation de l'eau contenue dans la trame du coton hygrophile aux conditions de température et de la pression de vapeur ambiante permet de créer entre la CTN et le coton hygrophile une atmosphère humide dont on mesure alors la température.

La mesure de l'humidité relative est déterminée au moyen de la formule de Sprung et se fait en deux étapes. Tout d'abord :

$$e(\text{Th}) - e(\text{a}) = \gamma \times (\text{Ta} - \text{Th}) = A \times P \times (\text{Ta} - \text{Th})(6)$$

Avec :

$e(\text{Th})$  : pression de saturation de l'air à  $\text{Th}$  (Pa)

$e(\text{a})$  : pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa)

$\gamma$ : Coefficient psychrométrique ( $\text{Pa} \cdot \text{K}^{-1}$ )

P: pression atmosphérique l'air (Pa)

A : constante psychrométrique ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$\text{Ta}$  : température sèche ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\text{Th}$ : température humide ( $^{\circ}\text{C}$ )

Ensuite, calcul de l'humidité relative (exprimée en %) :

$$\text{Hr} = e(\text{a}) / e(\text{Ta}) = [ 100 * e(\text{Th}) - A * P * (\text{Ta} - \text{Th}) ] / e(\text{Ta})(7)$$

Avec  $e(\text{Ta})$  = pression de saturation de l'air à la température  $\text{Ta}$  (Pa)

La table psychrométrique est donnée dans la figure (3.5)

TS (en °C)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
0	100	90	81	72	64	56	50	42	36	30	25	20	16
1	100	91	82	74	66	58	52	45	39	34	28	23	18
2	100	91	83	75	67	60	54	48	42	36	31	26	22
3	100	92	84	76	69	62	56	50	44	39	34	29	25
4	100	92	84	77	70	64	57	52	47	41	36	32	28
5	100	93	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30
6	100	93	85	79	72	66	61	55	50	45	41	36	33
7	100	93	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35
8	100	93	87	80	74	69	63	58	54	49	45	41	37
9	100	94	87	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39
11	100	94	89	82	76	71	66	61	57	53	49	45	41
12	100	95	89	83	77	72	67	62	58	54	50	47	43
13	100	94	90	83	78	73	68	63	59	56	52	48	44
14	100	95	89	84	78	74	69	66	61	57	53	50	46
15	100	94	89	84	79	74	70	67	62	58	54	51	47
16	100	95	90	84	80	75	71	68	63	59	57	52	49
17	100	95	90	85	80	76	72	69	64	60	58	54	50
18	100	95	90	85	81	77	73	70	65	62	59	55	52
19	100	95	91	86	81	77	74	70	66	63	60	56	53
20	100	96	91	86	82	78	74	71	67	64	61	57	54
21	100	96	91	87	82	78	74	72	68	65	62	58	55
22	100	95	91	87	83	79	75	72	69	66	63	59	56
23	100	96	91	87	83	80	76	73	69	67	63	61	58

Fig.3.5. Table psychromètre

Le tableau de la figure précédente permet de calculer l'humidité relative à partir des mesures de  $T_a$  et  $T_h$  pour une température sèche comprise entre 0 et 23°C et un écart de  $T_a - T_h$  qui varie entre 1 et 6°C. Ainsi, si la température sèche est de 16°C et que l'écart  $T_a - T_h$  est de 5°C l'humidité relative sera de 57%. En résumé, si cet hygromètre reste utilisé, son domaine d'application reste restreint en rapport avec la relative difficulté de sa mise en œuvre.

### III.5.3.Mesure de la vitesse et de la direction du vent:

Depuis longtemps, la mesure de la vitesse du vent repose sur le principe de l'anémomètre à fil chaud avec lequel on peut identifier la vitesse d'un courant gazeux à partir d'une mesure de température d'un capteur placé à proximité d'une source de chaleur calibré (fil chaud) et dont la température résulte d'un transfert thermique lié au courant d'air. Cette idée peut être étendue pour identifier simultanément la vitesse et la direction du vent.

Dans notre cas, on utilise une thermistance au lieu du fil chaud en platine pour déterminer la vitesse du vent ainsi que sa direction mais le principe reste le même.

#### III.5.3.1.Principe de la mesure:

Dans le cas du fil chaud, la mesure de la vitesse est réalisée par la mesure de la résistance d'un fil conducteur chauffé par effet Joule et placé dans l'écoulement à étudier. La puissance

électrique nécessaire pour chauffer et maintenir le fil à la température  $T_f$ , supérieure à celle du fluide à étudier, est égale à la quantité de chaleur  $Q$  dissipée dans l'écoulement par unité de temps. Cette quantité de chaleur dépend paramètres suivant:

- la vitesse effective du refroidissement exercée par le fluide.
- l'écart de température fil/fluide
- les propriétés physiques du fluide.
- les propriétés physiques du fluide et de son orientation par rapport à l'écoulement.

Soit un courant  $i$  qui passe à travers un élément résistif métallique ou à semi-conducteur, l'élément chauffé à une température  $T$  accroît jusqu'à la température de chauffe  $T_f$ . La température  $T$  et la résistance  $R$  de l'élément dépend de la puissance électrique et de la convection entre la résistance chauffée et le milieu. L'équation d'équilibre calorifique est donnée par :

$$Ri^2 - h(v)S_l(T - T_f) = mc \frac{dT}{dt} \quad (8)$$

$U(v)$  est le coefficient de transfert entre le fluide et la résistance.  $S_l$  est la surface latérale de l'élément sensible. A l'équilibre, on a :

$$Ri^2 - h(v)S_l(T - T_f) = 0 \quad \text{Avec } h(v) = a + b\sqrt{v} \quad (9)$$

La chaîne de mesure de vitesse du vent est composée de quatre étages essentiels:

- Etage d'alimentation:

Notre système est alimenté par une source de courant constant composé d'un transistor de puissance 2N3055 et d'un amplificateur LM307. Le transistor dérive un courant qui sert à chauffer la CTN.

Le LM307 joue le rôle d'un comparateur pour stabiliser le courant.

- Etage de linéarisation:

Le pont de Wheatstone formé de la thermistance chauffé par le courant délivré par la source, de deux résistances identiques à la CTN chauffé et un potentiomètre pour ajuster le courant traversant la CTN.

- Etage d'amplification:

Le signal issu du pont sera amplifié avec un gain stabilisé par un TL 084 Pour éliminer les signaux faibles.

- Etage d'adaptation:

Il consiste à stabiliser la tension de sortie à une certaine valeur. en variant  $V_{ref}$ .

On prend:  $V_{ref} = 12V$ ,  $V_s = 9,4V$

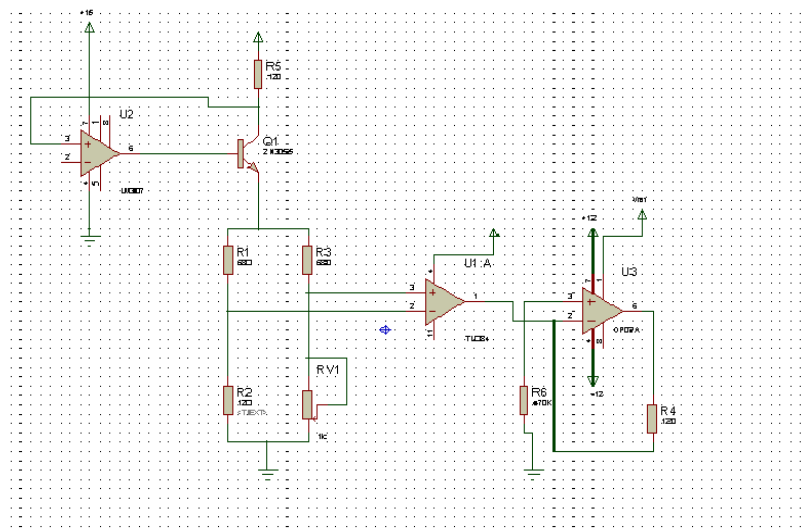


Fig.3.6. Chaîne de mesure de la vitesse du vent

### III.5.3.2.Calcul de $V_s$ en fonction de la vitesse du vent $v$ :

Pour une température  $T_a$  du fluide et pour un taux d'écoulement  $v$ ,

$V(v, T_a)$  est donnée par:

### Chapitre III : Réalisation du système d'acquisition en Temps réel

$$V(v, T_a) = V(0, T_r) [1+h(v, T_r)] f(T_a) \quad (10)$$

Avec :

$f(T_a) = 1 - 0,012(T_a - 298)$  fonction dépendante de la température.

$h(v, T_r) = V(v, T_r) - V(0, T_r) / V(0, T_r)$  fonction caractéristique

$T_r$ : température de déséquilibre de la thermistance CTN.

#### La relation de King:

La chaleur dissipée par la thermistance est égale à la puissance de déséquilibre fournie par le pont :

$$P = C_0 (1 + k v^{1/2}) (T_h - T_a) = V^2(v, T_a) / R_{Th}$$

Avec:

$C_0 (1 + k v^{1/2})$  : coefficient de radiation thermique à un temps d'écoulement.

$T_h$ : température de la thermistance à l'équilibre du pont

$K$  : constante qui dépend de la chaleur, de la densité, de la chaleur spécifique du fluide et des dimensions de la thermistance.

On aboutit à :

$$[ [V(v, t) / V(0, T_r)]^{1/2} - 1 / K ]^2 \text{ m/s} \quad (11)$$

#### III.5.4. Etalonnage du capteur de vitesse en soufflerie:

Une soufflerie est un dispositif expérimental qui permet entre autre l'étude des écoulements d'air autour de profils d'aires en modèles réduits. Ces études portent principalement sur la détermination des efforts aérodynamique s'exerçants sur ceux-ci Le principe des souffleries consiste à soumettre le corps à étudier à un courant d'air artificiel. Les premières souffleries fonctionnaient par injection d'air comprimé. Quelques années plus tard on a introduit des installations mécaniques qui provoquent la circulation de l'air.

##### III.5.4.1.Présentation de la soufflerie et son fonctionnement:

La soufflerie utilisée est une soufflerie subsonique à aspiration de référence EA103 de type LEYBOLD de marque DIDACTIC.

L'ajustage du convergent - divergent, disposé de part et d'autre de la veine d'essai comporte à son extrémité un ventilateur qui en tournant crée sur la face intérieure une dépression. La grille disposée à l'entrée du convergent permet le filtrage de l'air et surtout d'uniformiser l'écoulement.

Comme les sections de sont progressivement décroissantes, la vitesse de l'air croît graduellement, elle est maximale dans la section contractée à l'extrémité aval du collecteur. Dans le cas des souffleries subsoniques, elle est inférieure à la vitesse du son.

L'air qui traverse la veine d'essais en écoulement uniforme pénètre dans le divergent appelé diffuseur. Les sections étant croissantes, la vitesse diminue graduellement.

L'air est évacué dans la salle et il revient vers le collecteur animé d'une vitesse très faible et le cycle recommence à nouveau.

#### III.5.4.2. Résultats de l'étalonnage:

Après avoir montré la soufflerie, nous avons procédé à l'étalonnage de la thermistance. On variant la vitesse de l'écoulement d'air de la soufflerie, on relève la tension de sortie du système. Pour la mesure de la tension, on utilise un multimètre et pour la mesure de la vitesse de l'écoulement, on utilise un Testo445 étalonneur.

La figure suivante montre le résultat:

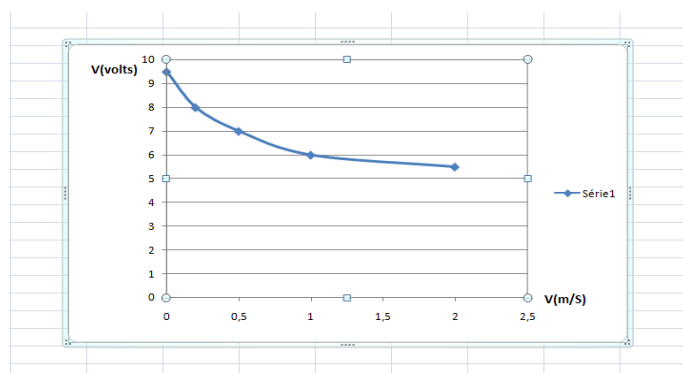


Fig.3.7. Courbe d'étalonnage de la tension en fonction de la vitesse

On remarque que la tension de sortie diminue lors que la vitesse augmente selon l'équation suivante:

$$U = \left[ \frac{V(v, t)}{V(0, tr)} \right]^{1/2} - 1 \Big/ K \Big]^{1/2} \text{ m/s} \quad (12)$$

Ou:

U: La tension de l'écoulement.

V(v, t): La tension de sortie à une certaine vitesse

V(O, tr): La tension de sortie au repos

K: constante

### III.5.5.Mesure de la direction du vent:

Pour détecter la direction du vent, On utilise 5 capteurs de Type CTN comme le montre le schéma synoptique suivant:

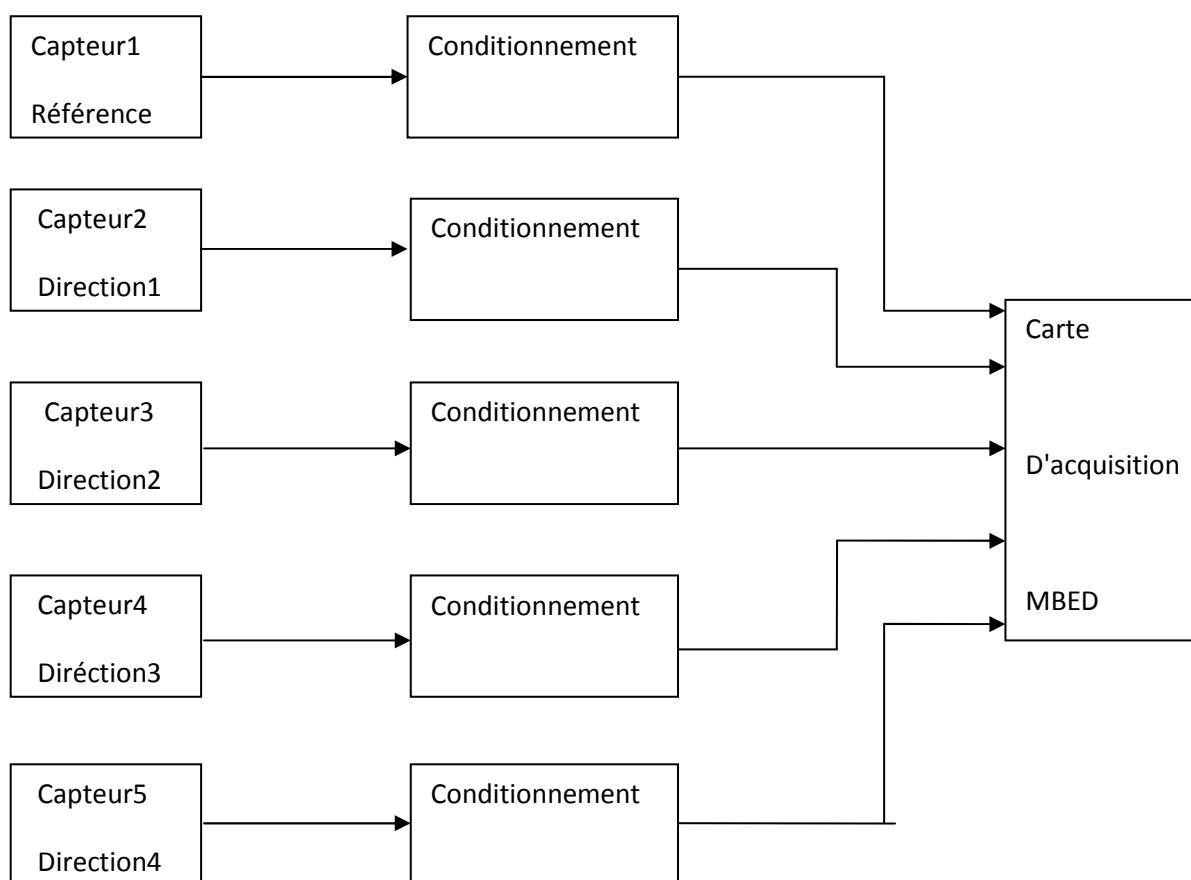


Fig.3.8. Schéma synoptique de la mesure de la direction du vent

La figure (3.9) montre l'emplacement des thermistances sur un disque. Elles sont isolées les unes des autres par des parois en forme d'entonnoir de telle sorte que seule celle qui soit en face du vent sera refroidie. La comparaison de la différence de température entre la thermistance de référence et l'une des quatre autres montre la direction du vent.

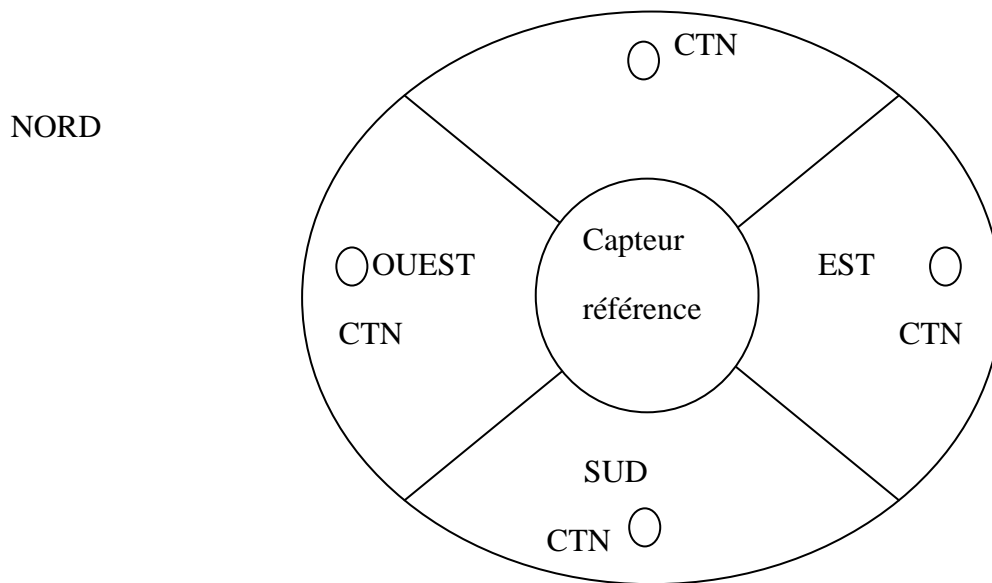


Fig.3.9. Emplacement des capteurs sur le disque

### III.6. Description de la chaîne de transmission:

La carte MBED et son microcontrôleur ARM dispose de 40 broches est chacune d'elles possède ses propre fonctionnalité. Parmi ces broches, en trouve celles avec qui nous avons relié le module de transmission selon le schéma de la figure (3.10).

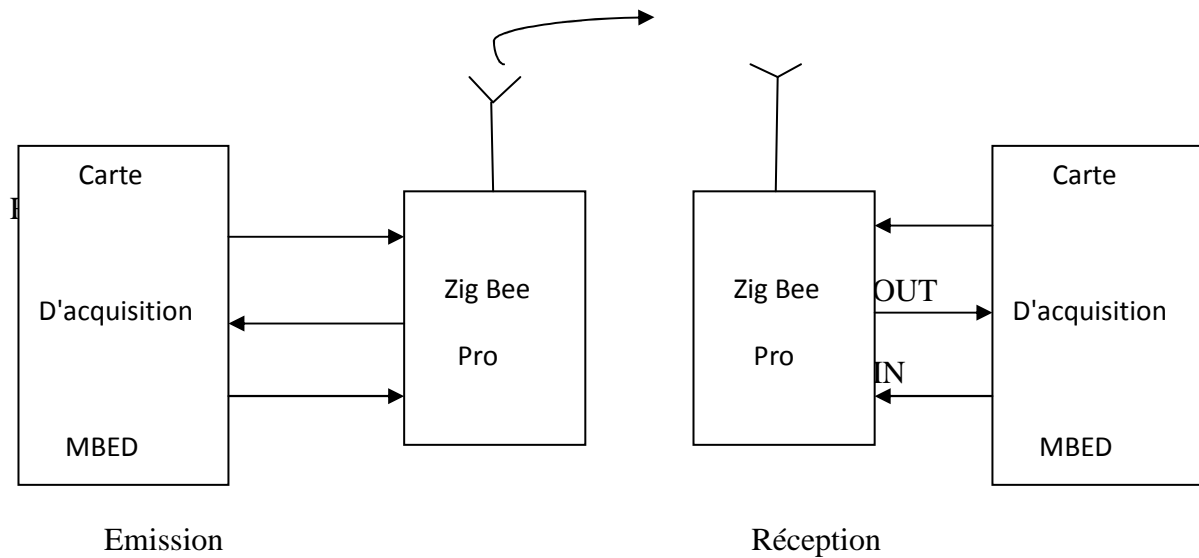


Fig.3.10. chaine de transmission

### III.6.1.Présentation du module:

Le ZIG BEE est un protocole de haut niveau, Il est utilisé dans des radio à consommation réduite. Il est basé sur la norme IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle ou Wireless Personal Area Networks. Les spécifications de Zig Bee 1.0 sont disponibles auprès des membres de la communauté industrielle Zig Bee Alliance.

On trouve ce protocole dans des environnements ou la consommation est un critère de sélection. Il est ainsi très utilisé en domotique mais aussi dans les réseaux de capteurs et les applications médicales.

A titre indicatif, certains nœuds Zig Bee sont conçus pour fonctionner plusieurs mois en autonomie complète grâce à une simple pile alcaline de 1,5V.

La figure (3.11) montre la description générale des broches du module Zig Bee.

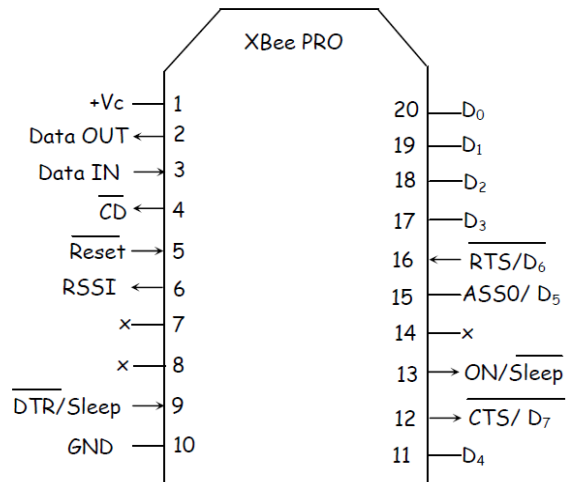


Fig.3.11. Description des broches du module

### III.6.2 Modes de fonctionnement du module:

Le module utilise une liaison asynchrone pour communiquer avec un microcontrôleur selon les modes de fonctionnement suivant:

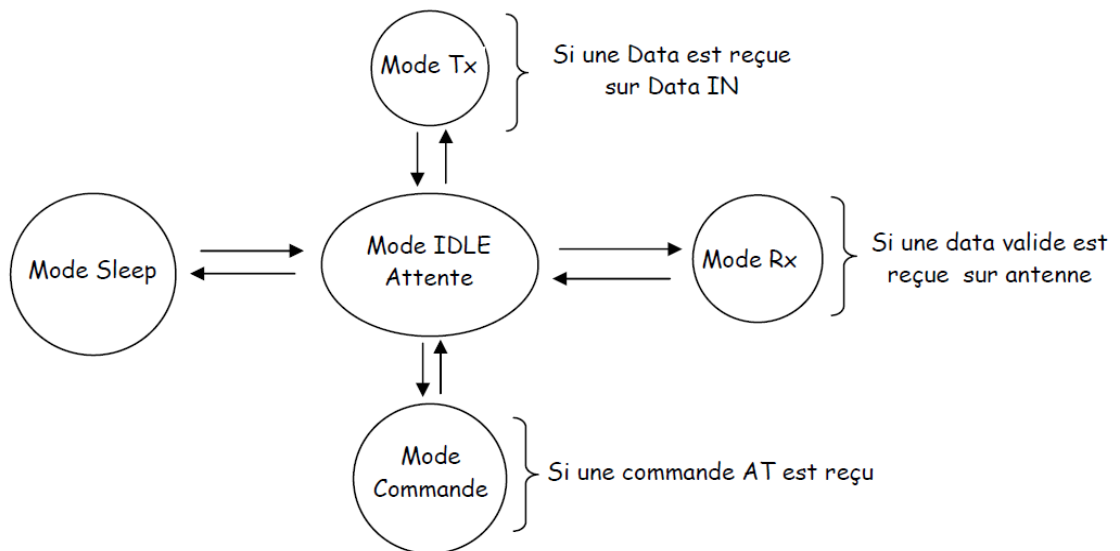


Fig.3.12. Modes de fonctionnement du module.

III.6.3.Organigramme général de la mesure:

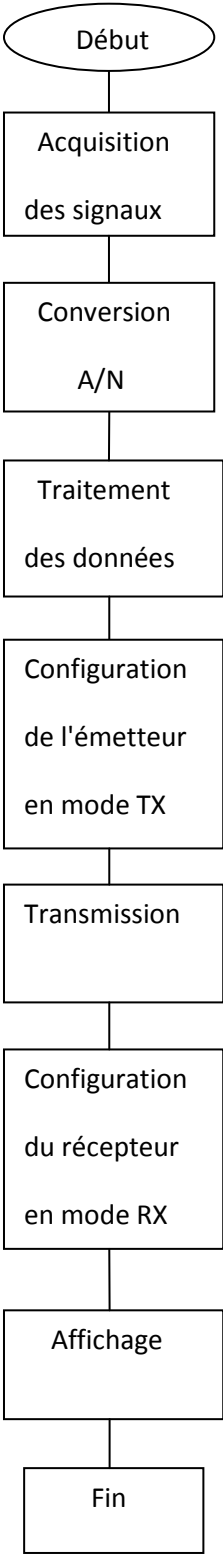


Fig.3.13. Organigramme général de la mesure

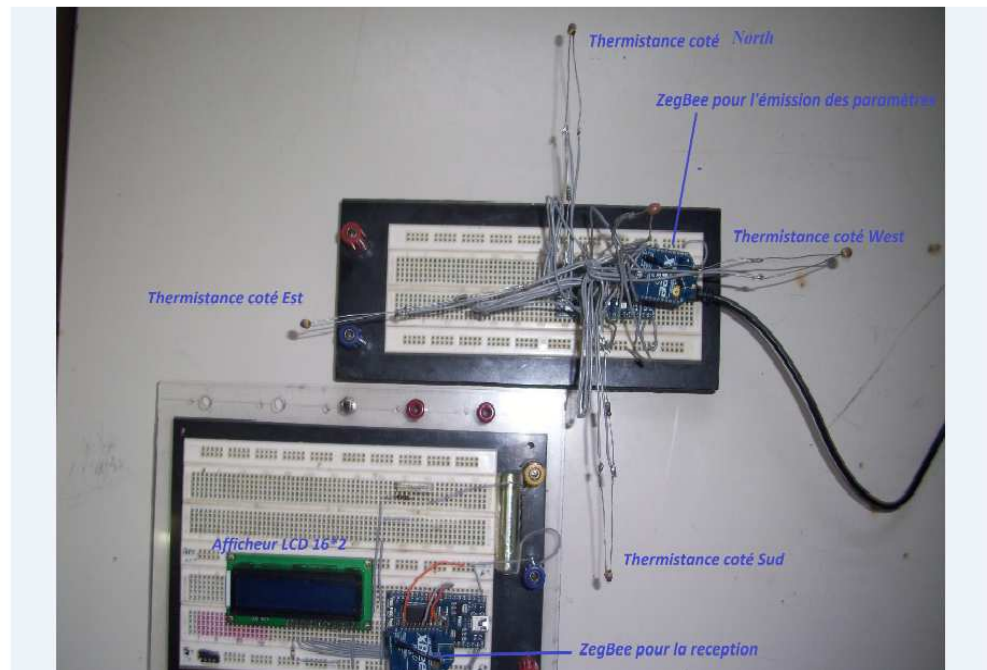


Fig.3.14.Photo de notre système de mesure

### III.7.Langage de programmation graphique LABVIEW:

LABVIEW est un langage de programmation graphique qui utilise des icônes, au lieu des lignes de textes utilisées en C par exemple, pour écrire des applications. A l'inverse d'un langage de programmation en ligne de texte où c'est la suite des instructions qui détermine l'exécution du programme. Il utilise la programmation par flux de données. C'est ce flux de données qui déterminera l'ordre d'exécution du programme.

#### III.7.1Mode de fonctionnement:

Les programmes LABVIEW sont appelés instruments virtuels (virtual instruments en anglais)ou encore VI. Ceci est dû au fait que leur apparence et mode de fonctionnement ressemble àcelui d'instruments physiques comme les oscilloscopes ou les multimètres par exemple.

Un VI contient les 3 éléments suivants :

- **Face avant** : Sert d'interface utilisateur
- **Face arrière**: Contient le code source sous forme graphique qui définit les fonctionnalités du VI.
- **Icône et pattes de connections**: Identifie le VI de telle sorte que vous pouvez utiliser le VI Dans un autre VI. Un Vi à l'intérieur d'un autre VI est appelé sous-VI. Il correspond à une sous-routine (ou encore fonction) dans un langage de programmation textuel comme le C.

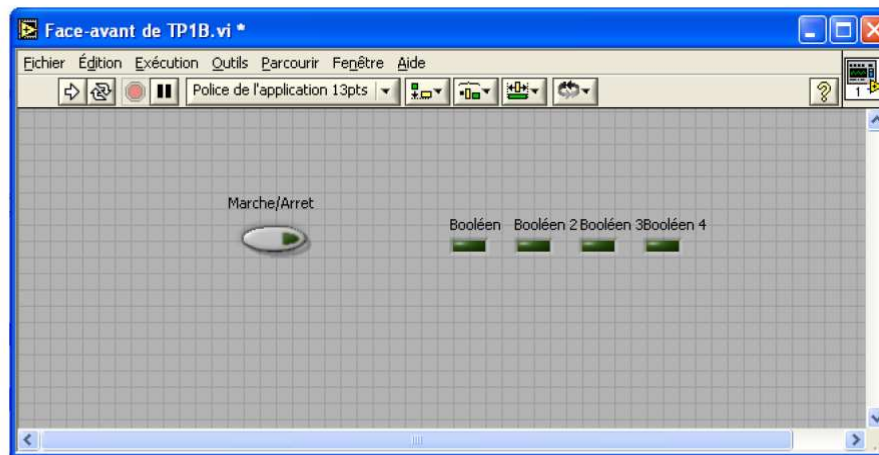


Fig.3.15.Face avant du langage LABVIEW

La face avant est l'interface utilisateur du VI. Vous allez créer la face avant avec les contrôles (entrées) et les indicateurs (sorties) qui sont les entrées et les sorties du VI qui vont interagir avec l'utilisateur.

Les contrôles peuvent être des interrupteurs, des boutons poussoir, des boîtes de dialogue, et d'autres composants d'entrée. Les indicateurs sont des graphiques, des LEDs et d'autres systèmes d'affichage. Les contrôles simulent des composants d'entrées qui fournissent au diagramme du VI des données. Les indicateurs simulent des instruments de sortie qui affichent des données qui ont été acquises par le diagramme ou qui ont été générées.

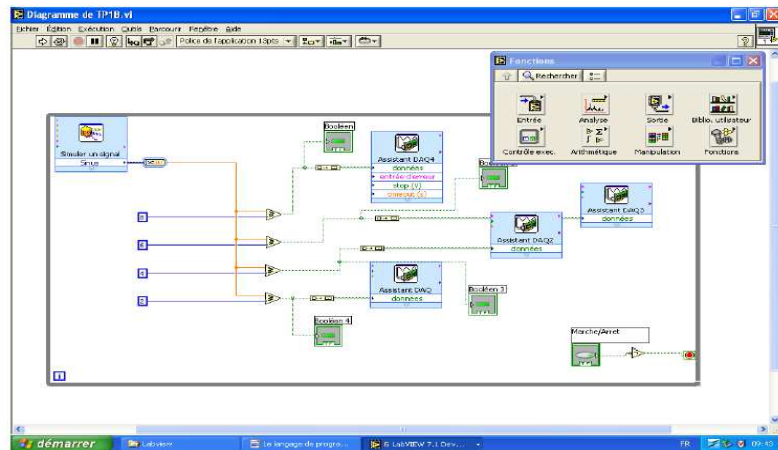


Fig.3.16.Face arrière du langage LABVIEW

Après avoir réalisé la face avant, vous allez ajouter un code en utilisant des représentations graphiques de fonctions pour contrôler les objets situés en face avant. Le diagramme de la face arrière va comporter le code source sous forme de graphique. Les objets de la face avant apparaîtront comme des terminaux (d'entrée ou de sortie) du diagramme.

En plus, le diagramme va pouvoir contenir des fonctions et des structures qui sont fournies dans les bibliothèques de VI. Des fils vont connecter chacun des nœuds du diagramme en incluant les contrôles et les indicateurs, les fonctions et les structures.

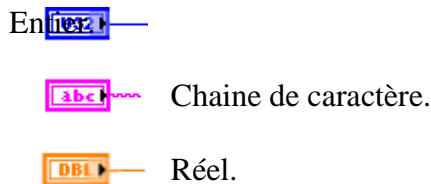
Les palettes vous fournissent les outils qui vous permettront de créer et d'éditer la face avant ou le diagramme de la face arrière.

La palette **Outils** est disponible aussi bien sur la face avant que la face arrière. Un outil est un mode de fonctionnement spécial du curseur de la souris. Quand vous sélectionnez un outil, le curseur de la souris se modifie. Utilisez les outils pour travailler ou modifier la face avant ou le diagramme de face arrière.

Sélectionner **Fenêtre »Palette Outils** pour afficher la palette **Outils**. Vous pouvez placer la palette où vous le souhaitez sur l'écran.

### III.7.2. Structure de données sous LABVIEW :

LABVIEW utilise un langage fortement typé et toutes données ou structures de données ne peuvent être manipulées qu'avec des fonctions admettant ce type, en fait sous LABVIEW on trouve plusieurs types (entiers, réels, booléens et chaînes de caractères).



### III.7.3. Structure de programmation :

LabVIEW utilise la programmation graphique qui contient quatre types de structure : la séquence, deux structures d'itération (la boucle « Pour » et la boucle « Tant Que ») et la structure de choix.

- **Structure de séquence :**

La structure de « séquence » permet de spécifier l'ordre d'exécution du flux de donnée. Cette structure se présente sous forme d'un cadre.

- **Les structures itératives :** La boucle « Pour » permet d'exprimer la répétition (ou itération) pour un nombre (N) de fois prédéterminé défini par une connexion d'entrée obligatoire. A l'intérieur de la boucle se trouve un terminale d'entrée local générant l'entier indiquant l'indice d'itération de la boucle

La boucle « Tant Que » permet d'exprimer la répétition pour un nombre de fois indéterminé. Un terminale de sortie de type booléen permet d'arrêter cette boucle lorsque la valeur « False » lui est envoyée.

- **La structure de choix :**

La dernière structure est celle qui permet d'exprimer le choix. La sélection du choix à exécuté est faite par la valeur de la variable associée à la structure, représentée par un point d'interrogation. L'indicateur du choix est représenté en haut de la structure.

### III.7.4. L'interface de commande réalisé :

La figure 3.17 représente le diagramme de l'interface réalisée:

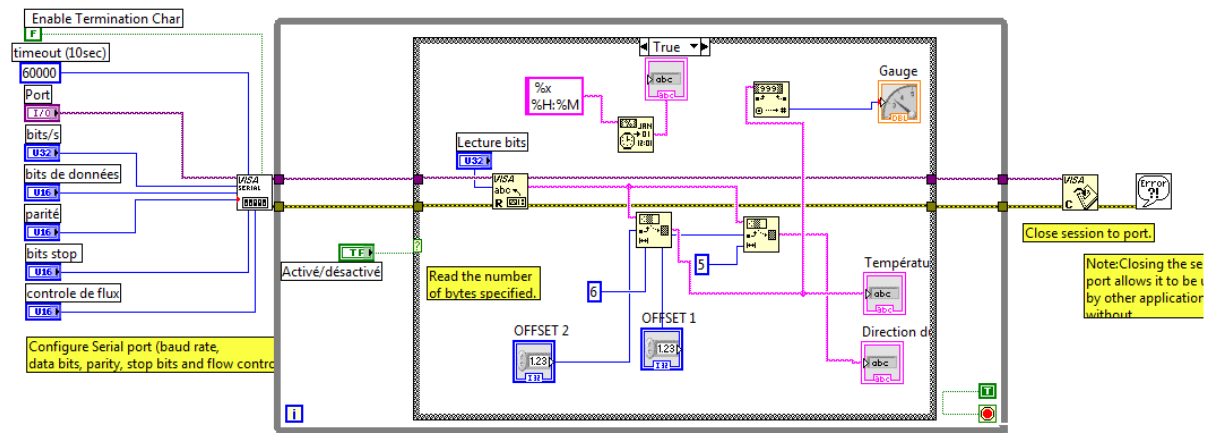


Fig.3.17. Diagramme de notre Interface LABVIEW.

A fin de manipuler l'interface réalisé, la description des boutons de commande sont représentés ci-dessus :



**Exécution du programme**



**Exécution continue**



**Arrêt de l'exécution**



**Pause / reprendre**



**Configuration du format du texte**



**Aligner les objets**



**Egalisation de l'espace entre les objets**



**Plant de l'objet**



**Redimensionner les objets de la face avant**

**Chapitre III : Réalisation du système d'acquisition en Temps réel**

La figure 3.18 représente la face avant de notre interface LABVIEW.

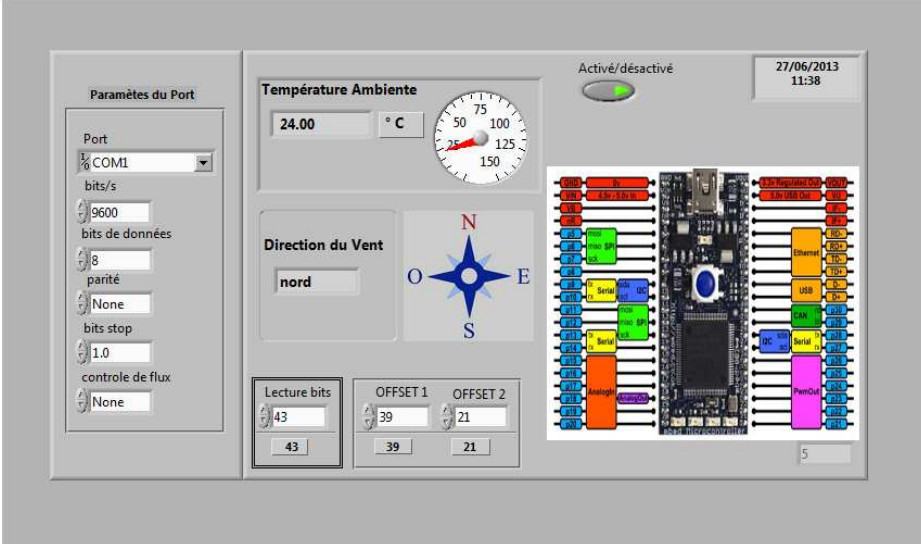


Fig.3.18 .Face avant de notre interface LABVIEW

# Conclusion

Le principal objectif de notre travail était la conception et la réalisation d'un système de mesure et d'acquisition des paramètres météorologiques. Ces paramètres sont transmis via un module Zig Bee par l'intermédiaire d'une carte MBED qui est dotée d'une très grande vitesse d'exécution.

L'originalité de ce travail est l'utilisation d'un seul capteur pour mesurer quatre paramètres météorologiques complètement différents.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine d'électronique et informatique d'une part et de faire le lien entre nos connaissances théoriques et pratiques d'autre part.

Toute fois, notre travail peut être l'objet d'amélioration en augmentant le nombre de paramètres à acquérir à savoir la pression atmosphérique, le rayonnement solaire, ... etc.

Nous espérons qu'on a été à la hauteur de la tâche qui nous a été confiée et que notre travail puisse servir de support pour les promotions à venir.

# Bibliographie

## Les livres:

- George ASCH: Les capteurs en instrumentation industrielle.
- Tran Tien LANG: Electronique des systèmes de mesure.

## Les thèses:

- << Conception et réalisation d'un système de mesure du débit d'air dans une serre agricole à base d'un microcontrôleur MC68HC11F1 >> promotion 2001.
- << Conception et réalisation d'un système automatisé d'acquisition et de régulation des paramètres climatiques dans une chambre culture in vitro à base du microcontrôleur 80C32. promotion: 1999.
- << Conception et réalisation d'un système d'acquisition de température, d'humidité, vitesse et direction du vent à base des thermistances. >>
- << Conception et réalisation d'un système de mesure des paramètres météorologiques par une instrumentation électrique, mise au point d'un capteur anémométrique >>  
Thèse de doctorat d'état en Electronique, présentée par Mr M. LAGHROUCHE.

## Les articles:

- A thermistor a Anemometer for low-flow-Rate Measurements [Hiroyukyujita Tadahiho Ohhashi, Masahiro Acacia, Mitsuhiro Yamada, and Kenzowatanaba] "IEEE, Volume 44, N°3 JUNE 1995.
- Emploi de l'anémomètre à fil chaud dans les mesures microclimatiques [J-P. Chiapale]
- Revues (Electronique pratique): N° 193, 194, 200

## Les Liens Internet:

- [www.abcélectronique.com](http://www.abcélectronique.com)
- [www.MBED.org](http://www.MBED.org)

ANNEXE

## NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision



### FEATURES

- Accuracy over a wide temperature range
- High stability over a long life
- Excellent price/performance ratio
- UL recognized, file E148885
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC


**RoHS**  
COMPLIANT

### APPLICATIONS

- Temperature measurement, sensing and control, temperature compensation in industrial and consumer electronics

### DESCRIPTION

These thermistors have a negative temperature coefficient. The device consists of a chip with two solid copper tin plated leads. It is grey lacquered and color coded, but not insulated.

### PACKAGING

The thermistors are packed in bulk or tape on reel; see code numbers and relevant packaging quantities.

### DESIGN-IN SUPPORT

For complete Curve Computation, visit:  
[www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

### MARKING

The thermistors are marked with colored bands; see dimensions drawing and “Electrical data and ordering information”.

### MOUNTING

By soldering in any position.  
Not intended for potted applications.

QUICK REFERENCE DATA		
PARAMETER	VALUE	UNIT
Resistance value at 25 °C	3.3 to 470K	Ω
Tolerance on $R_{25}$ -value	± 2; ± 3; ± 5	%
$B_{25/85}$ -value	2880 to 4570	K
Tolerance on $B_{25/85}$ -value	± 0.5 to ± 3	%
Operating temperature range: At zero power dissipation; continuously	- 40 to + 125	°C
At zero power dissipation; for short periods	≤ 150	
Response time (in oil)	≈ 1.2	s
Thermal time constant $\tau$ (for information only)	15	s
Dissipation factor $\delta$ (for information only)	7 8.5 (for $R_{25}$ -value ≤ 680 Ω)	mW/K
Maximum power dissipation at 55 °C	500	mW
Climatic category (LCT/UJT/days)	40/125/56	-
Weight	≈ 0.3	g

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION								
$R_{25}$ (Ω)	$B_{25/85}$ -VALUE		UL APPROVED (Y/N)	SAP MATERIAL NUMBER NTCLE100E3...B0/T1/T2 <sup>(2)</sup>	OLD 12NC CODE 2381 640 3/4/6.... <sup>(1)</sup>	COLOR CODE <sup>(3)</sup>		
	(K)	(± %)				I	II	III
3.3	2880	3	N	338*B0	*338	Orange	Orange	Gold
4.7	2880	3	N	478*B0	*478	Yellow	Violet	Gold
6.8	2880	3	N	688*B0	*688	Blue	Grey	Gold
10	2990	3	N	109*B0	*109	Brown	Black	Black
15	3041	3	N	159*B0	*159	Brown	Green	Black
22	3136	3	N	229*B0	*229	Red	Red	Black
33	3390	3	Y	339*B0	*339	Orange	Orange	Black
47	3390	3	Y	479*B0	*479	Yellow	Violet	Black
68	3390	3	Y	689*B0	*689	Blue	Grey	Black
100	3560	1.5	Y	101*B0	*101	Brown	Black	Brown
150	3560	1.5	Y	151*B0	*151	Brown	Green	Brown
220	3560	1.5	Y	221*B0	*221	Red	Red	Brown

# NTCLE100E3



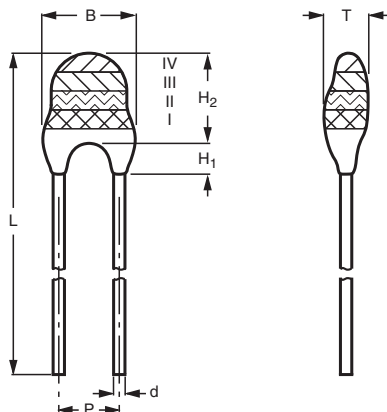
Vishay BCcomponents NTC Thermistors, Radial Leaded,  
Standard Precision

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION								
$R_{25}$ ( $\Omega$ )	$B_{25/85}$ -VALUE		UL APPROVED (Y/N)	SAP MATERIAL NUMBER NTCLE100E3....B0/T1/T2 <sup>(2)</sup>	OLD 12NC CODE 2381 640 3/4/6.... <sup>(1)</sup>	COLOR CODE <sup>(3)</sup>		
	(K)	( $\pm$ %)				I	II	III
330	3560	1.5	Y	331*B0	*331	Orange	Orange	Brown
470	3560	1.5	Y	471*B0	*471	Yellow	Violet	Brown
680	3560	1.5	Y	681*B0	*681	Blue	Grey	Brown
1000	3528	0.5	Y	102*B0	*102	Brown	Black	Red
1500	3528	0.5	Y	152*B0	*152	Brown	Green	Red
2000	3528	0.5	Y	202*B0	*202	Red	Black	Red
2200	3977	0.75	Y	222*B0	*222	Red	Red	Red
2700	3977	0.75	Y	272*B0	*272	Red	violet	Red
3300	3977	0.75	Y	332*B0	*332	Orange	Orange	Red
4700	3977	0.75	Y	472*B0	*472	Yellow	Violet	Red
5000	3977	0.75	Y	502*B0	*502	Green	Black	Red
6800	3977	0.75	Y	682*B0	*682	Blue	Grey	Red
10 000	3977	0.75	Y	103*B0	*103	Brown	Black	Orange
12 000	3740	2	Y	123*B0	*123	Brown	Red	Orange
15 000	3740	2	Y	153*B0	*153	Brown	Green	Orange
22 000	3740	2	Y	223*B0	*223	Red	Red	Orange
33 000	4090	1.5	Y	333*B0	*333	Orange	Orange	Orange
47 000	4090	1.5	Y	473*B0	*473	Yellow	Violet	Orange
50 000	4190	1.5	Y	503*B0	*503	Green	Black	Orange
68 000	4190	1.5	Y	683*B0	*683	Blue	Grey	Orange
100 000	4190	1.5	Y	104*B0	*104	Brown	Black	Yellow
150 000	4370	2.5	Y	154*B0	*154	Brown	Green	Yellow
220 000	4370	2.5	Y	224*B0	*224	Red	Red	Yellow
330 000	4570	1.5	N	334*B0	*334	Orange	Orange	Yellow
470 000	4570	1.5	N	474*B0	*474	Yellow	Violet	Yellow

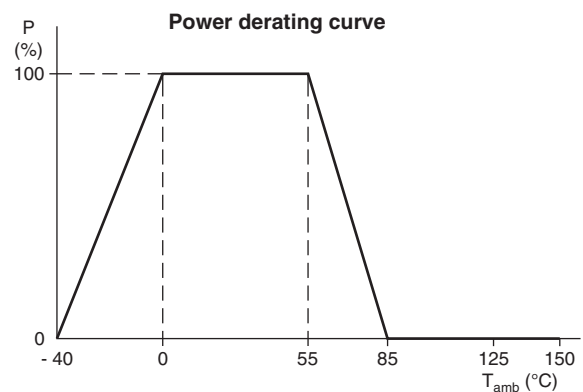
### Notes

- (1) Replace \* in 12NC by 3 for 5 %, 6 for 3 %, 4 for 2 %
- (2) Replace \* in SAP by J for 5 %, H for 3 %, G for 2 %
- (3) For  $R_{25} \pm 2$  % band IV is red,  $\pm 3$  % band IV is orange,  $\pm 5$  % band IV is gold

### DIMENSIONS in millimeters



### DERATING AND TEMPERATURE TOLERANCES



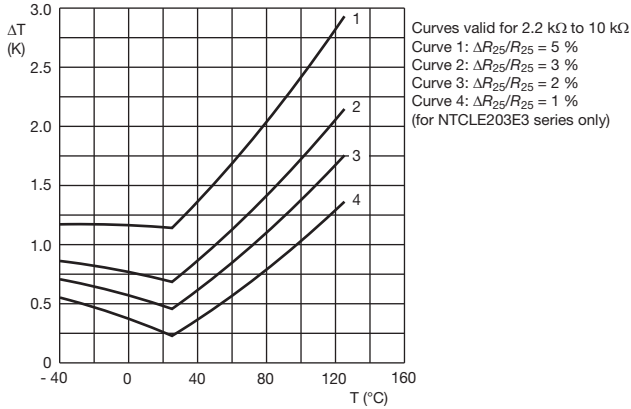
### Note

- Zero power is considered as measuring power max. 1 % of max. power.

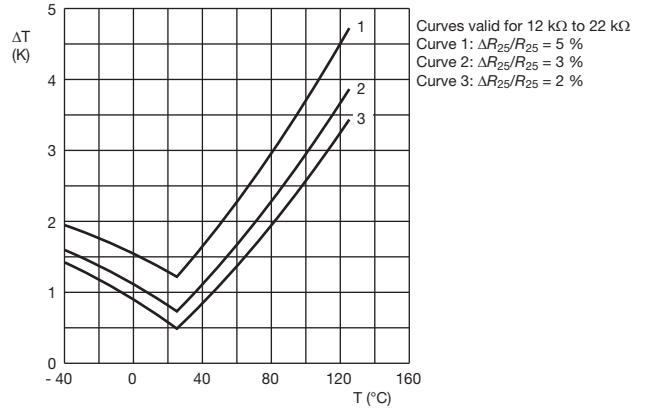
PHYSICAL DIMENSIONS FOR RELEVANT TYPE (all dimensions in millimeters)								
$R_{25}$ -VALUE	$B_{MAX.}$	d	$H_1$		$H_2$ MAX.	L	P	$T_{MAX.}$
			MIN.	MAX.				
3.3 $\Omega$ to 220 $\Omega$	5.0	0.6 $\pm$ 0.06	1.0	4.0	6.0	24 $\pm$ 1.5	2.54	4.0
330 $\Omega$ to 470 k $\Omega$	3.3 $\pm$ 0.5	0.6 $\pm$ 0.06	1.0	3.0	6.0	24 $\pm$ 1.5	2.54	3.0



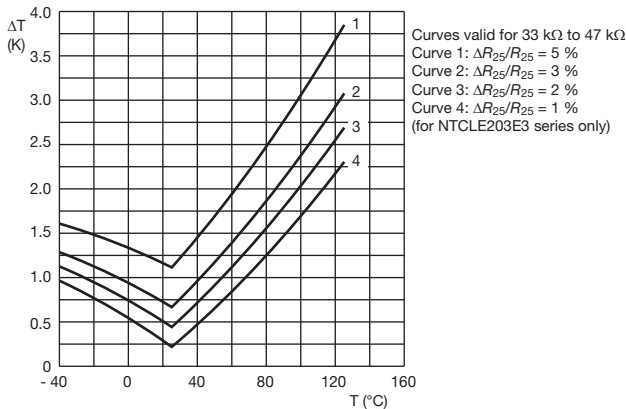
**TEMPERATURE DEVIATION AS A FUNCTION OF THE AMBIENT TEMPERATURE**



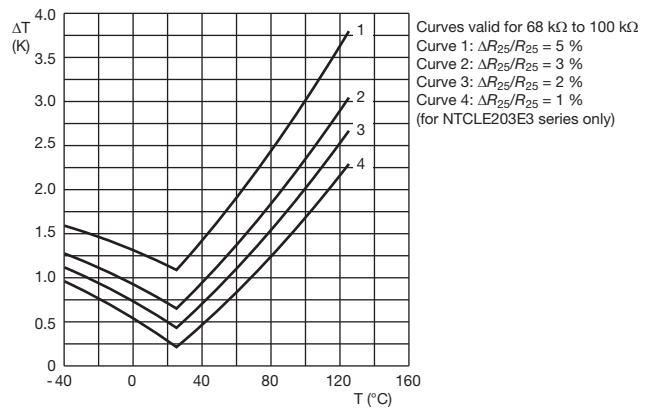
**TEMPERATURE DEVIATION AS A FUNCTION OF THE AMBIENT TEMPERATURE**



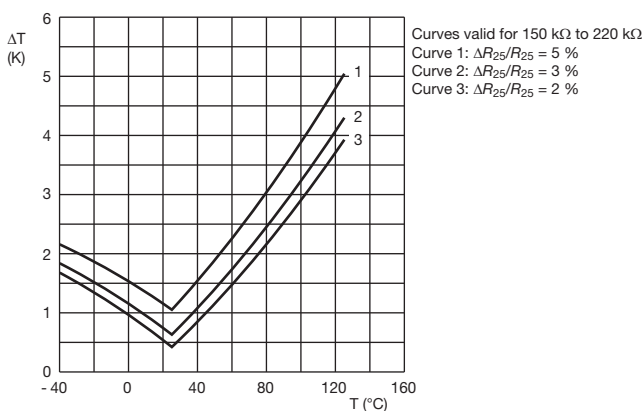
**TEMPERATURE DEVIATION AS A FUNCTION OF THE AMBIENT TEMPERATURE**



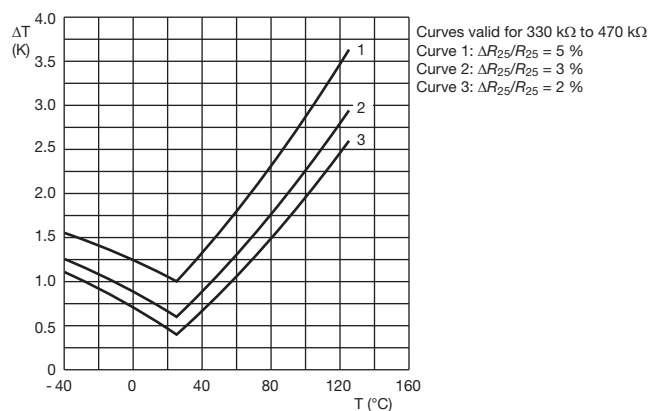
**TEMPERATURE DEVIATION AS A FUNCTION OF THE AMBIENT TEMPERATURE**



**TEMPERATURE DEVIATION AS A FUNCTION OF THE AMBIENT TEMPERATURE**



**TEMPERATURE DEVIATION AS A FUNCTION OF THE AMBIENT TEMPERATURE**



## R<sub>T</sub> VALUE AND TOLERANCE

These thermistors have a narrow tolerance on the B-value, the result of which provides a very small tolerance on the nominal resistance value over a wide temperature range. For this reason the usual graphs of  $R = f(T)$  are replaced by Resistance Values at Intermediate Temperatures Tables, together with a formula to calculate the characteristics with a high precision.

## FORMULAE TO DETERMINE NOMINAL RESISTANCE VALUES

The resistance values at intermediate temperatures, or the operating temperature values, can be calculated using the following interpolation laws (extended "Steinhart and Hart"):

$$R_{(T)} = R_{ref} \times e^{(A+B/T+C/T^2+D/T^3)} \quad (1)$$

$$T_{(R)} = \left( A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{ref}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right)^{-1} \quad (2)$$

where:

A, B, C, D, A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> and D<sub>1</sub> are constant values depending on the material concerned; see table below.

R<sub>ref.</sub> is the resistance value at a reference temperature (in this event 25 °C, R<sub>ref.</sub> = R<sub>25</sub>).

T is the temperature in K.

Formulae numbered and are interchangeable with an error of max. 0.005 °C in the range 25 °C to 125 °C and max. 0.015 °C in the range - 40 °C to + 25 °C.

## DETERMINATION OF THE RESISTANCE/TEMPERATURE DEVIATION FROM NOMINAL VALUE

The total resistance deviation is obtained by combining the "R<sub>25</sub>-tolerance" and the "resistance deviation due to B-tolerance".

When:

X = R<sub>25</sub>-tolerance

Y = resistance deviation due to B-tolerance

Z = complete resistance deviation,

$$\text{then: } Z = \left[ \left( 1 + \frac{X}{100} \right) \times \left( 1 + \frac{Y}{100} \right) - 1 \right] \times 100 \% \text{ or } Z \approx X + Y$$

When:

TCR = temperature coefficient

ΔT = temperature deviation,

$$\text{then: } \Delta T = \frac{Z}{TCR}$$

The temperature tolerances are plotted in the graphs on the previous page.

**Example:** at 0 °C, assume X = 5 %, Y = 0.89 % and TCR = 5.08 %/K (see table ), then:

$$Z = \left\{ \left[ 1 + \frac{5}{100} \right] \times \left[ 1 + \frac{0.89}{100} \right] - 1 \right\} \times 100 \%$$

$$= \{ 1.05 \times 1.0089 - 1 \} \times 100 \% = 5.9345 \% (\approx 5.93 \%)$$

$$\Delta T = \frac{Z}{TCR} = \frac{5.93}{5.08} = 1.167 \text{ } ^\circ\text{C} (\approx 1.17 \text{ } ^\circ\text{C})$$

A NTC with a R<sub>25</sub>-value of 10 kΩ has a value of 32.56 kΩ between - 1.17 °C and + 1.17 °C.

PARAMETER FOR DETERMINING NOMINAL RESISTANCE VALUES											
NUMBER	B <sub>25/85</sub> (K)	NAME	TOL. B (%)	A	B (K)	C (K <sup>2</sup> )	D (K <sup>3</sup> )	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> (K <sup>-1</sup> )	C <sub>1</sub> (K <sup>-2</sup> )	D <sub>1</sub> (K <sup>-3</sup> )
1	2880	Mat O. with B <sub>n</sub> = 2880K	3	- 9.094	2251.74	229098	- 2.744820E+07	3.354016E-03	3.495020E-04	2.095959E-06	4.260615E-07
2	2990	Mat P. with B <sub>n</sub> = 3990K	3	- 10.2296	2887.62	132336	- 2.502510E+07	3.354016E-03	3.415560E-04	4.955455E-06	4.364236E-07
3	3041	Mat Q. with B <sub>n</sub> = 3041K	3	- 11.1334	3658.73	- 102895	5.166520E+05	3.354016E-03	3.349290E-04	3.683843E-06	7.050455E-07
4	3136	Mat R. with B <sub>n</sub> = 3136K	3	- 12.4493	4702.74	- 402687	3.196830E+07	3.354016E-03	3.243880E-04	2.658012E-06	- 2.701560E-07
5	3390	Mat S. with B <sub>n</sub> = 3390K	3	- 12.6814	4391.97	- 232807	1.509643E+07	3.354016E-03	2.993410E-04	2.135133E-06	- 5.672000E-09
6	3528 <sup>(1)</sup>	Mat I. with B <sub>n</sub> = 3528K	0.5	- 12.0596	3687.667	- 7617.13	- 5.914730E+06	3.354016E-03	2.909670E-04	1.632136E-06	7.192200E-08
	3528 <sup>(2)</sup>			- 21.0704	11903.95	- 2504699	2.470338E+08	3.354016E-03	2.933908E-04	3.494314E-06	- 7.712690E-07
7	3560	Mat H. with B <sub>n</sub> = 3560K	1.5	- 13.0723	4190.574	- 47158.4	- 1.199256E+07	3.354016E-03	2.884193E-04	4.118032E-06	1.786790E-07
8	3740	Mat B. with B <sub>n</sub> = 3740K	2	- 13.8973	4557.725	- 98275	- 7.522357E+06	3.354016E-03	2.744032E-04	3.666944E-06	1.375492E-07
9	3977	Mat A. with B <sub>n</sub> = 3977K	0.75	- 14.6337	4791.842	- 115334	- 3.730535E+06	3.354016E-03	2.569850E-04	2.620131E-06	6.383091E-08
10	4090	Mat C. with B <sub>n</sub> = 4090K	1.5	- 15.5322	5229.973	- 160451	- 5.414091E+06	3.354016E-03	2.519107E-04	3.510939E-06	1.105179E-07
11	4190	Mat D. with B <sub>n</sub> = 4190K	1.5	- 16.0349	5459.339	- 191141	- 3.328322E+06	3.354016E-03	2.460382E-04	3.405377E-06	1.034240E-07
12	4370	Mat E. with B <sub>n</sub> = 4370K	2.5	- 16.8717	5759.15	- 194267	- 6.869149E+06	3.354016E-03	2.367720E-04	3.585140E-06	1.255349E-07
13	4570	Mat F. with B <sub>n</sub> = 4570K	1.5	- 17.6439	6022.726	- 203157	- 7.183526E+06	3.354016E-03	2.264097E-04	3.278184E-06	1.097628E-07

### Notes

<sup>(1)</sup> Temperature < 25 °C

<sup>(2)</sup> Temperature ≥ 25 °C

For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

<b>RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH <math>R_{25}</math> AT (3.3, 4.7, 6.8) <math>\Omega</math></b>					
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3338***	PART NUMBER NTCLE100E3478***	PART NUMBER NTCLE100E3688***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol}$ . (%)
	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )		
- 40	45.00	64.09	92.73	- 4.97	8.08
- 35	35.25	50.20	72.63	- 4.80	7.30
- 30	27.84	39.64	57.36	- 4.64	6.55
- 25	22.16	31.56	45.66	- 4.48	5.84
- 20	17.78	25.32	36.63	- 4.33	5.15
- 15	14.37	20.46	29.60	- 4.19	4.49
- 10	11.69	16.65	24.09	- 4.05	3.85
- 5	9.582	13.65	19.74	- 3.92	3.24
0	7.904	11.26	16.29	- 3.79	2.65
5	6.560	9.344	13.52	- 3.66	2.08
10	5.479	7.803	11.29	- 3.55	1.54
15	4.602	6.554	9.482	- 3.43	1.01
20	3.886	5.535	8.008	- 3.32	0.49
25	3.300	4.700	6.800	- 3.22	0.00
30	2.816	4.011	5.803	- 3.12	0.48
35	2.415	3.440	4.977	- 3.02	0.94
40	2.081	2.964	4.289	- 2.93	1.39
45	1.801	2.566	3.712	- 2.84	1.82
50	1.566	2.230	3.227	- 2.76	2.24
55	1.367	1.947	2.817	- 2.68	2.65
60	1.198	1.706	2.469	- 2.60	3.04
65	1.054	1.501	2.172	- 2.52	3.43
70	0.9308	1.326	1.918	- 2.45	3.80
75	0.8248	1.175	1.700	- 2.38	4.16
80	0.7334	1.044	1.511	- 2.32	4.51
85	0.6542	0.9318	1.348	- 2.25	4.85
90	0.5854	0.8338	1.206	- 2.19	5.19
95	0.5255	0.7484	1.083	- 2.13	5.51
100	0.4730	0.6737	0.9748	- 2.07	5.82
105	0.4270	0.6082	0.8799	- 2.02	6.13
110	0.3865	0.5505	0.7965	- 1.97	6.43
115	0.3508	0.4996	0.7228	- 1.92	6.72
120	0.3192	0.4545	0.6576	- 1.87	7.00
125	0.2911	0.4145	0.5998	- 1.82	7.28
130	0.2661	0.3789	0.5483	- 1.77	7.55
135	0.2438	0.3472	0.5023	- 1.73	7.81
140	0.2238	0.3188	0.4612	- 1.69	8.07
145	0.2059	0.2933	0.4244	- 1.65	8.32
150	0.1899	0.2704	0.3912	- 1.61	8.56

# NTCLE100E3



Vishay BCcomponents NTC Thermistors, Radial Leaded,  
Standard Precision

For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH $R_{25}$ AT (10, 15, 22) $\Omega$									
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3109***			PART NUMBER NTCLE100E3159***			PART NUMBER NTCLE100E3229***		
	$R_T$ ( $\Omega$ )	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)	$R_T$ ( $\Omega$ )	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)	$R_T$ ( $\Omega$ )	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)
-40	136.7	-4.86	8.39	224.8	-5.16	8.65	374.9	-5.54	8.80
-35	107.6	-4.72	7.58	174.5	-4.98	7.79	285.8	-5.31	7.95
-30	85.32	-4.58	6.81	136.6	-4.80	6.98	220.4	-5.10	7.14
-25	68.10	-4.44	6.06	107.9	-4.64	6.21	171.7	-4.90	6.36
-20	54.72	-4.31	5.35	85.94	-4.48	5.47	135.0	-4.71	5.61
-15	44.25	-4.18	4.66	68.96	-4.33	4.76	107.2	-4.53	4.89
-10	36.02	-4.06	4.00	55.74	-4.19	4.08	85.79	-4.37	4.20
-5	29.49	-3.94	3.37	45.37	-4.05	3.43	69.21	-4.22	3.53
0	24.30	-3.82	2.75	37.17	-3.92	2.81	56.26	-4.07	2.89
5	20.13	-3.71	2.16	30.65	-3.80	2.20	46.05	-3.94	2.27
10	16.77	-3.60	1.59	25.42	-3.68	1.62	37.94	-3.81	1.67
15	14.04	-3.50	1.04	21.21	-3.57	1.06	31.45	-3.69	1.10
20	11.82	-3.39	0.51	17.79	-3.46	0.52	26.23	-3.57	0.54
25	10.00	-3.30	0.00	15.00	-3.36	0.00	22.00	-3.47	0.00
30	8.500	-3.20	0.50	12.76	-3.26	0.49	18.55	-3.36	0.52
35	7.259	-3.11	0.98	10.86	-3.17	0.98	15.72	-3.26	1.02
40	6.226	-3.03	1.44	9.291	-3.08	1.46	13.38	-3.17	1.51
45	5.363	-2.94	1.89	7.982	-2.99	1.92	11.45	-3.08	1.98
50	4.639	-2.86	2.33	6.887	-2.91	2.36	9.833	-3.00	2.44
55	4.029	-2.78	2.75	5.966	-2.83	2.79	8.482	-2.92	2.88
60	3.512	-2.71	3.16	5.189	-2.75	3.21	7.346	-2.84	3.32
65	3.073	-2.64	3.56	4.529	-2.68	3.62	6.386	-2.76	3.73
70	2.698	-2.57	3.95	3.968	-2.61	4.02	5.572	-2.69	4.14
75	2.377	-2.50	4.32	3.488	-2.54	4.41	4.879	-2.62	4.53
80	2.101	-2.43	4.69	3.077	-2.48	4.78	4.286	-2.56	4.91
85	1.864	-2.37	5.04	2.722	-2.41	5.15	3.777	-2.50	5.29
90	1.658	-2.31	5.38	2.416	-2.35	5.51	3.339	-2.44	5.65
95	1.479	-2.25	5.72	2.151	-2.30	5.85	2.960	-2.38	6.00
100	1.323	-2.20	6.05	1.920	-2.24	6.19	2.632	-2.32	6.34
105	1.187	-2.14	6.36	1.719	-2.19	6.53	2.347	-2.27	6.68
110	1.068	-2.09	6.67	1.543	-2.13	6.85	2.098	-2.22	7.00
115	0.9635	-2.04	6.98	1.389	-2.08	7.17	1.880	-2.17	7.32
120	0.8712	-1.99	7.27	1.253	-2.03	7.48	1.689	-2.12	7.62
125	0.7897	-1.94	7.56	1.133	-1.99	7.78	1.521	-2.07	7.93
130	0.7174	-1.90	7.84	1.027	-1.94	8.08	1.373	-2.03	8.22
135	0.6533	-1.85	8.11	0.9326	-1.90	8.37	1.242	-1.98	8.50
140	0.5961	-1.81	8.37	0.8490	-1.86	8.65	1.126	-1.94	8.78
145	0.5451	-1.77	8.63	0.7744	-1.82	8.93	1.023	-1.90	9.06
150	0.4995	-1.73	8.89	0.7079	-1.78	9.20	0.9309	-1.86	9.32

For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

<b>RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH <math>R_{25}</math> AT (33, 47, 68) <math>\Omega</math></b>					
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3339***	PART NUMBER NTCLE100E3479***	PART NUMBER NTCLE100E3689***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)
	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )		
- 40	707.0	1007	1457	- 5.94	9.30
- 35	528.5	752.7	1089	- 5.70	8.44
- 30	399.5	569.0	823.3	- 5.49	7.60
- 25	305.3	434.8	629.1	- 5.28	6.79
- 20	235.6	335.6	485.5	- 5.09	6.01
- 15	183.5	261.4	378.2	- 4.90	5.25
- 10	144.3	205.5	297.3	- 4.73	4.51
- 5	114.3	162.8	235.6	- 4.57	3.80
0	91.34	130.1	188.2	- 4.42	3.11
5	73.51	104.7	151.5	- 4.27	2.45
10	59.59	84.87	122.8	- 4.13	1.80
15	48.63	69.26	100.2	- 4.00	1.18
20	39.94	56.88	82.29	- 3.88	0.58
25	33.00	47.00	68.00	- 3.76	0.00
30	27.43	39.06	56.51	- 3.64	0.56
35	22.92	32.64	47.23	- 3.54	1.11
40	19.26	27.42	39.68	- 3.43	1.63
45	16.26	23.16	33.50	- 3.34	2.14
50	13.79	19.65	28.42	- 3.24	2.63
55	11.76	16.74	24.23	- 3.15	3.11
60	10.06	14.33	20.74	- 3.07	3.57
65	8.652	12.32	17.83	- 2.98	4.02
70	7.468	10.64	15.39	- 2.90	4.45
75	6.471	9.216	13.33	- 2.83	4.87
80	5.628	8.015	11.60	- 2.76	5.27
85	4.912	6.996	10.12	- 2.69	5.66
90	4.302	6.127	8.865	- 2.62	6.04
95	3.780	5.384	7.790	- 2.55	6.41
100	3.332	4.746	6.867	- 2.49	6.77
105	2.946	4.196	6.071	- 2.43	7.11
110	2.613	3.721	5.384	- 2.37	7.45
115	2.324	3.310	4.788	- 2.32	7.77
120	2.072	2.951	4.270	- 2.26	8.09
125	1.853	2.639	3.818	- 2.21	8.39
130	1.661	2.365	3.422	- 2.16	8.69
135	1.492	2.125	3.075	- 2.11	8.97
140	1.344	1.914	2.770	- 2.07	9.25
145	1.213	1.728	2.500	- 2.02	9.52
150	1.098	1.564	2.262	- 1.98	9.79

# NTCLE100E3



Vishay BCcomponents NTC Thermistors, Radial Leaded,  
Standard Precision

For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH $R_{25}$ AT (100, 150, 220, 330, 470, 680) $\Omega$								
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3101***	PART NUMBER NTCLE100E3151***	PART NUMBER NTCLE100E3221***	PART NUMBER NTCLE100E3331***	PART NUMBER NTCLE100E3471***	PART NUMBER NTCLE100E3681***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)
	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )		
-40	2193	3289	4824	7236	10 305	14 910	-5.75	4.99
-35	1652	2478	3635	5452	7766	11 235	-5.57	4.51
-30	1256	1884	2763	4144	5902	8540	-5.40	4.05
-25	962.5	1444	2117	3176	4524	6545	-5.24	3.61
-20	743.6	1115	1636	2454	3495	5057	-5.08	3.19
-15	579.0	868.5	1274	1911	2721	3937	-4.93	2.78
-10	454.2	681.2	999.1	1499	2135	3088	-4.78	2.38
-5	358.8	538.2	789.4	1184	1686	2440	-4.64	2.01
0	285.4	428.2	628.0	942.0	1342	1941	-4.51	1.64
5	228.6	342.9	502.9	754.4	1074	1554	-4.38	1.29
10	184.2	276.4	405.3	608.0	866.0	1253	-4.25	0.95
15	149.4	224.1	328.7	493.1	702.2	1016	-4.13	0.62
20	121.9	182.8	268.2	402.2	572.9	828.8	-4.01	0.31
25	100.0	150.0	220.0	330.0	470.0	680.0	-3.90	0.00
30	82.49	123.7	181.5	272.2	387.7	561.0	-3.80	0.30
35	68.41	102.6	150.5	225.8	321.5	465.2	-3.69	0.58
40	57.02	85.54	125.5	188.2	268.0	387.8	-3.59	0.86
45	47.77	71.65	105.1	157.6	224.5	324.8	-3.50	1.13
50	40.20	60.30	88.44	132.7	188.9	273.3	-3.40	1.39
55	33.98	50.98	74.76	112.1	159.7	231.1	-3.31	1.64
60	28.86	43.28	63.48	95.23	135.6	196.2	-3.23	1.88
65	24.61	36.91	54.13	81.20	115.6	167.3	-3.15	2.12
70	21.07	31.60	46.35	69.52	99.01	143.3	-3.07	2.35
75	18.11	27.16	39.84	59.76	85.11	123.1	-2.99	2.57
80	15.62	23.43	34.37	51.56	73.43	106.2	-2.91	2.79
85	13.53	20.29	29.76	44.65	63.59	92.00	-2.84	3.00
90	11.76	17.63	25.86	38.80	55.26	79.95	-2.77	3.21
95	10.25	15.38	22.55	33.83	48.18	69.71	-2.71	3.41
100	8.968	13.45	19.73	29.59	42.15	60.98	-2.64	3.60
105	7.871	11.81	17.32	25.97	36.99	53.52	-2.58	3.79
110	6.928	10.39	15.24	22.86	32.56	47.11	-2.52	3.97
115	6.117	9.176	13.46	20.19	28.75	41.60	-2.46	4.15
120	5.416	8.125	11.92	17.87	25.46	36.83	-2.41	4.33
125	4.809	7.214	10.58	15.87	22.60	32.70	-2.35	4.50
130	4.282	6.422	9.419	14.13	20.12	29.11	-2.30	4.66
135	3.822	5.732	8.408	12.61	17.96	25.99	-2.25	4.83
140	3.420	5.130	7.523	11.29	16.07	23.25	-2.20	4.99
145	3.068	4.601	6.749	10.12	14.42	20.86	-2.15	5.14
150	2.758	4.137	6.068	9.102	12.96	18.76	-2.10	5.29



For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

<b>RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH <math>R_{25}</math> AT (1, 1.5, 2) k<math>\Omega</math></b>					
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3102***	PART NUMBER NTCLE100E3152***	PART NUMBER NTCLE100E3202***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)
	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )		
- 40	23 342	35 013	46 684	- 6.06	1.65
- 35	17 336	26 004	34 672	- 5.84	1.49
- 30	13 018	19 526	26 035	- 5.62	1.34
- 25	9877	14 816	19 754	- 5.42	1.19
- 20	7569	11 353	15 138	- 5.23	1.05
- 15	5855	8782	11 709	- 5.05	0.92
- 10	4569	6854	9138	- 4.87	0.79
- 5	3596	5395	7193	- 4.71	0.66
0	2854	4280	5707	- 4.55	0.54
5	2282	3422	4563	- 4.40	0.43
10	1838	2757	3675	- 4.26	0.31
15	1491	2236	2981	- 4.12	0.21
20	1217	1826	2434	- 3.99	0.10
25	1000	1500	2000	- 3.87	0.00
30	826.6	1240	1653	- 3.75	0.10
35	687.3	1031	1375	- 3.63	0.19
40	574.6	861.9	1149	- 3.53	0.28
45	482.7	724.0	965.4	- 3.42	0.37
50	407.4	611.0	814.7	- 3.32	0.46
55	345.2	517.8	690.5	- 3.23	0.54
60	293.7	440.6	587.4	- 3.14	0.62
65	250.8	376.2	501.6	- 3.05	0.70
70	214.9	322.4	429.8	- 2.97	0.78
75	184.7	277.1	369.5	- 2.89	0.86
80	159.3	238.9	318.6	- 2.81	0.93
85	137.7	206.6	275.5	- 2.73	1.01
90	119.4	179.1	238.8	- 2.66	1.08
95	103.8	155.7	207.6	- 2.59	1.15
100	90.45	135.7	180.9	- 2.53	1.22
105	79.00	118.5	158.0	- 2.46	1.29
110	69.15	103.7	138.3	- 2.40	1.35
115	60.66	90.99	121.3	- 2.34	1.42
120	53.32	79.98	106.6	- 2.29	1.48
125	46.96	70.44	93.92	- 2.23	1.55
130	41.43	62.15	82.87	- 2.18	1.61
135	36.63	54.94	73.25	- 2.13	1.67
140	32.43	48.65	64.87	- 2.08	1.73
145	28.77	43.16	57.54	- 2.03	1.79
150	25.56	38.34	51.12	- 1.98	1.85

# NTCLE100E3



Vishay BCcomponents NTC Thermistors, Radial Leded,  
Standard Precision

For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

<b>RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH <math>R_{25}</math> AT (2.2, 2.7, 3.3, 4.7, 5.0, 6.8, 10) k<math>\Omega</math></b>									
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3222***	PART NUMBER NTCLE100E3272***	PART NUMBER NTCLE100E3332***	PART NUMBER NTCLE100E3472***	PART NUMBER NTCLE100E3502***	PART NUMBER NTCLE100E3682***	PART NUMBER NTCLE100E3103***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $R_{tol.}$ (%)
	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_T$ ( $\Omega$ )		
-40	73 061	89 665	109 591	156 084	166 047	225 824	332 094	-6.62	2.79
-35	52 778	64 773	79 167	112 753	119 950	163 132	239 900	-6.39	2.52
-30	38 544	47 304	57 816	82 344	87 600	119 136	175 200	-6.18	2.26
-25	28 443	34 907	42 665	60 765	64 643	87 915	129 287	-5.98	2.02
-20	21 199	26 017	31 798	45 288	48 179	65 524	96 358	-5.78	1.78
-15	15 950	19 575	23 925	34 075	36 250	49 300	72 500	-5.60	1.55
-10	12 110	14 862	18 165	25 872	27 523	37 431	55 046	-5.42	1.33
-5	9275	11 382	13 912	19 814	21 078	28 667	42 157	-5.25	1.12
0	7162	8790	10 743	15 300	16 277	22 137	32 554	-5.09	0.92
5	5574	6841	8362	11 909	12 669	17 230	25 339	-4.93	0.72
10	4372	5365	6558	9340	9936	13 513	19 872	-4.79	0.53
15	3454	4239	5180	7378	7849	10 675	15 698	-4.64	0.35
20	2747	3372	4121	5869	6244	8492	12 488	-4.51	0.17
25	2200	2700	3300	4700	5000	6800	10 000	-4.38	0.00
30	1773	2176	2659	3788	4030	5480	8059	-4.25	0.17
35	1438	1764	2156	3071	3267	4444	6535	-4.13	0.32
40	1173	1439	1759	2505	2665	3624	5330	-4.02	0.48
45	961.8	1180	1443	2055	2186	2973	4372	-3.91	0.63
50	793.2	973.4	1190	1694	1803	2452	3605	-3.80	0.77
55	657.5	806.9	986.3	1405	1494	2032	2989	-3.70	0.91
60	547.8	672.3	821.7	1170	1245	1693	2490	-3.60	1.05
65	458.6	562.8	687.9	979.7	1042	1417	2084	-3.51	1.18
70	385.7	473.3	578.5	823.9	876.5	1192	1753	-3.42	1.31
75	325.8	399.8	488.7	696.0	740.5	1007	1481	-3.33	1.44
80	276.4	339.2	414.6	590.5	628.2	854.3	1256	-3.25	1.56
85	235.5	289.0	353.2	503.0	535.2	727.8	1070	-3.17	1.68
90	201.4	247.2	302.1	430.2	457.7	622.5	915.4	-3.09	1.79
95	172.9	212.2	259.4	369.4	393.0	534.5	786.0	-3.01	1.90
100	149.0	182.9	223.5	318.3	338.6	460.6	677.3	-2.94	2.01
105	128.9	158.2	193.3	275.3	292.9	398.3	585.7	-2.87	2.12
110	111.8	137.2	167.7	238.9	254.2	345.7	508.3	-2.80	2.22
115	97.37	119.5	146.1	208.0	221.3	301.0	442.6	-2.74	2.32
120	85.05	104.4	127.6	181.7	193.3	262.9	386.6	-2.67	2.42
125	74.52	91.46	111.8	159.2	169.4	230.3	338.7	-2.61	2.51
130	65.49	80.38	98.24	139.9	148.8	202.4	297.7	-2.55	2.61
135	57.72	70.84	86.59	123.3	131.2	178.4	262.4	-2.50	2.70
140	51.02	62.62	76.53	109.0	116.0	157.7	231.9	-2.44	2.78
145	45.22	55.49	67.83	96.60	102.8	139.8	205.5	-2.39	2.87
150	40.18	49.31	60.27	85.84	91.32	124.2	182.6	-2.34	2.96



For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

<b>RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH <math>R_{25}</math> AT (12, 15, 22) k<math>\Omega</math></b>					
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3123***	PART NUMBER NTCLE100E3153***	PART NUMBER NTCLE100E3223***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)
	$R_T$ (k $\Omega$ )	$R_T$ (k $\Omega$ )	$R_T$ (k $\Omega$ )		
- 40	309.4	386.7	567.2	- 6.07	7.00
- 35	229.5	286.9	420.8	- 5.88	6.32
- 30	171.8	214.8	315.0	- 5.70	5.68
- 25	129.8	162.3	238.0	- 5.52	5.06
- 20	98.93	123.7	181.4	- 5.35	4.46
- 15	76.02	95.02	139.4	- 5.19	3.89
- 10	58.88	73.60	107.9	- 5.03	3.34
- 5	45.95	57.44	84.25	- 4.88	2.81
0	36.13	45.16	66.24	- 4.74	2.30
5	28.61	35.76	52.45	- 4.60	1.80
10	22.80	28.51	41.81	- 4.47	1.33
15	18.30	22.87	33.55	- 4.34	0.87
20	14.77	18.47	27.08	- 4.22	0.43
25	12.00	15.00	22.00	- 4.10	0.00
30	9.804	12.25	17.97	- 3.99	0.41
35	8.054	10.07	14.77	- 3.88	0.81
40	6.652	8.315	12.20	- 3.77	1.20
45	5.522	6.903	10.12	- 3.67	1.58
50	4.607	5.759	8.447	- 3.58	1.94
55	3.862	4.828	7.081	- 3.48	2.29
60	3.252	4.066	5.963	- 3.39	2.64
65	2.751	3.439	5.044	- 3.30	2.97
70	2.337	2.921	4.284	- 3.22	3.29
75	1.993	2.492	3.654	- 3.14	3.60
80	1.707	2.134	3.129	- 3.06	3.91
85	1.467	1.834	2.690	- 2.99	4.20
90	1.266	1.582	2.321	- 2.92	4.49
95	1.096	1.370	2.010	- 2.85	4.77
100	0.9524	1.190	1.746	- 2.78	5.04
105	0.8302	1.038	1.522	- 2.71	5.31
110	0.7260	0.9075	1.331	- 2.65	5.56
115	0.6369	0.7961	1.168	- 2.59	5.82
120	0.5604	0.7005	1.027	- 2.53	6.06
125	0.4945	0.6181	0.9065	- 2.47	6.30
130	0.4375	0.5469	0.8022	- 2.42	6.53
135	0.3882	0.4853	0.7117	- 2.37	6.76
140	0.3454	0.4317	0.6332	- 2.31	6.98
145	0.3080	0.3850	0.5647	- 2.26	7.20
150	0.2754	0.3442	0.5049	- 2.22	7.41

# NTCLE100E3



Vishay BCcomponents NTC Thermistors, Radial Leaded,  
Standard Precision

For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH $R_{25}$ AT (33, 47, 50, 68, 100) k $\Omega$									
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3								
	333***	473***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)	503***	683***	104***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)
	$R_T$ (k $\Omega$ )	$R_T$ (k $\Omega$ )			$R_T$ (k $\Omega$ )	$R_T$ (k $\Omega$ )	$R_T$ (k $\Omega$ )		
-40	1116	1589	-6.54	5.74	1833	2493	3666	-6.69	5.88
-35	808.6	1152	-6.34	5.19	1319	1794	2638	-6.49	5.31
-30	591.7	842.8	-6.15	4.66	958.3	1303	1917	-6.29	4.77
-25	437.1	622.6	-5.96	4.15	703.1	956.2	1406	-6.10	4.25
-20	325.9	464.1	-5.79	3.66	520.6	708.0	1041	-5.92	3.75
-15	245.0	349.0	-5.62	3.19	388.9	528.9	777.8	-5.75	3.27
-10	185.8	264.6	-5.45	2.74	293.0	398.5	586.1	-5.58	2.80
-5	142.0	202.3	-5.30	2.30	222.6	302.8	445.3	-5.42	2.36
0	109.4	155.8	-5.14	1.88	170.5	231.8	340.9	-5.26	1.93
5	84.91	120.9	-5.00	1.48	131.5	178.9	263.1	-5.11	1.52
10	66.37	94.53	-4.86	1.09	102.2	139.0	204.4	-4.97	1.12
15	52.24	74.40	-4.72	0.71	80.01	108.8	160.0	-4.83	0.73
20	41.39	58.95	-4.59	0.35	63.04	85.74	126.1	-4.70	0.36
25	33.00	47.00	-4.47	0.00	50.00	68.00	100.0	-4.57	0.00
30	26.47	37.71	-4.35	0.34	39.90	54.27	79.81	-4.45	0.35
35	21.37	30.43	-4.23	0.67	32.04	43.57	64.08	-4.33	0.68
40	17.34	24.70	-4.12	0.99	25.87	35.19	51.75	-4.22	1.01
45	14.15	20.15	-4.01	1.29	21.01	28.57	42.02	-4.11	1.33
50	11.61	16.53	-3.91	1.59	17.15	23.33	34.31	-4.00	1.63
55	9.572	13.63	-3.81	1.88	14.08	19.15	28.16	-3.90	1.93
60	7.931	11.30	-3.71	2.16	11.61	15.79	23.22	-3.80	2.21
65	6.603	9.404	-3.62	2.43	9.623	13.09	19.25	-3.71	2.49
70	5.522	7.865	-3.53	2.70	8.012	10.90	16.02	-3.62	2.76
75	4.639	6.607	-3.44	2.95	6.701	9.114	13.40	-3.53	3.03
80	3.913	5.573	-3.36	3.20	5.629	7.655	11.26	-3.45	3.28
85	3.315	4.721	-3.28	3.45	4.748	6.457	9.496	-3.36	3.53
90	2.819	4.015	-3.20	3.68	4.021	5.469	8.042	-3.28	3.77
95	2.406	3.427	-3.13	3.91	3.419	4.649	6.837	-3.21	4.01
100	2.062	2.936	-3.05	4.13	2.918	3.968	5.835	-3.13	4.24
105	1.773	2.525	-2.98	4.35	2.499	3.399	4.998	-3.06	4.46
110	1.530	2.179	-2.92	4.56	2.148	2.921	4.296	-2.99	4.68
115	1.324	1.886	-2.85	4.77	1.853	2.519	3.705	-2.93	4.89
120	1.150	1.638	-2.79	4.97	1.603	2.180	3.206	-2.86	5.09
125	1.002	1.427	-2.73	5.17	1.392	1.892	2.783	-2.80	5.29
130	0.8757	1.247	-2.67	5.36	1.212	1.648	2.423	-2.74	5.49
135	0.7675	1.093	-2.61	5.54	1.058	1.439	2.116	-2.68	5.68
140	0.6746	0.9608	-2.55	5.73	0.9269	1.261	1.854	-2.62	5.87
145	0.5946	0.8468	-2.50	5.90	0.8141	1.107	1.628	-2.57	6.05
150	0.5254	0.7483	-2.45	6.08	0.7170	0.9752	1.434	-2.51	6.23



For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

<b>RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH <math>R_{25}</math> AT (150, 220, 330, 470) k<math>\Omega</math></b>								
$T_{OPER}$ (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3							
	154***	224***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)	334***	474***	TCR (%/K)	$\Delta R/R$ DUE TO $B_{tol.}$ (%)
	$R_T$ (k $\Omega$ )	$R_T$ (k $\Omega$ )			$R_T$ (k $\Omega$ )	$R_T$ (k $\Omega$ )		
- 40	6153	9024	- 6.83	10.22	16 044	22 850	- 7.14	6.41
- 35	4394	6444	- 6.64	9.24	11 282	16 068	- 6.94	5.80
- 30	3168	4646	- 6.45	8.29	8013	11 413	- 6.74	5.20
- 25	2305	3381	- 6.27	7.39	5747	8185	- 6.55	4.64
- 20	1693	2483	- 6.09	6.52	4161	5926	- 6.37	4.09
- 15	1254	1839	- 5.92	5.68	3040	4329	- 6.19	3.57
- 10	936.4	1373	- 5.75	4.88	2240	3190	- 6.02	3.06
- 5	705.0	1034	- 5.60	4.10	1665	2371	- 5.85	2.57
0	535.0	784.7	- 5.44	3.36	1248	1777	- 5.69	2.11
5	409.1	600.0	- 5.29	2.64	942.3	1342	- 5.54	1.65
10	315.1	462.1	- 5.15	1.94	717.1	1021	- 5.39	1.22
15	244.4	358.4	- 5.01	1.27	549.8	783.0	- 5.24	0.80
20	190.8	279.9	- 4.88	0.63	424.5	604.6	- 5.10	0.39
25	150.0	220.0	- 4.75	0.00	330.0	470.0	- 4.97	0.00
30	118.6	174.0	- 4.63	0.60	258.2	367.8	- 4.84	0.38
35	94.42	138.5	- 4.51	1.19	203.4	289.6	- 4.72	0.75
40	75.58	110.9	- 4.39	1.76	161.1	229.5	- 4.59	1.10
45	60.85	89.24	- 4.28	2.30	128.4	182.9	- 4.48	1.45
50	49.25	72.24	- 4.17	2.83	103.0	146.7	- 4.37	1.78
55	40.08	58.78	- 4.07	3.35	83.00	118.2	- 4.26	2.10
60	32.78	48.08	- 3.97	3.85	67.26	95.80	- 4.15	2.41
65	26.94	39.51	- 3.87	4.33	54.79	78.04	- 4.05	2.72
70	22.25	32.63	- 3.78	4.80	44.85	63.88	- 3.95	3.01
75	18.46	27.07	- 3.69	5.26	36.90	52.55	- 3.86	3.30
80	15.38	22.56	- 3.60	5.70	30.49	43.43	- 3.77	3.58
85	12.87	18.88	- 3.52	6.14	25.31	36.05	- 3.68	3.85
90	10.82	15.87	- 3.44	6.56	21.10	30.06	- 3.59	4.11
95	9.129	13.39	- 3.36	6.96	17.67	25.16	- 3.51	4.37
100	7.732	11.34	- 3.28	7.36	14.85	21.15	- 3.43	4.62
105	6.574	9.642	- 3.21	7.75	12.53	17.85	- 3.35	4.86
110	5.610	8.228	- 3.14	8.13	10.62	15.12	- 3.28	5.10
115	4.804	7.046	- 3.07	8.49	9.029	12.86	- 3.21	5.33
120	4.128	6.054	- 3.00	8.85	7.704	10.97	- 3.14	5.55
125	3.559	5.219	- 2.94	9.20	6.597	9.396	- 3.07	5.77
130	3.078	4.514	- 2.87	9.54	5.668	8.072	- 3.00	5.99
135	2.670	3.916	- 2.81	9.87	4.885	6.958	- 2.94	6.20
140	2.323	3.408	- 2.75	10.20	4.224	6.016	- 2.88	6.40
145	2.028	2.974	- 2.69	10.52	3.663	5.217	- 2.82	6.60
150	1.774	2.603	- 2.64	10.83	3.186	4.538	- 2.76	6.79

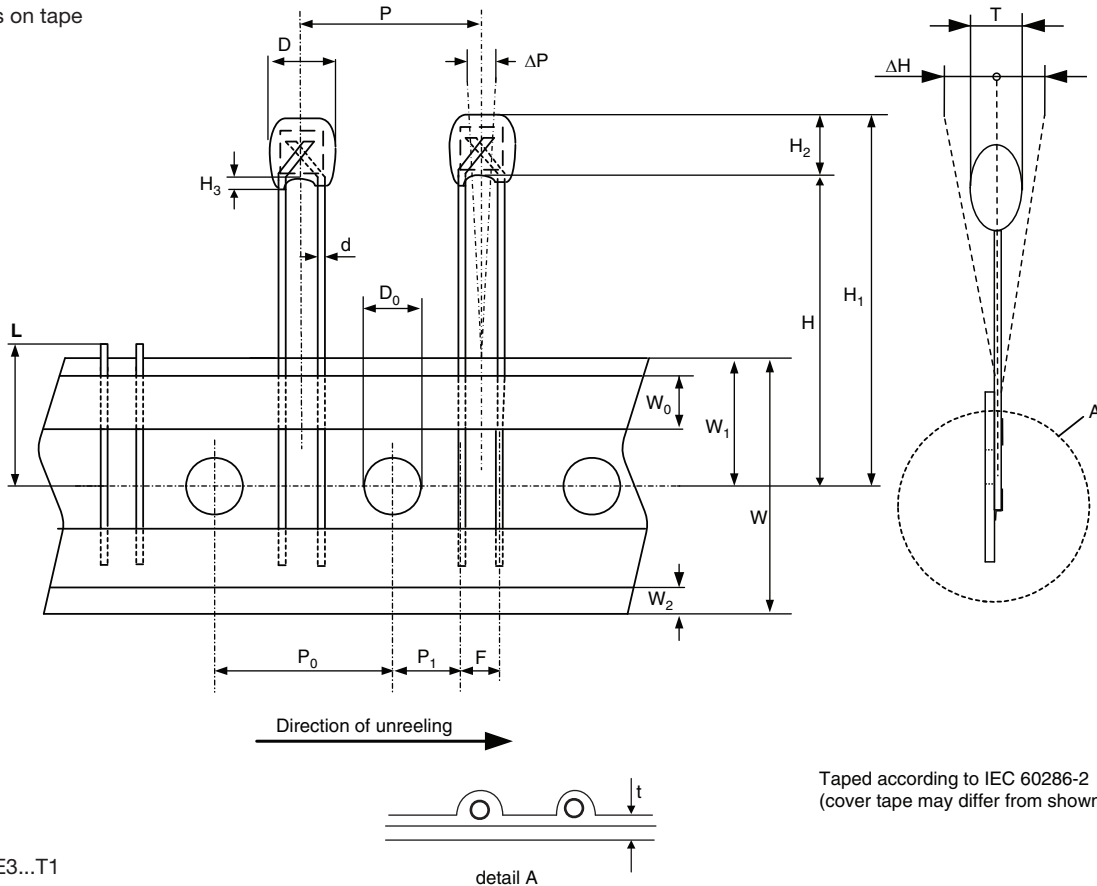
# NTCLE100E3



Vishay BCcomponents NTC Thermistors, Radial Leaded,  
Standard Precision

## PACKAGING TAPE SPECIFICATIONS

Thermistors on tape



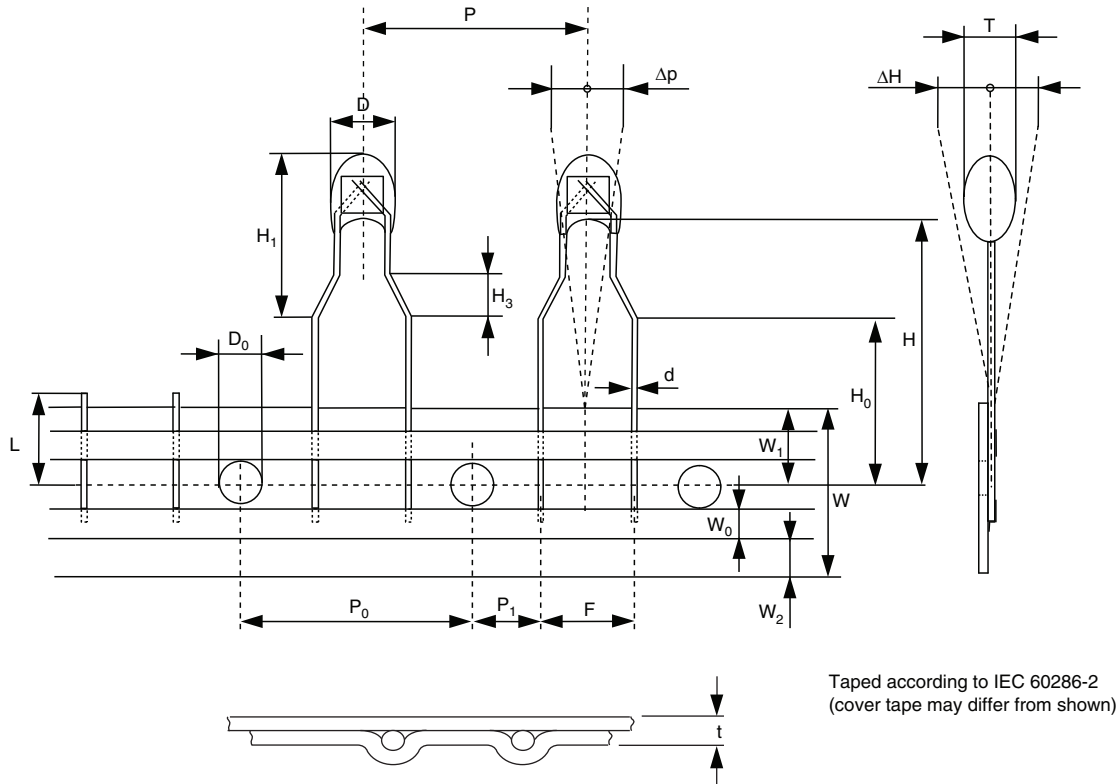
Taped according to IEC 60286-2  
(cover tape may differ from shown)

1E pitch  
NTCLE100E3...T1

DIMENSIONS in millimeters				
DETAILS	SYMBOL	DIMENSIONS NOMINAL	TOLERANCE	REMARKS
Body diameter	D	3.3	± 0.5	5 max. for 3.3 Ω to 220 Ω
Lead diameter	d	0.6	± 10	
Feed hole diameter	D <sub>0</sub>	4.0	± 0.2	
Lead to lead distance	F	2.54	± 0.3	Guaranteed between component and tape
Distance component to tape centre	H	22.0	± 1.0	1 to 4 max. for 3.3 Ω to 220 Ω
Component height	H <sub>1</sub>	32.2	max.	
Component alignment	Δh	0	± 2.0	
Distance top/bottom of components	H <sub>2</sub>	6	max.	
Length of lacquer under the comp. bottom	H <sub>3</sub>	2	± 1	
Length of snapped lead	L	11.0	max.	
Pitch between thermistors	P	12.7	± 1.0	Cumulative pitch error ± 1 mm/20 pitches guaranteed between component and tape
Feed hole pitch	P <sub>0</sub>	12.7	± 0.3	
Feed hole center to lead center	P <sub>1</sub>	5.08	± 0.7	
Component alignment	Δp	0	± 1.3	
Total thickness	T	3.0	max.	4 max. for 3.3 Ω to 220 Ω with cardboard tape 0.5 ± 0.1
Total tape thickness	t	0.9	max.	
Tape width	W	18.0	± 1.0 - 0.5	None of the hold down tapes may cover the holes
Hold down tape width	W <sub>0</sub>	5.0	± 0.3	
Hole position	W <sub>1</sub>	9.0	± 0.5	
Hold down tape position	W <sub>2</sub>	1.5	± 1.0	



Thermistors on tape



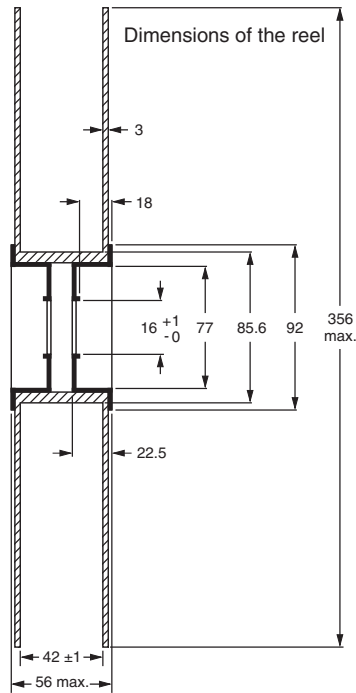
Taped according to IEC 60286-2  
(cover tape may differ from shown)

2E pitch

NTCLE100E3...T2

DIMENSIONS in millimeters				
DETAILS	SYMBOL	DIMENSIONS NOMINAL	TOLERANCE	REMARKS
Body diameter	D	3.3	± 0.5	5 max. for 3.3 Ω to 220 Ω
Lead diameter	d	0.6	± 10	
Feed hole diameter	D <sub>0</sub>	4.0	± 0.2	
Lead to lead distance	F	5.0	+ 0.6 - 0.1	Guaranteed between component and tape
Distance component to tape centre	H	20.0	± 2.0	12 max. for 100 Ω to 220 Ω
Component height	H <sub>0</sub>	16.0	± 0.5	
Component alignment	H <sub>1</sub>	10.0	max.	
Distance top/bottom of components	Δh	0.0	± 2.0	
Length of lacquer under the comp. bottom	H <sub>3</sub>			Not defined
Length of snapped lead	L	11.0	max.	
Pitch between thermistors	P	12.7	± 1.0	Cumulative pitch error ± 1 mm/20 pitches guaranteed between component and tape
Feed hole pitch	P <sub>0</sub>	12.7	± 0.3	
Feed hole center to lead center	P <sub>1</sub>	3.81	± 0.7	
Component alignment	Δp	0.0	± 1.3	
Total thickness	T	3.0	max.	4 max. for 3.3 Ω to 220 Ω with cardboard tape 0.5 ± 0.1
Total tape thickness	t	0.9	max.	
Tape width	W	18.0	± 1.0 - 0.5	None of the hold down tapes may cover the holes
Hold down tape width	W <sub>0</sub>	5.0	± 0.3	
Hole position	W <sub>1</sub>	9.0	± 0.5	
Hold down tape position	W <sub>2</sub>	1.5	± 1.0	

## REEL SPECIFICATIONS



CODE NUMBERS AND RELEVANT		
PARAMETER		Quantity
BULK	NTCLE100E3....B0	500
TAPE AND REEL 1E PITCH (1)	NTCLE100E3....T1	1500 per reel, 2 reels per box
TAPE AND REEL 2E PITCH (1)	NTCLE100E3....T2	1500 per reel, 2 reels per box

## CHARACTERISTICS OF TAPED PRODUCTS

Minimum pull-out force of the component: 5 N

Minimum peel-off force of adhesive tape: 6 N

Minimum tearing force tape: 15 N

Minimum pull-off force of tape-reel: 5 N

## STORAGE CONDITIONS

Storage temperature range: - 25 °C to + 40 °C

Maximum relative humidity: 80 %, non-condensing

## TESTS AND REQUIREMENTS

Essentially all tests are carried out in accordance with "IEC publication 60068-2; Environmental testing", except where indicated.

STABILITY TESTS				
CECC 32 100 CLAUSE	IEC 60068-2 TEST METHOD	TEST	PROCEDURE	REQUIREMENTS
D3; 4.20.1		Endurance	25 °C; 1000 h	$\Delta R/R < 1 \%$
	1	Endurance	- 40 °C; 1000 h	$\Delta R/R < 1 \%$
	539	Endurance	500 mW; 55 °C; 1000 h	$\Delta R/R < 3 \%$ (1)
	2	Dry heat, (steady state)	125 °C; 1000 h	$\Delta R/R < 3 \%$
D1; 4.19	3	Damp heat (steady state)	56 days at 40 °C; 90 % to 95 % RH	$\Delta R/R < 3 \%$
C2; 4.14	14	Rapid change of temperature	- 40 °C to + 125 °C; 50 cycles	$\Delta R/R < 2 \%$
Other applicable tests				
	21	Robustness of leads: Tensile strength Bending	Loading force 10 N Loading force 5 N	$\Delta R/R \leq 1 \%$
	58	Soldering: Solderability Resistance to heat	240 °C max.; duration 4 s max. 265 °C max.; duration 5 s max.	$\Delta R/R \leq 1 \%$ (2)
	27	Impact	Free fall; 1 m	$\Delta R/R \leq 1 \%$
	29	Shock	490 m/s; half sinewave	$\Delta R/R \leq 1 \%$
	45	Resistance to solvent (isopropanol)	Ambient temp for 5 minutes; 5 N with hydrophylic cotton wool	No traces of lacquer on cotton wool
	6	Vibration	1.5 mm peak to peak: 10 Hz to 58 Hz 10 gp: 50 Hz to 500 Hz 1 octave/min. 2 h in each direction in three orthogonal directions	No visible damage $\Delta R/R < 1 \%$
	60695-2-2	Inflammability	1980, needle flame test	Non-flammable

### Notes

(1) For  $R_{25} \geq 100 \text{ k}\Omega$  the drift requirement is  $\Delta R/R < 5 \%$

(2) For  $R_{25}$  from 2.2 k $\Omega$  to 10 k $\Omega$ , requirement is  $\pm 2 \%$  max.



## Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify and hold Vishay and its distributors harmless from and against any and all claims, liabilities, expenses and damages arising or resulting in connection with such use or sale, including attorneys fees, even if such claim alleges that Vishay or its distributor was negligent regarding the design or manufacture of the part. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

## Material Category Policy

**Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.**

**Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.**