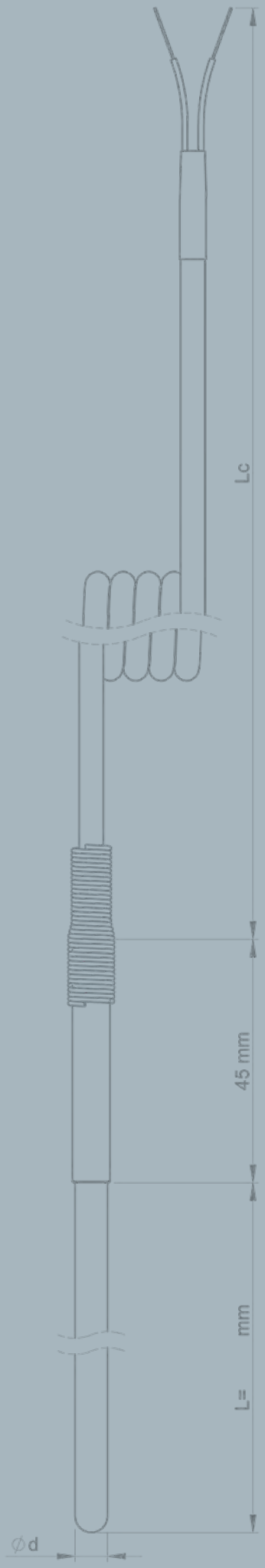
CHAUVIN ARNOUX
PYROCONTROLE

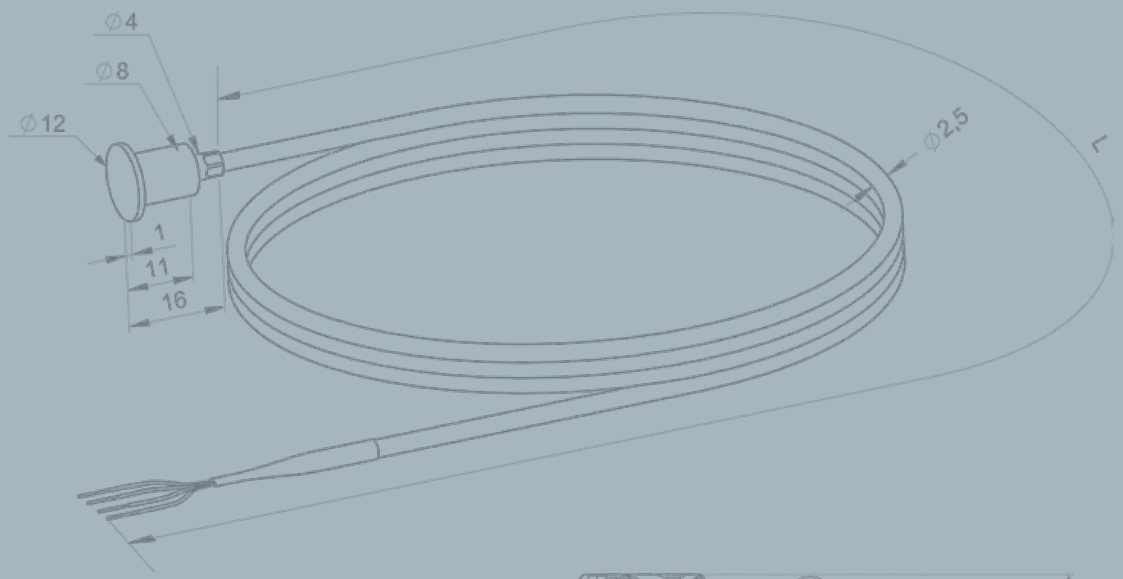
CATALOGUE CAPTEURS

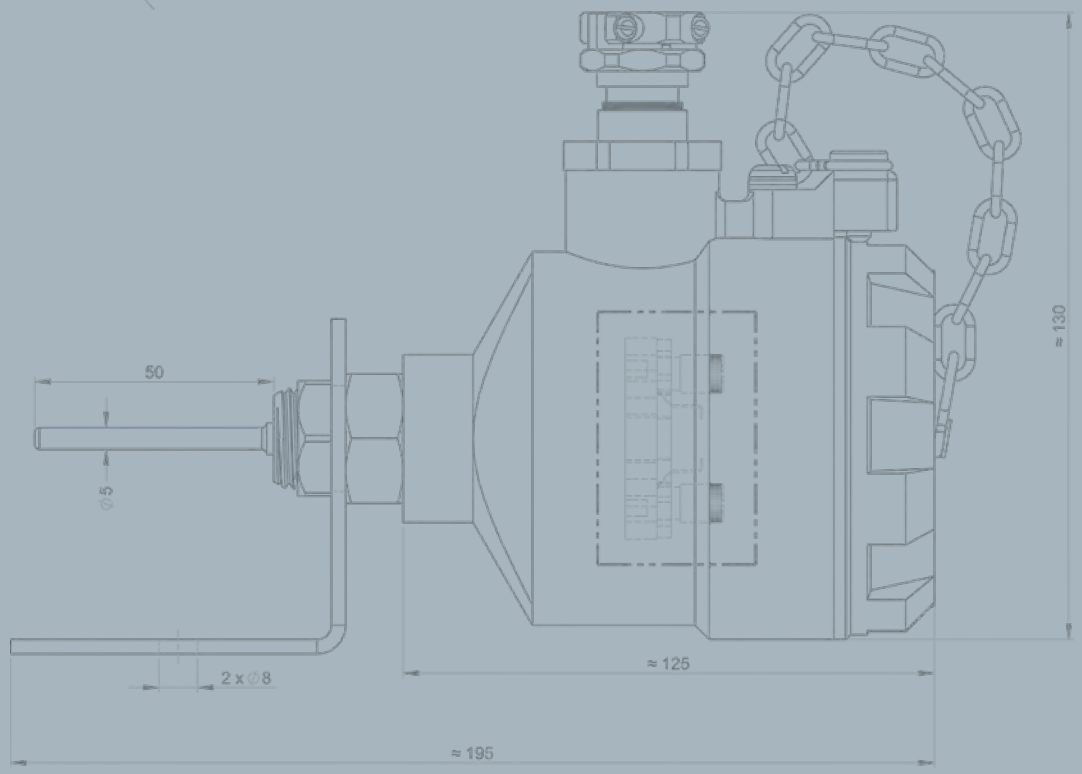
LA MESURE DE TEMPÉRATURE EN MILIEU INDUSTRIEL

2ÈME ÉDITION

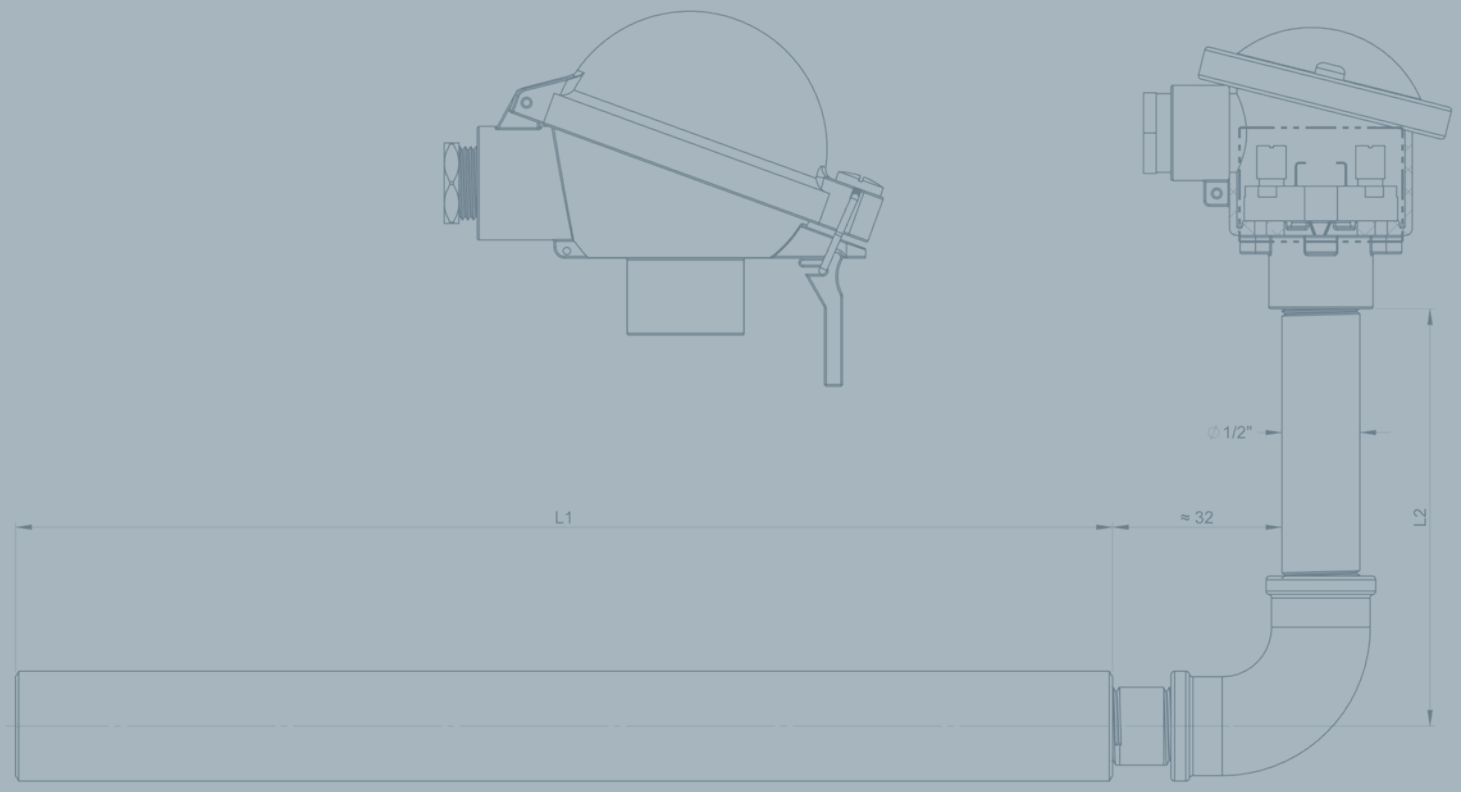
Mesurer pour mieux Agir







GUIDE TECHNIQUE



LA TEMPÉRATURE 10

LES THERMOCOUPLES 11

RAPPELS TECHNIQUES 11
LOIS RÉGISSANT L'UTILISATION DES THERMOCOUPLES 11
MODES DE FABRICATION DES THERMOCOUPLES 12
CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES THERMOCOUPLES 13
CRITÈRES DE CHOIX POUR DÉFINIR UN CAPTEUR DE TEMPÉRATURE À BASE DE THERMOCOUPLES 16

LES SONDES À RÉSISTANCE Pt100 17

RAPPELS TECHNIQUES 17
MONTAGE DE LA SONDE Pt100 17
NORME 18

PUITS THERMOMÉTRIQUES 19

MATÉRIAUX POUR LA RÉALISATION DES PUITS THERMOMÉTRIQUES 19
LA DIRECTIVE N° 2014/68/UE : EQUIPEMENTS SOUS PRESSION 22

A - LA TEMPÉRATURE

Il existe plusieurs définitions de la température, suivant le domaine auquel elle fait référence. Par exemple :

Physique : Phénomène physique se présentant comme une manifestation de l'énergie cinétique qui traduit le degré d'agitation calorifique des molécules d'un corps ou d'une substance; paramètre arbitraire qui sert à mesurer ce phénomène.

Climatologie : État énergétique de l'air se manifestant par un échauffement plus ou moins important.

Physiologie : Degré de chaleur du corps humain ou animal.

La température est donc une grandeur intensive (grandeur utilisée pour décrire l'état d'un système dont la valeur numérique est indépendante de la quantité de matière qui constitue ce système), ce qui rend sa mesure difficile et incite à recourir à une échelle pratique, reposant sur des phénomènes physiques répétables et aisément identifiables, permettant de la repérer.

Aujourd'hui, l'échelle en vigueur est **l'échelle internationale de température de 1990 (EIT-90)**. Elle est le résultat de l'évolution des connaissances en thermométrie depuis la première échelle, datant de 1927, jusqu'à nos jours. Elle repose sur des points fixes de température (basés sur des transitions de phase de corps purs), des instruments (thermomètres) et des formules d'interpolation entre les points fixes ou d'extrapolation. L'évolution dans le temps de cette échelle est inéluctable ; elle rend compte de l'amélioration de l'exactitude de la température des points fixes et tend à rapprocher la matérialisation de l'échelle de la température thermodynamique.

Nous pouvons différentier deux catégories d'unités de mesure de la température: absolue et relative.

- **Absolue** est celle qui part du zéro absolu, et qui est la température théorique la plus basse possible. Elle correspond au point dans lequel les molécules et les atomes d'un système ont la plus petite énergie thermique possible.

- **Kelvin (système international)**: représenté par la lettre K et sans symbole "º" de degré. Il a été créé par William Thomson. Cette unité fut établie dans le système international d'unités en 1954. L'unité de température thermodynamique (le kelvin) est définie à partir de la valeur assignée au point triple de l'eau, 273,16 K (ou 0,01 °C).

- **Relatives** parce qu'elles sont comparées avec un procédé physico-chimique établi qui se produit toujours à la même température.

- **Degrés Celsius (système international)**: aussi appelé degré centigrade, représenté par le symbole ºC. Cette unité de mesure est définie en choisissant le point de congélation de l'eau à 0º et le point d'ébullition de l'eau à 100º, les deux mesures dans une atmosphère de pression et en divisant l'échelle en 100 parts égales dans lesquelles chacune correspond à 1 degré. Cette échelle fut proposée par Anders Celsius en 1742, un physicien et astronome suédois.

- **Degrés Fahrenheit (système international)** : cette unité de mesure est une prise de divisions entre les points de congélation et d'évaporation des dissolutions de chlorure d'ammonium. Ainsi la proposition de Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724, établit le zéro et le cent pour les températures de congélation et d'évaporation du chlorure d'ammonium dans l'eau. Il utilisa un thermomètre portable à mercure dans lequel il avait introduit un mélange de glace pilée et du chlorure d'ammonium à parts égales. Cette dissolution saline concentrée donnait la température la plus basse possible en laboratoire, à cette époque. Ensuite, il effectua un autre mélange de glace pilée et d'eau pure, qui détermina le point 30 ºF, qui fut ensuite fixé à 32 ºF (point de fusion de la glace) puis il exposa le thermomètre portable à la vapeur de l'eau bouillante pour obtenir le point 212 ºF (point d'ébullition de l'eau). La différence entre les deux points est de 180 ºF, qui, divisée en 180 parts égales, détermine le degré Fahrenheit.

L'EIT-90 est définie pour les températures situées au-dessus de 0,65 K et jusqu'à la température la plus élevée qu'il soit possible de mesurer à partir de la loi de Planck pour un rayonnement monochromatique. La température mesurée dans cette échelle (T90) est celle qui s'approche au mieux de la température thermodynamique. Elle a donc un caractère universel.

L'EIT-90 comporte plusieurs domaines. Pour chaque domaine de températures, elle définit donc **des points fixes de température ainsi qu'un instrument spécifique de mesure et d'interpolation** entre ces points fixes. Les points fixes de température correspondent à des transitions de phase de corps purs, par exemple les points de congélation du zinc, de l'étain ou de l'argent, les points de fusion du gallium ou les points triples de l'oxygène, du mercure ou de l'eau.

TEMPÉRATURE DU POINT FIXE (EN K)	CORPS	TYPE DE POINT
de 3 à 5	hélium	pression de vapeur saturante
13,8033	hydrogène	triple
environ 17	hydrogène (ou hélium)	pression de vapeur saturante (ou thermomètre à gaz)
environ 20,3	hydrogène (ou hélium)	pression de vapeur saturante (ou thermomètre à gaz)
24,5561	néon	triple
54,3584	oxygène	triple
83,8058	argon	triple
234,3156	mercure	triple
273,16	eau	triple
302,9146	gallium	fusion
429,7485	indium	congélation
505,078	étain	congélation
692,677	zinc	congélation
933,473	aluminium	congélation
1 234,93	argent	congélation
1 337,33	or	congélation
1 357,77	cuivre	congélation

En particulier, pour les températures les plus usuelles, l'EIT-90 définit :

- entre 13,803 K (- 259,346 °C) et 1 234,93 K (961,78 °C), 14 points fixes et l'instrument d'interpolation est un thermomètre à résistance de platine étalon ;
- au-dessus de 1 234,93 K (961,78 °C), 3 points fixes et la température est mesurée par pyrométrie optique en utilisant la loi de rayonnement de Planck par extrapolation à l'un de ces trois points fixes.

La température est aujourd'hui, après le temps, la grandeur la plus mesurée. Dans l'industrie, cette grandeur est particulièrement importante. En effet, elle conditionne souvent la qualité des produits fabriqués. Par ailleurs, sa mesure par des capteurs et son contrôle (par des régulateurs, des automates ou autre. . .) assurent également la sécurité des process et la maîtrise des dépenses énergétiques.

Il faut donc utiliser des capteurs adaptés aux process et permettant une mesure la plus précise possible en fonction des conditions d'utilisation. Il existe deux types de capteurs couramment employés pour réaliser cette fonction.

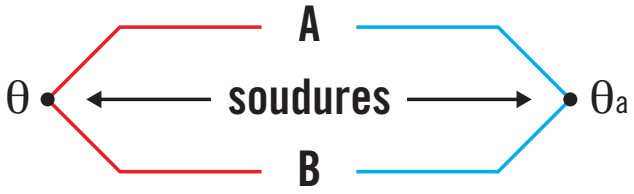
B - LES THERMOCOUPLES

1 - RAPPELS TECHNIQUES

L'effet Seebeck (ou effet thermoélectrique) :

Le physicien allemand Thomas Johann Seebeck donna son nom au phénomène qu'il découvrit en 1821. Il correspond à l'apparition d'une force électromotrice (F.E.M.) produite par une différence de température entre les jonctions de deux conducteurs de nature différente (A et B ci-dessous). La F.E.M. dépend de la différence de température et de la nature des conducteurs employés.

C'est ce phénomène qui est exploité pour la mesure de température. Un thermocouple est donc constitué de deux fils de métaux différents, soudés à l'une de leurs extrémités. Cette jonction est appelée « soudure chaude » et est installée dans le milieu dont on souhaite mesurer la température. Les deux autres extrémités sont reliées à l'appareil mesurant la F.E.M. produite par le thermocouple. Cette jonction est appelée « soudure froide ». La température de référence de cette soudure froide est habituellement à 0°C.



Le thermocouple défini ci-dessus est caractérisé par :

Son domaine d'utilisation

Sa limite de résolution, en mV/°C. Elle correspond à la F.E.M. créée par une différence de température entre les deux jonctions.

La F.E.M. générée par cette différence de température peut être calculée à partir de la formule suivante :

$$\Delta V = \int_{T_{ref}}^{T_c} S_{ab}(\theta)\, d\theta$$

Tc : température du milieu à mesurer dans lequel la soudure chaude est plongée

Tref : température de la soudure froide

Sab : coefficient de Seebeck, dépendant de la nature des conducteurs A et B

En pratique, cette FEM est souvent représentée en imposant la température de la soudure froide à 0°C. L'évolution de la FEM en fonction de la température de la soudure chaude, pour une soudure froide maintenue à 0 °C, n'est pas linéaire. Un thermocouple dont la FEM varie de manière importante permet de faire des mesures avec une plus grande sensibilité. Ainsi la mesure est plus précise.

2 - LOIS RÉGISSANT L'UTILISATION DES THERMOCOUPLES :

3 principes fondamentaux régissent le phénomène thermoélectrique

- L'effet Seebeck (vu précédemment)
- L'effet Peltier
- L'effet Thompson

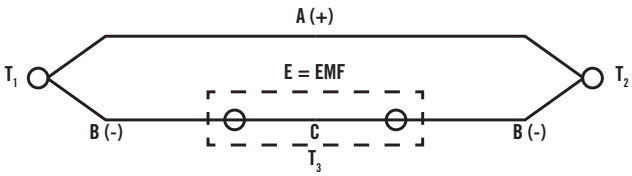
De ces 3 principes découlent les 3 lois suivantes :

- Loi des métaux (ou conducteurs) intermédiaires
- Loi des métaux (ou circuits) homogènes
- Loi des températures intermédiaires (ou successives)

Loi des métaux intermédiaires :

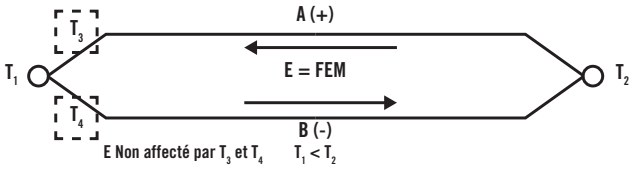
Cette loi précise qu'un métal ajouté (un conducteur de nature différente) dans le circuit du thermocouple n'a pas d'incidence sur la FEM produite tant que les jonctions du métal ajouté avec les autres métaux sont à la même température.

Cette situation est très fréquente. C'est le cas lorsqu'un voltmètre ou tout autre appareil (équivalent à un conducteur unique) est utilisé : il ne modifiera pas la FEM à mesurer.



Loi des métaux homogènes :

Cette loi établit « qu'un courant électrique ne peut être maintenu dans un circuit constitué d'un seul métal homogène, quelles qu'en soient les variations de sections, par l'application seule de chaleur ». Si une jonction de deux métaux différents est maintenue à T1, tandis que l'autre est maintenue à T2, l'effet FEM produit est indépendant et non affecté par la distribution de température le long des fils T3 et T4.



Loi des températures intermédiaires :

Dans les installations industrielles, il n'est pas aisé de maintenir la jonction de référence d'un thermocouple à une température constante (0°C). En effet, des moyens doivent être mis en œuvre pour que la FEM produite au niveau de la jonction de référence soit équivalente à celle qui serait générée si la jonction de référence était maintenue à une température standard, habituellement 0°C.

La loi des températures intermédiaires fournit un moyen d'associer la FEM produite par un thermocouple dans des conditions ordinaires avec une température standardisée constante. En effet, cette loi établit que la somme des FEM produites par deux thermocouples (l'un ayant ses jonctions à 0°C et à une température de référence donnée et l'autre ayant ses jonctions à cette température de référence et à la température mesurée) est équivalente à la FEM produite par un seul thermocouple avec ses jonctions à 0°C et à la température mesurée.

Conclusion :

En combinant ces trois lois fondamentales, nous pouvons utiliser le thermocouple pour mesurer une température. En effet,

- La somme algébrique de la FEM thermoélectrique générée dans tout circuit contenant des métaux homogènes de nature différente varie uniquement en fonction de la température au niveau de la jonction.
- Si toutes les jonctions d'un circuit, à l'exception de l'une d'entre elles, sont maintenues à une température de référence donnée, la FEM générée varie uniquement en fonction de la température de cette jonction et peut être utilisée pour mesurer sa température.

3 - MODE DE FABRICATION DES THERMOCOUPLES :

D'une manière générale, les thermocouples sont très employés dans l'industrie en raison de leur polyvalence : ils peuvent être utilisés sur une échelle de température très large (jusqu'à 2000°C), ont un temps de réponse rapide et une durée de vie élevée. Ils sont par ailleurs robustes, car de fabrication relativement simple et résistent très bien aux chocs et aux vibrations. Ils s'intègrent également facilement du fait de leur faible encombrement.

Néanmoins, aucun thermocouple n'est conçu pour répondre à tous les besoins. De nombreux types de thermocouples sont aujourd'hui disponibles sur le marché. Chacun présente des avantages et des inconvénients qu'il faut connaître pour déterminer s'il est adapté à l'environnement dans lequel il sera utilisé. Il s'agit de trouver le meilleur compromis.

Il existe plusieurs modes de fabrication. Les plus courants sont :

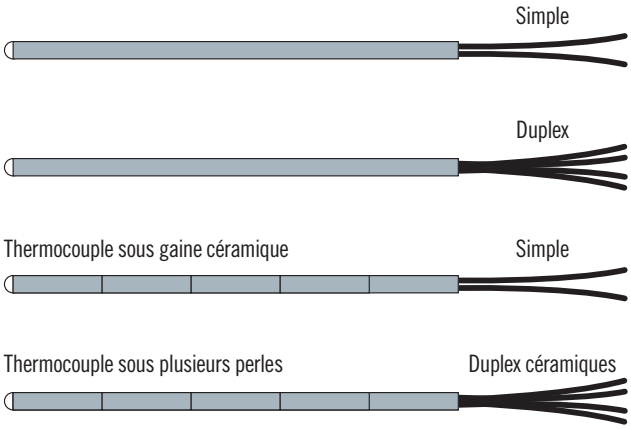
- A fils nus
- A isolation minérale

3.1 LES THERMOCOUPLES À FILS NUS :

Le thermocouple à fils est le plus basique. Il est composé de deux métaux de nature différente reliés à une extrémité afin de créer une jonction de mesure (soudure chaude). Le point commun de ce type de thermocouples est qu'ils ont tous une jonction de mesure exposée.

Pour la plupart d'entre eux, les avantages sont : temps de réponse rapide, solidité et utilisation à hautes températures. Le fait que la jonction soit exposée est toutefois un inconvénient, car cette exposition le rend sensible à l'environnement (notamment aux milieux oxydants et réducteurs) ; une protection est donc nécessaire.

Ci-dessous différents types de montage de thermocouples à fils nus



3.2 LES THERMOCOUPLES À ISOLATION MINÉRALE :

Afin de pallier aux inconvénients des modèles à fils, les thermocouples à isolation minérale peuvent être utilisés. Les deux fils du thermocouple sont incorporés dans un isolant céramique et sont protégés par une gaine métallique. Pour que le thermocouple dure longtemps, des gaines étanches aux contaminations par les produits chimiques et aux compositions physiques connues sont utilisées.

Les deux principaux composants sont :

A : Le matériau de l'isolation minérale :

Le tableau ci-dessous présente les quatre matériaux les plus utilisés pour ce type de thermocouple.

					STABILITÉ				
ISOLATION	FORMULE	POINT DE FUSION	TEMP. MAX. EN MILIEU OXYDANT	RÉS. AUX CHOCS THERMIQUES	ATM. RÉDUCTRICE	CARBONE	SCORIES ACIDES	SCORIES BASIQUES	MÉTAL
Alumine	Al 2 O 3	2037°C	1954°C	Bonne	Bonne	Correcte	Bonne	Bonne	Bonne
Magnésium	MgO	2760°C	2395°C	Correcte	Faible	Bonne	Faible	Bonne	Correcte
Dioxyde de thorium	ThO 2	3315°C	2700°C	Faible	Bonne	Correcte	Faible	Bonne	Exc.
Dioxyde de zirconium	ZrO 2	2590°C	2510°C	Correcte	Bonne	Correcte	Bonne	Faible	Bonne

Les paramètres les plus importants à prendre en considération dans le choix des isolations minérales sont la limite de température maximale et les performances à cette température. D'autres paramètres peuvent bien évidemment être pris en considération, tels que la résistivité, la pureté et la fragmentation. Ces paramètres sont toutefois secondaires par rapport à la température. Par exemple : le MgO, qui est l'isolant le plus utilisé a une limite de température maximale de 2 395 °C, une haute résistivité, une excellente pureté et une très bonne solidité.

B : La gaine métallique

Le tableau ci-dessous présente quelques-uns des nombreux matériaux qui peuvent être utilisés pour protéger les thermocouples à isolation minérale. Les deux paramètres les plus importants à prendre en considération pour le choix de la gaine sont : la température de fonctionnement et le milieu. Celui-ci peut être oxydant, réducteur, neutre ou bien sous vide. Par exemple, la gaine en inox 304 peut être utilisée dans tout type de milieu avec une température de fonctionnement maximale de 890 °C.

MATÉRIAU DE LA GAINE À ISOLATION MINÉRALE				
GAINE	POINT DE FUSION EN °C	TEMPÉRATURE MAX. DE L'AIR EN °C	TYPE DE MILIEU	TEMPÉRATURE CONTINUE MAX.
304 SS	1400°C	1048°C	O,R,N,V	895°C
310 SS	1400°C	1071°C	O,R,N,V	1145°C
316 SS	1250°C	960°C	O,R,N,V	930°C
321 SS	1415°C	815°C	O,R,N,V	871°C
347 SS	1425°C	915°C	O,R,N,V	871°C
Inconel	1398°C	1095°C	O,N,V (*)	1145°C
Cuivre	1082°C	315°C	O,R,N,V (**)	315°C
Aluminium	660°C	425°C	O,R,N,V	371°C
Platine	1770°C	1648°C	O,N (*)	1648°C
Molybdène	2620°C	535°C	V,N,R	2626°C
Tantale	3004°C	400°C	V	2760°C
Titane	1815°C	315°C	V,N	1090°C

O = Oxydant R=Réducteur. N = Neutre. V = Vide
(*) = Sensible à la corrosion sulfurique
(**) = Se dégrade rapidement en milieu oxydant

4 - CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES THERMOCOUPLES

4-1 : LES DIFFERENTS TYPES DE SOUDURES CHAUDES :

La partie où la soudure chaude est réalisée est exposée à la température à mesurer. Il existe principalement trois types de montages :

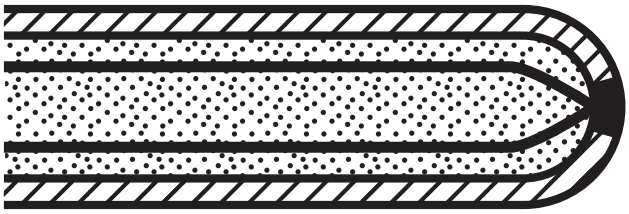
- Soudure chaude exposée
- Soudure chaude à la masse
- Soudure chaude isolée

Soudure chaude exposée :

Ce type de jonction permet un temps de réponse très court. Cependant, le thermocouple devra être utilisé dans des ambiances où les conditions environnementales sont clémentes (atmosphère neutre, sous pression atmosphérique, sans choc mécanique ou sans abrasion…). Dans des conditions plus sévères, le thermocouple pourra être destiné à un usage unique (en métallurgie, par exemple).

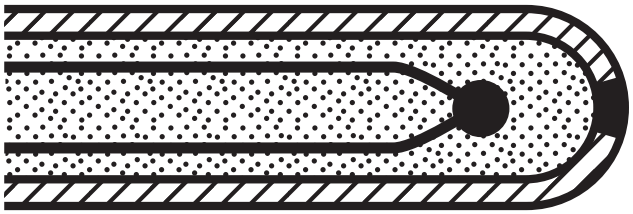
Soudure chaude à la masse :

Pour ce type de montage, on utilise des thermocouples chemisés. La soudure chaude est elle-même soudée à la gaine afin d'avoir un temps de réponse court. Le thermocouple est ainsi protégé des conditions environnementales dans lesquelles il est plongé. Avec ce mode de fabrication, les thermocouples de petits diamètres peuvent avoir un temps de réponse identique, voire meilleure, que les jonctions exposées. En effet, grâce à la gaine, la capacité opérationnelle (meilleure tenue aux atmosphères réductrices ou oxydantes, par exemple) et la température maximale supportée par la soudure chaude sont augmentées.



Soudure chaude isolée :

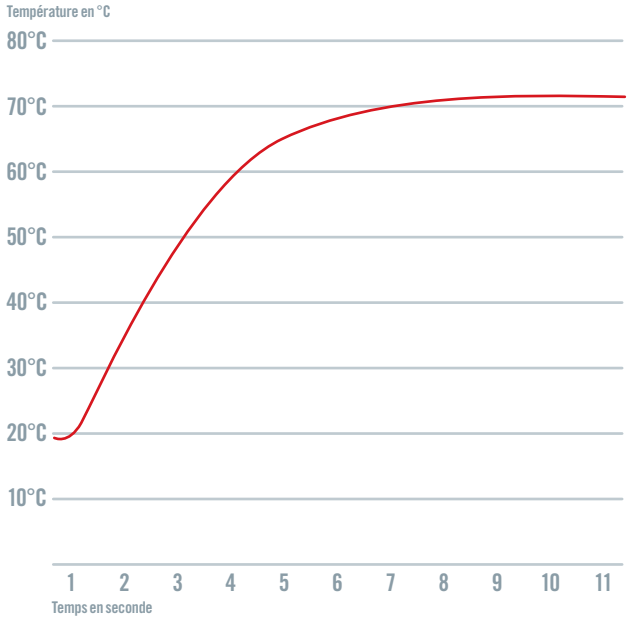
Dans ce montage, la soudure chaude et la gaine du thermocouple chemisé sont isolées grâce à l'isolation minérale. Ce type de jonction sera choisi lorsque le thermocouple est utilisé dans un environnement industriel. En effet, sans isolation, des perturbations électriques peuvent être présentes, et polluer la mesure. Elles peuvent aussi endommager, jusqu'à les détruire, les appareils sur lesquels les capteurs sont raccordés. L'inconvénient est un temps de réponse plus long que les deux montages précédents, à diamètre externe équivalent.



4-2 – TEMPS DE REPONSE :

La valeur du temps de réponse en secondes permet de caractériser la rapidité de réponse du thermocouple par rapport à une sollicitation thermique. Cette valeur représente le temps nécessaire pour atteindre 63% de la valeur finale.

(ci-dessous courbe représentative d'une mesure de temps de réponse)



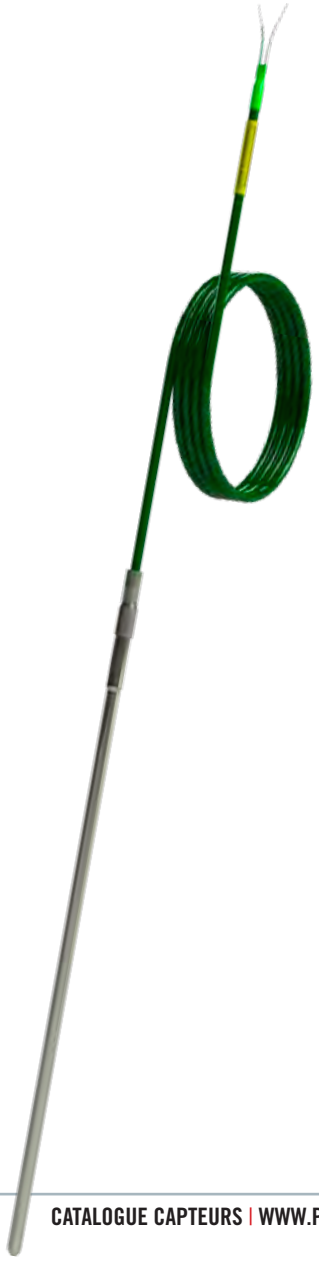
En fonction du type de soudure chaude réalisées, les temps de réponse caractéristiques que l'on peut obtenir sont indiqués ci-dessous :

- Exposée : 0,1 seconde
- À la masse : 2,1 secondes
- Isolée : 4,5 secondes

Les valeurs du tableau ci-dessous sont valables pour des thermocouples réalisés avec du câble chemisé avec une isolation minérale. Elles sont données à titre d'information.

DIAMÈTRE	SOUDURE CHAUDE	TEMPS DE RÉPONSE (S)
0,5 mm	isolée	0, 3
0,5 mm	A la masse terre	0,05
1,0 mm	isolée	0,4
1,0 mm	A la masse	0,1
3,0 mm	isolée	1,5
3,0 mm	A la masse	0,7
4,5 mm	isolée	2,0
4,5 mm	A la masse terre	1,1
6,0 mm	isolée	4,0
6,0 mm	A la masse terre	2,1
6,0 mm	exposée	0,1

En règle générale, plus le diamètre du thermocouple est gros, plus le temps de réponse est long et plus le capteur aura une durée de vie importante.



4-3 – NORME DE REFERENCE :

La norme CEI 584, et sa version française NF EN 60584, traite des couples thermoélectriques.

Partie 1 : Spécifications et tolérances en matière de FEM
Partie 3 : Câbles d'extension et de compensation

Tableau de correspondance entre température et FEM suivant le type de thermocouple (extrait de la norme NF EN 60584-1) :

TEMP.	TYPE DE THERMOCOUPLE							
	CEI 584							ASTM E988
	T	J	K	N	R	S	B	WRe 3 % -25 %
-40°C	-1,475	-1,960	-1,527	-1,023	-0,188	-0,194		
0°C	0	0	0	0	0	0	0	0
50°C	2,036	2,585	2,023	1,340	0,296	0,299	0,002	0,528
100°C	4.279	5,269	4,096	2,774	0,647	0,646	0,033	1,145
150°C	6.704	8,010	6,138	4,302	1,041	1,029	0,092	1,841
200°C	9.288	10,779	8,138	5,913	1,469	1,441	0,178	2,603
300°C	14,862	16,327	12,209	9,341	2,401	2,323	0,431	4,287
400°C	20.872	21,848	16,397	12,974	3,408	3,259	0,787	6,130
500°C		27,393	20,644	16,784	4,471	4,233	1,242	8,078
600°C		33,102	24,905	20,613	5,583	5,239	1,792	10,088
800°C			33,275	28,455	7,980	7,345	3,154	14,170
1000°C			41,276	36,256	10,506	9,587	4,834	18,230
1200°C			48,838	43,846	13,228	11,951	6,786	22,149
1400°C					16,040	14,373	8,956	25,882
1600°C					18,843	16,777	11,263	29,412
1800°C							13,591	32,712
2000°C								35,717

TYPE DE THERMOCOUPLE	VALEURS DE TOLÉRANCE1 (±°C) ET LIMITES DE TEMPÉRATURE DE VALIDITÉ		
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Type T	0,5 ou 0,004 x [t] -40°C à 350°C	1 ou 0,0075 x [t] -40°C à 350°C	1 ou 0,015 x [t] -200°C à 40°C
Type E Type J Type K Type N	1,5 ou 0,004 x [t] -40°C à 800°C -40°C à 750°C -40°C à 1 000°C -40°C à 1 000°C	2,5 ou 0,0075 x [t] -40°C à 900°C -40°C à 750°C -40°C à 1 200°C -40°C à 1 200°C	2,5 ou 0,015 x [t] -200°C à 40°C - -200°C à 40°C -200°C à 40°C
	1 pour t < 1 100°C. [1 + 0,003 x (t-1 100)] pour t > 1 100°C	1,5 ou 0,0025 x [t]	4 ou 0,005 x [t]
Type R ou S Type B	0°C à 1 600°C -	0°C à 1 600°C 600°C à 1 700°C	- 600°C à 1 700°C
Type C	-	426°C à 2 315°C	-
	-	0,01 x [t]	-
Type A	-	1 000°C à 2 500°C	-

CÂBLES D'EXTENSION OU DE COMPENSATION

SYMBOLE DU T.C	SYMBOLE DE L'EXTENSION	SYMBOLE DE LA COMPENSATION	CEI 584-3 JUILL. 90
T	TX	TC	
J	JX	JC	
E	EX	EC	
K	KX	KC	
N	NX	NC	
R-S	-	KC / SCA	
B	-	BC	

5 - CRITÈRES DE CHOIX DES THERMOCOUPLES POUR DÉFINIR UN CAPTEUR DE TEMPÉRATURE À BASE DE THERMOCOUPLE

Les thermocouples définis dans la norme ont des plages de températures différentes et des comportements différents suivant l'atmosphère dans laquelle ils sont plongés. La connaissance de ces paramètres est indispensable pour le choix du type de thermocouple à utiliser.

Le tableau ci-dessous indique les plages de température théoriques d'utilisation des thermocouples ainsi que les atmosphères admissibles :

TYPE DE THERMOCOUPLE	CODE	PLAGE DE TEMPÉRATURE	ATMOSPHÈRE
Cu - CuNi	T	-20 °C / +350 °C	Moyennement oxydante ou réductrice
Fe - CuNi	J	-20 °C / +760 °C	Réductrice, usage limité en atm. Oxydante
NiCr - Ni allié	K	-40 °C / +1100 °C	Oxydante propre ou inerte
Nicrosil - Nisil	N	0 °C / 1100 °C	Oxydante propre, usage limité en atm. Réductrice
Pt - PtRh13%	R	0 °C / 1600 °C	Oxydante
Pt - PtRh10%	S	0 °C / 1550 °C	Oxydante
PtRh6 % - PtRh30%	B	100 °C / 1600 °C	Oxydante
Tungstène(W) Rhénium (Re)	C, A	0 °C / 2300 °C	Réducttrice, inerte, hydrogène

5-1 THERMOCOUPLE À FILS NUS

Dans de nombreuses applications les thermocouples de type K peuvent être utilisés (température inférieure à 1100°C.

Nous recommandons les types emperlés pour les thermocouples platine / rhodium, qui peuvent être soumis à des températures plus élevées.

Pour utiliser les thermocouples de type R, S et B, nous utilisons une taille nominale du fil de 0,5 mm. L'isolant utilisé pour ce type de thermocouple est de l'alumine pure à 99,7 %.

5-2 CHOIX DES THERMOCOUPLES À ISOLANT MINÉRAL

Le comportement des thermocouples chemisés est étroitement lié à leur diamètre, par rapport à la température d'utilisation.

Température maxi. d'utilisation pour les thermocouples chemisés :

TC	GAINE		TEMP. MAXI. (°C)
	Ø (MM)	NATURE	
T	1	Inox 304L	260
	1,5		260
	2		260
	3		315
	4,5		350
	6		350
	8		350
J	1	Inox 304L	260
	1,5		440
	2		440
	3		520
	4,5		620
	6		720
	8		720
K	1	AISI 310	650
	1,5		650
	2		700
	3		750
	4,5		800
	6		800
	8		800
	1	AISI 446	700
	1,5		920
	2		920
	3		1070
	4,5		1100
	6		1100
	8		1100
	0,5	Inconel 600	600
	1		650
	1,5		650
	2		700
	3		750
	4,5		800
	6		1000
	8		1050
N	1,5	Inonel 600	650
	2		700
	3		750
	4,5		800
	6		1000
	3	Pyrosil	1070
	4,5		1150
	6		1150
	8		1150
S	1,5	Inconel 600	800
	2		800
	1,5	PtRh10%	1300

Ces températures maxi. d'utilisation sont données à titre indicatif. Les conditions d'utilisation (atmosphère oxydante, ou, au contraire, réductrice, cyclages thermiques…)peuvent altérer ces caractéristiques.

On accordera une attention particulière aux dérives, parfois élevées chez les thermocouples (pollution, diffusion métallurgique au point chaud…).

Un étalonnage périodique peut être approprié, voire nécessaire pour détecter cette dérive.

Le tableau ci-dessous présente les thermocouples les plus courants.

NOS DIAMÈTRES STANDARD POUR NOS CÂBLES IM (CÂBLES DE THERMOCOUPLES À ISOLATION MINÉRALE)		
DIAMÈTRE	TYPE T/C	GAINE
0,5 mm	K,N,J et T	Inconel 600 ou SS 316
1,0 mm	K,N,J et T	Inconel 600 ou SS 316
1,5 mm	K,N,J et T	Inconel 600 ou SS 316
3,0 mm	K,N,J,R,S et T	Inconel 600 ou SS 316
6,0 mm	K,N,J,R,S et T	Inconel 600 ou SS 316

Remarques : D'autres diamètres et gaines sont disponibles à la demande. Par exemple : les thermocouples de type N sont disponibles avec plusieurs gaines en Nicrobel et/ou en Pyrosil.

C - LES SONDES À RESISTANCES

1 - RAPPELS TECHNIQUES

Une sonde à résistance, appelée aussi RTD en anglais (Resistance Temperature Detector) fonctionne selon le principe de l'augmentation ou la diminution de la résistance électrique de certains métaux face à un changement de température, et ces variations sont reproductibles et prévisibles.

Les plages de température des sondes RTD sont plus réduites que certains thermocouples et leur temps de réponse est plus lent, mais ces sondes sont plus stables et ont une meilleure répétabilité sur de longues périodes de temps.

Comparativement aux thermocouples, ils présentent donc les avantages suivants :

1. Grande plage de températures de -200 °C à +650 °C (théorique, voir plus bas)
2. Courbe caractéristique quasi linéaire
3. Précision élevée
4. Bonne interchangeabilité

La sonde à résistance la plus utilisée dans l'industrie est la sonde Pt100. Elle est fabriquée à base de platine (Pt) et a une résistance de 100 ohms à 0°C. Des variantes existent : Pt50, Pt200…Pt1000, ainsi que des sondes à résistance à base de cuivre ou de nickel (utilisation de moins en moins fréquente).

LOI DE VARIATION RÉSISTANTE/TEMPÉRATURE

Les valeurs fondamentales des résistances de mesure en platine dans les domaines d'utilisation 0 à 850°C et -200 à 0°C sont déterminées sur la base des fonctions d'interpolation suivantes (valeurs basées sur l'EIT 90) :

$R(t) = R_0 (1 + At + Bt^2)$ de 0°C à 850°C

$R(t) = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t-100)]$ de -200°C à 0°C

$A = 3{,}9083 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$

$B = -5{,}775 \times 10^{-7}\ °C^{-2}$

$C = -4{,}183 \times 10^{-12}\ °C^{-3}$

On distingue deux technologies :

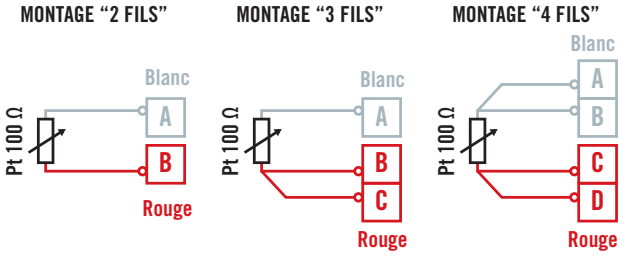
- **résistances à fil de platine enroulé sur support isolant**. Ce support est dans la plupart des cas un corps céramique, mais il existe des supports en verre. Les domaines d'utilisation vont jusqu'à 450 °C, exceptionnellement jusqu'à 850 °C.

Ces éléments sensibles sont utilisés pour leur grande exactitude et grande stabilité.

- **dépôt sur un substrat céramique d'un film de platine**. Les domaines d'utilisation vont jusqu'à 450 °C. Leur stabilité est moindre par rapport aux éléments traditionnels à enroulement, mais elles ont une excellente tenue à la vibration jusqu'à 200 °C, un temps de réponse plus court, et un coût plus faible.

2 - MONTAGE DE LA SONDE Pt100

Il existe 3 possibilités de montage d'une sonde Pt100 dans un capteur :



Ces trois modes de montage présentent tous des avantages et des inconvénients.

- Le montage « 2 fils » est le plus simple et le moins coûteux mais il est aussi le moins précis. En effet, la résistance des câbles de raccordement s'ajoute à la résistance du capteur et introduit une erreur importante qui augmente avec la longueur du câble.

En effet, la résistance des câbles est :

R= Ro xL/s

avec Ro : résistivité du câble (fonction de la nature du matériau utilisé)

L : longueur du câble

S : section du conducteur

Le cuivre a une résistivité de $17x10^{-9}$ ohms/mètre.

Si on utilise un câble en cuivre avec deux conducteurs de 0,25mm² de section et de 1 mètre pour raccorder la Pt100, la résistance sera de :

R = 17x10-9 x 1 / 0,25x10-6 = 0,068 ohm par conducteur.

La résistance totale sera de 0,136 ohm.

Sachant que la résistance d'une Pt100 varie de 0,3851 ohm/°C, 0,136 ohm représente donc une erreur de 0,35 °C !

- Le montage « 3 fils » est le montage le plus couramment utilisé dans l'industrie car c'est le meilleur compromis entre le coût et la précision. En effet, avec ce montage, on compense la résistance du câble en réalisant une mesure des résistances des boucles A-B et B-C par pont de Wheatstone. Cela implique que les trois conducteurs aient une résistance identique. Comme ce n'est jamais le cas, il subsiste une erreur mais celle-ci est minime.

- Le montage « 4 fils » est le plus précis car les résistances de ligne et de contact sont éliminées par mesure (mesures entre A-D et B-C). Cette solution est surtout utilisée en laboratoire car elle coûte plus cher à mettre en œuvre (ajout d'un conducteur supplémentaire).

3 - NORME

La norme internationale CEI 60751 (Thermomètres à résistance de platine industriels et capteurs thermométriques en platine) définit des caractéristiques pour les éléments sensibles et pour les capteurs de température comme :

- La relation entre la résistance et la température
- les tolérances pour les éléments
- les tolérances pour les capteurs

TABLE DE CORRESPONDANCE CEI 751 (EXTRAITS) : TEMPÉRATURE ET RÉSISTANCE

°C EIT 90	Ω	°C EIT 90	Ω	°C EIT 90	Ω	°C EIT 90	Ω	°C EIT 90	Ω
-200	18,52	10	103,9	210	179,53	410	250,53	610	316,92
-190	22,83	20	107,79	220	183,19	420	253,96	620	320,12
-180	27,10	30	111,67	230	186,84	430	257,38	630	323,30
-170	31,34	40	115,54	240	190,47	440	260,78	640	326,48
-160	35,54	50	119,4	250	194,10	450	264,18	650	329,64
-150	39,72	60	123,24	260	197,71	460	267,56	660	332,79
-140	43,88	70	127,08	270	201,31	470	270,93	670	335,93
-130	48,00	80	130,90	280	204,90	480	274,29	680	339,06
-120	52,11	90	134,71	290	208,48	490	277,64	690	342,18
-110	56,19	100	138,51	300	212,05	500	280,98	700	345,28
-100	60,26	110	142,29	310	215,61	510	284,30	710	348,38
-90	64,30	120	146,07	320	219,15	520	287,62	720	351,46
-80	68,33	130	149,83	330	222,68	530	290,92	730	354,53
-70	72,33	140	153,58	340	226,21	540	294,21	740	357,59
-60	76,33	150	157,33	350	229,72	550	297,49	750	360,64
-50	80,31	160	161,05	360	233,21	560	300,75	760	363,67
-40	84,27	170	164,77	370	236,70	570	304,01	770	366,70
-30	88,22	180	168,48	380	240,18	580	307,25	780	369,71
-20	92,16	190	172,17	390	243,64	590	310,49	790	372,71
-10	96,09	200	175,86	400	247,09	600	313,71	800	375,70
0	100,00							810	378,68
								820	381,65
								830	384,60
								840	387,55
								850	390,48

CLASSE DE TOLÉRANCE DES CAPTEURS

La Norme CEI 751 définit les tolérances d'interchangeabilité comme suit :

CLASSE DE TOLÉRANCE	TOLÉRANCE
A	0,15 + 0,002 x [t]
B	0,3 + 0,005 x [t]

[t] est la valeur absolue de la température en °C.

D'après la norme, les capteurs de température ne peuvent pas être exposés à des températures supérieurs à 600°C.

Selon notre expérience, nous limitons les capteurs industriels Pt 100 à 450 °C pour ce qui concerne la Classe A.

CLASSE DE TOLÉRANCE POUR LES SONDES Pt100

TEMPÉRATURE (°C)	TOLÉRANCE			
	CLASSE A		CLASSE B	
	(+/-°C)	(+/-Ω)	(+/-°C)	(+/-Ω)
-200	0,55	0,24	1,30	0,56
-100	0,35	0,14	0,80	0,32
0	0,15	0,06	0,30	0,12
100	0,35	0,13	0,80	0,30
200	0,55	0,20	1,30	0,48
300	0,75	0,27	1,80	0,64
400	0,95	0,33	2,30	0,79
500			2,80	0,93
600			3,30	1,06

La norme prévoit la possibilité d'avoir des classes de tolérance définies à partir d'une fraction de la classe B.

Classe B/3 : Tolérance : 0,1 + 0,0017 x t

D - PUITS THERMOMETRIQUES

Les puits thermométriques (ou doigts de gant) et les tubes de protection sont utilisés pour protéger les éléments de mesure des thermocouples (soudure chaude) ou sonde Pt100 contre les dommages mécaniques et contre les milieux corrosifs ou contaminants.

Les différents types de construction disponibles permettent à l'utilisateur de choisir la bonne combinaison en fonction de ses besoins.

Par exemple : les tubes de protection en fonte sont principalement utilisés dans les installations utilisant de l'aluminium, du magnésium ou du zinc en fusion. Les tubes en céramique sont quant à eux utilisés dans les industries telles que : les industries sidérurgiques, l'industrie du verre, du ciment et de la chaux. Leurs principaux avantages sont leur résistance aux hautes températures et aux chocs thermiques, leur inertie chimique, leur bonne résistance à l'abrasion et leur rigidité diélectrique élevée.

Les puits thermométriques doivent remplir deux missions principales :

La première est de protéger les capteurs de température contre la corrosion ou l'oxydation liée au traitement et contre les contraintes mécaniques. Chacun des matériaux susmentionnés fournit différents degrés de protection pour différentes conditions de fonctionnement. Ils permettent également de démonter les capteurs sans arrêter la production.

La deuxième est d'assurer la sécurité de l'installation en réalisant une étanchéité parfaite entre le process et l'extérieur. Ils doivent donc être conçus pour résister aux conditions, parfois sévères, de pression, débit, viscosité du fluide dans lequel ils sont plongés.

Quand la Directive N°2014/68/UE : EQUIPEMENTS SOUS PRESSION est d'application pour les installations de nos clients, nous pouvons fournir des éléments afin d'être conforme.(Voir chapitre D-2)

Dans les pages suivantes, vous trouverez la liste des différents matériaux avec quelques recommandations d'utilisation. En règle générale, il convient d'utiliser des éléments à forte teneur en chrome en raison de sa résistance à l'oxydation et au souffre à forte température. La présence d'aluminium (1-2 %) dans la surface est également utile pour sa forte résistance : un film de protection en mélange d'oxyde de chrome / alumine se forme.

D-1 : MATERIAUX POUR LA RÉALISATION DES PUITS THERMOMETRIQUES

De nombreuses variétés d'aciers et d'alliages à base de nickel sont utilisées pour la fabrication des puits thermométriques. Aucun autre matériau n'est en mesure de supporter les conditions de fonctionnement requises.

Il est important d'utiliser le bon métal pour concevoir ce type de produit. Il est évident que l'utilisation d'un métal inadapté entrainera un dysfonctionnement prématuré et qu'un métal dépassant les caractéristiques requises pour une installation donnée engendrera des frais inutiles.

Les principaux métaux utilisés pour la fabrication de doigts de gant sont l'acier au carbone, les aciers au chrome-molybdène, les aciers inoxydables (304, 310, 316, 321, 347, 304L, 316L, 446) et les alliages à base de nickel (Inconel, Incoloy, Hastelloy).

- ACIERS INOXYDABLES :

Ce groupe de métaux forme un film invisible en oxyde de chrome résistant à l'oxydation et aux attaques corrosives par les produits chimiques et les acides. Pour être efficaces, ils doivent contenir au minium 14 % de chrome. Les aciers inoxydables de la série

300 sont dit « austénitiques » et ceux de la série 400 sont dits « ferritiques ». Contrairement aux aciers ferritiques, les aciers inoxydables austénitiques ne deviennent pas cassants à basses températures.

SS 304 : Cet acier inoxydable austénitique est généralement le plus recommandé. Comme les autres aciers inoxydables de la série 300, l'acier SS 304 est sujet à la « précipitation de carbure » entre 370 et 900 ºC. En d'autres termes, le chrome produit des carbures lorsque l'acier SS 304 est refroidit lentement dans cette même plage de températures. L'effet net est un épuisement localisé du chrome autour des carbures, ce qui peut entrainer une corrosion intergranulaire par les acides d'autres substances corrosives. Cet effet est particulièrement visible au niveau des soudures (avec pour conséquence la désintégration des soudures). La température maximale de l'air supportée par l'acier SS 304 en fonctionnement continu est de 900 ºC. Il faut rester vigilant car la solidité du métal chute considérablement à fortes températures. L'acier SS 304 est très utilisé pour la fabrication de doigts de gant destinés à des applications à faibles températures car la plupart des produits chimiques organiques et inorganiques n'ont aucun effet sur lui.

SS 310 : Contient davantage de chrome (25 %) et de nickel (20 %) pour améliorer la résistance aux fortes températures. L'acier SS 310 est sujet à la précipitation de carbure entre 400 et 870 ºC. La température maximale de l'air supportée par l'acier SS 310 en fonctionnement continu est de 1 150ºC. Il est utilisé pour des applications nécessitant une bonne résistance aux fortes températures ou dans les milieux cémentants et réducteurs.

SS 316 : Un autre acier inoxydable austénitique très utilisé pour sa grande polyvalence. L'acier SS 316 contient 18 % de chrome et 12 % de nickel, mais contient également 2-3 % de molybdène pour améliorer sa résistance aux chlorures. L'acier SS 316 est sujet à la précipitation de carbure entre 400 et 870 ºC. La température maximale de l'air qu'il supporte en fonctionnement continu est de 900ºC. L'acier SS 316 est utilisé lorsque qu'une résistance accrue à la corrosion est requise, en particulier en présence de chlorures.

304L et 316L : Les versions des aciers SS 304 et SS 316 avec une faible teneur en carbone. Ces alliages permettent de résoudre le problème de précipitation des carbures grâce à leur faible teneur en carbone (0,03 % au lieu de 0,08 % maximum).

3 - ALLIAGES À BASE DE NICKEL :

A. Incoloy, Inconel, Monel

Les alliages Inconel et Incoloy à base de nickel sont un groupe d'alliages très importants. Leur résistance aux attaques corrosives par de nombreux produits chimiques agressifs est excellente. Leur résistance à l'oxydation est également excellente à fortes températures et leur résistance aux fortes températures est bonne. Ils contiennent généralement 15 à 23 % de chrome pour créer un film de protection en oxyde. L'Inconel contient 40 à 73 % de nickel tandis que l'Incoloy en contient 32 à 42 % et 30 à 36 % de fer. Certaines classes contiennent une petite quantité de titane ou de tantale pour améliorer la résistance aux fortes températures et de l'aluminium pour renforcer la protection assurée par le film en oxyde lorsqu'il est soumis à de fortes températures (un film composé d'un mélange d'oxyde de chrome et d'aluminium).

Inconel 600 : Forte teneur en nickel (76%) et en chrome (15,5%), pour résister aux milieux oxydants et réducteurs. Cet alliage est utilisé dans plusieurs milieux corrosifs à fortes températures.

Inconel 601: Forte teneur en nickel (76%) et en chrome (15,5%), plus 1,5% d'aluminium. Bonne résistance aux fortes températures. I601 fournit une résistance remarquable à l'oxydation et une bonne résistance aux milieux cémentants et aux milieux contenant du soufre.

Incoloy 800: 32,5 % nickel, 46,0 % fer, 21 % chrome. Résistance à l'oxydation et à la cémentation à fortes températures. Résiste aux attaques sulfuriques et à la corrosion dans de nombreux milieux.

Incoloy 800H : Une version spéciale de l'acier Incoloy 800, avec une petite quantité contrôlée de carbone pour améliorer la résistance aux fortes températures.

Monel 400 : Forte teneur en nickel (76%) et en chrome (15,5%). Le Monel assure une bonne résistance à la corrosion en eau salée. Non sujet à la fissuration par corrosion sous chlorure. Le Monel est utilisé pour les échangeurs de chaleur et les applications utilisant de l'acide sulfurique.

B. Hastelloy

Ce type d'alliages à base de nickel est utilisé pour son excellente résistance à la corrosion dans de nombreux milieux agressifs grâce à leur forte teneur en molybdène.

Hastelloy B : 61 % de nickel, 28 % de molybdène. Excellente résistance à la corrosion par les acides hydrochloriques et les acides sulfuriques, phosphoriques et acétiques ainsi que par le chlorure d'hydrogène.

Hastelloy C : 54 % de nickel, 16 % de molybdène, 15,5 % de chrome, 4 % de tungstène. Excellente résistance à la corrosion par de nombreux environnements chimiques, notamment l'acide ferrique et le chlorure cuivrique, les acides minéraux contaminés et le gaz chloré humide. Résistant à l'oxydation à 1 000 °C.

Hastelloy X : 47 % de nickel, 9 % de molybdène, 22 % de chrome, 0, 5% de tungstène. Bonne résistance aux fortes températures et résistant à la corrosion à 1 200 °C. Bonne résistance également aux milieux réducteurs.

4 – AUTRES MATERIAUX :

Pour de nombreuses applications, la température est trop élevée pour effectuer des mesures avec des matériaux en acier inoxydable standard ou avec des doigts de gant fabriqués avec des alliages à base de nickel. Les aciers inoxydables les plus courants et les alliages à base de nickel fondent avant ou à 1400 °C et s'affaiblissent ou deviennent moins rigides avant d'arriver aux alentours de 1 400 °C. D'autres matériaux doivent être utilisés pour ce type d'applications.

Il existe deux types de métaux avec un point de fusion bien supérieur aux aciers inoxydables et aux alliages à base de nickel : le tantale : 2 996°C et le molybdène : 2 610°C. La nature de ces métaux limite toutefois leur utilisation à forte température :

- ils s'oxydent rapidement (le tantale au dessus de 276 °C et le molybdène au-dessus de 500 °C). Ils ne peuvent donc pas être utilisés pour la fabrication de puits thermométriques, sauf dans des milieux strictement non oxydants.

- Par ailleurs, ils coûtent trop cher pour être utilisés pour la fabrication de puits thermométriques ou de tubes de protection en standard. Seules quelques applications utilisent ces matériaux, comme, par exemple, les fours de frittage pour l'industrie nucléaire.

La solution est d'utiliser des tubes de protection en matériaux non métalliques ou céramiques. Il existe de nombreux matériaux de ce type résistants aux fortes températures, chacun avec ses propres capacités : le quartz, le carbure de silicium, le nitrure de bore, la mullite et l'alumine.

Bien que ces matériaux présentent différents degrés de résistance aux fortes températures, ils ont également leurs inconvénients. Étant presque entièrement composés de céramique, ils sont extrêmement cassants et peuvent être brisés assez facilement lorsqu'ils subissent un choc mécanique. En outre, la plupart de ces matériaux ont une très faible résistance aux chocs thermiques. Si le matériau est exposé subitement à une flamme sur un côté, il se dilate. Étant donné que l'autre côté est plus froid, la dilatation n'est pas uniforme. Si le choc thermique est suffisamment important, le tube de protection finira par se fissurer. Plus le coefficient de dilatation thermique de ces matériaux est faible, plus ils seront résistants aux chocs thermiques et ils se fissureront donc moins facilement.

Vous trouverez ci-après une présentation des matériaux susmentionnés avec quelques exemples d'applications courantes.

Quartz :

Le quartz, silice pure, a un très faible coefficient de dilatation thermique, il est donc très résistant à la fissuration par choc thermique. C'est également un matériau très inerte chimiquement qui résiste aux attaques par de nombreux produits chimiques corrosifs et métaux liquides. Malheureusement, le fait que le quartz soit un « verre » surfondu limite ses possibilités d'utilisation. Il se dévitrifie aux alentours de 1 094 °C, il ne peut donc pas être utilisé pour des installations fonctionnant au-delà de cette température. De plus, toute contamination de la surface accélère la dévitrification à fortes températures (la dévitrification signifie que le quartz se re-cristallise et ne peut pas être utilisé au-dessus de 1 094 °C).

Le quartz est souvent utilisé par l'industrie spécialisée dans la fonte de métaux comme tube de protection jetable pour thermocouple en raison de son excellente résistance aux chocs thermiques. Le tube en quartz est plongé dans le métal en fusion pour mesurer la température (il est utilisé pour contrôler la température de coulée). Grâce à son excellente résistance aux chocs thermiques, le quartz fondu peut supporter les changements brusques de température, de température ambiante à température de fusion.

Carbure de silicium :

Le carbure de silicium est un autre minéral résistant à la corrosion provoquée par de nombreux milieux agressifs, tels que les gaz sulfureux. Son faible coefficient de dilatation thermique lui confère une excellente résistance aux chocs thermiques et une bonne conductivité thermique. Ce matériau est fabriqué par la société Carborundum Company Groupe St-Gobain. Il existe deux types de carbures de silicium : Carbofrax A : environ 90 % de carbure de silicium, comblé principalement par de la silice ; Carbure de silicium KT : environ 96 % de carbure de silicium.

Les puits thermométriques avec du carbofrax coûtent beaucoup moins cher que le carbure de silicium KT, mais ils ne sont pas étanches aux gaz. Leur résistance aux fortes températures est toutefois excellente, allant jusqu'à 1 649 °C. Lorsqu'il convient d'utiliser ce type de capteur, un « manchon » interne en alumine permet de protéger les thermocouples en platine-rhodium contre les contaminations. Le carbure de silicium KT est utilisé dans le cadre d'applications spéciales, lorsque des thermocouples étanches aux gaz très denses sont nécessaires. Le carbure de silicium est souvent utilisé en métallurgie pour sa bonne résistance aux chocs thermiques et pour ses capacités face aux températures élevées. Il est utilisé comme tube de protection, inséré dans une poche de coulée pour mesurer la température de fusion.

Nitrure de bore :

Le nitrure de bore est un matériau de synthèse fabriqué par la Carborundum Company Groupe St-Gobain pouvant être utilisé en milieu oxydant jusqu'à environ 1 094 °C ou en réduction de milieu inerte jusqu'à environ 2 760 °C. Son coefficient de dilatation thermique est très faible ce qui le rend très résistant aux chocs thermiques. Il n'est pas sujet à la mouillabilité de nombreux métaux liquides. Son principal avantage est qu'il est usinable avec des équipements ordinaires et que son caractère lubrifiant est assez

similaire à celui du graphite. Le nitrure de bore est utilisé depuis peu comme doigt de gant avec un thermocouple étalonné de type B pour mesurer la température de coulée des cupronickels.

Alumine et Mullite :

L'alumine (oxyde d'aluminium) et la mullite (un composé d'alumine et de silice) ont été utilisés pendant de nombreuses années comme doigts de gant pour les thermocouples en chrome-alumel et platine-rhodium. Ils peuvent être utilisés à fortes températures : 1 900 °C en ce qui concerne l'alumine très pure et 1 700 °C pour la mullite. L'un des problèmes de ces deux matériaux est qu'ils sont sensibles aux chocs thermiques. Ils peuvent se fissurer s'ils sont exposés à de brusques changements de température localisés et non uniformes, en refroidissement comme en chauffage.

Le coefficient de dilatation thermique de la mullite est égal à environ 2/3 du coefficient de dilatation thermique de l'alumine, ce qui le rend proportionnellement plus résistant aux chocs thermiques. Ces deux matériaux sont étanches aux gaz. Contrairement à la mullite, l'alumine doit être utilisée pour les thermocouples en platine-rhodium avec des applications en tous types de milieux, exceptés les milieux oxydants. En effet, le silicium peut être réduit par la mullite et il contamine les thermocouples en platine-rhodium, ce qui compromet leur étalonnage.

Généralement, l'alumine et la mullite servent à la fabrication de tubes de protection utilisés dans des applications à fortes températures, où le risque de choc thermique ou de dommage mécanique est faible. Ce type de tube de protection est aussi largement utilisé par l'industrie du verre.

D-2 - LA DIRECTIVE N°2014/68/UE : ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION

La directive européenne « équipements sous pression » (DESP) fixe les exigences envers les équipements sous pression pour la mise en circulation des équipements sous pression à l'intérieur de l'espace économique européen. La version actuellement en vigueur est la directive 2014/68/UE du Parlement européen et du Conseil du 15 mai 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché des équipements sous pression.

Suite à l'examen des fiches du Comité de Liaison des Appareils sous Pression (CLAP) relatives à la Directive 2014/68/UE, PYROCONTROLE vous informe que

- Un capteur isolé ne répond pas à la définition de l'accessoire sous-pression (Numéro d'orientation A-25 – Numéro CLAP X029)
- Si on considère un capteur comme un composant incorporé à un équipement, les exigences doivent être vérifiées mais le marquage ne s'applique pas (Numéro d'orientation A-22 – Numéro CLAP X027)
- Les procédures d'évaluation de la conformité et les exigences essentielles de sécurité de la DESP 97/23/CE s'appliquent à la chaîne de sécurité complète (Numéro d'orientation A-25 – Numéro CLAP X029)

En conséquence, le marquage CE ne peut être apposé (au titre de la Directive Équipements sous pression) sur un capteur isolé.

Pour satisfaire les exigences nous sommes en capacité de fournir les éléments suivants :

- note de calcul (ASME 19.3 ou autres référentiels)
- traçabilité matière
- qualification des soudures
- qualification des soudeurs
- essais et contrôles (ressuage, test hélium, PMI, épreuve hydraulique, ...)

EXEMPLE DE CONFIGURATION DE VOTRE CAPTEUR

CODE - CONFIGURATEUR

Paramètres à indiquer à la commande

MODÈLE	RACCORDEMENT PROCESS	TÊTE		TC		NATURE GAINE		Ø GAINE (mm)		LONG. L (mm)		SOUDURE CHAUDE		TRANSMETTEUR (EN OPTION)		ÉCH. TRANSMETTEUR (EN OPTION)		OPTIONS (EN OPTION)
TCG	5	2	-	1J	-	CM	-	6	-	500	-	I	-	A	-	0-600°	-	2
Référence tableau et schéma	1	2		3		4		5		6				7				
Choix possible	Sans : 5 Avec extension et raccord G1/2" : 6 Avec raccord sous tête G1/2" : 9	DAN : 2		1T 1J 1K 1N 2K 2J		316L : AC INCONEL600 : CM PYROSIL : DB		4,5 6 8		100 à 30000		Isolé : I (standard) à la Masse : M		LC5334A-100 : A LC5331A-321 : B LC5335A-100 : C				IP65 : 1 Epoxy : 2 IP65 + epoxy : 3

SCHÉMA

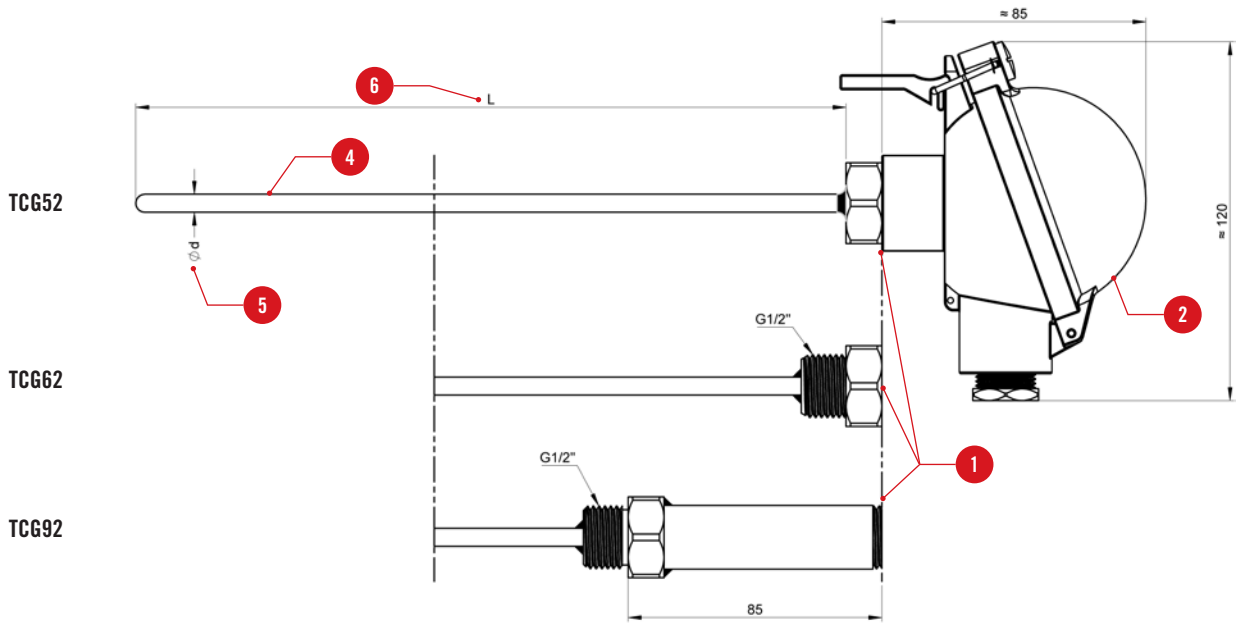


TABLEAU DE TYPE CONDUCTEURS - DIAMÈTRE FILS

TC Classe 1 (3)	Diamètre de la gaine (mm)		
	4,5	6	8
T (classe 2)	316L	316L	316L
J	316L	316L	316L
K	INCONEL600	INCONEL600	INCONEL600
N	INCONEL600	INCONEL600	- (4)
	PYROSIL	PYROSIL	PYROSIL
2J	316L	316L	316L
2K	INCONEL600	INCONEL600	INCONEL600

TRANSMETTEUR (NON COMPATIBLE EN DUPLEX) (7)

Transmetteur			
Entrée	Sortie	Isolation galvanique	Référence
TC	4-20mA	1,5kV	LC5334A-100
TC + Pt100	4-20mA	1,5kV	LC5331A-321
TC + Pt100	4-20mA + HART	1,5kV	LC5335A-100

BRANCHEMENT

Thermocouple simple

Rouge +
Noir -

Thermocouple duplex

Rouge +
Noir -
Vert +
-

CHAUVIN ARNOUX
190, rue Championnet
75876 PARIS Cedex 18
Tél. : +33 1 44 85 44 85
Fax : +33 1 46 27 07 48
info@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.fr

CHAUVIN ARNOUX METRIX
190, rue Championnet
75876 PARIS Cedex 18
Tél. : +33 1 44 85 44 85
Fax : +33 1 46 27 07 48
info@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.fr

CHAUVIN ARNOUX ENERGY
16, rue Georges Besse - Silic 44
92182 ANTONY Cedex
Tél. : +33 1 75 60 10 30
Fax : +33 1 46 66 62 54
info@enerdis.fr
www.chauvin-arnoux-energy.com

CHAUVIN ARNOUX MANUMESURE
45 route de Saint Eugène
14130 REUX
Tél. : +33 2 31 64 51 00
Fax : +33 2 31 64 51 52
info@manumesure.fr
www.manumesure.fr

VOS CONTACTS

FRANCE

SECTEUR SUD-EST
Téléphone : +33 (0)4 72 14 16 31
info@pyrocontrole.com

SECTEUR OUEST
Téléphone : +33 (0)4 81 76 02 55
info@pyrocontrole.com

SECTEUR ILE-DE-FRANCE/NORD-EST
Téléphone : +33 (0)4 81 76 02 54
info@pyrocontrole.com

INTERNATIONAL

SERVICE EXPORT PYROCONTROLE
Téléphone : +33 (0)4 72 14 15 40
export@pyrocontrole.com

10 FILIALES DANS LE MONDE

ALLEMAGNE
CHAUVIN ARNOUX GMBH
Ohmstraße 1
77694 KEHL / RHEIN
Tél. : +49 7851 99 26-0
Fax : +49 7851 99 26-60
info@chauvin-arnoux.de
www.chauvin-arnoux.de

AUTRICHE
CHAUVIN ARNOUX GES.M.B.H
Gastgegasse 27
1230 WIEN
Tél. : +43 1 61 61 9 61
Fax : +43 1 61 61 9 61-61
vie-office@chauvin-arnoux.at
www.chauvin-arnoux.at

CHINE
SHANGHAI PU-JIANG ENERDIS INSTRUMENTS CO. LTD
3 Floor, 23 Building
Gemdale Viseen Minhang Technology
& Industrial Park Project
1288 lane, Zhongchun Road Minhang
District, SHANGHAI City.
Tél. : +86 21 65 21 51 96
Fax : +86 21 65 21 61 07
info@chauvin-arnoux.com.cn

ESPAGNE
CHAUVIN ARNOUX IBÉRICA SA
C/ Roger de Flor N°293
1a Planta
08025 BARCELONA
Tél. : +34 902 20 22 26
Fax : +34 934 59 14 43
info@chauvin-arnoux.es
www.chauvin-arnoux.es

ITALIE
AMRA SPA
Via Sant'Ambrogio, 23
20846 MACHERIO (MB)
Tél. : +39 039 245 75 45
Fax : +39 039 481 561
info@amra-chauvin-arnoux.it
www.chauvin-arnoux.it

MOYEN ORIENT
CHAUVIN ARNOUX MIDDLE EAST
PO Box 60-154
1241 2020 JAL EL DIB
(Beyrouth) - LIBAN
Tél. : +961 1 890 425
Fax : +961 1 890 424
camie@chauvin-arnoux.com
www.chauvin-arnoux.com

ROYAUME UNI
CHAUVIN ARNOUX LTD
Unit 1 Nelson Ct, Flagship Sq
Shaw Cross Business Pk, Dewsbury
West Yorkshire - WF12 7TH
Tél. : +44 1924 460 494
Fax : +44 1924 455 328
info@chauvin-arnoux.co.uk
www.chauvin-arnoux.com

SCANDINAVIE
CA MÄTSYSTEM AB
Sjöflygvägen 35
SE-183 62 TABY
Tél. : +46 8 50 52 68 00
Fax : +46 8 50 52 68 10
info@camatsystem.com
www.camatsystem.com

SUISSE
CHAUVIN ARNOUX AG
Moosacherstrasse 15
8804 AU / ZH
Tél. : +41 44 727 75 55
Fax : +41 44 727 75 56
info@chauvin-arnoux.ch
www.chauvin-arnoux.ch

USA
CHAUVIN ARNOUX INC
d.b.a AEMC Instruments
15 Faraday Drive
Dover - NH 03820
Tél. : +1 (800) 945-2362
Fax : +1 (603) 742-2346
sales@aemc.com
www.aemc.com

906 130 137 - Ed. 1 - 2020 - Document non contractuel - Caractéristiques à se faire confirmer à la commande - Photos et schémas non contractuels.
poissons.agency

FRANCE
CHAUVIN ARNOUX
190, rue Championnet
75876 PARIS Cedex 18
Tél : +33 1 44 85 44 85
Fax : +33 1 46 27 73 89
info@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.fr

INTERNATIONAL
CHAUVIN ARNOUX
190, rue Championnet
75876 PARIS Cedex 18
Tél : +33 1 44 85 44 38
Fax : +33 1 46 27 95 59
export@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.fr

SUISSE
CHAUVIN ARNOUX AG
Moosacherstrasse 15
8804 AU / ZH
Tél. : 044 727 75 55
Fax : 044 727 75 56
info@chauvin-arnoux.ch
www.chauvin-arnoux.ch

CHAUVIN ARNOUX