

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique

Polycopie de Cours

Schémas et Appareillages Électriques

Niveau : Licence (3^{ème} année Licence)

Filière : Électromécanique \$ Électrotechnique

Enseignant : Dr. LAIFAOUI Abdelkrim

SOMMAIRE

SOMMAIRE

PREFACE	1
CHAPITRE I :	3
GENERALITE SUR L'APPAREILLAGE ELECTRIQUE	3
1. Introduction	3
2. Fonction de l'appareillage	3
2.1 Fonction de base de l'appareillage	4
2.1.1 Le sectionnement	4
2.1.2 La commande	5
2.1.3 La protection	6
3. Classification de l'appareillage	9
4. Choix de l'appareillage	9
5. Caractéristiques d'un appareillage électrique	10
5.1 Caractéristiques générales	10
5.2 Caractéristiques techniques d'un appareillage électrique	10
5.2.1 Tension assignée d'emploi (U_e)	10
5.2.2 Tension assignée d'isolement (U_i)	10
5.2.3 Tension assignée de tenue aux chocs (U_{imp})	10
5.2.4 Courant thermique conventionnel à l'air libre (I_{th})	11
5.2.5 Courant thermique conventionnel sous enveloppe (I_{the})	11
5.2.6 Courants assignés d'emploi (I_e) ou puissances assignées d'emploi	11
5.2.7 Pouvoir assigné de fermeture	12
5.2.8 Pouvoir assigné de coupure	12
5.2.9 Durabilité mécanique	12
5.2.10 Durabilité électrique	12
6. Protection de l'appareillage	13
6.1 Indices de protection IP	13
6.2 Indices de protection IK	13
7. Classes des matériels électriques	16
7.1 Principe général	16

7.2	Dispositions de protection	16
CHAPITRE II:	17
FONCTIONS DE L'APPAREILLAGE ELECTRIQUE	17
1.	Appareillages de connexion et de séparation	17
1.1	Notion de contact électrique.....	17
1.1.1	Définition	17
1.1.2	Caractéristiques et catégories	18
1.1.3	Contacts permanents	19
1.2	Bornes de connexion	19
1.3	Prises de courant.....	19
1.4	Sectionneurs	20
1.4.1	Définition	20
1.4.2	Rôle	20
1.4.3	Fonction.....	20
1.4.4	Qualité de sectionnement	20
1.4.5	Réalisation.....	21
1.4.6	Caractéristiques principales.....	21
1.4.7	Organes du sectionneur	21
1.4.8	Symbole : Q.....	22
1.4.9	Différents types de sectionneurs	22
2.	Appareillages d'interruption	26
2.1	Les interrupteurs.....	26
2.1.1	Rôle	26
2.1.2	Symbole.....	26
2.2	Les interrupteurs-sectionneurs	26
2.2.1	Rôle	26
2.2.2	Symbole.....	27
2.2.3	Exemples d'application.....	27
2.2.4	Caractéristiques principales.....	27
2.3	Les interrupteurs-sectionneurs à fusibles	27
2.3.1	Rôle	27
2.3.2	Symbole.....	28
3.	Appareillages de commande	28

3.1	Les contacteurs	28
3.1.1	Définition	28
3.1.2	Rôle	29
3.1.3	Symbole.....	29
3.1.4	Construction générale.....	29
3.1.5	Les contacteurs auxiliaires	33
3.1.6	Contacts auxiliaires instantanés et bloc de contacts auxiliaires	34
3.2	Contacteur inverseur	36
3.3	Choix d'un contacteur.....	36
4.	Appareillages de protection.....	38
4.1	Protection par fusible	38
4.1.1	Rôle	39
4.1.2	Symbole.....	39
4.1.3	Forme et dimension de la cartouche.....	39
4.1.4	Caractéristiques principales.....	41
4.1.5	Différents éléments d'un fusible	44
4.1.6	Différents types de cartouches fusibles	48
4.1.7	Choix et mise en œuvre des fusibles	50
4.1.8	Avantages et inconvénients d'un fusible.....	50
4.2	Protection par relais thermique	51
4.2.1	Éléments de test et de réglage	51
4.2.2	Rôle	51
4.2.3	Symbole.....	52
4.2.4	Utilisation.....	52
4.2.5	Principe de fonctionnement.....	53
4.2.6	Classe du relais thermique et durée de déclenchement	54
4.2.7	Choix d'un relais thermique	55
4.3	Protection par relais magnétique	56
4.3.1	Rôle	56
4.3.2	Principe de fonctionnement.....	56
4.3.3	Symbole.....	57
4.3.4	Réglage.....	57
4.3.5	Utilisation en courant alternatif.....	57

4.3.6	Utilisation du relais de courant en courant continu.....	58
4.4	Protection par relais magnétothermique.....	58
4.5	Protection par relais de contrôle des réseaux triphasés	59
4.5.1	Câblage.....	59
4.6	Protection par disjoncteur.....	60
4.6.1	Définition	60
4.6.2	Symbole.....	60
4.6.3	Différents éléments d'un disjoncteur	61
4.6.4	Principe de fonctionnement.....	62
4.6.5	Différents types de disjoncteur.....	65
4.6.6	Caractéristiques principales d'un disjoncteur	67
4.6.7	Courbe de déclenchement	68
4.6.8	Autres types de disjoncteurs.....	71
4.6.9	Techniques de coupure pour disjoncteurs	72
CHAPITRE III :		73
ELABORATION DES SCHEMAS ELECTRIQUES		73
1.	Installation électrique	72
2.	Normalisation.....	72
2.1	Normalisation des installations électriques.....	72
2.2	C'est l'ensemble des règles techniques qui permettent de standardiser l'appareillage électrique, sa représentation et son branchement. malis	72
2.3	Repérage d'une norme française	73
2.4	Repérage d'une norme européenne	74
2.5	Evolution vers la norme internationale	74
2.6	Les règles pour les schémas	75
2.7	Plan des groupes 0, 1, 2.....	75
3.	Schéma électrique	75
3.1	Définition	75
3.2	Modes de représentation dans les schémas	76
3.2.1	Éléments fonctionnels	76
3.2.2	Éléments de circuits	78
3.3	Classification des schémas	80

3.3.1	Documents orientés vers la fonction	80
3.3.2	Documents de disposition	82
3.3.3	Documents de connexions (réalisation)	83
4.	Repérage et identification.....	84
4.1	Repère d'identification	84
4.1.1	Subdivision essentielle : bloc 1 (Symbole =).....	84
4.1.2	Emplacement : bloc 2 (Symbole +).....	85
4.1.3	Identification de fonction : bloc 3 (Symbole -)	85
4.2	Identification des éléments.....	86
4.2.1	Définition	86
4.2.2	Principe de l'identification.....	86
4.3	Identification des bornes d'appareils	88
4.3.1	Principe de marquage pour les bornes.....	88
4.3.2	Principe de marquage des contacts.....	89
4.4	Repérage des conducteurs sur les schémas	90
4.4.1	Repérage dépendant	91
4.4.2	Repérage indépendant	91
4.4.3	Repérages particuliers	91
CHAPITRE IV :		92
QUELQUES APPLICATIONS DOMESTIQUES ET INDUSTRIELLES		92
1.	Installations domestiques	92
1.1	Simple allumage	92
1.1.1	But	92
1.1.2	Schéma développé.....	92
1.1.3	Schéma architectural ou d'implantation.....	92
1.1.4	Schéma unifilaire.....	93
1.1.5	Schéma multifilaire	93
1.2	Double allumage	93
1.2.1	But	93
1.2.2	Schéma développé.....	94
1.2.3	Schéma architectural	94
1.3	Va-et-vient.....	94
1.3.1	But	94

1.3.2	Schéma développé.....	95
1.3.3	Schéma architectural	95
1.4	Prise.....	95
1.4.1	But.....	95
1.4.2	Schéma développé.....	96
1.5	Prise commandée.....	96
1.5.1	But.....	96
1.5.2	Schéma développé.....	96
1.5.3	Schéma architectural	97
1.6	Télerupteur	97
1.6.1	But.....	97
1.6.2	Fonctionnement.....	97
1.6.3	Schéma développé.....	98
1.6.4	Schéma architectural	98
1.7	Minuterie	98
1.7.1	But.....	98
1.7.2	Fonctionnement.....	99
1.7.3	Schéma développé sans effet.....	99
1.7.4	Schéma développé avec effet	99
1.7.5	Schéma architectural	99
2.	Procédés de démarrage des moteurs asynchrones triphasés.....	100
2.1	Protection d'un départ moteur.....	100
2.2	Couplages d'un moteur triphasé.....	101
2.3	Symboles fonctionnels de démarreurs de moteurs.....	102
2.4	Démarrage direct	103
2.4.1	Schémas de raccordement	104
2.4.2	Fonctionnement.....	104
2.4.3	Caractéristiques de démarrage	105
2.4.4	Avantages et inconvénients	105
2.5	Inversion du sens de marche	105
2.5.1	Schémas de raccordement	106
2.5.2	Fonctionnement.....	106
2.6	Démarrage étoile-triangle.....	107

2.6.1	Schéma de raccordement.....	108
2.6.2	Fonctionnement.....	108
2.6.3	Caractéristiques de démarrage	109
2.6.4	Avantages et inconvénients.....	109
2.7	Démarrage statorique	109
2.7.1	Schémas de raccordement	110
2.7.2	Fonctionnement.....	110
2.7.3	Valeurs des résistances.....	111
2.7.4	Caractéristiques de démarrage	111
2.7.5	Avantages et inconvénients.....	112
2.8	Démarrage rotorique	112
2.8.1	Schémas de raccordement	112
2.8.2	Caractéristiques de démarrage	113
2.8.3	Avantages et inconvénients.....	113
2.9	Démarrage par autotransformateur.....	114
2.9.1	Schémas de raccordement	115
2.9.2	Fonctionnement.....	115
2.9.3	Caractéristiques de démarrage	115
2.9.4	Avantages et inconvénients.....	116
2.10	Démarrage par gradateur (démarreur électronique).....	116
2.10.1	Schémas de raccordement du démarrage par gradateur.....	117
2.11	Tableau de comparaison des différents démarrages.....	117
3.	Freinage des moteurs asynchrones	118
3.1	Freinage mécanique.....	118
3.1.1	Frein à manque de courant	119
3.1.2	Frein à appel de courant	119
3.2	Freinage électrique	120
3.2.1	Freinage par contre-courant	120
3.2.2	Freinage par injection du courant continu.....	121
3.3	Tableau récapitulatif.....	122
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	viii

PREFACE

Préface

Ce cours s'adresse aux étudiants de la troisième année des filières : Électrotechnique et Électromécanique. Il est le résultat du cours que j'ai enseigné, pendant plusieurs années, aux étudiants de la quatrième année Ingénieur Electrotechnique ; de 2008 à 2013 et aux étudiants de la troisième année Licence en Génie Electrique de 2013 à 2015.

L'appareillage électrique, se situe entre la production et l'utilisation de l'énergie électrique, il assure le contrôle de l'énergie transportée par des canalisations. Ainsi, les fonctions de base de cet appareillage sont : le sectionnement, la commande et la protection contre les principales perturbations sur une installation électrique.

Cependant, le schéma d'électrotechnique est un langage graphique commun à tous les électriciens. Il est fondé sur la représentation des différents organes par des symboles, et de leurs liaisons électriques par des traits.

Ce cours se propose de former les étudiants de la troisième année des deux filières : Electrotechnique et Electromécanique à ce langage, afin qu'ils soient capables :

- De lire un schéma en vue d'exécuter, de contrôler ou de dépanner le montage ou l'installation qu'il décrit ;
- D'établir, à partir de schémas de base, un schéma de principe ou un schéma d'exécution ;
- De rechercher le schéma d'une installation ou d'un équipement conformément à un cahier des charges.

Ce document de cours est organisé autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur l'appareillage électrique, à s'avoir : les différentes définitions, les fonctions de base et les caractéristiques techniques de l'appareillage électrique. Sans oublier les critères du choix d'un appareil électrique dans une installation industrielle.

Dans le deuxième chapitre, j'ai donné : la définition, le rôle, le symbole normalisé, le mode de fonctionnement et les différentes caractéristiques techniques de chaque appareil électrique.

Le troisième chapitre est dédié à l'élaboration des schémas électriques. Je l'avais entamé par la description d'une installation électrique et de la normalisation des installations

électriques, cette dernière est l'ensemble des règles techniques qui permettent de standardiser l'appareillage électrique (sa représentation et son branchement). Plus tard, j'ai décrit le schéma électrique, son mode de représentation et sa classification. Ensuite, j'ai donné la manière d'identifier et de repérer n'importe quel élément d'une installation électrique.

Au quatrième chapitre, j'ai présenté quelques applications d'installations électriques domestiques et industrielles avec ; leur schéma normalisé, leur but et leur mode de fonctionnement.

Cette polycopie de cours, permettra aux futurs diplômés du département de Génie Electrique de réaliser ou d'étudier des schémas d'installations électriques qui soient conformes aux normes internationales.

Nous espérons contribuer à la formation de nos futurs diplômés, ce document a pour seule ambition d'apporter les contenus les mieux adaptés à leurs besoins.

L'auteur

Abdelkrim LAIFAOU

CHAPITRE I :
GENERALITE SUR L'APPAREILLAGE
ELECTRIQUE

1. Introduction

L'appareillage électrique se situe entre la production et l'utilisation de l'énergie électrique, il assure le contrôle de l'énergie transportée par les canalisations.

L'appareillage électrique a pour buts essentiels :

- De réaliser des connexions entre les circuits ;
- D'établir ou de couper le courant ;
- De protéger les personnes, les animaux et les biens ;
- De régler, contrôler, mesurer les grandeurs électriques.

L'appareillage électrique a considérablement évolué ; de l'interrupteur manuel, on est passé au thyristor, du fusible au disjoncteur électronique. Ces progrès sont dus en particulier :

- À une meilleure connaissance des matériaux (matières plastiques, semi-conducteurs);
- À une amélioration des techniques de fabrication : moulage, emboutissage ;
- À une conception qui tient compte de l'expérience acquise et de l'évolution technologique en général.

2. Fonction de l'appareillage

La parfaite maîtrise de l'énergie électrique exige la possession de tous les moyens nécessaires à la commande et au contrôle de la circulation du courant électrique dans les innombrables circuits qui vont de la centrale de production jusqu'à la plus modeste utilisation terminale.

Cette délicate mission incombe fondamentalement à l'appareillage électrique.

D'une manière générale, l'appareillage est destiné à assurer la continuité ou la discontinuité des circuits électriques. De sorte qu'on pourrait dire qu'il est constitué essentiellement de l'appareillage d'interruption. En fait, il faut voir d'un peu plus-près ce qui entre dans ce terme générique et par conséquent, en étudier la classification.

La très grande diversité des appareillages électriques nécessite une classification qui est d'ailleurs normalisée (voir tableau 1 ci-dessous).

Tableau I. 1 : Classification générale de l'appareillage électrique

Fonction	Définition	Exemple	Remarque
Appareillage de raccordement	Assure la liaison électrique entre deux ou plusieurs systèmes conducteurs	-Borne de raccordement -Prise de courant -Douille de lampe -Sectionneur	Le raccordement peut être permanent : Connexion visée, ou démontable ; contact embrochable

Appareillage de commande	Assure, en service normal, la mise « en » et « hors » circuit de partie d'installation ou d'appareil d'utilisation, à l'exclusion de toute action de réglage	-Interrupteur -Inverseur -Commutateur -Contacteur-Rupteur -Combinateur -Télérupteur	La commande d'un circuit peut être manuelle (interrupteur) ou provoquée par une grandeur physique (contacteur ou télérupteur).
Appareillage de protection	Évite que le matériel électrique soit parcouru par des courants qui lui soient nuisible, ou que le soient à son environnement	-Fusible -Disjoncteur -Discontacteur	Le fusible assure à la fois le contrôle de la grandeur et la coupure du circuit, ce qui n'est pas le cas pour les autres appareils.
Appareillage de réglage	Agit sur les grandeurs électriques afin de les adapter à l'utilisation.	-Rhéostat -Potentiomètre -Capacité fixe ou variable -Alternostat, -Transformateur -Hacheur -Redresseur contrôle, - Onduleur	Il faut distinguer les appareils de réglage passifs (résistance) des appareils actifs (circuit amplificateur), hacheur, onduleur...
Appareillage de mesure et de contrôle	Permettre d'effectuer les mesures et le contrôle des grandeurs électriques.	-Ampèremètre - Voltmètre -Wattmètre -Ohmmètre -Fréquencemètre -Compteur - Oscilloscope	De plus en plus, les dispositifs de mesure emploient une technologie électronique

2.1 Fonction de base de l'appareillage

Les fonctions de base de l'appareillage électrique sont : le sectionnement, la commande et la protection.

2.1.1 Le sectionnement

C'est isoler efficacement un circuit, une installation, un appareil afin de garantir aux personnes qui assurent la maintenance ou des réparations, la sécurité contre les risques électriques et mécaniques (pas de risque de redémarrage.). La norme NF C 15-100 § 537-2 définit les conditions à respecter pour qu'un appareil remplisse la fonction de sectionnement: La coupure doit être omnipolaire, il doit être verrouillable ou cadenassable en position "ouvert", il doit garantir son aptitude au sectionnement par : la vérification de l'ouverture des contacts soit visuelle, soit mécanique (appareils à coupure pleinement apparente) mesure des courants de fuite, appareil ouvert, tenue aux ondes de tension de choc...

2.1.1.1 La fonction de sectionnement ou de séparation

Permet d'isoler des sources d'énergie tous les conducteurs actifs, afin de permettre au personnel d'entretien l'intervention sans danger sur le départ et le récepteur.

2.1.1.2 Qualité de sectionnement

Cette opération doit être effectuée à l'origine du circuit et le dispositif qui assure cette fonction doit permettre :

- L'isolation des circuits des sources d'énergie ;
- Une séparation omnipolaire, non simultanée (sauf en HTA et HTB) ;
- Une condamnation en position d'ouverture (sauf en BTA ou toute fermeture intempestive doit être rendue impossible) ;
- Une séparation pleinement apparente (sauf en BTA) c'est-à-dire visible ou bien indication « ouvert » si tous les contacts sont effectivement ouverts et séparés par la distance.

Le sectionnement est obligatoire :

- À l'origine de toute installation ;
- À l'origine de toute les circuits si $U > 500 \text{ V}$;
- En tête de machines.

Il est souhaitable pour les tableaux et circuits divisionnaires ou terminaux.

2.1.2 La commande

C'est mettre en service ou hors service un circuit, une installation, un appareil.

L'appareil de commande peut se trouver à l'origine de l'installation ou à proximité du récepteur. Le fait de mettre une installation ou une machine à l'arrêt cela ne la met pas forcément hors tension. La coupure d'urgence est destinée à mettre hors tension donc hors service un appareil ou un circuit qu'il serait dangereux de maintenir sous tension. La coupure d'urgence stoppe un mouvement devenu dangereux.

Cette fonction permet à l'utilisateur d'intervenir volontairement sur des circuits en charge. Cette intervention peut se faire à deux niveaux différents définis par :

- La commande fonctionnelle ;
- La coupure de sécurité.

2.1.2.1 La commande fonctionnelle

2.1.2.1.1 La fonction de commande

Permet la mise en marche et l'arrêt volontaire (manuelle, automatique ou à distance) d'une machine ou d'un récepteur.

2.1.2.1.2 Qualité de commande

L'appareillage de commande, destiné à établir ou interrompre des courants électriques, possède un pouvoir de fermeture et un pouvoir de coupure.

La fonction commande est souhaitable :

- À l'origine de toute installation ;
- Au niveau des récepteurs.

2.1.2.2 Coupure de sécurité (arrêt d'urgence)

2.1.2.2.1 Fonction

Le dispositif de coupure d'urgence a pour fonction principale la coupure en charge de tous les conducteurs actifs d'un circuit, dont le maintien sous tension peut être dangereux en cas de choc électrique ou de risque d'incendie, voire d'explosion.

2.1.2.2.2 Qualité

Dans tout circuit terminal doit être placé un dispositif de coupure d'urgence, aisément reconnaissable est disposé de manière à être facilement et rapidement accessible, permettant en une seule manœuvre de couper en charge tous les conducteurs actifs. Il est admis que ce dispositif commande plusieurs circuits terminaux.

2.1.3 La protection

2.1.3.1 Le problème de la protection

Le problème de la protection des installations consiste à définir des défauts contre lesquels on doit se protéger, puis à choisir l'appareil capable de détecter ces défauts et d'opérer leur suppression.

Les principales perturbations sur une installation électrique se traduisent par :

- Les surintensités : surcharges ou courts-circuits ;
- Les surtensions ou les baisses tensions.

2.1.3.2 Protection contre les surintensités

C'est la protection des biens, contre les courts circuits et les surcharges, la protection des personnes contre les risques électriques (dispositif différentiel.) L'appareil de protection doit être calculé et ajusté au circuit qu'il protège. Les protections doivent être installées à l'origine de chaque circuit.

La protection contre les surintensités est destinée à éviter que des circuits ou des appareils ne soit pas parcourus par des courants susceptibles de nuire au matériel à l'environnement ou à la sécurité des personnes. Il comporte la détection de surintensité et la coupure en charge des circuits. On distingue généralement deux types de surintensité :

- La surintensité de surcharge ;
- La surintensité de court-circuit.

2.1.3.2.1 La fonction de protection contre les courts-circuits

Le court-circuit est une surintensité brutale produite par une chute d'impédance subite et imprévue, entre deux ou plusieurs points présentant une différence de potentiel normale.

Les dispositifs de protection contre les courts-circuits permettent de détecter et de couper le plus rapidement possible, des courants élevés susceptibles de détériorer l'installation (par des forces de Laplace trop élevées déformant les conducteurs, voire à des ruptures mécaniques très brutales types explosion, par des échauffements très intenses qui détériorent définitivement les isolants ou qui provoquent des incendies).

2.1.3.2.2 La fonction de protection contre les surcharges

Les dispositifs de protection contre les surcharges permettent de détecter et de couper des courants de surcharges avant qu'ils n'entraînent la détérioration des isolants ou objets voisins.

La surcharge due, généralement au récepteur est une surintensité relativement modérée, se produisant dans un circuit électriquement sain (sauf, dans le cas de certains défauts d'isolement).

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la surcharge, surtout si elle est très lente, est un défaut très dangereux pour les installations.

2.1.3.2.2.1 Origine de surintensités de surcharge

Parmi les incidents les plus fréquents à l'origine d'une surintensité de surcharge, on retrouve :

- Généralement un incident mécanique ou une augmentation anormale du couple résistant de la machine entraînée, occasionnant :
 - ✓ Soit le calage de moteur ;
 - ✓ Soit le ralentissement momentané ou prolongé.
- Une surabondance de récepteurs alimentés par un même circuit ;
- Un défaut d'isolement n'entraînant, dans une boucle de défaut d'impédance non négligeable, que la circulation d'un courant de défaut de surcharge.

2.1.3.3 Protection contre les surtensions

2.1.3.3.1 Types de surtension

On distingue principalement selon leur origine :

- Les surtensions dues à des coups de foudre de proximité, dites surtensions d'origine atmosphérique. Elles affectent principalement les installations directement reliées au réseau public. Leur niveau et leur fréquence sont liés principalement aux types de réseau de distribution concerné (aérien ou souterrain) et au niveau kéraunique de la région ;
- Les surtensions de manœuvre. Les manœuvres hautes tension et la fusion des fusibles BT donnent lieu à des surtensions assez énergétiques ;
- Les surtensions dues à des défauts directe HT/BT.

2.1.3.3.2 Conséquences et solutions

Les récepteurs sensibles des installations industrielles, tertiaires ou domestiques doivent résister à ces surtensions. Les moteurs (risque de défauts d'isolement interne), les matériels de traitement de l'information ou électroniques (risque de destruction de leurs composants électroniques) y sont relativement sensibles et peuvent nécessiter une protection spécifique.

Dans les installations industrielles, la protection contre la surtension est considérée comme réalisée lorsque les matériels supportent sans dommage les tests à fréquence industrielle et lorsque les mesures ci-dessous sont prises contre les phénomènes transitoires :

- Testes à fréquence industrielle ;
- Tenue diélectrique à fréquence industrielle des matériels, généralement $2 U + 1000$ Volts/1 mn. En schéma IT, la présence de limiteurs de surtension est obligatoire pour protéger l'installation contre les surtensions à fréquence industrielle ;
- Mesures contre les surtensions transitoires. Ces mesures consistent à utiliser des matériels de tenue suffisante ou à les protéger à l'aide de parafoudres disposés à l'origine de l'installation ou coordonnés entre eux. L'interposition de transformateurs peut également minimiser leur influence ;
- Tenue des matériels. Leur tenue est caractérisée par des essais à l'onde de choc normalisée 1,2/50 μ s à une valeur assignée désignée par U_{imp} .

Une synthèse des causes et effets des différentes perturbations avec l'appareillage appropriées, est donnée dans le tableau 2, ci-dessous :

Tableau I. 2 : Analyse des causes et effets des différentes perturbations

Perturbations	Causes	Effets	Moyens de protection
Surcharges	Dès que les appareils d'utilisation demande une puissance plus importante dans un circuit électrique ; par exemple plusieurs radiateurs sur une même prise de courant ou moteur électrique bloqué.	Accroissement anormal du courant absorbé par le circuit, d'où échauffement lent mais pouvant entraîner la détérioration de l'installation.	-Fusible type gG -Contacteurs avec relais thermiques. -Disjoncteurs. (Caractéristique de fonctionnement à temps inverse ; plus l'intensité augment plus le temps de coupure diminue).
Courts-circuits	Évolution brutale du courant absorbé par le circuit due à un courant électrique entre deux conducteurs de polarités différentes ; par exemple :	-Création d'un arc électrique. -Échauffement très important pouvant entraîner la fusion des conducteurs.	Les appareils de protection doivent avoir un pouvoir de coupure supérieur au courant de court-circuit présumé. -Fusible gG, aM. -Disjoncteurs avec relais magnétique ;

	deux conducteurs dénudés qui se touchent.	-Création des efforts électrodynamique.	-Temps de coupure inférieur au temps d'échauffement des conducteurs.
Surtensions	Une surtension peut être due à : -Un défaut d'isolement avec une installation de tension plus élevée (amorçage dans un transformateur) -Des surtensions atmosphériques ; -Des effets de self-induction ; -Des phénomènes de résonance.	Une surtension peut provoquer le claquage d'isolants et entraîner une surcharge ou un court-circuit et la détérioration des appareils et des canalisations.	-Séparation des circuits de tensions différentes dans la canalisation. -Limiteurs de surtension pour réseau type IT. -Parafoudre. -Contrôleur d'isolement de l'installation.
Baisses de tension	Lors du déséquilibre d'un réseau triphasé (mauvaise répartition des charges) ou par suite de la coupure d'une phase ou de sa mise à la terre.	Mauvais fonctionnement des récepteurs ; lampes radiateurs, risque d'échauffement des moteurs.	-Si la tension est de 85% de U_n fonctionnement de la protection par relais à minima de tension. -Relais à baisse de tension souvent temporisés pour éviter les coupures intempestive.

3. Classification de l'appareillage

Un premier mode de classification est fondé sur la tension : on distingue couramment :

- L'appareillage pour la base tension :
 - ✓ Très Basse Tension TBT : $U \leq 50$ V en courant alternatif et $U \leq 120$ V en courant alternatif,
 - ✓ Base Tension A : BTA < 500 V en courant alternatif,
 - ✓ Base Tension B : BTB < 1000 V en courant alternatif.
- L'appareillage pour la haute tension :
 - ✓ Haute Tension A : HTA < 50000 V en courant alternatif,
 - ✓ Haute Tension B : HTB > 50000 V en courant alternatif.

Un second mode de classification est relatif à la fonction. On peut distinguer l'appareillage de commande, l'appareillage de protection, réglage et surveillance. À noter que certains appareils peuvent se classer dans deux catégories.

4. Choix de l'appareillage

Il est basé sur les critères suivants :

- Critère technique : respect des normes et des règlements, condition d'emploi et fiabilité ;
- Critère d'utilisation : facilité de manœuvre, esthétique, bruit, ... ;
- Critère économique : prix de revient et facilité de pose.

5. Caractéristiques d'un appareillage électrique

5.1 Caractéristiques générales

L'appareillage est soumis à des contraintes dues aux effets du courant électrique :

- Échauffement provoqué par le passage du courant électrique ;
- Efforts électrodynamiques dus en particulier aux forces qui se développent sur les conducteurs en cas de court-circuit ;
- Contraintes diélectriques dues aux surtensions qui peuvent se produire dans un circuit.

Pour toute l'appareillage, on doit donc préciser :

- La tension nominale de fonctionnement ou la tension d'isolement de l'appareil ;
- L'intensité nominale pour laquelle l'échauffement de l'appareil est normal ;
- Les caractéristiques spécifiques à la fonction de l'appareil. Par exemple, pouvoir de coupure pour un disjoncteur, nombre de manœuvre pour un contacteur, etc.

5.2 Caractéristiques techniques d'un appareillage électrique

Les caractéristiques techniques d'un appareillage sont définies par les grandeurs nominales sous lesquelles peut fonctionner un appareil dans des conditions prédéterminées, sans risque de détérioration.

5.2.1 Tension assignée d'emploi (U_e)

Une tension assignée d'emploi d'un matériel est une valeur de tension qui, combinée avec un courant assignée d'emploi, détermine l'emploi du matériel, et à laquelle se rapportent les essais correspondants et la catégorie d'emploi.

Pour un matériel unipolaire, la tension assignée d'emploi s'exprime généralement par la tension à travers le pôle. Pour un matériel multipolaire, elle s'exprime généralement par la tension entre phases.

5.2.2 Tension assignée d'isolement (U_i)

La tension assignée d'isolement d'un matériel est la valeur de tension à laquelle on se réfère pour les essais diélectriques et pour les lignes de fuite. En aucun cas, la valeur la plus élevée de la tension assignée d'emploi ne doit dépasser celle de la tension assignée d'isolement.

5.2.3 Tension assignée de tenue aux chocs (U_{imp})

Valeur de crête d'une tension de choc, de forme et de polarité prescrites, que le matériel est susceptible de supporter sans claquage, dans des conditions d'essai spécifiées, et à laquelle on se réfère pour les valeurs des distances d'isolement. La tension assignée de tenue aux chocs

d'un matériel doit être égale ou supérieure aux valeurs fixées pour les surtensions transitoires apparaissant dans le circuit où est placé ce matériel.

5.2.4 Courant thermique conventionnel à l'air libre (I_{th})

Le courant thermique conventionnel à l'air libre est la valeur maximale de courant d'essai à utiliser pour les essais d'échauffement du matériel sans enveloppe à l'air libre.

La valeur du courant thermique conventionnel à l'air libre doit être au moins égale à la valeur maximale du courant assigné d'emploi du matériel sans enveloppe, en service de 8 heures.

On entend par air libre celui qui existe dans les conditions normales à l'intérieur, raisonnablement exempt de poussière et des radiations externe.

5.2.5 Courant thermique conventionnel sous enveloppe (I_{the})

Le courant thermique conventionnel d'un matériel est la valeur du courant, fixée par le constructeur, à utiliser pour les essais d'échauffement du matériel lorsqu'il est monté dans une enveloppe spécifiée. Ces essais sont obligatoires si le matériel est décrit comme matériel sous enveloppe dans les catalogues du constructeur et normalement destiné à être utilisé avec ou plusieurs de type et de taille spécifiées.

La valeur du courant thermique conventionnel sous enveloppe doit être au moins égale à la valeur maximale du courant assigné d'emploi du matériel.

5.2.6 Courants assignés d'emploi (I_e) ou puissances assignées d'emploi

Un courant assigné d'emploi d'un matériel est défini par le constructeur et tient compte de la tension assignée d'emploi, de la fréquence assignée, de service assigné, de la catégorie d'emploi et du type d'enveloppe de protection le cas échéant. Dans le cas de matériels pour la commande directe d'un seul moteur, l'indication d'un courant assigné d'emploi peut être remplacée par celle de la puissance maximale disponible assignée, sous la tension assignée d'emploi considérée, du moteur pour lequel le matériel est prévu. Le constructeur doit être en mesure de préciser la relation qui est admise entre le courant d'emploi et la puissance d'emploi, le cas échéant.

5.2.7 Pouvoir assigné de fermeture

Le pouvoir assigné de fermeture d'un matériel est une valeur de courant, fixée par le constructeur, que le matériel peut établir de manière satisfaisante dans les conditions de fermeture spécifiées.

Les conditions de fermeture que doit être spécifiées sont :

- La tension appliquée ;
- Les caractéristiques du circuit d'essai.

Le pouvoir assigné de fermeture est exprimé en fonction de la tension assignée d'emploi et du courant assigné d'emploi.

5.2.8 Pouvoir assigné de coupure

Le pouvoir assigné de coupure d'un matériel est une valeur de courant, fixée par le constructeur que le matériel peut couper de manière satisfaisante dans des conditions de coupure spécifiées.

Les conditions de coupure qui doivent être spécifiées sont :

- Les caractéristiques du circuit d'essai ;
- La tension de rétablissement à fréquence industrielle.

Le pouvoir assigné de coupure est exprimé en fonction de la tension assignée d'emploi et du courant assigné d'emploi.

5.2.9 Durabilité mécanique

En ce qui concerne sa résistance à l'usure mécanique, un matériel est caractérisé par le nombre, indiqué dans la norme de matériel correspondante, de cycles de manœuvre à vide (c'est-à-dire sans courant aux contacts principaux) qu'il est susceptible d'effectuer avant qu'il ne devienne nécessaire de procéder à la révision ou au remplacement de pièces mécaniques ; cependant, un entretien normal selon les instructions du constructeur peut être admis pour les matériels conçus pour être entretenus. Chaque cycle de manœuvre consiste en une manœuvre de fermeture suivie d'une manœuvre d'ouverture.

5.2.10 Durabilité électrique

En ce qui concerne sa résistance à l'usure électrique, un matériel est caractérisé par le nombre de cycles de manœuvres en charge, dans les conditions de service indiquées dans la norme correspondante, qu'il est capable d'effectuer sans réparation ni remplacement de pièces.

6. Protection de l'appareillage

6.1 Indices de protection IP

L'indice de protection, c'est le degré de protection qui caractérise l'aptitude d'un matériel à supporter deux influences externes ; corps solides et les liquides.

IP est une codification des enveloppes de protection des appareils électriques basée sur deux facteurs :

- Protection contre les corps solides (pénétration de corps solides et protection des personnes) ;
- Protection contre les liquides (pénétration de l'eau).

Donc, l'IP comporte 2 chiffres relatifs respectivement à ces deux influences externes. Il est attribué au matériel à la suite d'une série d'essais définis par la norme NF EN 60.529. Le degré de protection IP doit toujours être lu et compris chiffre par chiffre et non globalement. Au plan français, un troisième chiffre, facultatif, peut être mentionné par le fabricant (Norme NF C 20-010). Une lettre optionnelle peut compléter les deux chiffres de l'IP. Elle indique l'aptitude de l'enveloppe à protéger les personnes contre l'accès aux parties dangereuses.

6.2 Indices de protection IK

Protection contre les chocs mécaniques selon la norme NF EN 50-102.

Exemple :

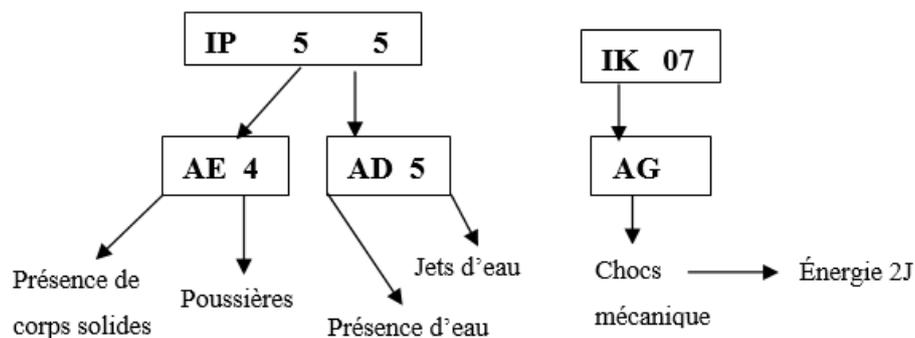


Figure I. 1 : Exemple d'indice IP et IK

Les tableaux I.3 et 1.4 ; donnent la signification de chaque niveau d'indice, IP ou IK et de quelques indications additionnelles ou optionnelles.

Tableau I. 3 : 1er Chiffre protection contre les corps solides

1- chiffre : protection contre les corps solides		
IP		
0		Pas de protection
1		Protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm (ex. : contacts involontaires de la main)
2		Protégé contre les corps solides supérieurs à 12 mm (ex. : doigt de la main)
3		Protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm (outils, vis)
4		Protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm (outils fins, petits fils)
5		Protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible)
6		Totalement protégé contre les poussières

Tableau I. 4 : 2ème Chiffre protection contre les corps liquides

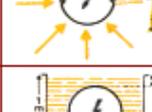
2° chiffre : protection contre les liquides		
IP		
0		Pas de protection
1		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)
2		Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
3		Protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale
4		Protégé contre les projections d'eau de toutes directions
5		Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance
6		Totalement protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer
7		Protégé contre les effets de l'immersion
8		Protégé contre les effets de l'immersion prolongée dans des conditions spécifiées

Tableau I. 5 : Code IK : protection contre les chocs mécaniques

code IK	énergie de choc
00	non protégé
01	0,15 joule
02	0,2 joule
03	0,35 joule
04	0,5 joule
05	0,7 joule
06	1 joule
07	2 joules
08	5 joules
09	10 joules
10	20 joules

Tableau I. 6 : Lettre additionnelle, (option) protection des personnes contre les accès aux parties dangereuses

désignation	
A	protégé contre l'accès du dos de la main
B	protégé contre l'accès du doigt
C	protégé contre l'accès d'un outil - Ø 2,5 mm
D	protégé contre l'accès d'un outil - Ø 1 mm

Tableau I. 7 : Lettre supplémentaire (option) information spécifique

désignation	
H	matériel à haute tension
M	mouvement pendant l'essai à l'eau
S	stationnaire pendant l'essai à l'eau
W	intempéries

7. Classes des matériels électriques

Tout matériel électrique doit comporter, lorsqu'il est raccordé à une alimentation, une protection contre les chocs électriques adaptée aux conditions d'installation.

Cette protection est assurée :

- Soit par des dispositions internes propres aux matériels eux-mêmes ;
- Soit par des conditions externes d'alimentation et, éventuellement, d'environnement ;
- Soit par une combinaison appropriée de dispositions internes et de conditions externes.

Les protections ne peuvent être assurées, bien évidemment, que si les matériels sont en bon état et s'ils sont correctement choisis et installés.

7.1 Principe général

Tous les matériels d'utilisation courante, fondamentalement conçus pour assurer une protection efficace contre les contacts directs, doivent, quelle que soit leur classe, faire bénéficier leurs utilisateurs d'au moins deux moyens de protection contre les contacts indirects:

- Une protection principale qui assure généralement la protection contre les chocs électriques mais dont la défaillance doit être prise en compte ;
- Une protection supplémentaire qui assure la protection contre les chocs électriques en cas de défaillance de la protection principale.

7.2 Dispositions de protection

Le tableau I.8 ci-dessous, indique les dispositions de protection correspondantes selon le numéro de la classe de matériel : 0, I, II, III. Dans les cas où les conditions d'environnement ou d'utilisation peuvent entraîner une défaillance de la protection supplémentaire, les règles d'installation prescrivent de placer un dispositif de protection complémentaire sur l'alimentation de l'appareil en question : dispositif différentiel à haute sensibilité ou transformateur de séparation des circuits.

Tableau I. 8 : Les dispositions de protection correspondantes selon le numéro de la classe de matériel

CLASSE DE MATÉRIEL	DISPOSITIONS DE PROTECTION		
	Protection principale	Protection supplémentaire	
	dans le matériel	dans le matériel	dans l'installation
0	Isolation principale	-	Environnement (locaux non conducteurs)
I	Isolation principale	Les masses (*) du matériel sont reliées entre elles et aux dispositifs de connexion du conducteur de protection extérieur (borne de terre).	Coupe automatique de l'alimentation par mise à la terre et dispositif de protection automatique associé.
II 	Isolation principale	Isolation supplémentaire ou Isolation double ou renforcée	-
III 	Limitation de la tension	-	Séparation de protection vis-à-vis de tout autre circuit

(*) Masse : partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée, qui n'est pas normalement sous tension mais peut le devenir en cas de défaut, notamment lors de la défaillance de l'isolation principale.

CHAPITRE II:
FONCTIONS DE L'APPAREILLAGE
ELECTRIQUE

1. Appareillages de connexion et de séparation

Ils sont conçus pour exécuter la fonction de séparation qui correspond à la mise hors tension de tout ou une partie d'une installation de toute source d'énergie électrique.

En basse tension, ces dispositifs sont généralement établis de manière définitive, et ne peuvent être modifiés que par intervention sur leurs éléments, le plus souvent à l'aide d'outils.

On trouve des :

- Jeux de barres, béto-barres et dérivations (soudés, boulonnés, assurés par serre-barres) ;
- Bornes de différents modèles (bornes à vis, sans vis, à cages, à plage, à tige, à étrier, à plots, en barrettes...) ;
- Cosses et raccords (soudés, sertis, à griffes, à brides...) ;
- Cosses, clips et languettes, pour connexions rapides... ;
- Raccords et connexions à percement d'isolant, utilisés dans des applications particulières (téléphonie, lignes aériennes et conducteurs isolés en faisceaux...) ;
- Boîtes en plastique ou en fonte remplies de paraffine pour les connexions immergées. Ces connexions sont effectuées soit sur les bornes des appareillages, soit sur des bornes placées dans les enveloppes des appareillages (coffrets, tableaux...), soit encore dans des boîtes affectées à ce seul usage (boîtes de connexion), de façon à rester accessibles pour vérifications ou interventions.

1.1 Notion de contact électrique

1.1.1 Définition

Un contact électrique est un système permettant le passage d'un courant électrique à travers deux éléments de circuit mécaniquement dissociables. C'est un des éléments principaux des composants électromécaniques : contacteur, relais, interrupteur, disjoncteur. Il est aussi la clé de tous les systèmes de connectique.

Le contact électrique est aussi l'organe de communication de la technologie électromécanique. C'est un contact électrique qui, selon qu'il soit ouvert ou fermé, bloquera ou laissera passer le courant. Ces contacts font partie intégrante des capteurs et des actionneurs de cette technologie.

Les contacts peuvent être classés en plusieurs catégories. Un contact peut être à simple ou à double action. Un contact à simple action ne fait qu'ouvrir ou fermer des contacts, alors qu'un contact à double action ouvre un contact et en ferme un autre en même temps. Un contact unipolaire ouvre et ferme un seul circuit à la fois. Un contact bipolaire travaille sur plusieurs circuits à la fois. Un contact à simple rupture est un contact dont un seul point se débranche

(lame pivotante). Un contact à double rupture se débranche en deux points simultanément, ce qui donne un pouvoir de coupure de tension ou de courant plus élevé.

Tableau II. 1 Types de contacts électromécaniques

	Simple action		Double action	
	Simple rupture	Double rupture	Simple rupture	Double rupture
Unipolaire				
Bipolaire				

1.1.2 Caractéristiques et catégories

Le contact électrique est caractérisé par sa résistance de contact, sa résistance à l'érosion, sa résistance à l'oxydation. Afin d'optimiser ses caractéristiques, les surfaces destinées à assurer la fonction de contact comportent une partie massive ajoutée, ou sont recouvertes par plaquage d'un matériau particulier tel que l'Or, le platine (Palladium) et le Tungstène. Le contact électrique a deux états par défaut :

- NO : Normalement Ouvert (Open) ;
- NF : Normalement Fermé (NC : Close).

Un contact normalement ouvert est un contact représenté comme suit (par exemple) :

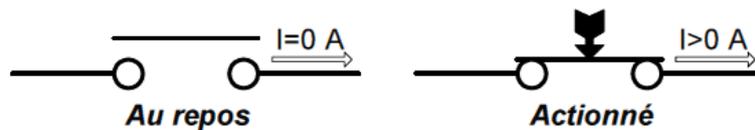


Figure II. 1 : Contact normalement ouvert

Lorsque le contact n'est pas actionné, le courant ne passe pas car le circuit est ouvert. Le contact devra être actionné par un mécanisme quelconque pour se fermer et faire ainsi passer le courant.

Un contact normalement fermé est un contact représenté comme suit (par exemple) :

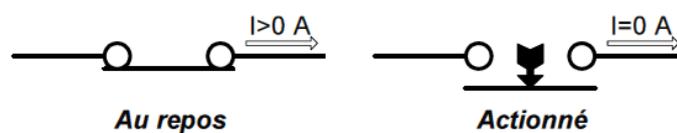


Figure II. 2 : Contact normalement fermé

Lorsque le contact n'est pas actionné, le courant passe car le circuit est fermé. Le contact devra être actionné par un mécanisme quelconque pour s'ouvrir et couper le passage du courant.

Il est à noter que sur un schéma électrique, les contacts électriques sont représentés à leur état de repos.

Les contacts sont aussi divisés en 2 catégories :

- Les contacts secs ou contacts hors tension ;
- Les contacts mouillés ; leurs définitions n'expriment pas un degré d'humidité mais l'origine du basculement d'état (relais à contact mouillé au mercure).

Les contacts contiennent des matériaux plus ou moins oxydables selon le choix de fabrication.

La technique la plus simple pour l'entretien hors tension des contacts électriques est le broissage des surfaces de contact grâce à une brosse métallique ou du papier abrasif jusqu'à disparition des oxydes.

1.1.3 Contacts permanents

Les contacts permanents sont destinés à relier électriquement de façon permanente deux parties d'un circuit électrique. On distingue deux grandes catégories :

- La première est celle des contacts non démontables (embrochés, soudé...etc.) ;
- La seconde est celle des contacts démontables (boulonnés ou par coincement...etc.).

1.2 Bornes de connexion

Sont des dispositifs exécutés aux niveaux des appareils électriques (machines électriques, transformateurs, appareils de mesure...) pour réaliser des contacts permanents simples et démontables.

1.3 Prises de courant

Organes de connexion dans lesquelles les appareils électriques sont reliés aux sources d'énergie d'une façon simple. On les trouve souvent en basse tension.

1.4 Sectionneurs

1.4.1 Définition

C'est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsque le courant est nul ou pratiquement nul, afin d'isoler la partie de l'installation en aval du sectionneur.

1.4.2 Rôle

C'est isoler efficacement un circuit, une installation, un appareil afin de garantir aux personnes qui assurent la maintenance ou des réparations, la sécurité contre les risques électriques et mécaniques (pas de risque de redémarrage.).

1.4.3 Fonction

Séparation entre la partie amont sous tension et la partie aval d'un circuit. C'est à dire mettre hors tension une installation électrique ou une partie de cette installation en toute sécurité électrique.

1.4.4 Qualité de sectionnement

Le sectionneur n'a pas de pouvoir de coupure ni de pouvoir de fermeture. Cependant, il ne doit jamais être manœuvré en charge, Il doit correspondre aux conditions de sécurité prescrites par les normes, notamment pour la coupure pleinement apparente et de la séparation des contacts. Toutefois, quand il est manœuvré, le courant doit être nul.

La norme NF C 15-100 § 537-2 définit les conditions à respecter pour qu'un appareil remplisse la fonction de sectionnement. Ainsi, la séparation doit être effectuée à l'origine de circuit et le dispositif qui assure cette fonction doit permettre :

- L'isolation des circuits des sources d'énergie ;
- Une séparation omnipolaire, non simultanée, sauf en HTA et HTB ;
- Une condamnation en position d'ouverture (sauf en BTA ou toute fermeture intempestive doit être rendue impossible). C'est à dire, le sectionnement doit être verrouillable ou cadenassable en position "ouvert", il doit garantir son aptitude au sectionnement par la vérification de l'ouverture des contacts, qui peut être visuelle ou mécanique (appareils à coupure pleinement apparente), la mesure des courants de fuite, appareil ouvert, tenue aux ondes de tension de choc... ;
- Une séparation pleinement apparente*(sauf en BTA), c'est-à-dire visible ou bien indication « ouvert » si tous les contacts sont effectivement ouverts et séparés par la distance.

Évidemment, le sectionnement est obligatoire :

- À l'origine de toute installation ;
- À l'origine de tous les circuits si $U > 500 \text{ V}$;
- En tête de machines ;
- Il est souhaitable pour les tableaux et circuits divisionnaires ou terminaux.

1.4.5 Réalisation

Sectionnement du circuit à vide par coupure de tous les conducteurs de phase et du conducteur de neutre s'il existe (mais pas du conducteur de protection PE).

1.4.6 Caractéristiques principales

- Intensité maximum supportée par les pôles de puissance ;
- Tension maximum d'isolement entre les pôles de puissance ;
- Nombre de pôles de puissance (tripolaire ou tétra-polaire) ;
- Nombre de contact de pré-coupure ;
- Peut-être avec ou sans manette ;
- Peut-être avec ou sans système de détection de fusion de fusible ;
- S'installe majoritairement en tête d'une installation électrique ;
- Permet d'isoler un circuit électrique du réseau d'alimentation ;
- Est un organe de sécurité lors d'une intervention de maintenance : cadenassé en position ouverte par un agent de maintenance, il interdit la remise en route du système ;
- Peut être manipulé depuis l'extérieur de l'armoire électrique grâce à une poignée.

1.4.7 Organes du sectionneur

1.4.7.1 Les contacts principaux (1-2), (3-4) et (5-6) :

Permettent d'assurer le sectionnement de l'installation.

1.4.7.2 Les contacts auxiliaires (13-14), (23-24) :

Permettent de couper le circuit de commande des contacteurs avant l'ouverture des contacts principaux. L'ouverture du circuit de commande de l'équipement entraînant l'ouverture de son circuit de puissance, celui-ci n'est donc jamais ouvert en charge. Inversement, à la mise sous tension, le contact auxiliaire est fermé après la fermeture des contacts principaux.

1.4.7.3 La poignée de commande :

Elle peut être verrouillée en position ouverte par un cadenas (sécurité).

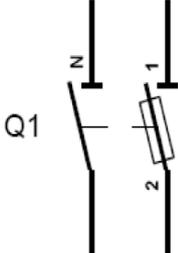
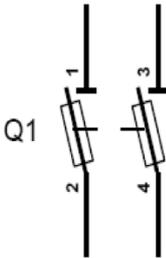
1.4.7.4 Les fusibles

Assurant la protection contre les surcharges et les courts-circuits dans l'installation ou l'équipement électrique.

1.4.8 Symbole : Q

Plusieurs types de configurations peuvent être utilisés en fonction du besoin du système. Voici quelques exemples, voire le tableau II.2 ci-dessous :

Tableau II. 2 : Différentes configurations de sectionneurs

Type de sectionneurs		
Désignation	Elément	Symbole
Unipolaire (1 phase)		
Unipolaire + neutre		
Bipolaire (phase-phase)		

1.4.9 Différents types de sectionneurs

1.4.9.1 Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact(s) de pré-coupure avec poignée extérieure :

A utiliser dans un circuit triphasé (sans neutre). Les contacts de pré-coupure permettent d'isoler la partie commande du circuit.

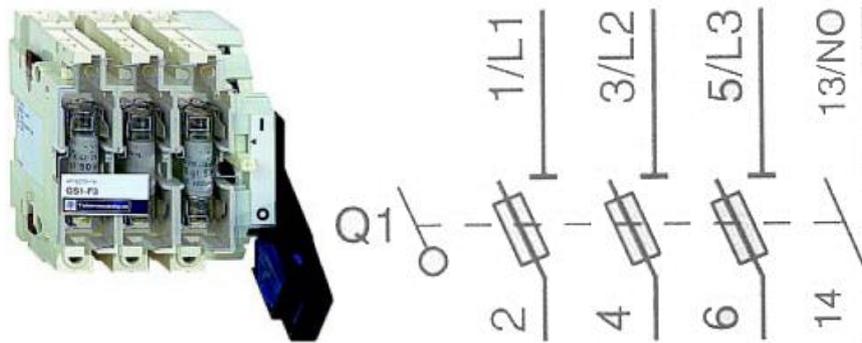


Figure II. 3 : Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact(s) de pré-coupure avec poignée extérieure

1.4.9.2 Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact de neutre et de pré-coupure avec poigné extérieure :

A utiliser dans un circuit triphasé avec neutre ; le neutre du sectionneur ne doit pas contenir de fusible, mais une barrette de neutre prévue à cet effet.

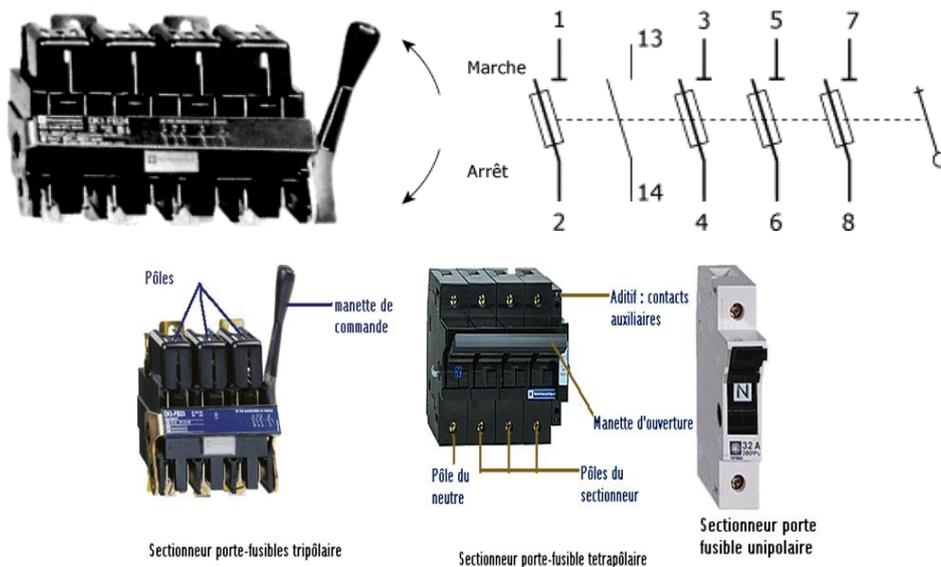


Figure II. 4 : Différents types de sectionneurs

1.4.9.3 Sectionneurs BT domestique

La fonction sectionneur est obligatoire au départ de chaque circuit est réalisée par des sectionneurs à fusibles incorporés.

1.4.9.4 Sectionneurs BT industriels

Ces appareils assurent la fonction de sectionnement au départ des équipements. En général ces derniers comportent des fusibles et des contacts auxiliaires.



Figure II. 5 : Sectionneurs BT industriels

1.4.9.5 Les coupe-circuits

Le coupe-circuit doit être adapté au circuit à protéger. Par exemple un coupe-circuit de 10A prévu généralement pour un circuit éclairage ne convient pas pour protéger la prise du lave-linge.

Les coupe-circuits utilisés en bâtiment sont prévus pour éviter les sur calibrages. Exemple un coupe-circuit de 16A, n'acceptera pas un fusible de 32A.

Les fusibles ont une taille bien déterminée en fonction de l'intensité.

Pour le bâtiment :

- 10A => 8,5 x 23
- 16A => 10,3 x 28,5
- 20A => 8,5 x 31,5
- 25A => 10,3 x 31,5
- 32A => 10,3 x 38,5

Pour l'industrie :

- De 0,5 à 32A => 10,3 x 38,5
- De 2 à 50A => 14 x 51
- De 4 à 125A => 22 x 58

Les cartouches fusibles avec l'inscription : gI, gG, sont réservées pour les protections des circuits résistifs et les fusibles avec l'inscription : aM sont prévus pour les circuits inductifs (moteurs...)

Le coupe-circuit protège contre les surcharges et les courts-circuits. Ils doivent sectionner tous les conducteurs actifs du circuit. C'est-à-dire, sur un circuit d'éclairage la phase et le neutre doivent être coupés, lors de l'ouverture de celui-ci pour isoler le circuit.

Les coupe-circuits peuvent être unipolaires, bipolaires, tripolaires, tétra polaires (neutre + trois phases). Il existe divers types :

- À tiroir ;
- À puits ;
- À couteaux.

On trouve aussi des coupe-circuit qui ne sont plus commercialisés de nos jours. Ils sont du type :

- À tabatière ;
- À broches.

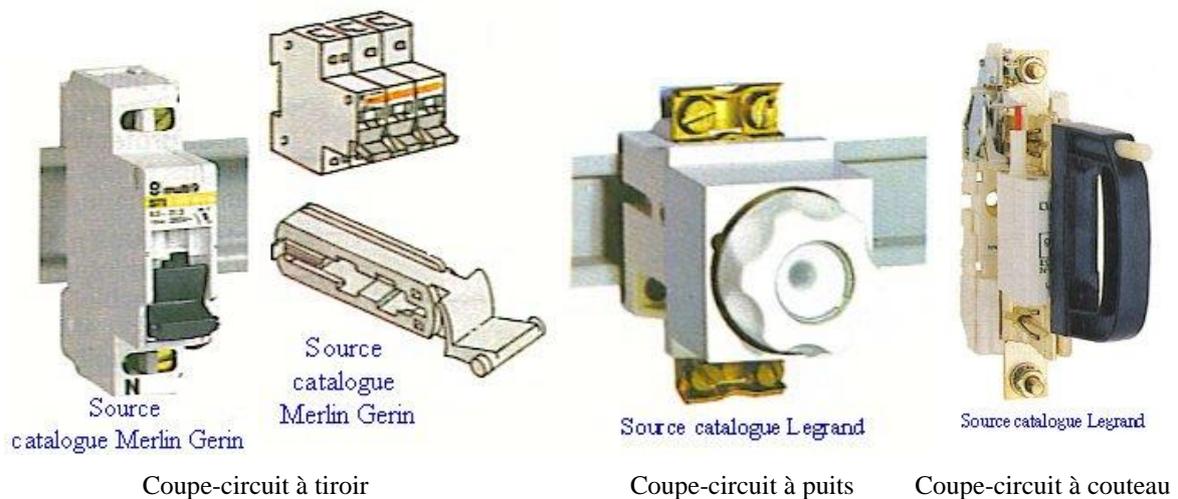


Figure II. 6 : Différents type de coupe-circuits

1.4.9.6 Sectionneurs MT et HT

Sont très employés dans les réseaux de moyenne et haute tension pour garantir l'isolement des lignes et des installations avec coupure visible.



Figure II. 7 : Sectionneur de poste HT

2. Appareillages d'interruption

2.1 Les interrupteurs

2.1.1 Rôle

Appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales du circuit.



Figure II. 8 : Interrupteurs

2.1.2 Symbole



Figure II. 9 : Symbole de l'interrupteur tripolaire et symbole de l'interrupteur tétrapolaire

2.2 Les interrupteurs-sectionneurs

2.2.1 Rôle

Les interrupteurs-sectionneurs satisfont les applications d'interrupteurs par la fermeture et la coupure en charge de circuits résistifs ou mixtes, résistifs et inductifs, ceci pour des manœuvres fréquentes. Les interrupteurs-sectionneurs assurent les fonctions d'ouverture / fermeture manuelle du circuit en charge et de séparation.



Figure II. 10 : Interrupteur- sectionneur

2.2.2 Symbole

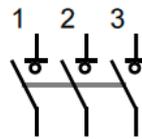


Figure II. 11 : Symbole de l'interrupteur- sectionneur tripolaire

2.2.3 Exemples d'application

- Manœuvre ;
- Arrêt d'urgence.

Contrairement à l'interrupteur sectionneur, le sectionneur porte fusible n'a pas de pouvoir de coupure : il ne permet pas de couper un circuit électrique en charge (moteur électrique en rotation, résistances de chauffage alimentées, ...). A la différence du sectionneur porte-fusibles, l'interrupteur sectionneur n'a pas de fusible associé, il faudra donc rajouter dans le circuit un système de protection contre les courts circuits.

2.2.4 Caractéristiques principales

- Unipolaire, bipolaire, tripolaire, tétrapolaire ;
- Jusqu'à 1250A sous 1000V (en BT) ;
- Coupure pleinement apparente.

2.3 Les interrupteurs-sectionneurs à fusibles

2.3.1 Rôle

Satisfont l'ouverture et la fermeture manuelle du circuit en charge et la séparation et, réalisent la fonction de protection par ses fusibles.



Figure II. 12 : Divers interrupteurs-sectionneurs à fusibles

2.3.2 Symbole

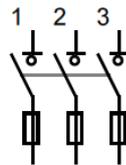


Figure II. 13 : Symbole d'un interrupteur-sectionneur tripolaire à fusibles

3. Appareillages de commande

3.1 Les contacteurs

3.1.1 Définition

Le contacteur est un appareil mécanique de jonction commandé par un électroaimant. Lorsque la bobine est alimentée le contacteur se ferme et établit le circuit entre le réseau d'alimentation et le récepteur.



Contacteur installé généralement sur les tableaux électriques des particuliers,

Contacteur de faible puissance installé généralement sur les tableaux électriques industriels,

Contacteur de forte puissance installé généralement sur les tableaux électriques industriels

Figure II. 14 : Différents types de contacteurs

3.1.2 Rôle

Appareil électromagnétique de commande et de connexion ayant une seule position de repos, commandé électriquement et capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales du circuit. C'est essentiellement un appareil de commande et de contrôle capable d'effectuer un grand nombre de manœuvres sous des courants de charges normaux.

3.1.3 Symbole

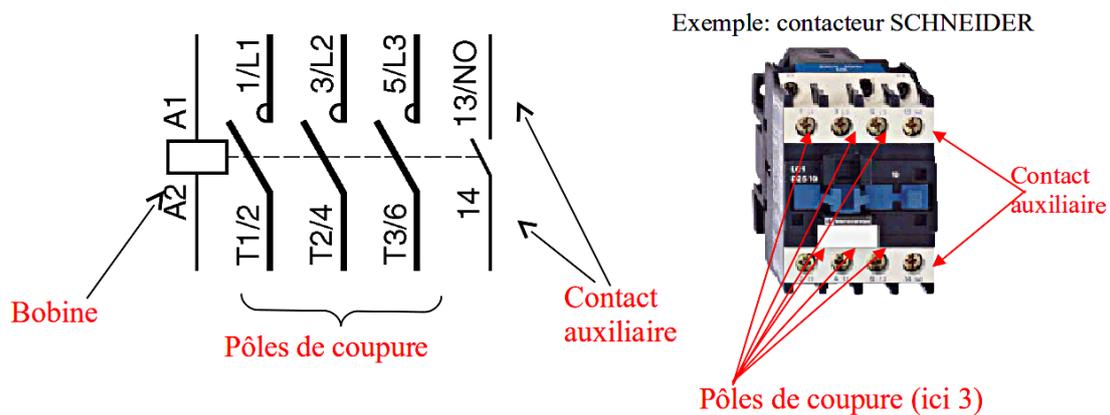


Figure II. 15 : Symbole et différents éléments d'un contacteur

3.1.4 Construction générale

Ils peuvent être unipolaires, bipolaires, tripolaires ou encore tétrapolaires, en d'autres termes ils possèdent un, deux, trois ou quatre contacts de puissance. Sur les contacteurs de puissance élevée les bobines sont souvent interchangeables, permettant de commander le contacteur avec différentes tensions (24V, 48V, 110V, 230V, 400V).

Les contacteurs tripolaires comportent la plupart du temps un contact auxiliaire, tandis que les contacteurs tétrapolaires n'en ont en général pas (la place du contact auxiliaire étant occupée par le quatrième contact de puissance 7-8 non représenté sur le schéma ci-dessus).

La différence entre un contact de puissance et un contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister lors de l'apparition d'un arc électrique, lorsqu'il ouvre ou ferme le circuit. C'est donc ce contact qui possède un pouvoir de coupure. Le contact auxiliaire n'est doté que d'un très faible pouvoir de coupure ; il est assimilé à la partie commande du circuit dont les courants restent faibles face à la partie puissance.

3.1.4.1 Les contacts principaux

Sont les éléments de contacts qui permettent d'établir et d'interrompre le courant dans le circuit de puissance.

Les contacts de puissance sont chargés d'établir le circuit électrique. Ils comprennent une partie fixe et une partie mobile. La partie mobile est solidaire à un ressort qui provoque l'ouverture plus rapide du contacteur à la mise hors tension.

Les contacteurs de forte puissance sont équipés de cheminées de soufflage et de spires de soufflage pour diminuer l'arc électrique qui prend naissance entre les contacts fixes et les contacts mobiles lors des coupures en charge.

Les rupteurs sont l'inverse d'un contacteur, leur construction est adaptée pour certain automatisme.

3.1.4.2 Electro-aimants

L'électroaimant est l'élément moteur du contacteur (organe de manœuvre), il comprend un circuit magnétique et une bobine, sa forme et sa construction varient selon qu'il soit prévu pour être alimenté en courant alternatif ou en courant continu.

La bobine produit un flux magnétique nécessaire pour l'attraction de la partie mobile du circuit magnétique.

3.1.4.2.1 Electro-aimants pour courant alternatif

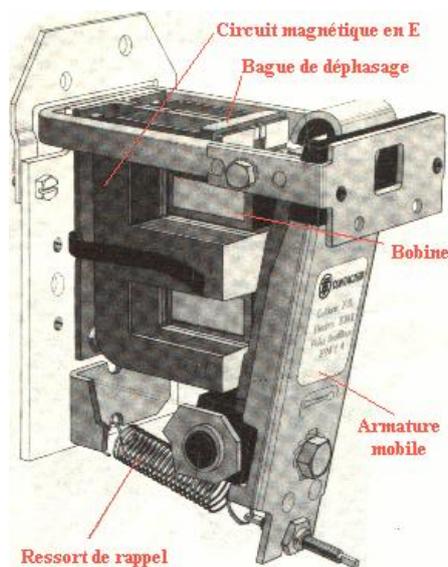


Figure II. 16 : Electro-aimant pour courant alternatif

Le circuit magnétique est feuilleté pour limiter les pertes par courant de Foucault.

La bague de déphasage (spire de Frager), en alliage cuivreux, permet de réduire les vibrations en évitant l'annulation de la force d'attraction par déphasage d'une partie du flux.

La réactance de la bobine est faible lorsque le circuit magnétique est ouvert. Elle augmente lorsque l'armature mobile ferme le circuit magnétique. Ceci explique le fort appel de courant lors de l'enclenchement du contacteur. Le courant diminue ensuite, lorsque le circuit magnétique est fermé. On parle de puissance d'appel et de puissance de maintien.

Cependant, pour éviter toutes éventuelles parasites, on utilise le réseau antiparasites donné par la figure ci-dessous :

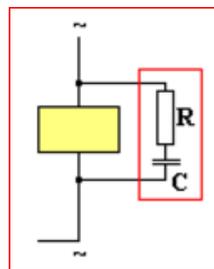


Figure II. 17 : Circuit antiparasites

3.1.4.2.2 Électro-aimants pour courant continu

Le circuit magnétique est massif, en fer doux.

Des rondelles en matériau non magnétique permettent l'anti-rémanence du circuit magnétique et l'ouverture rapide du contacteur.

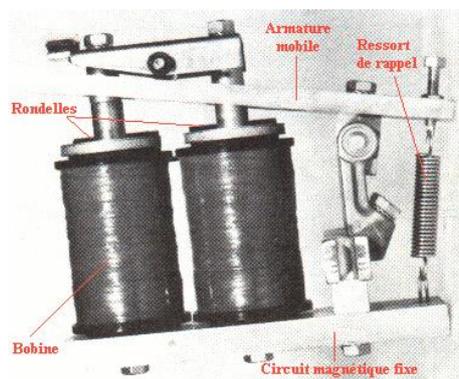


Figure II. 18 : Electro-aimant pour courant continu

Comme comparaison, la force d'attraction en courant continu est supérieure (environ le double) de ce qu'elle est en tension alternative.

3.1.4.2.3 Auxiliaires

3.1.4.2.3.1 Diode de roue-libre

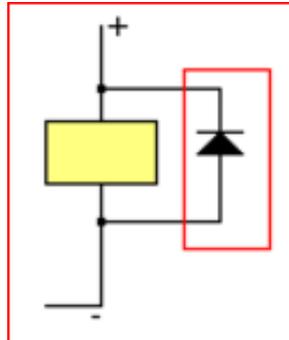


Figure II. 19 : Circuit d'une DRL (Diode de roue-libre)

3.1.4.2.3.2 Résistance d'économie

Elle est mise en série avec la bobine, lors de la fermeture du contacteur, et limite le courant à la valeur de maintien.

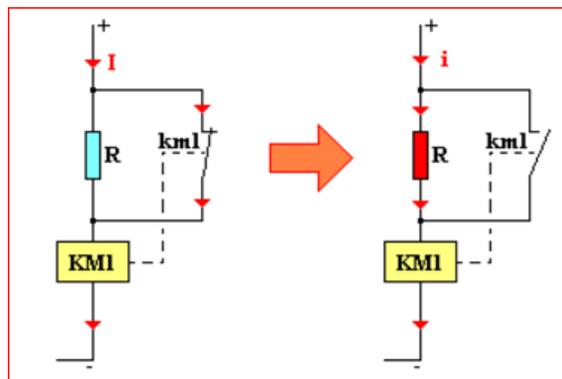


Figure II. 20 : Circuit de la résistance d'économie

3.1.4.2.3.3 Auto-alimentation d'un contacteur

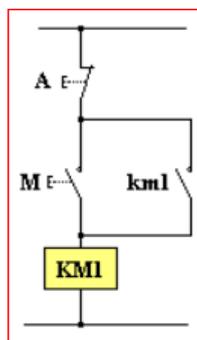


Figure II. 21 : Circuit de l'auto-alimentation d'un contacteur

3.1.4.2.4 Verrouillage

3.1.4.2.4.1 Verrouillage électrique

Il empêche l'alimentation simultanée des bobines de deux contacteurs qui ne doivent pas être enclenchés en même temps.

Exemple : inverseur de sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé. La fermeture simultanée des deux contacteurs provoquerait un court-circuit entre phases.

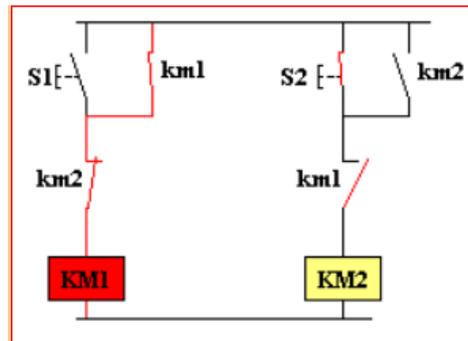


Figure II. 22 : Circuit du verrouillage électrique

3.1.4.2.4.2 Verrouillage mécanique

La fonction est la même que ci-dessus. Les contacteurs sont liés mécaniquement et ne peuvent s'enclencher simultanément. Ce dispositif est plus sûr que le précédent. On trouve souvent les deux dispositifs associés afin de garantir une sécurité maximale.

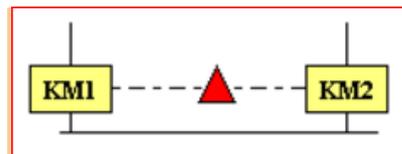


Figure II. 23 : Verrouillage mécanique

3.1.4.3 Les contacts auxiliaires d'auto-maintien

Sont destinés à assurer l'auto alimentation de l'électro-aimant et ainsi, assurer les verrouillages des contacts principaux.

3.1.5 Les contacteurs auxiliaires

Les contacteurs auxiliaires (relais) sont prévus pour réaliser des automatismes. Ils sont utilisés comme interfaces pour le pilotage des contacteurs de forte puissance, la mise sous tension des circuits auxiliaires, la signalisation...

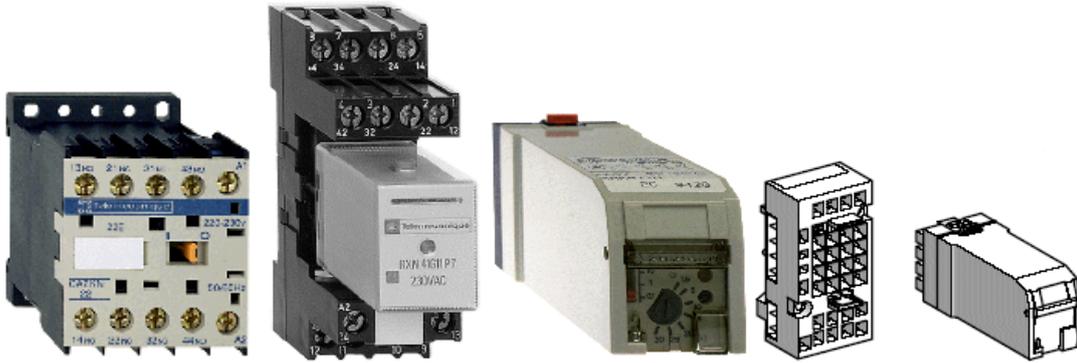


Figure II. 24 : Différents types de contacts auxiliaires

3.1.6 Contacts auxiliaires instantanés et bloc de contacts auxiliaires

Les contacts auxiliaires permettent de réaliser des fonctions d'automatismes, ils sont, normalement ouverts ou normalement fermés.

Selon les besoins de circuits de commande, le nombre de contacts auxiliaires par contacteur peut varier. Par ailleurs, il peut être nécessaire de disposer de Relais complémentaires dans le circuit de commande afin de réaliser des fonctions de mémorisation.

On dispose pour cela de contacteurs auxiliaires, comparables aux contacteurs moteur mais qui ne peuvent pas être utilisés dans le circuit de puissance.

On dispose également de bloc de contacts auxiliaires (instantanés ou temporisés) que l'on fixe sur le contacteur afin d'augmenter le nombre de ses contacts.

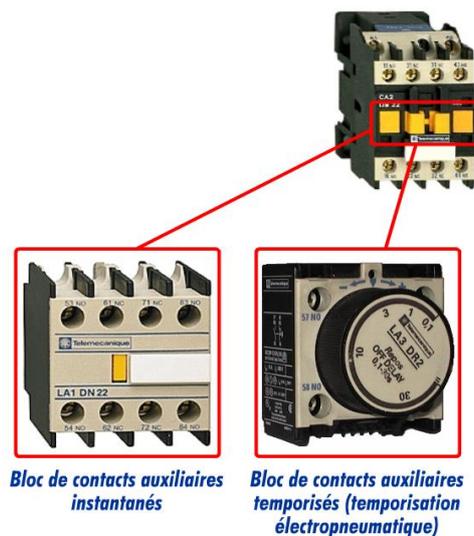
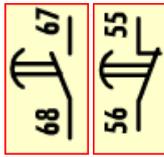


Figure II. 25 : Blocs de contacts auxiliaires

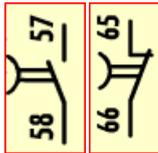
3.1.6.1 Contact auxiliaire temporisé relié à un contacteur

- On trouve des contacts temporisés à l'activation (travail, on delay) :



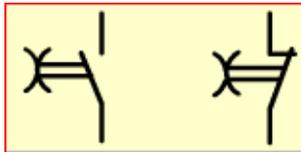
La fermeture du contact 67/68 est retardée, son ouverture est instantanée.

- Ou des contacts temporisés à la désactivation (repos, off delay) :



L'ouverture du contact 57/58 est retardée, sa fermeture est instantanée.

- Ou des contacts temporisés à l'activation et à la désactivation :



L'ouverture et la fermeture du contact sont retardées toutes les deux. Le retard à l'activation peut être différent du retard à la désactivation.

3.1.6.2 Temporisation par un Relais temporisé

La temporisation est réalisée par un contact instantané lié au Relais temporisé.

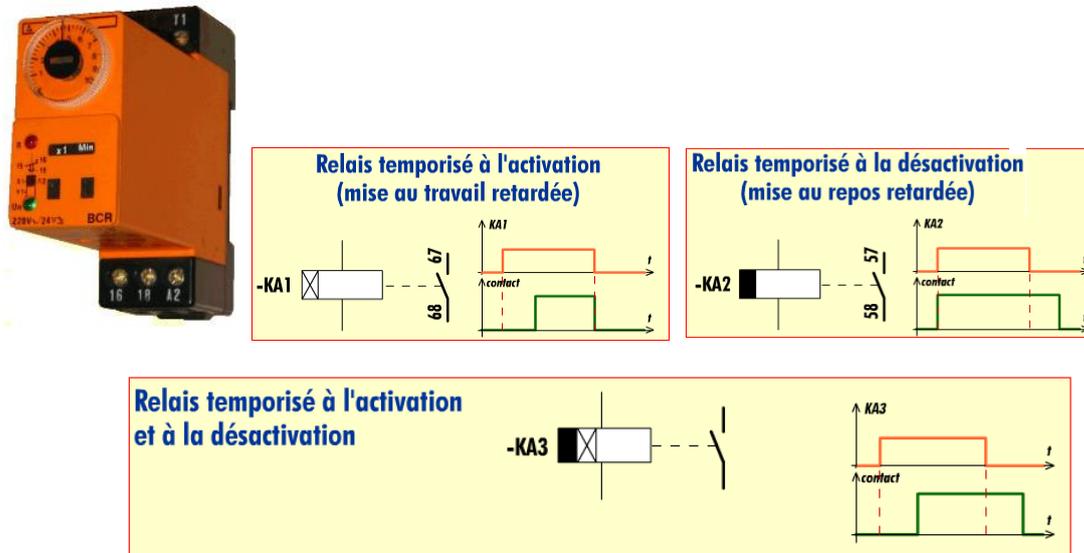


Figure II. 26 : Temporisation par relais à circuit RC

3.2 Contacteur inverseur

Sont une association de deux contacteurs mécaniquement liés. Ils sont employés dans les circuits de commande des moteurs actionnés dans les deux sens de rotation.



Figure II. 27 : Contacteurs inverseurs

La liaison mécanique entre les deux contacteurs, représentée par un triangle dans le schéma ci-dessous, empêche la commutation simultanée des deux contacteurs (le premier contacteur qui commute interdit la commutation du second).

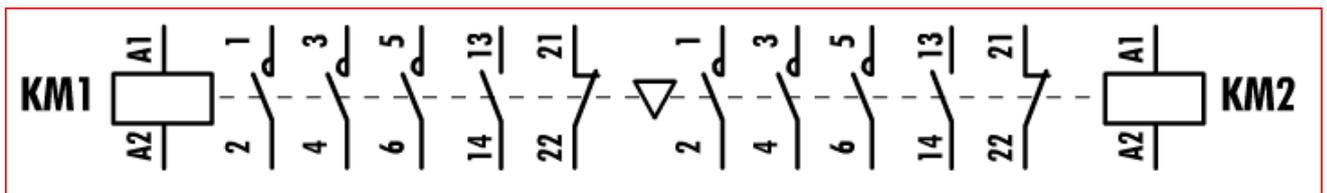


Figure II. 28 : Symbole du contacteur inverseur

Ils peuvent être équipés d'un ou deux contacts auxiliaires utilisés dans le circuit de commande (auto-maintien pour le contact 13/14 et verrouillage de la double commande pour le contact 21/22).

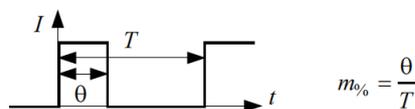
3.3 Choix d'un contacteur



Figure II. 29 : Exemples de contacteurs

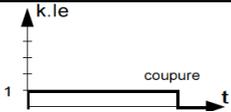
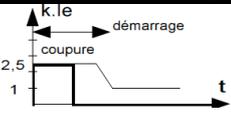
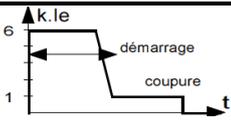
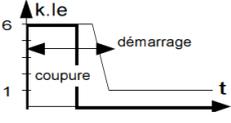
Le choix d'un contacteur est fonction de la nature et de la valeur de la tension du réseau, de la puissance installée, des caractéristiques de la charge, des exigences du service désiré.

- **Tension nominale d'emploi** U_e : c'est la tension d'utilisation du contacteur.
- **Courant nominal d'emploi** I_e : c'est le courant d'utilisation du contacteur.
- **Courant nominal thermique** I_{th} : c'est la valeur du courant servant de base aux conditions d'échauffement du circuit principal. Le contacteur doit être capable de supporter I_{th} de façon permanente, les contacts principaux étant fermés, sans que l'échauffement des différentes parties ne dépasse les limites fixées.
- **Pouvoir de coupure** : c'est la valeur efficace du courant maximal que le contacteur peut couper, sans usure exagérée des contacts, ni émission excessive de flammes. Le pouvoir de coupure dépend de la tension du réseau. Plus cette tension est faible, plus le pouvoir de coupure est grand.
- **Pouvoir de fermeture** : c'est la valeur efficace du courant maximal que le contacteur peut établir, sans soudure des contacts.
- **Robustesse mécanique** : c'est le nombre de cycles de manœuvres (fermeture + ouverture), à vide (sans courant dans les pôles), susceptible d'être effectué par le contacteur, sans aucun entretien.
- **Endurance électrique** : c'est le nombre de manœuvres maximal que peut effectuer le contacteur. Ce nombre dépend du service désiré.
- **Facteur de marche** : c'est le rapport entre la durée de passage du courant et la durée d'un cycle de manœuvre. C'est -à-dire : rapport m entre la durée q de passage du courant pendant un cycle de manœuvre et la durée T de ce cycle ($m \approx$ rapport cyclique)



- **Catégories d'emploi** : la catégorie d'emploi tient compte de la valeur des courants à établir et à couper lors des manœuvres en charge. Il y a 10 catégories d'emploi, 5 en courant continu et 5 en courant alternatif. Le courant alternatif est plus facile à couper du fait qu'il s'annule spontanément 100 fois par seconde.

Tableau II. 3 : Catégorie d'emploi des contacteurs

Catégories d'emploi	Description	Fermeture / Ouverture	Applications	
Courant alternatif	AC1	Tout récepteur tel que : $\cos \Phi \geq 0,95$	 Récepteur résistif : Chauffage, éclairage, distribution	
	AC2	Commutation en régime sévère des moteurs asynchrones à bagues	 Moteur à bagues calé, coupure en cours de démarrage, inversion rapide de marche, marche par à-coups, freinage en contre-courant	
	AC'2	//	//	Moteur à bagues lancé
	AC3	Commutation des moteurs asynchrones à cage dont la coupure s'effectue moteur lancé	 Tous moteurs à cage courants: moteur à cage lancé, pompe, compresseur, malaxeur, climatiseur, bande transporteuse, élévateur	
	AC4	Commutation en régime sévère des moteurs asynchrones à cage	 Moteur à cage calé, coupure en cours de démarrage, inversion rapide de marche, marche par à-coups, freinage en contre-courant	
Courant continu	DC1	Tout récepteur tel que : $\tau = L/R \leq 1 \text{ ms}$	Comme AC1	Récepteur résistif ou charges résistives ou peu inductives
	DC2			Moteur shunt lancé
	DC3	Commutation en régime sévère des moteurs shunt $\tau = L/R \leq 2 \text{ ms}$	Comme AC2	Moteur shunt calé, démarrage, inversion rapide, marche par à-coups, freinage en contre-courant
	DC4			Moteur série lancé
	DC5	Commutation en régime sévère des moteurs série $\tau = L/R \leq 7,5 \text{ ms}$	Comme AC2	Moteur série calé, démarrage, inversion rapide, marche par à-coups, freinage en contre-courant

4. Appareillages de protection

4.1 Protection par fusible

Un fusible est un appareil de connexion dont la fonction est d'ouvrir un circuit par la fusion d'un élément calibré. C'est à dire, en situation de fonctionnement normal, le fusible doit assurer le rôle de conduction et, lors de l'apparition d'un défaut électrique (courant anormalement élevé par rapport au courant nominal de conduction) le fusible assure alors le rôle de coupure ; le fusible ou élément fusible, qui se présente sous la forme d'un ruban ou d'un fil métallique, fond puis se vaporise en raison de l'apport d'énergie par le défaut électrique qu'il doit interrompre. L'énergie amenée par le défaut électrique est par la suite majoritairement dissipée dans l'isolant poreux minéral qui entoure l'élément fusible. Actuellement les fusibles sont en cartouche.

4.1.1 Rôle

La fonction du fusible est d'assurer la protection des circuits électriques contre les courts-circuits et les surcharges par la fusion d'un élément calibré lorsque le courant qui le traverse dépasse la valeur de son calibre.

En général, le fusible est associé à un porte fusible, ce qui lui permet d'assurer la fonction de sectionneur.

Les cartouches fusibles sont, en raison de leur simplicité et de leur faible coût d'investissement, les plus répandus de tous les appareils de protection.

4.1.2 Symbole

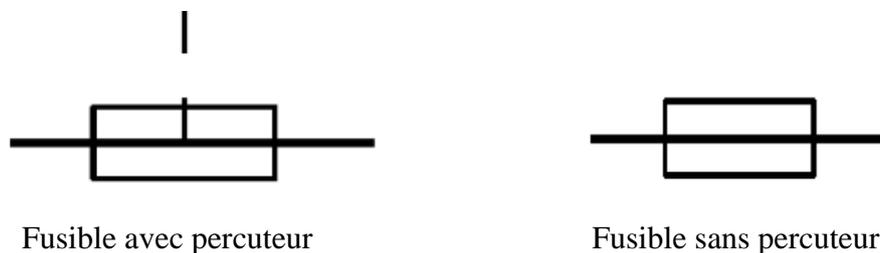


Figure II. 30 : Symbole d'un fusible

4.1.3 Forme et dimension de la cartouche

Il existe une grande variété de fusibles pour l'électronique, la basse tension et la haute tension. Les dimensions changent mais l'allure générale reste la même.

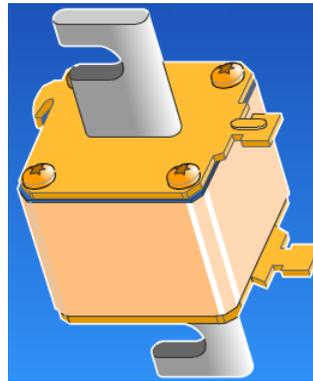
Forme :

Il existe deux cartouches fusibles :

- Cylindriques (domestique ou industriel) ;
- A couteaux (industriel).



Cartouche cylindrique



Cartouche à couteaux

Figure II. 31 : Différents types de fusibles

Tableau II. 4 : Taille de la cartouche cylindrique

Type	Dimensions en mm		Tailles en mm	Calibre en A
	Ø	a		
	6,3	23	6,3 x 23	2 - 4 - 6 A
	8,5	23	8,5 x 23	2 - 4 - 6 - 10 A
	10,3	25,8	10,3 x 25,8	6 - 10 - 16 A
	8,5	31,5	8,5 x 31,5	0,5 - 1 - 2 - 6 - 8 - 10 - 16 - 20 A
	10,3	31,5	10,3 x 31,5	16 - 20 - 25 A
	10,3	38	10,3 x 38	32 A

4.1.4 Caractéristiques principales

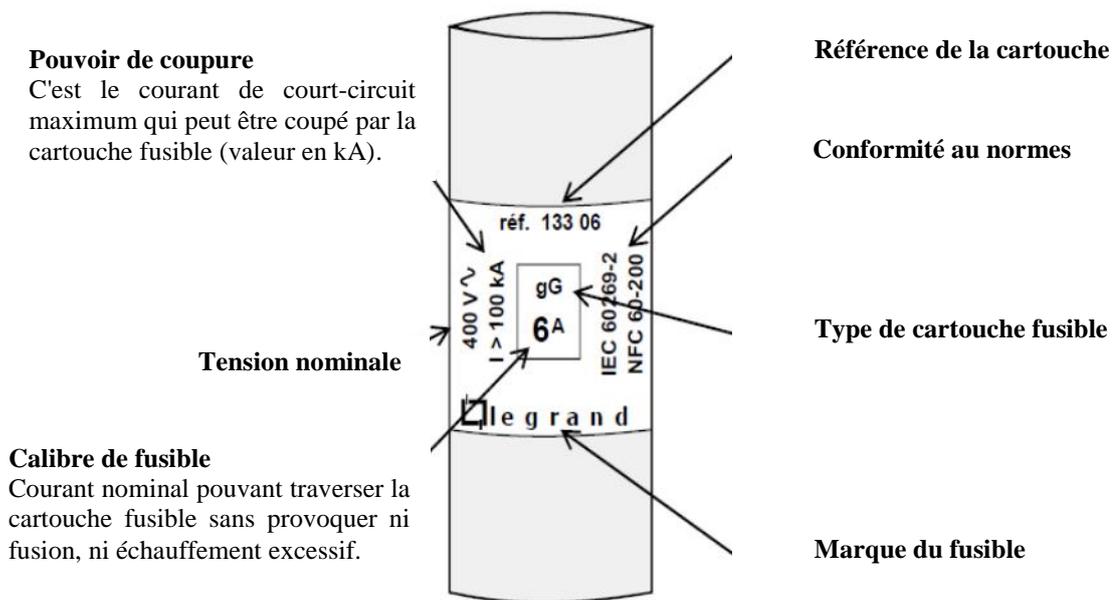


Figure II. 32 : Nomenclature d'un fusible

4.1.4.1 Courant nominal ou calibre d'une cartouche fusible I_n

Le calibre du fusible est le courant qui peut le traverser en permanence sans provoquer sa fusion ni son échauffement anormal.

4.1.4.2 Tension nominale d'une cartouche fusible U_n

C'est la tension maximale pour laquelle le fusible peut être utilisé (250, 400, 500 ou 600V). Il existe des fusibles pour la haute tension.

4.1.4.3 Courant de fusion I_f

C'est la valeur spécifiée du courant qui provoque la fusion de la cartouche avant la fin du temps conventionnel.

4.1.4.4 Courant de non fusion I_{nf}

C'est la valeur du courant qui peut être supporté par le fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.

La durée de fonctionnement totale t est égale à la somme de la durée de pré-arc et de la durée d'arc soit le temps t_1+t_2 . Si le courant de court-circuit est suffisamment important, la durée de fonctionnement peut être inférieure à une demi-période, sinon elle dure plusieurs périodes.

4.1.4.8 Caractéristiques temps/courant d'une cartouche fusible

Les caractéristiques temps/courant expriment la durée réelle du pré-arc (en seconde) en fonction du courant efficace (en ampère) indiqué en multiple de l'intensité nominale. On utilise pour cela les courbes de fusion, voir figures ci-dessous.

Ces courbes permettent de déterminer la durée de fonctionnement du fusible en fonction du courant qui le traverse avant sa fusion.

Exemple :

Sur une cartouche gG 8A, pour les différentes valeurs de courant qui sont données ci-dessous, on aura les temps de fonctionnement suivants :

8A $\rightarrow \infty$ s	30A $\rightarrow 0.45$ s
20A $\rightarrow 3$ s	70A $\rightarrow 0.045$ s
≈ 25 A $\rightarrow 1$ s	100A $\rightarrow 0.02$ s

Interprétation des résultats :

Quand le courant de la canalisation électrique est :

- Inférieur ou égal au calibre du fusible : aucun risque de fusion ;
- Légèrement supérieur au calibre du fusible (surcharge) : fusion du fusible au bout d'un certain temps ;
- Très élevé par rapport au calibre du fusible (court-circuit): fusion du fusible quasi instantanée.

Conclusion sur la protection par cartouche fusible :

La cartouche fusible est un appareil de connexion qui crée une faiblesse dans le circuit électrique par l'intermédiaire d'un élément fusible calibré qui, par sa fusion, protège l'installation contre les surcharges et les courts-circuits.

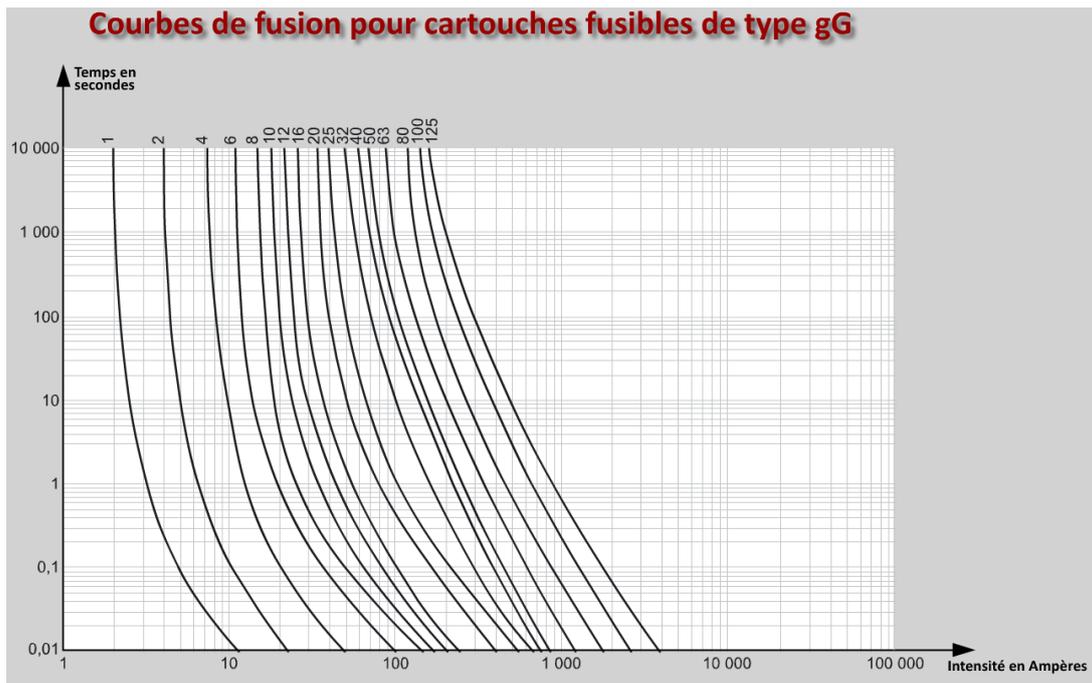


Figure II. 34 : Courbes de fusion pour cartouche fusible gG

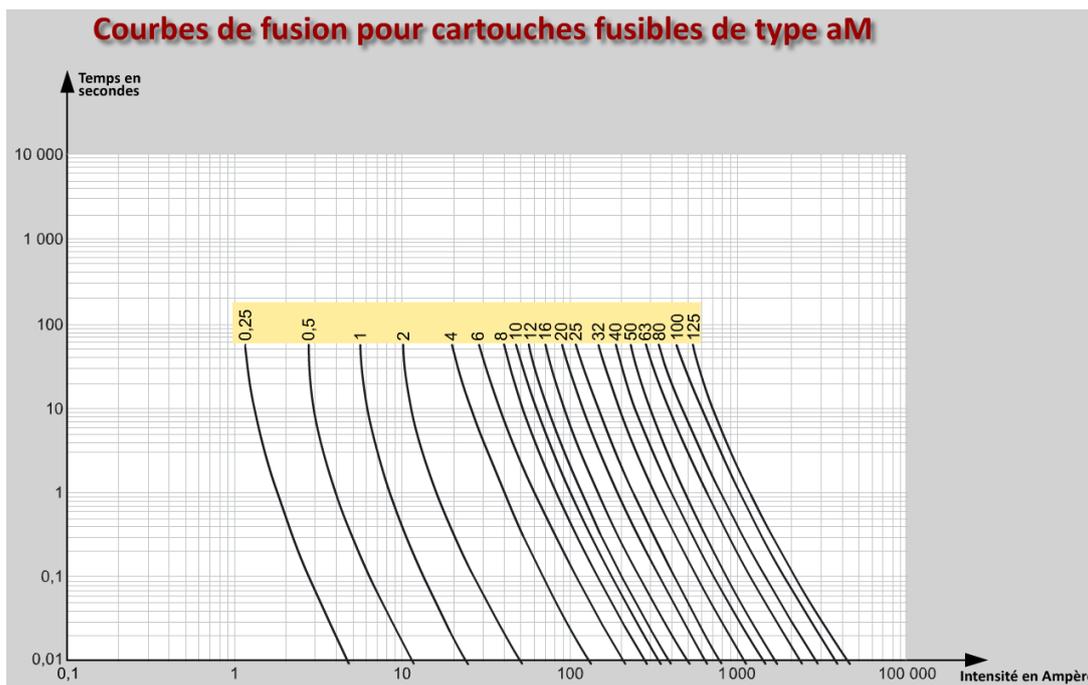


Figure II. 35 : Courbes de fusion pour cartouche fusible aM

4.1.5 Différents éléments d'un fusible

Les cartouches cylindriques sont les plus utilisés. Elles sont constituées d'éléments suivants :

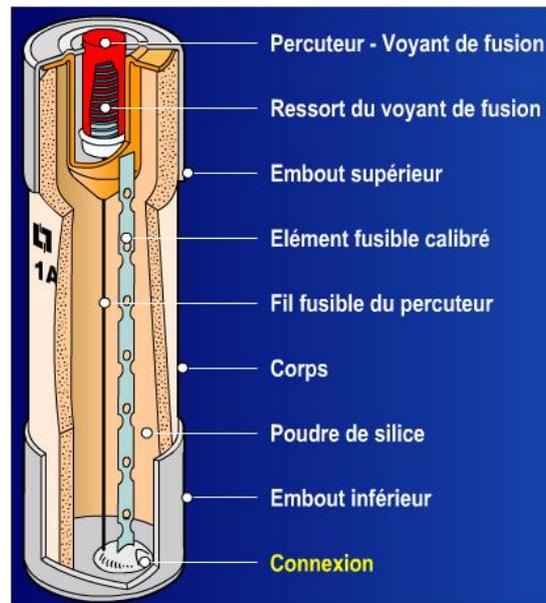


Figure II. 36 : Constitution d'une cartouche fusible cylindrique

4.1.5.1 Percuteur - Voyant de fusion

Le percuteur, comme le voyant signalent la fusion de la cartouche fusible qu'il faut alors remplacer. Le percuteur est de plus capable d'actionner un contact pour obtenir un compte-rendu électrique.

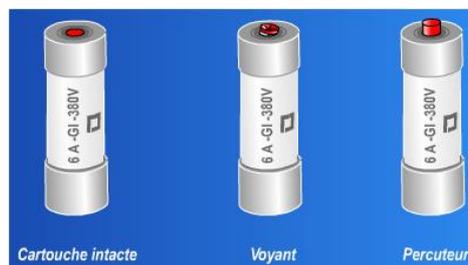


Figure II. 37 : Cartouche fusible à percuteur et à voyant de fusion intact et endommagés

4.1.5.2 Ressort du voyant de fusion

Le ressort du voyant de fusion permet l'éjection du percuteur de son logement après fusion.

4.1.5.3 Embout supérieur et embout inférieur

Les embouts sont en cuivre étamé et servent d'organe de connexion lors de l'insertion de la cartouche dans le circuit à protéger. Ils sont détériorés par l'arc électrique qui provoque leur fusion en raison de la forte chaleur qui l'accompagne, notamment lors de l'ouverture en charge du coupe-circuit.



Figure II. 38 : Cartouche fusible détériorée

C'est pour cela qu'il ne faut jamais ouvrir un coupe-circuit en charge et toujours arrêter tous les récepteurs avant de manœuvrer le coupe circuit.

4.1.5.4 Élément fusible calibré

C'est le cœur de la cartouche fusible. Il est constitué d'un fil en alliage spécial ou, le plus souvent, d'une mince bande de cuivre étamée et perforée en certains endroits. Les diamètres des trous, plus ou moins gros, permettent de jouer sur la section résultante et de déterminer ainsi la résistance de l'élément fusible. C'est ce qui détermine le calibre du fusible.



Figure II. 39 : Élément fusible calibré

4.1.5.5 Fil fusible de percuteur

C'est lui qui retient le percuteur en place. C'est en fondant de concert avec l'élément principal qu'il libère le percuteur.

4.1.5.6 Corps

Le corps du fusible est en verre pour les petits fusibles (diamètre 5mm) et en porcelaine pour les gros. Il isole les deux embouts l'un de l'autre. Il est caractérisé par son diamètre et par sa longueur.



Figure II. 40 : Différentes dimensions de cartouche fusible

4.1.5.7 Poudre de silice

Lorsque le fusible se fond, il se produit un arc électrique qui maintient le courant alors que le circuit est ouvert. La poudre de silice étouffe l'arc et, sous l'effet de la chaleur, se transforme en verre, à l'endroit de l'arc, garantissant ainsi la coupure. C'est cela qui confère à la cartouche son pouvoir de coupure de plusieurs milliers d'Ampères.

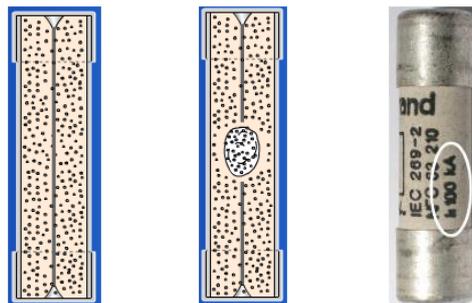


Figure II. 41 : Cartouche fusible remplie de poudre de silice

4.1.5.8 Connexion

C'est la soudure assurant la connexion de l'élément fusible sur l'embout.

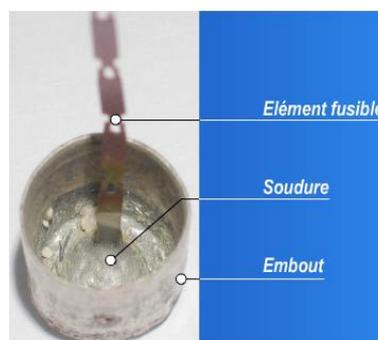


Figure II. 42 : Connexion de l'élément fusible sur l'embout

4.1.6 Différents types de cartouches fusibles

Il existe plusieurs types de cartouches dans le commerce dont les plus répandus sont :

4.1.6.1 Cartouche gF

Cartouche à usage domestique (écriture noire + bague de couleur : jaune : 10A, rouge : 16A, verte : 20A ...). Ils assurent la protection contre les surcharges et les courts-circuits.



Figure II. 43 : Cartouche gF

4.1.6.2 Cartouche gG (ancienne gL)

Cartouche à usage industriel (écriture noire). Ces fusibles permettent de protéger les circuits contre les faibles et fortes surcharges et également contre les courts-circuits. Ils sont utilisés pour la protection de l'éclairage, les fours, les lignes d'alimentations...



Figure II. 44 : Cartouche gG (gL)

4.1.6.3 Cartouche aM

Cartouche à usage industriel, pour l'accompagnement moteur (écriture verte), commence à réagir à $4xI_n$. Ce type de fusible est prévu pour protéger uniquement contre les courts-circuits (pour les récepteurs à fort courant d'appel). En outre, ils sont calculés pour résister à certaines surcharges passagères comme celles qui se produisent au moment des

démarrages moteurs ; leur courant minimal de fonctionnement est voisin de 4 In. Ils sont repérés par la couleur verte.



Figure II. 45 : Cartouche aM

Ces fusibles sont souvent associés à des relais thermiques pour assurer la protection contre les surcharges. Utilisation : Moteur, transformateur, ...

4.1.6.4 Cartouche AD

Les fusibles AD sont des fusibles dits « accompagnement disjoncteur », ce type de fusibles est utilisé par les distributeurs sur la partie de branchement. Les inscriptions sont de couleur rouge.



Figure II. 46 : Cartouche AD

4.1.6.5 Cartouche uR (Ultra Rapide)

Ce type de fusible est utilisé en électronique pour la protection des semi-conducteurs. Ils protègent contre les courts-circuits. Ils sont utilisés pour la protection de diodes, thyristor...



Figure II. 47 : Cartouche uR

4.1.7 Choix et mise en œuvre des fusibles

Critères de choix d'un fusible : une protection par fusible peut s'appliquer à un départ (ligne) ou à un récepteur. Le choix d'un fusible doit fixer :

- La classe : gF ; gG ; aM ;
- Le calibre I_n et la tension assignée U_e ;
- La forme (cartouche cylindrique ou à couteau) et la taille ;
- Le pouvoir de coupure ;
- Éventuellement le système déclencheur (fusible à percuteur).

4.1.8 Avantages et inconvénients d'un fusible

Avantages :

- Coût peu élevé ;
- Facilité d'installation ;
- Pas d'entretien ;
- Très haut pouvoir de coupure ;
- Très bonne fiabilité ;
- Possibilité de coupure très rapide (UR).

Inconvénients :

- Nécessite un remplacement après fonctionnement ;
- Pas de réglage possible ;
- Déséquilibre en cas de fusion d'un seul fusible sur une installation triphasée ;
- Surtension lors de la coupure.

4.2 Protection par relais thermique

4.2.1 Éléments de test et de réglage

Selon le fabricant et la gamme de l'appareil, les façades des relais thermiques changent, mais on retrouve les mêmes fonctions et commandes (l'exemple présenté est un relais thermique de seconde génération).

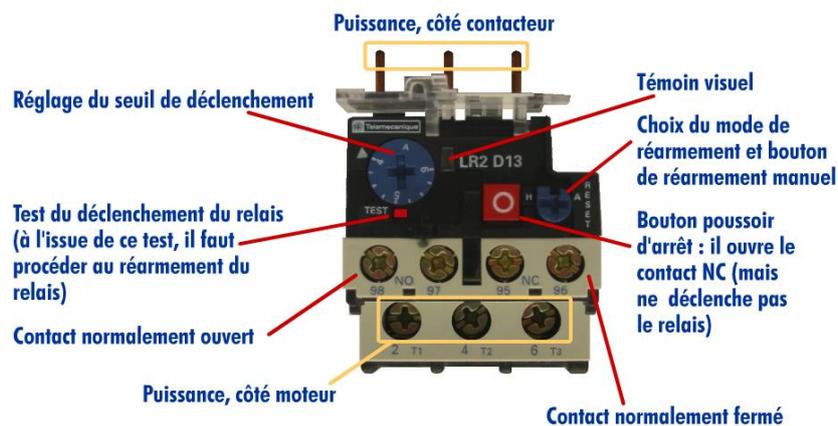


Figure II. 48 : Éléments du relais thermique

Sur cette façade, on trouve :

- Bouton de réglage Ir ;
- Bouton Test : l'action sur le bouton Test permet :
 - Le contrôle du câblage du circuit de commande ;
 - La simulation du déclenchement du relais (action sur les 2 contacts "O" et "F").
- Bouton Stop. Il agit sur le contact "O" et est sans effet sur le contact "F" ;
- Bouton de réarmement et sélecteur de choix entre réarmement manuel et auto ;
- Visualisation du déclenchement ;
- Verrouillage par plombage du capot.

4.2.2 Rôle

Le relais thermique permet de protéger un récepteur contre les surcharges faibles et prolongées. Il permet de protéger efficacement contre les incidents d'origines mécaniques, chute de tension, déséquilibre des phases, manque d'une phase.



Figure II. 49 : Autres types de relais thermique

En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur ; c'est le contacteur qui coupe le courant dans le récepteur.

4.2.3 Symbole

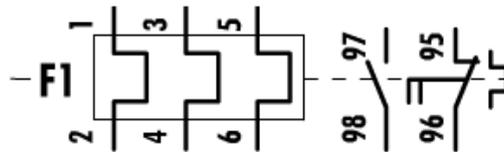


Figure II. 50 : Symbole d'un relais thermique

4.2.4 Utilisation

Les relais thermiques sont utilisables en courant triphasé, et sont généralement tripolaires. Cependant, on peut les adapter, et les utiliser en courant continu, courant monophasé et diphasé.

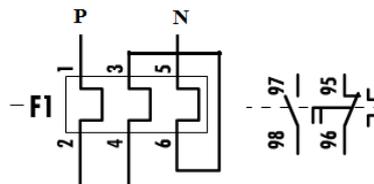


Figure II. 51 : Utilisation du relais thermique en réseau monophasé

Ils sont insensibles à la variation de la température ambiante, les bilames sont compensés. Les bilames de compensation sont soumis à la température de l'air ambiant ils se déforment de façon opposés aux bilames principaux. Ils sont capables de détecter un manque de phase, ou un déséquilibre sur les phases. Le système différentiel permet de contrôler si le courant qui traverse les bilames est identique sur les trois circuits (manque de phases, fusion d'un fusible, déséquilibre).

Toutefois, les relais thermiques doivent être associés à un contacteur et à des fusibles. La plage de réglage est affichée en ampères-moteur, le réglage doit correspondre et cela sans compensation à l'intensité plaquée sur le moteur.

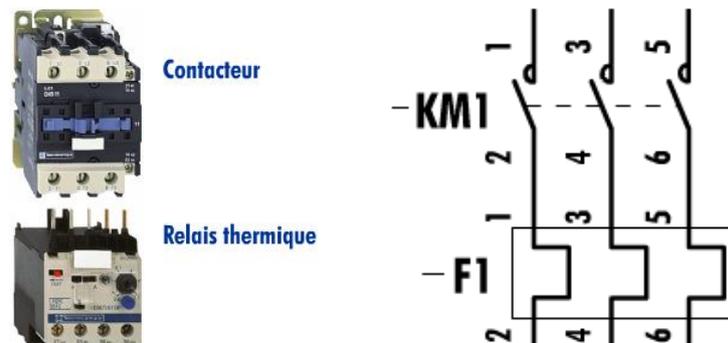


Figure II. 52 : Association relais thermique-contacteur (Discontacteur)

4.2.5 Principe de fonctionnement

Chaque relais comprend trois bilames constitués chacun de deux métaux assemblés par laminage dont les coefficients de dilatation sont très différents : lorsque leur température augmente, les deux matériaux ne s'allongent pas de la même valeur. Parce qu'ils sont solidaires l'un de l'autre, l'allongement de l'un provoquera la courbure de l'ensemble.

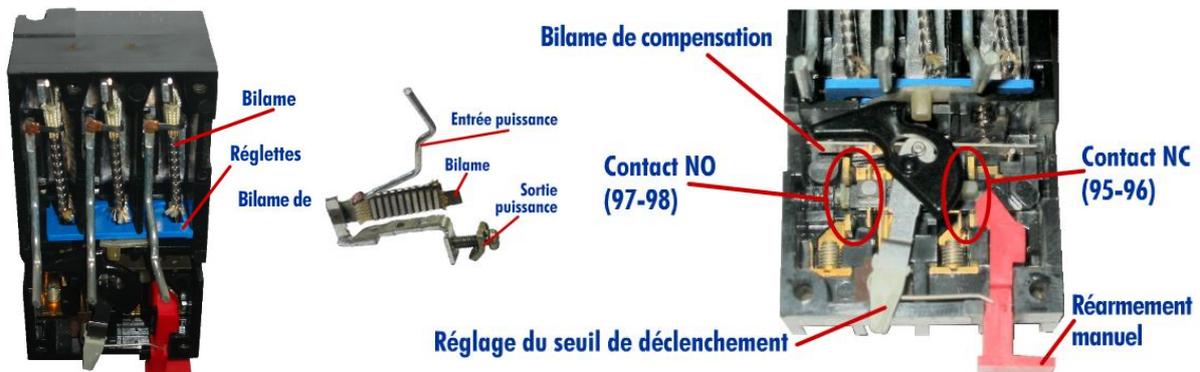


Figure II. 53 : Éléments internes du relais thermique

Chaque bilame est placé à l'intérieur d'un enroulement chauffant branché en série avec une des phases du moteur et est relié à une came commandant les contacts de commande.

Le passage du courant dans l'enroulement provoque une élévation de température et une déformation du bilame. Lorsque cette déformation est importante, la came pivote et les contacts de commande s'ouvrent.

En résumé ceci est le mode de fonctionnement d'un relais thermique lors d'un défaut de surcharge :

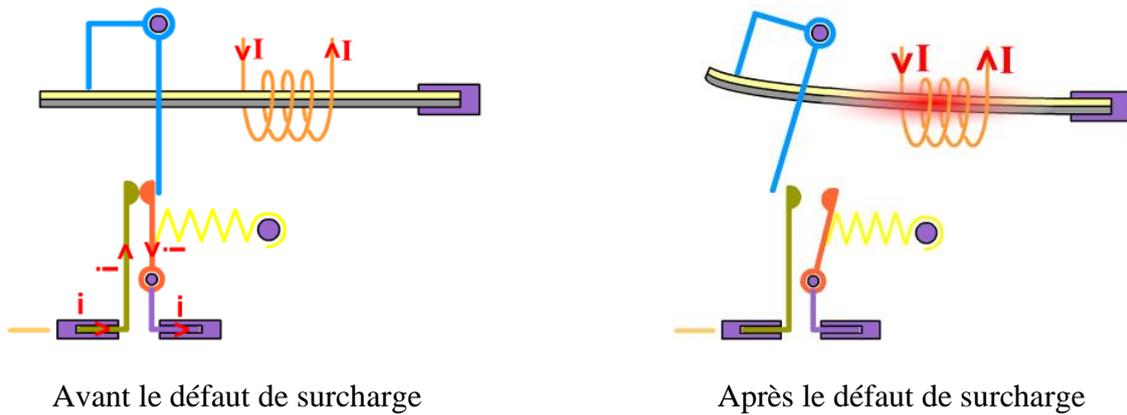


Figure II. 54 : Comportement du bilame

- Au repos, le contact mobile est plaqué sur le contact fixe par la came. Sans elle, il serait rappelé en arrière par le ressort.
- Lors d'un incident, le courant absorbé par le récepteur augmente, les bilames se déforment et actionnent un mécanisme pour manœuvrer les contacts.
- Lorsque le bilame se déforme, il entraîne la came en rotation. Dans son mouvement, elle pousse le contact mobile. Brutalement, le contact mobile est alors libéré par la come et rappelé par le ressort.
- Le contact inséré dans le circuit de commande du contacteur provoque la mise hors tension du récepteur.

Cependant, les relais thermiques sont munis d'un système de réarmement qui peut s'effectuer lorsque les bilames sont suffisamment refroidis. Certains relais thermiques possèdent un réarmement automatique qui permet la remise en service du récepteur lorsque les bilames sont froids, système déconseillé par sécurité pour les utilisateurs, redémarrage automatique et pour les récepteurs risque de dégradation.

4.2.6 Classe du relais thermique et durée de déclenchement

La norme définit la durée du déclenchement à 7,2 fois le courant de réglage du relais. On définit la classe du relais en fonction de cette durée de déclenchement.

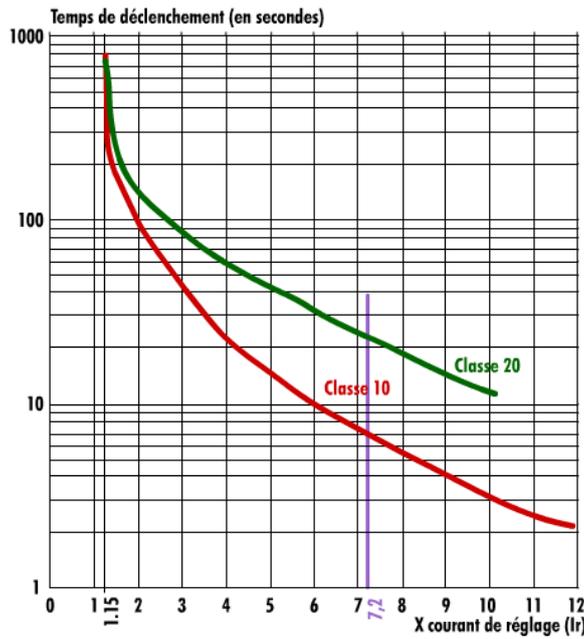


Figure II. 55 : Courbe de déclenchement pour différente classe de relais thermique

Il existe quatre classes de relais thermique : 10A, 10, 20, 30. Ces classes sont fonctions du temps de déclenchement à partir de l'état froid (pas de passage préalable de courant).

Sachant que I_r est le courant de réglage du relais thermique.

Le tableau 13, ci-dessous, donne les temps de déclenchement pour chaque classe.

Tableau II. 5 : Temps de déclenchement par classe de relais thermique

	1.05 I_r	1.2 I_r	1.5 I_r	7.2 I_r
Classe	Temps de déclenchement à partir de l'état froid			
10A	> 2 h	< 2 h	< 2 min	2 s ≤ t_p ≤ 10 s
10	> 2 h	< 2 h	< 4 min	2 s ≤ t_p ≤ 10 s
20	> 2 h	< 2 h	< 8 min	2 s ≤ t_p ≤ 20 s
30	> 2 h	< 2 h	< 12 min	2 s ≤ t_p ≤ 30 s

4.2.7 Choix d'un relais thermique

Le relais thermique se choisit en fonction de la classe désirée et/ou du courant nominal du récepteur à protéger.

La classe est définie en fonction de la durée de déclenchement pour un courant de 7,2 fois le courant de réglage. Soit :

- Classe 10A: Temps de déclenchement compris entre 2 et 10 s ;
- Classe 20 : Temps de déclenchement compris entre 2 et 20 s.

4.3 Protection par relais magnétique

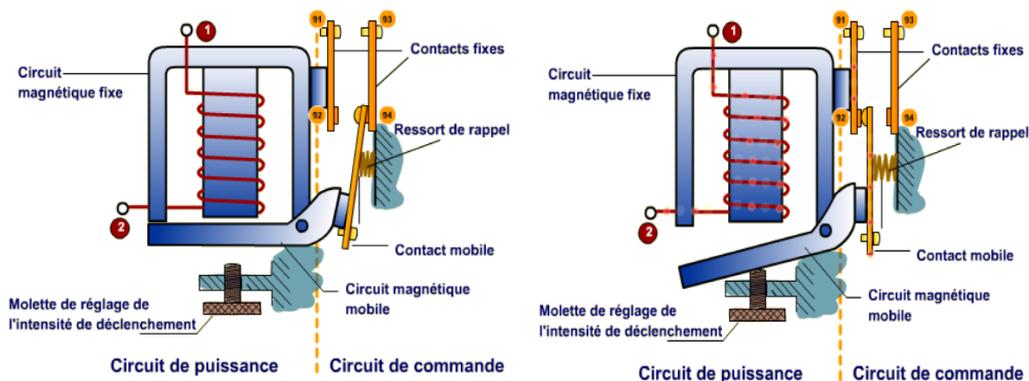
4.3.1 Rôle

Le relais magnétique, encore appelé relais de protection à maximum de courant, est un relais unipolaire (un pour chaque phase d'alimentation) dont le rôle est de détecter l'apparition d'un court-circuit. Il s'ensuit qu'il n'a pas de pouvoir de coupure et que ce sont ses contacts à ouverture (91-92) et à fermeture (93-94) qui vont être utilisés dans le circuit de commande pour assurer l'ouverture du circuit de puissance du récepteur et signaler le défaut.

Ce relais est recommandé pour la protection des circuits sans pointe de courant ou au contrôle des pointes de démarrage des moteurs asynchrones à bagues.

4.3.2 Principe de fonctionnement

En fonctionnement normal, le bobinage du relais magnétique est parcouru par le courant de court-circuit. En cas de forte surcharge ou de court-circuit, la force engendrée par le champ magnétique de la bobine devient supérieure à la force du rappel du ressort et le relais magnétique déclenche.



Avant le défaut de court-circuit

Après le défaut de court-circuit

Figure II. 56 : Comportement du circuit magnétique

La raideur du ressort conditionne le réglage du courant de coupure. Le déclenchement est instantané avec un temps de réponse de l'ordre de milliseconde.

4.3.3 Symbole

Le symbole normalisé du relais magnétique est schématisé ci-dessous :

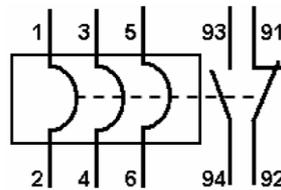


Figure II. 57 : Symbole du relais magnétique

4.3.4 Réglage

Le réglage de l'intensité de déclenchement s'obtient en faisant varier l'entrefer du relais à l'aide d'une vis (ou une molette) graduée directement en Ampères. Le choix du réglage doit tenir compte de :

- L'intensité du courant de réglage en service permanent ;
- La valeur du courant de réglage qui doit être supérieure au courant et aux pointes normales.

4.3.5 Utilisation en courant alternatif

Le relais magnétique doit être raccordé dans une boucle de mesure d'un transformateur de courant. Les entrées de mesure sont généralement de faible intensité, il est rarement possible de les utiliser en direct.

Le relais dispose d'une entrée de mesure, la mesure surveillée est affectée à un contact CTR. On trouve généralement plusieurs choix d'entrées de mesure, un réglage précis du seuil, un ou deux réglages de l'hystérésis, une temporisation.

Les relais les plus sophistiqués peuvent posséder plusieurs fonctions, la possibilité décréter les pointes, de pouvoir fonctionner en AC ou DC...

Les relais les plus basiques disposent généralement d'une seule fonction, de surintensité ou de sous intensité.

On trouve aussi des relais qui disposent d'un transformateur de courant incorporé. Il existe aussi des relais qui ont des plages de mesures élevées, ils peuvent accepter des courants de l'ordre de 10 A, cela permet un raccordement direct et d'éviter l'utilisation d'un transformateur de courant.

Quelques principales utilisations du relais magnétique :

- Contrôle de rupture d'arbre ou de courroie de moteur ;

- Contrôle du désamorçage des pompes ;
- Indication ou contrôle de surcharges ou sous charges ;
- Peut être utilisé pour réaliser du délestage.

Exemple d'utilisation :

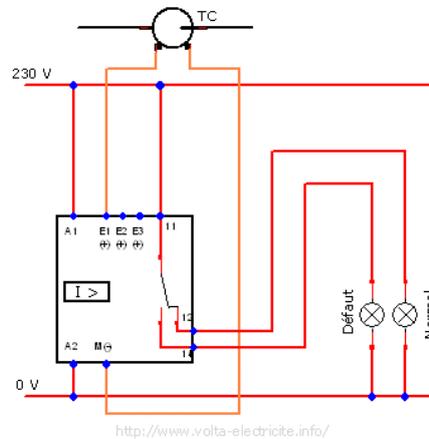


Figure II. 58 : Schéma de câblage d'un relais magnétique



Figure II. 59 : Relais de courant divers constructeurs

4.3.6 Utilisation du relais de courant en courant continu

Pour surveiller des intensités élevées en courant continu il faudra utiliser un shunt. Le relais de courant peut être incorporé dans des boucles de courant (4-20 ou 0-20 mA) pour gérer des seuils de fonctionnement ou d'alarme.

4.4 Protection par relais magnétothermique

C'est un déclencheur ou relais à maximum de courant qui fonctionne à la fois sous l'action d'un électro-aimant et sous l'effet thermique provoqué par le courant qui le parcourt.

C'est l'association d'un relais magnétique et d'un relais thermique, le premier assurant la protection contre les surintensités brutales (déclenchement instantané), éventuellement les courts-circuits, le second contre les surcharges lentes (déclenchement retardé).

4.5 Protection par relais de contrôle des réseaux triphasés

Ces relais sont installés pour surveiller les réseaux triphasés. Ils permettent de détecter l'absence d'une phase, l'inversion d'une phase, l'ordre des phases, certains ont des options avec des seuils ajustables pour contrôler la tension.

Ces relais sont installés dans les armoires de distribution. Ils agissent généralement sur le circuit de télécommande. Lors de l'absence d'une phase ou d'une inversion de phase, lorsque le réseau est remis sous tension, ils vont soit couper toutes les machines ou les interdire de fonctionner. Cela permet d'éviter de faire fonctionner des équipements qui seraient dégradés en cas de sens de rotation inverse.

4.5.1 Câblage

Suivant le type de relais, il faudra au moins une protection tripolaire ou tétrapolaire, coupe-circuits ou disjoncteurs.

Suivant la marque, il est possible de disposer de plusieurs contacts. Un contact est à insérer dans le circuit de télécommande, pour interdire le fonctionnement dans l'éventualité d'un défaut, l'autre contact peut être asservi à de la signalisation. Si l'équipement à protéger dispose d'un automate programmable, il est possible de placer un contact sur une entrée TOR et de le gérer avec le programme.

A installer dans :

- Tous les équipements avec des machines tournantes en triphasé ;
- Groupe électrogène pour passer sur secours lors de l'absence d'une phase ou d'un retour secteur en sens inverse ;
- Installations nécessitant une tension constante.



Figure II. 60 : Divers relais de contrôle des réseaux

4.6 Protection par disjoncteur

4.6.1 Définition

Un disjoncteur est un appareil électromécanique de connexion qui constitue un élément essentiel du tableau électrique. Il assure, à la fois, la protection des personnes contre d'éventuelles électrisations ou électrocutions, et la protection de l'installation électrique dans laquelle il est raccordé.

Le principe du disjoncteur est simple : lorsqu'il y a une surintensité type court-circuit ou surcharge, le courant est coupé automatiquement afin d'éviter tout danger. À la différence des fusibles, il n'est pas nécessaire de remplacer le disjoncteur lorsque celui-ci a été déclenché pour rétablir le courant, un simple réarmement suffit, en remontant le levier, en tournant ou en appuyant sur le bouton prévu à cet effet. Cependant, le disjoncteur « saute » en général pour une bonne raison, il est donc important de déterminer la cause du problème et de le résoudre avant de rétablir le courant.



Figure II. 61 : Différents types de disjoncteurs

4.6.2 Symbole

Le symbole universel d'un disjoncteur est le suivant :

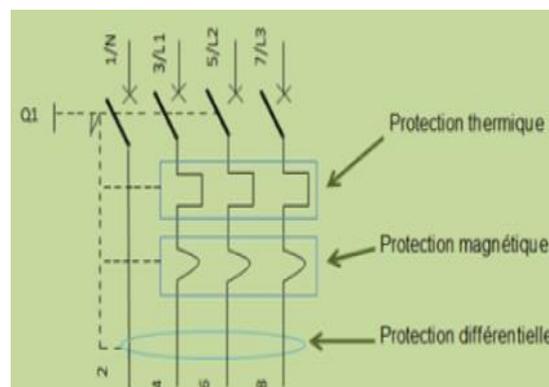


Figure II. 62 : Symbole de disjoncteur

4.6.3 Différents éléments d'un disjoncteur

Un disjoncteur est l'association d'un ensemble de contacts, avec un grand pouvoir de coupure et d'un système de protection contre les surcharges et les courts-circuits.

Le disjoncteur magnétothermique regroupe, à l'intérieur d'un même boîtier, le dispositif thermique et le dispositif magnétique. On dispose ainsi d'un appareil qui couvre tous les défauts, de la surcharge faible jusqu'au court-circuit. Par ailleurs, disposant d'une chambre de coupure de l'arc électrique, il possède généralement un pouvoir de coupure élevé.

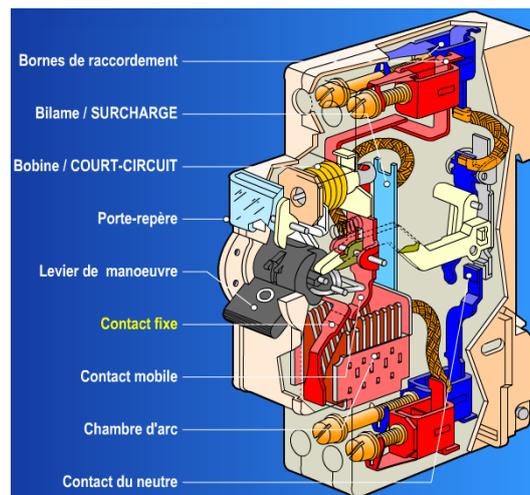


Figure II. 63 : Disjoncteur magnétothermique

Cependant le disjoncteur magnétothermique différentiel (figures ci-dessous) est constitué des éléments suivant :

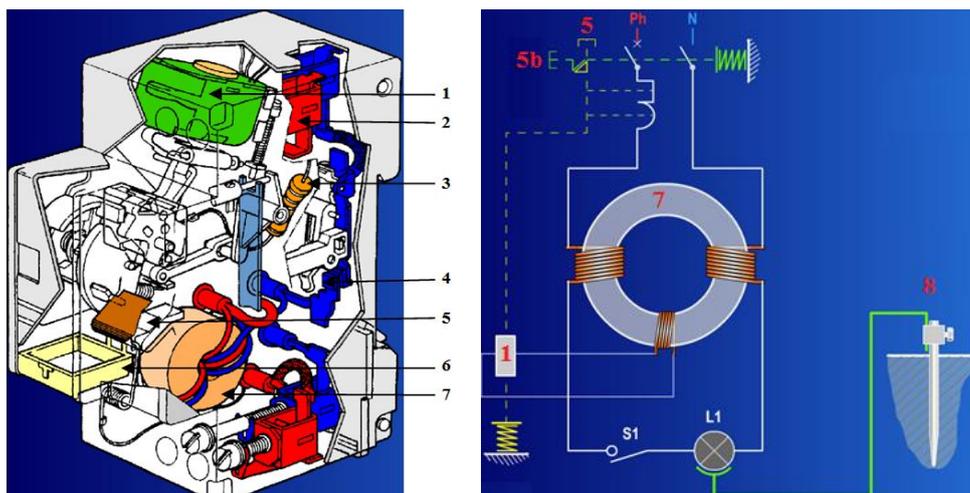


Figure II. 64 : Éléments du disjoncteur différentiel

- **Relais sensible (N°1) :** également appelé bobine de détection, c'est lui qui ouvre les pôles du disjoncteur en cas de défaut d'isolement ;

- **Bornes de raccordement (N°2) :** elles servent au raccordement des fils. Ce sont elles qui caractérisent la section de raccordement du disjoncteur ;
- **Résistance de test (N°3) :** elle est calculée de façon à générer un courant de fuite correspondant à la sensibilité lors de l'appui sur le bouton de test mensuel ;
- **Contact du neutre (N°4) :** en monophasé, le neutre n'est pas protégé Le circuit du neutre (en bleu) ne comprend donc que ce seul contact ;
- **Levier de manœuvre (N°5) :** organe de déclenchement manuel et de réarmement. Il est nécessaire de réarmer d'abord le bloc vigi pour réarmer ensuite le disjoncteur après un déclenchement dû à un défaut d'isolement ;
- **Bouton de test mensuel (N°6) :** comme son nom l'indique, il doit être actionné tous les mois pour contrôler le bon fonctionnement du disjoncteur ;
- **Tore et enroulements (N°7) :** C'est le cœur du dispositif différentiel ;
- **Prise de terre (N°8) :** sans elle, le disjoncteur différentiel ne peut pas fonctionner. Elle fournit au courant de fuite un autre chemin pour retourner au réseau d'alimentation (réseau Sonalgaz).

4.6.4 Principe de fonctionnement

Le mode de fonctionnement du disjoncteur dépend du type et du nombre de système de protection (déclencheur ou dispositif). Trois types de dispositif ou de déclencheur existent :

4.6.4.1 Principe du déclencheur thermique

Le déclencheur thermique qui a pour but de détecter les courants de surcharge fonctionne selon le mode suivant :

- Supposons qu'en l'absence de tout défaut, le moteur absorbe une intensité nominale de 7A (figure II.65.a).
- Imaginons maintenant que, pour une raison encore inconnue, le moteur soit gêné dans son travail. Nous sommes alors, en situation de SURCHARGE! Cette situation n'est pas normale et peut, si elle dure, entraîner la fusion des isolants (figure II.65.b).

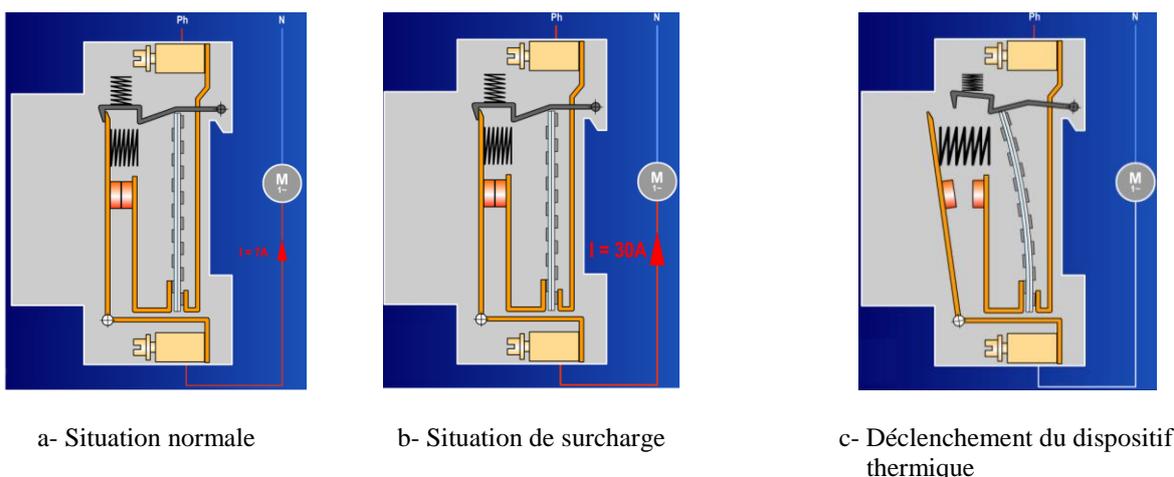


Figure II. 65 : Mode de fonctionnement du dispositif thermique

- Le bilame, chauffe par effet Joule consécutif à l'augmentation de l'intensité, puis se déforme, ouvrir le circuit et règle ainsi le problème (figure II.65.c).
- Grâce au ressort l'ouverture est brusque ce qui minimise les dégâts dus à l'arc électrique.

- A partir du moment où le circuit est ouvert, le bilame va refroidir et reprendre sa position d'origine.
- Des lors que la cause de la surcharge a été identifiée et éliminée, le disjoncteur peut être réarmé.

4.6.4.2 Principe du déclencheur magnétique

Le déclencheur magnétique qui a pour but de détecter les courants de court-circuit fonctionne selon le mode suivant :

- Supposons qu'en l'absence de tout défaut, le moteur ou un autre récepteur, absorbe une intensité nominale de 7A (figure II.66.a).
- Imaginons maintenant, qu'à cause d'un défaut d'isolement, le fil de phase viendra à toucher le fil de neutre. Nous sommes alors en situation de court-circuit ! (Figure II.66.b).

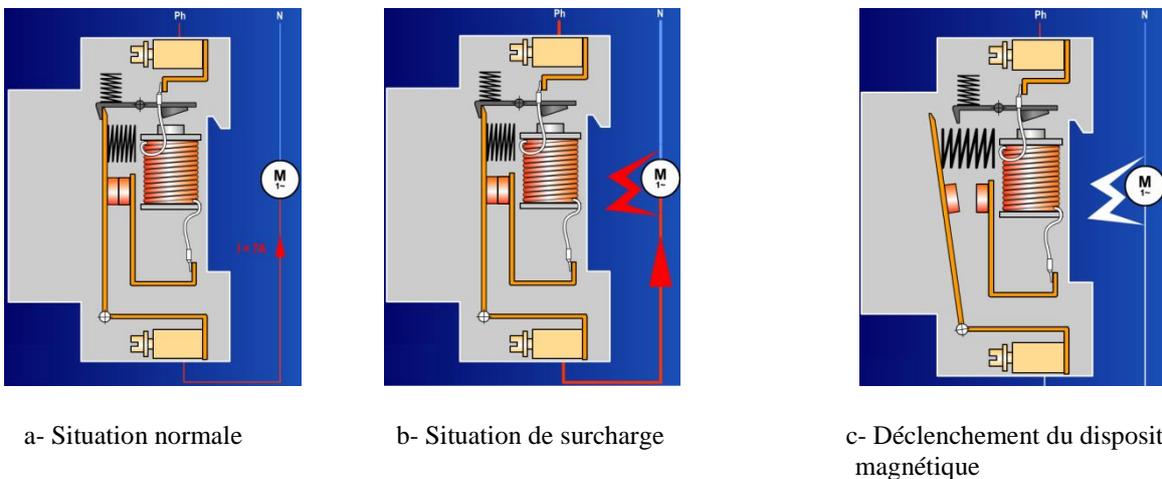


Figure II. 66 : Mode de fonctionnement du dispositif magnétique

- La bobine électromagnétique, sous l'effet de l'élévation de l'intensité du courant va instantanément attirer le levier et provoquer l'ouverture rapide (10 à 20 ms) du disjoncteur (figure II.66.c).
- Cette réaction s'obtient à partir d'un seuil de courant variant de 3 à 14 fois le calibre selon le disjoncteur : le seuil magnétique I_m .
- Une fois le défaut éliminé, on peut réarmer le disjoncteur et remettre l'installation en service.

4.6.4.3 Principe du dispositif différentiel

Lorsque le disjoncteur différentiel est associé à une prise de terre, son rôle est de protéger les personnes contre les contacts indirects (figure II.67).

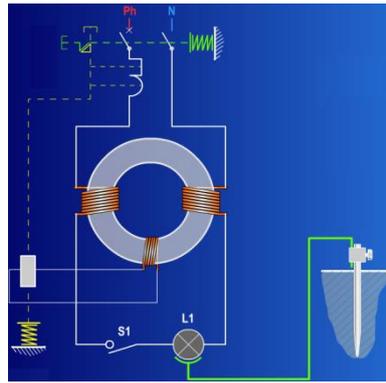


Figure II. 67 : Dispositif différentiel associé à une prise de terre

Il est constitué de :

- Le tore magnétique sur lequel sont bobinés 2 enroulements primaire et secondaire (Phase et neutre),
- Une interface éventuelle qui traite l'image du courant de défaut,
- Un relais électromécanique qui assure le déclenchement et donc l'ouverture des contacts de coupure du réseau.

Le mode de fonctionnement du disjoncteur différentiel est le suivant :

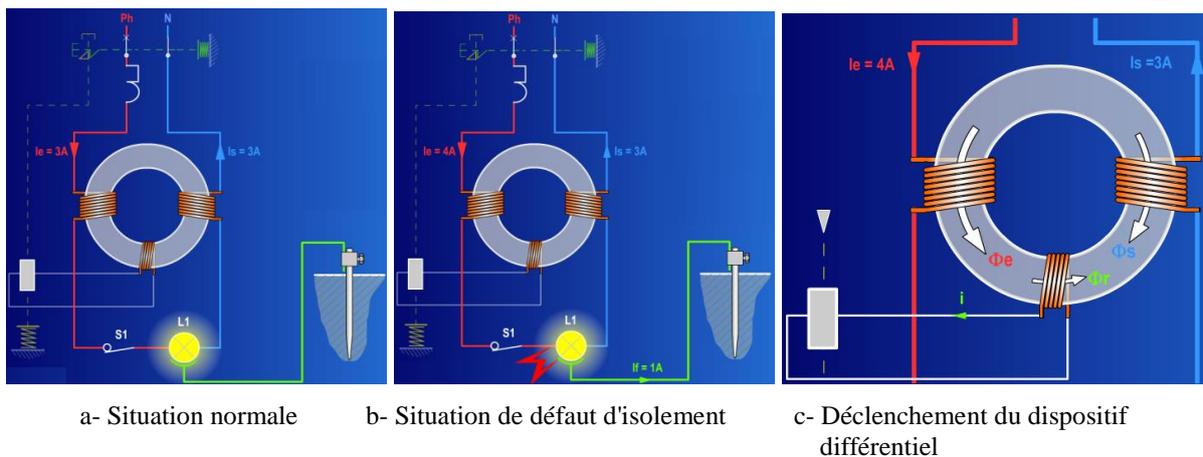


Figure II. 68 : Mode de fonctionnement du dispositif différentiel

- En l'absence de défaut d'isolement, le courant entrant est égal au courant sortant ($I_e = I_s$) (figure II.68.a).
- Mais, lorsqu'un défaut d'isolement surgit, par exemple : une phase touche la carcasse d'une douille, dans un circuit d'allumage d'une lampe (figure II.68.b). On observe l'apparition d'une fuite de courant vers la terre.
- Par conséquent, le courant entrant est différent du courant sortant ($I_e \neq I_s$). Cependant, le courant entrant I_e dans l'enroulement primaire, génère un flux magnétique Φ_e dans le tore magnétique proportionnel à la valeur de l'intensité de ce courant I_e , dans le sens anti-horaire (figure 69.c). De même, le courant sortant I_s dans l'enroulement secondaire, génère un flux magnétique Φ_s dans le tore magnétique proportionnel à la valeur de l'intensité de ce courant I_s , dans le sens horaire. Il résulte, de l'opposition Φ_e et de Φ_s , un flux résultant Φ_r proportionnel à la différence des flux $\Phi_e - \Phi_s$ (figure II.68.c).

- A partir d'une certaine valeur du courant de fuite, ce flux résultant Φ_r induira, dans le troisième enroulement bobiné sur le tore magnétique, un courant I suffisant pour exciter le relais sensible et provoquer le déclenchement du disjoncteur différentiel. La valeur de l'intensité de ce courant s'appelle la sensibilité du disjoncteur différentiel.

4.6.5 Différents types de disjoncteur

Il existe plusieurs types de disjoncteurs qui peuvent avoir des fonctions différentes. Il est donc important de choisir celui qui est adapté à la situation, afin d'éviter tout danger.

Le type et le nombre de système de protection (déclencheur) présents dans le disjoncteur, détermineront le type de disjoncteur. Il existe six types essentiels de disjoncteurs :

4.6.5.1 Disjoncteur magnétothermique

Les disjoncteurs magnétothermiques assurent, en plus de la protection contre les courts-circuits, une protection contre les surcharges, à l'instar d'un relais thermique. Ils remplacent, dans les circuits de départ moteur, l'association de fusibles de classe aM (accompagnement Moteur) et d'un relais thermique.

Lors d'une coupure de circuit, après correction du défaut, le disjoncteur est réarmé manuellement et est prêt à fonctionner à nouveau.

Son symbole normalisé est le suivant :

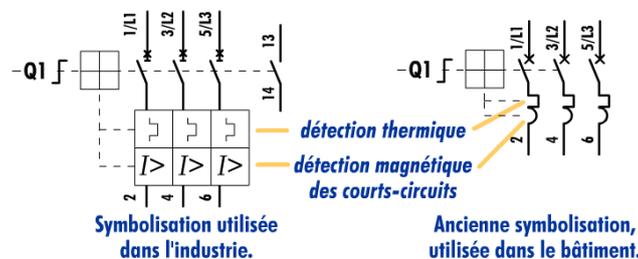


Figure II. 69 : Symboles du dispositif magnétothermique

La partie puissance est constituée de contacts qui s'ouvrent lorsqu'un défaut est détecté par les déclencheurs qui lui sont associés. Le déclencheur thermique (carré) est réalisé par bilame (cf. un relais thermique).

4.6.5.2 Disjoncteur magnétique

Les disjoncteurs magnétiques assurent la protection des circuits électriques contre les courts-circuits. Pour des courants de court-circuit peu élevés, ils réagissent plus rapidement que les fusibles. Selon le disjoncteur choisi, le seuil de déclenchement peut être réglé par l'utilisateur.

L'ensemble des pôles est coupé lorsqu'un défaut est constaté sur l'un d'eux (à la différence des fusibles dont seul celui en cause est détruit). Lors d'une coupure de circuit, après correction du défaut, le disjoncteur est réarmé manuellement et est prêt à fonctionner à nouveau.

Au même titre que le sectionneur, le disjoncteur possède des contacts auxiliaires utilisés dans les circuits de commande.

Son symbole normalisé est le suivant :

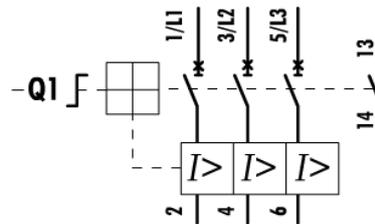


Figure II. 70 : Symbole du disjoncteur magnétique

4.6.5.3 Disjoncteur thermique

Il assure la protection contre les surcharges. Son mécanisme est composé de deux lames ayant des coefficients de dilatation différents. Lorsque le courant devient important, la chaleur engendrée augmente et provoque la déformation de la lame à coefficient de dilatation plus élevé, ce qui libère le contact libre et coupe ainsi le circuit. Le courant ne passe plus, la surchauffe est alors évitée.

Son symbole normalisé est le suivant :

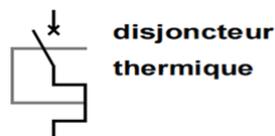


Figure II. 71 : Symbole du disjoncteur thermique

4.6.5.4 Disjoncteur magnétothermique différentiel

Il assure la protection contre les courts-circuits, les surcharges et la protection des personnes contre les contacts indirects. Le disjoncteur magnétothermique différentiel permet à la fois de protéger les biens et les personnes. Il est composé de deux éléments : le premier est un disjoncteur magnétothermique qui permet d'éviter les surcharges et les courts-circuits. L'autre est un différentiel, qui permet, lorsque l'intensité entre la phase et le neutre est différente, de couper le courant.

Le symbole du différentiel est le suivant :

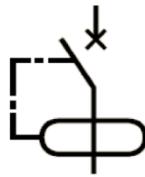


Figure II. 72 : Symbole du disjoncteur différentiel

4.6.5.5 Disjoncteur électronique

Il réalise les fonctions des déclencheurs thermiques et / ou magnétiques, tout en disposant d'une large plage de réglage (du niveau de déclenchement, du délai de déclenchement). Ce type de disjoncteur plus avancé, est composé d'un dispositif de mesure de courant, d'un traitement électronique et d'un dispositif de déclenchement par électro-aimant. Il est avantageux car il est possible de régler facilement le seuil de déclenchement, de faire des exceptions, etc...

4.6.5.6 Disjoncteur divisionnaire

C'est un modèle de disjoncteur qui assure la protection des biens et des circuits des installations électriques. Son rôle consiste surtout à couper le courant dès qu'il détecte une surcharge supérieure à celle qui a été définie sur son ampérage. Il est facile de reconnaître ce type de disjoncteur grâce à la petite manette qui s'abaisse et qui permet de mettre en cause le circuit concerné. Pour rétablir le courant, il suffit de remonter la manette.



Figure II. 73 : Disjoncteur divisionnaire

Ses caractéristiques sont :

- Réseau 220-380 V, pouvoir de coupure : 6000 A ;
- Calibres : 10-15-20-25-32 A.

4.6.6 Caractéristiques principales d'un disjoncteur

- **Courant d'emploi I_B** : il s'agit du courant nominal ou maximal de la charge.

- **Courant nominal du dispositif de protection I_n** : est le calibre en Ampères de la cartouche fusible.
- **Courant admissible dans la canalisation I_z** : il s'agit de l'intensité maximale autorisée dans la ligne.
- **Courant assigné I_n** : est la valeur maximale du courant permanent que peut supporter un disjoncteur équipé d'un déclencheur à une température ambiante précisé par le constructeur, en respectant les limites d'échauffement prescrites.
- **Courant de réglage I_r ou (I_{rth})** : est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur, sans déclenchement. Cette valeur doit être supérieure au courant d'emploi I_b et inférieure au courant admissible dans la canalisation I_z .
Les déclencheurs thermiques sont en général réglables de 0,7 à 1 fois I_n alors qu'en technologie électronique les plages sont généralement plus larges (couramment de 0,4 à 1 fois I_n).
- **Courant de fonctionnement I_m** : courant qui provoque le déclenchement pour les fortes surintensités. Il peut être fixe ou réglable et peut varier entre 1,5 I_n et 20 I_n .
- **Pouvoir de coupure I_{cu} ou I_{cn}** : est la plus grande intensité de courant de court-circuit (courant présumé) qu'un disjoncteur peut interrompre sous une tension donnée. Il s'exprime en général en kA efficace symétrique et est désigné par I_{cu} (pouvoir de coupure ultime pour les disjoncteurs industriels et par I_{cn} (pouvoir de coupure assigné) pour les disjoncteurs à usage domestique ou assimilé.
- **Pouvoir de limitation** : c'est la capacité d'un disjoncteur à ne laisser passer qu'un courant inférieur au courant de court-circuit présumé.
- **Tension assignée d'emploi U_e** : est la ou les tensions auxquelles l'appareil peut être utilisé ;
- **Polarité d'un disjoncteur** : est le nombre de pôles étant coupés lors d'un déclenchement et le nombre de pôles étant surveillés par un relais thermique.
Par exemple, si la polarité d'un disjoncteur est 4P3D, cela signifie que 4 pôles seront coupés lors de l'ouverture du disjoncteur mais seulement 3 sont équipés de relais thermique, donc le neutre n'est pas surveillé.

4.6.7 Courbe de déclenchement

C'est l'association de la courbe de déclenchement du relais (déclencheur) thermique et de la courbe de déclenchement du relais (déclencheur) magnétique.

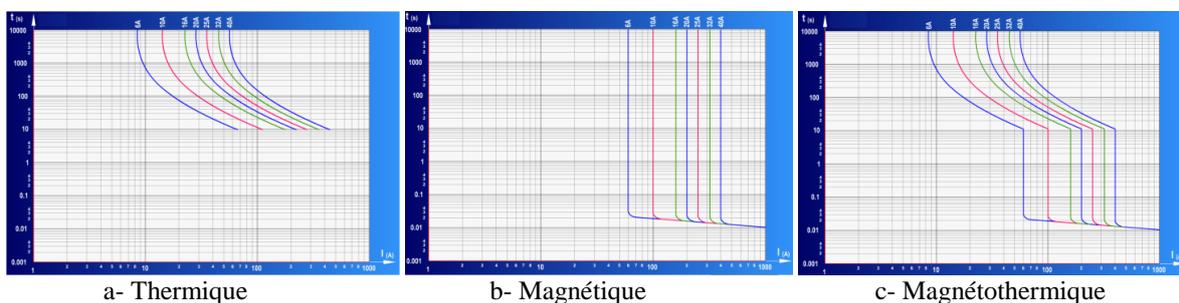


Figure II. 74 : Courbes de déclenchement des dispositifs de protection

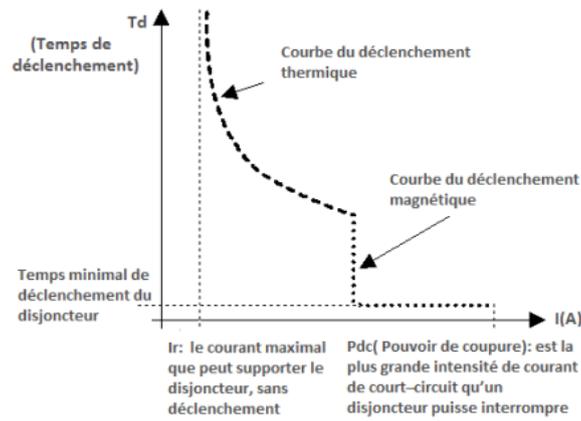


Figure II. 75 : Courbe explicative de déclenchement magnétothermique

4.6.7.1 Interprétation la courbe de déclenchement

- Tant que $I < I_r$, pas de déclenchement ;
- Si $I_r < I < I_{mag}$, zone de fonctionnement des thermiques ;
- Si $I > I_{mag}$, zone de fonctionnement du déclencheur magnétique ;
- Si I se situe dans la plage I_{mag} , le déclenchement peut être thermique ou magnétique.

La courbe de la figure 75-c, regroupe les deux précédentes afin d'obtenir la courbe complète de déclenchement du disjoncteur. Elle indique que si on se trouve à droite et /ou au-dessus de la courbe, le déclenchement aura lieu.

4.6.7.2 Domaines d'applications selon les types de courbe de déclenchement

Le choix du type se fait en fonction du type d'installation (domestique, distribution, moteur ...).

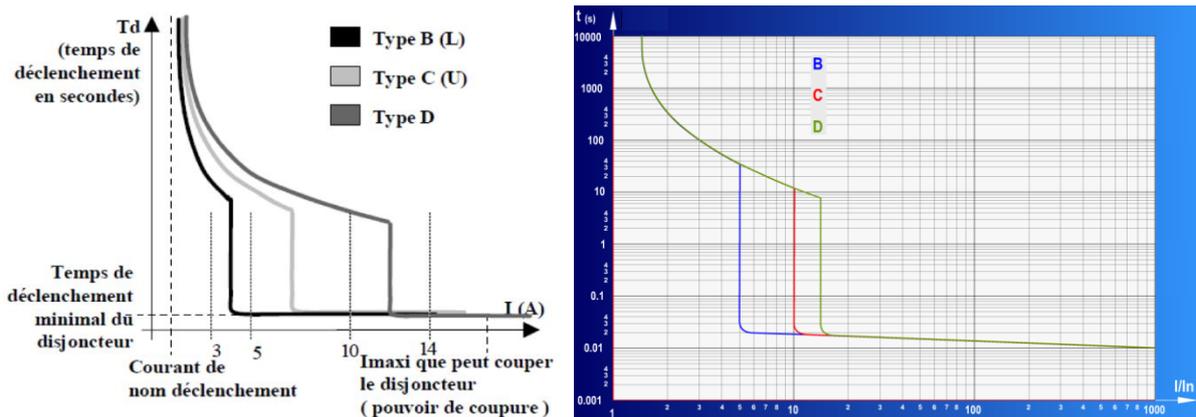


Figure II. 76 : Courbes de déclenchement d'un disjoncteur magnétothermique par type

4.6.7.3 Seuil de fonctionnement des déclencheurs magnétiques

Le rôle des déclencheurs magnétiques est de provoquer l'ouverture rapide du disjoncteur pour les fortes surintensités. Leur seuil de fonctionnement est fixé :

- Par la norme NF C 61-410 issue de la norme européenne EN 60 898 pour les installations domestiques et analogues
- Par la norme NF C 63-120 issue de la norme européenne EN 60 947-2 et de la norme internationale CEI 947.2 pour les applications industrielles.

Ces normes définissent différentes courbes :

Courbe type B :

Plage de fonctionnement entre 3,2 et 4,8 Ir. Ces disjoncteurs permettent de réaliser la protection des personnes en régime de neutre IT ou TN pour des longueurs de câbles plus importantes.

Courbe type C :

Plage de fonctionnement entre 7 et 10 Ir. Ces disjoncteurs conviennent aux installations courantes.

Courbe type D :

Plage de fonctionnement entre 10 et 14 Ir. Ces disjoncteurs sont plus particulièrement adaptés aux installations présentant de forts courants d'appel (transformateurs, moteurs ...).

Courbe type K :

Plage de fonctionnement entre 10 et 14 Ir. Ces disjoncteurs sont plus particulièrement adaptés aux installations présentant de forts courants d'appel (transformateurs, moteurs ...).

Les disjoncteurs courbes K possèdent un déclenchement thermique plus rapide que les disjoncteurs courbe D.

Courbe type MA :

Plage de fonctionnement 12 Ir. Ces disjoncteurs ne possèdent pas de déclencheurs thermiques. Ils sont utilisés pour la protection des moteurs associés à un dispositif de déclenchement thermique.

Courbe type Z :

Plage de fonctionnement entre 2,4 et 3,6 Ir. Ces disjoncteurs sont utilisés pour protection des composants électroniques.

4.6.8 Autres types de disjoncteurs

4.6.8.1 Disjoncteur industriel BT

Pour la commande de la protection des circuits de moteurs et de distribution, il existe deux types de construction de disjoncteurs.



Figure II. 77 : Disjoncteur industriel BT

4.6.8.1.1 Les disjoncteurs sous boîtier moulé de 32 à 1250 A

La commande de ces disjoncteurs est en général manuelle, ils sont équipés de relais thermiques magnétiques ou magnétothermiques.

4.6.8.1.2 Les disjoncteurs sur châssis métallique

La commande de ces disjoncteurs peut être manuelle ou électrique. Les déclencheurs peuvent être magnétiques, thermiques ou magnétothermiques.



Figure II. 78 : Disjoncteur sur châssis métallique

Leur Caractéristiques sont :

- Courant nominal thermique : 800 à 6300 A.
- Pouvoir de coupure sous 500 V : 70000 A.
- Pouvoir de fermeture : 175000 A.
- Déclencheurs magnétothermiques réglés de 8 à 9 In.

4.6.8.2 Disjoncteur moyenne tension MT

Ils sont destinés à la protection des réseaux de distribution, et des postes de transformation, ils vont de 3 à 36 kV, ils sont réalisés soit avec coupure dans l'air, soit ils utilisent le gaz hexafluorure de soufre (SF6) pour l'isolement et la coupure.

4.6.8.3 Disjoncteur haute tension HT

Après la construction des disjoncteurs à gros puits à faible volume d'huile, et le disjoncteur à air comprimé, la nouvelle génération des disjoncteurs HT utilisent le SF6. Selon la tension, un pôle de disjoncteur est constitué d'une ou plusieurs chambres de coupure.

4.6.9 Techniques de coupure pour disjoncteurs

Il y a des différentes techniques utilisées par le disjoncteur comme :

- Les disjoncteurs à l'huile ;
- Les disjoncteurs à air comprimé ;
- Les disjoncteurs au gaz SF6 ;
- Les disjoncteurs à vide (coupure dans le vide).

CHAPITRE III :
ELABORATION DES SCHEMAS ELECTRIQUES

1. Installation électrique

Une installation électrique est un ensemble cohérent de circuits électriques comportant un ensemble d'appareillages électriques.

Elle peut se situer dans un bâtiment ou un ensemble de bâtiments à usage d'habitation, industriel, commercial, ou de bureaux.

L'étude de l'installation électrique est réalisée par un architecte et/ou un bureau d'étude en techniques spéciales et/ou l'entreprise d'électricité. Alors que, la réalisation du projet de celle-ci est effectuée par une entreprise d'électricité ou un électricien.

Cependant, avant de commencer l'étude et/ou les différents montages d'une installation électrique, il faut, tout d'abord, avoir une base solide sur l'électricité et être formé sur les schémas électriques, les différentes normes de l'électricité et le repérage des différents éléments constituant un schéma électrique.

2. Normalisation

La normalisation est une activité d'intérêt général qui a pour objet de fournir des documents de référence élaborés de manière consensuelle par toutes les parties intéressées, portant sur des règles, des caractéristiques, des recommandations ou des exemples de bonnes pratiques, relatives à des produits, à des services, à des méthodes, à des processus ou à des organisations. Elle vise à encourager le développement économique et l'innovation tout en prenant en compte des objectifs de développement durable.

2.1 Normalisation des installations électriques

2.2 C'est l'ensemble des règles techniques qui permettent de standardiser l'appareillage électrique, sa représentation et son branchement. malis

L'objectif est d'arriver à un langage commun entre les électriciens dans le but de faciliter l'écriture, la lecture et la compréhension des schémas électriques.

Les normes électriques sont publiées par des organismes officiels à l'échelle nationale et à l'échelle internationale.

Les normes sont élaborées par des organismes dont les plus connus sont :

Au niveau international :

- L'ISO (International Organization for Standardization) en 1947 ;
- Le CEI (Commission Électrotechnique Internationale) en 1906 ;
- L'UIT (Union Internationale des Télécommunications).

Au niveau européen :

- Le CEN (Comité Européen de Normalisation) en 1961 ;
- Le CENELEC (Comité Européen de Normalisation pour l'Électrotechnique) en 1973 ;
- L'ETSI (European Telecommunications Standard Institut).

Au niveau des autres pays étrangers :

- L'AFNOR (Association Française de Normalisation) en 1926 ;
- C.E.F: (Comité Electrotechnique Français) en 1907 ;
- L'UTE (Union Technique de l'Électricité), Français en 1947.
- Le SSC (Standards Council of Canada) ;
- L'IBN (Institut Belge de Normalisation) ;
- L'ASTM (American Society for the Testing of Materials) ;
- Le SNV (Schweizerischen Normen Vereinigung) ;
- Le DIN (Deutsche Industrie Normen) ;
- Le BSI (British Standard Institute) ;
- L'ANSI (American National Standard Institute) ;
- ...

2.3 Repérage d'une norme française

Les normes françaises sont établies le plus souvent à partir des projets de normes internationales ou européennes. L'UTE présente aussi au CENELEC, et à la CEI des propositions françaises en vue de l'établissement de ces normes.

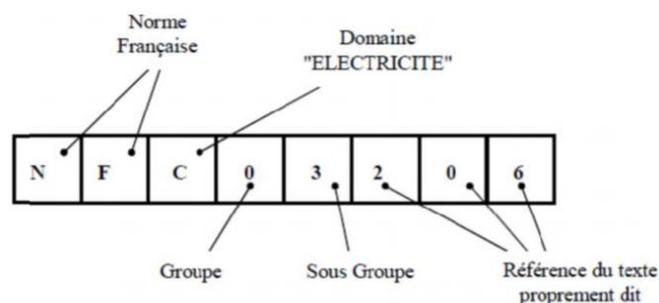


Figure III. 1 : Repérage de la norme NFC

Les normes d'électrotechnique correspondent à la classe C : ÉLECTRICITÉ. On distingue 10 groupes qui sont :

- Groupe 0 : Généralités ;
- Groupe 1 : Installations électriques ;
- Groupe 2 : Construction électrique, matériaux électrotechniques ;
- Groupe 3 : Conducteurs nus et isolés
- Groupe 4 : Mesure – Commande – Régulation ;
- Groupe 5 : Matériel produisant ou transformant l'énergie électrique ;

- Groupe 6 : Appareillage, matériel d'installation ;
- Groupe 7 : Matériel utilisant l'énergie électrique ;
- Groupe 8 : Composants électriques ;
- Groupe 9 : Télécommunication.

2.4 Repérage d'une norme européenne

En Europe : Le CENELEC (Comité européen de normalisation électrotechnique) a pour rôle d'harmoniser les normes anglaises, allemandes, françaises.

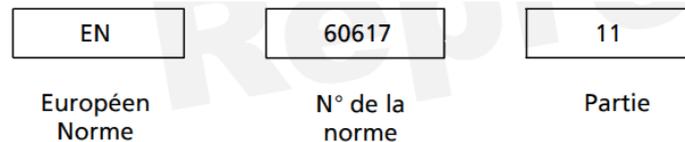


Figure III. 2: Repérage de la norme EN

2.5 Evolution vers la norme internationale

Les normes sont désignées par le préfixe NF EN 606 17 suivi d'un chiffre qui indique le numéro de partie.

Exemple :

La norme française NF C 03-201 : généralités, index général, se désigne par :

- NF EN 60617-1 en norme européenne ;
- 617-1 en norme CEI.

L'indication C 03-201 est conservée comme indice de classement.

Autres :

- EN 60617-1 (C 03-201) : généralités, index général ;
- EN 60617-2 (C 03-202) : éléments de symboles ;
- EN 60617-3 (C 03-203) : conducteurs et dispositifs de connexion ;
- EN 60617-4 (C 03-204) : composants passifs ;
- EN 60617-5 (C 03-205) : semi-conducteurs et tubes électroniques ;
- EN 60617-6 (C 03-206) : production, transformation, conversion de l'énergie électrique ;
- EN 60617-7 (C 03-207) : appareillage de commande et de protection ;
- EN 60617-8 (C 03-208) : appareils de mesures, lampes, signalisation ;
- EN 60617-9 (C 03-209) : télécommunication, commutation ;
- EN 60617-10 (C 03-210) : télécommunication, transmission ;
- EN 60617-11 (C 03-211) : schémas et plans d'installation, architecturaux et topographiques ;
- EN 60617-12 (C 03-212) : opérateurs logiques binaires ;
- EN 60617-13 (C 03-213) : opérateurs analogiques.

2.6 Les règles pour les schémas

- EN 61082-1 (C 03-251) : établissement des documents – Première partie : prescriptions générales ;
- EN 61082-2 (C 03-252) : schémas adaptés à la fonction ;
- EN 61082-3 (C 03-253) : schémas, tableaux et listes des connexions.

2.7 Plan des groupes 0, 1, 2

Groupe 0 : Généralités

- 00 : Application des normes ;
- 01 Vocabulaire électrotechnique – Unités de mesure ;
- 02 Normes et textes généraux ;
- 03 Schémas – Symboles ;
- 04 Repérage – Étiquetage.

Groupe 1 : Installations électriques

- 10 Installations électriques – Généralités ;
- 11 Réseaux ;
- 12 Installations réglementées ;
- 13 Installations à haute tension ;
- 14 Branchements ;
- 15 Installations à basse tension et équipements correspondants ;
- 17 Autres installations (paratonnerre, éclairage public, etc.) ;
- 18 Mesures de protection et de prévention.

Groupe 2 : Construction électrique, matériaux électrotechniques

- 20 Construction électrique – Généralités ;
- 23 Matériel électrique pour atmosphère explosives ;
- 26 Isolants – Généralités – Isolants solides – Vernis ;
- 27 Fluides pour applications électrotechniques ;
- 28 Matériaux magnétiques.

3. Schéma électrique

3.1 Définition

Un schéma électrique représente, à l'aide de symboles graphiques, les différentes parties d'un réseau, d'une installation ou d'un équipement qui sont reliées et connectées fonctionnellement. Un schéma électrique a pour but :

- D'expliquer le fonctionnement de l'équipement (il peut être accompagné de tableaux et de diagramme) ;
- De fournir les bases d'établissement des schémas de réalisation ;
- De faciliter les essais et la maintenance.

3.2 Modes de représentation dans les schémas

3.2.1 Éléments fonctionnels

3.2.1.1 Représentation assemblée

Les symboles des différents éléments d'un même appareil, ou d'un même équipement, sont représentés juxtaposés sur le schéma.

Exemple de schéma d'un relais, en représentation assemblée :

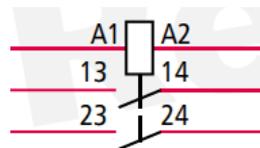


Figure III. 3 : Représentation assemblée d'un relais

Exemple de schéma de commande de l'allumage de trois lampes, en représentation assemblée:

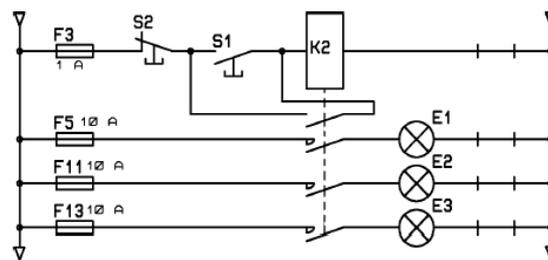


Figure III. 4 : Représentation assemblée de la commande de l'allumage de trois lampes

3.2.1.2 Représentation rangée

Les symboles des différents éléments d'un même appareil ou d'une même installation sont séparés et disposés de façon que l'on puisse tracer facilement les symboles des liaisons mécaniques entre différents éléments qui manœuvrent ensemble (la bobine K2 et ses contacts sont dessinés juxtaposés).

Exemple de schéma d'un bouton-poussoir, en représentation rangée :



Figure III. 5 : Représentation rangée d'un bouton-poussoir

Exemple de schéma d'allumage de trois lampes commandées, en représentation rangée :

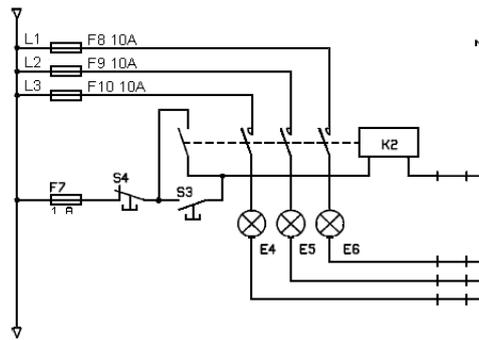


Figure III. 6 : Représentation rangée de l'allumage de trois lampes commandées

3.2.1.3 Représentation développée

Les symboles des différents éléments d'un même appareil ou d'une même installation sont séparés et disposés de manière que le tracé de chaque circuit puisse être facilement suivi. C'est la tendance actuelle dans tous les schémas de commandes.

Exemple de schéma d'une commande à contacteur, en représentation développée :

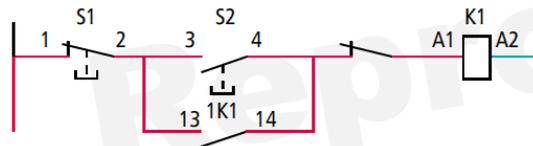


Figure III. 7 : Représentation développée d'une commande à contacteur

Exemple de schéma d'allumage de trois lampes commandées, en représentation développée :

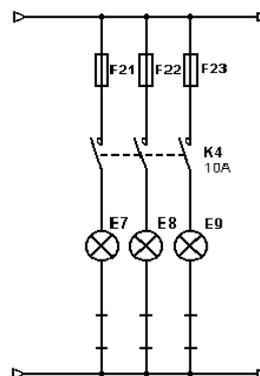


Figure III. 8 : Représentation développée de l'allumage de trois lampes commandées

3.2.1.4 Représentation groupée

Représentation dans laquelle un cadre entoure les symboles des éléments, ou lorsque les symboles des éléments, opérateurs logiques binaires, sont accolés.

Exemple de schéma de deux relais, en représentation groupée :

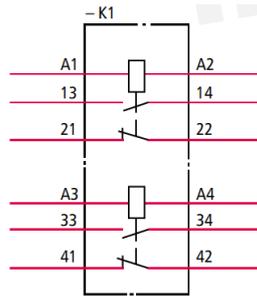


Figure III. 9 : Représentation groupée de deux relais

3.2.2 Élément de circuits

3.2.2.1 Représentation unifilaire

Deux ou plus de deux conducteurs sont représentés par un trait unique. On indique sur ce trait le nombre de conducteurs en parallèle. Cette représentation est surtout utilisée en triphasé.

Exemple de schéma unifilaire d'un tableau de répartition :

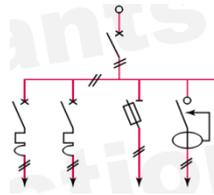


Figure III. 10 : Schéma unifilaire d'un tableau de répartition

Exemple de schéma unifilaire de démarrage direct d'un moteur triphasé (circuit de puissance):

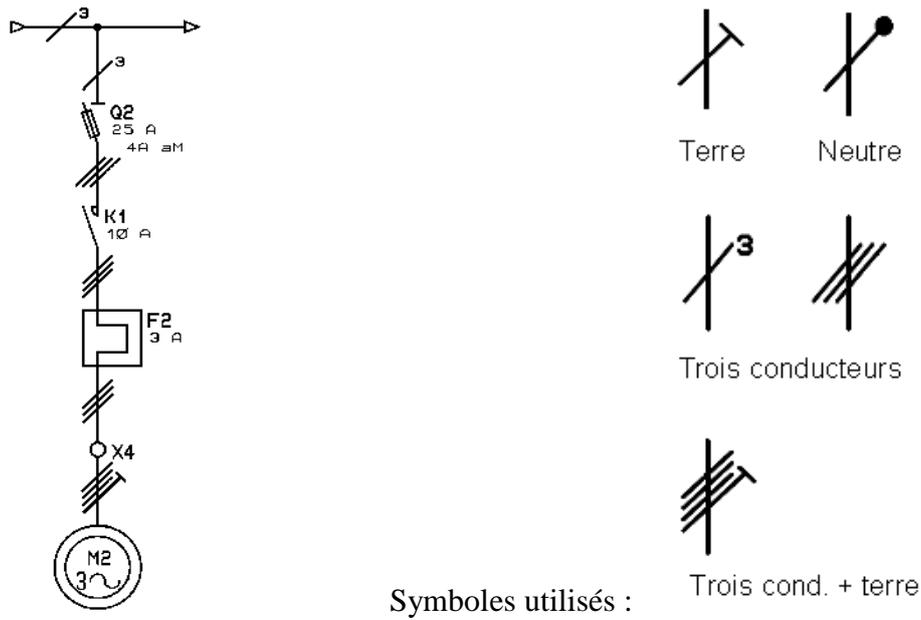


Figure III. 11 : Schéma unifilaire du circuit de puissance de démarrage direct d'un moteur triphasé

3.2.2.2 Représentation multifilaire

Chaque conducteur est représenté par un trait.

Exemple de schéma multifilaire de démarrage direct d'un moteur triphasé (circuit de puissance)

:

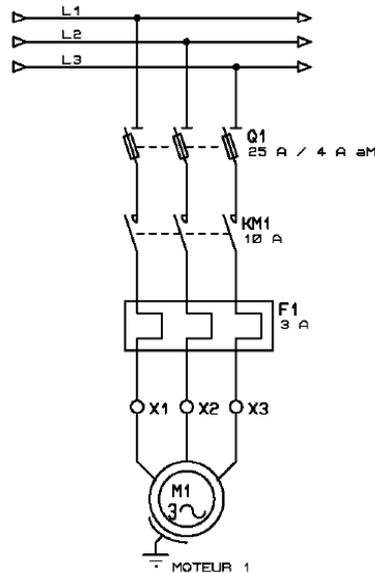


Figure III. 12 : Schéma multifilaire du circuit de puissance de démarrage direct d'un moteur triphasé

3.3 Classification des schémas

3.3.1 Documents orientés vers la fonction

3.3.1.1 Schéma d'ensemble

Schéma utilisant souvent la représentation unifilaire, montrant les principales relations ou connexions entre les éléments constituant un système, un équipement, ou une installation, ils sont appelés schémas blocs.

Exemple de schéma d'ensemble fonctionnel appelé aussi schéma-bloc :

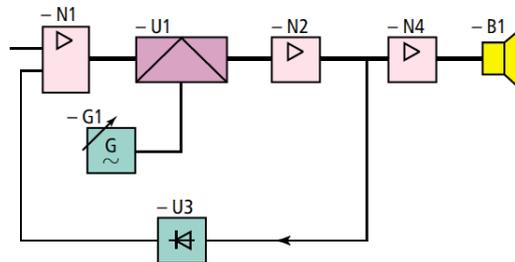


Figure III. 13 : Schéma d'ensemble fonctionnel

3.3.1.2 Carte de réseau

Schéma d'ensemble représentant un réseau sur une carte, par exemple des postes de transformation et lignes électriques. Les cartes réseaux sont surtout utilisées pour la distribution d'énergie. Sonalgaz représente tous ses réseaux, à base de cartes topographiques au 1 : 25 000 (4 cm = 1 km).

Exemple : Carte de réseau, ligne HT avec dérivation et poste HT/BT (400 V) :

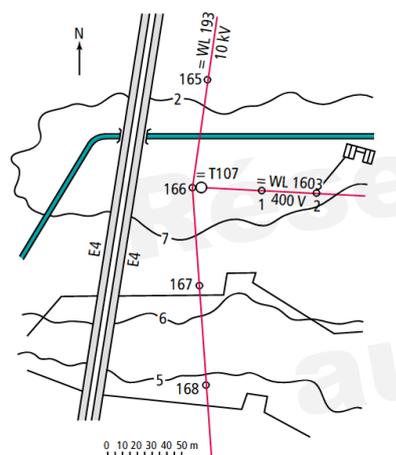


Figure III. 14 : Carte de réseau d'une ligne HT 10kV avec dérivation et poste HT/BT (10000/400V)

3.3.1.3 Schéma fonctionnel

Schéma représentant les détails du fonctionnement théorique d'un système, d'une installation, ou d'un équipement, sans tenir compte des moyens utilisés pour la réalisation. Exemple un schéma fonctionnel logique.

Exemple de schéma fonctionnel logique :

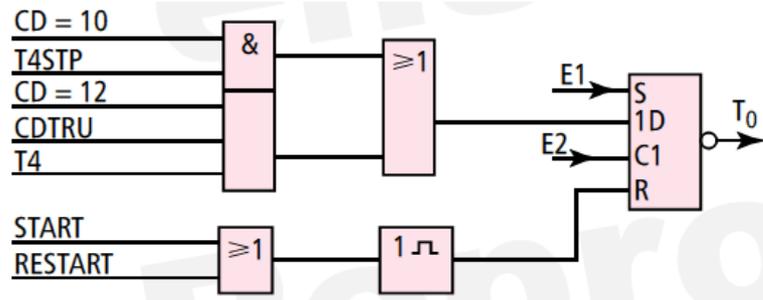


Figure III. 15 : Schéma fonctionnel logique

3.3.1.4 Schéma d'équivalence des circuits

Schéma fonctionnel représentant des circuits équivalents, qui sert d'aide pour l'analyse et le calcul des caractéristiques ou du comportement.

3.3.1.5 Les diagrammes

3.3.1.5.1 Diagramme fonctionnel

Il décrit les fonctions et le comportement d'un système de commande, utilisant des étapes et des transitions, par exemple le GRAFCET.

Exemple de diagramme fonctionnel ou GRAFCET :

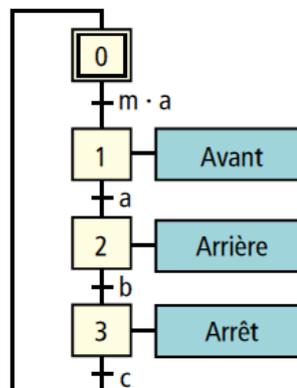


Figure III. 16 : Diagramme fonctionnel ou GRAFCET

3.3.1.5.2 Diagramme ou tableau de séquence

C'est un tableau représentant la succession des opérations ou l'état des appareils d'un système.

3.3.1.5.3 Diagramme de séquence-temps

Pour avoir une idée sur l'évolution temporelle, dans ce diagramme de séquence, l'axe des temps est tracé à l'échelle.

Exemple de diagramme séquence-temps :

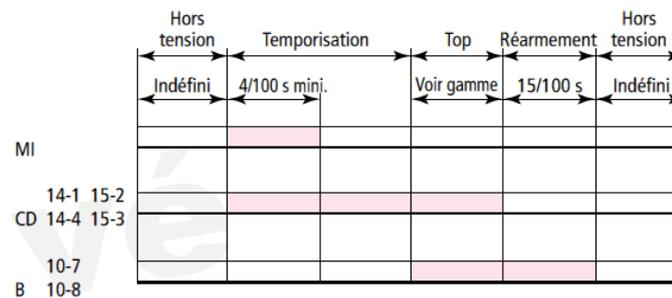


Figure III. 17 : Diagramme séquence-temps

3.3.1.5.4 Schéma des circuits

Schéma représentant la mise en œuvre des circuits d'un système, d'une installation, etc. Il décrit les parties et les connexions au moyen de symboles graphiques, mais sans tenir compte des dimensions physiques, des formes ou de l'emplacement des matériels.

3.3.2 Documents de disposition

3.3.2.1 Dessin ou plan d'installation (Représentation topographique)

C'est un schéma représentant l'emplacement et la disposition réelle des matériels et des différents composants d'une installation, dans l'espace.

Exemple de schéma architectural, plan ou schéma d'implantation d'une installation dans un bâtiment :

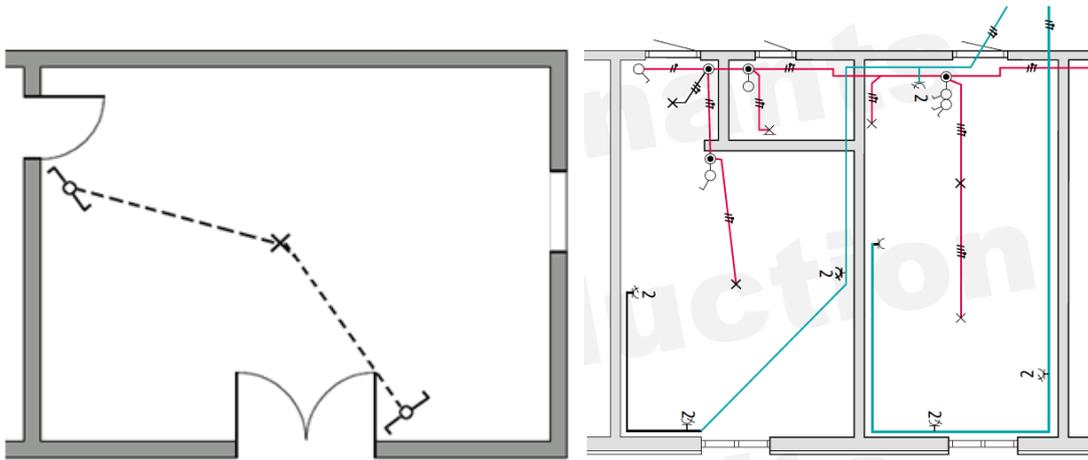


Figure III. 18 : Schéma architectural d'une installation dans un bâtiment

3.3.2.2 Autres plans

D'autres schémas sont utilisés pour représenter un plan de masse, un dessin de construction, un plan d'implantation des matériels pour donner la disposition du matériel électrique dans le système.

3.3.3 Documents de connexions (réalisation)

Destiné à guider la réalisation et la vérification des connexions d'une installation ou d'un équipement, ces connexions peuvent être intérieures à l'équipement ou extérieures aux différentes parties de l'équipement ou installation. Il s'agit essentiellement :

- Des schémas relatifs aux borniers, schémas des connexions, connexions intérieures et/ou extérieures ;
- Des tableaux ou listes des câbles.

Exemple de schéma des connexions intérieures :

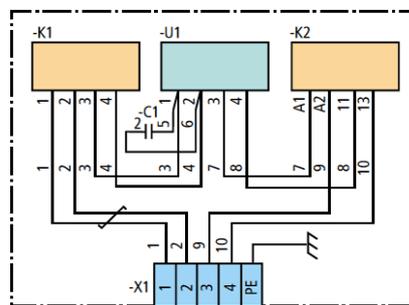


Figure III. 19 : Schéma des connexions intérieures d'une installation électrique

4. Repérage et identification

La complexité des installations électriques et leur étendue obligent à identifier tous les éléments. La norme C03-152 précise les règles qui permettent un repérage standard dans tous les schémas électriques, elle reste inchangée à ce jour.

4.1 Repère d'identification

C'est un ensemble de signes, de lettres et de chiffres placés à proximité d'un élément et qui permettent de situer cet élément dans une installation complexe.

Exemple:

= L 12 + B5 – K3A : 9
 = L 12 : local 12
 + B5 : ligne B, colonne numéro 5
 – K 3A : contacteur, numéro 3, auxiliaire
 : 9 : borne 9

Le repère d'identification comprend donc :

- Des signes distinctifs : = + – ;
- Des indications alphanumériques.

L'emplacement de chaque identification se décompose en quatre blocs d'information repérés par les signes distinctifs.

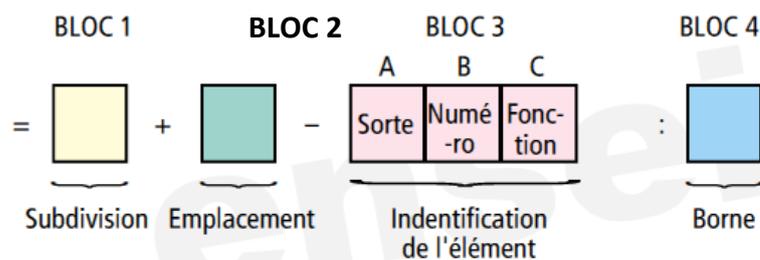


Figure III. 20 : Mode de repérage d'un élément dans une installation

4.1.1 Subdivision essentielle : bloc 1 (Symbole =)

Elle permet d'effectuer la relation entre un certain nombre d'éléments dispersés en précisant leur emplacement ou leur fonction dans l'équipement.

Exemple : Salle de commande; convoyeur.

4.1.2 Emplacement : bloc 2 (Symbole +)

Il permet de localiser rapidement un élément (relais, contacteur, moteur) parmi tous les autres de présentation analogue mais d'usage différent.

Ce symbole peut se présenter sous forme alphanumérique.

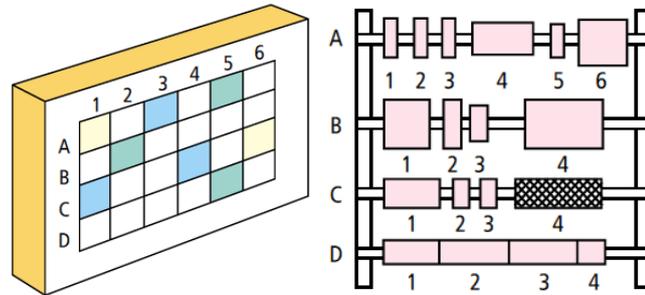


Figure III. 21 : Mode de localisation d'un élément

4.1.3 Identification de fonction : bloc 3 (Symbole –)

Ce bloc est composé de 3 parties (3A, 3B, 3C).

4.1.3.1 Partie 3A

Sorte d'élément concerné : les sortes d'éléments sont définies par le tableau donnant la signification des lettres A jusqu'à Z (tableau III.1).

Exemple : K, contacteur

4.1.3.2 Partie 3B

Numéro de l'élément concerné, de 1 à n.

Exemple : K3 indique qu'il s'agit du contacteur numéro 3.

4.1.3.3 Partie 3C

Fonction de l'élément concerné (tableau III.2) : la diversité des fonctions rend impossible la création d'un code complet.

Exemple : K3A indique la fonction auxiliaire.

Remarque 1 : La tendance est de préciser la sorte d'élément par une deuxième lettre.

Exemple :

- KM : Contacteur moteur ;
- KA : Contacteur auxiliaire ;
- FU : Fusible ;
- FT : Relais thermique.

Ce qui élimine la dernière lettre de fonction (tableau III.2).

Remarque 2 : Dans les équipements simples, on ne peut conserver que les parties 3A et 3B.

Exemple : Contacteur K3A ou KA3

4.2 Identification des éléments

4.2.1 Définition

On désigne par élément un tout indissociable, par exemple un contacteur, un sectionneur ou un bouton-poussoir.

4.2.2 Principe de l'identification

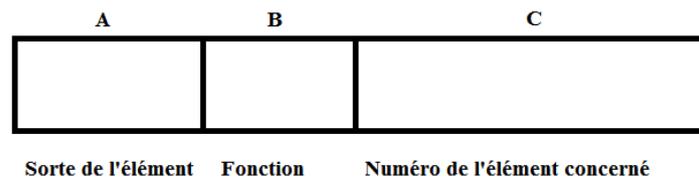


Figure III. 22 : Principe de l'identification d'un élément

4.2.2.1 Identification de la sorte d'élément

Les éléments sont identifiés à l'aide de lettre repère (sur la partie A).

Exemples :

Une bobine de contacteur : K

Un bouton poussoir : S.

Tableau III. 1 : Lettres repères pour l'identification des sortes d'éléments

Repère	Sorte d'élément	Exemple
A	Ensemble ou sous-ensemble fonctionnel	Amplificateur
B	Transducteur d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique ou vice versa	Couple thermoélectrique, cellule photo-électrique...
C	Condensateurs	
D	Opérateur binaire, dispositifs de temporisation ou de mise en mémoire	Opérateur combinatoire, ligne à retard, bascule bistable, monostable, mémoire magnétique...

E	Matériel divers	Éclairage, chauffage, éléments non spécifiés dans ce tableau.
F	Dispositifs de protection	Coupe-circuit, limiteur de surtension, parafoudre...
G	Générateurs (dispositifs d'alimentation)	Génératrice, alternateur, batterie
H	Dispositifs de signalisation	Avertisseur lumineux ou sonores.
K	Relais et contacteurs	
L	Inductances	Bobine d'induction, bobine de blocage.
M	Moteurs	
P	Instrument de mesure, dispositifs d'essai.	Appareil indicateur, appareil enregistreur.
Q	Appareils mécaniques de connexion pour circuit de puissance.	Disjoncteur, sectionneur.
R	Résistances	Potentiomètre, rhéostat, shunt, thermistance.
S	Appareils mécaniques de connexion pour circuit de commande.	Boutons poussoirs, interrupteur fin de course, sélecteur...
T	transformateur	
U	Modulateur, convertisseur.	Convertisseur de fréquence, convertisseur redresseur, onduleur autonome.
X	Bornes, fiches, socles.	
Y	Appareils mécaniques actionnés électriquement.	Frein, embrayage, électrovalve pneumatique.

4.2.2.2 Identification de la fonction de l'élément

Le repère choisi doit commencer par une lettre (partie B) qui peut être suivie des lettres et/ou chiffres complémentaires nécessaires (partie C). Le code utilisé doit être explicite.

Exemple : La protection par relais thermique F1 pourra être identifiée fonctionnellement par Rth1. (KA1 pour un contacteur auxiliaire ; KM2 ...).

Tableau III. 2 : Repères d'identification fonctionnelle

Repère fonctionnel	Légende	Repère fonctionnel	Légende
AL	Alarme	FE	Fermeture
Auto	Automatique (mode)	FR	Freinage
AR	Arrière	GA	Gauche
AT	Arrêt	GV	Grande vitesse
AV	Avant	HA	Haut
BA	Bas	HS	Hors service
CA	Courant alternatif	I	Courant
CC	Courant continu	L	Ligne d'alimentation
D	Triangle (couplage)	MA	Marche
Dcy	Départ cycle	Manu	Manuel (mode)
DE	Descente	MI	Minimum
DM	Démarrage	MO	Montée

DR	Droite	MX	Maximum
EA	Eau	NO	Normal
ES	En service	OU	Ouverture
EX	Excitation	P	Puissance
FC	Fin de course	PV	vitesse
+	Augmentation	SY	Synchronisation
-	Diminution	U	Tension
INC	Incrémentation	Y	Étoile (couplage)
DEC	Décrémentation	W	Vitesse angulaire

4.3 Identification des bornes d'appareils

Il est fondé sur une notation alphanumérique employant des lettres majuscules et des chiffres arabes.

Les lettres I et O ne doivent pas être utilisées (pour éviter les confusions I 1 et O 0).

4.3.1 Principe de marquage pour les bornes

4.3.1.1 Pour un élément simple

Les deux extrémités d'un élément simple sont distinguées par des nombres de référence successifs, par exemple 1 et 2.

S'il existe des points intermédiaires à cet élément, on les distingue par des nombres supérieurs en ordre normalement croissant à ceux des extrémités.

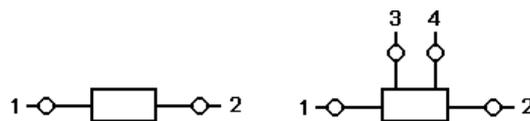


Figure III. 23 : Marquage des bornes d'un élément simple

4.3.1.2 Pour un groupe d'élément

Pour un groupe d'éléments semblables, les extrémités des éléments seront désignées par des lettres de référence qui précéderont les nombres de référence indiqués auparavant.

Exemple : U, V, W pour les phases d'un système alternatif triphasé.

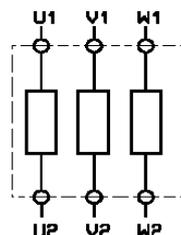


Figure III. 24 : Marquage des bornes d'un groupe d'élément

4.3.1.3 Pour plusieurs groupes semblables

Pour plusieurs groupes semblables d'éléments ayant les mêmes lettres de référence, on les distingue par un préfixe numérique devant les lettres de référence.

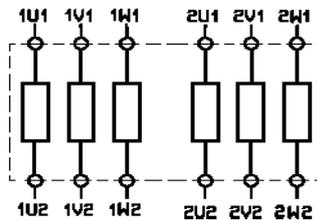


Figure III. 25 : Marquage des bornes d'un ensemble de groupe semblable

4.3.1.4 Lettres de référence

Les lettres de référence seront choisies :

- En courant continu dans la première partie de l'alphabet ;
- En courant alternatif dans la seconde partie de l'alphabet.

4.3.2 Principe de marquage des contacts

4.3.2.1 Contacts principaux

Les bornes sont repérées par un seul chiffre de 1 à 6 (tripolaire), de 1 à 8 (tétrapolaire).

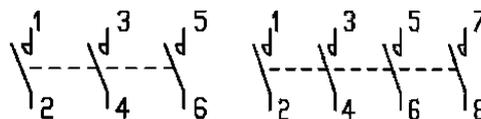


Figure III. 26 : Mode de marquage des contacts principaux

4.3.2.2 Contacts auxiliaires

Ils sont repérés par un nombre de deux chiffres. Le chiffre des unités indique la fonction du contact.

- 1-2, contact à ouverture ;
- 3-4, contact à fermeture ;
- 5-6, 7-8, contact à fonctionnement spécial.

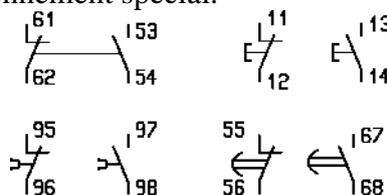


Figure III. 27 : Mode de marquage des contacts auxiliaires

Le chiffre des dizaines indique le numéro d'ordre de chaque contact auxiliaire de l'appareil.

4.3.2.3 Organe de commande

On utilise A1 et A2. Pour deux enroulements (ex : relais bistable) on utilisera A1-A2 et B1-B2.

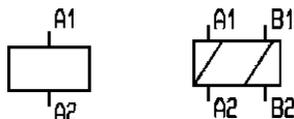


Figure III. 28 : Mode de marquage des organes de commande

4.3.2.4 Marquages particuliers

Ils concernent les bornes raccordées à des conducteurs bien définis, voir tableau suivant :

Tableau III. 3 : Marquages particuliers des bornes d'appareil

Bornes d'appareil pour	Marquage		
	Notation alphanumérique	Symbole graphique	
Système alternatif	Phase 1	U	
	Phase 2	V	
	Phase 3	W	
	Neutre	N	
Conducteur de protection	PE		
Terre	E		
Terre sans bruit	TE		
Masse (platine, châssis)	MM		

4.4 Repérage des conducteurs sur les schémas

Le repérage individuel des conducteurs est généralement nécessaire pour un schéma des connexions, pour un schéma explicatif détaillé et pour un schéma général des connexions.

Le repérage peut être fixé lors de l'étude du schéma ou dans les cas simples, choisi lors de la pose des conducteurs ; on doit alors reporter les repères sur le schéma ou sur un document annexe.

4.4.1 Repérage dépendant

Le repère du conducteur reproduit les marques des bornes ou des équipements auxquelles les deux extrémités de ce conducteur doivent être raccordées.

4.4.2 Repérage indépendant

Il utilise le même repère généralement simple tout le long du conducteur. Généralement un schéma ou un tableau de connexions doit être employé.

4.4.3 Repérages particuliers

Le tableau ci-dessous donne les marquages des conducteurs particuliers.

Tableau III. 4 : Marquages particuliers des conducteurs

Désignation des conducteurs	Marquage		
	Notation alphanumérique	Symbole graphique	
Système d'alimentation alternatif	Phase 1	L1	
	Phase 2	L2	
	Phase 3	L3	
	Neutre	N	
Système continu	Positif	L+	+
	Négatif	L-	-
	Médian	M	
Conducteur de protection	PE		
Conducteur de protection non mis à la terre	PU		
Conducteur de protection et conducteur neutre confondus	PEN		
Terre	E		
Terre sans bruit	TE		

CHAPITRE IV :
QUELQUES APPLICATIONS DOMESTIQUES ET
INDUSTRIELLES

1. Installations domestiques

1.1 Simple allumage

1.1.1 But

Il permet d'allumer ou d'éteindre un point lumineux en un seul point d'allumage.

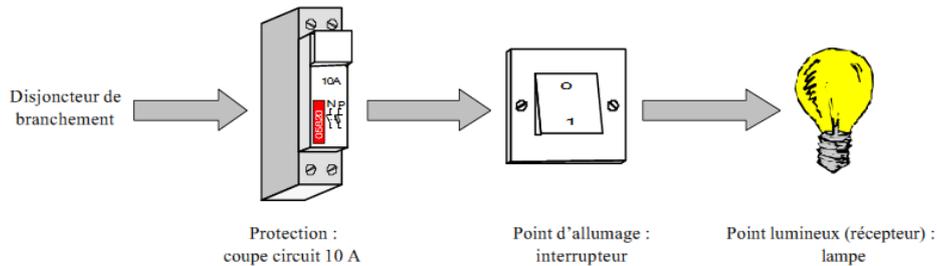


Figure IV. 1 : Éléments de réalisation d'un simple allumage

1.1.2 Schéma développé



Figure IV. 2 : Schéma développé d'un simple allumage

1.1.3 Schéma architectural ou d'implantation

Il permet de donner l'emplacement des éléments du schéma développé à l'intérieur de la pièce concernée.

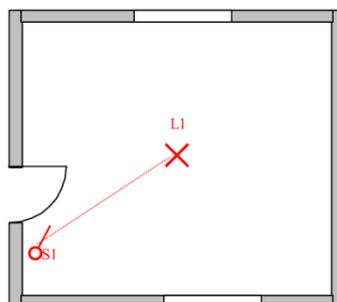


Figure IV. 3 : Schéma architectural d'un simple allumage

1.1.4 Schéma unifilaire

Il permet de donner l'emplacement des conduits dans lesquels il y aura les conducteurs.

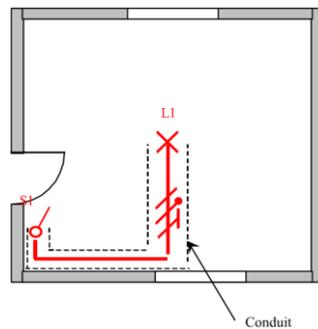


Figure IV. 4 : Schéma unifilaire d'un simple allumage

1.1.5 Schéma multifilaire

Il correspond au schéma de câblage.

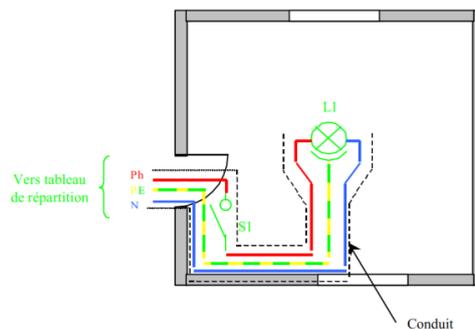


Figure IV. 5 : Schéma multifilaire d'un simple allumage

1.2 Double allumage

1.2.1 But

Il permet d'allumer ou d'éteindre ensemble ou séparément et d'un seul endroit le ou les points lumineux.

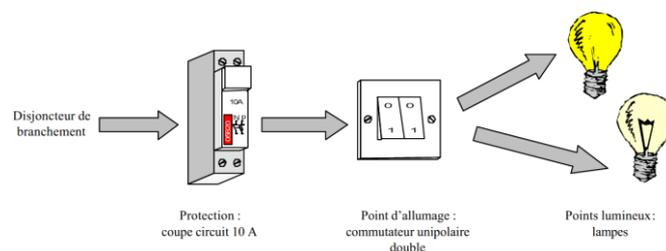


Figure IV. 6 : Éléments de réalisation d'un double allumage

1.2.2 Schéma développé



Figure IV. 7 : Schéma développé d'un double allumage

1.2.3 Schéma architectural

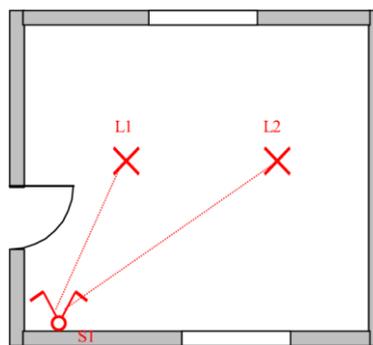


Figure IV. 8 : Schéma architectural d'un double allumage

1.3 Va-et-vient

1.3.1 But

Il commande l'allumage et l'extinction de point(s) lumineux de deux endroits différents.

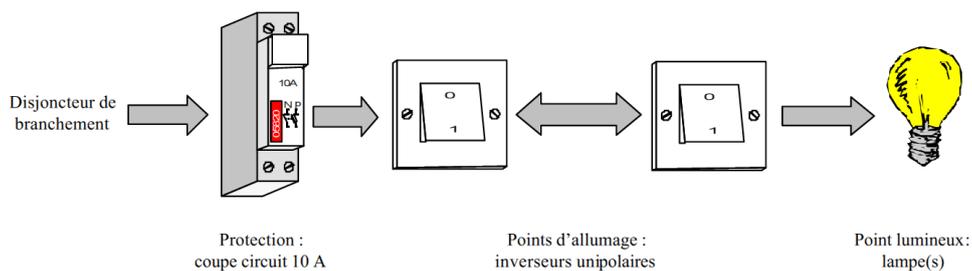


Figure IV. 9 : Éléments de réalisation d'un va et vient

1.3.2 Schéma développé

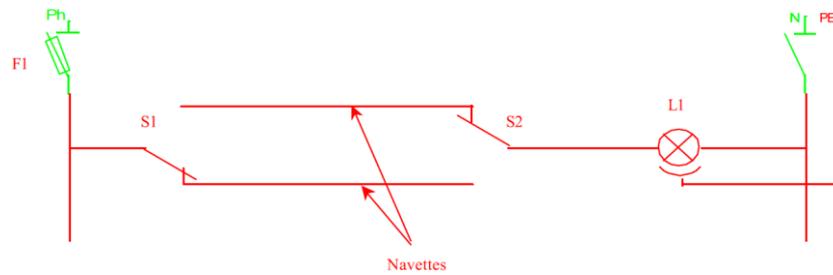


Figure IV. 10 : Schéma développé d'un va et vient

1.3.3 Schéma architectural

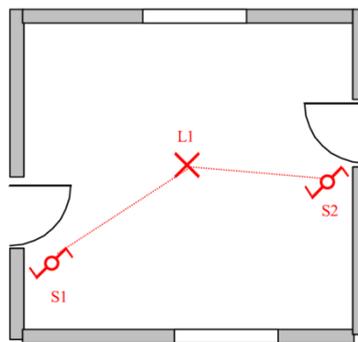


Figure IV. 11 : Schéma architectural d'un va et vient

1.4 Prise

1.4.1 But

Elle permet un raccordement électrique d'appareils mobiles.

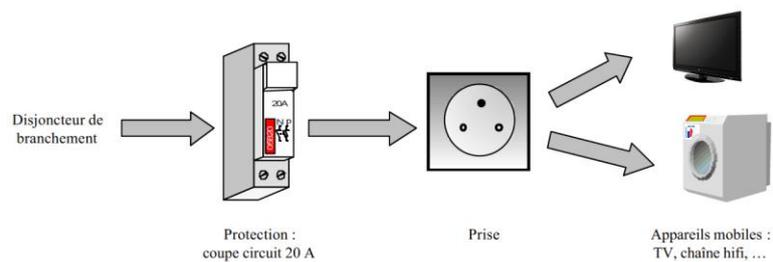


Figure IV. 12 : Éléments de réalisation d'un raccordement électrique d'appareils mobiles

1.4.2 Schéma développé



Figure IV. 13 : Schéma développé d'un raccordement électrique d'appareils mobiles

1.5 Prise commandée

1.5.1 But

Elle est destinée à alimenter des appareils d'éclairages mobiles.

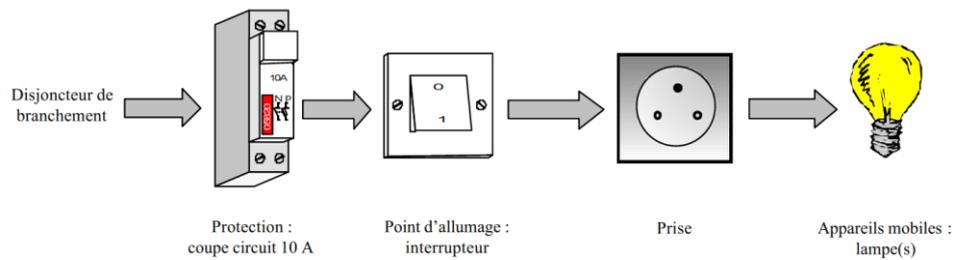


Figure IV. 14 : Éléments de réalisation d'un raccordement électrique d'appareils d'éclairage mobiles via une prise commandée

1.5.2 Schéma développé



Figure IV. 15 : Schéma développé d'un raccordement électrique d'appareils d'éclairage mobiles via une prise commandée

1.5.3 Schéma architectural

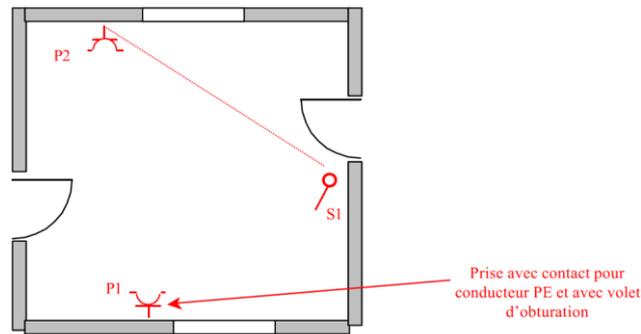


Figure IV. 16 : Schéma architectural d'un raccordement électrique d'appareils d'éclairage mobiles via une prise commandée

1.6 Télérupteur

1.6.1 But

On installe un télérupteur lorsque l'on dispose d'au moins de trois points d'allumage pour l'allumage de points lumineux. Exemple : couloir.

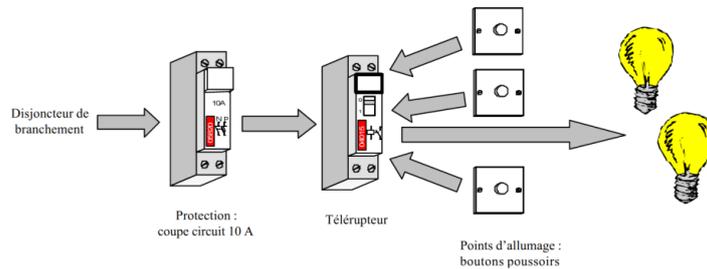


Figure IV. 17 : Éléments de réalisation de plus de deux points d'allumage par télérupteur

1.6.2 Fonctionnement

Une impulsion sur l'un des points d'allumage (bouton poussoir) permet la mise sous tension des points lumineux. Une nouvelle impulsion sur l'un des points d'allumage permet d'éteindre les points lumineux.

1.6.3 Schéma développé

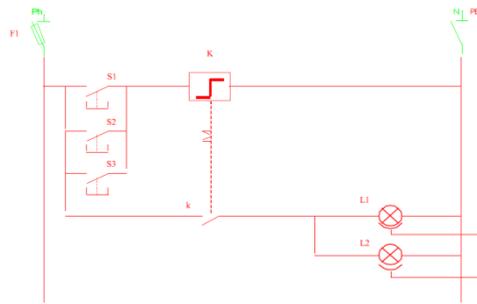


Figure IV. 18 : Schéma développé d'allumage par télérupteur

1.6.4 Schéma architectural

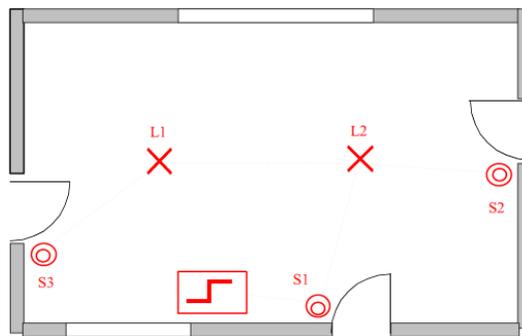


Figure IV. 19 : Schéma architectural d'allumage par télérupteur

1.7 Minuterie

1.7.1 But

On installe une minuterie lorsque l'on désire une extinction automatique d'un ou de plusieurs points lumineux.

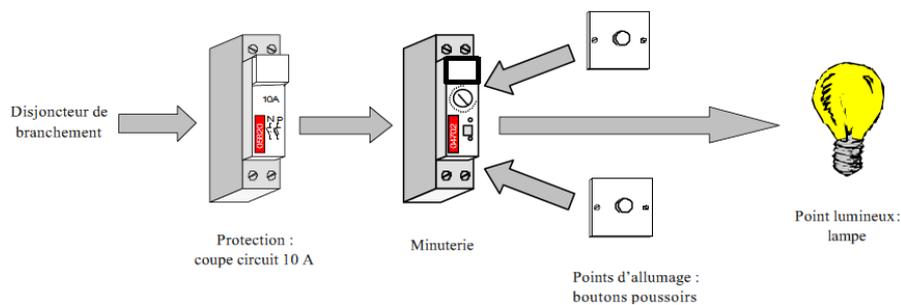


Figure IV. 20 : Éléments de réalisation d'une extinction automatisée

1.7.2 Fonctionnement

Une impulsion sur un des points d'allumage (bouton poussoir) permet la mise sous tension d'un ou de plusieurs points lumineux pendant un temps t prédéterminé. L'extinction du ou des points lumineux est automatique.

1.7.3 Schéma développé sans effet

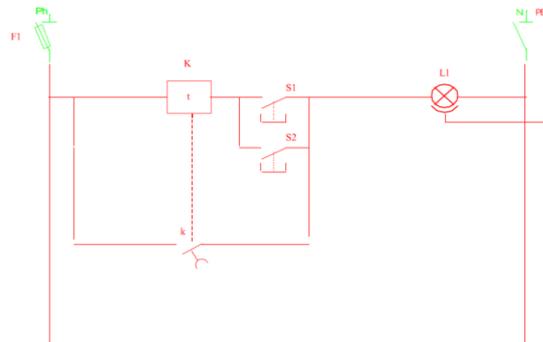


Figure IV. 21 : Schéma développé d'une extinction sans effet de la minuterie

1.7.4 Schéma développé avec effet

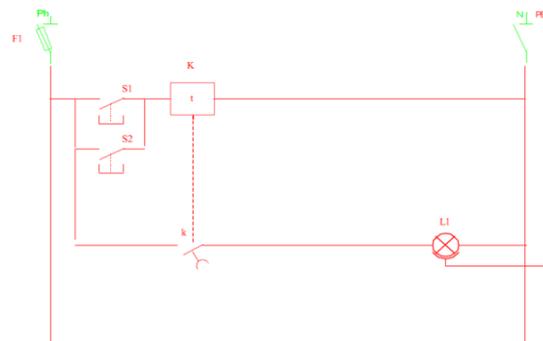


Figure IV. 22 : Schéma développé d'une extinction avec effet de la minuterie

1.7.5 Schéma architectural

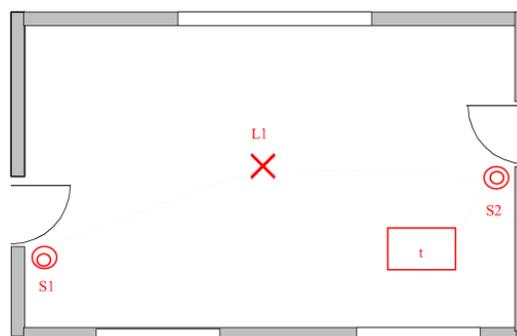


Figure IV. 23 : Schéma architectural d'une extinction automatisée

2. Procédés de démarrage des moteurs asynchrones triphasés

Si l'installation peut supporter l'appel de courant à la mise sous tension du moteur, celui-ci peut être directement couplé sur le réseau ; il démarre sur ses caractéristiques naturelles. Dans le cas contraire, le courant de démarrage doit être limité. Pour cela, on peut agir, pendant la durée du démarrage, sur l'une des deux grandeurs suivantes :

- La tension d'alimentation du moteur (qu'il faudra réduire) ;
- La résistance des enroulements rotorique (qu'il faudra augmenter).

2.1 Protection d'un départ moteur

L'alimentation d'un moteur exige d'appliquer les règles relatives à la protection des matériels. Chaque départ moteur doit assurer les fonctions de :

- Sectionnement ;
- Commande ;
- Protection contre les surcharges ;
- Protection contre les courts-circuits.

Selon l'appareillage utilisé, on distingue trois types de solutions d'alimentation des départs moteurs.

Type 1 : solution avec sectionneur à fusibles, et contacteur :



Figure IV. 24 : Solution traditionnelle : sectionneur avec fusibles et relais thermique avec contacteur

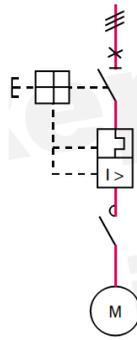
Type 2 : solution avec disjoncteur sectionneur, et contacteur :

Figure IV. 25 : Solution standard : sectionneur, disjoncteur plus contacteur

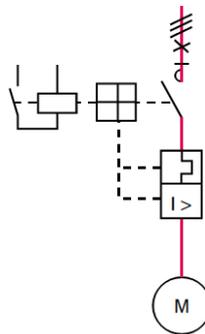
Type 3 : solution avec disjoncteur-contacteur assurant aussi la fonction sectionneur :

Figure IV. 26 : Solution performance : appareils multifonction. Sectionneur-disjoncteur-contacteur

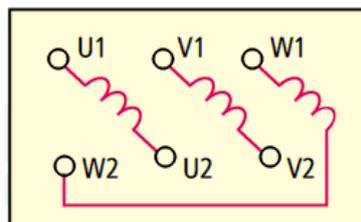
2.2 Couplages d'un moteur triphasé

Figure IV. 27 : Plaque à bornes

La plaque à bornes d'un moteur triphasé est représentée, le couplage des enroulements peut s'effectuer selon la tension du réseau (230/400 V) :

En étoile :

La tension du réseau est la plus élevée.

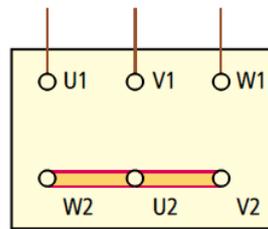


Figure IV. 28 : Couplage étoile

En triangle :

La tension du réseau correspond à la tension supportée par un enroulement.

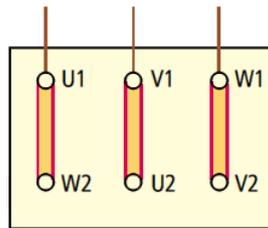


Figure IV. 29 : Couplage triangle

2.3 Symboles fonctionnels de démarreurs de moteurs

Le schéma fonctionnel est un schéma simplifié du schéma de puissance et de commande. Soit le schéma fonctionnel ci-dessous, du démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé et à deux sens de marche :

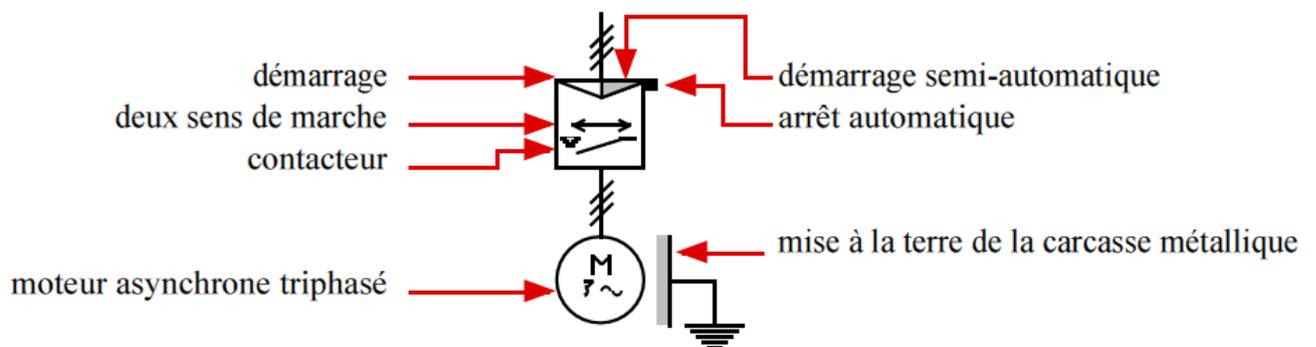


Figure IV. 30 : Schéma fonctionnel, démarreur direct deux sens de marche

Liste des symboles fonctionnels :

Tableau IV. 1 : Liste des symboles fonctionnels

Démarreur, symbole général	
Démarreur opérant par échelons	
Démarreur régleur (variateur)	
Démarreur avec mise à l'arrêt automatique	
Démarreur direct par contacteur pour deux sens de marche	
Démarreur étoile-triangle	
Démarreur par auto-transformateur	
Démarreur régleur par thyristor	
Démarreur automatique, symbole général	
Démarreur semi-auto, symbole général	

2.4 Démarrage direct

C'est le mode de démarrage le plus simple. Le moteur démarre sur ces caractéristiques naturelles. Au démarrage, le moteur se comporte comme un transformateur dont le secondaire (rotor) est presque en court-circuit, d'où l'intensité du courant de démarrage est à sa valeur maximale (5 à 8 fois le courant nominal).

Ce type de démarrage est appliqué dans le cas où la puissance du moteur est relativement faible devant celle du réseau.

2.4.1 Schémas de raccordement

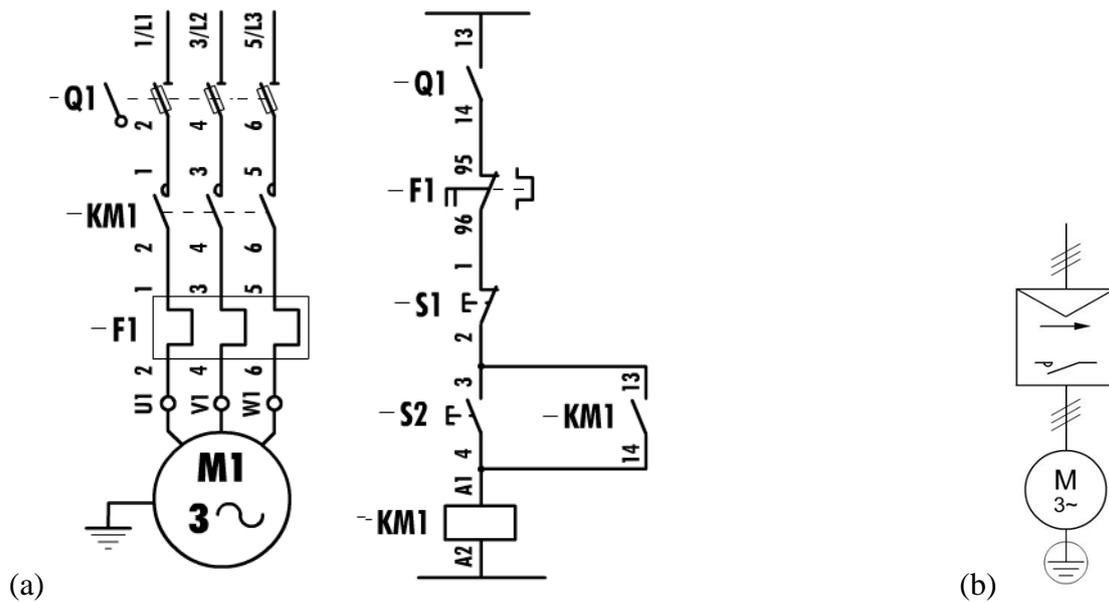


Figure IV. 31 : (a) : Schéma de puissance et de commande du démarrage direct d'un moteur asynchrone, (b) : Schéma fonctionnel

2.4.2 Fonctionnement

Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1, mise sous tension du moteur

Circuit de commande :

- Impulsion sur S2
- Excitation du KM1
- Auto maintien du contact 13-14 du KM1

Arrêt :

- Par impulsion sur S1
- Par déclenchement de relais de protection, contact 95-96
- Par fusion du fusible

Protection :

- Par fusible de type aM, contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges

2.4.3 Caractéristiques de démarrage

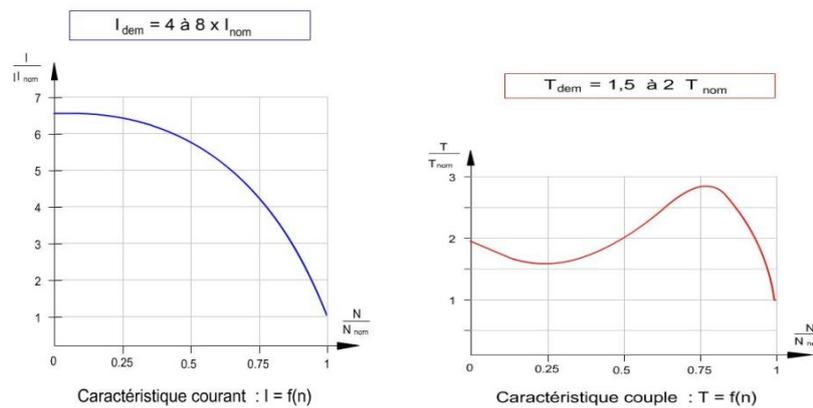


Figure IV. 32 : Courbe caractéristique de l'intensité du courant et le couple électromagnétique en fonction de la vitesse de rotation du démarrage direct

Ces courbes indiquent la variation du couple et du courant du moteur pour ce type de démarrage.

Bien que le démarrage direct présente certains avantages, tels que la simplicité de l'appareillage, le démarrage rapide et le coût faible, il reste que ce mode de démarrage (direct) ne convient que dans les cas suivants :

- La puissance du moteur est faible par rapport à la puissance du réseau (dimension du câble) ;
- La machine à entrainer ne nécessite pas de mise en rotation progressive et peut accepter une mise en rotation rapide ;
- Le couple de démarrage doit être élevé.

2.4.4 Avantages et inconvénients

Avantages :

- Simplicité du branchement de l'appareillage.
- Temps du démarrage minimal pour un moteur à cage.

Inconvénients :

- Appel de courant très important au démarrage.
- Couple relativement élevé, la puissance absorbée est en grande partie réactive.

2.5 Inversion du sens de marche

On commande deux contacteurs avec inversion de deux phases.

2.5.1 Schémas de raccordement

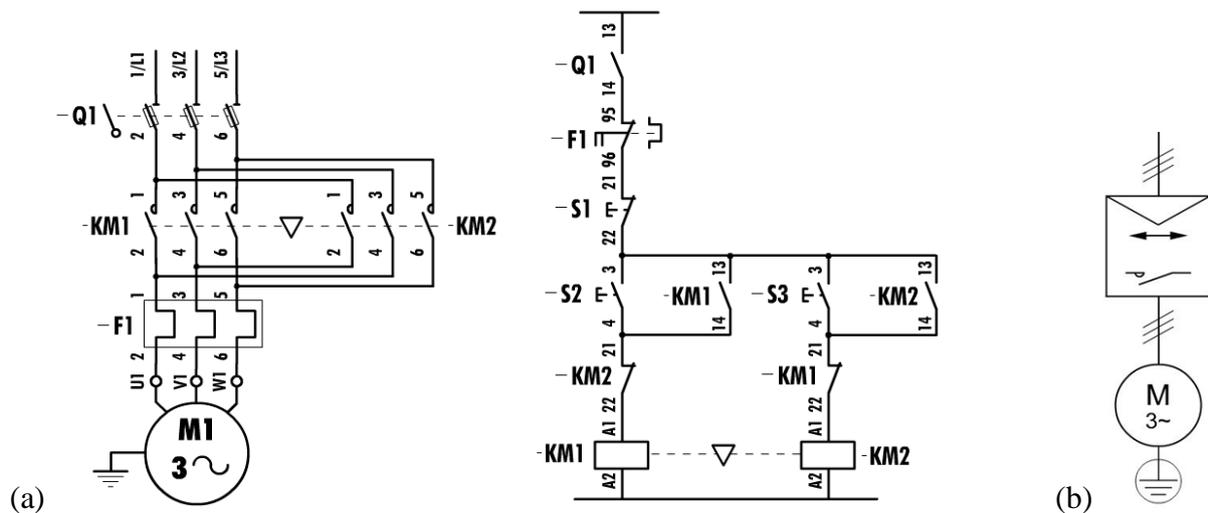


Figure IV. 33 : (a) : Schéma de puissance et de commande de l'inversion du sens de marche d'un moteur asynchrone, (b) : Schéma fonctionnel

2.5.2 Fonctionnement

Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1, mise sous tension du moteur et 1er sens de rotation
- Ouverture du KM1, arrêt du moteur
- Fermeture de KM2, mise sous tension du moteur et 2eme sens de rotation

Circuit de commande :

- Impulsion sur S2
- Excitation du KM1, 1er sens de rotation
- Auto maintien du contact 13-14 du KM1
- Impulsion sur S1
- Désexcitation du KM1
- Ouverture du contact 13-14 du KM1, arrêt du moteur
- Impulsion sur S3
- Excitation du KM2, 2eme sens de rotation
- Auto maintien du contact 13-14 du KM2

Arrêt :

- Par impulsion sur S1
- Par déclenchement du relais de protection, contact 95-96
- Par fusion du fusible

Protection :

- Par fusible de type aM, contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges
- Un verrouillage électrique par deux contacts auxiliaires, contact 21-22 du KM1 et contact 21-22 du KM2)

2.6 Démarrage étoile-triangle

L'intérêt du démarrage étoile réside dans le fait que sous ce couplage (en étoile), chaque enroulement est alimenté par une tension de $\sqrt{3}$ fois plus faible, ce qui implique que le courant et le couple sont réduits à des valeurs divisées par 3.

Lorsque les caractéristiques du courant ou du couple sont admissibles, on bascule vers un couplage triangle. Le passage du couplage étoile au couplage triangle n'étant pas instantané, le courant est coupé pendant 30 à 50 ms environ. Cette coupure du courant provoque une démagnétisation du circuit magnétique. Lors de la fermeture du contacteur triangle, une pointe brève mais importante du courant réapparaît (magnétisation du moteur).

Ce démarrage ne peut s'appliquer qu'aux moteurs dont les deux extrémités des trois enroulements du stator sont accessibles sur la plaque à bornes et dont la tension statorique en couplage triangle correspond à la tension du réseau.

Ce procédé consiste à démarrer le moteur en connectant ses enroulements, d'abord, en étoile, de sorte que ces derniers soient alimentés sous une tension égale à la tension du réseau divisée par $\sqrt{3}$. Cette tension est constante pendant toute cette 1^{ère} phase de démarrage. Le couple sera alors réduit d'un facteur 3 (en raison de sa proportionnalité au carré de la tension : $C_d \# (U/\sqrt{3})^2$). Le couple de démarrage est dans ce cas égal au tiers du couple fourni par un moteur démarrant en direct. Le courant dans la ligne d'alimentation est réduit dans la même proportion.

Le démarrage étoile-triangle convient bien aux machines démarrant à vide ou à couple résistant faible.

Dans un second temps, après la suppression du couplage étoile par basculement sur le montage triangle, chaque enroulement est alors alimenté sous la pleine tension du réseau ; le moteur rejoint ses caractéristiques naturelles.

Au-delà d'une certaine puissance, il est conseillé soit de renoncer au démarrage Y- Δ , soit d'utiliser une variante permettant de limiter les phénomènes transitoires.

Parmi ces variantes on trouve :

- étoile-triangle avec temporisation au passage Y- Δ ;
- démarrage en trois temps : Y- Δ + résistance- Δ .

2.6.1 Schéma de raccordement

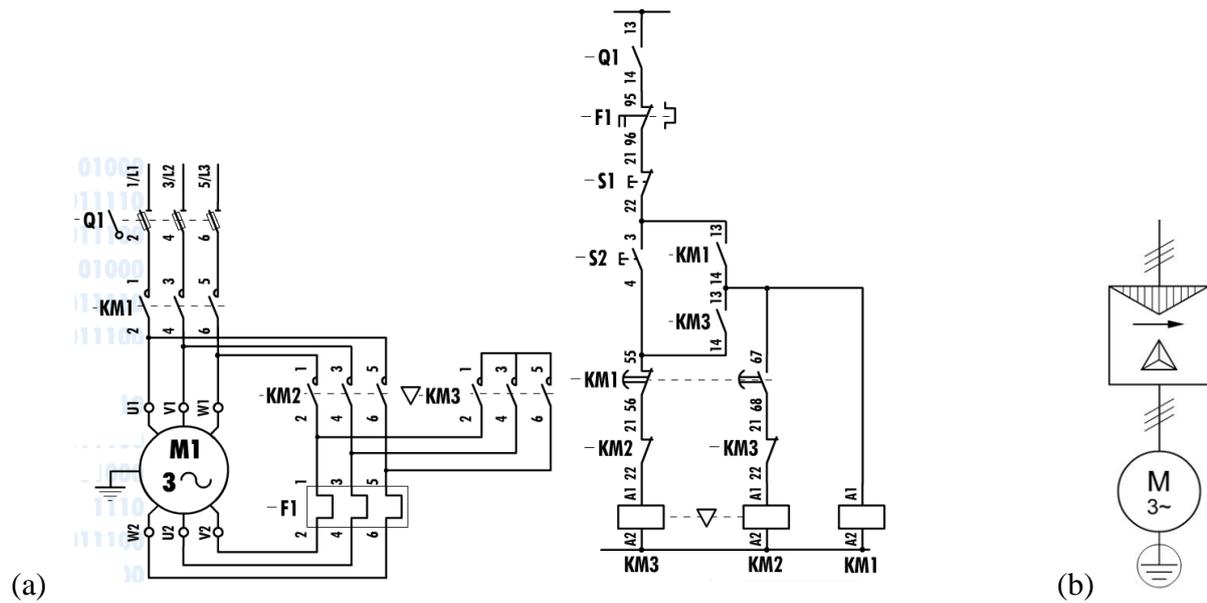


Figure IV. 34 : (a) : Schéma de puissance et de commande d'un démarrage étoile-triangle d'un moteur asynchrone, (b) : Schéma fonctionnel

2.6.2 Fonctionnement

Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1
- Fermeture de KM3
- Ouverture de KM3
- Fermeture de KM2

Circuit de commande :

- Impulsion sur S2
- Commutation de KM3 (couplage étoile), fermeture du contact 13-14 du KM3
- Alimentation du moteur par KM1, fermeture du contact 13-14 du KM1
- Déclenchement retardé des contacts auxiliaires (55-56 et 67-68) de KM1 :
Ouverture du contact 55-56, puis fermeture du contact 67-68
- Commutation de KM2 (couplage triangle) et l'arrêt de KM3 par l'ouverture du contact 21-22 de KM2

Arrêt :

- Par impulsion sur S1
- Par déclenchement du relais de protection, contact 95-96
- Par fusion du fusible

Protection :

- Par fusible de type aM, contre les courts-circuits incorporés au sectionneur
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées
- Un verrouillage mécanique entre le contacteur KM1 et KM2 pour éviter le court-circuit
- Un verrouillage électrique par deux contacts auxiliaires, l'un pour la branche étoile et l'autre pour la branche triangle (contact 21-22 du KM2 et KM3)

2.6.3 Caractéristiques de démarrage

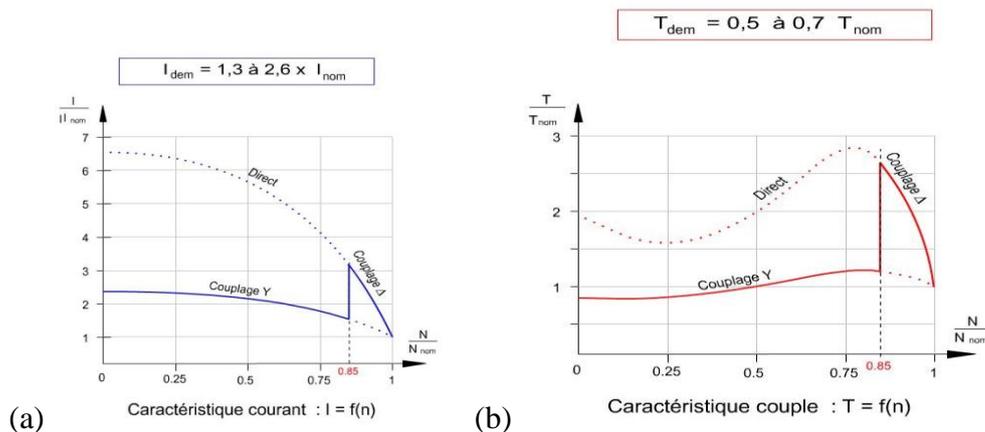


Figure IV. 35 : Courbe caractéristique de l'intensité du courant (a) et du couple électromagnétique (b)

2.6.4 Avantages et inconvénients

Avantages :

- Appel du courant en étoile réduit au tiers de sa valeur en direct ;
- Simplicité de branchement d'appareillage.

Inconvénients :

- Couple réduit au tiers de sa valeur en direct ;
- Coupure entre les positions étoile et triangle d'où l'apparition de phénomène transitoire.

2.7 Démarrage statorique

Ce mode de démarrage présente des caractéristiques comparables à celles du démarrage étoile-triangle. Cependant, il n'y a pas de coupure de l'alimentation du moteur entre le 1^{er} et le 2^{ème} temps de démarrage, comme c'est le cas lors du basculement du couplage étoile à triangle. Le démarrage statorique consiste à mettre en série temporaire un ou plusieurs groupes de résistances additionnelles avec le stator.

Ce démarreur peut être associé au dispositif du démarrage étoile-triangle. On démarre le moteur en étoile, puis on le fait passer en couplage triangle avec association de résistances en série, et enfin on court-circuite les résistances pour terminer en couplage triangle direct.

Ce procédé de démarrage convient aux machines dont le couple de démarrage est plus faible que le couple nominal C_n . Le couple maximum délivré par le moteur étant proportionnel au carré de la tension d'alimentation, toute diminution de celle-ci entraîne une diminution du couple moteur.

2.7.1 Schémas de raccordement

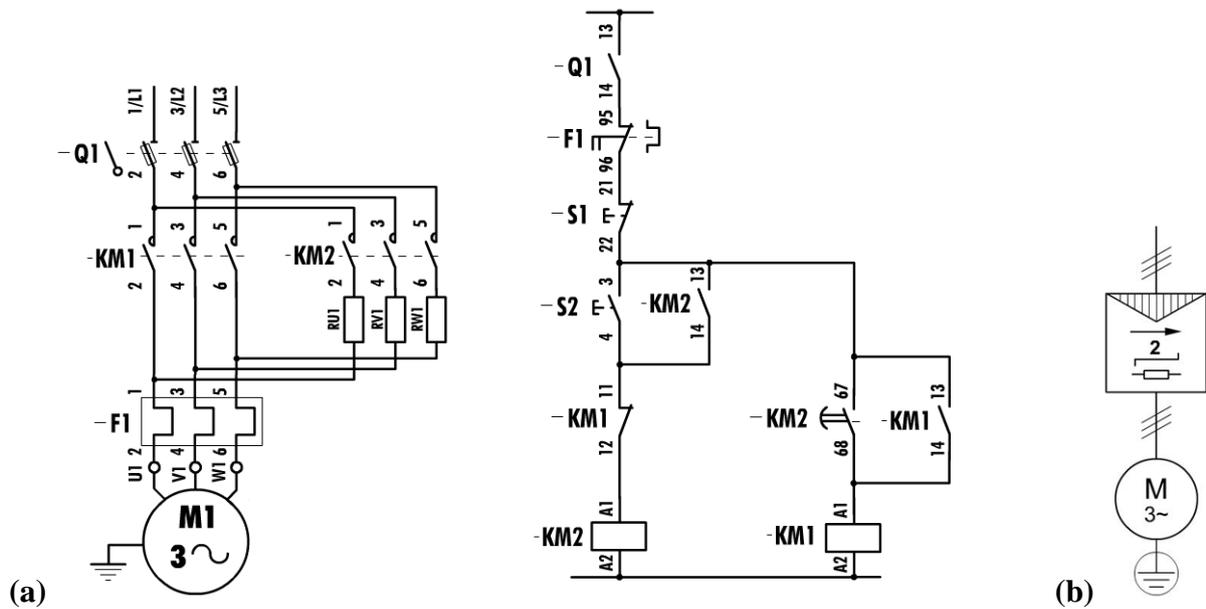


Figure IV. 36 : (a) : Schéma de puissance et de commande du démarrage statorique d'un moteur asynchrone, (b) : Schéma fonctionnel

2.7.2 Fonctionnement

Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM2 (insertion des résistances), 1er temps
- Fermeture de KM1 (court-circuitage des résistances), 2eme temps
- Ouverture de KM2

Circuit de commande :

- Impulsion sur S2
- Excitation de KM2, 1er temps
- Fermeture du contact d'auto maintien KM2, contact 13-14
- Fermeture de contact temporisé (temporisé au travail) de KM2, contact 67-68
- Excitation de KM1, 2eme temps
- Fermeture du contact d'auto maintien KM1, contact 13-14
- Ouverture de contact de KM1, contact 11-12

Arrêt :

- Par impulsion sur S1
- Par déclenchement de relais de protection, contact 95-96
- Par fusion du fusible

Protection :

- Par fusible de type aM, contre les courts-circuits incorporés au sectionneur
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées

2.7.3 Valeurs des résistances

La valeur des résistances est calculée en fonction du courant absorbé par le moteur au moment du démarrage. On peut baser le calcul sur :

- La pointe du courant de démarrage à ne pas dépasser.
- Sur la valeur minimale du couple de démarrage.

En général, les valeurs de courant et de couple de démarrage sont :

$$I_d = 4,5 I_n \text{ et } C_d = 0,75 C_n.$$

Pendant le démarrage, la tension appliquée aux bornes du moteur varie en fonction du courant absorbé par le moteur ; la tension est minimale au moment du démarrage, elle augmente progressivement quand le moteur prend de la vitesse. Le couple augmente plus rapidement que dans le démarrage étoile triangle.

2.7.4 Caractéristiques de démarrage

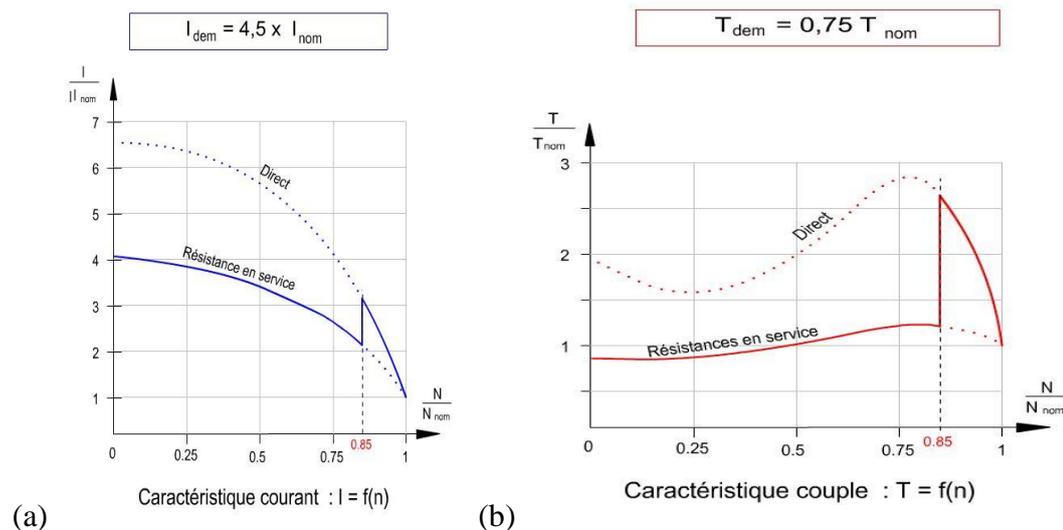


Figure IV. 37 : Courbe caractéristique de l'intensité du courant (a) et du couple électromagnétique en fonction de la vitesse de rotation du démarrage par élimination des résistances statorique (b)

Ces courbes indiquent la variation du couple et du courant du moteur pour le démarrage statoriques.

Remarque :

Ce démarrage peut se faire en 2, 3, 4, ... temps suivant la puissance du moteur par élimination des résistances statoriques branchées directement en série avec le stator.

2.7.5 Avantages et inconvénients

Avantages :

- La tension d'alimentation est très fortement réduite au moment de démarrage, car l'appel du courant reste important.
- Démarrage plus progressif.

Inconvénients :

- Appel du courant plus important qu'en démarrage étoile-triangle de 4 à 5 fois environ.
- Le couple de démarrage est diminué par rapport au démarrage direct.

2.8 Démarrage rotorique

On utilise obligatoirement un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné en étoile avec sorties sur trois bagues. Dans ce procédé nous aurons :

- Stator : plein tension ;
- Rotor : des groupes de résistances sont insérées aux bobinages rotorique pendant le démarrage, après elles seront court-circuitées. Ce procédé permet certainement de diminuer la pointe du courant au démarrage.

2.8.1 Schémas de raccordement

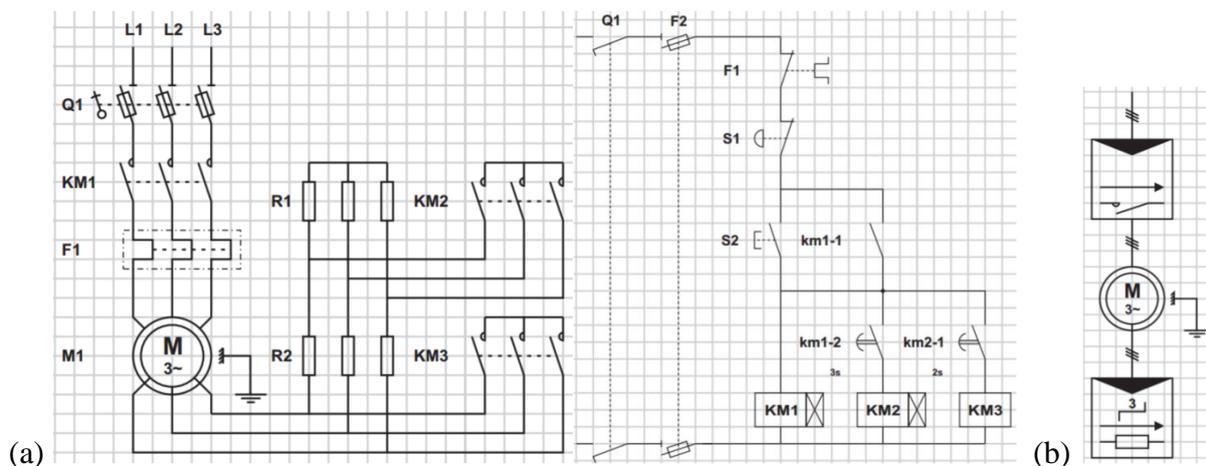


Figure IV. 38 : (a) : Schéma de puissance et de commande du démarrage rotorique d'un moteur asynchrone, (b) : Schéma fonctionnel

Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1 (1er temps)
- Fermeture de KM2 (2eme temps)
- Fermeture de KM3 (3eme temps)

Circuit de commande :

- Impulsion de S2.
- Excitation de KM1 (1er temps)
- Auto-maintien du contact km1-1
- Fermeture du contact temporisé km1-2; temporisé au travail

- Excitation de KM2 (2eme temps)
- Fermeture du contact temporisé km2-1; temporisé au travail
- Excitation de KM3 (3eme temps)

Arrêt :

- Par impulsion sur le bouton poussoir S1
- Par déclenchement du relais de protection, contact 95-96
- Par fusion du fusible

Protection :

- Par fusible de type aM, contre les courts-circuits incorporés au sectionneur
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées

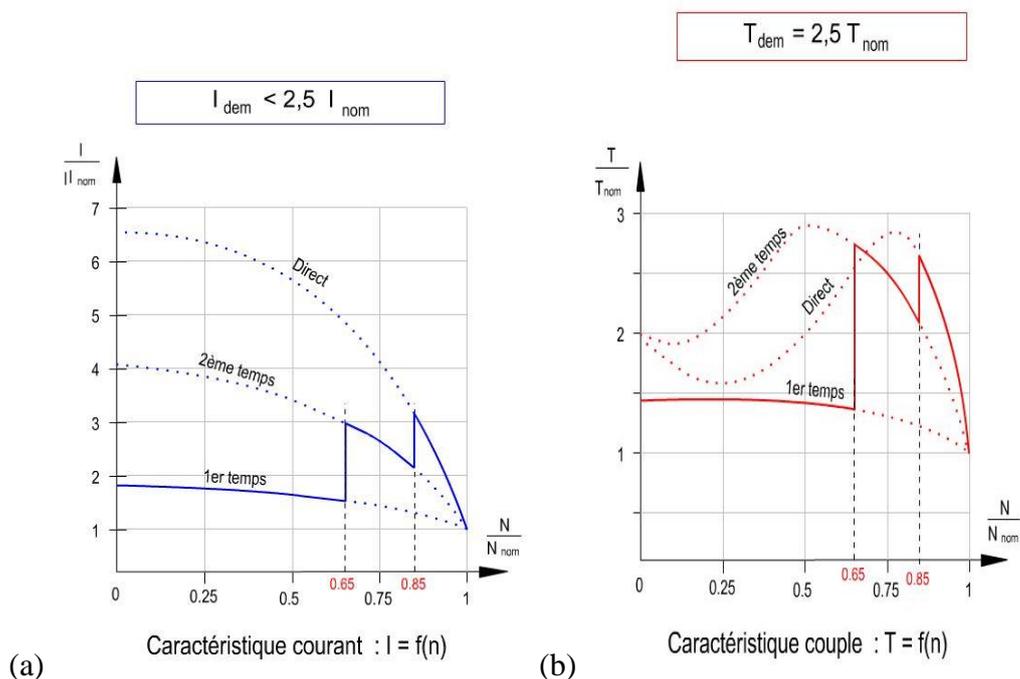
2.8.2 Caractéristiques de démarrage

Figure IV. 39 : Courbe caractéristique de l'intensité du courant (a) et du couple électromagnétique (b) en fonction de la vitesse de rotation du démarrage rotorique

Dans tous les démarreurs précédents, nous n'avons utilisé que des moteurs à cage d'écureuil. Pour le démarrage rotorique, nous avons besoin d'avoir accès au conducteur rotorique. Le fait de rajouter des résistances au rotor provoque une limitation de la pointe de courant au démarrage. En plus, ce procédé a l'avantage de démarrage avec le couple moteur maximal, si les résistances sont bien choisies.

2.8.3 Avantages et inconvénients**Avantages :**

- L'appel de courant pour un couple de démarrage donné est faible par rapport à tous les autres modes de démarrage.

- Possibilité de choisir par le constructeur, le couple et le nombre de temps de démarrage.

Inconvénient :

- Nécessité d'un moteur à rotor bobiné.
- Équipement plus chère.

2.9 Démarrage par autotransformateur

Ce démarrage consiste à utiliser un autotransformateur, qui est un appareil dont le circuit primaire est alimenté par le réseau et qui délivre à son secondaire une tension pouvant varier linéairement de 0 à 100% de la tension primaire.

Ce procédé permet le démarrage des moteurs à cage avec un courant réduit dû à une réduction de la tension pendant la durée d'accélération, contrairement à la commutation étoile-triangle.

Lorsque le moteur a atteint une vitesse voisine de la vitesse nominale, la liaison étoile de l'autotransformateur s'ouvre. Les fractions d'enroulement du transformateur se comportent alors comme des bobines de self en série avec les enroulements du moteur et par conséquent, comme pour le démarrage étoile-triangle à transmission fermée, la vitesse du moteur ne chute pas pendant la commutation. Après mise en circuit du contacteur principal, la tension entière du réseau est appliquée aux enroulements du moteur. Enfin, le transformateur est déconnecté du réseau.

En fonction de chaque prise et rapport de courant de démarrage, le courant de commutation est de 1 à 5 fois I_d . le couple à disposition diminue quelque peu en fonction du courant de démarrage. Au moment du démarrage, la tension est réduite au moyen d'un autotransformateur.

Le démarrage par autotransformateur passe par trois temps distincts :

- Temps autotransformateur en Y, le moteur est alimenté à tension réduite ;
- Temps ouverture du point Y, seul la self de la partie supérieure de l'enroulement limite le courant ;
- Temps alimentation du moteur sous pleine tension.

2.9.1 Schémas de raccordement

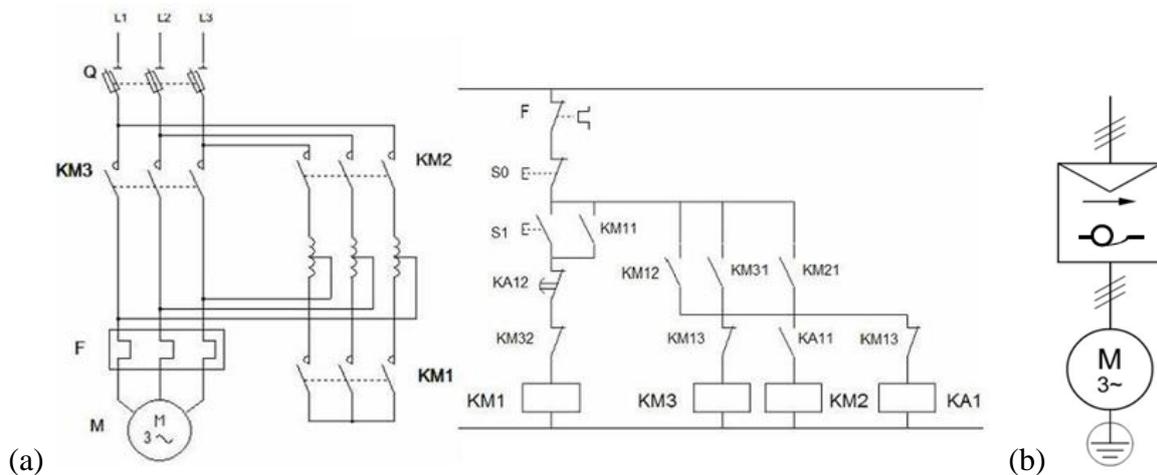


Figure IV. 40 : (a) : Schéma de puissance et de commande du démarrage par autotransformateur d'un moteur asynchrone, (b) : Schéma fonctionnel

2.9.2 Fonctionnement

Ce démarrage s'effectue en 3 temps :

- 1er temps : KM1 et KM2 fermés, KM3 ouvert
- 2eme temps : KM2 fermé, KM1 et KM3 ouverts
- 3eme temps : KM3 fermé, KM1 et KM2 ouverts

Il est à noter que le 2eme temps est toujours très court, car l'échauffement de l'autotransformateur est très important, une partie de l'enroulement étant parcourue par le courant.

Ce mode de démarrage présente également l'inconvénient de réduire le couple. Comme dans le cas précédant, il convient d'éviter les démarrages rapprochés ; on peut procéder sans risques à deux démarrages successifs espacés de 10 minutes ; mais le nombre de démarrages doit être limité à trois par heure.

2.9.3 Caractéristiques de démarrage

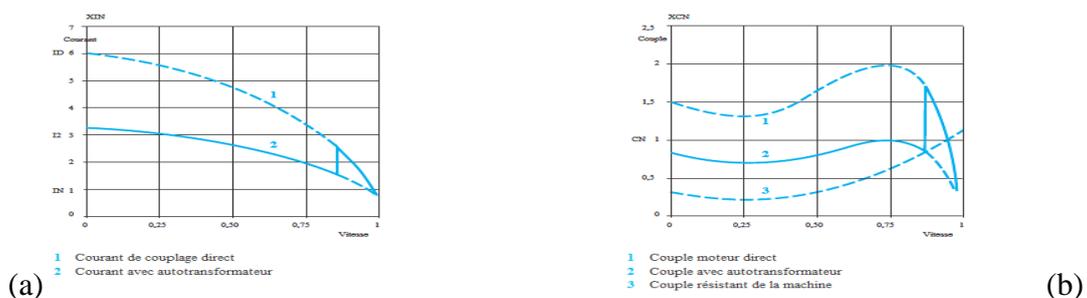


Figure IV. 41 : Courbe caractéristique de l'intensité du courant (a) et du couple électromagnétique (b) en fonction de la vitesse de rotation du démarrage autotransformateur

2.9.4 Avantages et inconvénients

Avantages

- Démarrage sous tension réduite ;
- Permet un couple de démarrage plus élevé pour un courant plus faible ;
- Pas d'ouverture de circuit entre deux connexions ;
- Utilisé principalement pour les moteurs de forte puissance ;
- Possibilité de choisir le couple de démarrage ;
- Réduction de l'appel du courant ;
- Démarrage en 3 temps sans coupure.

Ce mode de démarrage reste très souple, et permet d'obtenir un couple important de démarrage. En effet, l'intensité et le couple sont réduits dans le même rapport.

Inconvénients

- Matériel lourd, souvent encombrant.
- Nécessite 3 contacteurs pour la mise en œuvre.

2.10 Démarrage par gradateur (démarreur électronique)

Le démarrage électronique est la méthode adoptée pour réduire le courant et le couple au cours du démarrage du moteur, assurant ainsi un démarrage progressif. Le démarreur est constitué essentiellement de gradateurs.

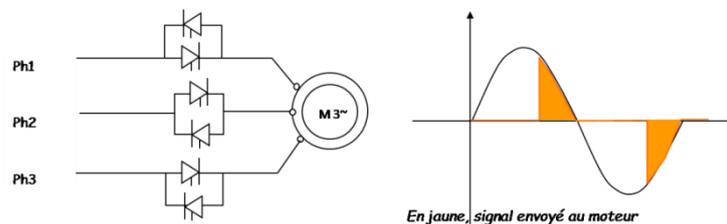


Figure IV. 42 : Gradateurs triphasés pour démarrage d'un moteur asynchrone

2.10.1 Schémas de raccordement du démarrage par gradateur

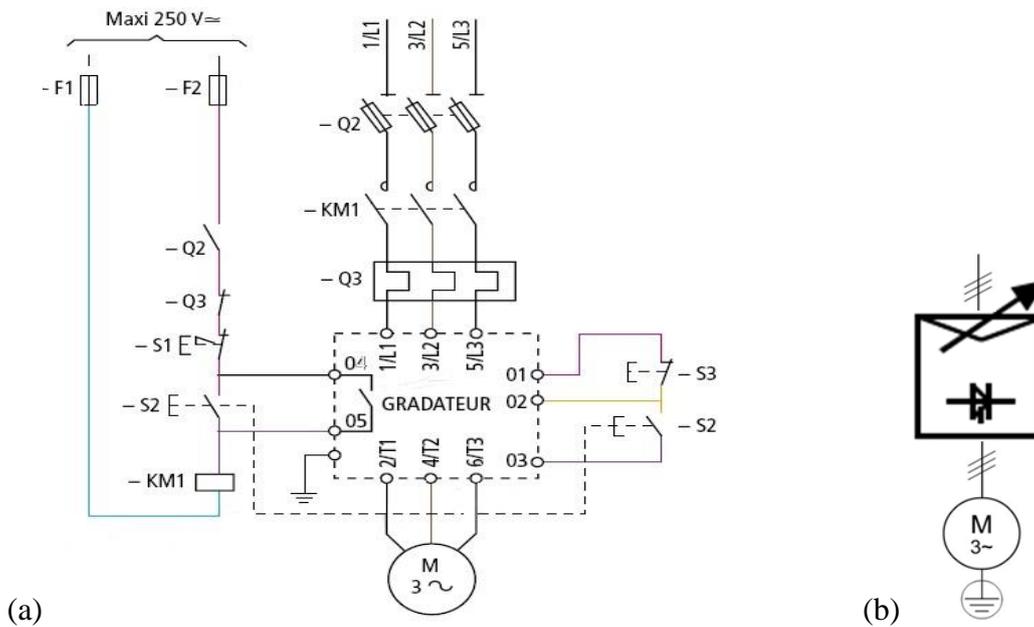


Figure IV. 43 : (a) : Schéma de puissance et de commande du démarrage électronique d'un moteur asynchrone, (b) : Schéma fonctionnel

2.11 Tableau de comparaison des différents démarrages

Tableau IV. 2 : Comparaison des différents démarrages

	Démarrage direct	Démarrage étoile-triangle	Démarrage statorique	Démarrage par autotransformateur	Démarrage rotorique	Démarrage électronique
Courant de démarrage	100%	33%	50%	40 à 80%	15 à 75%	15 à 75%
Surcharge en ligne	4 à 8 In	1,3 à 1,6 In	4,5 In	1,7 à 4 In	<2,5 In	
Couple en % de Cd	100%	33%	40 à 80%		10 à 50% (50 à 100% En ms)	10 à 50% (50 à 100% en 100 ms)
Couple initiale au démarrage	0,6 à 1,5 Cn	0,2 à 0,5 Cn	0,6 à 0,85 Cn	0,4 à 0,85 Cn	0,4 à 0,85 Cn	<2,5 Cn
Avantages	-démarrage simple et économique -couple au démarrage important	-économique -bon rapport couple / courant	-possibilité de réglage des valeurs au démarrage	-bon rapport couple / courant -possibilité de réglage des valeurs au démarrage	-très bon rapport couple / courant -possibilité de réglage des valeurs au démarrage	-Démarrage sans à coup -montée progressive en vitesse -limitation de l'appel de courant au démarrage

Inconvénients	-pointe de courant très importante démarrage brutal	-couple de démarrage faible -coupure d'alimentation au changement de couplage-moteur 6 bornes	-faible réduction de la pointe de courant au démarrage -nécessite des résistances volumineuses	-nécessite une auto transformatrice onéreuse -présente des risques de réseau perturbé	-moteur à bague plus onéreux	Convient mal pour les moteur à couple élevé et constant
---------------	--	--	---	--	------------------------------	---

3. Freinage des moteurs asynchrones

Le fonctionnement d'un système industriel peut nécessiter pour le moteur d'entraînement :

- Un ralentissement ;
- Un freinage ;
- Un maintien à l'arrêt.

Pour cela, on utilise des systèmes de freinage électromécanique ou électronique.

Avantages :

- Maîtrise du couple de freinage ;
- Décélération progressive ;
- Contrôle du temps de mise à l'arrêt ;
- Usure réduite des systèmes mécaniques de transmission.

Les procédés mécaniques :

Il s'agit d'un frein à disque incorporé au moteur, on appelle l'ensemble MOTEUR FREIN: c'est une action effectuée sur le rotor. Il existe deux types de freinage dans ce cas de procédé.

- Freinage à appel de courant ;
- Freinage à manque de courant.

Les procédés électriques :

C'est une action effectuée sur le stator. Il existe aussi deux types de freinage.

- Freinage par contre-courant ;
- Freinage par injection du courant continu.

3.1 Freinage mécanique

Ce sont des moteurs comportant un dispositif de freinage mécanique (mâchoire, disque, ...): MOTEUR FREIN commandé par un électroaimant.

3.1.1 Frein à manque de courant

Le frein est actionné mécaniquement (système de ressort au repos), il est souvent utilisé pour des raisons de sécurité: lorsque le moteur n'est pas alimenté (arrêt normal ou arrêt d'urgence), le freinage est réalisé. L'électroaimant est alimenté en triphasé, branché en parallèle sur les enroulements statoriques.

L'avantage de ce procédé réside dans le fait que le freinage est toujours assuré, même en cas de coupure d'énergie. C'est la raison pour laquelle ce procédé est fortement conseillé lorsque la sécurité est prépondérante. Le frein à manque de courant fonctionne de paire avec le moteur: il est raccordé en parallèle avec le moteur au niveau même du boîtier de raccordement.

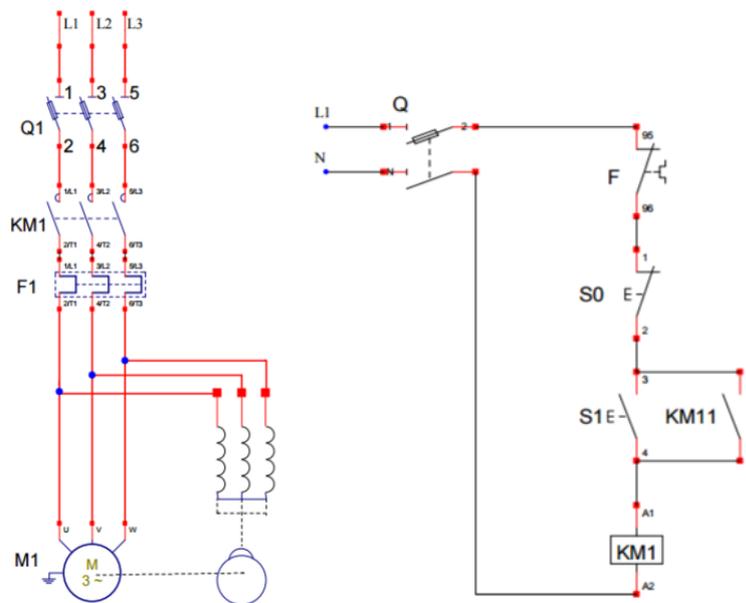


Figure IV. 44 : Schéma de puissance et de commande du freinage à manque de courant d'un moteur asynchrone

Remarques :

- La rotation n'est possible que si les enroulements du stator et les enroulements du frein sont alimentés.
- On obtient avec ce dispositif un freinage brutal, avec un maintien en position blocage. Il existe des moteurs freins avec un électroaimant alimenté en courant redressé par l'intermédiaire d'un pont de diodes.

3.1.2 Frein à appel de courant

Dans le cas du frein à appel de courant, c'est l'alimentation du frein qui provoque le freinage du moteur. Il nécessite une alimentation électrique indépendante de celle du moteur.

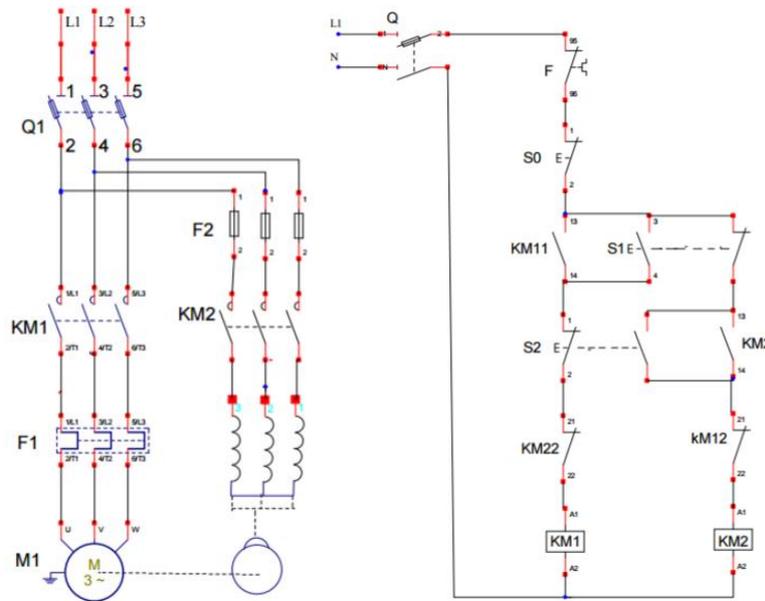


Figure IV. 45 : Schéma de puissance et de commande du freinage à appel de courant d'un moteur asynchrone

3.2 Freinage électrique

3.2.1 Freinage par contre-courant

Le freinage par contre-courant consiste à inverser deux phases d'alimentation, moteur lancé, pour qu'il change de sens de rotation. La fréquence de rotation va alors décroître rapidement et, au moment où elle devient nulle, on coupe l'alimentation. Le changement de sens de rotation, moteur lancé, implique que le moteur doit alors vaincre un couple résistant plus important. Il va donc consommer beaucoup plus de courant. Pour limiter ce dernier, on doit placer des résistances en série avec le stator. Même avec les résistances qui limitent le courant, la fermeture simultanée de KM1 et KM2 provoquerait un court-circuit, il faut donc impérativement verrouiller électriquement et mécaniquement. Il est également recommandé de couper l'alimentation du frein au moment précis où le moteur s'arrête, pour éviter que celui-ci ne soit lancé dans le sens inverse. Normalement, un capteur tachymétrique va se charger de ce travail. Généralement, un dispositif électrique de coupure déconnecte le moteur du réseau au moment du passage de la vitesse à $N=0$. Le couple de freinage moyen est, en général, supérieur au couple de démarrage.

Ce mode de freinage présente, toutefois, l'inconvénient d'impliquer des courants absorbés importants (environ $7 \times I_n$).

Remarques :

- C'est un mode de freinage très efficace.
- Ce freinage doit être interrompu dès l'arrêt du rotor, sinon il y a risque de redémarrage dans le sens inverse.
- Il n'y a pas de blocage.

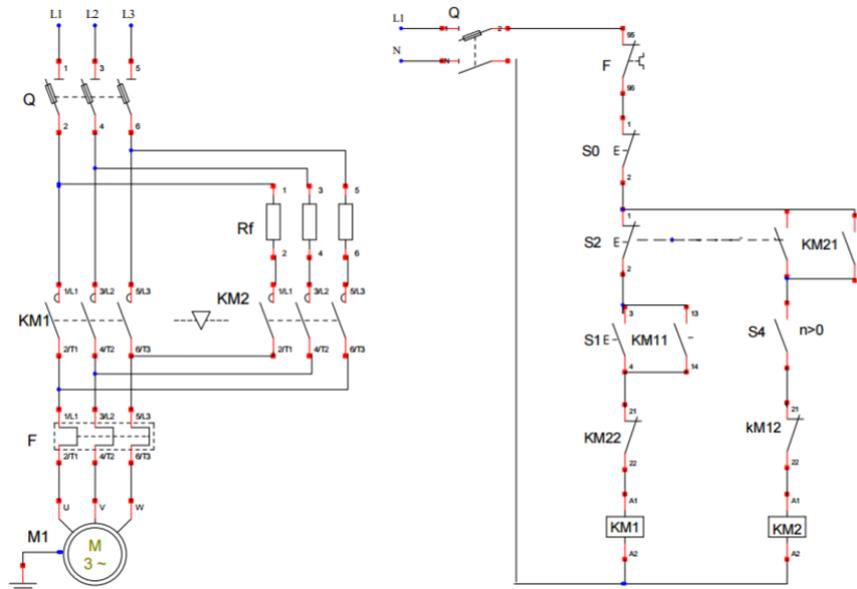


Figure IV. 46 : Schéma de puissance et de commande du freinage par contre-courant d'un moteur asynchrone

3.2.2 Freinage par injection du courant continu

Ce mode de freinage est utilisé dans le cas des moteurs à bagues et à cage. Lorsqu'on applique une tension triphasée aux bornes du stator d'un moteur asynchrone triphasé, on crée un champ tournant qui entraîne le rotor en rotation à une fréquence de rotation légèrement inférieure, en raison du glissement. Si, tout en coupant l'alimentation triphasée, on applique à ce stator une tension continu, on crée alors un champ fixe. Ce champ fixe a pour effet de bloquer la rotation du rotor donc du moteur.

Remarque :

- Il n'y a toujours pas de blocage du moteur.
- Le courant de freinage est de l'ordre 1,3In. La valeur de la tension redressée dépasse rarement 20V pour ne pas provoquer d'échauffement excessif.
- Les résistances rotoriques sont remises en service.

Avantages :

- Pas de risque de démarrage dans le sens inverse.

Inconvénient :

- Il faut couper le courant dans le stator pour éviter l'échauffement.

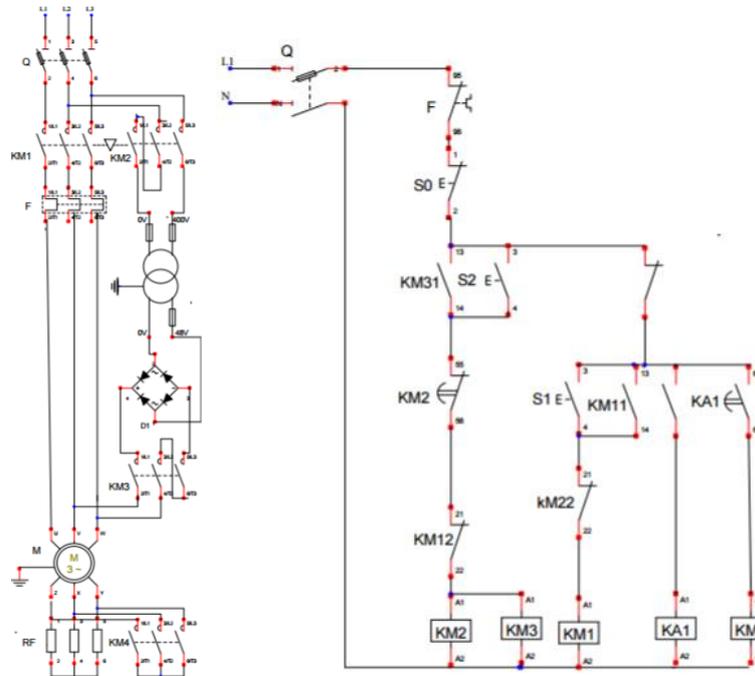


Figure IV. 47 : Schéma de puissance et de commande du freinage par injection du courant continu d'un moteur asynchrone

3.3 Tableau récapitulatif

Tableau IV. 3 : Récapitulatif des modes de freinage d'un moteur asynchrone

Mode de freinages	Avantages	Inconvénients
Freinages électriques	Pas d'usure donc pas de maintenance	Pas de blocage à l'arrêt, sauf cas de moteur à refroidissement forcé
Par courant continu	Très efficace, la variante « à courant de Foucault » est employée le ralentissement des poids lourds (frein Telma) ainsi qu'en traction ferroviaire régionale : dans ces deux cas, on module le courant pour ajuster le ralentissement	Câblage important, coût du transformateur, attention au réglage de la temporisation
Par contre-courant	Intensité du freinage très importante	Nécessite un capteur centrifuge ou à friction pour ne pas inverser la rotation
Freinages mécaniques	Permet de maintenir un blocage à l'arrêt	Usure mécanique donc maintenance régulière Impossible à employer en phase de ralentissement sur des systèmes à forte énergie cinétique emmagasinée
A appel de courant	Moteur libre en cas de coupure de courant (utile dans le cas d'un treuil à traction horizontale)	Pas de freinage en cas de coupure (interdit dans les applications de levage)
A manque de courant	Moteur bloquer en cas de coupure de courant (obligatoire dans les applications de levage utilisé en immobilisation en traction ferroviaire)	Impossible de débloquer le moteur en cas de coupure du courant (pénalisant dans le cas d'un treuil à traction horizontale)

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] Christophe Prévé, « Protection des réseaux électriques », Paris : Hermès, 1998.
- [2] S.-H. Horowitz and A.-G. Phadke, « Power System Relaying », John Wiley & Sons, 2nd edition, 1995.
- [3] L. Féchant L, « Appareillage électrique à BT, Appareils de distribution », Techniques de l'Ingénieur, traité, Génie électrique, D 4 865.
- [4] Hubert Largeaud, « Le schéma électrique », Eyrolles, 3e édition, Paris, 2006.
- [5] P. Heiny et A. Capliez, « Technologie d'électricité. T.2, applications de l'électricité et appareillage électrique », Paris : Foucher, 1978.
- [6] H. Boyer, M. Norbert, R. Philippe, « Cours de construction du matériel électrique. Tome 2, Appareillage », Uzès : Capitelle, 1985.
- [7] Dominique RUCHE, « Technique de câblages des coffrets électriques pour les Machines industrielles », CODART, Mémento technique, B456/1, 2005.
- [8] Thierry Schanen, « Guide des automatisme », 2001/2007, guidedesautomatisme.com.
- [9] Philippe Juguet, « Guides de métiers de l'électrotechnique », Guides de métiers de l'électrotechnique – V1, <http://www.pos-industry.com>.
- [10] Henri Ney, « Schémas d'électrotechnique », Nathan, Edition 2002.
- [11] Y.G. Palau, « Électrotechnique », Paris : Educactivre, 1986.
- [12] Thierry Gallauziaux et David Fedullo, « Mémento de schémas électriques, Tome 1 : Eclairages, prises, commandes dédiées », Paris : Eyrolles, 4e édition, 2016.
- [13] Thierry Gallauziaux et David Fedullo, « Mémento de schémas électriques, Tome 2 : Chauffage, Protection, Communication », Paris : Eyrolles, 3e édition, 2014.
- [14] Thierry Gallauziaux et David Fedullo, « Les évolutions de la norme électrique », Paris : Eyrolles, Edition 2014.
- [15] Ursula Bouteveille, " Schémas électriques domestiques", Le Moniteur, Edition 2015.
- [16] Khaireddine Allali et El-Bahi Azzag, « Schémas et dessin électrique »,
- [17] Thierry Gallauziaux et David Fedullo, « Le grand livre de l'électricité », 4e édition, Paris, 2016.
- [18] Thierry Gallauziaux, David Fedullo, « Electricité : Réaliser son installation électrique par soi-même », Paris : Eyrolles, 2e édition 2014.
- [19] Thierry Gallauziaux et David Fedullo, « Installer un tableau électrique », Paris : Eyrolles, Edition 2009.
- [20] Henri Ney, « Installations électriques », Nathan, Edition 2001.

- [21] M Vial, « Electricité professionnelle », Nathan, Edition 1997.
- [22] Jacques Marie Broust, « Appareillages et installations électriques industriels : Conception, coordination, mise en oeuvre, maintenance », Dunod, Edition 2013.
- [23] Henri Ney, « Technologie d'électrotechnique 1e et Tle Bac pro : Tome 1, Distribution de l'énergie, Utilisation de l'énergie », Nathan Technique, Édition 2010.
- [24] Leroy Merlin, « Le Chantier Electrique », Guide Edition 2005.