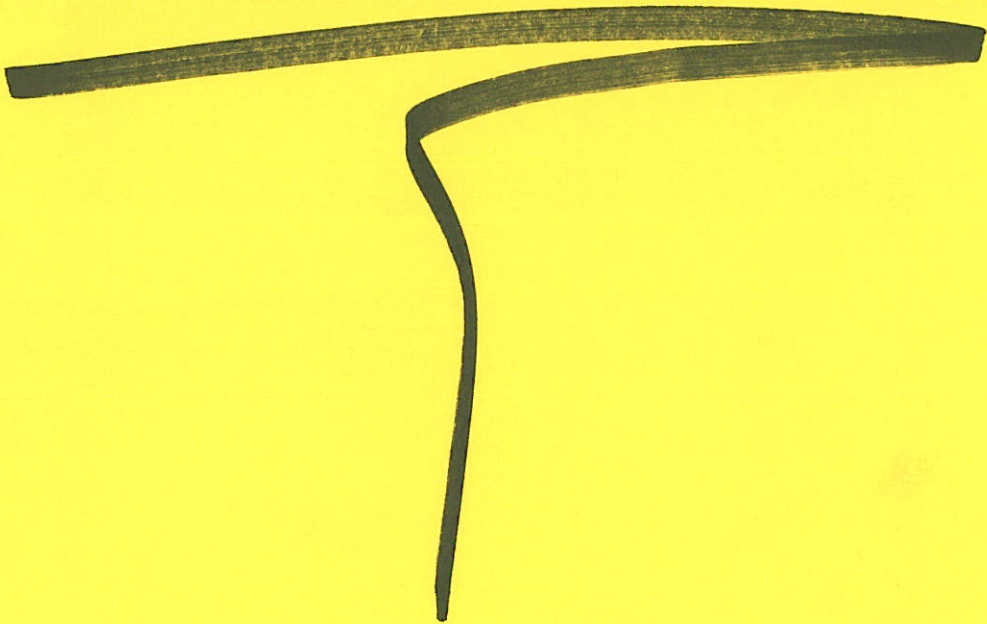


PT 100



SOMMAIRE

1 - DESCRIPTION GÉNÉRALE DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE CLAL	p. 1
2 - CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE	p. 2
2.1 - RELATION RÉSISTANCE-TEMPÉRATURE	p. 2
2.1.1 - LOI GÉNÉRALE	p. 2
2.1.2 - VALEURS DE R_0 AU CATALOGUE CLAL	p. 2
2.1.3 - VALEURS DE R_t/R_0 (RÉSISTANCE RÉDUITE)	p. 2
2.1.4 - COEFFICIENT DE TEMPÉRATURE ENTRE 0 ET 100 °C	p. 3
2.1.5 - DOMAINE DE TEMPÉRATURE	p. 3
2.2 - TOLÉRANCES STANDARDS	p. 3
2.2.1 - TOLÉRANCES Δ ET $\Delta R_t/R_0$ DONNÉES PAR LES NORMES	p. 3
2.2.2 - TOLÉRANCES SUR α	p. 4
2.3 - TOLÉRANCES RÉDUITES	p. 4
2.3.1 - CALCUL DE LA PRÉCISION INTRINSEQUE dt D'UNE THERMOSONDE EN FONCTION DES ÉCARTS dR_0/R_0 ET $d\alpha$ A LA LOI STANDARD	p. 4
2.3.2 - TOLÉRANCES RÉDUITES CLASSE A, 1/2 DIN, 1/3 DIN, etc...	p. 4
2.3.3 - GROUPES D'INTERCHANGEABILITÉ	p. 5
2.3.4 - TOLÉRANCES PARTICULIERES	p. 5
3 - FACTEURS AFFECTANT LA PRÉCISION DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE	p. 5
3.1 - VIEILLISSEMENT - STABILITÉ	p. 6
3.1.2 - TEST CEI	p. 6
3.1.3 - TEST BS 1904	p. 6
3.1.4 - TEST CLAL	p. 6
3.1.5 - COMPORTEMENT DANS DES MILIEUX DIFFÉRENTS DE L'AIR AMBIANT	p. 6
3.2 - TEMPS DE RÉPONSE	p. 7
3.2.1 - DÉFINITION	p. 7
3.2.2 - CARACTÉRISTIQUES	p. 7
3.2.3 - VALEURS DU TEMPS DE RÉPONSE DES THERMOSONDES CLAL	p. 8
3.2.4 - REGLES SIMPLS DE CORRESPONDANCE ENTRE LES DIFFÉRENTS TEMPS DE RÉPONSE POUR LES ÉLÉMENTS SENSIBLES	p. 8
3.3 - AUTO-ÉCHAUFFEMENT	p. 9
3.3.1 - DÉFINITION	p. 9
3.3.2 - CARACTÉRISTIQUES DU COEFFICIENT k D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT	p. 9
3.3.3 - VALEURS de k	p. 9
3.3.4 - INFLUENCE DU COURANT DE MESURE SUR L'AUTO-ÉCHAUFFEMENT	p. 9
3.4 - FORCES THERMOÉLECTRIQUES	p.10
3.5 - HYSTÉRÉSIS	p.10

3.6 - TENUE MÉCANIQUE	p.11
3.6.1 - CHOCS	p.11
3.6.2 - VIBRATIONS	p.11
3.7 - PATTES DE SORTIE DES THERMOSONDES	p.11
4 - CABLES DE PROLONGATION DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE	p.12
4.1 - MONTAGE AVEC CABLE BIFILAIRE	p.12
4.2 - MONTAGE AVEC CABLE TRIFILAIRE POUR MESURE AU PONT DE WHEATSTONE	p.13
4.3 - MONTAGE AVEC CABLE QUADRIFILAIRE	p.14
4.3.1 - MÉTHODE DU PONT	p.14
4.3.2 - MÉTHODE DE KELVIN	p.14
4.4 - COMPARAISON DES MÉTHODES	p.15
4.5 - TECHNIQUE DE RACCORDEMENT DES CABLES DE PROLONGATION	p.15

1 - DESCRIPTION GÉNÉRALE DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE CLAL

LES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE

Une thermosonde à résistance de platine est l'élément sensible d'un thermomètre électronique dont le principe repose sur la variation de la résistance électrique en fonction de la température.

On distingue essentiellement des thermosondes cylindriques qui conviennent pour être placées dans des gaines de protection métalliques et des thermosondes plates adaptées aux mesures des températures de surfaces.

Il existe des thermosondes simple et double enroulement, ces dernières permettant d'obtenir à partir d'un même point de mesure, deux fonctions : par exemple, l'indication de la température et sa régulation.

QUALITÉS

Bien qu'il existe différents types de composants sensibles à la température —autres résistances métalliques, thermistances, semi-conducteurs, couples thermoélectriques— la thermosonde à résistance de platine prend une place croissante dans la mesure des températures, en raison des avantages qu'elle présente :

- large domaine de mesure de -220 °C à $+1\ 100\text{ °C}$
- précision définie par les tolérances des normes UTE-PRC 42 330, DIN 43 760, BS 1 904 et CEI
- interchangeabilité : possibilité d'utilisation avec des appareils électroniques standards adaptés à la norme
- résolution importante
- signal d'intensité élevée
- reproductibilité liée à la fidélité du matériau de base, le platine, choisi comme étalon international de repérage des températures
- loi de variation résistance/température facilement linéarisable permettant de simplifier le traitement électronique.

LES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE CLAL

Le CLAL fournit plusieurs types de thermosondes à résistance de platine.

Thermosondes bobinées

CLARAL à enrobage verre

CERAL à enrobage céramique

SP à enrobage élastomère de silicone

ESS à enrobage PTFE

TPE à enrobage polyimide

CPME à enrobage époxy

Thermosondes à couche mince (série EPS)

De commercialisation plus récente, elles présentent les avantages suivants :

- valeurs ohmiques plus élevées
- miniaturisation

Leur avenir est garanti par la nécessité de multiplier le nombre de points de mesure de température, notamment dans les systèmes destinés aux économies d'énergie.

Thermosondes de précision

T L H 600 destinée aux laboratoires industriels comme capteur de référence (précision dans la gamme -180°C à $+600^{\circ}\text{C}$: $0,1^{\circ}\text{C}$)

S T H P - B destinée aux laboratoires, comme étalon de référence et réalisée conformément aux recommandations du Comité International des poids et mesures (précision dans la gamme -180°C à $+500^{\circ}\text{C}$: $0,01^{\circ}\text{C}$)
Les installations de contrôle et d'étalonnage du laboratoire CLAL sont habilitées par le Bureau National de Métrologie.

La gamme de températures des thermosondes CLAL est la suivante :

CLARAL	- 220 °C à + 500 °C
CERAL B	- 220 °C à + 600 °C
CERAL M	- 220 °C à + 850 °C
CERAL H	- 220 °C à + 1100 °C
SP	- 70 °C à + 200 °C
ESS	- 70 °C à + 180 °C
TPE	- 70 °C à + 180 °C
CPME	- 70 °C à + 150 °C
EPS A1-B1	- 50 °C à + 600 °C
EPS A2-B2	- 50 °C à + 250 °C

2 - CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE

2.1 - RELATION RÉSISTANCE-TEMPÉRATURE

2.1.1 - LOI GENERALE

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t-100)] \quad (1)$$

Les normes indiquent les valeurs suivantes :

$$A = 3.90802 \cdot 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$$

$$B = -5.802 \cdot 10^{-7} / (^{\circ}\text{C})^2$$

$$C = 0 \text{ si } t \geq 0$$

$$C = -4.2735 \cdot 10^{-12} / (^{\circ}\text{C})^4 \text{ si } t < 0$$

2.1.2 - VALEURS DE R_0 AU CATALOGUE CLAL

25 Ω - 50 Ω - 100 Ω - 200 Ω - 500 Ω - 1000 Ω

2.1.3 - VALEURS DE R_t/R_0 (RÉSISTANCE RÉDUITE)

Elles se calculent à l'aide de la formule (1).

Nous les indiquons ici pour quelques températures

t	R_t/R_0	t	R_t/R_0
-200	0,1849	300	2,1202
-100	0,6025	400	2,4704
0	1,000	500	2,8090
100	1,3850	600	3,1359
200	1,7584	700	3,4513

2.1.4 - COEFFICIENT DE TEMPÉRATURE ENTRE 0 et 100 °C

Ce coefficient indique la sensibilité moyenne de la thermosonde entre 0 et 100 °C.

On le nomme α_{0}^{100} ou α ou t_c ou t_K

$$\alpha_{0}^{100} = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$$

$$T = \frac{R_t - 100}{0,385}$$

Pour une thermosonde standard

$$\alpha_{0}^{100} = 3,850 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$

Il est pratique pour certaines applications de remplacer l'expression (1) par l'expression linéaire approchée suivante :

$$R_t = R_0 (1 + \alpha_{0}^{100} t) \quad (2)$$

2.1.5 - DOMAINE DE TEMPÉRATURE

Chaque modèle de thermosonde est spécifié pour une utilisation dans un intervalle de température à l'intérieur duquel l'expression (1) est valable, aux erreurs de température près prévues pour les tolérances et pour les dérives de vieillissement définies par les normes.

2.2 - TOLÉRANCES STANDARDS

2.2.1 - TOLÉRANCES Δt et $\Delta R_t/R_0$ données par les normes

Elles définissent l'interchangeabilité des sondes, par l'écart maximal autorisé $\Delta R_t/R_0$ de la résistance à la valeur donnée par la loi standard et par l'erreur maximale autorisée Δt sur la température. Ces valeurs dépendent de la température.

Les normes prévoient deux classes de précision :

- classe A - tolérances resserrées : $\Delta t = \pm (0,15 + 0,002 |t|)$
- classe B - tolérances standards : $\Delta t = \pm (0,3 + 0,005 |t|)$

Quelques valeurs de Δt et $\Delta R_t/R_0$

t °C	Classe A		Classe B	
	Δt	$\Delta R_t/R_0$	Δt	$\Delta R_t/R_0$
0	$\pm 0,15 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 6 \cdot 10^{-4}$	$\pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 12 \cdot 10^{-4}$
100	$\pm 0,35 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 13 \cdot 10^{-4}$	$\pm 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 3 \cdot 10^{-3}$
200	$\pm 0,55 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 2 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 4,8 \cdot 10^{-3}$
300	$\pm 0,75 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 2,7 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 6,4 \cdot 10^{-3}$

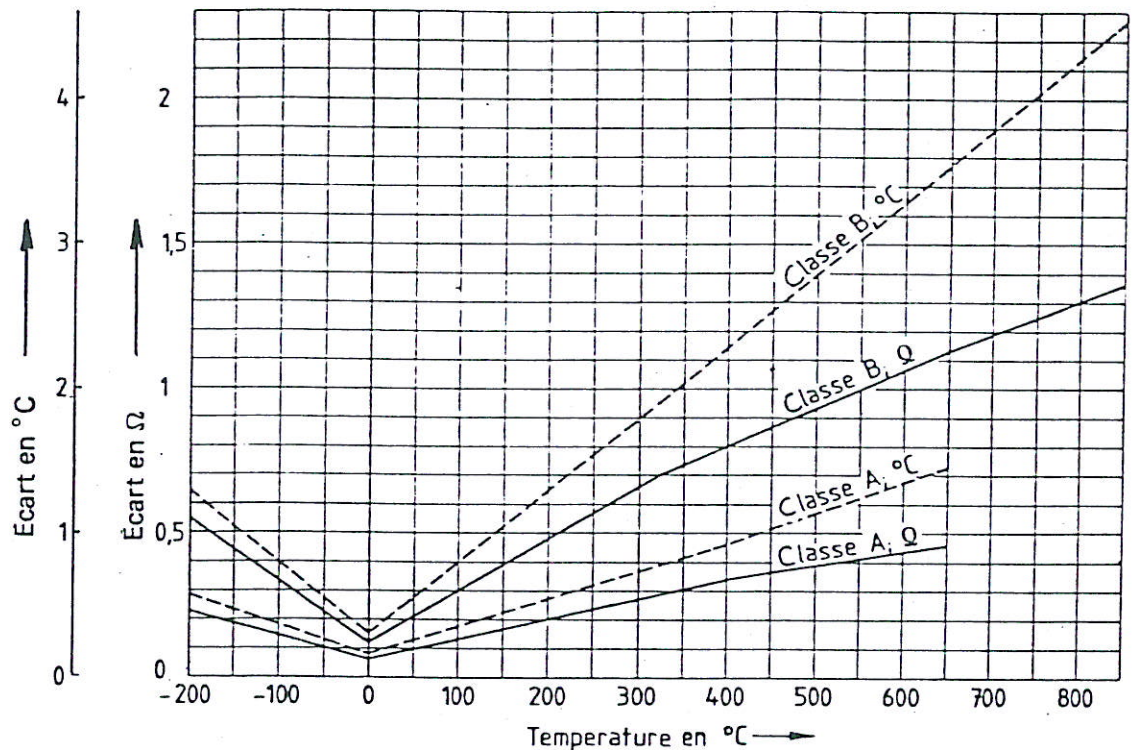
2.2.2 - TOLÉRANCES SUR α

Les tolérances ne sont pas normalisées car les valeurs de $\Delta R_t/R_0$ et Δt suffisent pour indiquer la précision de la thermosonde à la température t

En général, α est contenu dans des limites qui permettent d'obtenir la tolérance $\Delta R_t/R_0$, quelle que soit la valeur de $\Delta R_0/R_0$ à 0°C , mais ceci n'est pas obligatoire.

Le tableau suivant indique les limites habituelles de α :

Classe A	Classe B
Pour $\Delta R_0/R_0 = \pm 6 \cdot 10^{-4}$ $\Delta\alpha = \pm 5 \cdot 10^{-6}$	Pour $\Delta R_0/R_0 = \pm 12 \cdot 10^{-4}$ $\Delta\alpha = \pm 14 \cdot 10^{-6}$



Courbes des tolérances admissibles des valeurs pour les thermosondes Pt 100.

2.3 - TOLÉRANCES RÉDUITES

2.3.1 - CALCUL DE LA PRÉCISION INTRINSEQUE dt D'UNE THERMOSONDE EN FONCTION DES ÉCARTS dR_0/R_0 et $d\alpha$ à la loi standard

dt est l'écart en température à la loi standard, à la température t .

Il se dérive de l'expression (2). On obtient :

$$dt = - \frac{dR_0}{R_0} (1 + \alpha t) - \frac{d\alpha}{\alpha} t \quad (3)$$

2.3.2 - TOLÉRANCES RÉDUITES CLASSE A, 1/2 DIN, 1/3 DIN, etc...

Il est possible de sélectionner les thermosondes par leur valeur à 0°C . Mais si l'on veut une précision meilleure il est préférable de faire la sélection en 2 points encadrant la mesure à effectuer (par ex. R_0 et R_{100} pour des mesures à la température ambiante).

2.3.3 - GROUPES D'INTERCHANGEABILITÉ

La tolérance d'interchangeabilité standard assure une précision de l'ordre du degré. L'utilisateur qui désire une interchangeabilité meilleure, par exemple le dixième de degré, est tenté de demander des tolérances divisées par dix, mais la vraie question est plutôt de pouvoir disposer de thermosondes groupées autour d'une valeur reproductible.

Il est donc possible de sélectionner les thermosondes en les triant par groupes à l'intérieur desquels la précision mutuelle des thermosondes est resserrée autour d'une valeur caractérisant le groupe.

Ceci est particulièrement intéressant quand l'utilisateur mesure des différences de température entre deux thermosondes du même groupe.

2.3.4 - TOLÉRANCES PARTICULIÈRES

Le CLAL fabrique des thermomètres étalonnés et livrés avec une table individuelle de correspondance entre la résistance réduite et la température.

La précision absolue retenue est la suivante :

- pour les thermosondes de précision TLH 600 : $\pm 0,1$ °C
- pour les thermosondes de haute précision STHP-B : $\pm 0,01$ °C

Pour la réalisation de ces dernières, les moyens d'étalonnage et de contrôle du CLAL sont habilités par le Bureau National de Métrologie (B.N.M.).

Sur demande particulière, le CLAL peut fournir un certificat d'étalonnage en plusieurs points fixes dans la plage de travail de la thermosonde.

Les points fixes servant aux étalonnages sont les suivants :

Points fixes	Températures	
	t_{48} °C	t_{68} °C
Point d'ébullition de l'oxygène	- 182,97	- 182,962
Point de sublimation de l'anhydride carbonique	- 78,51	- 78,476
Point triple de l'eau	0,01	0,01
Point d'ébullition de l'eau	100	100
Point de congélation de l'étain	231,9	231,968
Point de congélation du zinc	419,505	419,58
Point de congélation de l'aluminium	660,10	660,46

3 - FACTEURS AFFECTANT LA PRÉCISION DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE

Ce sont principalement :

- le vieillissement et la stabilité
- le temps de réponse
- l'autoéchauffement
- les forces thermoélectriques
- l'hystérésis
- la tenue mécanique
- les longueurs de connexions

3.1 - VIEILLISSEMENT - STABILITÉ

3.1.1 - Puisqu'une thermosonde à résistance de platine est utilisée pour mesurer la température, cette dernière ne doit pas être une grandeur d'influence dans le domaine d'utilisation spécifié et donc, ne doit pas faire évoluer ses caractéristiques.

Cette propriété n'est bien sûr pas en accord avec la nature physique de la température qui fait évoluer toutes les grandeurs, lentement quand elle est basse, et rapidement quand elle est élevée.

La stabilité d'une sonde de température se définit plutôt comme suit : la température doit faire évoluer le moins possible ses caractéristiques dans le domaine spécifié.

C'est pour encadrer ce moins possible que la norme CEI a défini des tests de vieillissement.

3.1.2 - TEST CEI

- 10 cycles sans choc thermique brutal entre les températures minimales et maximales spécifiées

- 250 heures aux températures limites

Au cours de ces tests, la dérive individuelle de chaque thermosonde mesurée à 0 °C ne doit pas excéder :

± 0,15 °C en classe A

± 0,3 °C en classe B

3.1.3. - TEST BS 1904

La norme BS 1904 prévoit que 10 chocs entre les températures extrêmes et 0 °C, sans durée, ne font pas évoluer la thermosonde de plus de ± 0,13 °C.

Remarques :

- Les normes CEI et BS 1904 prévoient donc qu'au cours des tests les thermosondes puissent dériver et sortir des tolérances.
- Les normes UTE-PRC 42330 et DIN 43760 ne prévoient aucun test.

3.1.4 - TEST CLAL

C'est une synthèse des 2 tests CEI.

10 cycles de 24 h présentant chacun :

- 2 h à la température minimale

- 22 h à la température maximale

ne font pas évoluer individuellement une thermosonde de plus de ± 0,3 °C en classe B.

Pour des applications spéciales, thermosondes de tolérances resserrées dans un domaine de température restreint, il est possible de diminuer l'amplitude de la dérive en rapport avec la précision initiale spécifiée.

3.1.5 - COMPORTEMENT DANS DES MILIEUX DIFFÉRENTS DE L'AIR AMBIANT

La stabilité de la thermosonde est définie dans l'air, ou plus généralement dans un milieu gazeux oxydant.

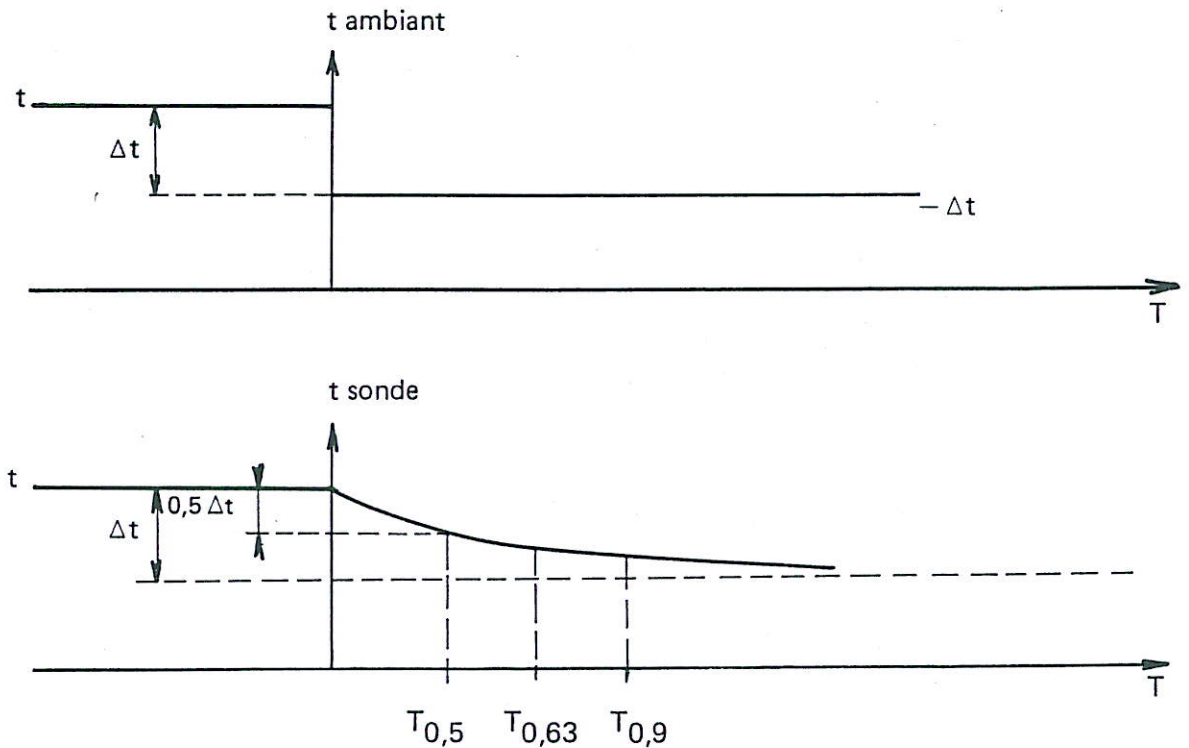
Pour des applications spéciales, thermosondes plongées directement dans un liquide, portées à haute température dans des gaz réducteurs, ou exposées à des agents chimiques réagissant sur l'enrobage, la stabilité peut varier différemment.

3.2 - TEMPS DE RÉPONSE

3.2.1 - DÉFINITION

Pour un échelon de température Δt provoqué par la brusque variation de température du milieu ambiant, la température indiquée par la thermosonde ne varie pas instantanément de Δt (voir schéma).

On définit par : $T_{0,5}$ - $T_{0,63}$ - $T_{0,9}$..., le temps nécessaire pour que l'indication de la thermosonde soit respectivement $0,5 \Delta t$ - $0,63 \Delta t$ - $0,9 \Delta t$.



3.2.2 - CARACTÉRISTIQUES

1 - Il faut préciser de quel temps de réponse il s'agit : $T_{0,5}$ - $T_{0,63}$ ou $T_{0,9}$

2 - Le temps de réponse est lié à la nature de l'échange thermique avec le milieu ambiant : conduction, convection naturelle ou forcée, rayonnement.

Ces phénomènes dépendent du milieu, de la température, de la nature du thermomètre, de sa géométrie, de sa surface. Il n'existe donc pas de temps de réponse universel, mais un temps de réponse pour chaque condition de mesure.

Ainsi, les valeurs indiquées pour les thermosondes n'ont aucun rapport avec celles obtenues pour les capteurs dans lesquels elles sont montées. Le temps de réponse des capteurs constitués à partir de ces thermosondes dépend aussi de la qualité de l'encapsulation, de la bonne conduction thermique, de la masse, etc... Généralement, le temps de réponse augmente avec l'encapsulation.

Le plus souvent on l'indique à la température ambiante, pour un échelon de 20°C dans les milieux suivants :

- eau agitée à $0,2\text{ m/s}$
- air calme ou agité 1 m/s , 3 m/s , 10 m/s

Qu'il soit obtenu par calcul ou par mesure, le temps de réponse n'est qu'une indication à $\pm 20\%$ près.

3.2.3 - VALEURS DU TEMPS DE RÉPONSE DES THERMOSONDES CLAL

Le tableau suivant indique $T_{0,5}$

Sonde	Eau 0,2 m/s (s)	Air 1 m/s (s)	Dimensions (mm)
CLARAL UF	0,4	13	cyindre ϕ 27 x 13
CLARAL M1	0,5	11	cyindre ϕ 3 x 25
CLARAL H1	0,8	23	cyindre ϕ 4 x 30
CERAL BB1	0,4	7	cyindre ϕ 1,6 x 20
CERAL MB1	0,5	14	cyindre ϕ 3 x 30
CERAL GB	0,9	33	cyindre ϕ 5 x 30
EPS 100 A1	0,25	7,5	rectangle 1,3 x 2,8 x 10
EPS 100 B1	1,5	24	cyindre ϕ 4,5 x 12
SP 683	1	9	rectangle souple 0,6 x 10 x 23
TPE 156	2	20	rectangle 2 x 8 x 150

3.2.4 - REGLES SIMPLES DE CORRESPONDANCE ENTRE LES DIFFÉRENTS TEMPS DE RÉPONSE POUR LES ÉLÉMENTS SENSIBLES

$$T_{0,5} - T_{0,63} - T_{0,9}$$

Si l'échange thermique n'était dû qu'à la transmission de chaleur à la surface des thermosondes, la courbe de réponse serait exponentielle. En réalité, des phénomènes de rayonnement, de conduction dans le corps et dans les connexions viennent modifier le caractère exponentiel de l'échange thermique :

- faiblement dans l'air où la convection prédomine
- fortement dans l'eau et dans les mesures par contact où la conduction diminue T.

Il faudrait, en toute rigueur, indiquer à chaque fois $T_{0,5}$ - $T_{0,63}$ ou $T_{0,9}$ pour caractériser la réponse. Néanmoins, les cas les moins exponentiels sont ceux où le temps de réponse est très bref et où l'erreur commise sur ce temps est peu importante dans la mesure de température.

Il est donc pratique d'appliquer les corrections déduites de l'exponentielle :

$$T_{0,63} \approx 1,44 T_{0,5}$$

$$T_{0,9} \approx 3,3 T_{0,5}$$

Correction pour changement de milieu

Le CLAL ayant pris comme base le temps de réponse T dans l'air agité à 1 m/s, on peut évaluer le temps de réponse dans d'autres conditions :

- eau : $0,02 \times T$
- air calme : $3 \times T$
- air 3 m/s : $0,6 \times T$
- air 10 m/s : $0,4 \times T$

3.3 - AUTO-ÉCHAUFFEMENT

3.3.1 - DÉFINITION

La thermosonde étant parcourue par un courant, la chaleur créée par effet Joule engendre un auto-échauffement du fait des limitations d'échanges thermiques avec le milieu ambiant.

Pour un courant de mesure continu, une différence de température s'établit entre la thermosonde et le milieu ambiant.

Soit P la puissance de mesure. On a alors :

$$\Delta t = kP \quad (4)$$

k est le coefficient d'auto-échauffement (en °C/mW ou °C/W)

1/k est la puissance thermique (en W/°C ou mW/°C)

3.3.2 - CARACTÉRISTIQUES DU COEFFICIENT k D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT

- k dépend du milieu ambiant qu'il convient de préciser : eau ou air et à quelle vitesse
- k est indiqué pour la thermosonde et n'est pas applicable au capteur monté avec celle-ci. En général, l'encapsulation diminue k, pourvu que les matériaux de liaison entre la thermosonde et la surface du capteur soient bons conducteurs de la chaleur
- k est d'autant plus grand que la thermosonde est de petites dimensions et de faible surface d'échange
- k est connu à ± 20 % près.

De même que pour le temps de réponse, l'auto-échauffement dépend de la qualité de l'échange thermique avec la surface.

3.3.3 - VALEURS DE k

VALEURS DU COEFFICIENT k

Sonde	Eau 0,2 m/s (°C/mW)	Air 1 m/s (°C/mW)
CLARAL UF	0,010	0,11
CLARAL M1	0,005	0,07
CLARAL H1	0,005	0,05
CERAL BB1	0,020	0,15
CERAL MB1	0,002	0,07
CERAL GB	0,003	0,05
EPS 100 A1	0,005	0,14
EPS 100 B1	0,01	0,08
SP 683	0,002	0,03
TPE 156	0,001	0,03

3.3.4 - INFLUENCE DU COURANT DE MESURE SUR L'AUTO-ÉCHAUFFEMENT

Avec un courant continu I, l'expression (4) devient :

$$\Delta t = kRI^2 \quad (5)$$

L'erreur d'auto-échauffement est donc lié à k , mais aussi à R et à I . On définit parfois le courant maximal continu afin de ne pas dépasser, dans l'air calme, la valeur $\Delta t = 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$I = \sqrt{\frac{0,25}{kR}}$$

Cette valeur de I peut être généralement dépassée sans nuire à la précision Δt dans les cas suivants :

- la thermosonde n'est pas utilisée dans l'air calme mais dans des conditions de meilleur échange (agité ou non)
- la thermosonde est encapsulée. Il faut alors prendre le coefficient k du capteur dans le milieu considéré
- le courant I n'est pas continu mais est donné par une seule impulsion de durée $T < T_{0,5}$.

Dans ce cas, l'auto-échauffement ne dépasse pas la valeur $\Delta t \times \frac{T}{T_{0,5}}$

- le courant I est une série d'impulsions, ou alternatif. Dans ce cas, il faut prendre la valeur moyenne du signal
- pour une différence de température entre deux thermosondes de même nature, mesurées dans les mêmes conditions, l'auto-échauffement se retranche. Cependant, il faut considérer qu'environ 20 % de sa valeur reste aléatoire et doit être prise en compte dans l'incertitude sur la différence de température.

3.4 - FORCES THERMOÉLECTRIQUES

Les thermosondes prises isolément ne développent pratiquement pas de forces thermoélectriques.

Par contre, le raccordement de la thermosonde au câble de liaison peut donner naissance à un couple thermoélectrique dont la f. e. m. perturbe la mesure de température. Par exemple, si pour une thermosonde Pt 100 Ω , la f. e. m. parasite est 10 μV à $0 \text{ }^\circ\text{C}$, l'erreur de température est :

0,25 $^\circ\text{C}$ quand le courant de mesure est 0,1 mA
0,025 $^\circ\text{C}$ quand le courant de mesure est 1 mA, etc...

Lors du raccordement de la thermosonde au système de mesure, des précautions sont à prendre pour éviter cette f. e. m. :

- bon choix du métal de liaison,
- proximité des bornes de raccordement,
- équilibrage des drains thermiques à chaque liaison.

Pour s'affranchir de la f. e. m. dans la mesure, on peut,

- soit la mesurer et établir une correction,
- soit augmenter l'intensité du courant de mesure,
- soit utiliser une thermosonde de valeur ohmique plus élevée,
- soit effectuer la mesure en courant alternatif.

3.5 - HYSTÉRÉSIS

Au cours d'un cycle thermique, la résistance peut, pour une même température intermédiaire, prendre des valeurs différentes, selon que l'on est dans la phase de réchauffement ou de refroidissement. Ce phénomène reproductible au cours des cycles n'est pas une dérive : les valeurs extrêmes sont conservées. On le nomme hystérésis.

Ce phénomène n'est généralement pas gênant pour les raisons suivantes :

- la température médiane du cycle où il se manifeste n'est généralement pas la température mesurée.
- son amplitude ne change pas fondamentalement la précision.

Cependant, dans le cas où l'utilisation requiert une précision resserrée sur toute la gamme de température, il est possible d'utiliser une thermosonde totalement dépourvue d'hystérésis (CERAL et EPS, par exemple).

3.6 - TENUE MÉCANIQUE

3.6.1 - CHOCS

La norme CEI prévoit le test suivant : 10 chutes selon l'axe d'une hauteur de 250 mm, sur une plaque d'acier de 6 mm d'épaisseur, doivent être supportées sans dommage.

Les thermosondes CLARAL, CERAL B1, EPS, SP satisfont à ce test.

3.6.2 - VIBRATIONS

Les thermosondes peuvent subir sur demande spéciale des essais normalisés de vibrations.

3.7 - PATTES DE SORTIE DES THERMOSONDES

Les thermosondes du CLAL sont munies de pattes de sortie :

- platine (CERAL M et H, EPS A1, B1)
- platine sur ferro-nickel (CLARAL, excepté DBI, CERAL B)
- argent (SP, EPS A2, B2)

La valeur ohmique d'une thermosonde est mesurée à l'extrémité des pattes de sortie.

Le tableau suivant indique, pour un fil ϕ 0,3 mm, les paramètres dont il faut tenir compte si l'on veut réduire la longueur des pattes de sortie :

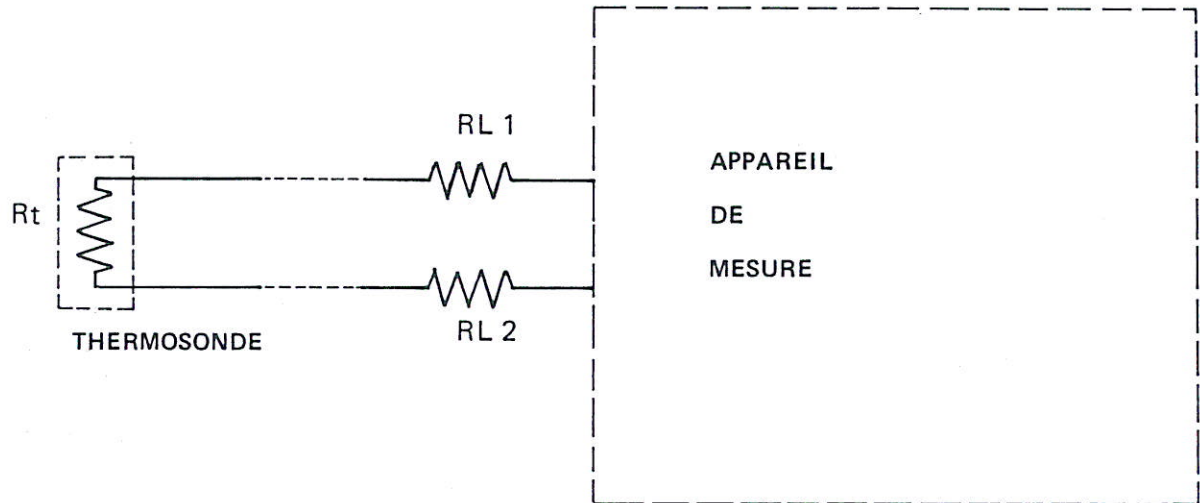
	Résistance au m pour 1 patte (Ω/m)	Erreur de température provoquée par le raccourcissement de 1 mm de 1 patte de sortie $\Delta t/mm$	
		Pt 100 ($^{\circ}C$)	Pt 500 ($^{\circ}C$)
Platine	1,7	0,0045	0,0009
Argent	0,3	0,0008	0,0002
Ferro-nickel	5,2	0,0135	0,0027

4 - CABLES DE PROLONGATION DES THERMOSONDES A RÉSISTANCE DE PLATINE

La mise en œuvre des thermosondes est simple, leur raccordement s'effectue en câble ordinaire, bifilaire, trifilaire ou quadrifilaire.

Les montages classiques sont présentés ci-après.

4.1 - MONTAGE AVEC CABLE BIFILAIRE



Le câble de prolongation comporte 2 conducteurs de résistance RL1 et RL2.

La résistance des lignes RL1 et RL2 est en série avec celle de la thermosonde Rt.

Ce montage offre l'avantage de la simplicité, mais il introduit une erreur sur la valeur de la résistance mesurée qui est la somme $R_t + RL_1 + RL_2$.

Par exemple, un câble de résistance $0,5 \pm 0,02 \Omega$ introduit les erreurs suivantes :

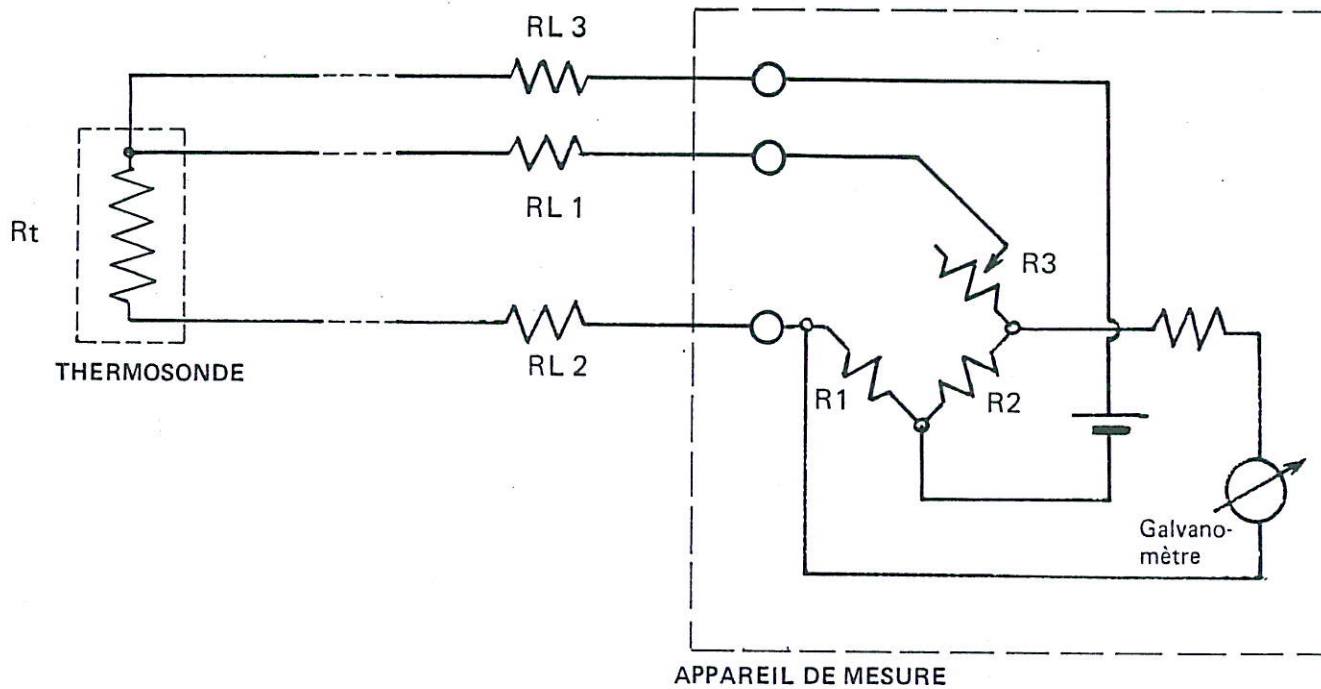
	Pt 100	Pt 500
Erreur systématique	1,25 °C	0,25 °C
Erreur aléatoire	0,05 °C	0,01 °C

Ainsi, lorsque la longueur et la nature du câble varient, c'est l'erreur systématique qui est affectée.

Ce montage est donc déconseillé si la distance entre la thermosonde et l'appareil de mesure est importante.

4.2 - MONTAGE AVEC CABLE TRIFILAIRE POUR MESURE AU PONT DE WHEATSTONE

Recommandé dans les installations industrielles



Le câble de prolongation comporte 3 conducteurs de résistance RL_1 , RL_2 , RL_3 , reliés à la thermosonde et au pont comme l'indique le schéma.

En supposant $RL_1 = RL_2$, la valeur de la thermosonde R_t est égale à la valeur de la résistance variable R_3 .

En effet, à l'équilibre du pont, on a :

$$R_t + RL_2 = RL_1 + R_3$$

$$\text{d'où } R_t = R_3$$

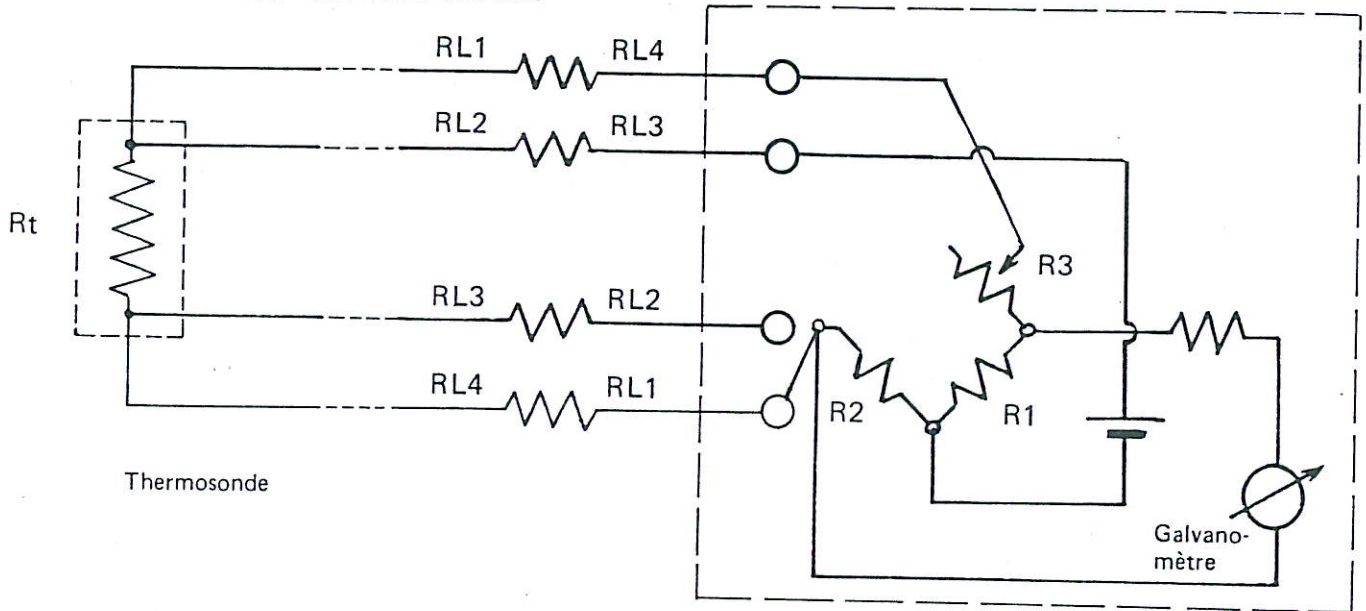
Ce montage permet la mesure à distance, sans introduire d'erreur importante.

Il est néanmoins sensible aux différences de résistances de ligne RL_1 et RL_2 , aux résistances de contact et à la f. e. m. thermoélectrique créée par la différence des drains thermiques aux bornes de la thermosonde R_t .

4.3 - MONTAGE AVEC CABLE QUADRIFILAIRE

Recommandé pour les mesures en laboratoire et dans tous les cas où l'on désire s'affranchir des résistances de contact ou de prolongation.

4.3.1 - MÉTHODE DU PONT



Le câble de prolongation comporte 4 conducteurs de résistance RL_1 , RL_2 , RL_3 , RL_4 reliés 2 par 2 à la thermosonde.

On effectue deux mesures :

- $R_3 + RL_1 = R_t + RL_4$
- $R_3 + RL_4 = R_t + RL_1$

$$\text{d'où } R_t = \frac{R_3 + R_3'}{2}$$

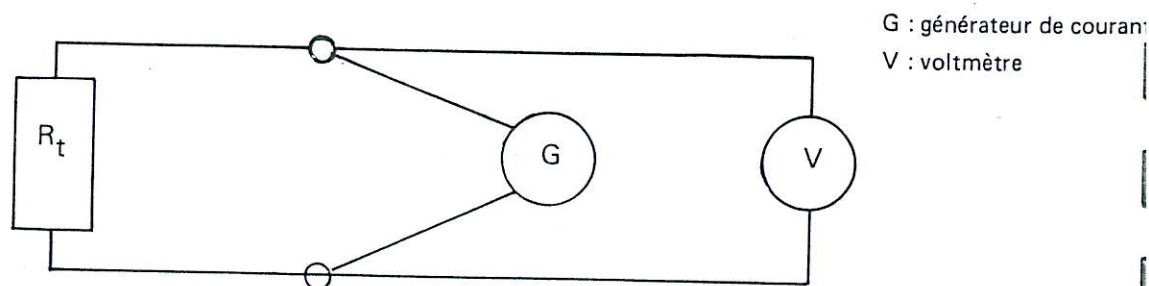
Ce montage supprime l'influence de la différence entre RL_1 et RL_4 et assure l'équilibrage des drains thermiques, mais il ne permet pas de s'affranchir des résistances de contact.

4.3.2 - MÉTHODE DE KELVIN

Un courant I stable traverse la thermosonde par RL_1 et RL_4 et l'on mesure la ddp V aux bornes de la thermosonde par RL_2 et RL_3 .

La résistance R_t est alors donnée par :

$$R_t = \frac{V}{I}$$



Cette méthode n'est possible qu'avec des appareils possédant une bonne dynamique. Elle présente l'avantage de supprimer l'influence des résistances de prolongation et de contact.

4.4 - COMPARAISON DES METHODES

	Longueur conducteurs	Déséquilibre conducteurs	Résistance contact	Drain thermique
Deux fils	-	-	-	+
Trois fils	+	-	-	-
Quatre fils (du pont)	+	+	-(1)	+
Quatre fils (Kelvin)	+	+	+	+

(1) Devient + avec un pont muni d'un inverseur spécial.

Pour mesurer avec des précisions meilleures que la tolérance standard, il faut utiliser une méthode à 3 ou 4 fils, à moins de connaître parfaitement les résistances du câble.

4.5 - TECHNIQUE DE RACCORDEMENT DES CABLES DE PROLONGATION

Précautions au montage

On prendra soin, au moment du montage, de veiller au bon isolement entre conducteurs et entre les conducteurs et la gaine de protection.

Par ailleurs, on effectuera un montage tel que les résistances des conducteurs ne perturbent pas la mesure. On évitera lors du raccordement de la thermosonde au câble de prolongation, de la surchauffer au-delà de la température limite supérieure d'utilisation.

Le CLAL propose aux utilisateurs :

- **Des conducteurs de raccordement** - ces conducteurs sont à braser ou à souder aux pattes de sortie des thermosondes.

Nous recommandons ceux mentionnés dans la notice.

- **Des tubes de prolongation pour thermosondes verre** qui protègent les conducteurs de manière étanche dans le cas où la thermosonde est directement plongée dans un milieu liquide.

La gamme des thermosondes CLAL à résistance de platine est étendue et les modèles correspondent aux applications les plus courantes.

Pour toute information complémentaire, **CONSULTEZ CLAL - Sce AI-R** en nous précisant un certain nombre de données qui nous permettront de mieux vous répondre :

- géométrie
- mode de fixation
- nature du milieu
- température de travail et de pointe
- précision
- temps de réponse
- tenue en pression
- tenue aux vibrations
- prolongation en 2 fils, 3 fils ou 4 fils - longueur du câble de sortie et température maximale à laquelle il sera soumis.

