

Chapitre I

La mesure :

Description général

Introduction

Commander ou contrôler un system nécessite toujours de connaitre d'une manière précieuse les valeurs des variables physique ou mécanique qu'on les a modifié. Pour cela il faut faire des mesures. Ces mesures sont généralement, la connaissance d'une valeur physique sous d'autre forme d'énergie soit mécanique soit électrique.

I.1 Définition de la mesure

En Automatisation on entend par la mesure l'expression d'une grandeur physique quelconque, exprimé généralement par un nombre (entier ou réel) suivi d'un symbole : le nombre donne la valeur de la grandeur mesurée, le symbole exprime sa nature

Exemples : 10kg/cm², 20°C,...

I.2 Principe de mesure dan un appareil[1,5]

Pour effectuer une mesure les méthodes suivantes sont à utiliser :

I.2.1 Méthode directe

On parle de méthode directe lorsque la quantité à mesurer (variable) est évaluée par comparaison avec une grandeur connue de même valeur

I.2.2 Méthode indirecte

Une mesure est dite à méthode indirecte, lorsque la variable est évaluée par comparaison avec une grandeur connue de nature différente, et que par l'intermédiaire d'une loi connue on revient à la valeur de la variable.

Exemple : mesure de la distance « E » entre deux villes « A » et « B ». Pour cela on mesure le temps « t » mis pour parcourir « E » avec une vitesse « V » constante, et par la loi $E=V*t$ on revient a « E »

I.2.3 Méthode d'opposition

Dans ce cas on oppose à la variable une grandeur connue telle que leur différence soit nulle. Alors pour effectuer la mesure il faut que l'on utilise des capteurs.

I.3 Les capteurs

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, le plus souvent électrique, qui peut être interprétée par la suite par un dispositif de contrôle commande.

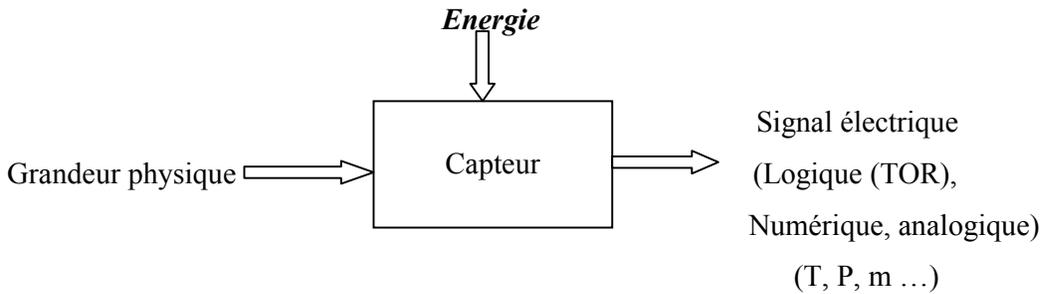


Figure I.1 : Le capteur dans la chaîne de mesure

I.3.1 Schéma de principe d'un capteur industriel

Le principe de base du capteur dans une chaîne d'instrumentation est schématisé ci-dessous :

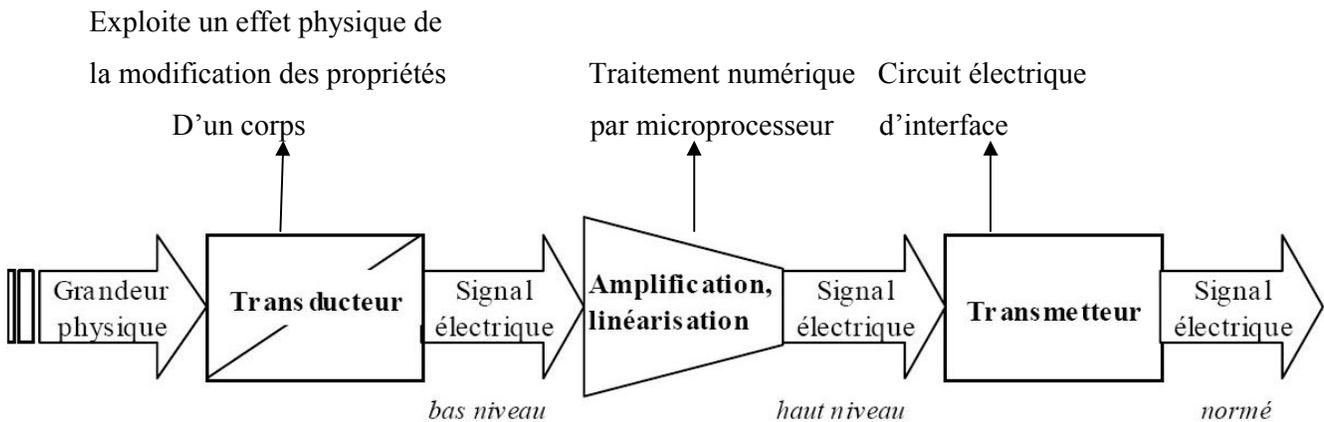


Figure I.2 : Schéma de principe d'un capteur industriel

I.3.2 Les caractéristiques d'un capteur

- ✚ **Etendue de mesure** : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.
- ✚ **Résolution** : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- ✚ **Sensibilité** : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- ✚ **Précision** : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.
- ✚ **Rapidité** : Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
- ✚ **Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure

Etendue de mesure et courbe d'étalonnage

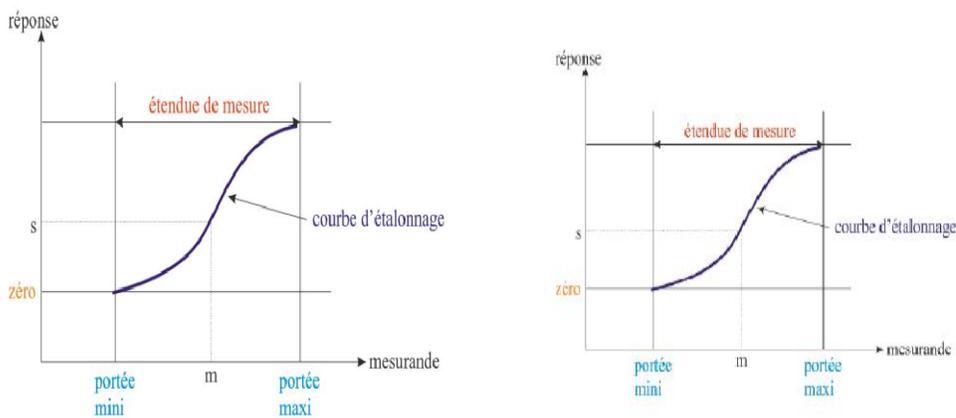


Figure I.3 : Sensibilité « S » du capteur

La sensibilité S , pour une valeur donnée de la mesurande, détermine l'évolution de la grandeur de sortie du capteur en fonction de la grandeur d'entrée.

$$\Delta s = S \times \Delta m$$

Δs : Variation de sortie du capteur

S : Sensibilité « S » du capteur

Δm : Variation de valeur mesurande du capteur

Conception d'un capteur S doit dépendre le moins possible de :

- La valeur de m (linéarité)
- la fréquence de variation (bande passante)
- du temps (vieillessement)
- d'actions extérieures (grandeurs d'influence)

I.3.2.A Domaines d'utilisation

La figure ci-après illustre clairement les domaines d'utilisation du capteur.

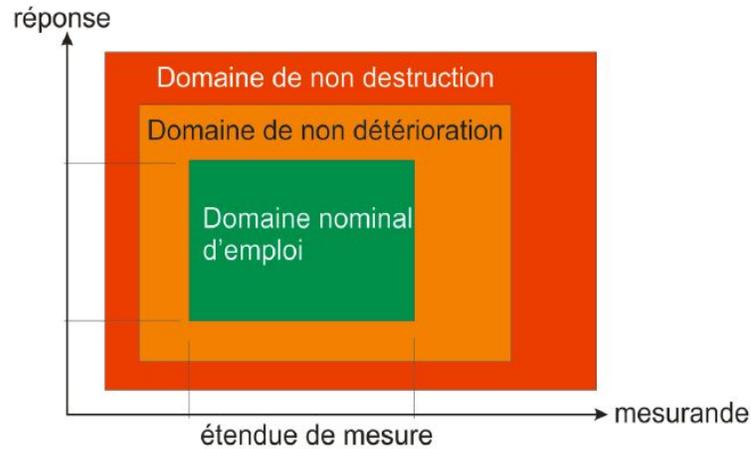


Figure I.4 : les domaines d'utilisation du capteur.

I.3.2.B Types d'erreur d'un capteur

Il ya plusieurs type d'erreur dans les capteurs se représenter suer les différent figure suivant

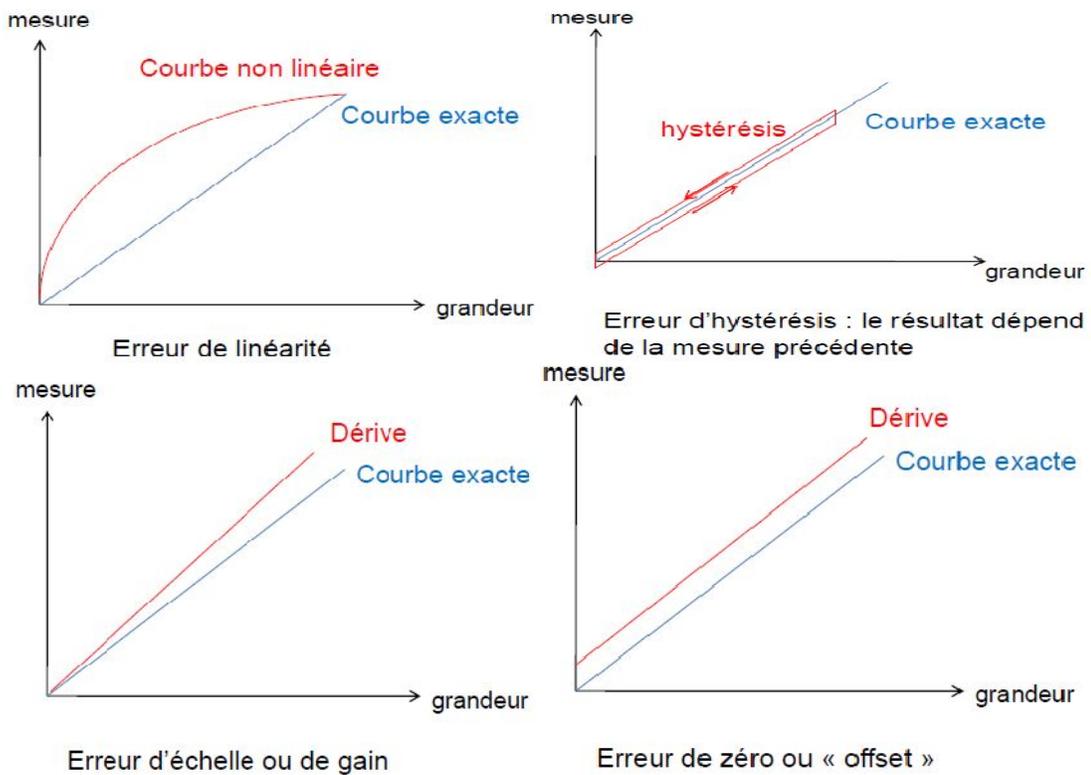


Figure I.5 : Types d'erreur d'un capteur

I.3.3 Grandeurs d'influence

C'est une grandeur physique autre que la mesurande dont la variation peut modifier la réponse du capteur. Elles sont :

- **Température** : elle résulte des modifications des caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles.
- **Pression, vibrations** : elle produit des déformations et des contraintes pouvant altérer la réponse.
- **Humidité** : engendre des modifications des propriétés électriques (tel que la constante diélectrique ou la résistivité d'un fil). Dégradation de l'isolation électrique
- **Champs magnétiques** : création de fém. d'induction pour les champs variables ou les modifications électriques (résistivité) pour les champs statiques.
- **Tension d'alimentation** : lorsque la grandeur de sortie du capteur dépend de celle-ci directement (amplitude ou fréquence) elle nécessite alors de :
 - ✓ Réduire les grandeurs d'influence (tables anti-vibration, blindages magnétiques...)
 - ✓ Stabiliser les grandeurs d'influence à des valeurs parfaitement connues.
 - ✓ Compenser l'influence des grandeurs parasites par des montages adaptés (pont de Wheatstone)

I.3.4 Type des capteurs

I.3.4 .A Les capteurs actifs

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à mesurer (énergie thermique, mécanique ou de rayonnement). Le capteur est construit autour de la base de nombreux effet physique :

- ✓ **Effet thermoélectrique (ou effet Seebeck)** : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures T_1 et T_2 , est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique $e(T_1, T_2)$.

Chapitre I : La mesure : Description générale

- ✓ **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.
- ✓ **Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).

I.3.4 .B Les capteurs passifs

Il s'agit généralement d'impédances (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- D'une variation de dimension du capteur (capteurs de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile)
- D'une déformation résultant d'une force ou d'une grandeur s'y ramenant (pression accélération).

Exemples : armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable. Le tableau ci-dessous regroupe quelques types de capteurs passifs :

Tab. I.1 : caractéristique des capteurs passifs

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique sensible	Types de matériaux utilisés
Température	Résistivité électrique	Platine, Nickel, cuivre ...
Rayonnement optique	Résistivité électrique	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité électrique Perméabilité magnétique	Alliage de Ni, Si dopé Alliage ferromagnétique
Position	Résistivité électrique	Matériaux magnétorésistants (Bismuth, antimoine d'indium)
Humidité	Résistivité électrique	Chlorure de lithium

I.4 Quelque type de mesure

I.4 .1 Mesure d'humidité [2]

La mesure d'humidité a donc une grande importance industrielle. Les exigences dans ce domaine deviennent de plus en plus sévères. Ce qui explique le grand nombre de travaux qui ont été effectués ces dernières années, aussi bien pour la mise au point d'instruments de mesure de bonne qualité que pour le développement de moyens d'étalonnages performants.

I.4 .1.A Définition et principe de mesure d'humidité [3,4]

L'expression suivante donne le principe de la mesure de la teneur en humidité d'un produit et l'humidité relative de l'air. Mais la mesure de la teneur en humidité n'en exige pas moins un équipement pour un pesage de précision. Plus la précision est recherchée, plus la méthode et l'équipement seront compliqués et plus les prix seront élevés.

$$Th = \frac{PEPh \times 100}{PPh}$$

Th :Tenu en humidité

PEPh :poids s'eau dans le produit humide

PPh : Poids de produit humide

Ph= poids du produit humide

Ps= poids du produit séché (au four)

I.4 .2 Mesure de pression

La pression est une grandeur dérivée du système international. Elle est définie comme le quotient d'une force par une surface. La pression s'exerce perpendiculairement à la surface considérée.

$$P=F/S$$

Domaines d'utilisation :

- circuits hydrauliques
- c rcuits pneumatiques
- contrôle de mise sous pression de récipients
- contrôle de distribution de gaz ou de fluides

I.4 .3 La mesure de température

Sans doute, la température est l'une des grandeurs les plus importantes dans le milieu industriel, qui doit être contrôlée et commandée précisément en permanence. La température au même titre que la pression, le Volume, la longueur ...etc. Un paramètre repérable définissant l'état d'un système physique, qui doit être contrôlée en permanence, et dont la mesure est certainement la plus fréquente. La mesure précise de la température n'est pas facile et n'est pas effectuée directement. Donc nous mesurerons la température grâce à son influence sur une autre grandeur physique tout en connaissant la loi de cette variation.

I.4 .3.A Capteur de température

Les capteurs de températures sont des composants dont la caractéristique de sortie varie proportionnellement à la température. Cette caractéristique de sortie peut être une variation de résistance, de courant ou de tension. Lors de la mesure de température avec tout type de capteur, il faut se rappeler que le capteur introduit toujours un corps étranger dans le domaine de mesure de température.

Il existe plusieurs types de capteurs de température, on distingue parmi eux les thermocouples basés sur.

- les propriétés physiques de la matière
 - Pression
 - Résistivité électrique
 - Changement de phase
- Mesure importante en recherche et industriel
- Liée à l'énergie cinétique moyenne des particules (agitation thermique)

Méthodes de mesure :

- Méthodes optiques (rayonnement spectral)
- Méthodes mécaniques (dilatation d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz)
- Méthodes électriques (résistivité, fem à la jonction de matériaux de natures différentes, fréquence de résonance d'un quartz)

La température se mesure par :

- ✚ Kelvin : défini à partir du point triple de l'eau, qui vaut 273,16 K
« Le kelvin est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau »
Exemple : 0 K est le zéro absolu (aucune agitation thermique)
- ✚ Celsius : $T^{\circ}\text{C} = T\text{K} - 273,15$, le zéro absolu vaut donc $-273,15^{\circ}\text{C}$
- ✚ Fahrenheit : L'échelle fahrenheit attribue une plage de 180 °F entre la température de solidification de l'eau et sa température d'ébullition (solidification de l'eau à 32°F et point d'ébullition à 212°F). Ainsi : $T^{\circ}\text{F} = 9/5 T^{\circ}\text{C} + 32$ ou $T^{\circ}\text{C} = 5/9(T^{\circ}\text{F} - 32)$

I.4 .3.B Les thermocouples

Principe du thermocouple : Si $T_2 \neq T_1 \rightarrow$ apparition d'une tension U V
 T_2 : température à mesurer
 T_1 : température extérieure (ambiante) (voir schéma ci-dessous)

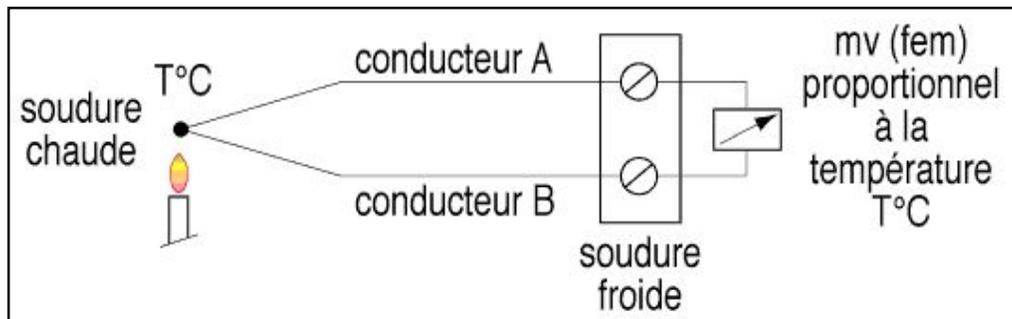


Figure I.6 : Constitution d'un circuit thermoélectrique ou thermocouple.

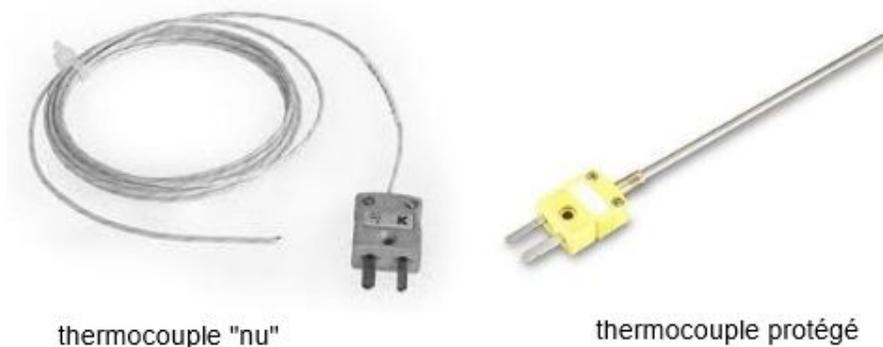


Figure I.7 : Thermocouples réels.

Chapitre I : La mesure : Description générale

Le tableau ci-dessous regroupe quelques types de thermocouple suivant l'étendu de mesure et le type de matériau utilisé.

Tab. I.2 : quelques types de thermocouple

Type	Métaux utilisés (+) / (-) Couleurs fils	Plages de temp (°C)	Adaptés à : Inadaptés à
E	Chromel (Ni-Cr) / constantan (Ni-Cu) Violet / blanc	-270 à 1 100	Milieux oxydants et inertes Vide, milieux réducteurs
J	Fer / Constantan Noir / Blanc	0 à 750	Milieux réducteurs, inertes, vide Basse température
K	Chromel / Alumel (Ni- Al) Vert / Blanc	-250 à 1 250	Milieux oxydants et inertes Vide, milieux réducteurs
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si) / Nisil (Ni-Si) Mauve / blanc	-270 à 1 300	Milieux oxydants à haute température et dans le vide
T	Cu / Cu-Ni Marron / blanc	- 250 à 400	Bonne précision à basse température Limité en hautes températures

I.4 .3.C Les thermistances

La thermistance est un élément semi-conducteur thermosensible dont la résistance électrique varie considérablement quand la température varie. Les thermistances sont utilisées depuis relativement longtemps, et le restent encore beaucoup aujourd'hui. La plupart des thermistances utilisées sont des céramiques, et on peut les classer suivant leur caractéristique de base : si au fur et à mesure que la température s'élève, la résistance électrique diminue de façon exponentielle, on a une thermistance à fonction négative de la température, c'est une thermistance CTN (coefficient de la température négatif). par contre, si la résistance augmente de façon notable, c'est une thermistance CTP. La troisième sorte possède la même caractéristique que la thermistance CTN, mais sa résistance électrique baisse brusquement à partir d'un certain seuil de température : c'est la thermistance RTC (résistance à température critique). Très souvent, quand on parle simplement de thermistance, on désigne par là la thermistance CTN. La figure suivante montre les caractéristiques résistance/température de plusieurs thermistances.

I.4 .3.C.1 Thermistances CTN

Les thermistances CTN ont comme composants principaux le NiO, MnO, Fe₂O₃, et ont une constitution cristalline proche de la constitution signal. En général, les valeurs de ces résistances sont peu influencées par l'oxygène, et donc sont stables à l'air libre ; elles sont également peu perturbées par des impuretés. La résistance d'une thermistance peut s'écrire sous la forme approchée suivante :

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

Où R_0 est la résistance à la température absolue T_0 et B est une constante caractéristique de la thermistance considérée. A l'heure actuelle B se situe entre 2000K et 5000K .Les thermistances à haute température sont composées de ZrO₂, Y₂O₃ ou ThO₂. Elles permettent des détections de températures jusqu'à 1000°C, elles se prêtent très bien à la mesure de la température dans les voitures.

I.4 .3.C.2 Thermistances CTP

Les thermistances CTP sont basées autour du groupe cristallin BaTi₃, dont on contrôle la valeur atomique en ajoutant des éléments de terres rares comme le Y₂O₃, et qui devient ainsi un semi-conducteur. Comme on le voit sur la figure représentant les caractéristiques thermiques de la thermistance CTP, si on substitue du Strontium ou du Plomb au Baryum, la valeur de résistance croît brusquement avec une augmentation de la température. On peut donc amplifier la caractéristique thermique de la thermistance CTP en variant les types et la qualité des ajouts, la pureté du matériau, et les conditions de cristallisation. La température pour laquelle les valeurs de résistance varient brusquement est proche du point de Curie du cristal BaTiO₃. Par conséquent, on suppose que le phénomène est étroitement lié à la phase de transition du cristal (réseau carré réseau cubique). Les thermistances CTP étant les seules à posséder une telle caractéristique, on les utilise dans les appareils électriques domestiques. On les emploie également dans les téléviseurs couleurs.

I.4 .3.C.3 Thermistances RTC

La transition semi-conductrice métal des composants chimiques du groupe V-O survient à une certaine température, à laquelle les valeurs de résistances changent brusquement. Le VO₂, en particulier, a une résistance qui varie dans un rapport de plus de 100, autour de 70°C. On peut donc utiliser ce phénomène pour fabriquer une catégorie particulière de thermistance dont la résistance bascule rapidement d'une valeur à l'autre lorsque la température atteint cette valeur de seuil. C'est un

