

- Mesurande : grandeur physique à mesurer (pression, température, vitesse, ...)
- Corps d'épreuve : élément intermédiaire sur lequel le mesurande agit (membrane, cellule piézoélectrique, ...)
- Transducteur :

C'est l'élément sensible du capteur qui en réponse au mesurande et à sa variation :

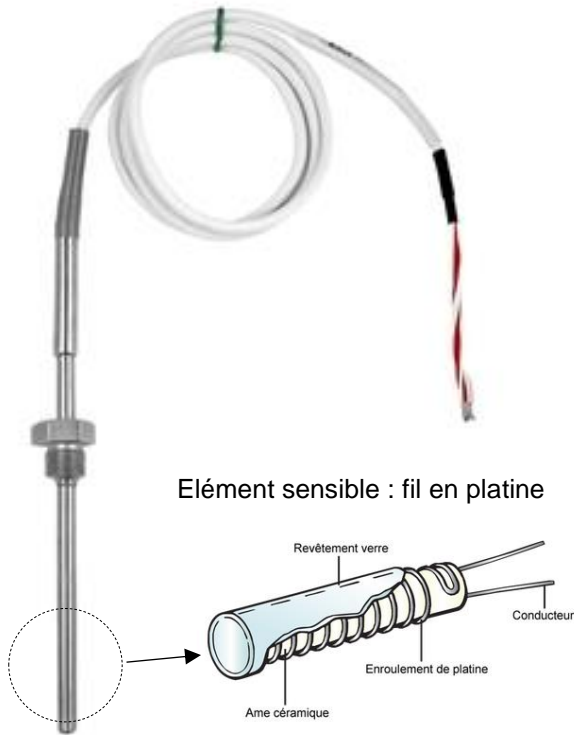
- Génère un signal électrique bas niveau (tension ou courant) pour les capteurs actifs ;
- Se comporte comme une impédance (résistance, capacité ou inductance) pour les capteurs passifs.

- Transmetteur : convertit le signal ou l'impédance de sortie du capteur en signal normalisé de tension ou de courant. Un étalonnage est nécessaire pour établir la correspondance entre ce signal et le mesurande. Tous les transmetteurs industriels sont compatibles avec une boucle de courant « 4 – 20 mA » et intègrent généralement le protocole de communication HART. Le transmetteur permet entre autres de linéariser la relation entre la mesure et le signal de sortie. Le réglage du « Zéro » et du « Span » (étendue de mesure) permettent d'adapter la plage de mesure à son domaine d'utilisation dans le process.

Exemples de capteurs

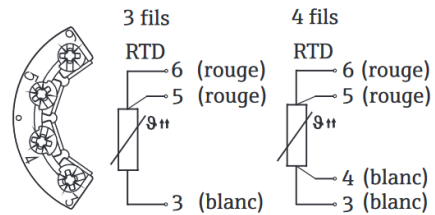
- Sonde de température « PT-100 » avec transmetteur

Capteur (passif)

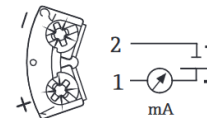


Transmetteur de température

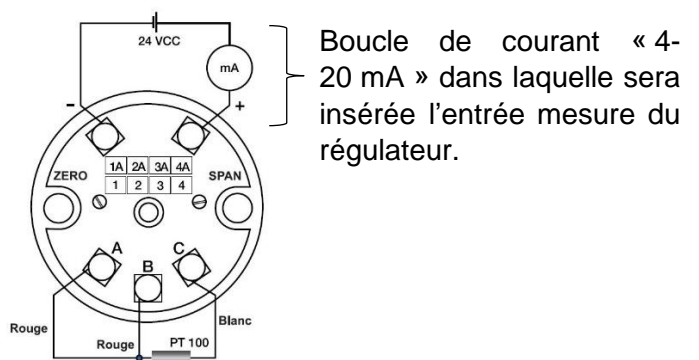
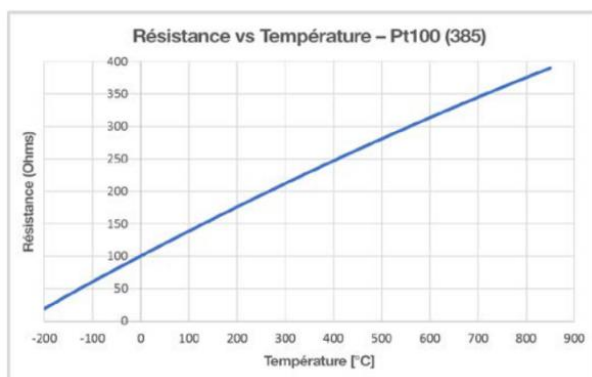
Bornes de raccordement de la thermorésistance
Montage 2, 3 ou 4 fils



Bornes de sortie « 4-20mA »



La sonde PT-100 est un capteur passif de type RTD (Resistance Temperature Detector). Son élément sensible est un fil de platine dont la résistance varie en fonction de sa température (100 Ω à 0°C) :

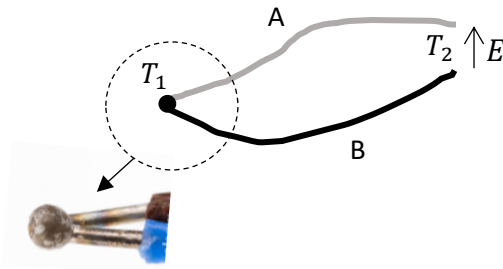


Boucle de courant « 4-20 mA » dans laquelle sera insérée l'entrée mesure du régulateur.

Le transmetteur permet son raccordement en montage 3 fils ou 4 fils pour éliminer l'influence de la résistance des fils de liaison. Il intègre un pont de Wheatstone permettant de convertir la variation de résistance en signal de tension bas niveau. L'amplification et la conversion de cette tension en signal de courant normalisé « 4 – 20 mA » permet son raccordement à un régulateur ou une entrée d'automate pour par exemple réguler la température mesurée.

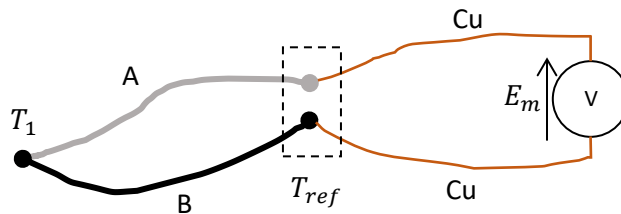
▪ **Thermocouple :**

Un thermocouple est un capteur de température fonctionnant grâce à l'effet Seebeck :



La jonction ou soudure de deux métaux différents (A/B) soumis à un gradient de température ($T_1 \neq T_2$) génère une f.e.m. E de quelques mV . Sa valeur dépend à la fois de la nature des métaux et de l'écart de température. En fixant T_2 à une température connue T_{ref} on peut ainsi déterminer T_1 à partir de la mesure de E et de tables d'étalonnage.

En pratique, la mesure de la f.e.m. nécessite de raccorder deux fils de connexion jusqu'à l'appareil de mesure, créant ainsi deux jonctions supplémentaires (A/Cu et B/Cu) :



On montre que si les deux nouvelles jonctions sont maintenues à la même température T_{ref} alors la tension mesurée E_m ne dépend que du couple A/B et des températures T_1 et T_{ref} :

$$E_m = E_{T_1}^{AB} - E_{T_{ref}}^{AB}$$

Plusieurs solutions sont possibles pour accéder à la valeur de T_1 :

- On fixe $T_{ref} = 0^\circ C$ (bain de glace) alors $E_{T_{ref}=0^\circ C}^{AB} = 0V$ (propriété de tous les thermocouples) et on mesure $E_m = E_{T_1}^{AB}$; A partir de $E_{T_1}^{AB}$, les tables du thermocouple AB donnent alors T_1 ;
- On mesure avec précision T_{ref} , on lit la valeur de $E_{T_{ref}}^{AB}$ à l'aide des tables, on calcule $E_{T_1}^{AB} = E_m + E_{T_{ref}}^{AB}$ et on déduit T_1 à partir des tables :

ITS-90 Table for Type K thermocouple											
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric voltage in mV											
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509

Exemple : Thermocouple K, $T_{ref} = 24^\circ C$, on mesure $E_m = 2,556mV$: $E_{T_{ref}}^{AB} = 0,960mV$.

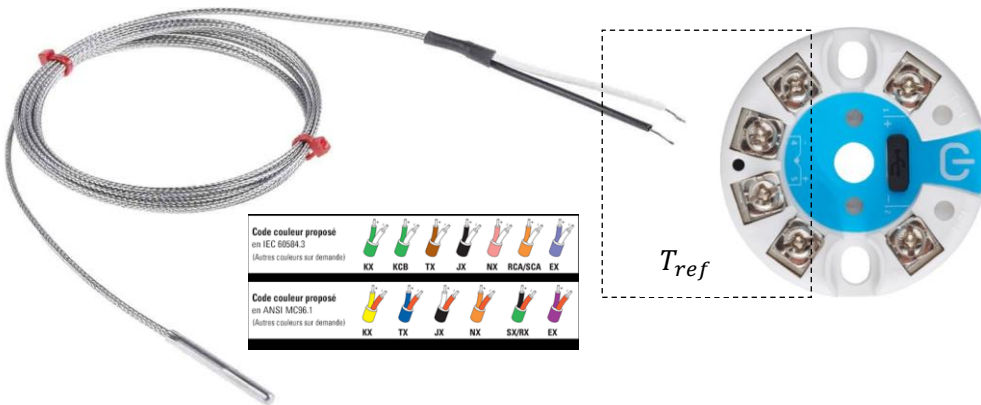
On calcule $E_{T_1}^{AB} = E_m + E_{T_{ref}}^{AB} = 2,556 + 0,960 = 3,516mV$; On en déduit $T_1 = 86^\circ C$.

Au niveau industriel, on choisit un thermocouple en fonction de sa gamme de température, de sa sensibilité et de l'environnement du capteur. Chaque couple de métaux est identifié par un type et un tableau de correspondance ou une loi de variation permettant de connaître le couple « température T – f.e.m. E_T^{AB} » :

Thermocouple Type	Conductors	Temperature range (°C)	Seebeck Coefficient (@ 20°C)	Application Environments
E	Chromel (+) Constantan (-)	-200 to 900	62µV/°C	oxidizing, inert, vacuum
J	Iron (+) Constantan (-)	0 to 760	51µV/°C	vacuum, oxidizing reducing, inert
T	Copper (+) Constantan (-)	-200 to 371	40µV/°C	corrosive, moist, subzero
K	Chromel (+) Alumel (-)	-200 to 1260	40µV/°C	completely inert
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	0 to 1260	27µV/°C	oxidizing
B	Platinum (30% Rhodium) (+) Platinum (6% Rhodium) (-)	0 to 1820	1µV/°C	oxidizing, inert
S	Platinum (10% Rhodium) (+) Platinum (-)	0 to 1480	7µV/°C	oxidizing, inert
R	Platinum (13% Rhodium) (+) Platinum (-)	0 to 1480	7µV/°C	oxidizing, inert

TABLE 1: Common thermocouple types—The most common thermocouple types are shown with their standardized

Raccordement d'un thermocouple à un transmetteur :



Certains transmetteurs disposent d'un circuit de compensation de température de soudure froide : ils génèrent automatiquement une tension E_{comp} opposée à $-E_{T_{ref}}^{AB}$ dans le circuit de mesure (en mesurant T_{ref} et avec des tables ou fonctions polynomiales intégrées) ainsi :

$$E_m = E_{T_1}^{AB} - E_{T_{ref}}^{AB} + E_{comp} = E_{T_1}^{AB}$$

Le courant de la boucle est alors directement l'image de T_1 .

Prolongation du câble d'un thermocouple :

- Pour ne pas modifier la f.e.m., il faut que le câble dit d'extension ou de compensation ait les mêmes propriétés thermoélectriques que le thermocouple : même métaux ou métaux équivalents dans la gamme de mesure ;
- On utilise des couleurs de câbles et de connecteurs normalisées en fonction du type de thermocouple :

Couleurs proposées: IEC, ANSI, DIN ou JIS

Type	K	T	J	N	R/S	E	Cu*
Conducteurs	NiCr/Ni	Cu/Cr	Fe/Cr	NiCr/Ni	Fe/Ni	NiCr/Ni	Cu
IEC 60584.3	Orange	Red	Green	Blue	White	Black	Red

Type	K	T	J	N	R/S	E	Cu*
Conducteurs	NiCr/Ni	Cu/Cr	Fe/Cr	NiCr/Ni	Fe/Ni	NiCr/Ni	Cu
ANSI MC96.1	Orange	Red	Green	Blue	White	Black	Red

Type	K	T	U	J	L	R/S	E
Conducteurs	NiCr/Ni	Cu/Cr	Co/Cr	Fe/Cr	NiCr/Ni	Fe/Ni	NiCr/Ni
DIN 43714	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	White	Black

Type	K	T	J	N	R/S	E	Cu*
Conducteurs	NiCr/Ni	Cu/Cr	Fe/Cr	NiCr/Ni	Fe/Ni	NiCr/Ni	Cu
JIS C 1610	Orange	Red	Green	Blue	White	Black	Red

