

CHAPITRE 5 : LES THERMOMETRES ELECTRIQUES

5.1 INTRODUCTION

Les thermomètres électriques présentent l'avantage d'une grande souplesse d'emploi et d'exploitation (le signal électrique délivré est transmissible et enregistrable), tout en étant suffisamment précis, aussi bien pour des utilisations industrielles qu'en laboratoire.

Leur fonctionnement est basé sur la variation de la résistance d'un métal ou d'un semi-conducteur en fonction de la température. Les lois de variation étant très régulières, il est possible de les utiliser pour déterminer les températures par des mesures de résistance. Cependant, ces lois étant très différentes selon qu'il s'agisse d'un métal ou d'un semi-conducteur, deux types de capteurs ont été distingués selon les appellations respectives de thermomètre à résistance (*Resistance Temperature Detector RTD*) d'une part, et de thermistance (*Thermistor*) d'autre part.

5.2 LES THERMOMETRES A RESISTANCE

5.2.1 Principe

La résistance électrique d'un conducteur métallique augmente avec la température. Cette variation étant parfaitement réversible, on peut établir une relation $R=f(T)$ entre la résistance R et la température $T(^{\circ}\text{C})$ sous la forme :

$$R = R_0 (1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

avec :

- R_0 la résistance à 0°C
- a , b et c des coefficients de température positifs, spécifiques au métal considéré.

Les coefficients a , b et c de la loi de variation de R ayant été préalablement déterminés par un ensemble de mesures à températures connues, la mesure de R permet de déduire la température.

Pour de petites variations ΔT autour de la température T , la loi de variation de la température peut être linéarisée :

En écrivant $\frac{dR}{dT} = \frac{R(T + \Delta T) - R(T)}{\Delta T}$, on obtient $R(T + \Delta T) = R(T) \cdot (1 + \alpha_R \Delta T)$

avec $\alpha_R = \frac{1}{R(T)} \frac{dR}{dT}$ la **sensibilité thermique du capteur** à la température T .

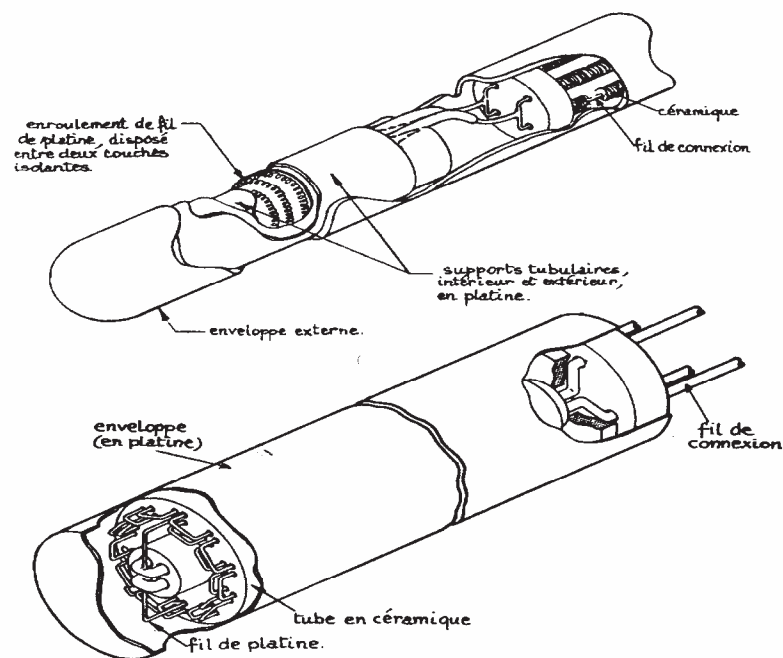
5.2.2 Critères de choix du métal

Selon le domaine d'application et les qualités particulières recherchées, les résistances sont réalisées en platine, en nickel, et plus rarement en cuivre ou en tungstène :

- Le platine peut être obtenu avec une très grande pureté (99.999%), ce qui lui confère des propriétés mécaniques et électriques très stables.
- Le nickel possède une sensibilité thermique élevée mais ses propriétés électriques et mécaniques beaucoup moins stables limitent son utilisation à des températures inférieures à 250°C.
- L'avantage du cuivre est la linéarité de la loi de variation de la résistance, mais il ne peut pas être employé au delà de 180°C pour des raisons de stabilité.
- La sensibilité thermique du tungstène est supérieure à celle du platine au dessus de 100K et il est utilisable à des températures plus élevées que le platine avec une linéarité supérieure, mais sa stabilité est inférieure à celle du platine.

Métal	Résistivité à 0°C ($\mu\Omega.cm$)	Point de fusion (°C)	Domaine d'application
Cuivre	7	1083	-190 à +150°C
Nickel	6.38	1453	-60 à +180°C
Platine	9.81	1769	-250 à +1100°C
Tungstène	1.72	3380	-269 à +27°C

Le matériau le plus utilisé est le platine, qui est généralement encapsulé avec de la céramique et placé dans une gaine d'acier étanche. La résistance est de 100 Ω à 0°C, ces thermomètres sont donc généralement appelés des sondes Pt 100.



5.3 LES THERMISTANCES

5.3.1 Principe

Les thermistances sont des capteurs de température dont la sensibilité thermique est très élevée, de l'ordre de 10 fois celle des capteurs à résistance. Leurs coefficients de température sont généralement négatifs et dépendent fortement de la température.

Elles sont constituées à partir de mélanges d'oxydes métalliques semi-conducteurs tels que les oxydes de Nickel, de Cobalt ou de Manganèse. Contrairement aux métaux, la résistance des semi-conducteurs diminue lorsque la température augmente.

Les thermistances sont disponibles sous des formes variées : disques, petits cylindres, anneaux, perles, l'élément sensible pouvant être ou non protégé par enrobage ou encapsulage. Les valeurs élevées de la résistivité des matériaux employés permettent d'obtenir des résistances de valeurs appropriées avec de faibles quantités de matière et donc des dimensions réduites (de l'ordre du mm). Il en résulte un faible encombrement permettant la mesure quasi-punctuelle de la température.

5.3.2 Relation résistance-température

La résistance d'une thermistance en fonction de la température s'écrit :

$$R(T) = R_0 \exp\left(\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

avec :

- R_0 la résistance à la température T_0
- β un coefficient qui dépend de la température, compris généralement entre 3000 et 5000 K.

La sensibilité thermique a pour expression : $\alpha_R = -\frac{\beta}{T^2}$

Les figures suivantes présentent la variation en fonction de la température de la résistance et de la sensibilité thermique d'une thermistance, sur une échelle semi-logarithmique. Elles montrent que la résistance et la sensibilité thermique varient de manière inversement proportionnelle à la température. La sensibilité des thermistances est très importante pour les basses températures et elles sont particulièrement adaptées à la détection et la mesure des très faibles variations de température (de 10^{-4} à 10^{-3} K). Elles peuvent être utilisées sans problèmes majeurs de stabilité jusqu'à environ 200°C , au delà il faut utiliser des matériaux spéciaux tel que le carbure de silice. Les variations de la résistance en fonction de la température étant très importantes, on utilise une thermistance donnée pour un intervalle de mesure de 50 à 100°C . Lorsque l'intervalle de mesure est plus étendu, il faut utiliser successivement des thermistances différentes dont les résistances sont convenablement choisies.

