

Jacques Marie Broust

APPAREILLAGES ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES INDUSTRIELS

Conception • Coordination
Mise en œuvre • Maintenance

DUNOD

Conseiller éditorial : Éric Félice

Illustrations intérieures : Alain et Ursula Bouteville-Sanders

Photo de couverture : © Nightman1965-Fotolia.com

Nouvelle présentation 2013, 2019

© Dunod, Paris, 2008

ISBN 978-2-10-080154-1

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.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos

XI

A

Généralités

1 • La normalisation 3

- 1.1 Domaines domestiques et industriels 3
- 1.2 Importance des informations liées aux matériels 4
- 1.3 Le marché européen 5
- 1.4 Les responsabilités devant la loi 5
- 1.5 Terminologie 6
- 1.6 À quoi sert une norme ? 6
- 1.7 Organisation des normes en électrotechnique 7
- 1.8 Les normes en électrotechnique 11
- 1.9 Marques et labels 12

2 • Éléments de technologie 13

- 2.1 Processus de coupure et disjoncteurs 13
- 2.2 Fonctionnement des fusibles 25
- 2.3 Déclencheurs et relais thermiques à bilames 26
- 2.4 Contacteurs 32

B

Fonctions de base des appareillages électriques

3 • Fonctions de protection	47
3.1 Sectionnement	47
3.2 Protection contre les courts-circuits	59
3.3 Pouvoirs de coupure	71
3.4 Protection contre les surcharges	77
3.5 Protection des personnes	84
3.6 Protection contre les surtensions	94
4 • Fonctions de commande	111
4.1 Interrupteurs	112
4.2 Contacteurs	121
4.3 Démarreurs de moteurs	121
4.4 Fonctions de commande de sécurité	132
4.5 Différents types d'arrêt	134
4.6 Auxiliaires de commande	134
5 • Fonctions d'information	141
5.1 Sens de manœuvre des organes de commande	141
5.2 Couleur des boutons poussoirs	142
5.3 Couleur des voyants lumineux	142
5.4 Panneaux de commandes électroniques	143
5.5 Mesures	143
5.6 Contrôleurs permanents d'isolement	147
6 • Coordination des fonctions	153
6.1 Coordination de protection	153
6.2 Coordination d'isolement	158
6.3 Coordination entre disjoncteurs	160
6.4 Influence de la température environnante	164

C

Ouvrages électriques Étude, conception et maintenance

7 • Installations électriques industrielles	169
7.1 Domaines de tensions	169
7.2 Quelques configurations typiques de distribution électrique	170
8 • Schémas de liaison à la terre (SLT)	177
8.1 Origine des régimes du neutre (schémas de liaison à la terre)	177
8.2 Principe des schémas de liaison à la terre (SLT)	180
8.3 Schéma TN dit « mise au neutre »	181
8.4 Schéma TT dit « neutre à la terre »	189
8.5 Schéma IT dit « neutre isolé »	190
8.6 Choix du SLT	194
8.7 Schéma IT dans les salles d'opération	194
8.8 Schéma IT pour les circuits de sécurité dans les établissements recevant du public (ERP)	195
8.9 Mise à la terre des postes de transformation	196
9 • Conducteurs PE, LE et TE	199
9.1 Utilité des mises à la terre	199
9.2 Différentes liaisons équipotentielles	201
10 • Calculs des installations	207
10.1 Objectifs des calculs	207
10.2 Calcul de la section des conducteurs	207
10.3 Chutes de tension	212
10.4 Section du conducteur neutre	213
10.5 Section du conducteur de protection	214
10.6 Calculs des courants de courts-circuits	215
10.7 Courant de crête	218
10.8 Réglage des déclencheurs sous courts-circuits	220
11 • Calcul des échauffements dans les armoires électriques	223
11.1 Principe	223
11.2 Calcul de la surface effective de refroidissement	223

11.3	Calcul de la température à mi-hauteur	224
11.4	Calcul de la température en haut de l'armoire	225
11.5	Influence des ouvertures de ventilation	226
11.6	Calcul de la dissipation calorifique à l'intérieur d'une armoire	229
11.7	Exemple de tableau de dissipation	231
11.8	Exemple d'application	233
11.9	Températures maximales admissibles	234
12	• Ensembles d'appareillage à basse tension	235
12.1	Enveloppes	236
12.2	Différents types de tableaux	242
12.3	Formes de séparation	255
12.4	Indices de service	256
12.5	Différentes parties des armoires et tableaux	260
12.6	Essais des ensembles et certification de conformité CE	270
12.7	Canalisations préfabriquées	274
13	• Câblage des ensembles d'appareillage	285
13.1	Séparation des domaines	285
13.2	Conducteurs de « mise à la terre »	286
13.3	Cohabitations courants faibles et courants forts	291
13.4	Techniques de maintien des fils (goulottes, torons, peignes)	293
13.5	Connexion des barres entre elles	294
14	• Maintenance des tableaux et de l'appareillage	295
14.1	Principes généraux	295
14.2	Principe du carnet de bord	295
14.3	Observations et mesures	296
14.4	Contrôle des températures	297
14.5	Contrôle du serrage des connexions	298
14.6	Surveillance et maintenance de l'appareillage	300
14.7	Évaluation de l'état des tableaux : profEL®	305
	Conclusion • Évolution de l'électrotechnique	309

Annexes

A • Aide-mémoire	315
A.1 Définitions relatives aux courants	315
A.2 Définitions relatives aux fonctions des appareils	318
A.3 Définitions relatives à la protection des personnes	319
A.4 Parafoudres	320
B • Critères de sélection	323
B.1 Interrupteur-sectionneur	323
B.2 Contacteurs et démarreurs	324
B.3 Disjoncteurs	324
B.4 Jeux de barres	325
B.5 Enveloppes et tableaux	325
B.6 Canalisations préfabriquées	326
Bibliographie	329
Index	331

AVANT-PROPOS

Depuis maintenant plus de dix ans, les métiers de l'industrie sont liés au respect d'un *plan d'assurance qualité* qu'ils se sont fixé. Celui-ci impose, en particulier, aux acheteurs et aux prescripteurs, d'être capables de justifier techniquement leurs demandes d'investissement et de les décrire de façon précise et compréhensible sans ambiguïté. Ils doivent savoir les exprimer avec justesse, sans risque de mauvaises interprétations, dans leurs appels d'offres. En retour, les fournisseurs doivent pouvoir justifier la juste réponse aux besoins clairement exprimés.

Les prescripteurs expriment en général leurs demandes par un cahier des charges.

Les fabricants et prestataires de service expriment leurs réponses aux moyens de devis ou de catalogues documentés par des descriptions et caractéristiques.

L'accord entre client et fournisseur s'exprime par une *revue de contrat*. Celle-ci a pour objectif de vérifier si les demandes ont toutes été prises en compte, si les solutions répondent à ces demandes et si les moyens mis en place permettent leur réalisation dans les délais et conditions exigées.

Dans le cas de vente sur catalogue, celui-ci, ainsi que les conditions de ventes doivent être suffisamment précis pour représenter à eux seuls cette revue de contrat.

C'est dans ce contexte que cet ouvrage traite des *appareillages et installations électriques industriels*. Son but est de proposer au lecteur des références sur lesquelles il pourra s'appuyer pour définir au plus juste les conditions d'exploitation d'une installation électrique, de sa protection et de son entretien.

■ À quel public l'ouvrage s'adresse-t-il ?

Le document s'adresse d'abord à tout électricien ayant acquis les connaissances de base en matière d'électricité générale ainsi que de bonnes notions d'électrotechnique.

Il s'adresse également à tous métiers en relation avec la conception, la construction et l'entretien des « ouvrages électriques » à vocation industrielle ou grand tertiaire.

Il ne s'adresse donc pas particulièrement aux artisans ni aux particuliers en vue de réaliser ou modifier une installation domestique.

Ce livre a pour but de permettre à tout électricien d'analyser et de définir clairement et avec une terminologie exacte, les besoins en matière de protection, de commande et d'information, relatifs à une installation électrique.

Les besoins étant clairement exprimés, en retour, les caractéristiques des produits peuvent être judicieusement présentées et comparées.

Ce document de référence s'adresse donc :

- aux formateurs et aux étudiants qui cherchent à la fois une vue d'ensemble et des informations précises sur le rôle de l'appareillage électrique, la conception et le calcul des ouvrages électriques : installations et tableaux ;
- aux prescripteurs électriciens cherchant à rédiger un cahier des charges ;
- aux bureaux d'études et acheteurs cherchant à apporter une juste réponse aux cahiers des charges ;
- aux responsables de produits, afin de décrire, de façon la plus exacte, les applications de leurs produits et mettre en valeur leurs caractéristiques ;
- aux chargés de support produits, afin d'apporter des réponses précises et documentées aux questions qui leur sont posées ;
- aux services de maintenance cherchant les bases sur lesquelles ils peuvent fonder leurs procédures et leurs analyses ;
- aux vérificateurs et experts cherchant à contrôler quelques points précis et avoir rapidement accès aux documents officiels auxquels il est fait abondamment référence.

■ Limites de l'ouvrage

Ce livre a un rôle essentiellement explicatif, en aucun cas il prétend se substituer aux normes qui, seules, peuvent être utilisées professionnellement et juridiquement.

Si la référence aux normes est abondamment annoncée, cela ne peut qu'encourager le lecteur à s'y reporter sans perte de temps décourageante.

■ Organisation

Cet ouvrage cherche à offrir au lecteur des bases de références précises afin de le guider pour la meilleure compréhension des technologies décrites. Les règlements et normes sont exposés de façon à ce qu'ils soient compris comme des outils de travail facilitant la compréhension et la résolution des problèmes techniques.

L'auteur s'est particulièrement attaché à mettre en évidence les règles et caractéristiques qui font l'objet de documents précis dont il fait référence. Mais il révèle aussi celles qui se rapportent à des notions anciennes, voire infondées, basées sur l'habitude et une certaine mémoire collective. Certaines caractéristiques ou prescriptions applicables dans le passé, n'ont plus cours en vertu de nouveaux accords internationaux. L'auteur explique parfois l'historique de ces évolutions afin de donner au lecteur le maximum d'éléments pour construire son point de vue face aux tenants de ces concepts dépassés.

Parfois l'auteur met en évidence certaines contradictions, imprécisions ou illogismes persistants dans la normalisation. Le but recherché est de donner au lecteur des références afin qu'il puisse fonder ses décisions et argumentations sur la raison, en fustigeant celles qui sont trop souvent fondées sur l'habitude.

Après une présentation des fondements de la normalisation, une première partie s'attache à expliquer les principaux éléments de technologie que l'appareillage électrique utilise. Les principes de ceux-ci sont souvent anciens, seules les technologies d'applications évoluent.

Dans une seconde partie les fonctions élémentaires de l'appareillage électrique sont expliquées. Leurs buts et les caractéristiques proposées par leurs normes respectives sont exposés.

Dans une troisième partie les ouvrages électriques (installations et tableaux électriques) sont traités dans le but de connaître leur structure, leurs modes d'étude et de calculs, ainsi que leur maintenance. Cette partie présente même une modalité d'analyse des installations et tableaux anciens en vue d'en évaluer le risque.

Chacune de ces parties fait parfois référence à des notions exposées de façon plus précise dans une autre partie. Afin que ces renvois ne soient pas trop gênants pour le lecteur, certaines notions sont quelquefois répétées.

A

Généralités

L'objectif de cet ouvrage est d'expliquer les fonctionnalités des appareillages électriques, l'étude des systèmes électriques et leur maintenance. Cette démarche ne peut être envisagée que si certaines notions préliminaires ont été comprises.

Il est tout d'abord indispensable de définir les domaines d'utilisation des matériels expliqués, en particulier les domaines domestiques et industriels.

Les matériels et systèmes électriques sont régis par de nombreuses réglementations et normes. Celles-ci définissent leur conception et leurs champs d'application afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens et la sûreté de leur fonctionnement.

Les normes se présentent aussi comme des outils de travail, facilitant les échanges commerciaux entre utilisateurs et constructeurs de différents pays, grâce à une terminologie et des caractéristiques harmonisées.

Cette partie explique dans un premier chapitre les fondements et l'organisation de la rédaction des normes.

Les appareillages électriques font appel à des technologies souvent mal connues, mais pourtant anciennes. Les techniques de coupure d'arcs électriques, celles de la commande des contacteurs, la théorie des bilames ou le fonctionnement des fusibles, sont autant d'éléments de connaissance nécessaires à la compréhension des appareils. Ils sont développés dans le second chapitre de cette partie.

1.1 Domaines domestiques et industriels

Le document traite des *appareillages électriques industriels*, des règles auxquelles ils sont soumis, de leurs caractéristiques et des solutions disponibles sur le marché.

Il traite également des *installations électriques industrielles* et des tableaux électriques industriels, leur choix, les méthodes d'études et de calculs, leur mise en œuvre et leur entretien.

Afin de lever tout malentendu, il convient de préciser ce qui relève du *domaine industriel*, par opposition au *domaine domestique*.

La définition « historique » vise à encadrer le domaine des appareils et installations « domestiques » à celui qui serait alimenté en énergie par un branchement basse tension, les autres relevant du domaine « industriel ». Cette relation avec le type de branchement au réseau du distributeur est utilisée dans la réglementation pour distinguer des procédures de contrôle différentes :

- domestique : contrôle initial par le *consuel* couvrant pratiquement toute responsabilité de l'installateur ou de l'utilisateur ;
- industriel : contrôle initial et périodique par un organisme habilité des installations industrielles dont le chef d'établissement reste entièrement responsable de la sécurité contre tous dangers électriques pouvant atteindre le personnel travaillant dans son établissement.

Cette distinction n'est pas suffisante pour s'appliquer aux matériels électriques. En effet les matériels, même les tableaux, installés dans des bureaux d'un grand immeuble ont les mêmes contraintes d'utilisation que ceux installés dans une habitation. Nous proposerons ici un concept plus général.

Le *domaine domestique* se caractérise par les particularités suivantes :

- Les matériels peuvent être mis en œuvre par un utilisateur final. Deux ou trois données sont nécessaires à leur choix (par exemple : fonction, nombre de pôles, intensité). Aucun réglage n'est toléré. Aucune disposition complémentaire n'est ajoutée pour assurer la protection contre un usage dangereux. Aucune formation spécifique sur l'appareillage n'est requise pour les mettre en œuvre.
- Les matériels sont directement utilisables par des personnes « ordinaires » c'est-à-dire sans formation ni instruction spécifique. Les personnes « sensibles » telles que les enfants, personnes âgées ou handicapées font partie des personnes utilisatrices.

- Les matériels étant initialement prévus pour les installations de branchement, sont isolés entre phase(s) et terre pour 250 V. Ils ont une tolérance aux surtensions très limitée.
- Ils ne doivent pas générer de perturbations électromagnétiques (parasites), mais ils restent très sensibles aux perturbations reçues.
- Aucune surveillance ou entretien n'est exigé.

Le *domaine industriel* se caractérise, à l'opposé, par les particularités suivantes :

- Les matériels sont confiés à des professionnels formés aux règles de l'art, capables de les choisir, de les régler et de les mettre en œuvre en fonction des contraintes de l'installation qu'ils savent reconnaître et évaluer.
- Les vendeurs de ces matériels ont l'obligation de porter à la connaissance de leurs clients toutes les caractéristiques de leurs produits, qui seraient nécessaires pour les sélectionner et les adapter aux usages auxquels ils sont destinés.
- Parmi les caractéristiques, différentes tensions d'isolement peuvent être assignées aux produits proposés. Il convient au professionnel d'en tenir compte en fonction des caractéristiques du réseau.
- Ils peuvent émettre un certain niveau de perturbations électromagnétiques, mais doivent être peu sensibles à celles qu'ils reçoivent (dans certaines limites).
- Une surveillance de la qualité de l'installation est demandée, exigeant un contrôle périodique. Celui-ci s'attache à vérifier si des risques de pannes peuvent perturber l'exploitation de l'établissement. Ces inspections complètent celles des organismes de contrôle qui s'attachent essentiellement à vérifier si les conditions de protections contre tout danger électrique sont conservées.
- Les matériels et équipements sont utilisables par des personnes ayant reçu une formation adaptée, sous la responsabilité du chef d'établissement.

Le présent ouvrage se concentre donc sur *les matériels et installations liés au domaine industriel*.

1.2 Importance des informations liées aux matériels

Il résulte de ce qui précède qu'il est absolument indispensable de disposer de méthodes de travail, de vocabulaires, de procédures d'évaluation des caractéristiques... qui soient communes et connues entre tous les acteurs d'une même activité, en particulier de celle de l'industrie électrotechnique. Les produits étant diffusés sur l'ensemble de la planète, ces « règles du jeu » doivent être les plus universelles possibles.

Prenons pour exemple un contacteur.

- La première question est reconnaître le même produit sous cette appellation. Dans certaines littératures, ce mot désigne un appareil de commande d'un moteur au moyen d'un électroaimant, dans d'autres, il désigne un appareil à commande manuelle pour sélectionner une fonction, dans d'autres encore, il devient synonyme d'une prise de courant.

- Les autres questions consistent à définir les aptitudes de cet appareil.
 - Quel courant peut-il conduire pendant une très longue période ?
 - Quelle puissance de moteur peut-il commander en marche et en arrêt ? Dans quelles conditions ? Pour combien de manœuvres ?
 - Quelle tension et quelle variation de tension de commande accepte-t-il ?
- etc.

Nous comprenons aisément que les fabricants ne peuvent pas présenter, chacun à sa manière, des réponses sans qu'aucune comparaison ne soit possible. Un utilisateur ne peut pas se transformer en spécialiste des contacteurs, interrupteurs et autres disjoncteurs, pour vérifier si les conditions d'essais des produits proposés correspondent bien à ses besoins.

Il est donc indispensable, dans une activité industrielle qui est devenue internationale, que toutes les définitions et les caractéristiques des produits commercialisés, soient, de manière concertée, clairement définies et appliquées dans toutes les communications : catalogues, cahiers des charges, devis, rapports d'essais, rapports d'expertises, etc.

A

GÉNÉRALITÉS

1.3 Le marché européen

Le marché européen, selon le principe du traité de Rome, est ouvert à la diffusion de tous produits, à condition qu'il puisse être démontré, de façon vérifiable, que ceux-ci ne sont pas dangereux pour la sécurité et la santé des personnes ou des animaux, ni nuisibles à l'environnement, dans le cadre d'une utilisation parfaitement définie. Ainsi, s'agissant d'appareillage de protection, il doit être démontré que les appareils assurent leur rôle dans des limites définies.

Ces règles constituent le fondement des *directives européennes*, réglementant la circulation des matériels électriques. Elles ne s'en tiennent qu'aux buts visés, en laissant les moyens de recherches et le cadre des solutions à la seule responsabilité des fabricants ou des vendeurs.

L'entente entre seuls professionnels pourrait conduire à ne se satisfaire que d'options minimales. Les directives européennes obligent, au contraire, les fabricants à viser une recherche permanente de la plus grande sécurité pour les humains, les êtres vivants et la préservation de l'environnement.

1.4 Les responsabilités devant la loi

Les matériels susceptibles de circuler dans l'espace européen, sont soumis au respect des directives européennes. Celles-ci, transposées en lois nationales, deviennent juridiquement obligatoires.

Les installations électriques, ne pouvant circuler, sont quant à elles soumises à la loi nationale.

Une installation électrique ne doit pas être dangereuse, le chef d'établissement en est responsable devant la loi. Cela nécessite obligatoirement qu'une méthode de conception et de vérification soit établie, en application de la loi, pour décrire les moyens minimaux à mettre en œuvre afin qu'une installation soit admise comme non dangereuse. C'est dans cet objectif que le législateur a publié le décret n° 88-1056 du 14-11-1988, relatif à la protection des travailleurs contre les dangers électriques.