

RÉGULATION EN GÉNIE CLIMATIQUE

Froid • Climatisation • Chauffage

Ne manquez pas les prochains numéros !



ABONNEZ-VOUS

(6 n°/an + l'accès « abonné » sur le site + les newsletters)

30€

1 an d'abonnement
en France métropolitaine

RENDEZ-VOUS SUR GENIECLIMATIQUE.FR

Génie Climatique Magazine, une marque d'information

PYC ÉDITION

Jean Desmons



GÉNIE CLIMATIQUE MAGAZINE

CHAUFFAGE, VENTILATION, CLIMATISATION, FUMISTERIE

RÉGULATION EN GÉNIE CLIMATIQUE

Froid • Climatisation • Chauffage

3^e édition

DUNOD

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres

nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2005, 2010, 2016

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-079862-9

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

PRÉFACE

Déjà la troisième édition de « régulation en génie climatique » ! Rien d'étonnant à cela quand se trouvent réunis autant de pédagogie et de compétence sur un sujet d'actualité.

Notons d'abord que, si cet ouvrage traite de la gestion du chauffage classique, il s'attaque plus spécialement à ce qu'il est convenu d'appeler le génie frigorifique, avec ses applications les plus diverses, au-delà même de la climatisation et du chauffage par pompe à chaleur auxquels est souvent réservé ce terme de « climatique ».

Le sujet de cet ouvrage est bien d'actualité, ceci à plus d'un titre :

- le génie climatique, ainsi conçu, est en plein développement, tant en France que dans le monde entier : la chaîne du froid gagne des domaines nouveaux comme le médicament, les échanges alimentaires continuent à progresser, comme le conditionnement d'air, élément de confort dans les zones tempérées (du moins si l'installation est bien conçue et gérée, ce qui suffirait à justifier cet ouvrage), ou condition absolue de développement dans les zones chaudes, tandis que l'usage de pompes à chaleur se répand ;
- les préoccupations environnementales appellent une gestion économe de l'énergie, dont les installations de génie climatique sont très consommatrices. Les textes réglementaires liés à l'ozone stratosphérique et au réchauffement climatique imposent souvent des changements de fluide voire d'installations qui donnent l'occasion de repenser les systèmes ;
- une telle gestion, économe, est utile pour l'indépendance énergétique d'un pays comme le nôtre.

Dans un tel contexte, nombreux sont les professionnels qui s'interrogent ou devraient s'interroger sur les possibilités ouvertes par la régulation. Ils constateront alors vite l'intérêt d'un ouvrage comme celui-ci, dont l'auteur a su combiner des expériences heureuses et appréciées dans l'industrie puis dans la formation professionnelle. Les questions concrètes qui se posent au praticien sont prises en compte. Les méthodes et techniques les plus récentes sont proposées, avec ce qu'il faut de théorie pour qu'un plus grand nombre puisse y accéder.

Puisse cet ouvrage être largement diffusé pour contribuer comme il le mérite à relever les défis de « développement durable », à la fois sociaux, environnementaux et économiques, de notre temps.

Louis LUCAS

Président du Conseil national du froid (CNF)

Président honoraire de l'Association française du froid (AFF)

TABLE DES MATIÈRES

Préface	V
Avertissement	IX
Avant-propos	X
1 • Électrotechnique appliquée	1
1.1 Conducteur terre	1
1.2 Différents régimes de neutre et schémas de liaison à la terre	4
1.3 Protections par fusibles	10
1.4 Disjoncteurs	12
1.5 Disjoncteurs à minimum et à maximum de tension	13
1.6 Protection par relais thermique	14
1.7 Protection par relais de surchauffe	17
1.8 Autres protections	19
1.9 Sélectivité	21
1.10 Moteurs monophasés	23
1.11 Moteurs asynchrones triphasés	25
1.12 Facteur de puissance ($\cos\phi$)	29
1.13 Modes de démarrage des moteurs asynchrones triphasés	31
1.14 Mesure de tensions et d'intensités	40
1.15 Utilisation de moteurs asynchrones triphasés en monophasé	43
1.16 Moteurs à aimants permanents	44
1.17 Principe et régulation des installations photovoltaïques	49
2 • Hydraulique	59
2.1 Vannes	59
2.2 Servomoteurs	72
3 • Généralités sur la régulation	79
3.1 Bases théoriques	79
3.2 Comportement thermique d'un bâtiment	83

3.3	Actions et lois des signaux	84
3.4	Boucles	85
3.5	Lois de régulation	86
3.6	Régulation analogique	88
3.7	Régulation numérique	91
3.8	Régulation pneumatique	93
3.9	Sondes	97
3.10	Chaîne de régulation complète	113
3.11	Régulation tout-ou-rien	113
3.12	Régulation proportionnelle	116
3.13	Action intégrale (régulation PI)	118
3.14	Action dérivée (régulation PID)	122
3.15	Expressions mathématiques des actions proportionnelles, intégrales et dérivées	126
3.16	Limites	127
3.17	Compensation	130
3.18	Régulation des registres d'air	134
3.19	Régulation flottante ou régulation 3 points	138
3.20	Comptage de l'énergie	142
4	Présentation pratique de la régulation	147
4.1	Entrées d'un régulateur	147
4.2	Sorties d'un régulateur	147
4.3	Réglage d'un régulateur analogique par la méthode de simulation	148
4.4	Réglage par la méthode dite de chantier	154
4.5	Paramétrage, réglage et programmation des régulateurs numériques	155
4.6	Dépannage	158
4.7	Repérage et contrôle des composants discrets	159
5	Régulation appliquée au froid	163
5.1	Spécificités de la régulation en froid	163
5.2	Régulation des petites machines et groupes hermétiques	163
5.3	Régulation par tirage au vide	171
5.4	Pressostats différentiels d'huile	172
5.5	Détendeurs électroniques	177
5.6	Régulation de la haute pression	187
5.7	Régulation de la basse pression	198
5.8	Dégivrages	206
5.9	Contrôle de niveau dans les bouteilles séparatrices permettant l'alimentation en régime noyé des évaporateurs	214

6 • Régulation appliquée à la climatisation	217
6.1 Technologies de base utilisées en climatisation	217
6.2 Armoire de climatisation pour salle informatique avec régulation analogique	239
6.3 Armoire de traitement de l'air pour salle informatique avec régulation numérique	243
6.4 Centrale de traitement d'air avec régulation numérique	251
6.5 Centrale de traitement d'air avec régulation pneumatique	276
6.6 Appareils terminaux	279
6.7 Régulation se rapportant aux économies d'énergie	288
6.8 Régulation des systèmes à deux conduits	294
7 • Régulation appliquée au chauffage	299
7.1 Modes de production de chauffage	299
7.2 Chauffage à partir de la combustion du gaz ou du fuel	299
7.3 Chauffage par pompe à chaleur	312
7.4 Chauffage électrique	314
7.5 Chauffage à partir de capteurs solaires thermiques	319
7.6 Chauffage par eau géothermale	324
7.7 Sécurités pour brûleurs au fuel et au gaz	327
7.8 Brûleur au fuel de faible puissance (1 ^{er} cas)	330
7.9 Brûleur au fuel de petite puissance (2 ^e cas)	334
7.10 Brûleur au gaz de faible puissance	337
8 • Cas pratiques de régulation d'installations réelles	341
8.1 Groupe à eau glacée	341
8.2 Bloc opératoire et salle de préparation	344
8.3 Pompes à chaleur	348
8.4 Conversion d'une régulation pneumatique en régulation numérique	352
8.5 Les supermarchés et les hypermarchés : technologie et régulation	359
8.6 Grands magasins où les postes positifs sont en froid indirect et les postes négatifs en froid direct	371
9 • Les réseaux informatiques	377
9.1 Introduction	377
9.2 Définition de termes ou expressions utilisés en informatique	377
9.3 Réseaux informatiques	382
9.4 Pratique des réseaux	387
Index	389

AVERTISSEMENT

La régulation agit sur un ensemble technologique : centrale frigorifique, centrale de traitement d'air, groupe à eau glacée, brûleur, pompe à chaleur, etc.

Ce livre développe quelquefois ce sur quoi agit la régulation, et ces digressions (nécessaires) permettent de rendre plus explicite le sujet traité. En effet, le choix de la régulation ne peut être judicieux que si on sait sur quoi il faut agir, dans quel ordre, de quelle façon...

Les exemples concrets de l'ouvrage prennent appui principalement sur un régulateur numérique de la marque Johnson Control. Ce choix découle du fait que ce régulateur de référence DC 9100 est préprogrammé, et son paramétrage ne présentant par ailleurs aucune difficulté, sa maîtrise est donc aisée. L'adaptation à un autre matériel ne présente pas de difficulté, toutefois une formation spécifique permet un gain de temps et une meilleure efficacité !

Pour un CCTP (cahier des clauses techniques particulières) donné, les différentes boucles de régulation sont les mêmes quelle que soit la régulation utilisée.

La plupart des actions humaines étant perfectibles, toute remarque et suggestion seront les bienvenues... Merci d'avance.

AVANT-PROPOS

Après un passage dans l'industrie, ma carrière d'enseignant m'a donné l'opportunité d'enseigner la régulation tant à des techniciens praticiens qu'à des techniciens ou ingénieurs de bureau d'études. Cet ouvrage sur la régulation en génie climatique est donc le résultat d'un vécu personnel et d'un échange permanent avec des techniciens pratiquant la régulation tant sur les plans pratiques que théoriques.

La régulation est un domaine passionnant à la condition de posséder les bases de l'électrotechnique, de la thermique, de l'hydraulique, de la psychrométrie... et de la régulation !

Le premier chapitre est donc consacré aux bases de l'électrotechnique : différents régimes de neutre, différents modes de démarrage des moteurs, différents types de protection, etc. Le second chapitre traite de l'hydraulique ; en effet, une régulation, aussi excellente soit-elle, ne pourra pas donner satisfaction si les vannes sont mal montées ou mal sélectionnées !

La régulation est traitée ensuite en deux chapitres, le premier sur la régulation théorique, le second traitant de la régulation dans son aspect pratique.

Le génie climatique regroupe les trois domaines suivants : réfrigération, chauffage et climatisation. Ces trois domaines sont traités indépendamment.

Le dernier chapitre du livre est consacré à des études de cas.

La régulation pneumatique a pratiquement disparu en installations neuves de climatisation de confort ainsi qu'en installations de chauffage. Par contre, dans les cas d'installations où les risques d'incendie et d'explosion sont importants (chimie, pétrochimie, plate-forme offshore, etc.), la régulation pneumatique reste le meilleur choix. La régulation pneumatique est donc traitée succinctement dans ce manuel. La régulation analogique laisse progressivement la place à la régulation numérique. Cependant un très grand nombre d'installations analogiques existantes donnent et donneront satisfaction encore longtemps à leurs utilisateurs, elle est donc traitée dans ce manuel.

Puisse ce livre aider les lecteurs à accroître leurs compétences et contribuer ainsi à ce que l'activité professionnelle devienne le plus possible... ludique, car c'est alors que l'efficacité devient optimale !

Je tiens à remercier les sociétés qui ont bien voulu m'aider à la réalisation de cet ouvrage. Je remercie également celles dont sont issues différentes figures. Ces sociétés sont les suivantes : Airwell, AOIP, Baltimore Aicoil, Bitzer, Bock, Carrier, Contardo, Danfoss, De Dietrich, EdF, Gaz industrie, Giordano, Grasso, Johnson Control, Kimo, Legrand, Lennox, Leroy Somer, L'Unité Hermétique, Sappel, Schneider, Searle, Siemens, Tecnaïr LV, US Reco, Viessmann, York.

1 • ÉLECTROTECHNIQUE APPLIQUÉE

1.1 Conducteur terre

1.1.1 Définition

La terre est électriquement neutre. Par convention, son potentiel est de 0 V. Si une machine y est convenablement reliée, son potentiel doit dans tous les cas être le plus près possible de celui de la terre, à savoir 0 V.

1.1.2 Rôle de la mise à la terre

Une machine et un appareil électroménager non reliés à la terre et présentant un défaut d'isolement sont à un potentiel qui n'est plus nul ; en cas de contact physique entre un individu et cet appareil, il va s'établir un courant. Ce courant va être proportionnel à la tension et inversement proportionnel à la résistance. Supposons une masse franche telle que la tension entre l'enveloppe métallique de la machine et le sol soit de 220 V. L'individu en contact avec cette machine présente une résistance de 1 000 Ω . L'intensité qui va traverser cet individu est donc :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1\,000} = 0,22 \text{ A}$$

Ce courant est supérieur aux valeurs supportables : il y a risque d'électrocution.

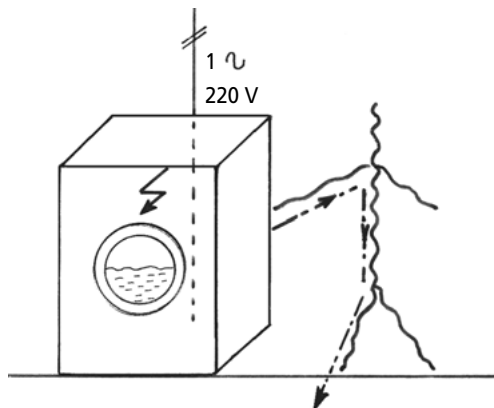


Figure 1.1 – Défaut d'isolement (machine non reliée à la terre).

Cette même machine est maintenant reliée à la terre par un conducteur de faible résistance (par exemple $10\ \Omega$). Une masse franche va alors provoquer un courant de fuite important :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{10} = 22\ \text{A}$$

qui va provoquer le déclenchement du disjoncteur différentiel.

En second lieu, si les fusibles sont correctement calibrés, ils doivent fondre.

En résumé, grâce au conducteur « terre », en cas de défaut d'isolement, la machine est normalement rapidement mise hors tension.

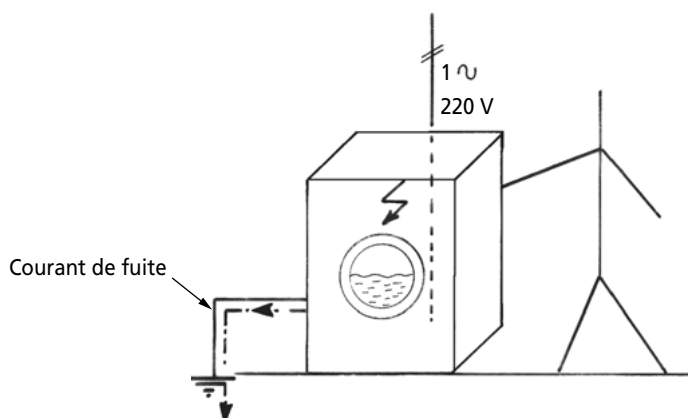


Figure 1.2 – Défaut d'isolement (machine reliée à la terre).

1.1.3 Valeur de la résistance de terre

Les valeurs maximales de la prise de terre dépendent de la sensibilité du dispositif différentiel.

Il convient dans tous les cas de respecter l'équation simple suivante :

$$R_A I_{\Delta n} \leq 50\ \text{V}$$

avec R_A la valeur maximale de la résistance de la prise de terre et $I_{\Delta n}$ le courant de déclenchement du dispositif différentiel.

Tableau 1.1

Courant $I_{\Delta n}$ de déclenchement du dispositif différentiel (sensibilité)	Valeur maximale de la résistance R_A de la prise de terre
650 mA	77 Ω
500 mA	100 Ω
300 mA	166 Ω

1.1.4 Section des conducteurs de protection

Tableau 1.2 – Section des conducteurs de protection (terre).

Section des conducteurs actifs du circuit (mm ²)	Section des conducteurs de protection (mm ²)
$S < 16$	S
$25 < S \leq 35$	16
$S > 35$	0,5 S Limitée à 25 mm ² (cuivre) en schéma TT

1.1.5 Schéma de principe

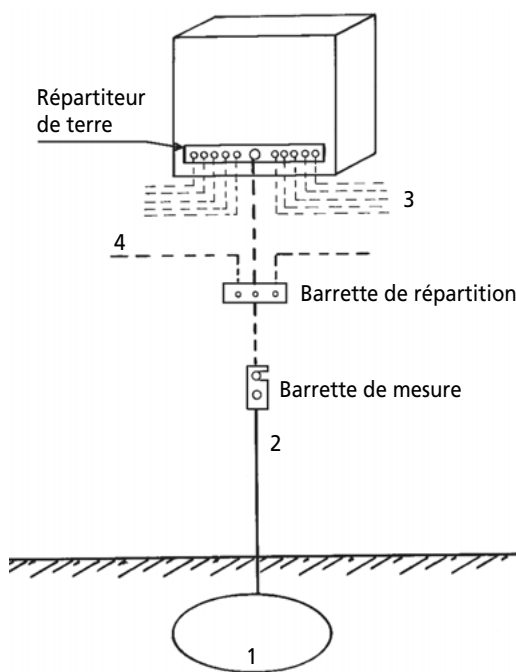


Figure 1.3 – Schéma de principe des circuits terre en bâtiment individuel.

1 : boucle en fond de fouille (solution préférable à un piquet de terre) ; la section minimale de ce conducteur est de 25 mm² en cuivre nu. 2 : canalisation principale de terre de section minimale 16 mm² en cuivre. 3 : voir tableau 1.2. 4 : liaison équipotentielle principale ; sa section est la moitié du conducteur principal de protection avec un minimum de 6 mm² et un maximum de 25 mm² en cuivre.

1.2 Différents régimes de neutre et schémas de liaison à la terre

Les régimes de neutre mettent principalement en cause :

- le *neutre*, c'est-à-dire tous les points qui, pris respectivement dans un générateur ou un récepteur, peuvent être réunis sans troubler un régime équilibré ;
- les *masses*, c'est-à-dire les parties conductrices d'un matériel électrique susceptibles d'être mises sous tension en cas de défaut ;
- la terre, notre planète, vers laquelle vont tous les courants et qui peut être considérée comme un corps conducteur avec un potentiel conventionnellement fixé à zéro.

1.2.1 Rappel des différents régimes de neutre

La norme NFC 15-100 propose trois schémas de liaisons à la terre.

Ces schémas sont appelés *schéma TT*, *schéma TN* et *schéma IT*. La première lettre correspond à la position du neutre par rapport à la terre. La seconde lettre correspond à la situation des masses. La signification de chaque lettre est simple à saisir :

- T pour terre ;
- N pour neutre ;
- I pour impédance.

Ces différents régimes permettent d'adapter la protection aux locaux et aux usagers en respectant le temps de coupure fondé sur la durée de la résistance d'un individu aux effets d'un courant électrique en fonction de sa tension : on supporte normalement une tension de 50 V pendant 5 secondes, de 100 V durant 0,2 seconde.

1.2.2 Schéma TT de liaison à la terre

Le courant de défaut se referme par la boucle comprenant les prises de terre du neutre et des masses (figure 1.4).

■ Conditions

- Un dispositif de coupure (différentiel) doit couper l'alimentation dès que la tension de défaut est supérieure à U_L , tension maximale entre la terre et les masses (50 V). Cette condition détermine une relation entre la résistance de la prise de terre des masses et le courant différentiel nominal du dispositif :

$$R_A I_{\Delta n} \leq U_L$$

- Toutes les masses protégées par un dispositif différentiel doivent être reliées à la même prise de terre.
- Les masses simultanément accessibles doivent être reliées à la même prise de terre.

■ Utilisation

Ce schéma est utilisé pour les installations alimentées directement par un réseau de distribution publique à basse tension.

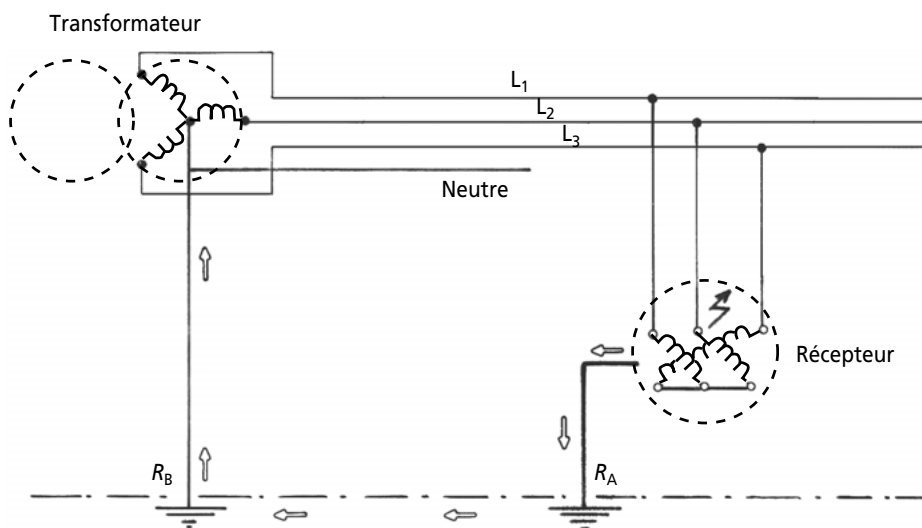


Figure 1.4 – Schéma de principe.

R_A : résistance de la liaison entre la masse et la prise de terre. R_B : résistance de la liaison entre le point neutre et la prise de terre.

■ Remarques

- La coupure doit intervenir au premier défaut d'isolement.
- Il est nécessaire d'installer des dispositifs différentiels assurant la protection contre les contacts indirects.
- S'il n'y a qu'un seul différentiel (DR) à l'origine de l'installation, la mise hors tension du matériel intervient dès qu'un premier défaut d'isolement affecte une masse quelconque de l'installation électrique de l'établissement.
- Pour assurer une sélectivité, il est nécessaire d'installer des DR réglables en temps et en intensité, associés à des DR instantanés au niveau des circuits terminaux ou de groupes de circuits terminaux, sans être assuré pour autant d'obtenir une sélectivité totale.

Les réseaux de distribution ont adopté le schéma TT. Cela signifie que les abonnés directement alimentés en basse tension sont voués à ce schéma sauf s'ils interposent un transformateur de séparation qui leur laisse toute liberté de choix. En outre il faut savoir que le schéma TT est simple à exploiter, mais il est limité aux installations peu étendues, peu compliquées. Il déclenche au premier défaut et offre une sécurité totale qui explique son adoption par le ministère de l'Éducation nationale.

1.2.3 Schéma TN

Le courant de défaut se referme par le conducteur neutre et devient un courant de court-circuit phase neutre. Ce type de protection peut être réalisé de deux façons.

■ Schéma TN-C

Les conducteurs PE et N sont regroupés, ce qui donne le conducteur PEN (figure 1.5).

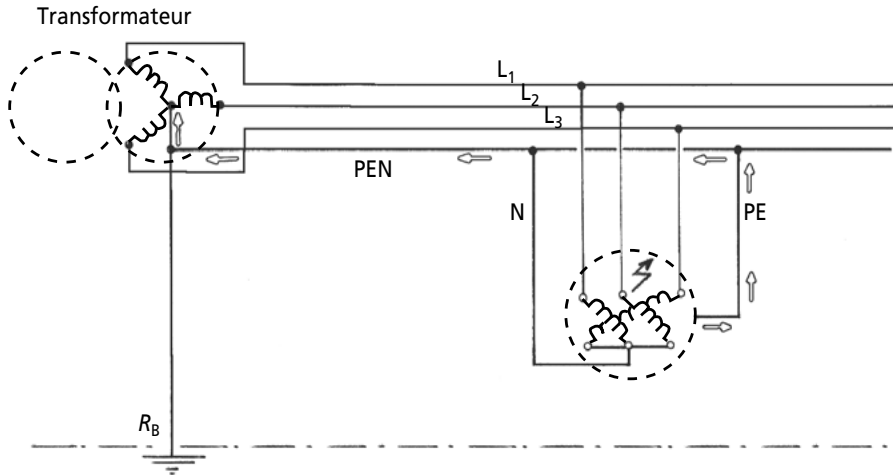


Figure 1.5 – Schéma de principe.

□ Conditions

- Le courant de défaut doit entraîner le fonctionnement d'un dispositif de protection contre les surintensités.
- Cette condition détermine une relation entre l'impédance Z_d de la boucle de défaut et le courant I_a de fonctionnement du dispositif de protection, U_0 étant la tension simple de l'installation :

$$Z_d I_a \leq U_0$$

- Le conducteur de protection doit être efficacement mis à la terre de sorte que son potentiel soit maintenu aussi voisin que possible de celui de la terre.
- Des précautions doivent être prises pour éviter toute rupture du conducteur neutre lorsqu'il est utilisé comme conducteur de protection.

□ Utilisation

Ce schéma est utilisable dans les installations alimentées à partir d'un poste de transformation privé et, dans certaines conditions, par le réseau de distribution publique à basse tension.

□ Remarques

- La coupure intervient au premier défaut d'isolement.
- Il est nécessaire d'installer des dispositifs de protection contre les surintensités assurant la protection contre les contacts indirects.

- On fait l'économie d'un pôle et d'un conducteur de protection dans les circuits non terminaux de section d'au moins 10 mm^2 et en canalisations fixes.
- Il y a élimination sélective des défauts, limitée au matériel défectueux.
- Il faut respecter les exigences concernant la mise à la terre du conducteur de protection.

Le système TN est économique, en particulier au niveau de son calcul. Il est indispensable avec les courants de fuite importants. Une section minimale de 10 mm^2 est imposée au conducteur du neutre pour éviter sa rupture : un détail sans importance dès que la puissance de l'installation est assez élevée pour justifier cette section pour les autres conducteurs. À l'heure actuelle, le schéma TN semble être le préféré.

■ Schéma TN-S

Dans cette configuration, les conducteurs neutre et de protection sont distincts (figure 1.6). La coupure doit intéresser tous les conducteurs (neutre compris). Cette coupure peut être réalisée soit par des dispositifs de protection contre les surintensités, soit par des dispositifs de coupure à courant différentiel résiduel.

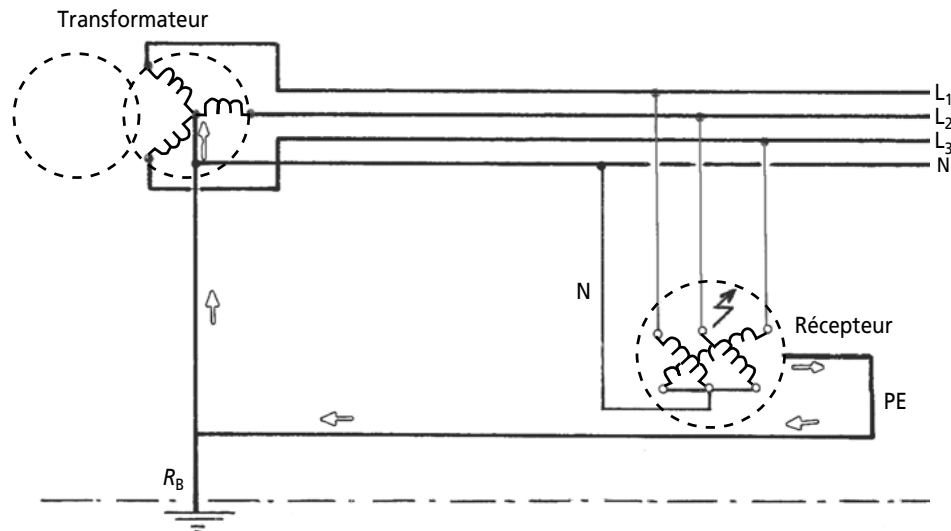


Figure 1.6 – Schéma de principe.

1.2.4 Schéma IT

Le courant de premier défaut est limité à une valeur telle qu'il n'en résulte pas de tensions de contact dangereuses.

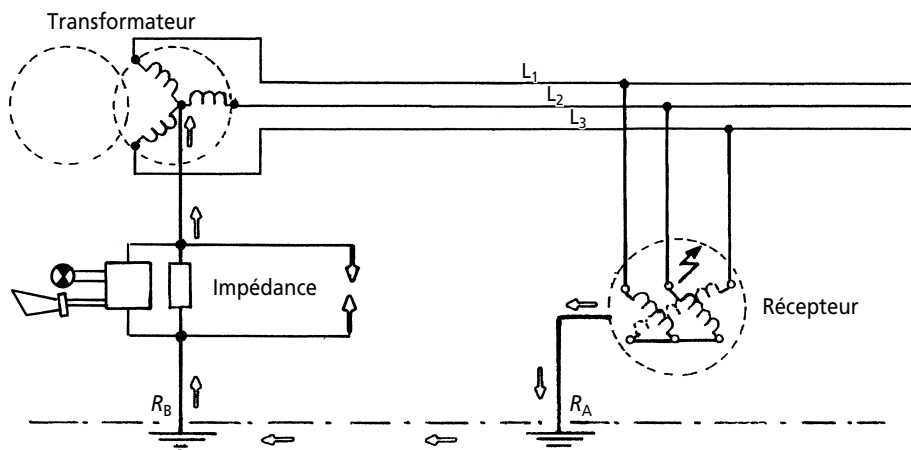


Figure 1.7 – Schéma de principe.

■ Conditions

- Le courant de premier défaut ne provoque le fonctionnement d’aucun dispositif de coupure, sous réserve que l’intensité I_d de ce courant ne soit pas supérieure à :

$$I_d \leq \frac{U_L}{R_m}$$

avec U_L la tension limite conventionnelle et R_m la résistance de prise de terre des masses.

- Un contrôleur permanent d’isolement doit signaler l’apparition d’un premier défaut d’isolement.
- En cas de deuxième défaut, la protection doit être assurée dans des conditions analogues à celles du schéma TN si toutes les masses sont interconnectées ou du schéma TT dans le cas contraire.

■ Utilisation

Ce schéma est utilisable seulement dans les installations alimentées par un poste de transformation privé et exploitées par un service d’entretien.

■ Remarques

- L’absence de coupure au premier défaut d’isolement permet de maintenir la continuité de l’exploitation.
- La surveillance de l’isolement nécessite un service d’entretien pour l’élimination rapide des défauts. Un contrôleur permanent d’isolement (CPI) est donc nécessaire (figure 1.7).
- Non-distribution du conducteur neutre, sinon nécessité de protéger ce conducteur.
- En pratique, il faut réaliser une équipotentialité des masses, ou installer des dispositifs différentiels.
- La présence d’un limiteur de surtension est nécessaire.
- L’étendue de l’installation ne doit pas être trop importante pour limiter l’intensité du courant de premier défaut.

Le schéma IT présente la particularité de ne déclencher qu'au second défaut. Il est donc particulièrement indiqué chaque fois qu'une continuité de service est nécessaire (IGH, hôpitaux, etc.), ce qui entraîne une maintenance particulièrement sévère afin de détecter et d'intervenir dès le premier défaut avant que le second ne se produise, sinon la complexité que cette solution implique et son coût seraient inutiles.

1.2.5 Vérifications et contrôles réglementaires

À la fin d'une réalisation, l'installateur doit effectuer les vérifications suivantes.

■ Résistance d'isolement

L'isolement doit être mesuré entre chaque conducteur actif et la terre à l'aide d'un ohmmètre à courant continu, sous 500 V au minimum, les appareils d'utilisation étant déconnectés. Les valeurs de résistance d'isolement ne doivent pas être inférieures à 500 000 Ω .

REMARQUE

La résistance d'isolement des câbles chauffants noyés dans les parois des bâtiments doit être au moins égale à 250 000 Ω .

■ Résistance de la prise de terre

La valeur de la résistance de la prise de terre est obtenue :

- soit par la mesure de l'impédance de la boucle de défaut phase/terre ;
- soit par la mesure directe avec un ohmmètre de terre.

Dans les deux cas, la mesure est effectuée à l'aide d'un appareil de mesure spécifique.

■ Conducteurs de protection

La continuité des conducteurs de protection et des liaisons équipotentielles principales et locales doit être vérifiée.

■ Dispositifs de protection

L'efficacité des dispositifs de protection doit être vérifiée comme suit :

- pour les dispositifs à courant différentiel résiduel, par examen visuel (adéquation courant différentiel résiduel assigné/résistance de terre) et essai si l'installation est sous tension ;
- pour les dispositifs de protection contre les surintensités, par examen visuel (adéquation courant assigné/section du conducteur) ;
- pour les installations de branchement comprises entre le réseau de distribution et l'origine de l'installation intérieure, constituée par les bornes de sortie du disjoncteur de branchement, contrôle exercé par le distributeur d'énergie électrique, sur la base de la conformité aux règles de la norme NF C 14-100 ;
- pour l'installation électrique intérieure, à partir des bornes de sortie du disjoncteur de branchement, contrôle effectué par le Consuel sur la base de la conformité aux règles de la norme NF C 15-100.

S'il y a plusieurs installateurs, chacun établit l'attestation pour la partie d'installation concernée.

1.2.6 Conclusion

Encore à ce jour, les régimes du neutre constituent apparemment un sujet inépuisable et qui soulève, si ce n'est la passion, du moins un intérêt toujours très vif, ce qui est normal puisque de ces schémas dépend notre sécurité.

1.3 Protections par fusibles

Comme leur appellation le laisse entendre, les protections par fusibles comportent un élément fusible. Les fusibles ont une valeur ohmique non nulle et s'échauffent lorsqu'un courant les traverse. En cas de courant excessif, il y a fusion.

RAPPEL

$$W = P t$$

W est l'énergie (J), P la puissance (W), t le temps (s).

$$P = U I$$

P est la puissance (W), U la tension (V), I l'intensité (A).

Donc :

$$W = U I t$$

$$U = R I$$

Donc :

$$W = R I I t = R I^2 t$$

L'énergie thermique produite au niveau de l'élément fusible est proportionnelle à sa résistance R (Ω), au carré de l'intensité I^2 (A) et au temps t (s).

Il est évident qu'un récepteur donné doit être protégé par un fusible spécifique, fonction de sa nature et de sa puissance.

Il existe différents types de fusibles :

- les fusibles aM protègent les moteurs uniquement contre les courts-circuits et laissent passer les courants de démarrage ;
- les fusibles gG protègent les installations contre les surcharges et contre les courts-circuits mais ne conviennent pas pour la protection des moteurs ;
- les fusibles à percuteur associés à des contacteurs permettent d'éviter la marche des moteurs triphasés en monophasé en cas de fusion d'un fusible. Cette protection peut également être assurée par un discontacteur à relais thermiques différentiels.

Les socles de coupe-circuit doivent être choisis en fonction des courants nominaux des cartouches dont ils doivent être le support pour éviter des échauffements anormaux et le vieillissement prématuré des fusibles.

Les valeurs maximales sont les suivantes :

- support (10,3 mm × 38 mm) : 32 A
- support (14 mm × 51 mm) : 50 A
- support (22 mm × 58 mm) : 125 A

D'après la figure 1.8, une cartouche de calibre 4 A parcourue par un courant de 20 A fond en 0,10 s. Si cette cartouche fusible est montée en protection d'un moteur, il y a fusion au démarrage. D'après la figure 1.9, une cartouche de calibre 4 A parcourue par un courant de 20 A fond en 40 s. Cette cartouche fusible est bien adaptée à la protection des moteurs.

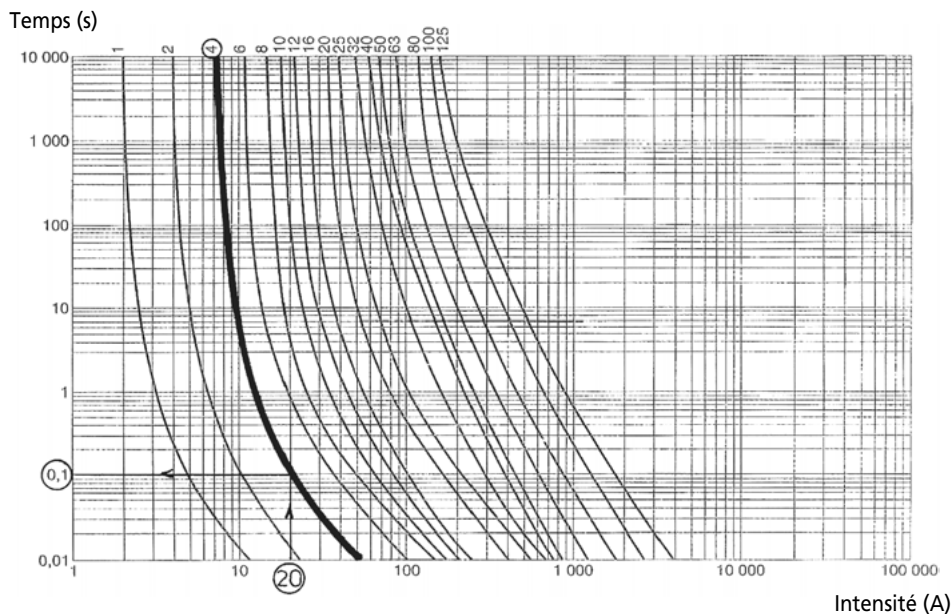


Figure 1.8 – Courbes de fusion des fusibles type gG (doc. Legrand).

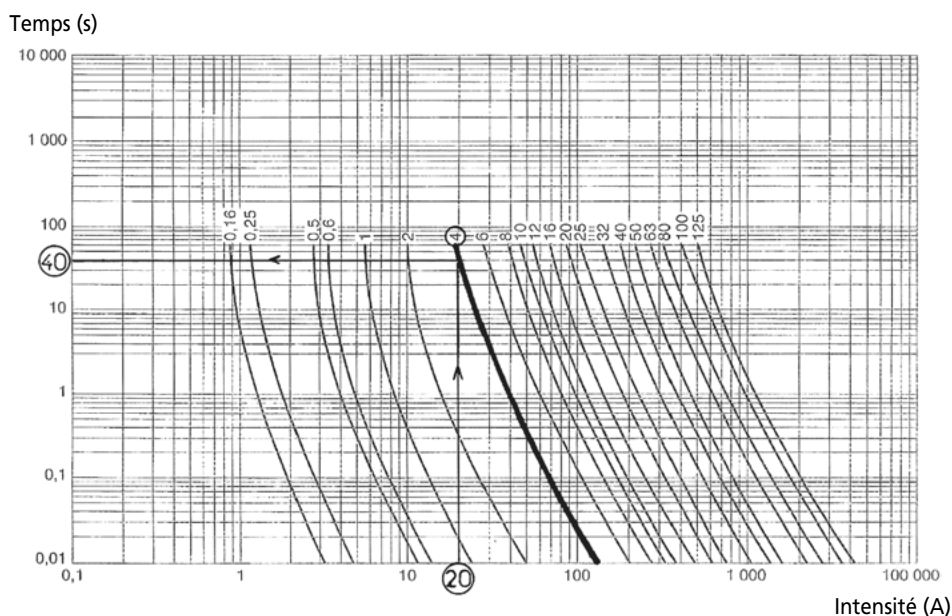


Figure 1.9 – Courbes de fusion des fusibles type aM (doc. Legrand).

1.4 Disjoncteurs

Les disjoncteurs sont des appareils de protection, dont il existe différents types (figure 1.10).

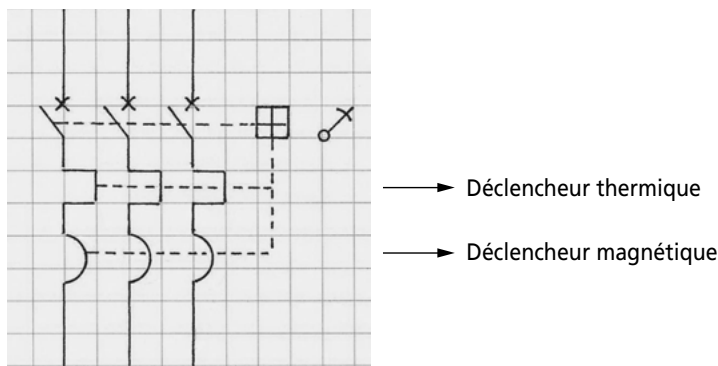


Figure 1.10 – Disjoncteurs magnéto-thermiques.

En cas de surcharge modérée mais de longue durée, c'est le déclencheur thermique qui réagit. En cas de surcharge brutale, c'est le déclencheur magnétique qui réagit (figure 1.10).

Lorsque les courants qui traversent les bobines 1 et 2 sont égaux (figure 1.12), la bobine 3 est traversée par deux flux magnétiques égaux et en opposition, la bobine de déclenchement K ne reçoit aucune tension, il n'y a pas de coupure. En cas de courant de fuite, les courants qui traversent les bobines 1 et 2 ne sont plus égaux, la bobine 3 reçoit un flux magnétique non nul, en fonction des lois des courants induits, cette bobine génère une tension qui, appliquée au relais K, provoque le déclenchement du disjoncteur (dans la mesure où le courant différentiel est légèrement supérieur à la sensibilité du disjoncteur).

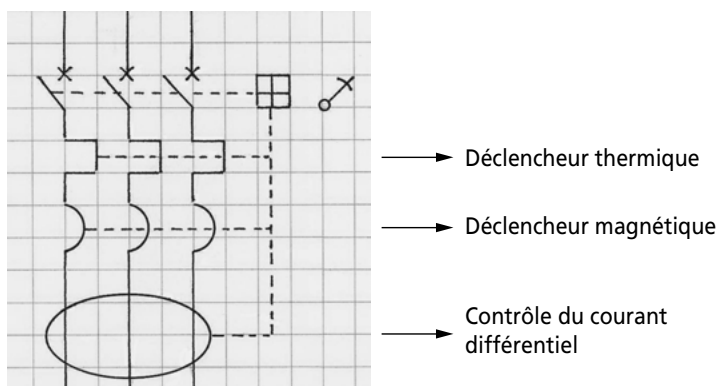


Figure 1.11 – Disjoncteurs magnéto-thermiques différentiels.

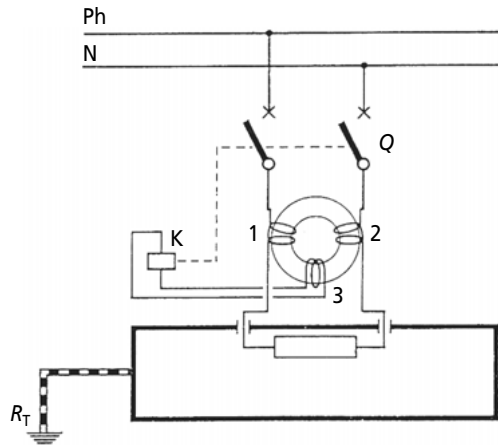


Figure 1.12 – Schéma de principe d'un disjoncteur différentiel monophasé.

1.5 Disjoncteurs à minimum et à maximum de tension

1.5.1 Disjoncteurs à minimum de tension

Pour produire la puissance pour laquelle il a été sélectionné, un récepteur doit être alimenté sous une tension normale. Un récepteur produisant de la chaleur voit sa puissance réduite en cas de chute de tension ; cela ne présente pas de risque pour ledit récepteur. Pour un moteur, il en va autrement. En cas de tension d'alimentation insuffisante, le couple moteur peut devenir inférieur au couple résistant de la machine entraînée, provoquant un blocage du rotor. Toute l'énergie absorbée est transformée en chaleur et il y a risque de détérioration du stator du moteur.

En cas de tension faible, il peut aussi arriver que les organes de commande relâchent leurs contacts ; le mitraillage consécutif peut conduire à la destruction desdits contacteurs.

Les disjoncteurs à minimum de tension fonctionnent à partir de l'effet magnétique produit par une bobine (figure 1.13) :

$$\vec{F} = m\vec{B}$$

avec $\vec{F}$ force en newtons (N), m masse magnétique de la partie mobile, $\vec{B}$ induction électromagnétique en teslas (T).

L'induction $\vec{B}$ est proportionnelle à l'intensité, laquelle intensité est proportionnelle à la tension. Dans le cas de tension faible, il y a donc déclenchement du disjoncteur, lequel est à réarmement manuel.

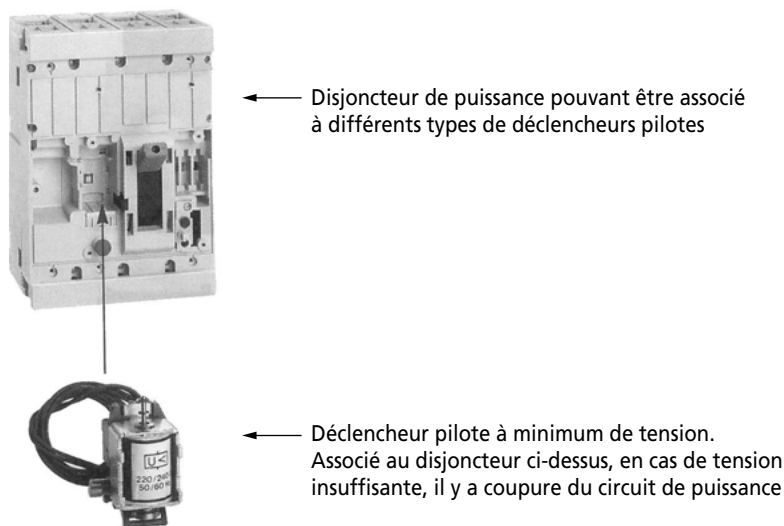


Figure 1.13 – Schéma de disjoncteurs pouvant être associés à différents types de déclencheurs (doc. Legrand).

1.5.2 Disjoncteurs à maximum de tension

Le but de ce disjoncteur est inverse du précédent. Il doit protéger un circuit contre les surtensions qui peuvent détruire un récepteur. Le principe de fonctionnement est aussi basé sur l'effet électromagnétique ; en cas de surtension, il y a action sur un dispositif de déclenchement. Le réarmement est manuel.

1.6 Protection par relais thermique

Un relais de protection thermique traditionnel protège le moteur dans deux cas :

- surcharge, par le contrôle du courant absorbé sur chacune des phases ;
- déséquilibre ou absence de phase, par un dispositif différentiel.

Il couvre 44 % des cas de défaillance. Couramment utilisé, ce relais offre une excellente fiabilité et son coût est relativement faible. Il est particulièrement recommandé s'il existe un risque de blocage du rotor.

Le relais thermique peut aussi réagir à une fréquence de démarrage excessive. Il présente l'inconvénient de ne pas tenir compte de l'état thermique du moteur à protéger.

Un moteur est très efficacement protégé à partir de l'association des protections suivantes :

fusibles + relais thermique + relais de surchauffe + relais de défaut de terre

Il est aussi possible d'utiliser un relais multifonction. Ces relais de type numérique peuvent être communicants.

1.6.1 Sélection

Les fabricants donnent la référence de tous les éléments nécessaires à la protection et à la commande de leurs moteurs en fonction de leur puissance. Dans le tableau 1.3, les éléments nécessaires à la commande et à la protection d'un moteur asynchrone de 3 kW de puissance et alimenté sous 400 V sont les suivants :

- Intensité absorbée : 6,5 A.
- Référence de l'interrupteur sectionneur encore appelé combiné : GS1-F.
- Fusible aM : taille 14 x 51, calibre 8 A.
- Contacteur référence LC1-D09.
- Relais de protection thermique référence LR2-D1312, domaine de réglage du thermique 5,5 à 8 A.

Tableau 1.3 – Exemple de tableau (doc. Schneider).

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3			interrupteur-sectionneur référence	fusibles aM		contacteur référence	relais de protection thermique	
400/415 V	440 V	500 V		taille	calibre A		référence	domaine de réglage A
P le kW A	P le kW A	P le kW A						
0,06 0,22	0,06 0,19		GS1-F	14 x 51	2	LC1-D09	LR2-D1302	0,16...0,25
	0,09 0,28		GS1-F	14 x 51	2	LC1-D09	LR2-D1303	0,25...0,4
0,09 0,36			GS1-F	14 x 51	2	LC1-D09	LR2-D1304	0,4...0,63
0,12 0,42	0,12 0,37							
0,18 0,6	0,18 0,55		GS1-F	14 x 51	2	LC1-D09	LR2-D1305	0,63...1
	0,25 0,76							
0,25 0,88		0,37 1	GS1-F	14 x 51	2	LC1-D09	LR2-D1306	1...1,6
0,37 1	0,37 1	0,55 1,21						
		0,75 1,5	GS1-F	14 x 51	2	LC1-D09	LR2-D1306	1...1,6
0,55 1,5	0,55 1,36		GS1-F	14 x 51	2	LC1-D09	LR2-D1306	1,25...2
0,75 2	0,75 1,68		GS1-F	14 x 51	4	LC1-D09	LR2-D1307	1,6...2,5
	1,1 2,37	1,1 2						
1,1 2,5		1,5 2,6	GS1-F	14 x 51	4	LC1-D09	LR2-D1308	2,5...4
1,5 3,5	1,5 3,06	2,2 3,8						
2,2 5	2,2 4,42	3 5	GS1-F	14 x 51	6	LC1-D09	LR2-D1310	4...6
3 6,5	3 5,77	4 6,5	GS1-F	14 x 51	8	LC1-D09	LR2-D1312	5,5...8
4 8,4	4 7,9	5,5 9	GS1-F	14 x 51	10	LC1-D09	LR2-D1314	7...10
5,5 11	5,5 10,4	7,5 12	GS1-F	14 x 51	16	LC1-D12	LR2-D1316	9...13
7,5 14,8	7,5 13,7	9 13,9	GS1-F	14 x 51	16	LC1-D18	LR2-D1321	12...18
	9 16,9		GS1-F	14 x 51	20	LC1-D25	LR2-D1321	12...18
9 18,1	11 20,1	11 18,4	GS1-F	14 x 51	25	LC1-D25	LR2-D1322	17...25
11 21		15 23						
15 28,5	15 26,5	18,5 28,5	GS1-F	14 x 51	32	LC1-D32	LR2-D2353	23...32
18,5 35	18,5 32,8	22 33	GS1-F	14 x 51	40	LC1-D40	LR2-D3355	30...40
	22 39		GS1-J	22 x 58	50	LC1-D40	LR2-D3357	37...50
22 42		30 45	GS1-J	22 x 58	50	LC1-D50	LR2-D3357	37...50
	30 51,5		GS1-J	22 x 58	80	LC1-D50	LR2-D3359	48...65
		37 55	GS1-J	22 x 58	80	LC1-D65	LR2-D3359	48...65
30 57	37 64		GS1-J	22 x 58	80	LC1-D65	LR2-D3361	55...70
		45 65	GS1-J	22 x 58	80	LC1-D80	LR2-D3361	55...70
37 69	45 76		GS1-J	22 x 58	100	LC1-D80	LR2-D3363	63...80
		55 80	GS1-J	22 x 58	100	LC1-D80	LR2-D3365	80...93
	45 81		GS1-J	22 x 58	100	LC1-D95	LR2-D3365	80...93
55 100	55 90	75 105	GS1-K	22 x 58	125	LC1-D115	LR9-D5369	90...150
75 135	75 125	90 129	GS1-L	T0	160	LC1-D150	LR9-D5369	90...150
90 165	90 146	110 156	GS1-N	T1	200	LC1-F185	LR9-F5371	132...220
110 200	110 178	132 187	GS1-N	T1	250	LC1-F225	LR9-F5371	132...220
132 240	132 215	160 220	GS1-QQ	T2	315	LC1-F265	LR9-F7375	200...330
	160 256		GS1-QQ	T2	315	LC1-F330	LR9-F7375	200...330
160 285	200 321	200 281	GS1-QQ	T2	400	LC1-F330	LR9-F7375	200...330
		220 310	GS1-QQ	T2	400	LC1-F400	LR9-F7375	200...330
200 352			GS1-S	T3	500	LC1-F400	LR9-F7379	300...500
220 388	220 353	250 360	GS1-S	T3	500	LC1-F500	LR9-F7379	300...500
	250 401		GS1-S	T3	630	LC1-F500	LR9-F7381	380...630
		315 445						
		355 500						
315 555	315 505		GS1-S	T3	630	LC1-F630	LR9-F7381	380...630
	355 549		GS1-V	T4	800	LC1-F630	LR9-F7381	380...630
	400 611	400 540						

1.6.2 Classes de déclenchement des relais thermiques

Si les relais thermiques protègent les moteurs contre les surcharges en régime établi, ils doivent également tenir compte de la surintensité de démarrage. À cet effet, les relais thermiques sont généralement proposés selon trois versions dites *classes de déclenchement*.

Le tableau 1.4 résume, pour chaque classe de déclenchement et pour divers courants de surcharge du moteur (exprimés en multiple du courant nominal), les plages du temps de déclenchement des relais thermiques définies par la norme IEC 947-4-1.

Tableau 1.4 – Plages du temps (T_p) de déclenchement en fonction du courant de surcharge du moteur.

Classe de déclenchement	1,05 / nominal	1,2 / nominal	1,5 / nominal	7,2 / nominal
10	$T_p > 2 \text{ h}$	$T_p < 2 \text{ h}$	$T_p < 4 \text{ min}$	$4 \text{ s} < T_p < 10 \text{ s}$
20	$T_p > 2 \text{ h}$	$T_p < 2 \text{ h}$	$T_p < 8 \text{ min}$	$6 \text{ s} < T_p < 20 \text{ s}$
30	$T_p > 2 \text{ h}$	$T_p < 2 \text{ h}$	$T_p < 12 \text{ min}$	$9 \text{ s} < T_p < 30 \text{ s}$

Choisir un relais thermique, c'est définir (figure 1.14) :

- sa plage en fonction du courant nominal du moteur ;
- sa classe de déclenchement en fonction du temps de démarrage.

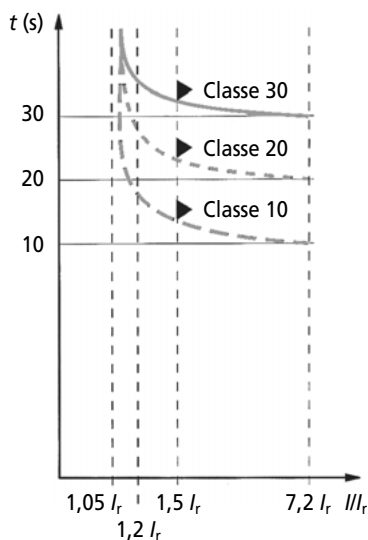


Figure 1.14 – Abaque indiquant le temps nécessaire au déclenchement en fonction de la classe et du courant absorbé (doc. Schneider).

1.7 Protection par relais de surchauffe

Dans le domaine industriel, le relais de surchauffe est couramment utilisé en protection des moteurs. En réfrigération et en climatisation, il est encore plus conseillé qu'ailleurs du fait du refroidissement du moteur par le fluide frigorigène... lequel fluide frigorigène peut quelque fois être défaillant !

Généralement, un moteur est correctement protégé à partir d'un disjoncteur différentiel, de fusibles et d'un relais thermique. Ces protections réagissent à un courant de fuite, à une surcharge brutale et à une surcharge modérée mais durable. Elles sont efficaces mais ne couvrent pas tous les risques afférents aux moteurs de compresseurs hermétiques et semi-hermétiques.

Le refroidissement du moteur représenté figure 1.15 est assuré par le fluide frigorigène aspiré.

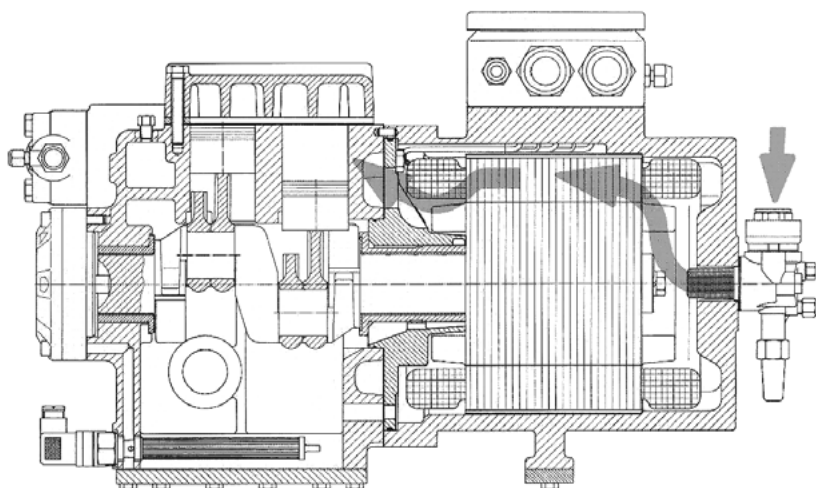


Figure 1.15 – Motocompresseur semi-hermétique à moteur d'entraînement refroidi par gaz aspiré (doc. Bock).

Sans le relais de surchauffe, le moteur peut être mis en danger dans deux cas :

- *marche à charge réduite* (hypothèse d'un compresseur à 12 cylindres fonctionnant relativement longtemps avec seulement 4 cylindres par exemple) : l'intensité absorbée par le moteur est alors réduite, par contre le refroidissement du moteur est moins efficace, il peut en découler une température excessive du stator et sa détérioration ; dans cet exemple, le relais de surchauffe est la seule protection efficace ;
- *marche avec un manque de fluide frigorigène* (manque de charge) : on retrouve les mêmes problèmes que ci-dessus, sans doute amplifiés en fonction du degré de manque de charge.

REMARQUE

Il est évident que la mise au vide du circuit frigorifique à partir du groupe de l'installation est proscrite ! Cette remarque est valable pour les compresseurs hermétiques et semi-hermétiques. Les compresseurs

ouverts échappent à ce problème ; cependant le niveau de vide qu'ils obtiennent est nettement insuffisant, et ils ne permettent donc pas d'effectuer la mise au vide d'un circuit.

Le relais de surchauffe est aussi conseillé dans les cas de moteurs à démarrages fréquents ; l'inertie thermique du stator est en effet très différente de l'inertie du relais thermique classique.

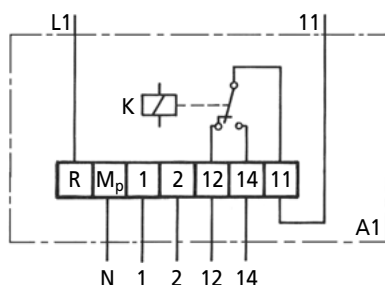


Figure 1.16 – Schéma de câblage fourni par un fabricant.

R, M_p : alimentation. 11, 14 : circuit de commande. 1, 2 : connexion des thermistances.

K : relais. 11 ; 12 : alimentation d'une alarme.

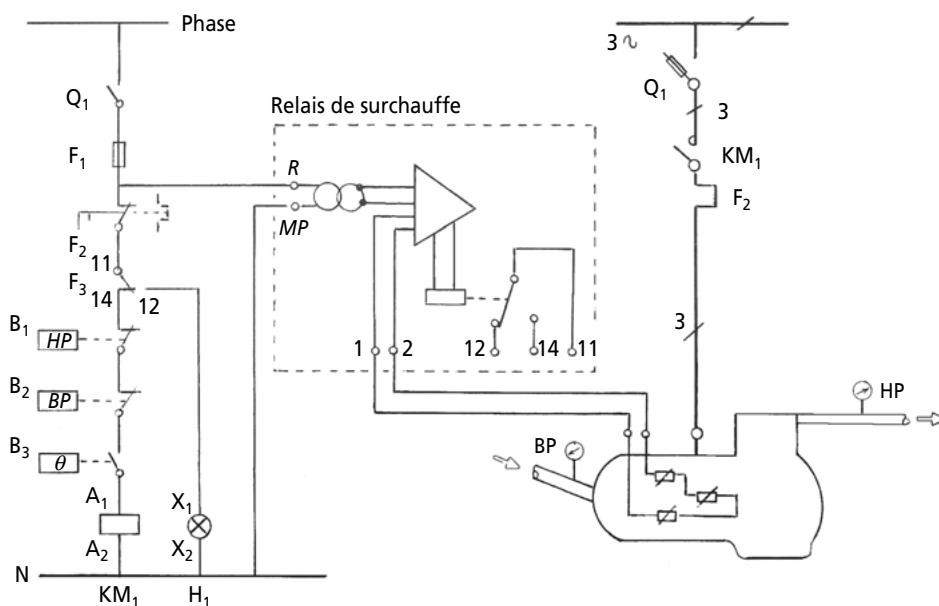


Figure 1.17 – Raccordement pratique d'un relais de surchauffe.

Circuit de commande : Q_1 : contact de pré coupure du combiné du groupe. F_1 : fusible de protection du circuit de commande. F_2 : contact du relais thermique de protection du groupe. F_3 : contact du relais de surchauffe. B_1 : pressostat HP de sécurité. B_2 : pressostat BP de sécurité. B_3 : thermostat de régulation. KM_1 : bobine de commande du contacteur de puissance du groupe.

Circuit de puissance : Q_1 : combiné permettant le sectionnement et la protection du circuit de puissance. KM_1 : contacteur de commande du groupe. F_2 : relais thermique de protection du groupe.

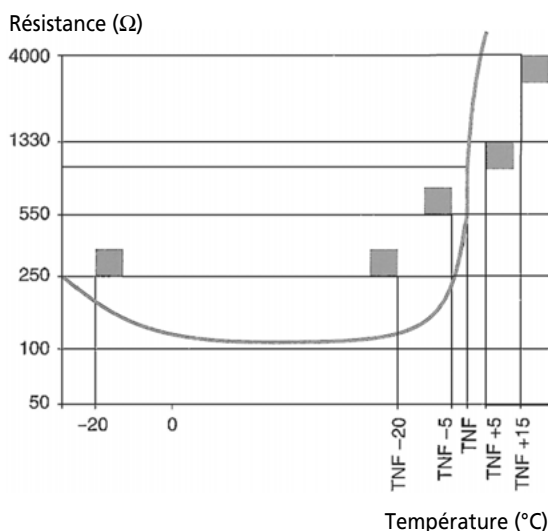
REMARQUE

Sur la figure 1.17, le contacteur KM_1 associé au relais thermique F_2 forment un discontacteur.

Le moteur comporte généralement trois sondes montées en série, chaque enroulement comportant une sonde. Ces sondes sont de type CTP (coefficient de température positif), c'est-à-dire que leur valeur ohmique est croissante lorsque la température augmente. Le choix CTP n'est pas le fait du hasard : en effet, en cas de coupure dans le circuit des sondes, la valeur ohmique devenant infinie, cela serait assimilable à une température excessive et il y aurait mise à l'arrêt automatique du compresseur. La figure 1.18 fait apparaître une augmentation brutale de la valeur ohmique de la sonde au-delà de la température normale de fonctionnement.

Figure 1.18 – Relation entre la température et la valeur ohmique d'une thermistance de type CTP (doc. Schneider).

TNF : température nominale de fonctionnement.

**REMARQUE**

Les frigoristes appellent souvent Kriwan ces relais de surchauffe, du nom de leur fabricant le plus connu.

1.8 Autres protections

1.8.1 Protection thermique à ouverture

Au-delà de la température nominale de fonctionnement, le bilame se déforme et ouvre un contact. Ces protections, qui peuvent être montées en série (figure 1.19), permettent la surveillance globale d'un moteur lors de surcharges lentes.

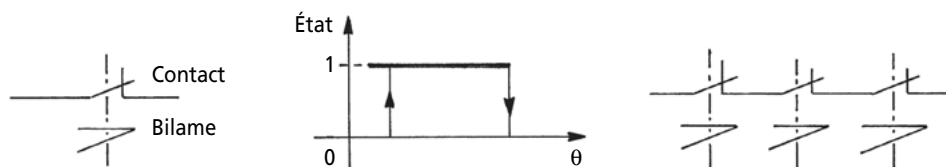


Figure 1.19 – Protection thermique à ouverture.

1.8.2 Protection thermique à fermeture

Au-delà de la température nominale de fonctionnement, le bilame se déforme et ferme le contact correspondant. Ces protections montées en parallèle permettent une protection globale du moteur et répondent aux surcharges lentes (figure 1.20).

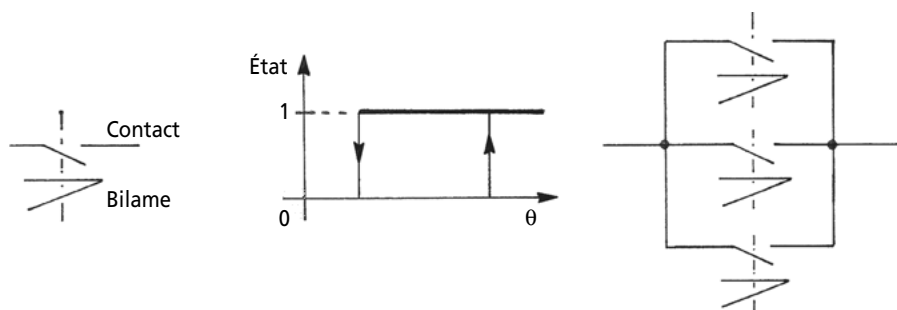


Figure 1.20 – Protection thermique à fermeture.

1.8.3 Protection par effet Peltier

Les thermocouples utilisés peuvent être du cuivre et du constantan ou du cuivre et du cuivre-nickel, etc. (figure 1.21). Cette protection assure une surveillance continue ponctuelle des points chauds.

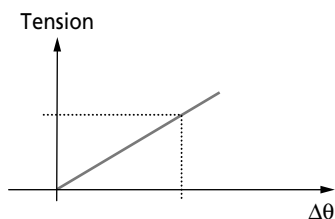


Figure 1.21 – Protection par effet Peltier.

1.8.4 Protection par sonde thermique au platine

Le platine représente une résistance variable linéaire croissante à température croissante. Ce type de protection permet une surveillance continue de grande précision (figure 1.22).

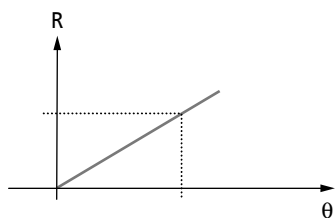


Figure 1.22 – Protection par sonde thermique au platine.