



Version Française

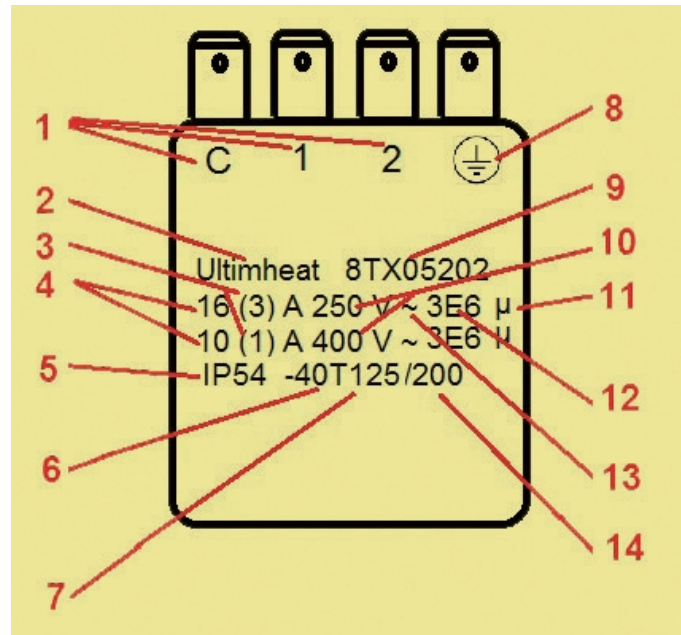


Jacques Jumeau

Technologie des composants utilisés dans le chauffage.

## Chapitre 19

# Informations techniques relatives à la régulation de température en électrothémie



## Informations techniques relatives à la régulation de température en électrothermie

### Information technique N°1: Terminologie et vocabulaire

Les normes EN60730 et EN 60335 démontrent, 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 peut ne pas exiger un réarmement manuel.

**Limiteur de température:** contrôle de détection de température destiné à maintenir une température inférieure ou supérieure à une valeur particulière dans des conditions de fonctionnement normales et pouvant prévoir un réglage par l'utilisateur. Un limiteur de température peut être du type à réarmement automatique ou manuel. Il ne revient pas dans son état d'origine pendant le cycle de fonctionnement normal de l'appareil.

§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.

**Sécurité thermique:** système de contrôle de température destinée à maintenir une température inférieure ou supérieure à une valeur particulière dans des conditions de fonctionnement anormales et qui ne prévoit pas de réglage par l'utilisateur. Elle peut être du type automatique, à réarmement manuel ou non réarmable.

§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 l'unité 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.

### **Information technique N°2: Extraits importants de normes applicables aux circuits de régulation ou de sécurité**

**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 pression 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 initialisées par l'opérateur. (Par exemple: thermostats de régulation à disque, bimétalliques, à bulbe et capillaire, régulateurs électroniques de température)

**Le niveau 2** comprend essentiellement une instrumentation de composition voisine de celle du niveau 1, mais totalement 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)

La conception des coffrets série Y6, Y7 et Y8 permet de réaliser des produits répondant au niveau 1, au niveau 1+2 et au niveau 1+2+3, et comportant éventuellement des systèmes à sécurité positive.

### **Information technique N°3 : Sélection des presse-étoupes**

Pour assurer sa fonction, en particulier résistance à l'arrachement et étanchéité, un presse-étoupe doit être adapté au diamètre du câble.

Ce diamètre est fonction de plusieurs paramètres: Le nombre de conducteurs, la puissance à transmettre, la tension d'isolement, la longueur du câble, et le type d'utilisation du câble et sa protection mécanique.

La sélection doit se faire en trois étapes

#### **Etape N°1 Section, puissance et longueur maximale des câbles de raccordement, en monophasé et en triphasé.**

Section, mm <sup>2</sup>	Monophasé 230V, facteur de puissance =1			Triphasé, 400V, facteur de puissance= 0.8		
	Puissance (kw)	Intensité (A)	Longueur maximale de câble de raccordement avec chute de tension inférieure à 3% (m)	Puissance (kw)	Intensité (A)	Longueur maximale de câble de raccordement avec chute de tension inférieure à 5% (m)
1.5	1	4.6	50			
	1.5	6.8	33			
	2	9	25			
	2.5	11.5	20	2.5	5	190
	3	13.5	17	3	6	160
	3.5	16	14	3.5	7	135
				4	8	120
				4.5	9	105
				5	10	96
				6	12	79
2.5				7	14	68
				8	16	60
				9	18	51
	1	4.6	84			
	1.5	6.8	57			
	2	9	43			
	2.5	11.5	34	2.5	5	325
	3	13.5	29	3	6	270
	3.5	16	24	3.5	7	230
	4	18	21	4	8	200
	4.5	20	19	4.5	9	180
				5	10	165
				6	12	135
				7	14	115
			8	16	105	
			9	18	92	
			10	19	84	
			12	23	69	

## Informations techniques relatives à la régulation de température en électrothérapie

Section, mm <sup>2</sup>	Monophasé 230V, facteur de puissance =1			Triphasé, 400V, facteur de puissance= 0.8		
	Puissance (kw)	Intensité (A)	Longueur maximale de câble de raccordement avec chute de tension inférieure à 3% (m)	Puissance (kw)	Intensité (A)	Longueur maximale de câble de raccordement avec chute de tension inférieure à 5% (m)
4	1	4.6	135			
	1.5	6.8	90			
	2	9	88			
	2.5	11.5	54	2.5	5	510
	3	13.5	45	3	6	420
	3.5	16	39	3.5	7	365
	4	18	34	4	8	320
	4.5	20	30	4.5	9	285
	5	23	27	5	10	255
	6	27	23	6	12	210
				7	14	180
				8	16	160
				9	18	145
				10	19	130
				12	23	110
				14	27	94
			16	31	81	

**Etape 2, en fonction de l'utilisation, sélectionner le type d'isolation et de protection mécanique, définir le diamètre extérieur.**  
**(Câbles souples des types les plus courants)**

Section mm <sup>2</sup>	H05-VVF 500V, isoiaon PVC	Taille de presse étoupe	H05-RRF 500V, isoiaon caoutchouc	Taille de presse étoupe	H07-RNF, 450/750 V. Peuvent être utilisés dans les installations fixes de tension nominale jusqu'à 1000V : cf. NF G 15-100, 512.1.1. Excellente tenue aux intempéries, aux huiles et aux graisses, résistance aux contraintes mécaniques et thermiques, utilisation en extérieur, zones explosives, milieu agricole, connexion des équipements mobiles	Taille de presse étoupe
3 x 1	6.8	M16	8.5	M16	11.5	M20, M24
3 x 1.5	7.2	M16	10.4	M20	12.5	M20, M24
3 x 2.5	8	M16, M20	12.4	M20, M24	14.5	M24, M25
3 x 4	10	M16, M20	14.5	M24, M25	16	M24, M25
5 x 1	9.8	M16, M20	10.3	M20	13.5	M24, M25
5 x 1.5	11.6	M20, M24	12.7	M20, M24	15	M24, M25
5 x 2.5	13.9	M24, M25	15.3	M24, M25	17	M25
5 x 4	16	M24-M25				

**Etape 3: sélectionner la taille du presse étoupe en fonction de sa capacité de serrage modèles standards**

Modèles	M16	M20	M24	M25
Dia. mini et maxi	6-10	8-13	11-16	13-18

**Information technique N°4 : Les différentes valeurs normatives de durée de vie électrique des thermostats**

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

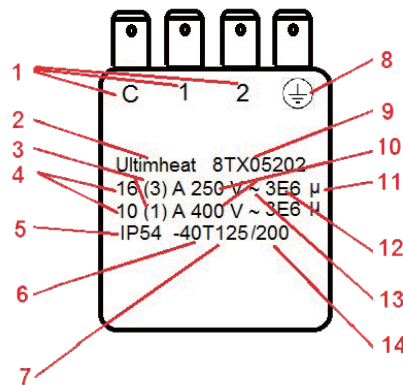
3) Applicable uniquement aux appareils où il est nécessaire de remplacer une pièce après chaque déclenchement

4) Peut être uniquement réarmé par une intervention du constructeur

Ces durées de vie nominales sont à considérer comme les valeurs de base maximale 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.

### **Information technique N°5 : Explication des inscriptions normalisées 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 neutre, 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 imprimé, 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)

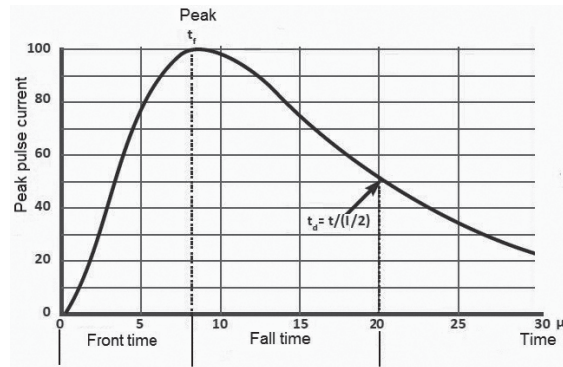
11: Micro-coupure (ouverture de contact réduite) L'impression n'est pas obligatoire.

12: Nombre de cycles de manoeuvre 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 de l'organe de mesure (Ts) si elle est supérieure à 20 K au-dessus Tmax

**Information technique N°6 : Réduction du pouvoir de coupure dans les circuits inductifs**



**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 figure montre une surtension transitoire de 8/20µs

**Coupure du courant alternatif ou continu :**

Lorsqu'un thermostat coupe une charge inductive, une force électromotrice relativement grande (Force contre-électromotrice) est générée dans le circuit. Plus cette force est importante, plus elle détériore les contacts. Cet effet a une grande importance lorsque les thermostats sont utilisés dans les circuits à courant continu, et se traduit par une diminution significative du pouvoir de coupure. Contrairement aux applications en courant alternatif, le contact ne passe pas par un point avec une tension nulle lors de son action. De ce fait, une fois que l'arc a été établi, il ne décroît pas rapidement. En outre, le flux unidirectionnel du courant dans un circuit à courant continu peut provoquer un transfert de métal entre les contacts et provoquer leur usure accélérée.

**Courants induits par les moteurs :**

Lors du démarrage, un moteur peut avoir un courant d'appel 600% 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 minimale 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 un force contre électromotrice pouvant initier un arc destructeur entre les contacts.

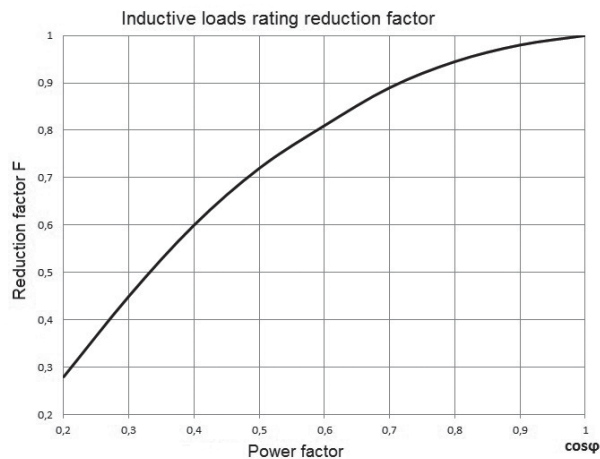
**Charges capacitives de ligne :**

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.

**Systèmes de suppression d'arc.**

Dans toutes ces applications où sont présentes des charges fortement inductive, des systèmes de suppression d'arc sont recommandés. Ces systèmes sont décrits dans nos fiches techniques.

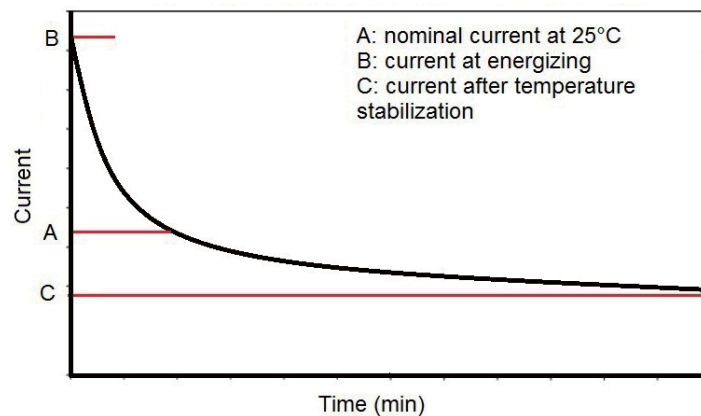
**Information technique N°7 : Facteur de correction moyen lors de l'utilisation de charges inductives (sans système de réduction d'arc)**



**Information technique N°8 : 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.





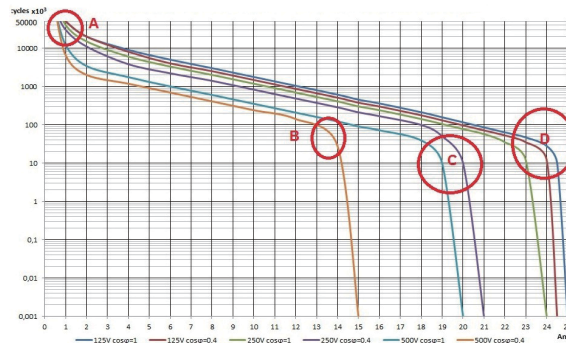
**Information technique N°9 : Valeur indicative moyenne des coefficients de réduction des pouvoirs de coupure**

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 CÉI60898

\*\* avec filament chaud

**Information technique N°10 : Durée de vie moyenne du contact électrique d'un thermostat 15A 250V, 300.000 cycles**



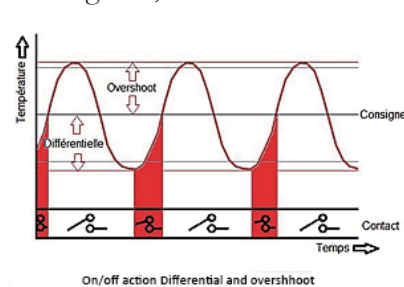
Valeurs indicatives moyennes, pour un mécanisme à rupture brusque, avec contacts en argent.

**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 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.

**Information technique N°11 : Les différents modes de régulation.**

Alors que les thermostats ne fonctionnent en général que sous le mode tout ou rien, les régulateurs électroniques peuvent réguler selon deux modes principaux : l'action tout ou rien avec différentielle réglable, ou l'action PID.



**L'action tout ou rien**

Dans l'action tout ou rien, le chauffage est coupé lorsque le point de consigne est atteint, et remis en marche lorsque la température descend en dessous de la valeur du point de consigne diminuée de la différentielle. C'est le mode de fonctionnement classique des thermostats mécaniques. Le bon fonctionnement de ce mode dépend principalement du bon positionnement du capteur de température, à proximité de la source de chaleur, et de la bonne concordance entre la puissance de chauffe et le besoin du milieu à réchauffer. L'action tout ou rien ne permet pas habituellement, d'éviter une pointe de température (Over-shoot) après la coupure du chauffage, due à l'inertie thermique du système.

**Diférenielle réglable:** on associe souvent différentielle faible avec précision de régulation. Cependant, une différentielle trop faible aura comme conséquence des cycles de chauffe courts, et une usure prématurée

des contacts si un relais de puissance est utilisé, ou une dégradation rapide du compresseur si le système est utilisé pour réguler un appareil frigorifique. Les régulateurs électroniques ont une différentielle réglable pour optimiser ce fonctionnement.

**L'action PID** (Acronyme de: proportionnelle, intégrale et dérivée).

L'action PID est un mode de régulation qui fait intervenir la notion de Feed-back. En simplifiant, cela veut dire que le régulateur va analyser ce qu'une quantité d'énergie fournie au système thermique va produire comme élévation de température, et en combien de temps cette élévation de température va se produire. Cette action fait appel à trois réglages différents :

**Bande proportionnelle:** la bande proportionnelle est une zone située avant le point de consigne, dans laquelle le régulateur électronique va progressivement diminuer la puissance qu'il fournit au système thermique. À l'extrémité la plus éloignée du point de consigne, la puissance sera de 100%, pour arriver à 0% lorsque le point de consigne est atteint. Le but de la bande proportionnelle est d'éviter le phénomène d'over-shoot. Cette variation de puissance est obtenue en diminuant progressivement les temps de mise en chauffe au fur et à mesure que la température se rapproche du point de consigne. Plus la bande proportionnelle est large, plus il faudra du temps pour arriver au point de consigne. Une action uniquement proportionnelle est insuffisante car elle ne permet en général pas d'atteindre le point de consigne, la stabilisation de température se faisant en dessous de celui-ci en raison des échanges et pertes thermiques.

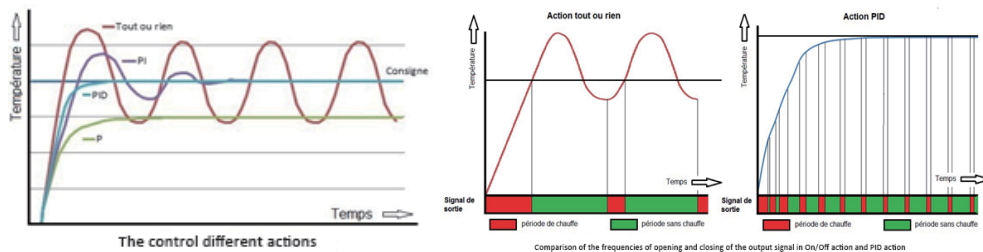
Ce défaut de l'action proportionnelle est corrigé par l'action intégrale. Cette action intégrale va continuer à fournir un signal de commande de chauffage aussi longtemps que la température du système thermique n'est pas égale à celle de point de consigne. Pour cela elle intègre aussi le temps nécessaire au système pour monter en température.

Cette action est égale à l'intégrale de l'écart à la consigne divisée par une constante de temps. Cette constante de temps correspondant au réglage de I. Lorsque le temps intégral est réglé sur 0, on obtient une action proportionnelle simple.

Cette action proportionnelle et intégrale permet d'atteindre la valeur de la consigne après quelques oscillations lors du démarrage du processus.

On peut limiter celles-ci en introduisant une autre correction : l'action dérivée, qui permet d'anticiper les dépassements de consigne.

L'action dérivée règle la puissance de sortie d'après la courbe de variation de température. Elle consiste à prédire les variations de température en fonction des actions précédentes du signal de sortie, ce qui permet de compenser les temps de réponse dus à l'inertie thermique, accélère la réponse du système et améliore la stabilité de la boucle, en permettant notamment un amorçage rapide des oscillations dues à l'apparition d'une perturbation ou à une variation subite de la consigne.



Si l'action PID permet d'ajuster la régulation dans un certain nombre de configurations, elle a cependant l'inconvénient de faire cycloer le signal de sortie très rapidement, ce qui réduit fortement la durée de vie des contacteurs électromécaniques, et oblige dans la plupart des cas à recourir à des relais statiques.

**La fonction Auto-tune (auto réglable):** la détermination des paramètres P, I, D, possible par calcul ou par approximations successives, est une opération fastidieuse et complexe. Dans la nouvelle génération de régulateurs auto-tune, ces régulateurs vont analyser la manière dont le système thermique va réagir au cours de deux cycles de fonctionnement tout ou rien, puis calculer automatiquement les paramètres optimaux de P, I, D.