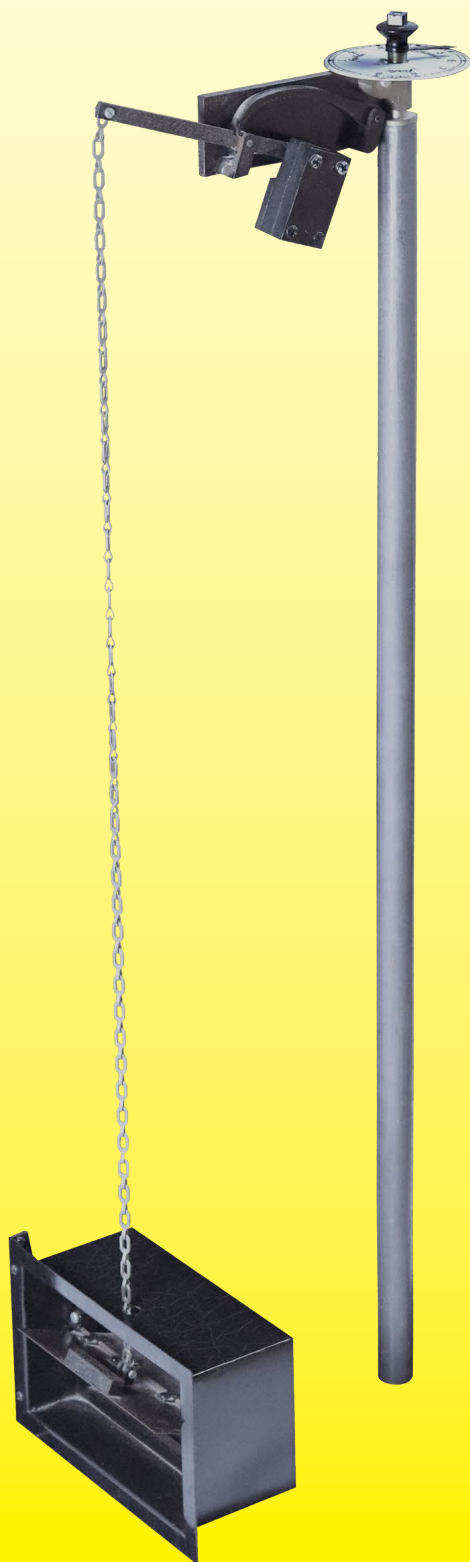


La mesure de la température a été précédée d'une longue période, tout au long du 18^{ème} siècle, où d'abord empiriquement, puis progressivement de plus en plus précisément ont été mises au point les échelles de mesure, les points fixes permettant l'étalonnage, et où furent découverts tous les phénomènes physiques permettant sa mesure: dilatation des gaz, dilatation des liquides, températures de liquéfaction, d'ébullition, magnétisme, dilatation des métaux, thermoélectricité.

Ce n'est cependant qu'avec la recherche de l'économie dans les coûts de chauffage que se développèrent les thermostats, tout d'abord pour les couveuses, à la fin du 18^{ème} siècle, avec l'ingénieur français Jean Simon Bonnemain qui réalisa le premier thermostat à canne bimétallique de précision en 1788 (Nommé alors gouverneur ou régulateur du feu), ainsi que le premier système de chauffage par thermosiphon. Dans le premier quart du 19^{ème} siècle, l'expansion du chauffage central à vapeur et à eau chaude généralisa les systèmes de régulation, puis l'arrivée de l'électricité à usage domestique à la fin du 19^{ème} siècle initia la recherche puis la découverte pendant les 50 premières années du 20^{ème} siècle de la quasi-totalité des systèmes thermostatiques actuels.



1788. Le premier thermostat à canne dit "régulateur de feu" inventé et construit par Jean Simon Bonnemain, ingénieur Français, pour réguler la température d'un couvoir des faubourgs de Paris chauffé par la première chaudière à thermosiphon, aussi inventée pour l'occasion.

L'ancêtre en droite ligne des thermostats à canne JPC

Reproduction fonctionnelle à l'échelle 1/1 réalisée par Ultimheat (hauteur 900 mm)



1. LES SYSTEMES DE MESURE

1.1 LES BILAMES



1.1.1 LAMES

La bilame est formée de deux métaux colaminés. L'un a un fort coefficient de dilatation, l'autre un plus faible ou nul. Lorsque cette bilame est chauffée elle se cintre proportionnellement à la température. Les lames sont le plus souvent plates et fixées à une extrémité. Mais elles peuvent être enroulées en forme de spirale, bien que cette disposition serve le plus souvent à la construction de thermomètres.

1.1.2 DISQUES ET FORMES DERIVEES



Dans de très nombreuses applications, on a cherché à obtenir du bimétal un fonctionnement avec un changement brusque de forme à une température donnée. Pour cela un disque bimétallique a été embouti et formé en cône. Les changements de température provoquent une accumulation d'énergie dans celui-ci qui, à un moment déterminé passe de la forme concave à la forme convexe. Par une sélection très rigoureuse de la composition, de l'épaisseur, des profondeurs d'emboutissage et des traitements thermiques, on arrive à obtenir des températures de retournement précises, stables et répétitives.

De la forme originelle ronde, ont été développées des formes rectangulaires, losanges, etc. La principale difficulté est d'obtenir un retournement à une température précise.

Mais ce sont des disques qui sont à la base de la plupart des limiteurs de températures actuels.

1.2 LA DILATATION BIMETALLIQUE

Par dilatation bimétallique, on entend la dilatation différentielle de deux métaux différents, non colaminés. La dilatation des métaux développe des forces très importantes. Par exemple, elle suffit à faire se cintrer des rails de chemin de fer lorsque les joints de dilatation sont mal réalisés.

1.2.1 CARTOUCHES

Le type cartouche est constitué d'une enveloppe externe dilatable, en général de l'inox, et de deux lames internes non dilatables, en général de l'Invar.

On mesure l'allongement de l'enveloppe en fonction de la température. Pour une longueur d'environ 100 mm, cette dilatation est de 0.0020mm par °C.

1.2.2 LAMES PARALLELES

De principe similaire aux thermostats cartouches, ils sont composés d'une lame dilatable en alliage cuivreux sur laquelle est soudée à chacune de ses extrémités une lame bombée en invar. La dilatation de la lame en alliage cuivreux va provoquer le rapprochement des deux lames.

1.2.3 CANNES

Les cannes sont formées d'une enveloppe externe dilatable, inox ou cuivre ou laiton, et d'une tige interne en Invar. Les dilatations sont du même ordre que les cartouches. Ce principe est à la base de la plupart des thermostats de chauffe eau actuels. C'est un système très simple, très fiable, dont les temps de réaction sont très rapides, puisque c'est l'enveloppe elle-même qui mesure la température.

Par l'utilisation de métaux dilatables à la place de l'Invar, il est possible d'obtenir des appareils avec anticipation, système très proche de l'action proportionnelle des systèmes électroniques.

En utilisant le même métal pour l'enveloppe extérieure et la tige interne, on obtient des systèmes thermovélocimétriques, c'est-à-dire ne réagissant qu'à des variations de température et non pas à une température : c'est l'utilisation des détecteurs d'incendie. Dans des températures très élevées, l'invar peut être remplacé par du quartz ou de l'alumine.

1.3 LA DILATATION DE LIQUIDE

Les liquides sont incompressibles et se dilatent comme les solides. Les forces de dilatation sont très importantes et permettent des mécanismes développant une puissance importante.

Les dilatations de liquide sont utilisées dans des trains thermostatiques, ensembles fermés composés d'un bulbe, d'un capillaire, d'un soufflet ou diaphragme.

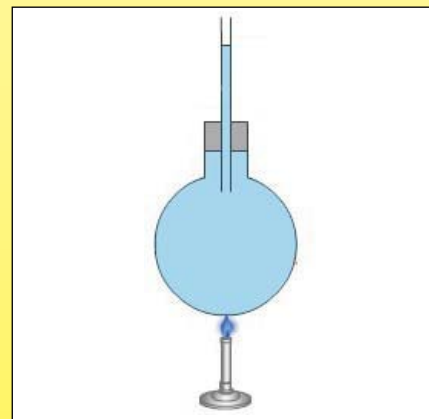
La dilatation du liquide dans le bulbe est transmise par le capillaire au diaphragme qui se gonfle et produit un mouvement. Les courses habituelles mesurées au niveau des diaphragmes sont comprises entre 0.4 et 0.8mm pour la totalité de la plage de mesure. Les volumes des bulbes sont calculés pour obtenir un déplacement spécifique pour une plage donnée. La congélation du liquide donne la limite inférieure d'utilisation, son ébullition la limite supérieure. Ces deux phénomènes provoquent en général la destruction du train thermostatique.

La bonne conductibilité thermique des liquides employés permet un temps de réponse court.

1.3.1 LES METAUX LIQUIDES

Le mercure a été le premier liquide utilisé dans les thermostats.

Sa première utilisation était le classique thermomètre à mercure. Sa dilatation est quasi linéaire depuis l'ambiance jusqu'à 500°C. C'est un excellent conducteur de la chaleur. C'était donc le liquide idéal pour des thermostats. Cependant sa toxicité l'a fait quasiment disparaître au cours des dernières années.



1.3.2 LES METALLOIDES LIQUIDES

Les métalloïdes sont des corps situés à la limite entre les métaux et les autres corps. Les seuls utilisés dans notre domaine sont le sodium et le potassium, et en particulier un mélange eutectique des deux, le NaK, qui a la particularité d'être liquide dans une large gamme de température, de l'ambiance jusqu'à plus de 900°C. C'est aussi un excellent conducteur de la température.

Ces deux caractéristiques lui ont valu d'être sélectionné comme liquide refroidisseur des centrales nucléaires rapides.

Pour la mesure de température, il possède aussi l'avantage d'avoir une dilatation linéaire.

D'usage assez récent dans le contrôle de la température, il permet de réaliser des appareils supportant des hautes températures.

Cependant, il doit obligatoirement être enfermé dans des systèmes clos, sans contact avec l'air ou l'eau, car il est particulièrement réactif : inflammable ou explosif au contact de ceux-ci.

Il est aussi corrosif, et nécessite des enveloppes en inox particulier.



1.3.3 HUILES

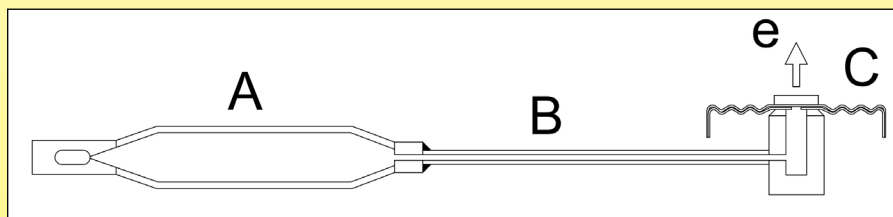
De nombreuses huiles sont utilisées. Elles sont toujours un compromis entre un fort coefficient de dilatation, qui permet des petits bulbes, une température d'ébullition la plus haute possible, une température de congélation la plus basse possible, une bonne linéarité de la dilatation dans la plage, une non toxicité, une bonne conductibilité thermique.

Parmi les plus courantes, il faut citer le Xylol, les huiles d'hydrocarbure utilisées dans les échangeurs thermiques, et les huiles silicones.

Il est maintenant possible de couvrir avec ces systèmes, des plages de -40°C jusqu'à 400°C.



1.3.4 LA DERIVE THERMIQUE (Facteur de correction thermique) des thermostats à bulbe et capillaire à remplissage liquide



Les thermostats à bulbe et capillaire comportent un ensemble clos nommé "train thermostatique".

Ce train thermostatique, en cuivre ou en acier inoxydable, est composé de 3 parties soudées ensemble :

1. Le bulbe (A), qui est le réservoir où se situe la plus grande partie du liquide, et dont la dilatation en fonction de la température va être utilisée pour mesurer celle-ci. Il est fermé à son extrémité libre par soudure après le remplissage du train thermostatique
2. le capillaire (B), dont le diamètre extérieur varie selon les constructeurs et types de thermostat, entre 1 mm et 3 mm, qui sert à transmettre à distance l'élévation de volume du liquide contenu dans le bulbe
3. Un soufflet (C), composé de deux coupelles souples soudées, d'un diamètre de 19 à 25 mm (quelquefois jusqu'à 32 mm sur des modèles industriels, qui va transformer l'élévation de volume du bulbe en déplacement mécanique (e)

Ces trois parties sont remplies sous vide d'un liquide. La dilatation du liquide, proportionnelle à la température, provoque le déplacement "e", ce qui permet d'actionner un système de contact électrique.

Cependant, la dilatation du liquide situé dans le capillaire (B) et dans le soufflet (C) n'est pas liée à la température mesurée par le bulbe (A), mais à la température ambiante dans laquelle ils se trouvent, et provoquent donc une dilatation parasite du liquide et par conséquent un déplacement mécanique parasite.

La réalisation d'un train thermostatique va limiter au maximum ce déplacement, en limitant les volumes de liquide en C et B.

- Sur le capillaire: en limitant son diamètre intérieur. Le diamètre minimum est un compromis entre les possibilités technologiques de réalisation des capillaires, les contraintes dues au cintrage du capillaire, et les pertes de charge hydrauliques admissibles en fonction de la viscosité du liquide utilisé, et des pressions développées par sa dilatation.

- Sur le soufflet : Lors du remplissage du train thermostatique, les deux coupelles formant le soufflet sont pressées l'une contre l'autre, sans interstice, et de ce fait seule une quantité infime de liquide s'y trouve. Cependant ce volume de liquide dans le soufflet augmente au fur et à mesure que le liquide situé dans le bulbe A se dilate par élévation de température. Les valeurs de cette dérive sont donc fonction non seulement des rapports de volume initiaux, mais de la valeur de la température.

La contrepartie de la conception de ce soufflet comportant une quantité infime de liquide lors de son remplissage et de la fermeture du train thermostatique est qu'aucun déplacement mécanique n'est possible en dessous de cette température de remplissage. Dans les thermostats terminés, les réglages sont donc impossibles en dessous de cette température à laquelle le soufflet est vide, avec les deux coupelles jointives. Cette zone en dessous de la température de remplissage est nommée zone morte, et habituellement correspond à une zone non graduée sur la manette du thermostat.

La dérive parasite d'un thermostat à bulbe et capillaire va être donnée sur sa fiche technique et exprimée en °C/°C ou °K/°K

Elle est fonction du rapport de volume entre le bulbe et le capillaire + le soufflet. Un bulbe de gros volume sera moins sensible à cette dérive, et un capillaire court la diminuera aussi.

Dans le cas de limiteurs de température à température fixe, des bulbes de petite dimension amèneront une forte sensibilité à la température ambiante sur la tête

Introduction à la technologie des thermostats

Valeurs comparatives de dérive thermique sur un train thermostatique de 19 mm, et déplacement « e » de 0.8 mm sur la plage de température (valeurs indicatives)

Plage de température	Dérive avec capillaire de 250 mm (°K/°K)	Dérive avec capillaire de 900 mm (°K/°K)	Dérive avec capillaire de 1500 mm (°K/°K)
4-40°C	0.1	0.12	0.14
30-90°C	0.18	0.20	0.24
50-300°C	0.25	0.45	0.58

Cette dérive explique que les températures d'étalonnage des thermostats sont données pour une température ambiante de la tête de 23°C +/-2°C (atmosphère standard selon EN60068-1) et pour une longueur immergée de capillaire définie, en général 80 à 100 mm

Exemples de dérive du point de consigne sur un thermostat avec capillaire 1,5m
(En plus de la tolérance sur la valeur d'étalonnage)

Plage (°C)	Température de réglage (°C)	Température de coupure si la tête du thermostat est à 0°C	Température de coupure si la tête du thermostat est à 50°C
4-40	40	40+3,2	40-3,8
30-90	90	90+5,5	90-6,5
50-300	300	300+13,3	300-15,7

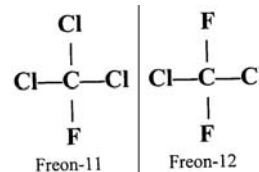
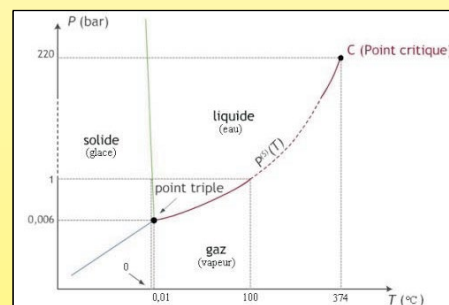
1.4 TENSION DE VAPEUR

Ce système fait intervenir dans les trains thermostatiques, un mélange de liquide et de vapeur saturée de celui-ci, un peu comme dans une bouteille de butane, où coexistent le gaz et le liquide. Dans ce milieu fermé, toute augmentation de température se traduit par une augmentation de pression et des modifications importantes de volume.

Malheureusement les gaz sont compressibles, et s'il est possible d'obtenir des mouvements importants, la force disponible est faible. Les déplacements ne sont pas linéaires, et ces systèmes sont sensibles aux variations de la pression atmosphérique. Parmi les principaux produits de remplissage utilisés, on peut citer:

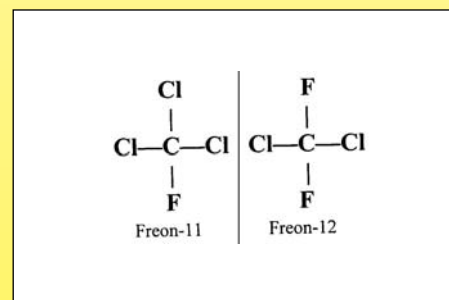
1.4.1 LES FREONS

Ils sont utilisés en raison de leur disponibilité, et des systèmes de remplissage sous vide existant déjà pour les circuits frigorifiques. Ils permettent aussi de travailler dans des températures basses.



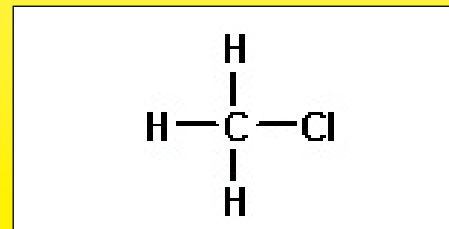
1.4.2 LES BUTANES ET LES PROPANES

Ils sont utilisés pour les mêmes raisons que ci-dessus, mais ont le désavantage d'être inflammables.



1.4.3 AUTRES: LES CHLORURES DE METHYLE (R40)

Ils sont utilisés dans les systèmes à capillaire et les membranes de thermostat d'ambiance.



1.5 LE CHANGEMENT D'ETAT

Dans les systèmes à changement d'état, on ne mesure plus linéairement un déplacement. On utilise un changement de volume apparaissant à des points caractéristiques propres à chaque corps utilisé: fusion, congélation, ébullition.

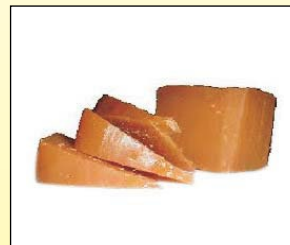
Par exemple, la congélation de l'eau à 0°C provoque une augmentation de volume, sa fusion à 0°C provoque une diminution de volume, mais aussi le passage de l'état solide à l'état liquide; son ébullition à 100°C provoque l'apparition d'un grand volume de vapeur.

Ces systèmes à changement d'état vont donc faire appel aux propriétés particulières d'un certain nombre de composés.

1.5.1 LES CIRES

La cire est un mélange complexe de nombreux composants sélectionnés pour obtenir des points de fusion/congélation différents selon la composition. A cette température prédéterminée il se produit un fort changement de volume. Les cires ont la caractéristique d'augmenter de volume lors de leur fusion.

Ce système, qui provoque un fort déplacement, est utilisé pour les thermostats automobiles, pour ouvrir le circuit de circulation d'eau. Il est aussi courant dans les thermostats de radiateurs de chauffage central., ainsi que dans des mini-vérins verrouillant les portes de fours, machines à laver et autres appareils électroménagers.



1.5.2 LES ALLIAGES FUSIBLES BASSE TEMPERATURE

Les alliages fusibles sont tous des descendants de ceux découverts par Darcey au début du XIX^e siècle. A base d'étain, d'antimoine, de plomb, bismuth, et autres métaux, ils ont des températures de fusion comprises entre 25 et 200°C.

Leurs premières applications de série furent l'ouverture de purges de vapeur sur les corps de chaudières de locomotives

La fusion de l'alliage à une température prédéterminée est utilisée pour libérer un système mécanique (sécurité incendie) ou ouvrir directement un circuit électrique (fusibles thermiques).



1.5.3 L'EBULLITION

L'ébullition d'un liquide provoque, dans un circuit fermé, une forte augmentation de pression. Cette augmentation de pression peut être due à une ébullition locale dans un train thermostatique ou dans un capillaire. Cela permet de réaliser des appareils sensibles sur de grandes longueurs. Il est aussi utilisé l'ébullition dans des ampoules de verre, ce qui les brise et libère un système mécanique ou électrique. L'application la plus connue est la commande des « sprinklers », systèmes d'extinction automatique courants dans les supermarchés et locaux recevant du public.



1.6 LES AUTRES SYSTEMES

1.6.1 LE POINT DE CURIE

Le point de Curie est, dans un aimant, la température à laquelle celui-ci perd son aimantation. Cette température peut être modifiée en jouant sur la composition de l'alliage magnétique. Cette perte d'aimantation libère un système mécanique ou électrique. Cette application est limitée à quelques usages précis, tels que les cuiseurs à riz



1.6.2 LA MEMOIRE DE FORME

Certains alliages, soumis à une certaine température, reprennent la forme qu'ils avaient avant leur transformation mécanique.

Les traitements thermiques et la composition des alliages permettent de déterminer les températures.

1.6.3 LA DILATATION DES GAZ

Ce système est surtout utilisé pour la réalisation de thermomètres, car les forces disponibles sont faibles et peuvent difficilement actionner un contact. La dilatation est linéaire et permet une échelle linéaire dans une large gamme de températures.

Les gaz utilisés sont principalement l'hélium et l'argon.

Ces systèmes sont sensibles à la pression atmosphérique et demandent un système de compensation.

2. LES CONTACTS ELECTRIQUES



De nombreux mécanismes existent, nous avons décidé de les distinguer non pas en fonction de leur technique constructive, mais en fonction de leur vitesse d'ouverture, qui en est l'élément primordial.

2.1 LES SYSTEMES

2.1.1 LA RUPTURE LENTE

Dans les appareils à rupture lente les deux parties s'écartent lentement, à des vitesses de l'ordre de 1/10 de mm par seconde. Dans l'atmosphère normale, il se produit alors, lorsque les contacts sont rapprochés, un arc électrique. La durée de cet arc est fonction de la tension. Pour des tensions jusqu'à 24V continu ou 110V alternatif, la durée de cet arc est courte, inférieure à 0.1s. Pour des tensions supérieures, l'arc dure beaucoup plus longtemps, produisant une fusion prématurée du contact, et de nombreuses interférences radio électriques. C'est pourquoi il est déconseillé, malgré les avantages mécaniques (simplicité, faible coût, très grande précision), d'utiliser ce contact dans les réseaux secteurs 230V, pour des applications de régulation à cyclage multiple.



2.1.2 LA RUPTURE BRUSQUE

Sur les contacts à rupture brusque, l'écartement se produit à des vitesses infiniment supérieures, de l'ordre de 1m par seconde (100.000 fois plus vite). L'écartement des contacts atteint en moins de 1/1000 de seconde la distance nécessaire pour que l'arc électrique s'éteigne. Il n'y a pas de parasites, le contact ne se détériore pratiquement pas.

Mécaniquement ce type de contact est beaucoup plus compliqué, plus onéreux, et ne permet pas une finesse de régulation aussi grande. Il est particulièrement adapté aux appareils de régulation, en 240V ou 400V. Plusieurs techniques sont utilisées pour obtenir une rupture brusque:

- La plus ancienne est l'utilisation d'aimants sur les lames de contact. Le champ magnétique décroît en fonction de la puissance 4 de la distance. L'attraction entre les deux lames s'effectue donc à très courte distance. Ce système est particulièrement fiable, mais peu utilisé actuellement en raison du nombre important de composants qu'il demande. Il fut intensivement utilisé sur les contacts d'aiguille des baromètres, manomètres, thermomètres avec un cadran circulaire
- La plus courante actuellement est la lame à accumulation d'énergie, dont les dessins se sont simplifiés au cours des dernières années, en grande partie grâce à l'apparition de lames ressorts en alliage de bronze au béryllium plus performantes, ainsi qu'à de nouveaux concepts.



2.2 LA CONSTRUCTION

2.2.1 MATIERE DES CONTACTS

Avant la mise au point des systèmes de contacts électriques en argent, les premiers thermostats électriques utilisaient du mercure. Le mercure liquide, enfermé dans ampoule en verre comportant deux électrodes, établissait le contact entre celles-ci par basculement, ou plus simplement, une aiguille métallique venait, par son déplacement, établir le contact avec la surface du mercure.

La matière la plus courante actuellement est l'argent pur, ou faiblement allié à d'autres métaux ou oxydes (Cadmium, Nickel, Etain,)

Cette matière a été choisie parce que c'est le meilleur conducteur de la chaleur et de l'électricité connu. Un contact s'use par micro vaporisation de l'argent à chaque cycle d'ouverture et fermeture. Cette vaporisation est proportionnelle à la puissance et à la durée de l'arc électrique qui se forme.

La conductibilité thermique de l'argent lui permet d'évacuer très rapidement le pic de température se produisant lors de l'ouverture des contacts.

Sa très bonne conductibilité électrique permet de réaliser des appareils avec une très faible résistance de contact, en général inférieure à 3 milli-ohms.

Cependant il n'est pas inoxydable, et se couvre progressivement d'une mince couche d'oxyde d'argent, qui n'est pas conductrice de l'électricité.

Cette couche est facilement vaporisée lors d'utilisations dans les voltages domestiques courants (240 V, 300V). Cependant, pour des utilisations en très basse tension (moins de 12 volts) et des courants très faibles (quelques milli-ampères), l'arc électrique créé lors de l'ouverture du contact n'est plus suffisant pour vaporiser le contact.

Pour des circuits de faible puissance, les contacts sont protégés contre cette oxydation par une fine couche d'or.

2.2.2 L'ECARTEMENT

Après l'ouverture, les contacts sont écartés l'un de l'autre. Cet écartement, selon les systèmes, peut varier de 1/10ème de mm à 3mm ou plus. Une valeur courante dans les thermostats est de 0.3 à 0.4 mm qui correspond à ce que les normes appellent la micro-disconnection.

Un écartement faible, qui est la conséquence d'appareils avec faible différentielle (voir la définition plus loin) ne permettra pas l'utilisation dans des voltages importants, car, bien qu'il n'y ait pas contact mécanique, un arc électrique peut spontanément se créer : il suffit de conditions atmosphériques défavorables telle qu'une forte humidité relative.

Une méthode permettant d'augmenter la distance d'écartement des contacts sans obliger les thermostats à fournir des déplacements importants est la double coupure, utilisée sur certains thermostats à réarmement manuel, ce qui limite aussi le risque de collage des contacts

2.3 CONDITIONS D'UTILISATION ET DUREE DE VIE

Dans les spécifications d'un thermostat électromécanique, la durée de vie probable est décrite en termes de durée de vie mécanique et durée de vie électrique.

Durée de vie électrique:

Ceci est spécifié comme un nombre minimum de cycles (action d'ouverture et de fermeture) que le contact fera en ouvrant et fermant le circuit sous la charge spécifiée sans se coller ou se souder, et en restant dans les caractéristiques électriques de l'appareil.

Durée de vie mécanique:

Il s'agit du nombre d'opérations qu'un thermostat peut être appelé à accomplir en conservant son intégrité mécanique. La durée de vie mécanique est normalement testée sans charge ni tension appliquée aux contacts, et son étude ne fait pas partie du présent document.

Les pouvoirs de coupure sont fonction de nombreux paramètres tels que la configuration des contacts, leur composition, la vitesse de rupture, la fréquence de rupture, les conditions environnementales température, humidité, altitude etc.... Les normes IEC61058-1, (Interrupteurs pour appareils) UL 1054, CSA22.55 ont tenté de normaliser les pouvoirs de coupure généraux. Les normes IEC 60730-x ont défini des méthodes d'essai et des classes différentes de durée de vie (nombre de cycles) pour les appareils de régulation et de sécurité.

Ces classes sont : 300 000, 200 000, 100 000, 30 000, 20 000, 10 000, 6 000, 3 000 (1), 1000(1), 300 (2), 30(2)(4), 1(3) .

1) N'est pas applicable aux thermostats de régulation et autres appareils cyclant rapidement

2) Applicable uniquement aux appareils à réarmement manuel

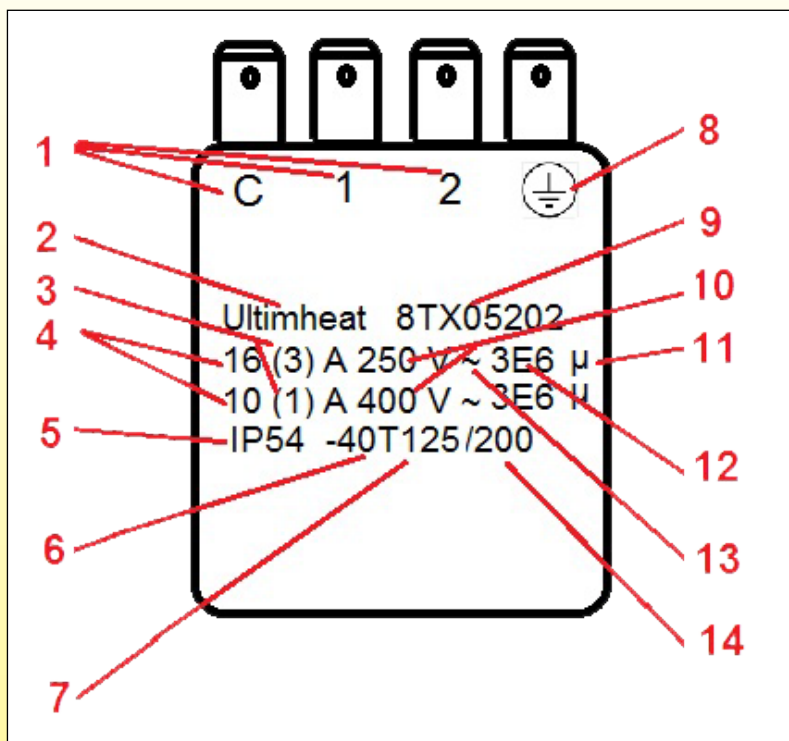
3) Applicable uniquement aux appareils dont il est nécessaire de remplacer une pièce après chaque déclenchement

4) Peut être uniquement réarmé par une intervention du constructeur

Ces durées de vie nominales sont à considérer comme les valeurs de base maximales pour la plupart des applications. Ci-dessous sont décrites les limitations qui s'appliquent pour des applications différentes.

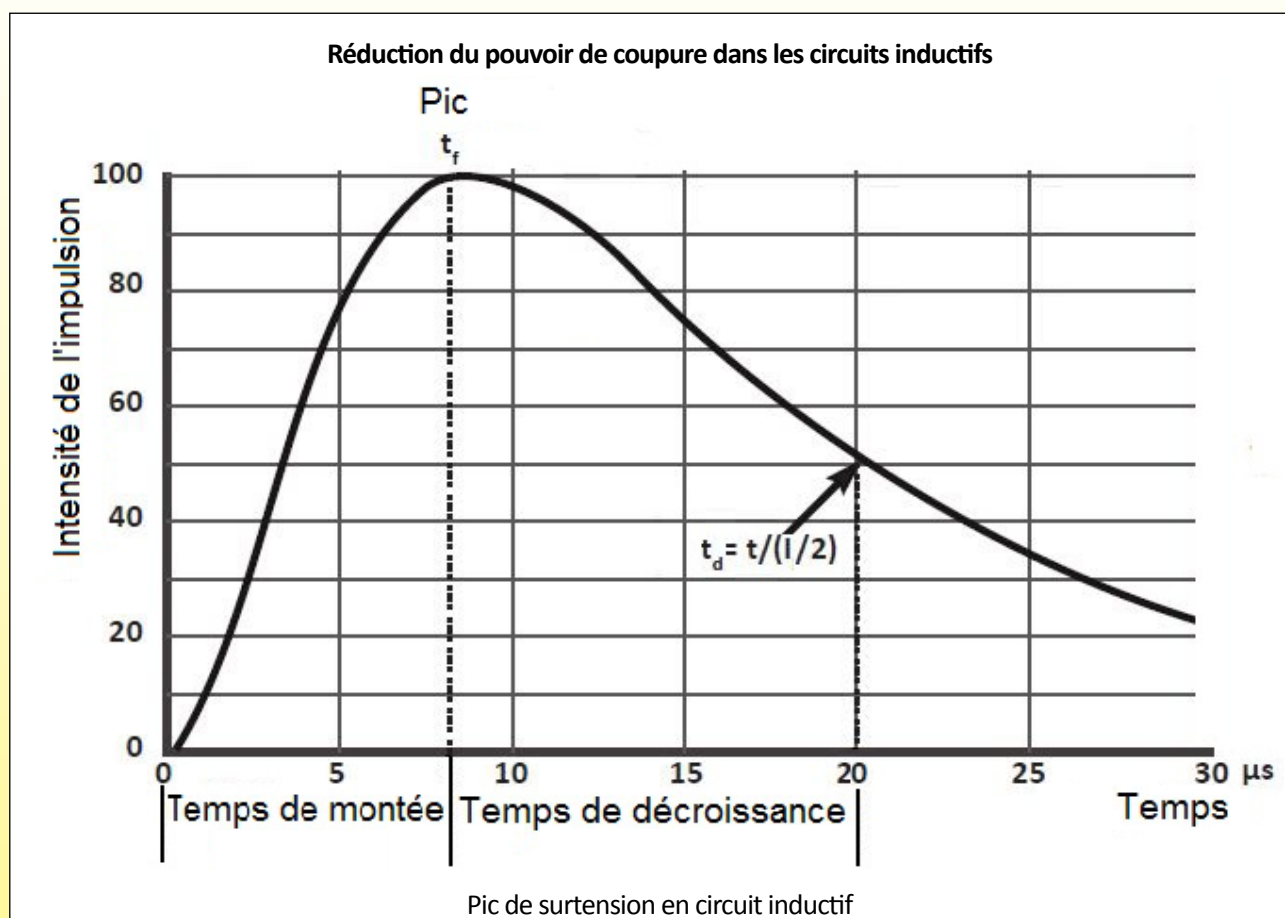
Le pouvoir de coupure des thermostats est donné dans leurs fiches techniques pour une application sur une charge résistive en 250 ou (et) 400V, et un nombre de cycles donné. Lorsque la place est suffisante, ces valeurs sont imprimées sur l'appareil. Dans la plupart des cas seules les valeurs obligatoires sont indiquées, et le nombre de cycles n'est qu'exceptionnellement précisé alors que c'est un paramètre essentiel pour évaluer la durée de vie de l'appareil.

2.3.1 EXPLICATION DES INSCRIPTIONS NORMALISEES SUR UN THERMOSTAT, SELON IEC60730-1 § 7-2



- 1: Identification de bornes qui sont appropriées pour le raccordement des conducteurs externes, et si elles sont appropriées pour la phase ou le conducteur de neutres, ou les deux.
L doit être utilisé pour la phase au Royaume-Uni, mais aucune restriction pour les autres pays.
N doit être utilisé pour les bornes de neutre (Tous pays)
- 2: Nom du fabricant ou marque
- 3: Pouvoir de coupure inductif avec un facteur de puissance = 0,6 (lorsque la valeur inductive n'est pas imprimée, les contacts peuvent être utilisés pour une charge inductive, à condition que le facteur de puissance ne soit pas inférieur à 0,8, et que la charge inductive ne dépasse pas 60 % du courant résistif nominal.)
- 4: Pouvoir de coupure résistif avec un facteur de puissance de 0,95 + / - 0,05
- 5: Degré de protection procuré par l'enveloppe, ne s'applique pas aux appareils classés IP00, IP10, IP20, IP30 et IP40.
- 6: Limite maximale de température ambiante sur la tête d'interrupteur (Tmax), si autre que 55 °C.
- 7: Limite minimale de température ambiante sur la tête d'interrupteur si inférieure à 0 °C
- 8: Identification de la borne de terre (si existant)
- 9: Référence unique identifiant le produit
- 10: Tension nominale ou plage de tension en volts (V) (L'impression de la fréquence est obligatoire si elle est autre que 50 Hz à 60 Hz inclus)
- 11: Micro-coupure (ouverture de contact réduite) L'impression n'est pas obligatoire.
- 12: Nombre de cycles de manœuvre pour chaque action manuelle (Pour thermostat à réarmement manuel).
Nombre de cycles automatiques pour chaque action automatique (pour thermostat de régulation). L'impression n'est pas obligatoire
- 13: Pour utilisation sur circuit alternatif, 50 à 60 Hz inclus
- 14: Limites de température de la surface l'organe de mesure (Ts) si elle est supérieure à 20 K au-dessus de Tmax

2.3.2 TENSION, CIRCUIT INDUCTIF OU RESISTIF, ANGLE DE DEPHASAGE (cosinus phi) En Europe, la tension la plus courante est 230 Volts alternatif 50Hz. En règle générale, tous les appareils sont conçus pour ces conditions. Le fonctionnement en 400 V doit respecter des conditions particulières d'écartement de contact. Cependant, il faut particulièrement faire attention à la charge qui est commandée: les valeurs des pouvoirs de coupure sont toujours données avec une charge résistive (cos phi= 1). Des applications avec charges inductives: moteurs, transformateurs, bobinages, ballast, ou capacitatives, telles que des condensateurs sur des commandes de moteurs bi-vitesse provoquent au niveau des contacts des arcs électriques beaucoup plus importants. Les charges inductives ou capacitatives limitent fortement le pouvoir de coupure.



Lorsqu'un thermostat coupe une charge inductive, une force électromotrice relativement grande (Force contre-électromotrice) est générée dans le circuit provoquant une surtension et un pic de courant transitoires. Plus cette force est importante, plus elle détériore les contacts

Surtensions transitoires :

La quantité de courant électrique qui circule à travers le contact influe directement sur la vie du contact. Les surtensions transitoires sont des paramètres critiques auxquels doit résister le contact lorsqu'elles se produisent dans des circuits inductifs. Elles produisent une onde de surtension qui a généralement une largeur d'impulsion de 20 à 50 µs. L'impulsion de surtension est définie par son intensité et sa largeur. La largeur nominale est le temps mesuré à partir du début de l'impulsion jusqu'au moment où l'intensité est descendue à 50% de la valeur maximale. La courbe ci-dessus montre une surtension transitoire de 8/20µs

Courants induits par les moteurs :

Lors du démarrage, un moteur peut avoir un courant d'appel 600% supérieur à son courant nominal. Par exemple, un moteur avec un courant nominal de 3 ampères peut requérir jusqu'à 18 ampères ou plus lors du démarrage. En outre, en cas de déconnexion, un moteur agit comme un générateur de tension car il ralentit jusqu'à l'arrêt. En fonction du moteur, il peut réinjecter dans le circuit une tension bien supérieure à la tension de ligne nominale. Ces tensions apparaissant sur les contacts peuvent provoquer un arc destructeur amenant une défaillance précoce du contact

Courants induits par les lampes à incandescence:

Les lampes à incandescence, à filament de tungstène, peuvent, lors de l'allumage à froid, provoquer une surintensité de 10 à 15 fois la valeur nominale

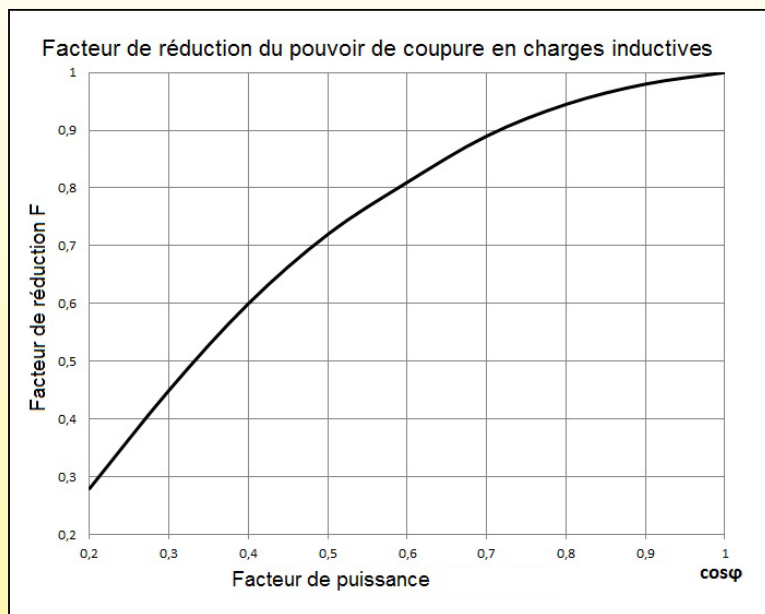
Courants inductifs induits par les transformateurs:

Lorsque l'alimentation est coupée dans le circuit d'un transformateur, son noyau peut contenir un magnétisme rémanent. Si le courant est rétabli lorsque la tension est de la même polarité que celle de l'aimantation rémanente, le noyau peut passer en saturation au cours de la première moitié du cycle de puissance. En conséquence, l'inductance sera minime et un courant d'appel pouvant aller jusqu'à 1,000% peut survenir pendant quelques cycles jusqu'à ce que le noyau ne soit plus saturé. Comme pour les moteurs, lorsque l'alimentation d'un transformateur est coupée, le transformateur produira une force contre électromotrice pouvant initier un arc destructeur entre les contacts.

Charges capacitives de ligne:

Cela se produit quand un thermostat est situé à une distance considérable de la charge à commuter. Au moment où le contact se ferme, la capacité du câble se charge avant que le courant circule. Au niveau des contacts, cet effet peut être comparé à un court-circuit, augmentant l'intensité bien au-delà de ce que peut supporter le contact.

Facteur de correction moyen lors de l'utilisation de charges inductives (sans système de réduction d'arc)

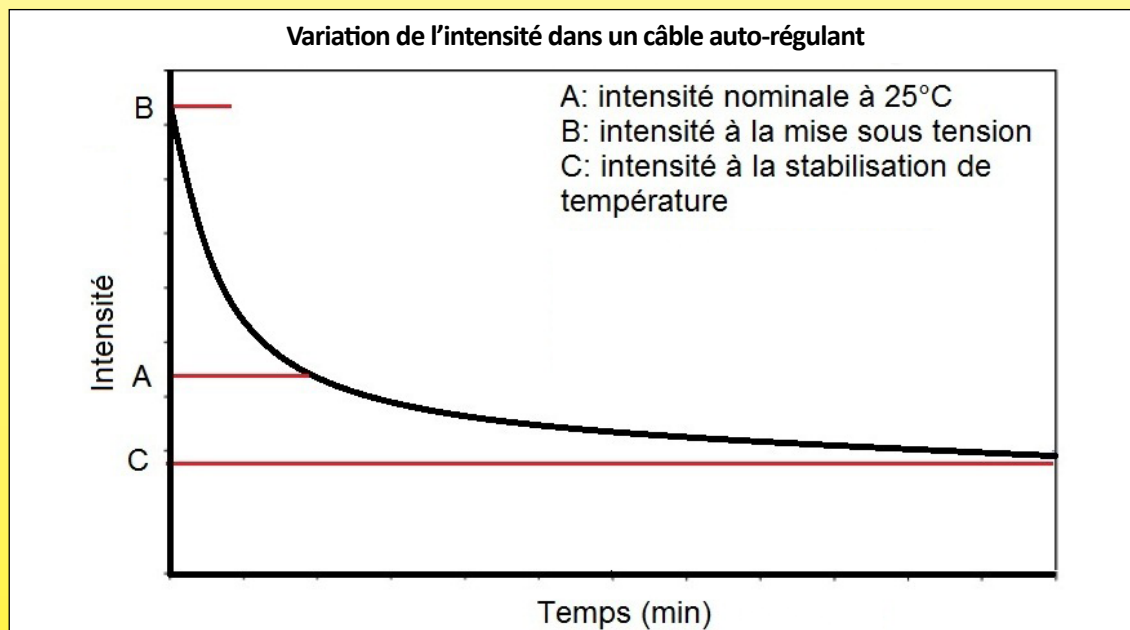


Pointes de courant des câbles auto-régulants

Il s'agit ici d'un effet complètement différent des surtensions et surintensités transitoires dues à l'interaction des contacts avec la charge.

Cette surintensité est due à la conception des câbles autorégulants à coefficient de température positif et cette surintensité peut prendre plusieurs minutes à se dissiper.

Souvent le câble chauffant est à une température relativement basse (et donc sa résistance électrique est faible) lorsqu'il est mis sous tension. Sa faible résistance produira un fort courant de démarrage, inversement proportionnel à la température ambiante. Cette surintensité peut atteindre 2 fois la valeur nominale à 25 °C donnée par le fabricant. Se référer aux notices des constructeurs de câbles pour en connaître la valeur.



Valeur indicative moyenne des coefficients de réduction des pouvoirs de coupure en courant alternatif

Charge résistive	Lampe à incandescence**	Bobine électromagnétique	Transformateur	Moteur monophasé	Moteur triphasé	Câbles chauffants autorégulants*
1	0.8	0.5	0.5	0.12/0.24	0.18/0.33	0.6

* Valeur moyenne, variable selon la température ambiante des câbles au démarrage, voir les notices des constructeurs et la norme CEI60898

** avec filament chaud

Durée de vie moyenne du contact électrique d'un thermostat 15A 250V, 300.000 cycles



Valeurs indicatives moyennes, pour un mécanisme à rupture brusque, avec contacts en argent.

Points caractéristiques :

A : zone de rupture mécanique de la lame de contact par fatigue du métal

B : Zone de fusion rapide des contacts due au cumul courant inductif, tension élevée et l'intensité importante

C : Zone de détérioration rapide des contacts due aux arcs importants

D : Zone de détérioration des contacts due à l'échauffement de la lame de contact par effet Joule et à la perte de ses caractéristiques élastiques, combinée aux arcs électriques importants

2.3.3 COURANT ALTERNATIF ET COURANT CONTINU

Dans les courants alternatifs, le voltage s'annule à chaque cycle, provoquant l'extinction de l'arc électrique.

Dans les circuits en courant continu le contact ne passe pas par un point avec une tension nulle lors de son action.

Cet arc ne s'éteint que lorsque l'écartement de contacts est très important (phénomène utilisé dans les postes de soudure à l'arc).

Dans les thermostats de régulation cet écartement est en général faible, de 0.3 à 0.5 mm.

Dans les tensions supérieures à 48V, l'écartement des contacts des thermostats est insuffisant pour éteindre l'arc, qui perdure grâce à la conductibilité électrique de l'air ionisé provoqué par le passage du courant. L'usure des contacts est alors excessivement rapide, et les contacts peuvent fondre ou se souder en quelques cycles, car le flux unidirectionnel du courant provoque un transfert de métal entre les contacts.

Toute application demandant l'utilisation d'un thermostat dans un circuit en courant continu supérieur doit être étudiée avec soin, en collaboration avec le fournisseur du thermostat, pour que des solutions techniques fiables (augmentation de la distance des contacts, soufflage magnétique de l'arc etc) soient mises en œuvre.

Réduction indicative des pouvoirs de coupure en courant continu sur des contacts en argent à rupture brusque, à durée de vie identique, en circuit résistif

Courant	Ecartement 0.2 mm	Ecartement 0.25 mm	Ecartement 0.5 mm
Alternatif 250V	15	15	15
Continu 8V	15	15	15
Continu 30V	2	2	6
Continu 120V	0.4	0.4	0.5
Continu 230V	0.2	0.2	0.25

HAUTES FREQUENCES

Les utilisations en haute fréquence sont déconseillées, car elles font apparaître des surchauffes dans les boucles métalliques et ressorts de lames de contact, ce qui a pour effet de les recuire et de modifier leur flexibilité. La lame de contact perd alors son action brusque et le contact se soude ou s'use prématurément.

2.3.4 VITESSE DE CYCLAGE ET NOMBRE DE CYCLES

La durée de vie d'un contact est, comme on l'a vu ci-dessus, le résultat de nombreux facteurs. Il est important que le contact ait le temps d'évacuer l'échauffement dû à l'arc électrique.

Des cycles trop rapides (supérieurs à 0.5 par seconde en général) provoquent une usure prématurée, car le contact n'arrive pas à évacuer l'élévation de température que ces cycles rapides provoquent.

La plupart des appareils sont conçus pour supporter :

- 100 000 cycles dans les appareils de régulation.
- 10 000 cycles dans les appareils de sécurité.

Mais il est possible, dans certaines applications que le nombre de cycles soit nettement plus faible. Un appareil prévu pour supporter 100 000 cycles à 1A pourra supporter 25A pendant quelques centaines de cycles, et même 100 ou 150A pendant 1 cycle. C'est donc un paramètre très important à connaître pour la détermination d'un appareil.

2.3.5 LA PROTECTION DES CONTACTS (condensateurs, filtres, varistances, soufflage magnétique)

Il est possible, par des accessoires externes au contact, de prolonger ou d'améliorer sa longévité. Ces systèmes ont tous pour but de limiter la durée de l'arc électrique.

- Le plus ancien est la capacité, montée en parallèle sur le contact, qui permet d'utiliser celui-ci en courant continu. Cette solution a été fortement utilisée il y a plusieurs dizaines d'années, lorsqu'il existait encore des distributions domestiques de courant continu. C'est une solution efficace et peu coûteuse.
- Le filtre (ensemble condensateur et self) est principalement utilisé sur les contacts à rupture lente, pour éviter les parasites radio-électriques. Il augmente de manière notable la durée de vie.
- Les varistances, plus récentes, absorbent les surtensions créées lors de l'ouverture du contact, et limitent la durée de l'arc et son intensité. Elles doublent ou triplent la durée de vie, particulièrement dans les circuits inductifs.
- Le soufflage magnétique, peu utilisé, est uniquement destiné aux courants continus. Un fort aimant, situé autour de la zone de contact, dévie l'arc électrique ionisé, et lui fait parcourir un trajet plus important. C'est la solution aux coupures de courants continus en 110 et 240V de puissance importante.
- L'inductance : ce système est monté en série sur le système de contact, à proximité immédiate du contact. Il a pour effet de lisser les pointes de tension. C'est un système interne au thermostat.

2.3.6 LES CONTAMINANTS

La présence dans l'atmosphère d'un certain nombre de corps peut avoir un effet nocif sur le fonctionnement des contacts. En particulier :

- Une humidité relative élevée: arcs électriques plus intenses, car l'air perd une partie de son pouvoir isolant
- Présence d'ammoniaque: oxydation des lames porte contact, qui sont à base de cuivre.
- Présence de silicone: la présence de silicone sur les contacts empêche le passage du courant, car lors de l'arc électrique, le silicone se transforme en silice (oxyde d'alumine), isolant stable, résistant aux très hautes températures.

2.3.7 SYSTEMES DE CONTACTS TRAVERSES PAR LE COURANT

Dans certains appareils de petite taille (limiteurs de température), les lames porte-contact sont elles-mêmes les éléments de mesure de la température.

Ces lames ne sont pas, en raison de leur composition, de très bons conducteurs de l'électricité. Le passage du courant dans celles-ci provoque un échauffement qui vient s'ajouter à la mesure de la température. On parle de sensibilité au courant et de dérive thermique de l'étalonnage.

2.3.7 OXYDATION DES CONTACTS

Nous avons vu plus haut que la résistance du contact était très faible, de l'ordre de quelques milli-ohms. Quelle que soit l'intensité du courant qui y passe, cette résistance est trop faible pour provoquer un échauffement notable. Cependant, si pour une raison ou une autre (contamination, oxydation, pression de contact insuffisante, déformation mécanique etc.) cette résistance augmente, il peut très rapidement apparaître à cet endroit une surchauffe suffisante pour fondre les contacts ou endommager ou provoquer une inflammation des éléments proches.

2.4 L'ACTION DU CONTACT

2.4.1 LA REGULATION

C'est à l'origine la première fonction des thermostats. Un contact de régulation est un contact destiné à cycler régulièrement, en ouvrant et fermant un circuit électrique. Ce n'est pas une fonction de sécurité. Les contacts doivent supporter un nombre de cycles élevé.

2.4.2 LE REARMEMENT AUTOMATIQUE

Le réarmement automatique est une fonction de limitation de la température qui ne nécessite pas, en cas de déclenchement, l'intervention d'un opérateur. Le déclenchement de ce type de contact est destiné à avertir d'un mauvais fonctionnement. Le réarmement se fait lorsque la température est revenue dans des limites autorisées.

Le nombre courant de cycles de fonctionnement de ce type d'action est compris entre 300 et 10 000.

2.4.3 LE REARMEMENT MANUEL

Le réarmement manuel est une fonction de limitation de la température, qui nécessite, en cas de déclenchement, l'intervention d'un opérateur pour réarmer l'appareil. Le déclenchement de ce type de contact est destiné à avertir d'un mauvais fonctionnement. Le réarmement ne peut se faire que lorsque la température est revenue dans des limites autorisées. Le réarmement manuel peut être accessible ou caché. En général, on ne peut y accéder qu'après utilisation d'un outil ou démontage d'une pièce.

Le nombre courant de cycles de fonctionnement de ce type d'action est compris entre 300 et 10 000.

2.4.4 LE REARMEMENT ELECTRIQUE

C'est la même fonction que ci-dessus, mais il n'existe aucun poussoir de réarmement. Le réarmement se fait automatiquement après que l'on ait coupé l'alimentation électrique de l'appareil.

2.4.5 LE REARMEMENT PAR BAISSSE

Le réarmement par baisse consiste en une remise en marche automatique après une baisse très importante de la température, en général proche de la température ambiante.

Cette solution est très peu utilisée.

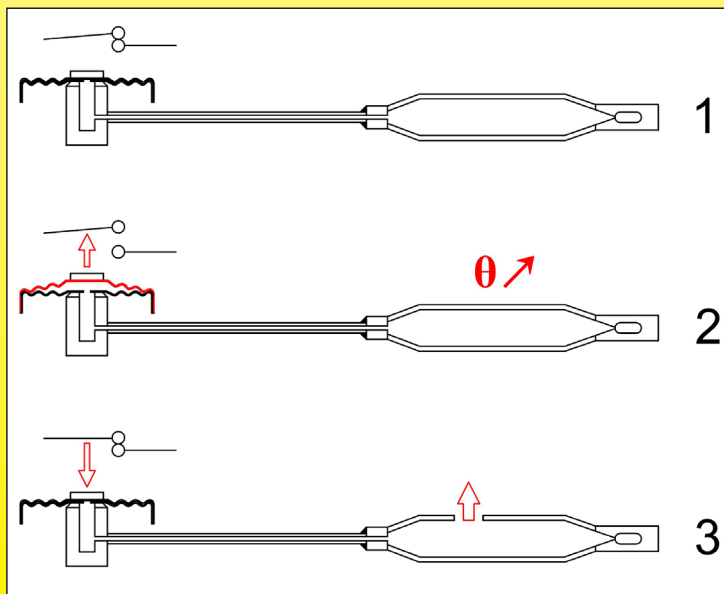
2.4.6 LE «ONE SHOT»

Le «one shot» est un type de contact qui ne peut s'ouvrir qu'une fois. Son utilisation est typiquement celle de la sécurité ultime, qui coupera définitivement l'alimentation électrique d'un appareil. La remise en marche demande le changement du thermostat. Son nombre de cycles de fonctionnement est de 1. Cette fonction peut être réalisée par la fusion d'un alliage, la rupture d'une bille de verre, le déclenchement d'un disque bimétallique dont le retour à la position initiale n'est pas possible dans les températures ambiantes les plus froides.

2.4.7 LA SECURITE POSITIVE

La sécurité positive est une fonction d'auto contrôle de l'appareil. Toute fuite ou rupture du système de mesure de la température amène une coupure définitive du chauffage. Cette fonction est difficile à définir dans les thermostats biméalliques (disques, canne, bilames), mais dans les appareils comportant un train thermostatique, elle définit le mode de fonctionnement lorsque ce train thermostatique est percé.

Les deux différents systèmes à sécurité positive des thermostats à bulbe et capillaire



Fonctionnement d'un train thermostatique standard :

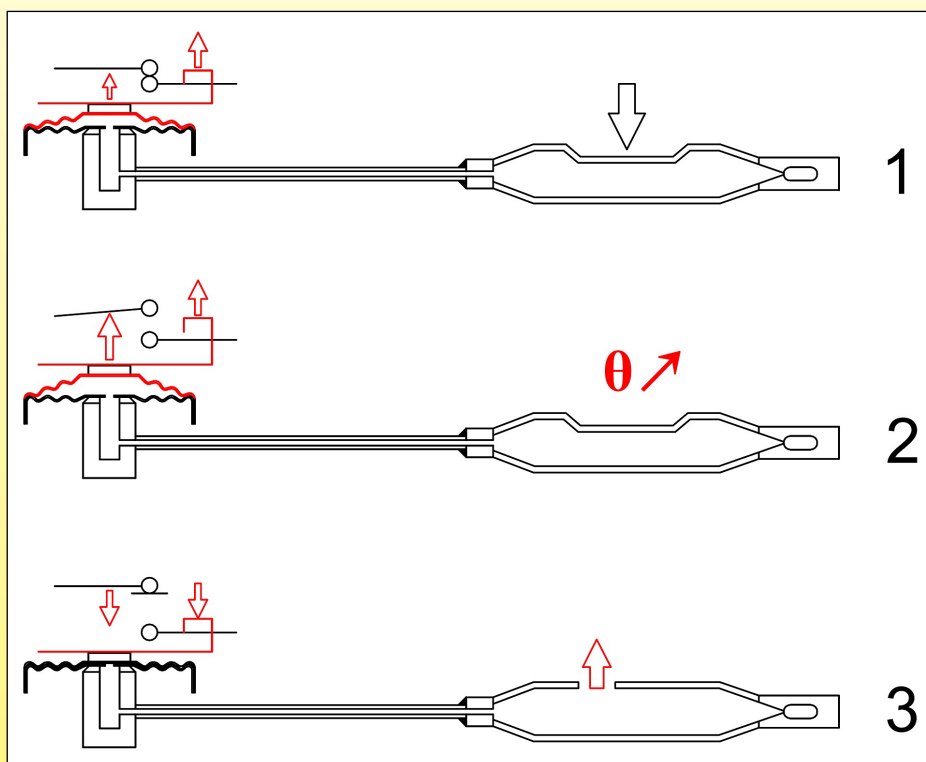
En position 1: un train thermostatique standard est représenté en position de départ, à la température ambiante.

En position 2: la température sur le bulbe a atteint le point de consigne, et le gonflement du soufflet a provoqué l'ouverture du contact et donc l'arrêt du chauffage.

En position 3: le bulbe (ou le capillaire) est percé, le soufflet se dégonfle, le contact électrique se referme, et le chauffage est de nouveau mis en marche. Mais plus aucune dilatation n'est transmise au soufflet, et rien n'arrête ni ne régule le chauffage. C'est la situation dangereuse à laquelle les systèmes à sécurité positive pallient. La sécurité positive est principalement utilisée sur les thermostats à réarmement manuel, montés en sécurité derrière un appareil de régulation.

Il existe deux systèmes ayant un mode de fonctionnement différent, chacun des systèmes ayant ses propres avantages et inconvénient.

La sécurité positive des systèmes à dilatation de liquide



Dans ces systèmes, après fermeture du train thermostatique on provoque un gonflement artificiel du soufflet (1), à la température ambiante par un coup de presse sur le bulbe. Il est aussi possible de réaliser la même fonction en remplissant et fermant le train thermostatique à une température négative (-20, -30°C). De cette manière le soufflet continue à avoir un déplacement possible dans les températures situées sous la température ambiante.

Lorsque la température sur le bulbe augmente (2), la partie mobile du contact électrique est actionnée par le soufflet. Lorsque le bulbe ou le capillaire est percé (3) un mécanisme auxiliaire (en rouge) déplace la partie fixe du contact lorsque le soufflet se dégonfle, ouvrant alors le contact.

Ce système à sécurité positive permet de régler facilement la température de déclenchement des thermostats, car le mécanisme est similaire aux thermostats réglables, et permet donc de couvrir toute la zone de température de ceux-ci.

Il comporte cependant deux défauts:

- Le gonflement artificiel du soufflet augmente considérablement le volume de liquide à l'intérieur de celui-ci, et donc sa sensibilité à la température ambiante sur la tête du thermostat.

Exemples de dérive du point de consigne sur un thermostat à réarmement manuel avec capillaire 1,5m, étalonné à 90°C (hors tolérance d'étalonnage)

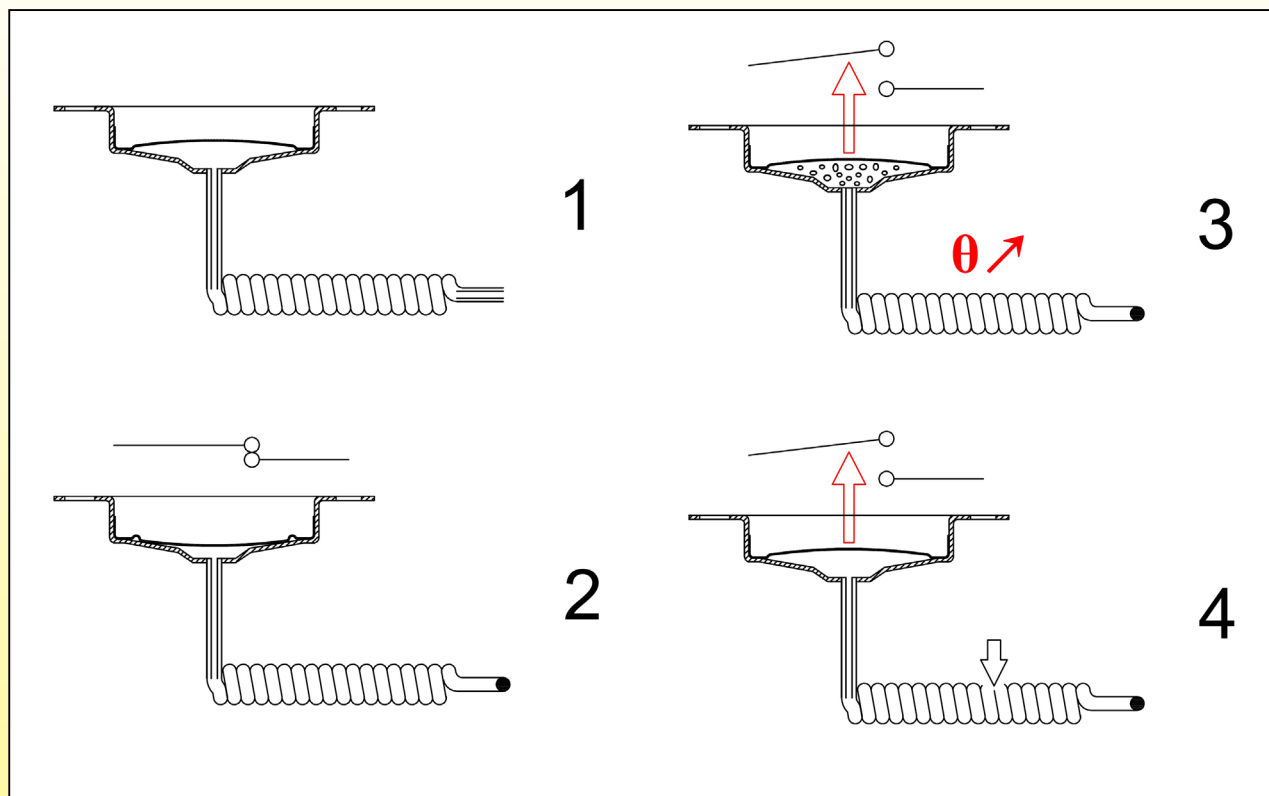
Type de mécanisme	Température de coupure si la tête du thermostat est à 0°C	Température de coupure si la tête du thermostat est à 50°C
Avec sécurité positive	90+8,1	90-9,5
Sans sécurité positive	90+5,5	90-6,5

- Lorsque la température ambiante descend, le soufflet continue à se contracter, et peut atteindre le seuil de déclenchement de la sécurité. Ce type de déclenchement intempestif est prévu par la norme EN60730, qui fixe le seuil minimal sans déclenchement à -15°C.

Cependant lors d'utilisation de ces thermostats dans des zones froides, il est nécessaire de réchauffer le bulbe du thermostat jusqu'à des températures proches de 20°C pour permettre le réarmement manuel de la sécurité.



La sécurité positive des systèmes à ébullition



Dans les systèmes à ébullition, le soufflet du train thermostatique est composé de deux coupelles, dont une seule se déforme.

Cette coupelle déformable est bombée comme un disque bimétallique, passant brusquement d'une position concave à convexe lorsqu'elle est soumise à une contrainte. Le train thermostatique, avant son remplissage (1) est réalisé pour que cette coupelle ait en position normale la coupelle bombée vers l'extérieur.

Ce train thermostatique est ensuite rempli de liquide sous vide, puis fermé en maintenant la coupelle bombée vers l'intérieur (2). Dans cette position, les contacts sont fermés.

En cas d'augmentation de température, le liquide à l'intérieur se met à bouillir à la température déterminée par sa composition. L'augmentation importante de volume provoquée par cette ébullition provoque le changement de forme de la coupelle, qui ouvre le contact (3). Lors du refroidissement du liquide, la force nécessaire au retournement de la coupelle est insuffisante, et il est nécessaire d'appuyer sur celle-ci avec un bouton de réarmement pour lui faire retrouver sa forme initiale.

En cas de percement ou de fuite dans le bulbe ou le capillaire, le liquide à l'intérieur est mis à la pression atmosphérique, et la coupelle se bombe vers l'extérieur.

Ce système est particulièrement simple, fiable, et ne nécessite pas de mécanisme compliqué. Il n'est pas sensible à la température ambiante sur le capillaire ou sur la tête, ne déclenche pas intempestivement lorsque les températures ambiantes sont trop basses. **Il comporte cependant, comme le précédent deux défauts:**

- Les températures de déclenchement sont fonction des températures d'ébullition des liquides utilisés, (En général mélanges d'eau, de glycol et d'alcool), et de ce fait ils sont limités à des plages entre 60 et 170°C.
- Ils sont sensibles à la pression atmosphérique, et leur point de consigne varie légèrement avec l'altitude.

2.5 LES CONTACTS MULTIPLES

2.5.1 LES CONTACTS INVERSEURS

Le contact inverseur est un contact comportant 3 bornes de raccordement. On distingue un commun, un contact normalement fermé et un contact normalement ouvert. Lors de son actionnement, le contact bascule d'une position à l'autre. Cela permet par exemple de couper le chauffage et simultanément de mettre en marche une ventilation.

2.5.2 LES CONTACTS SIMULTANES

Des contacts simultanés sont des contacts indépendants, dont le basculement est synchrone.

C'est particulièrement important dans les appareils coupant un circuit triphasé, car la coupure des trois phases doit se faire au même moment.

2.5.3 LES CONTACTS ETAGES

Les contacts étagés sont des contacts actionnés par le même système de mesure, mais coupant à des températures différentes.

2.5.4 LES CONTACTS A ZONE NEUTRE

Ces contacts sont une version des contacts étagés. Leur application particulière est le conditionnement d'air ou la réfrigération. Par exemple le contact N°1 coupera le chauffage à 100°C, le contact N°2 mettra en marche la ventilation à 120°C. Entre ces deux températures, aucune action ne sera demandée : c'est la zone neutre.

2.5.5 LES CONTACTS A DIFFERENTIELLE REGLABLE

La différentielle est la différence de température existante entre le moment où l'appareil actionne (coupe) un contact et le moment où, à la suite de la baisse de température résultant de son action de coupure, il réenclenche.

Selon le type de contact, ces différentielles peuvent être très différentes.

La différentielle réglable est un système de réglage permettant à l'utilisateur de modifier cet écart. Pour des raisons techniques et de coût, cette configuration est réservée aux systèmes à dilatation de gaz de types industriels.

2.5.6 LES CONTACTS MIXTES

Par contacts mixtes, on entend une combinaison des différents systèmes ci-dessus.

La combinaison la plus courante est un contact de régulation et un contact à réarmement ou un contact « one shot ».

2.5.7 LES CONTACTS ANTIDÉFLAGRANTS

Le contact antidéflagrant est un contact qui ne permet pas à l'arc électrique qu'il produit de propager une explosion à l'extérieur de son enveloppe.

L'arc électrique n'est pas supprimé. On distingue les appareils dont seul le contact électrique est protégé et ceux dont la totalité du mécanisme est protégée.

2.5.8 LES CONTACTS SOUS ENVELOPPE ANTIDÉFLAGRANTE

Dans ces appareils seul le mécanisme du contact électrique est protégé par une enveloppe antidéflagrante. Les raccordements électriques se font à l'extrémité d'un câble solidaire de l'enveloppe du contact, obligatoirement hors zone, ou dans un boîtier de raccordement approprié. Cette solution autorise des appareils de petite dimension, et permet des coûts faibles.

2.5.9 LES BOITERS ANTIDÉFLAGRANTS

Les boîtiers antidéflagrants sont des enveloppes massives où la totalité de l'appareil est enfermée. Les raccordements électriques peuvent s'effectuer à l'intérieur de cette enveloppe.

3. LES APPAREILS

3.1 LES THERMOSTATS A BILAME

C'est actuellement la famille de thermostats où les quantités sont les plus importantes. De très nombreuses configurations sont présentes, et l'évolution actuelle est vers une recherche de simplification et de réduction de volume.



3.1.1 LES BILAMES A TEMPERATURE FIXE



Les bilames à température fixe sont des appareils dont les températures d'étalonnage sont fixées en usine, et qui ne possèdent aucun système de réglage accessible par l'utilisateur. Ils sont utilisés, selon les modèles, comme appareils de régulation ou de sécurité. Les contacts peuvent être à rupture lente ou brusque, de régulation ou à réarmement, à ouverture, fermeture, ou inverseur. Quasiment toutes les options de contact ci-dessus sont réalisables.

On distingue dans ces appareils deux grandes familles : ceux sensibles au courant (qui sont les plus petits) et ceux insensibles au courant.

Les plages les plus courantes de réglage sont de 20 à 180°C. Cependant des modèles avec boîtier céramique peuvent être réalisés jusqu'à 450°C, et des modèles étanches jusqu'à -30°C.

3.1.2 LES BILAMES A TEMPERATURE REGLABLE

Ils sont réglables par tournevis ou par axe. Leurs principales applications sont dans le petit électroménager (friteuses, fer à repasser).

Ce sont toujours des appareils de régulation, utilisant une lame bimétallique. Les plages courantes de température vont de 20 à 300°C.

Ils sont sensibles ou insensibles au courant selon les modèles.

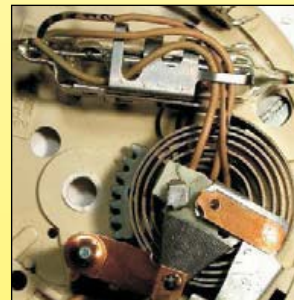
Des modèles avec bilame sensible au courant, ou réchauffés par une résistance, sont utilisés dans les doseurs d'énergie.



3.1.3 LES SPIRALES

Les spirales bimétalliques ont été largement utilisées pour la réalisation de thermostats d'ambiance. Ce système est maintenant abandonné par les constructeurs européens, car il obligeait à utiliser un contact à ampoule de mercure, ou un contact à rupture lente. Seuls subsistent encore quelques constructeurs aux USA, pour des applications en 110V.

Ces spirales bimétalliques sont encore utilisées dans certains thermostats de veine d'air (dits airstats).



3.2 LES THERMOSTATS A DILATATION BIMETALLIQUE

3.2.1 LES THERMOSTATS CARTOUCHE

Ces appareils de régulation, réglable, à rupture lente, ont une très grande précision, et la plus faible différentielle possible sur un thermostat mécanique : inférieure à 1/10°C. Ils se montent dans un alésage de dia 15.8mm en général.

Cependant en raison de leur rupture lente, génératrice de parasites en 230V, leur utilisation en Europe est marginale, limitée à des utilisations dans des plaques chauffantes de laboratoire. Les plages courantes de température vont de 20 à 300°C.



3.2.2 LES THERMOSTATS DE CONTACT

Ces appareils de régulation, réglables, à rupture lente, ont une très grande précision, et une faible différentielle : inférieure à 1°C. Ils se montent à plat sur une paroi, fixés par 2 vis. Cependant en raison de leur rupture lente, génératrice de parasites en 230V, leur utilisation en Europe est marginale, limitée à des utilisations de laboratoire ou lorsque des différentielles faibles sont recherchées. Les plages courantes de température vont de 20 à 250°C.



3.2.3 LES THERMOSTATS A CANNE BIMETALLIQUE



C'est actuellement la principale application des systèmes biméalliques. La canne biméallique actionne un système de contact. Le réglage peut être fixe, ou par manette graduée. Les contacts sont des contacts de régulation ou à réarmement manuel ou mixtes.

Les principales applications se trouvent :

- Dans les chauffe-eau domestiques. Les appareils sont alors à réglage par tournevis, à coupure unipolaire sur la phase de régulation et à coupure omnipolaire (par disque biméallique mesurant la température de la partie du mécanisme en contact avec le fond de la cuve), pour le contact à réarmement manuel. Ils sont nus, sans boîtier de protection, car montés sous le capot du chauffe-eau.
- Dans les réchauffeurs d'eau et les réservoirs industriels. Les appareils sont alors différents : un pour la régulation et un pour la sécurité. Ils sont montés sous boîtiers étanches IP65.
- Dans les systèmes hydrauliques, comme système de contrôle de la température de l'huile. Les appareils sont alors à 1,2 ou 3 contacts étagés assurant les différents niveaux d'alerte et de sécurité.

Les plages courantes de température vont de -50 à 400°C. Cependant certains modèles spéciaux peuvent atteindre 800°.

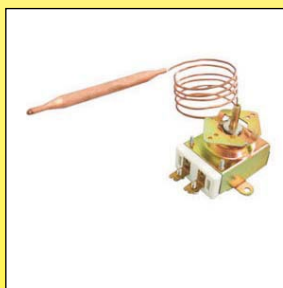
3.3 LES THERMOSTATS A DILATATION DE LIQUIDE

3.3.1 LES TUBES VERRE A DILATATION DE MERCURE

C'est un des premiers systèmes de thermostats, dérivé des thermomètres à mercure. Un fil est introduit dans le tube en verre. Lorsque le mercure touche ce fil, le contact s'établit. Ce type de thermomètre a longtemps été l'appareil de référence et de régulation de précision. Il n'a plus d'applications de série actuellement.



3.3.2 LES THERMOSTATS A BULBE ET CAPILLAIRE



C'est la famille la plus courante pour la mesure et la régulation de température à distance. Les longueurs de capillaire peuvent aller jusqu'à 3 mètres, mais avec une dérive notable due à la quantité de liquide comprise dans le capillaire.

Dans cette série, la sécurité positive peut être réalisée en cas de rupture du train thermostatique. Les plages courantes de température vont de -50°C à 400°C, exceptionnellement jusqu'à 760°C.

3.3.3 LES THERMOSTATS A CANNE A REMPLISSAGE LIQUIDE

Ce modèle est une variante du thermostat à canne à dilatation bimétallique. Il s'en différencie par une meilleure résistance aux vibrations mais un temps de réponse plus long. Les applications sont identiques. Les plages courantes de température vont de -50°C à 400°C, exceptionnellement jusqu'à 760°C.



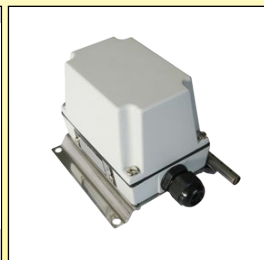
3.3.4 LES THERMOSTATS D'APPLIQUE

Ces thermostats utilisent un mécanisme de thermostat à bulbe et capillaire mais avec un capillaire très court et un bulbe situé sous le boîtier. Le boîtier possède un système de fixation permettant de le plaquer sur une tuyauterie. Les plages habituelles de réglage de ces appareils sont comprises entre 0 et 120°C.



3.3.5 LES THERMOSTATS D'AMBIANCE

Ces thermostats utilisent un mécanisme de thermostat à bulbe et capillaire mais avec un capillaire très court et un bulbe situé sur le côté ou sur l'arrière du boîtier. Ce système est particulièrement utilisé pour les appareils professionnels et industriels. Les plages courantes de température vont de -40°C à 120°C.



3.4. LES THERMOSTATS A DILATATION DE GAZ OU TENSION DE VAPEUR

3.4.1 LES THERMOSTATS A BULBE ET CAPILLAIRE D'AMBIANCE

Ces appareils à tension de vapeur sont principalement utilisés dans les thermostats d'ambiance incorporés dans les convecteurs électriques, en raison de leur faible différentielle et de leur faible inertie thermique.

Plage courante : 4 à 40°C.



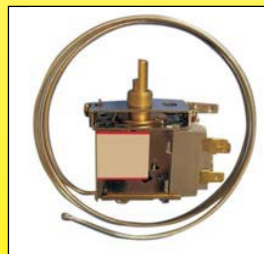
3.4.2 LES THERMOSTATS A MEMBRANE

Ce sont actuellement des dérivés des thermostats de couveuse utilisés dans l'élevage depuis des dizaines d'années. La partie sensible est une capsule de type barométrique (capsule de Vidie) à tension de vapeur. Ils sont fortement utilisés dans les thermostats d'ambiance domestiques. Page courante: 4 à 40°C



3.4.3 LES THERMOSTATS A CAPILLAIRE

Ces thermostats sont utilisés dans le contrôle de la température de systèmes frigorifiques. La faible inertie thermique du système à capillaire, et la possibilité d'obtenir des différentielles importantes est la principale particularité de ces appareils à tension de vapeur.



3.4.4. LES THERMOSTATS A BULBE ET CAPILLAIRE

Ils sont surtout utilisés dans les applications industrielles, car la tension de vapeur permet de réaliser assez facilement des appareils à différentielle réglable.

3.4.5 LES THERMOSTATS A DEPLACEMENT D'AIR

Ces appareils faisaient appel à un système de réchauffage d'une ampoule en verre remplie partiellement d'air, et contenant du mercure qui, poussé par l'air se dilatant, passait par un tube dans un compartiment contenant une électrode avec laquelle il établissait un contact électrique. Ce système, couplé avec un bilame à rupture lente permettait une temporisation du contact, de très faibles différentielles et un fort pouvoir de coupure. Ce système, très précis, très fiable a complètement disparu.

3.4.6 LES THERMOMETRES

Les thermomètres à dilatation de gaz sont utilisés en applications industrielles, ils ont une faible inertie thermique et peuvent monter à des températures élevées.

3.5 LES THERMOSTATS A CHANGEMENT D'ETAT

3.5.1 LES «CALORSTATS»

Ils utilisent la fusion de cire. Peu d'utilisation dans des systèmes actionnant un contact électrique, mais souvent utilisés pour obtenir des mouvements mécaniques (thermostat automobiles, thermostats de radiateurs, verrouillage de portes, commande de vannes). Ce système actionne soit un contact électrique, soit une soupape permettant la circulation d'eau lorsque la température monte. Plages courantes : de 30 à 150°C.

3.5.2 LES FUSIBLES THERMIQUES

C'est le principal système des protecteurs thermiques fusibles. Des millions de ces appareils sont actuellement produits dans le monde. C'est un système particulièrement fiable, dont le fonctionnement est sûr. Les contacts sont soit à coupure par fusion du conducteur (pouvoir de coupure limité à 4A en général), soit à coupure par fusion d'une pastille libérant un contact à ressort (pouvoir de coupure jusqu'à 25A). Plages courantes : de 60 à 300°C.

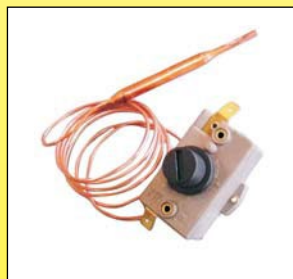
La pastille fusible est en métal ou en plastique.

Ce système, appelé aussi TCO (pour thermal cut-off), est le système de sécurité ultime par excellence. Il est de plus peu coûteux. Une variante de ces systèmes est aussi utilisée dans des appareils non électriques, pour libérer un mécanisme, en particulier dans les appareils de détection d'incendie.

3.5.3 THERMOSTATS A EBULLITION

Le thermostat le plus courant de ce type est le limiteur à capillaire à réarmement manuel à sécurité positive.

Dans ce système, on mesure l'ébullition d'un liquide compris dans un capillaire ou dans un bulbe à l'extrémité du capillaire. Une ébullition locale sur +/-300 mm de capillaire est nécessaire pour actionner le contact. Pour cette raison, les modèles à capillaire ont souvent leur extrémité enroulée dans des dimensions similaires à un bulbe. Ces appareils sont toujours à température fixe, en général dans des plages comprises de 50 à 170°C, et des longueurs de capillaire limitées à +/-900 mm pour des raisons de transmission de la surpression due à l'ébullition ou de la dépression due à la rupture du capillaire



4. APPLICATIONS

Principe	Famille	Sous famille	Application
Bilames	T° fixe	Sensibles au courant	Protection de bobinages, Petit électroménager, Automobile, Batteries rechargeables
	T° fixe	Insensibles au courant	Petit électroménager, chauffage et conditionnement, froid
	T° réglable		Fers à repasser, grills, crêpières, mini fours, électroménager
	Spirale		Thermomètres, airstats
Bimétalliques	Cartouche Contact de surface		Plateaux chauffants, résistances plates, médical
	Canne	Nus	Chauffe-eau domestiques
		Professionnels	Ventilation, conditionnement d'air
		Industriels	Réservoirs, hydraulique, Réchauffeurs
		ADF	Industrie chimique
Dilatation liquide	Verre	Laboratoire	Variées
	Bulbe et capillaire à incorporer	Constructeurs d'équipements domestiques	Fours, cuisinières, machines à laver, lave-vaisselle, chaudières
		Semi professionnel	Grandes cuisines, machines diverses
	Bulbe et capillaire sous boîtier	Semi professionnel	Constructeurs de machines électrothermiques, fours, étuves, aérothermes
	Bulbe et capillaire sous boîtier métallique	Industriel et/ou ADF, construction lourde	Usines, maintenance, traçage
Tension de vapeur	Bulbe et capillaire		Convecteurs électriques, thermostats de frigo
	Membrane		Thermostats d'ambiance domestiques
	Dépl. air		Plus d'application
Changement d'état	Cire		Automobile, chauffage central
	Fusion d'alliage	Fusion du conducteur	Petit électroménager, bobinage, batteries, électronique
		Fusion de pastille	Electroménager, chauffage électrique, moteurs
	Ebullition	Capillaire	Aérothermes, batterie de chauffage électrique, pompes à chaleur
		Ampoule verre	Conditionnement d'air, détection d'incendie

5. TERMINOLOGIE ET VOCABULAIRE

5.1 VOCABULAIRE

Les normes EN60730 et EN 60335 définissent, quelquefois avec des différences, le vocabulaire à utiliser. Il est cependant souvent différent de celui utilisé dans la pratique.

Vocabulaire courant:

Point de consigne: La valeur réglée sur l'appareil de régulation de température, correspondant à la température à atteindre

Différentielle: la différence de température entre l'ouverture du contact et sa fermeture

Rupture brusque: ouverture et fermeture des contacts de manière instantanée

Réarmement manuel : action de remettre par une intervention manuelle en position de chauffage des contacts ouverts par une élévation de température, et ne revenant pas automatiquement en position fermée lorsque la température redescend.

Réarmement automatique: contact dont la fermeture est automatique lorsque la température redescend.

Régulateur automatique: contrôle automatique activé par un système de mesure sensible à la température

Définitions des différents systèmes thermostatiques selon la norme EN60335-1:

§3.7.1 Thermostat: système de détection de température dont la température de fonctionnement peut être fixe ou réglable et qui pendant le fonctionnement normal maintient la température de la partie commandée entre certaines limites par ouverture et fermeture automatiques d'un circuit

§3.7.2 Limiteur de température: Dispositif de mesure de température, la température de fonctionnement qui peut être fixe ou réglable et qui fonctionne pendant le fonctionnement normal par l'ouverture ou la fermeture d'un circuit lorsque la température de l'appareil contrôlé atteint une valeur prédéterminée. REMARQUE: Il ne fait pas l'opération inverse au cours du cycle normal de l'appareil. Il peut ou non exiger un réarmement manuel.

§3.7.3 Coupe-circuit thermique : dispositif qui, en fonctionnement anormal limite la température de la partie commandée par ouverture automatique du circuit,et est construit de telle sorte que son réglage ne peut pas être modifié par l'utilisateur.

§3.7.4 coupe-circuit thermique à réarmement automatique : coupe-circuit thermique qui rétablit automatiquement le courant lorsque la partie correspondante de l'appareil a suffisamment refroidi

§3.7.5 Coupe-circuit thermique à réarmement non automatique : coupe-circuit thermique qui nécessite une opération manuelle, ou le remplacement d'une partie.. REMARQUE: l'opération manuelle inclut la déconnexion de l'appareil du réseau d'alimentation.

§3.7.6 Dispositif de protection: Dispositif, dont le fonctionnement empêche une situation dangereuse dans des conditions de fonctionnement anormales

§3.7.7 Fusible thermique: coupe-circuit thermique qui fonctionne seulement une fois et nécessite un remplacement partiel ou complet.

Limiteur de température à sécurité positive: la sécurité positive sur un thermostat est définie par la norme EN60730-2-9§ 6.4.3.101, comme étant un dispositif de contrôle de température dans lequel une fuite du fluide de remplissage n'augmente pas la température de consigne. Plus généralement un système est dit à sécurité positive, lorsqu'une perte de fluide moteur (dont l'électricité) conduit l'équipement à se mettre en situation sécuritaire stable. La position de sécurité doit être maintenue dans le temps

Applications recommandées pour les thermostats : Les normes IEC (EN) 60730-1 « Dispositifs de commande électrique automatiques à usage domestique et analogue » et en particulier IEC (EN) 60730-2-9-(2008) : « règles particulières pour les dispositifs de commande thermosensibles » sont les normes définissant les caractéristiques fonctionnelles des thermostats. L'annexe EE de la dernière version de cette norme décrit toutes les applications recommandées pour ces appareils.

5.2 VOCABULAIRE COMMUN UTILISÉ HABITUELLEMENT POUR DÉSIGNER UN THERMOSTAT

Des dizaines de noms sont utilisés par la clientèle pour désigner des thermostats. Nous pouvons citer, par ordre alphabétique : aquastat, airstat, bilame, capteur, capteur de température, contacteur de température, détecteur de température, détecteur thermique, interrupteur thermique, limiteur de température, pastille thermique, pastille thermostatique, protecteur thermique, régulateur de température, sonde, sonde de température, sonde thermique, thermostat

Un certain nombre de marques sont passées dans le vocabulaire courant :

Klixon : marque déposée par Texas instrument, désigne un thermostat à disque bimétallique.

Combistat : marque déposée par Stork, désigne un thermomètre à contact

Vigitherme : marque déposée par Heito, désigne un thermostat à disque bimétallique.

Ipsotherm : marque déposée par Comepa, désigne un thermostat à disque bimétallique.

Calorstat : marque déposée par Vernet, désigne un thermostat de circuit d'eau automobile.

6. EXTRAITS IMPORTANTS DE NORMES APPLICABLES AUX CIRCUITS DE REGULATION OU DE SECURITE

Coupure électrique : (IEC 60335-1)

§3.8.1 Coupure omnipolaire : ...La coupure des deux conducteurs par une seule opération, ou pour les appareils triphasés, la coupure des trois conducteurs par une seule opération...Note: pour les appareils triphasés, le conducteur de neutre n'est pas considéré comme un conducteur d'alimentation.

§22.2: Coupure du conducteur de phase : les systèmes de protection unipolaires coupant des résistances chauffantes dans un circuit unipolaire d'appareils de classe 01 et de classe 01 connecté en permanence, doivent être raccordés sur le conducteur de phase.

Couleur des conducteurs: (IEC 60446):

§3.1 ... Pour l'identification des conducteurs, les couleurs suivantes sont autorisées: noir, brun, rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet, gris, blanc, rose, turquoise.

§3.2.2 Conducteur neutre ou conducteur médian: Quand un circuit comprend un conducteur neutre ou un conducteur médian identifié par la couleur, la couleur utilisée pour cet usage doit être le bleu...

Note 2 – Aux Etats-Unis d'Amérique, au Canada et au Japon, l'identification par la couleur blanc ou gris naturel pour le conducteur médian ou neutre est utilisée comme remplacement pour l'identification par la couleur bleu clair.

§3.2.3 Conducteurs de phase à courant alternatif: Les couleurs noir et brun sont les couleurs préférées pour les conducteurs de phase à courant alternatif de systèmes.

§3.3.2 Conducteur de protection : La combinaison bicolore vert-et-jaune doit être utilisée pour l'identification du conducteur de protection à l'exclusion de tout autre usage. Le vert-et-jaune est la seule combinaison de couleurs reconnue pour l'identification du conducteur de protection

Note 2 – Aux Etats-Unis d'Amérique, au Canada et au Japon, l'identification par la couleur verte pour le conducteur de protection est utilisée comme remplacement pour l'identification par la combinaison bicolore vert-et-jaune.

Sécurité positive, sécurité fonctionnelle, niveaux de sécurité:

Il est requis par la directive Européenne 97/23 relative aux générateurs de chaleur, équipements sous pressions et chaudières dans les termes suivants : « Les procédures d'évaluation de la conformité et les exigences essentielles de sécurité de la directive s'appliquent à la chaîne de sécurité complète. Les exigences relatives au capteur lui-même peuvent être différentes selon le concept de sécurité considéré, par exemple la redondance ou la sécurité positive ». De nombreuses normes « produits » de la série IEC (EN) 60335-xxx requièrent ce type de sécurité

Définitions relatives à la sécurité fonctionnelle: cette notion a été introduite par la norme CEI 61508:1998. « Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électrique, électronique et électronique programmable » Cette norme définit les exigences et les dispositions relatives à la conception de systèmes et sous-systèmes électroniques et programmables complexes. Il s'agit d'une norme générale qui peut être utilisée dans tous les secteurs industriels. Les catégories de protection des équipements thermiques ont été classées en trois niveaux par l'ancienne norme EN 954-1.

Le niveau 1 comprend essentiellement l'instrumentation de contrôle du processus : capteurs de température, thermostats, régulateurs, programmeurs. Ce niveau 1 assure la conduite soit de façon permanente, soit selon une séquence par commandes programmées initialisée par l'opérateur. (Par exemple: thermostats de régulation à disque, biméalliques, à bulbe et capillaire, régulateurs électroniques de température)

Le niveau 2 comprend essentiellement une instrumentation de composition voisine de celle du niveau 1, mais totale indépendante fonctionnellement de ce niveau. Ce niveau 2 assure la protection du processus selon une fonction discontinue non systématique, c'est-à-dire non initialisée par l'opérateur, à partir d'informations de dépassement de seuils sur des paramètres critiques du processus. (Par exemple, thermostat à disque + limiteur à disque, limiteurs de température à bulbe et capillaire + thermostat de régulation à bulbe et capillaire, doubles régulateurs électroniques)

Le niveau 3 constitue la protection ultime du processus. Il ne contient pas d'instrumentation identique à celles des niveaux 1 et 2, mais des dispositifs fonctionnant sans énergie auxiliaire. (Par exemple : Limiteurs à température fixe à réarmement manuel ou automatique sur des circuits contrôlés par des régulateurs électroniques, fusibles thermiques sur des systèmes contrôlés par des thermostats à disque, à bulbe et capillaire, ou par des régulateurs électroniques)

7. INSTALLATION

Le bon fonctionnement d'un thermostat dépend d'abord du bon choix du composant, mais aussi des conditions de son installation. Les conditions de réglage et de contrôle des appareils en usine sont toujours des conditions idéales de laboratoire, garantissant la précision de la mesure et sa répétabilité. Ces conditions sont rarement celles qui se retrouvent en pratique lors de l'installation des thermostats. Cependant, avec un minimum de contraintes, il est possible d'optimiser les montages.

On aura toujours à l'esprit les deux principales règles à respecter :

- un thermostat ne mesure que la température de l'endroit où est situé son élément sensible, et par conséquent il faut que cet endroit soit représentatif de la température qu'il doit contrôler.
- Les phénomènes d'inertie thermique sont les causes les plus courantes d'une mauvaise régulation. Un thermostat n'a pas une réponse instantanée à une variation de température.

7.1 RÈGLES GÉNÉRALES

• CONDUCTIBILITÉ THERMIQUE

La température d'un milieu (liquide, air, métal) décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de chaleur. Cette décroissance, nommée gradient thermique, est inversement proportionnelle à la conductibilité thermique du milieu. Pour une bonne régulation de la température, on cherchera tout d'abord à rendre cette décroissance la plus faible possible : en agitant le liquide, en brassant l'air, en utilisant des métaux bons conducteurs de la chaleur.

Dans des bains liquides non agités, des écarts thermiques de plusieurs dizaines de degrés entre différents points de mesure sont tout à fait courants. Il en est de même dans l'air.

• TEMPS DE RÉPONSE

De manière pratique, le temps mis par un appareil pour changer de température est proportionnel à sa masse et inversement proportionnel à sa conductibilité thermique.

Soumis à la même variation de température, un gros bloc de cuivre mettra plus longtemps à chauffer qu'un petit. Un bloc d'argent pur de même masse réagira beaucoup plus vite.

Dans une pièce, l'exposition au soleil va faire monter très rapidement la température de l'air ambiant car sa masse est faible, mais les murs vont réagir beaucoup plus lentement en raison de leur masse, malgré que leur conductibilité thermique soit supérieure. Pour mettre en marche le conditionneur d'air, il faut donc lui faire mesurer la température de l'air et non pas celle des murs.

Conductibilité (Conductivité) thermique de quelques matériaux

Materials	Conductivité thermique à 20°C (W•m-1•K-1)	Materials	Conductivité thermique à 20°C (W•m-1•K-1)
Mousse de Polyuréthane rigide	0,025	Titane	20
Air (pression atmosphérique)	0,026	Acier inoxydable (304)	26
Polystyrène expansé	0,036	Acier doux	46
Laine de verre	0,043	Platine	72
Liège	0,043	Fer	80
Bois (valeur moyenne)	0,16	Fonte	100
Amiante	0,17	Silicium	149
Epoxy	0,25	Aluminium allié avec SiC	150-200
Nylon	0,25	Aluminium (pureté de 99,9 %)	237
PPS (Ryton)	0,3	Carbure de silicium pur non fritté	250
Caoutchouc vulcanisé (EPDM)	0,4	Or	317
Eau	0,63	Cuivre	390
Béton	0,92	Argent	429
Verre	1,23	Graphite	500-2000
Bakélite	1,42	Diamant	1000-2600
Quartz	10	Graphène	4000-5300

Il est possible de constater facilement que si un gradient thermique met 1 seconde pour être transmis dans un support en argent, il lui faudra 1.1 seconde dans du cuivre, 2,5 secondes dans de l'aluminium allié, 4,3 secondes dans de la fonte, 6,3 secondes dans de l'acier doux, 16.5 secondes dans de l'acier inoxydable, 680 secondes (+ de 11 minutes) dans de l'eau non agitée et 16500 secondes (+ de 4 heures) dans de l'air non brassé.

• TEMPS DE CHAUFFE

Un problème fréquemment soulevé, et que beaucoup considèrent comme lié aux thermostats et les temps mis pour chauffer un produit. En réalité, à puissance constante, la quantité de chaleur (l'énergie) nécessaire pour chauffer un produit dépend de sa masse et de sa capacité calorifique, et non pas du thermostat.

La capacité thermique massique (ou capacité calorifique massique) est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température d'un degré kelvin pour une masse d'un kg. Elle s'exprime en joule par kelvin par kg (J/K). Le nom de capacité calorifique a pour origine la calorie qui était définie comme la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 15 °C à 16 °C la température d'un gramme d'eau.

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs courantes



Materials	Capacité thermique massique (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	Materials	Capacité thermique massique (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)
Or	129	Granite	800
Argent	240	Béton	880
Laiton	377	Aluminium	897
Cuivre	385	Air (sec)	1005
Fer	444	Bois	1760
Diamant	502	Huile d'olive	2000
Acier inoxydable 304	510	Éthanol	2450
Graphite	720	Eau liquide	4180

On peut facilement remarquer qu'à puissance égale, s'il faut 600 secondes pour chauffer un kg d'eau, il ne faudra que 290s pour de l'huile, 145s pour de l'air, 73s pour de l'acier inoxydable, 55s pour du cuivre et 18s pour de l'or. La capacité calorifique est donc un paramètre extrêmement important dans la définition d'un système thermique.

• SURCHAUFFE ET ACCUMULATION DE CHALEUR

De nombreux systèmes de chauffage commencent par accumuler de la chaleur avant de la restituer au milieu ambiant. C'est le cas en particulier des résistances blindées, où les filaments chauffants sont enrobés de magnésie, puis recouverts d'inox. Avant que l'habillage extérieur en inox commence à chauffer, tout l'intérieur de la résistance a fortement monté en température. Même si l'alimentation électrique est alors coupée, cette chaleur accumulée à l'intérieur va continuer à se dissiper, et la température de l'enveloppe externe va continuer à s'élever. Une régulation qui réglera en mesurant la température de l'enveloppe externe sera donc fautive.

7.2 LES THERMOSTATS D'APPLIQUE :

Les thermostats d'applique sont destinés à être montés sur des parois. Ce sont aussi tous les thermostats à disque bimétallique, à bride plate, ou de forme hémicylindrique.

Il faut respecter les impératifs suivants :

- Dans le cas de thermostats dont la partie sensible est plate, cette paroi doit être plate. En particulier, pour la mesure de la température de paroi d'un tube, on brasera ou soudra sur ce tube une pièce donnant une surface plate égale au minimum à la surface de contact du thermostat. Cette pièce sera réalisée dans un métal conducteur de la chaleur : cuivre, laiton.
- Dans le cas de thermostats dont la partie sensible est bombée pour épouser la forme de la paroi (cuves, tubes).
- Utiliser, entre les parois du thermostat et de l'appareil à contrôler, une graisse de contact thermique.
- Isoler le corps du thermostat et son support, afin de limiter l'influence de la température ambiante.
- Penser que la totalité du thermostat doit pouvoir supporter la température maximale ou minimale de la paroi. Vérifier si ces températures sont compatibles.

7.3 LES THERMOSTATS DE VEINE D'AIR (airstats):

Les thermostats doivent être installés dans une zone où il existe une circulation d'air. Éviter les coins, les angles. Les thermostats doivent se situer à proximité de l'élément chauffant (ou refroidissant), pour être influencés rapidement par les modifications de température. Les thermostats à disque avec bride décalée sont à placer sur une paroi qui n'est pas influencée par une température autre que celle de la veine d'air.

Attention à l'utilisation de thermostats à canne bimétallique dans les veines d'air : ces appareils ont en général des temps de réponse très rapides aux variations de température, et certains modèles, avec anticipation, ne sont pas adaptés à des utilisations comme organe de sécurité, car leur déclenchement est trop rapide.

7.4 LES THERMOSTATS À CANNE (aquastats)

Les thermostats à canne doivent être fixés par les raccords ou bossages prévus à cet effet. Il ne faut en aucun cas plier la canne, ou venir y souder, braser, visser des raccords ou des pièces gênant la dilatation de la canne.

La totalité de la partie sensible de la canne doit être immergée dans le milieu à contrôler.

Il ne faut pas fixer le thermostat sur un empilement de raccords, et la canne doit être dans une zone représentative de la température du réservoir. Éviter les zones sans convection naturelle ou sans circulation.

Quel que soit le montage, la tête du thermostat ne doit pas dépasser la température maximale admissible. En particulier, lors du montage de thermostats sur des systèmes à haute température, éloigner la tête des parois chaudes.

Utilisez des doigts de gant adaptés aux diamètres des cannes, et qui ne gênent pas les mouvements de dilatation. Si vous voulez obtenir des réglages précis et de faibles différentielles, installez de la graisse thermique entre le doigt de gant et la canne.

7.5 LES THERMOSTATS A BULBE ET CAPILLAIRE

Les thermostats à bulbe et capillaire sont prévus pour mesurer la température avec le bulbe, qui doit être positionné dans le milieu à contrôler. Cependant, le capillaire et le reste du système de mesure sont influencés, de manière modérée, par la température.

Il importe donc de ne pas exposer ceux-ci à des températures trop importantes, et en particulier de ne jamais dépasser la température maximale autorisée sur le boîtier. Les capillaires et en particulier les jonctions capillaire/bulbe sont des organes fragiles, et il faut veiller à ne pas les cintrer avec un rayon inférieur à 5 mm ou près du bulbe. La rupture du capillaire à la suite d'un pliage trop vif annule toute garantie sur ce matériel. Les surchauffes sur les bulbes ou les capillaires provoquent l'ébullition du liquide à l'intérieur et la destruction définitive du thermostat. Toute coupure ou perçage du capillaire provoque l'arrêt du fonctionnement du mécanisme, et le thermostat ne coupe plus lorsque la température monte ; Si ce paramètre est primordial dans votre application, veillez à utiliser des thermostats à sécurité positive.

7.6 LES PROTECTEURS DE BOBINAGE

Les protecteurs de bobinages doivent être installés de manière à mesurer au plus vite l'élévation de température du bobinage. Ils ne doivent pas être déformés lors de leur insertion. S'ils sont incorporés avant des opérations de vernissage ou d'imprégnation, vérifiez que ces appareils supportent ces opérations. Notre bureau d'études est à votre disposition pour vous conseiller.

Attention aux températures d'étalonnage : les protecteurs thermiques sont étalonnés à courant nul. Ils sont sensibles au courant. Dans votre application, en fonction du courant nominal de votre appareil, leur température réelle de déclenchement sera décalée vers le bas. Utilisez les courbes de dérive thermique pour bien définir les températures. Beaucoup de protecteurs thermiques ont des boîtiers métalliques sous tension. Veillez à les installer sans qu'ils puissent être en contact avec des pièces accessibles. Il existe aussi, pour ces appareils, des gaines isolantes correspondant aux classes d'isolation 1 et 2.

7.7 LES FUSIBLES THERMIQUES

Les fusibles thermiques sont les composants les plus sensibles aux mauvaises installations.

Leurs fils sont conducteurs de la chaleur : toute opération de soudure sur ceux-ci peut amener le déclenchement du fusible par conductibilité thermique des fils.

En règle générale, aucune soudure à l'étain ne peut se faire à moins de 15mm du boîtier. La durée de la soudure ne doit pas dépasser 3 secondes. Les fils sont aussi sensibles à la traction et à la torsion. Veillez à ne pas y appliquer d'efforts importants (1,3N maxi).

Courber les fils en utilisant de préférence une machine à plier les fils de composants. Ne pas plier à moins de 5mm du corps. Ne pas écraser le corps.

Sensibilité à la température : les fusibles thermiques ne doivent pas rester exposés en permanence à des températures trop proches de leur température de coupure. Un écart minimum est recommandé, vérifiez le dans les fiches techniques. Ils sont aussi sensibles au courant, et peuvent déclencher par effet Joule si celui-ci est trop important.

7.8 LES THERMOSTATS À BULBE ET CAPILLAIRE À TENSION DE VAPEUR

Ces thermostats sont particulièrement sensibles à la position du capillaire ou du bulbe par rapport au boîtier du thermostat. Veillez à respecter cette position indiquée sur les fiches techniques de chaque appareil.

7.9 APPAREILS ANTIDÉFLAGRANTS

Les appareils antidéflagrants demandent des soins particuliers lors de leur montage. Une notice de montage particulière est fournie avec chaque appareil.

- Boîtiers antidéflagrants : ces boîtiers sont conçus pour résister à une explosion intervenant à l'intérieur du boîtier. Il importe donc de soigner particulièrement le serrage des vis du couvercle (ces vis ne doivent pas être remplacées par d'autres), de veiller à la propreté des portées de joint, de ne pas percer de trous dans les boîtiers, de ne pas remplacer les presse-étoupes d'origine par d'autres, de serrer correctement les presse-étoupes, en veillant à ce que leur garniture soit adaptée au diamètre du câble utilisé.
- Microrupteurs antidéflagrants : dans les thermostats utilisant ce système, seule la partie électrique du mécanisme est dans un boîtier antidéflagrant. Le boîtier extérieur du thermostat n'assure pas de protection antidéflagrante, mais seulement une protection IP65. Les raccordements électriques se font sur le câble sortant de l'appareil, hors zone dangereuse ou dans un boîtier de raccordement approprié.