

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Supérieure en Génie Electrique et Energétique Oran
Département de Génie Electrique



Polycopié
Cours UEM2.2 - ELTM-R221

Appareillages et schémas électriques

Dr. FEKIR Djamel-Eddine
Maître de Conférences « B »

Table des matières

AVANT-PROPOS.....	3
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREILLAGE	4
I. INTRODUCTION	5
II. CHOIX ET CLASSIFICATIONS DE L'APPAREILLAGE	8
III. CONTACT ELECTRIQUE	9
CHAPITRE 2 : PHENOMENES LIES AUX COURANTS ELECTRIQUES.....	11
I. LES SURINTENSITES	12
I.1. La surcharge	12
I.2. Le court-circuit	12
II. LES SURTENSIONS	13
III. LES EFFORTS ELECTRODYNAMIQUES	13
IV. RIGIDITE DIELECTRIQUE.....	14
V. ISOLANT ELECTRIQUE.....	14
VI. CLAQUAGE ELECTRIQUE.....	14
CHAPITRE 3 : PHENOMENES D'INTERRUPTION DU COURANT ELECTRIQUE.....	15
I. DEFINITION DE L'ARC ELECTRIQUE.....	16
II. NAISSANCE D'UN ARC ELECTRIQUE A LA COUPURE D'UN CIRCUIT.....	16
III. COUPURE DE L'ARC ELECTRIQUE	18
IV. INCONVENIENTS ET DANGERS DE L'ARC ELECTRIQUE	19
V. PROCESSUS DE COUPURE AVEC L'ARC ELECTRIQUE.....	19
VI. LES MILIEUX DE COUPURE.....	20
VI.1. La coupure dans l'air.....	23
VI.2. La coupure dans l'huile	23
VI.3. La coupure dans le vide	24
VI.4. La coupure dans le SF6	25
CHAPITRE 4 : FONCTIONS DE L'APPAREILLAGE ELECTRIQUE	26
I. APPAREILLAGES DE CONNEXION	27
I.1. Contacts permanents.....	27
I.2. Bornes de connexion.....	27
I.3. Prises de courant.....	27
I.4. Sectionneur	28
II. APPAREILLAGES DE D'INTERRUPTION ET DE COMMANDE	31
II.1. Les interrupteurs	31
II.2. Les interrupteurs-sectionneurs	32
II.3. Le contacteur	33
III. APPAREILLAGES DE PROTECTION.....	41
III.1. Le fusible	42
III.2. Relais thermique	48
III.3. Relais magnétique (électromagnétique).....	53
III.4. Relais magnéto-thermique.....	55
III.5. Discontacteurs.....	55
III.6. Disjoncteur	56
CHAPITRE 5 : ÉLABORATION DES SCHEMAS ELECTRIQUES	64
I. SYMBOLES DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES	65
II. CLASSIFICATION DES SCHEMAS SELON LE MODE DE REPRESENTATION	66

<i>II.1. Selon le nombre de conducteurs</i>	66
<i>II.2. Selon l'emplacement des symboles.....</i>	68
<i>II.3. Représentation topographique (architecturale).....</i>	69
III. CIRCUIT D'ECLAIRAGE.....	70
<i>III.1. Montage simple allumage.....</i>	70
<i>III.2. Montage double allumage</i>	70
<i>III.3. Montage va-et-vient</i>	71
<i>III.4. Allumage par télérupteur.....</i>	72
<i>III.5. Allumage par minuterie.....</i>	73
IV. MODES DE DEMARRAGE D'UN MOTEUR	74
<i>IV.1. Démarrage direct à un seul sens de rotation</i>	75
<i>IV.2. Démarrage direct à 2 sens de rotation</i>	78
<i>IV.3. Démarrage étoile/triangle</i>	81
<i>IV.4. Démarrage moteur à deux vitesses (Dahlander)</i>	84
CONCLUSION	89
REFERENCES	90

Avant-Propos

Conçu pour faciliter la compréhension, l'apprentissage ainsi que la révision, ce support propose un cours simple pour accompagner les étudiants de la quatrième année Ingéniorat spécialité : génie électrique.

Ce support rassemble les connaissances essentielles traitant le fonctionnement, la technologie et la mise en œuvre du matériel électrique utilisé dans les réseaux électriques. Il sert aux étudiants d'une aide précieuse, leurs permettant de comprendre la structure du matériel des réseaux électriques tels que, les disjoncteurs, les interrupteurs, les sectionneurs, les contacteurs, de spécifier les équipements électriques, de savoir lire les schémas électriques, et de faire la différence entre marquages se trouvant sur un schéma électrique.

Chapitre 1 : Généralité sur l'appareillage

I. Introduction

Qu'est-ce qu'un appareillage électrique ?

L'expression « appareillage électrique » ou « appareillage de commutation » ou encore « appareillage de connexion électrique » désigne tous les dispositifs en rapport avec la protection du réseau électrique. Par conséquent, cela inclut aussi tous les dispositifs associés, comme le contrôle, le mesurage et la régulation du système électrique.

L'appareillage électrique est un élément qui permet d'obtenir la protection et l'exploitation sûre et ininterrompue d'un réseau électrique.

On retrouve dans cette famille toutes sortes d'éléments comme les appareils de commande, les appareils utilisés pour la protection et les appareils de commutation par exemple les contacteurs, les disjoncteurs ou les interrupteurs.

Les différents éléments qui constituent un appareillage électrique peuvent se trouver à tous les niveaux d'un réseau où il existe des besoins de protection ou de connexion.

Qu'est-ce qu'un schéma électrique ?

On appelle schéma électrique une représentation graphique (dessin ou tracé) d'un circuit électrique ou d'une installation électrique complète : il permet de simplifier une construction qui peut s'avérer parfois complexe. Pour le réaliser, on utilise des symboles qui font l'objet d'une convention. Le schéma montre ainsi les différents éléments qui composent le circuit électrique et leurs connexions. Toutefois la position des composants et leurs interconnexions ne correspondent pas pour autant à leur emplacement réel.

Le schéma électrique vise à représenter au mieux le circuit électrique grâce à des symboles normalisés, il en existe quatre :

- Le schéma électrique développé ;
- Le schéma électrique architectural ou schéma d'implantation électrique ;
- Le schéma électrique unifilaire ;
- Le schéma multifilaire.

Le schéma électrique développé ou schéma de principe

Il s'agit du schéma le plus utilisé car plus intelligible. Les symboles sont disposés sans tenir compte de l'emplacement réel des équipements dans le but de privilégier la compréhension. L'ordre des composants électriques coïncide avec la séquence de fonctionnement.

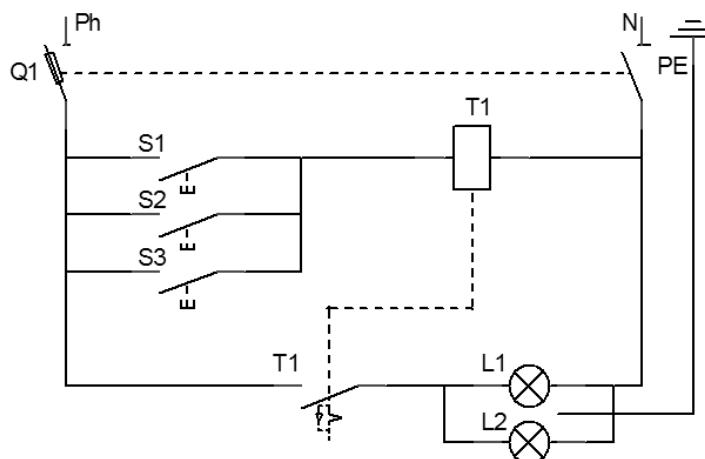


Figure 1. Schéma électrique développé.

Le schéma architectural ou d'implantation électrique

Il s'agit d'une vue en plan de l'habitation. Les éléments électriques comme les interrupteurs, prises, lumières sont placés de façon approximative. Ce schéma est souvent utilisé dans le cadre d'un projet architectural.

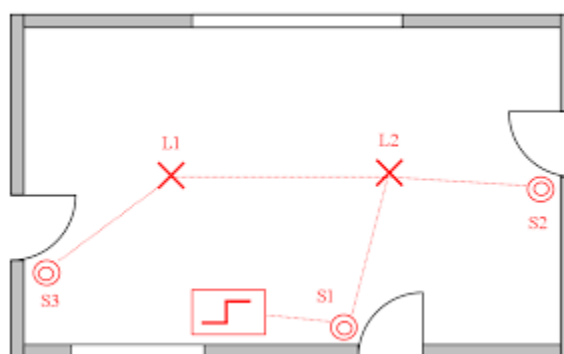


Figure 2. Schéma électrique architectural.

Le schéma électrique unifilaire

Le plan de la maison est précis, les points électriques sont positionnés à leur exact emplacement. Un trait du plan représente l'ensemble des conducteurs sans tenir compte de leur nombre. Il détermine les conduits dans lesquels seront placés les conducteurs.

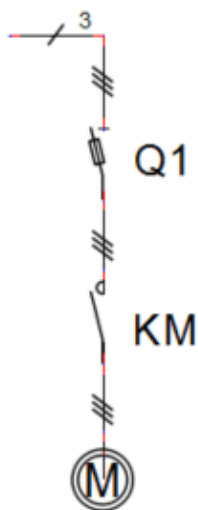


Figure 3. Schéma électrique unifilaire.

Le schéma multifilaire

C'est un schéma réservé aux professionnels. Il est complexe. Il correspond parfaitement au schéma de câblage et montre tous les conducteurs. Il détaille également l'usage de chaque fil et leur nombre exact.

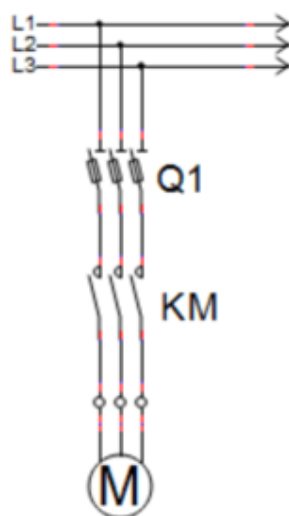


Figure 4. Schéma électrique multifilaire.

II. Choix et classifications de l'appareillage

Un choix adéquat d'appareillage électrique passe inévitablement par une correcte compréhension du récepteur à alimenter de point de vue caractéristiques et de son comportement dans différents régimes de fonctionnement. En fait, il faut tenir compte des différents régimes de fonctionnement y compris les risques de surcharge, la résistance aux courts-circuits et la résistance aux surtensions. L'appareillage électrique est classé en plusieurs catégories selon :

a. Sa fonction

Le rôle d'appareillage, ou sa fonction à accomplir, dans une installation est le premier paramètre qu'il faut tenir compte pour un choix exact. L'appareillage sert à adapter la source d'énergie de la source au comportement du récepteur.

- **Sectionnement** : il est nécessaire d'isoler partiellement ou totalement, les circuits et les récepteurs de leur source d'énergie afin de pouvoir intervenir sur les installations tout en garantissant la sécurité des intervenants.
- **Interruption** : il est parfois nécessaire d'interrompre l'alimentation d'un récepteur en pleine charge, ceci pouvant faire office d'arrêt d'urgence.
- **Protection contre les courts-circuits** : les récepteurs et les installations pouvant être le siège d'incidents électriques ou mécaniques, se traduisant par une élévation rapide et importante du courant absorbé. Un courant supérieur de 10 à 13 fois le courant nominal est un courant de défaut. Il est assimilé à un courant de court-circuit. Afin d'éviter la détérioration des installations et des appareillages, il est indispensable de détecter ces courts-circuits et d'isoler rapidement le circuit concerné.
- **Protection contre les surcharges** : les surcharges mécaniques et les défauts des réseaux d'alimentation sont les causes les plus fréquentes de la surcharge supportée par les récepteurs (moteurs). Ils provoquent une augmentation importante du courant absorbé, conduisant à un échauffement excessif du récepteur, ce qui réduit fortement sa durée de vie et peut aller jusqu'à sa destruction.
- **Commutation** : son rôle est d'établir et de couper le circuit d'alimentation du récepteur.

b. Sa tension et son utilisation

Le niveau de tension est un critère important dans le choix d'appareillage électrique, dans le tableau suivant nous donnons les différentes catégories de tensions.

Tableau 1. Niveaux de tension définis par les normes NF C15-100 et NF C13-200.

Tension AC composée	Domaine de tension	Autre appellation courante	Valeurs usuelles en France (tension d'utilisation)
≤ 50 V	TBT	TBT (Très basse tension)	12 - 24 - 48 V
≤ 1000 V	BT	BT (basse tension)	230 - 380 - 400 V
$1 \text{ kV} \leq U \leq 50 \text{ kV}$	HTA	MT (moyenne tension)	5.5 - 6.6 - 10 - 15 - 20 - 36 kV
$U > 50 \text{ kV}$	HTB	HT (haute tension) THT (très haute tension)	63 - 90 - 150 kV 225 - 400 kV

c. La température de service

Il existe deux principales températures de fonctionnement d'un appareillage électrique la première est celle maximale à l'air ambiant qui généralement n'excède pas 40°C. La deuxième est la température minimale à l'air ambiant qui ne doit pas inférieure à -25°C

d. Sa technique de coupure

Couper le courant est une action indispensable à réaliser sur un circuit électrique, afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens en cas de défaut mais aussi pour contrôler la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique.

Historiquement, on peut résumer les milieux suivants qui ont été choisis pour la coupure :

- Air ;
- Huile ;
- Air comprimé ;
- SF6
- Vide.

III. Contact électrique

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.

Un contact électrique est caractérisé aussi bien par sa résistance de contact, que par sa résistance à l'érosion, sa résistance à l'oxydation. Afin d'optimiser ses caractéristiques, les surfaces destinées à assurer la fonction de contact sont recouvertes par plaquage, ou comportent une

partie massive ajoutée, d'un matériau particulier tel que l'Or, le platine (Palladium) et le Tungstène.

Par défaut, ce contact a deux états :

- NO : Normally Open (Normalement Ouvert)
- NC : Normally Closed (Normalement Fermé NF).

Chapitre 2 : Phénomènes liés aux courants électriques

La connaissance et l'étude des principaux phénomènes qui peuvent parvenir dans une installation électrique sont indispensables.

La compréhension de ses phénomènes, qui sont liés au courant et à la tension électriques, amène inévitablement à un bon choix de matériels donc une installation fiable.

Ainsi, nous détaillons ses principaux phénomènes à fin d'une part de les mieux comprendre, et d'autre part pour sophistication de plus le choix d'appareillage.

I. Les surintensités

La surintensité dans un circuit électrique est atteinte lorsque l'intensité du courant dépasse une limite jugée supérieure à la normale. Les causes et les valeurs des surintensités sont multiples. On distingue habituellement : les surcharges et les courts-circuits.

I.1. La surcharge

Le terme "surcharge" est utilisé pour un courant excessif circulant dans un circuit en bon état électriquement. Les surcharges sont en général inférieures à 10 fois le courant nominal du circuit. Les surcharges de courant ne sont pas beaucoup plus élevées que le courant maximum permanent d'une installation, mais si elles se maintiennent trop longtemps elles peuvent faire des dégâts. Les dégâts, plus particulièrement aux matières isolantes en contact avec les conducteurs de courant, sont la conséquence de l'effet thermique du courant.

I.2. Le court-circuit

Cet important défaut se produit suite à un contact accidentel entre deux points de l'installation de deux potentiels différents en service normal. Le défaut de court-circuit peut être monophasé (phase/terre ou phase/neutre) biphasé (entre deux phases) ou triphasé (entre trois phases et celui le plus important de point de vue valeur d'intensité). Les valeurs des intensités des courants de court-circuit sont très élevées (typiquement supérieures à 10 fois la valeur du courant nominal de l'installation).

Nous citons quelques causes de court-circuit, en commençant par la présence des corps étrangers conducteurs entre deux phases. Ou aussi la défaillance de composant par exemple le claquage du semi-conducteur, ou un défaut de terre, et isolation dégradée par l'usure, la chaleur, l'humidité ou des produits corrosifs etc...

II. Les surtensions

Un réseau électrique possède en général une tension normale : on parle aussi de tension nominale. En basse tension, cette tension nominale peut être par exemple de 230V entre phase et neutre. En moyenne tension, celle-ci est normalisée à 20kV (entre phase) et 11.5kV (entre phase et terre). Le réseau peut se trouver accidentellement porté à une tension supérieure de sa tension nominale : on parle alors de surtension.

La surtension électrique est une hausse soudaine de tension qui entraîne l'endommagement des appareils et équipements reliés à l'installation électrique.

Il existe 4 différents types de surtension dans les réseaux électriques :

- **Surtension permanente** : d'une durée de plusieurs heures (l'effet Ferranti peut être une cause de surtension permanente).
- **Surtension temporaire** : d'une durée d'une ou de plusieurs secondes. Un court-circuit d'une des phases d'un réseau triphasé à la terre (défaut d'isolement d'un câble HT par exemple) peut produire une surtension temporaire sur les autres phases (phénomène non négligeable en haute tension). Les systèmes de régulation de tension des alternateurs peuvent aussi créer des surtensions temporaires lors de phénomènes transitoires.
- **Surtension de manœuvre** : liée à la manœuvre d'un disjoncteur ou d'un sectionneur, d'une durée de quelques dizaines microsecondes à quelques millisecondes. La manœuvre d'un sectionneur dans un poste électrique à isolation gazeuse engendre en particulier des surtensions à fronts très raides.
- **Surtension de foudre** : due au foudroiement d'une ligne à haute tension.

III. Les efforts électrodynamiques

La circulation de courants dans des conducteurs parallèles induit dans ces conducteurs des forces électromagnétiques. Ces forces sont attractives ou répulsives (selon que les courants sont de même sens ou de sens opposé) et également réparties le long des conducteurs. Elles sont proportionnelles au produit des intensités circulant dans les deux conducteurs.

En cas de court-circuit, on observe alors des surtensions mécaniques appelées efforts électrodynamiques au niveau des supports et des isolateurs d'ancrage, ainsi que des mouvements importants des conducteurs.

IV. Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un matériau est la valeur maximale du champ électrique que l'on peut lui appliquer sans que se produise une dégradation irréversible nommée claquage ou perforation diélectrique rendant impossible une nouvelle application de la tension. Le claquage est précédé par une augmentation importante du courant circulant dans le matériau avec des conséquences thermiques destructives : fusion, évaporation, décomposition, carbonisation, ...

En pratique, la rigidité diélectrique est le rapport entre la tension de claquage et la distance entre les électrodes auxquelles cette tension est appliquée dans des conditions d'essai spécifiées. Pour que cela soit tout à fait

exact, il conviendrait que le champ soit uniforme, c'est-à-dire que les électrodes soient planes et parallèles avec des bords tels qu'ils ne provoquent en aucun point de renforcement du champ. On se contente de fait souvent d'électrodes dont le rayon de courbure est grand devant la distance inter électrodes.

V. Isolant électrique

Les isolants électriques sont également appelés matériaux diélectriques. Cela signifie qu'ils sont composés d'une matière ne contenant aucune charge libre susceptible de conduire les électrons. En effet, pour se déplacer, l'électricité a besoin de transférer les charges électriques qui la composent. Un matériau isolant, qui possède une conductivité nulle et une résistance infinie, empêche ce transfert.

VI. Claquage électrique

Le claquage est un phénomène qui se produit dans un isolant quand le champ électrique est plus important que ce que peut supporter cet isolant. Il se forme alors un arc électrique.

Dans un condensateur, lorsque la tension atteint une valeur suffisante pour qu'un courant s'établisse au travers de l'isolant (ou diélectrique), cette tension critique est appelée tension de claquage. Elle est liée à la géométrie de la pièce et à une propriété des matériaux appelée rigidité diélectrique qui est généralement exprimée en (kV/mm). La décharge électrique à travers l'isolant est en général destructrice. Cette destruction peut être irrémédiable, mais ceci dépend de la nature et de l'épaisseur de l'isolant entrant dans la constitution du composant : certains isolants sont ainsi dits auto-régénérateurs, comme l'air ou l'hexafluorure de soufre.

Chapitre 3 : Phénomènes d'interruption du courant électrique

Couper le courant est une action indispensable à réaliser sur un circuit électrique, afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens en cas de défaut mais aussi pour contrôler la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique.

I. Définition de l'arc électrique

Découvert au début du 19e siècle par un chimiste nommé Humphry Davy, l'arc électrique est un impressionnant phénomène d'étincelle visible qui se crée grâce à l'ionisation d'un milieu isolant comme l'air ou le gaz. En effet, les ions du milieu isolant permettent de créer un canal conducteur qui acheminera la charge présente au début du circuit vers le point final du canal.

Pour l'illustrer avec des phénomènes visibles dans la nature, il est possible de citer la foudre, qui n'est rien d'autre qu'un arc électrique existant entre les nuages et le point de contact. Lors des orages, l'air va ainsi être ionisé et devenir un canal conducteur idéal pour la charge électrique qui descendra des nuages.

Parmi les autres applications de l'arc électrique, il est possible de citer les bobines Tesla ou encore l'arc à souder qui solidifiera les liaisons grâce à la très forte chaleur produite.

II. Naissance d'un arc électrique à la coupure d'un circuit

Un appareil de coupure idéal serait un appareil capable d'interrompre le courant instantanément, or aucun appareil mécanique n'est capable de couper le courant sans l'aide de l'arc électrique qui dissipe l'énergie électromagnétique du circuit électrique, limite les surtensions, mais retarde la coupure totale du courant.

A la coupure d'un circuit d'impédance Z_c , naît généralement un arc électrique entre les contacts de l'organe de manœuvre (interrupteur, disjoncteur). Ce fait marquant, qui intervient principalement sur forte surcharge (ou court-circuit) lorsque la séparation des pôles est dépendant des éléments de contrôle de la surintensité, se produit également sur ouverture non spontanée et -à un degré moindre- sur fermeture.

Explication simplifiée relative à un fonctionnement sur court-circuit ($Z_c=0$)

L'interrupteur idéal devrait assurer une coupure quasi instantanée ($t = 0$) avec une énergie dissipée entre ses pôles $r \cdot i^2 \cdot t = 0$ (Figure 5 et 6).

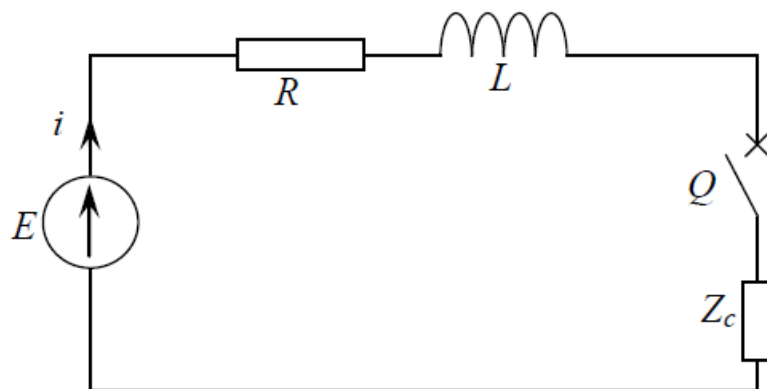


Figure 5. Explication simplifiée relative à un fonctionnement sur court-circuit ($Z_c=0$).

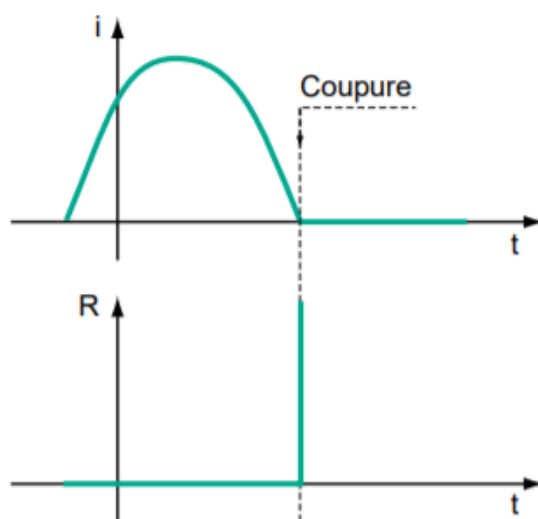


Figure 6. Coupure réalisée par un interrupteur idéal.

En réalité, au moment de la coupure, la résistance r des pôles du disjoncteur Q ci-dessus va passer d'une valeur presque nulle à une valeur très élevée.

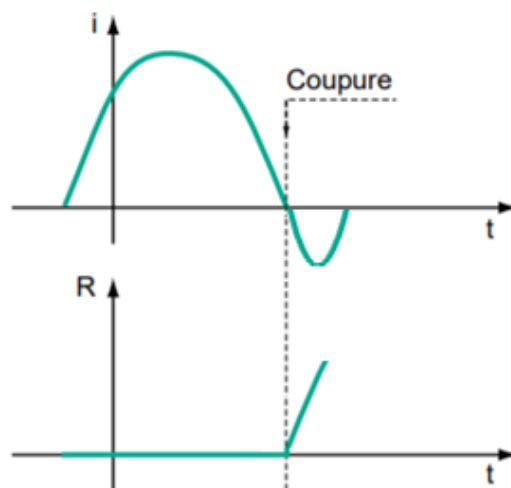


Figure 7. Coupure réalisée par un interrupteur réel.

L'énergie de coupure prend la forme :

$$\int r. i^2. dt = \int (E - R. i). i. dt + \int L. i. di$$

Cette relation montre que même avec une coupure infiniment rapide, l'énergie électromagnétique $\frac{1}{2}L.i^2$ initialement contenue dans le circuit va devoir cependant être dépensée entre les contacts. D'autre part, dès les premiers instants de l'écartement des pôles, la densité de courant $J = \frac{i}{S}$ va considérablement augmenter du fait de la diminution de la surface de contacts. Ceci entraîne un échauffement très localisé qui a pour effet d'ioniser le fluide isolant en abaissant sa rigidité diélectrique : un arc apparaît avec ces effets négatifs.

III. Coupure de l'arc électrique

La coupure des courants électriques est une opération qui s'accompagne avec plusieurs phénomènes et contraintes de fonctionnement :

- Dissiper l'énergie emmagasinée dans les circuits selfiques au moment de la coupure $\frac{1}{2}L.i^2$
- Supporter une surtension $L. \frac{di}{dt}$ qui survient lors du passage du courant de sa dernière valeur à zéro, cette tension peut conduire au claquage du diélectrique ;
- Supporter la tension transitoire de rétablissement TTR. Cette tension dépend des caractéristiques du réseau et sa vitesse de croissance ($\frac{dv}{dt}$) (de l'ordre de kV/ μ s).

Pour remédier à ces contraintes, la solution adoptée est de couper le courant au moment de son passage par 0, ainsi l'énergie emmagasinée $\frac{1}{2}L \cdot i^2$ et la tension $L \cdot \frac{di}{dt}$ seraient nulles.

La technique de coupure au passage à zéro du courant s'accompagne de surtensions au moment de l'interruption qui surviennent à cause de l'effet capacitif des circuits électriques. La coupure du courant au passage par zéro est pratiquement irréalisable à cause des temps de réponse des systèmes de mesure et de commande, sachant qu'au moment du défaut le courant évolue très rapidement et la réaction au moment du passage à zéro est une opération très délicate. C'est ce qui explique l'existence de l'arc électrique.

IV. Inconvénients et dangers de l'arc électrique

- Pas de rupture instantanée du circuit.
- Dégradation des contacts par micro-fusion (matière arrachée) et risques de soudure.
- Contraintes thermiques élevées (température d'arc de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de degrés) avec risques de brûlure pour les personnes, d'incendie pour le matériel).
- Onde parasite, rayonnement U-V.

V. Processus de coupure avec l'arc électrique

La coupure par l'arc électrique se fait en trois phases :

La période d'attente

Période entre l'ouverture des contacts et le zéro du courant où l'arc électrique est constitué d'une colonne de plasma composée d'ions et d'électrons. Cette colonne est conductrice sous l'effet d'une température élevée due à l'énergie dissipée par l'arc. La tension entre les deux contacts s'appelle la tension d'arc et c'est une composante très importante dans le choix du milieu de coupure, car elle définit la valeur de l'énergie dissipée.

La période d'extinction

Au moment de passage par zéro du courant, l'arc est éteint, le canal des molécules ionisées est cassé, le milieu redevient isolant et le courant est interrompu. La résistance de l'arc doit augmenter au voisinage du zéro du courant, et dépend de la constante d'ionisation du milieu.

Aussi, la puissance de refroidissement de l'appareil doit être supérieure à l'énergie de l'arc dissipée par effet joule.

La période Post-Arc

Pour que la coupure soit réussie, il faut que la vitesse de régénération diélectrique soit plus rapide que l'évolution de la tension transitoire de rétablissement TTR, sinon on assiste à un phénomène de ré allumage ou réamorçage de l'arc

VI. Les milieux de coupure

Pour couper les courants de charge ou de défaut, les constructeurs ont développé et perfectionné les appareils de coupure, disjoncteurs et contacteurs notamment, utilisant divers milieux de coupure : l'air, l'huile, le vide et le SF₆. Si la coupure dans l'air ou l'huile a tendance à disparaître, il n'en va pas de même de la coupure dans le vide ou le SF₆, « reine » de la moyenne tension. Pour une coupure réussie, le milieu doit avoir les caractéristiques suivantes :

- La puissance dissipée dans l'arc par effet Joule reste inférieure à la puissance de refroidissement de l'appareil,
- La vitesse de déionisation du milieu est grande, et que l'espace inter contacts à une tenue diélectrique suffisante.

Le choix du milieu de coupure est donc important dans la conception d'un appareil. Ce milieu doit en effet :

- Avoir une conductivité thermique importante en particulier dans la phase d'extinction pour évacuer l'énergie thermique de l'arc,
- Retrouver ses propriétés diélectriques le plus vite possible afin d'éviter un réamorçage intempestif (la figure 8 montre les propriétés exceptionnelles du SF₆ à cet égard),
- À température élevée, être un bon conducteur électrique pour réduire la résistivité de l'arc donc de l'énergie à dissiper,
- À température faible, être un bon isolant électrique pour faciliter le rétablissement de la tension.

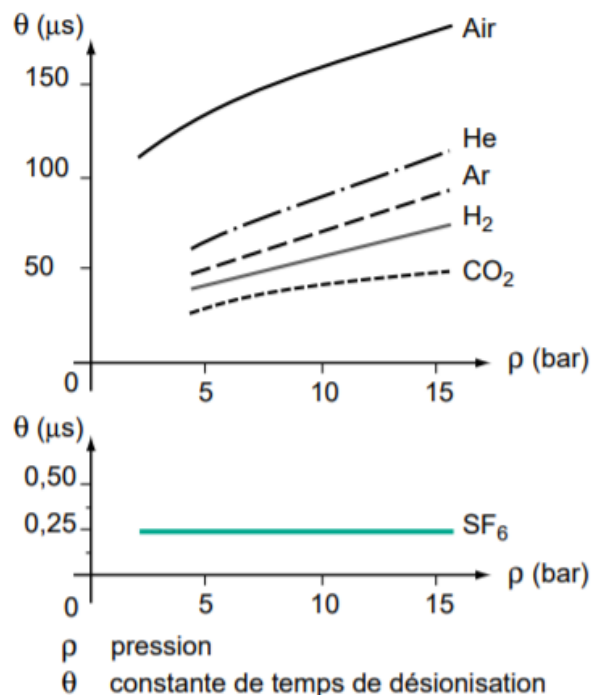


Figure 8. Constantes de temps de désionisation en fonction de la pression pour différents gaz.

Cette qualité d'isolant se mesure par la tenue diélectrique entre les contacts qui dépend de la pression du gaz et de la distance entre les électrodes. La tension de claquage en fonction de la distance inter-électrodes et de la pression est donnée par la courbe de Paschen (Figure 9 et 10) qui permet de déterminer trois zones selon la pression du gaz.

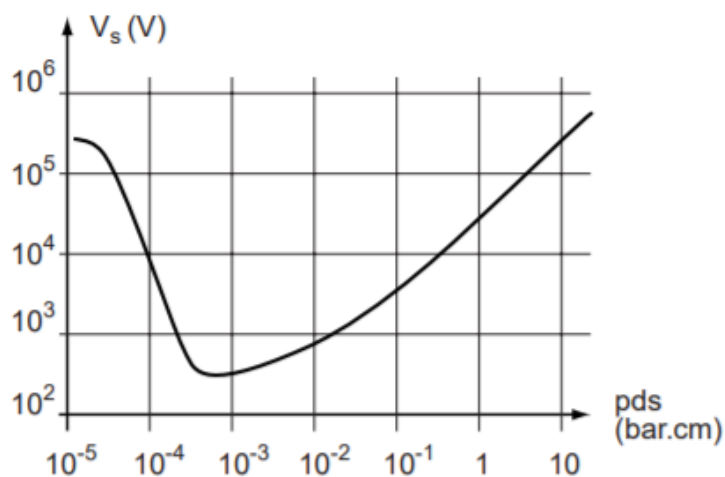


Figure 9. Evolution de la rigidité diélectrique de l'air en fonction de la pression, en champ faiblement hétérogène (courbes de Paschen).

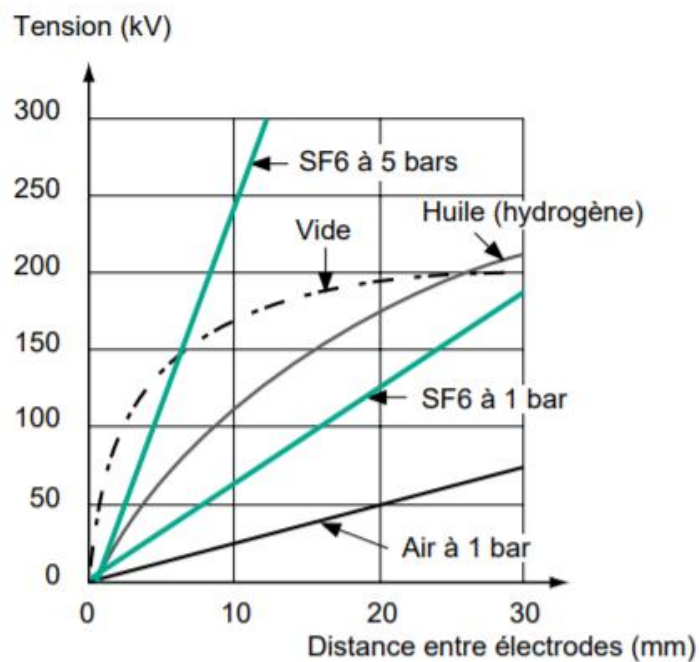


Figure 10. Influence de la distance entre les contacts sur la rigidité diélectrique.

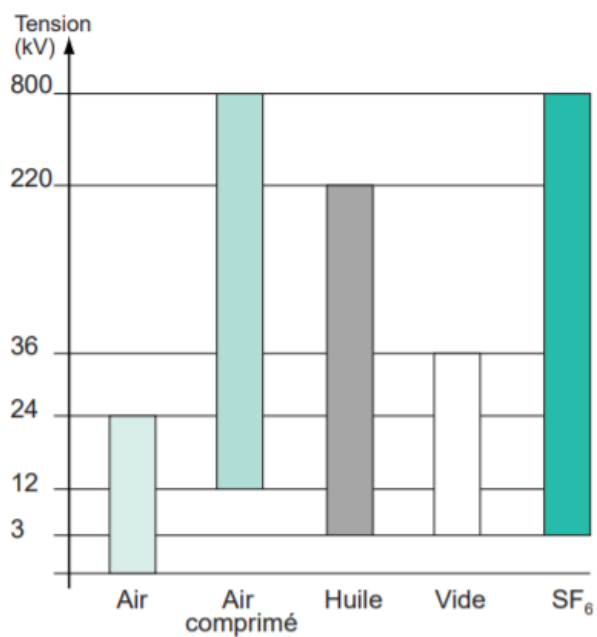


Figure 11. Domaine d'utilisation des différents milieux de coupure.

VI.1. La coupure dans l'air

L'air à pression atmosphérique présente une rigidité diélectrique faible et une constante de désionisation élevée (10ms). La technique utilisée consiste à garder l'arc électrique court pour limiter l'énergie thermique dissipée, et l'allonger par le biais de plaque une fois le courant passe par zéro.

Pour des tensions supérieures à 24 kV, l'air comprimé est utilisé pour améliorer la tenue diélectrique, la vitesse de refroidissement et la constante de temps de désionisation. L'arc est refroidi par des systèmes de soufflage haute pression. La coupure n'est pas très utilisée en moyenne tension pour des raisons d'encombrement et de coût. Toutefois la coupure dans l'air reste la solution la plus utilisée en basse tension grâce à sa simplicité et son endurance.

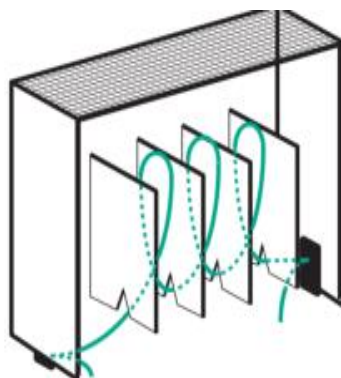


Figure 12. Chambre de coupure d'un disjoncteur dans l'air.

VI.2. La coupure dans l'huile

Cette technique de coupure consiste à immerger les contacts dans l'huile. Au moment de la coupure, l'huile se décompose et dégage de l'hydrogène et du méthane principalement. Ces gaz forment une bulle qui est soumise à une grande pression pendant la coupure. Au passage du courant par zéro, l'arc s'éteint du fait de la présence de l'hydrogène. Les disjoncteurs à coupure dans l'huile ont cédé la place à d'autres types de technologie tels que le SF6 et le vide pour les inconvénients suivants :

- Niveau de sécurité et de maintenance élevé pour contrôler la dégradation des propriétés diélectriques de l'huile et l'usure des contacts ;
- La décomposition de l'huile à chaque coupure est un phénomène irréversible ;
- Risque d'explosion et d'inflammation.

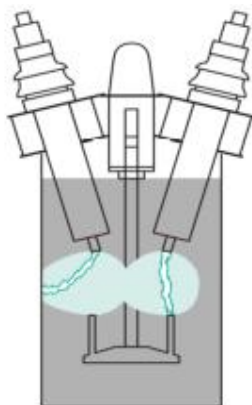


Figure 13. Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'huile.

VI.3. La coupure dans le vide

D'après la courbe de Paschen (Fig.9), le vide présente des performances très intéressantes : à partir d'une pression de 10^{-5} bars, la rigidité diélectrique est de 200 kV pour une distance entre électrodes de seulement 12mm.

En l'absence de milieu de coupure, l'arc électrique, dans la coupure sous vide, est composé de vapeurs métalliques et d'électrons provenant des matériaux composant les contacts. Cet arc peut avoir deux aspects, concentré ou diffus, selon l'intensité du courant qui le traverse.

Les constructeurs de disjoncteurs avec ampoule sous vide ont porté leur recherche au niveau des matériaux des contacts, leur forme et les mécanismes de coupure. La coupure dans le vide est très employée aujourd'hui en moyenne tension, très peu utilisée en basse tension pour des raisons de coût, et reste dans le domaine prospectif pour la haute tension (> 50 kV).

VI.4. La coupure dans le SF6

Depuis plusieurs années, les constructeurs de disjoncteurs se sont orientés vers le SF6 (hexa fluore de soufre) comme milieu de coupure, vu ses qualités chimiques et diélectriques.

Sous l'effet de la température, la molécule SF6 se décompose, mais dès que le courant retrouve des valeurs faibles, la molécule se compose à nouveau.

Le SF6 présente une conductivité thermique équivalente à celle de l'air, une rigidité diélectrique élevée, et une constante de désionisation faible.

L'arc électrique est composé d'un plasma de SF6 dissocié, de forme cylindrique. Ce plasma comporte un noyau à température très élevée, entouré d'une gaine de gaz plus froid. La totalité du courant est transportée par le noyau. La gaine extérieure reste isolante.

Chapitre 4 : Fonctions de l'appareillage électrique

I. Appareillages de connexion

La mise en service ou hors-service d'une installation ou d'une partie de l'installation nécessite l'utilisation des appareils de séparation et de connexion. Cette séparation doit inclure la source et toutes parties aval de l'installation. Les principaux dispositifs de séparation et de connexion sont les jeux de barres, bornes, cosses et raccords, et les boîtes en plastique etc...

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.

I.1. Contacts permanents

Les contacts permanents sont destinés à relier électriquement de façon permanente des parties d'un circuit électrique. On peut les classer en 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.).

I.2. Bornes de connexion

Une borne de connexion est un système de connexion mécanique et électrique composé de deux composants électriques ou plus servant à connecter plusieurs conducteurs en toute sécurité.



Figure 14. Plaque à bornes (moteur).

I.3. Prises de courant

Sont des organes de connexion dans lesquelles les appareils électriques sont reliés aux sources d'énergie d'une façon simple. Pour le monophasé nous avons les prises deux pôles (2P) et aussi deux pôles plus terre (2P+T).



Figure 15. Prise de courant monophasée deux pôles plus terre.

Pour les prises de courant triphasé il faut impérativement respecter l'ordre de succession des bornes des phases de neutre et celui de terre, s'il existe, afin d'éviter le risque de court-circuit lors de connexion des prises femelles et mâles.

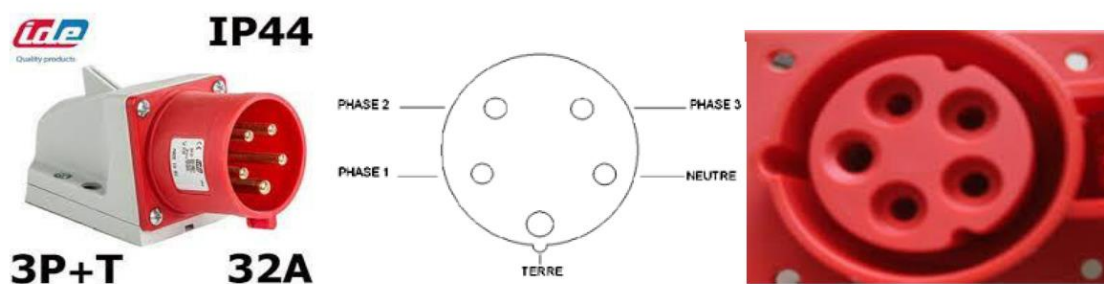


Figure 16. Prise de courant triphasée 3P+N+T.

I.4. Sectionneur

Fonction

Un sectionneur sert à établir ou d'interrompre le courant dans un circuit à vide par coupure de tous les conducteurs de phase et du conducteur de neutre s'il existe. Il sert à séparer la partie amont sous tension de la partie aval d'un circuit pour permettre un travail d'entretien ou de réparation sans danger. Pas de pouvoir de coupure ou de fermeture, quand le sectionneur est manœuvré, le courant doit être nul. Il faut impérativement respecter la formule qui dit : « Ne jamais actionner un sectionneur en charge ».

En utilisant un sectionneur nous pouvons, par exemple, condamner un circuit électrique (avec cadenas dans le cas échéant) afin de travailler en toute sécurité. Le sectionnement est assuré par une distance minimale de séparation entre les contacts à l'état d'ouverture.

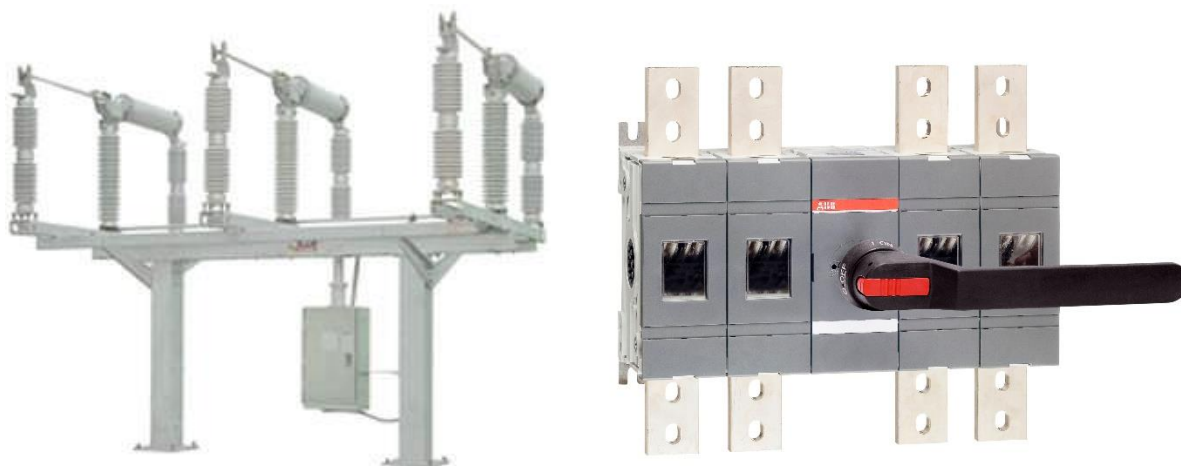


Figure 17. Sectionneur HT (à gauche) et sectionneur BT (à droite).

Constitution

Un sectionneur se compose généralement de :

- Contacts principaux (1-2), (3-4) et (5-6) (ou contacts de puissance câblés dans la partie puissance de circuit) permettent d'assurer le sectionnement de l'installation et d'isoler la partie en aval. C'est une fonction de sécurité obligatoire.
- Un ou plusieurs contact(s) auxiliaire(s) (13-14), (23-24) (ou contact de pré coupure) qui s'ouvrent avant les pôles de puissance afin d'interrompre en premier lieu l'alimentation des organes de commande. Cela permet aux contacts de puissance d'ouvrir le circuit hors charge. Il sera placé en série avec la bobine de commande du contacteur. L'ouverture du circuit de commande entraîne l'ouverture du circuit de puissance, celui-ci n'est donc jamais ouvert en charge (traversé par un courant). En revanche, à la mise sous tension, le contact auxiliaire est fermé après la fermeture des contacts principaux.
- La poignée de commande : Elle peut être verrouillée en position ouverte par un cadenas (sécurité).
- Les fusibles : Assurant la protection contre les surcharges et les courts-circuits dans l'installation ou l'équipement électrique.

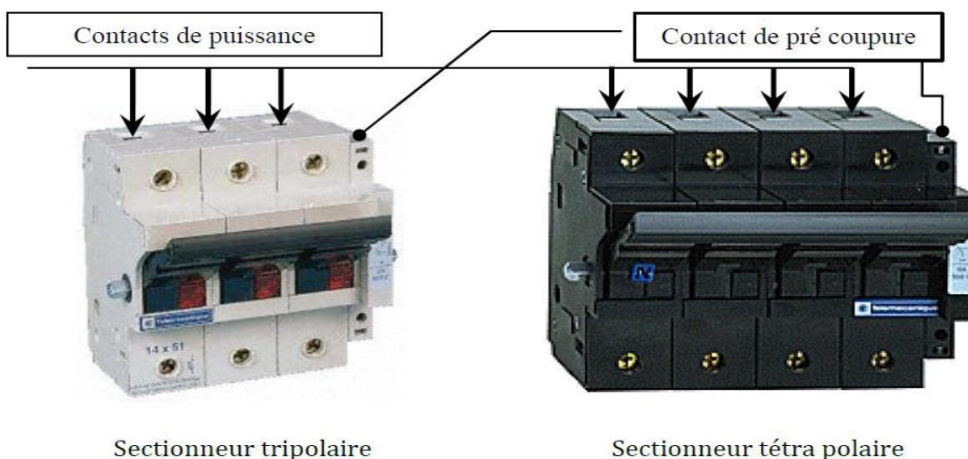


Figure 18. Contacts de puissance et de pré-coupe d'un sectionneur tripolaire et tétrapolaire.

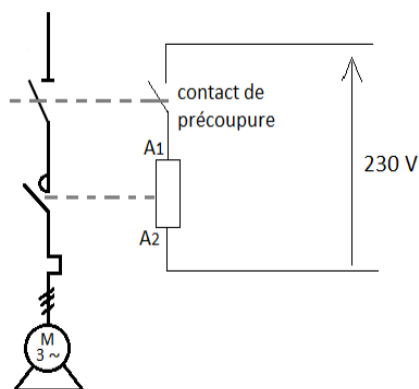
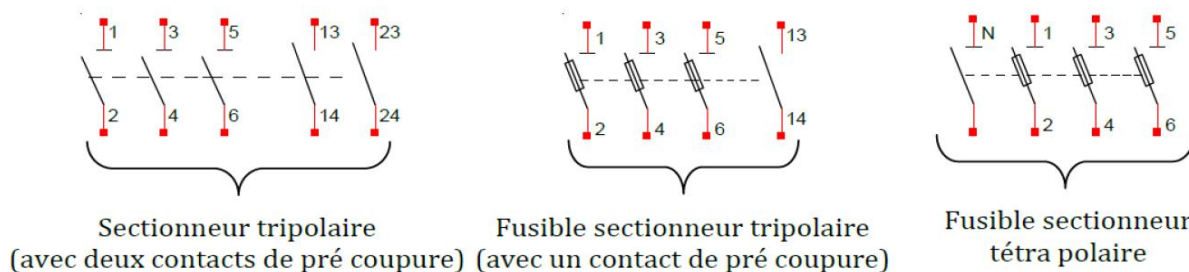


Figure 19. Insertion de contact de pré coupure du sectionneur dans le circuit de commande.

Dans la plupart des cas, le sectionneur comporte un emplacement pour le logement des fusibles protégeant le circuit en aval contre les courts circuits, on parle de « sectionneur porte fusible »,

Symbole



Le sectionneur est généralement repéré dans les schémas électriques par la lettre Q (Q1, Q2...).

Différents types de sectionneurs

- **Sectionneurs BT domestique** La fonction sectionneur est obligatoire au départ de chaque circuit est réalisée par des sectionneurs à fusibles incorporés.
- **Sectionneurs BT industriels** Ces appareils assurent la fonction de sectionnement au départ des équipements. En général des derniers comportent des fusibles et des contacts auxiliaires.
- **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.

Critères de choix d'un sectionneur

- Intensité maximum supportée par les pôles de puissance
- Tension maximum d'isolement entre les pôles de puissance
- Nombre de pôles de puissance (tripolaire ou tétrapolaire)
- 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.

II. Appareillages d'interruption et de commande

II.1. Les interrupteurs

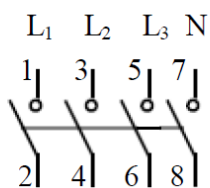
Rôle

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



Figure 20. Interrupteurs.

Symbole



Interrupteur tétrapolaire.

II.2. Les interrupteurs-sectionneurs

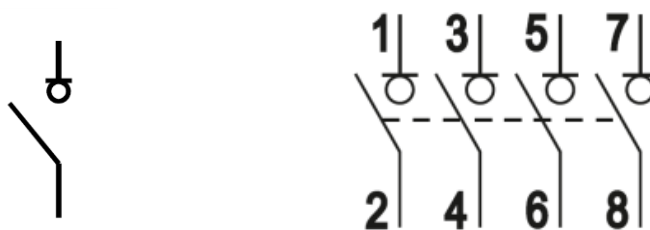
Rôle

L'interrupteur sectionneur est un appareil de commande capable de couper et fermer un circuit en service normal, et de séparer de façon certaine tous les conducteurs actifs.



Figure 21. Interrupteurs-sectionneurs.

Symbole



Interrupteur-sectionneur tétrapolaire.

Caractéristiques principales

L'interrupteur sectionneur peut être Uni/Bi/Tri/Tétra polaire ; avec un courant qui pourra aller jusqu'à 1250 A sous une tension de 1000 V (en BT).

Application

Généralement, l'interrupteur-sectionneur est utilisé pour les manœuvres et les arrêts d'urgence.

II.3. Le contacteur

Rôle

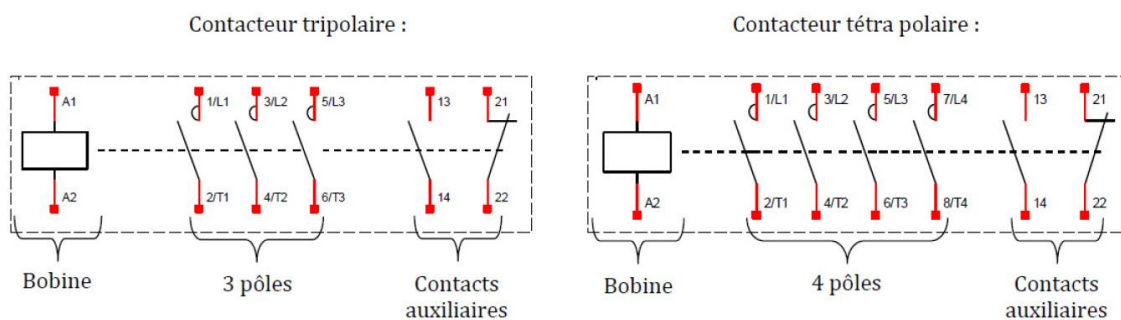
Le contacteur est un appareil de commande qui sert à établir, interrompre et supporter les courants dans les conditions normales de fonctionnement d'un circuit. C'est essentiellement un appareil de commande et de contrôle capable d'effectuer un grand nombre de manœuvres sous des courants de charges normaux.

L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance.



Figure 22. Contacteur.

Symbole



Caractéristiques principales

Un contacteur est constitué de deux parties principales, la partie puissance et la partie commande. Le circuit de puissance est composé des contacts principaux qui peuvent être unipolaires, bipolaires, tripolaires ou encore tétra-polaires. Le circuit de commande est constitué principalement d'une bobine et contact auxiliaire. Sur les contacteurs de puissance élevée les bobines sont souvent interchangeables, permettant de commander le contacteur avec différentes tensions (24V, 48V, 110V, 230V, 400V).

La différence entre contact de puissance et contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister à l'apparition d'un arc électrique issu d'un fort courant, à l'ouverture ou à la fermeture du circuit ; de ce fait, c'est ce contact qui possède un fort pouvoir de coupure.

Constitution générale détaillée

Le contacteur est constitué principalement de deux types de contacts, principaux et auxiliaires ainsi qu'une bobine de commande.

- **Contacts principaux à fermeture** : Ce sont les contacts de circuit de puissance qui assurent le passage du courant nominal nécessaire au fonctionnement du récepteur.
- **Contacts auxiliaires** : Les contacts auxiliaires, à ouverture ou à fermeture, interviennent dans le circuit de commande et agissent sur des intensités plus faibles. Ces contacts peuvent être soit intégrés soit démontables instantanés ou temporisés.
Ils seront destinés à assurer : l'auto-alimentation des bobines des contacteurs, la signalisation visuelle, les alarmes sonores, les asservissements, les verrouillages électriques des contacteurs.
- **Electro-aimant** : Formé d'une bobine qui peut être alimentée en courant continu ou en courant alternatif et d'un noyau magnétique généralement feuilleté. L'électro-aimant attire une palette mobile lorsqu'il est alimenté, qui tire de sa part les contacts principaux.

Remarque : le circuit magnétique d'un contacteur est feuilleté afin d'éviter la création de courants de Foucault qui réduisent le flux magnétique et échauffent les masses métalliques.

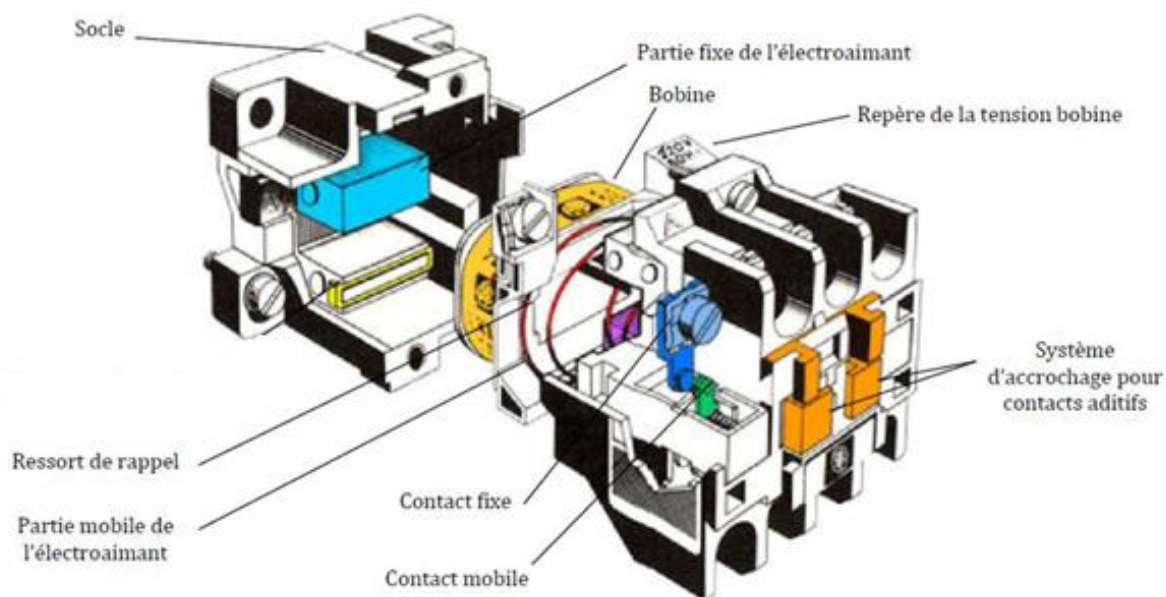


Figure 23. Constitution générale d'un contacteur.

Fonctionnement

La figure 24 montre les principaux éléments constitutifs d'un contacteur. Lorsque la bobine est excitée, toute la partie mobile est attirée. Les pôles mobiles se ferment en premier, puis l'armature mobile de l'électroaimant colle à l'armature fixe. Entre ces deux événements, un ressort est écrasé, exerçant une pression aux contacts. Cette pression est d'ailleurs nommée « pression de contact », notion importante dans la conception d'un contacteur. C'est celle qui garantit la qualité de la conductivité des contacts.

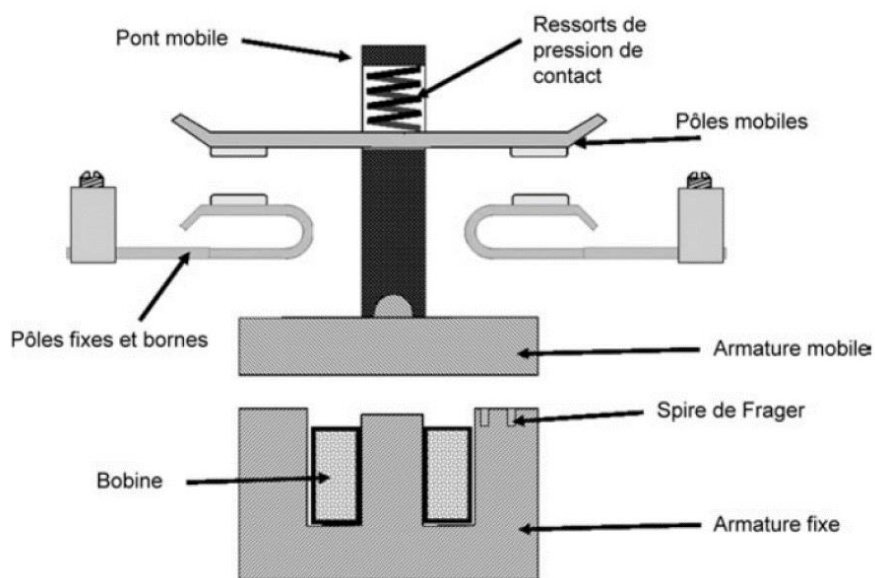


Figure 24. Principaux éléments d'un contacteur.

Accessoires

Dans l'objectif d'assurer convenablement sa fonction, un contacteur doit être équipé d'autres dispositifs électriques.

- **Contacts auxiliaires instantanés**

Les contacts auxiliaires sont destinés à assurer l'auto alimentation, les verrouillages des contacts...etc. Il existe deux types de contacts, les contacts à fermeture et les contacts à ouverture.

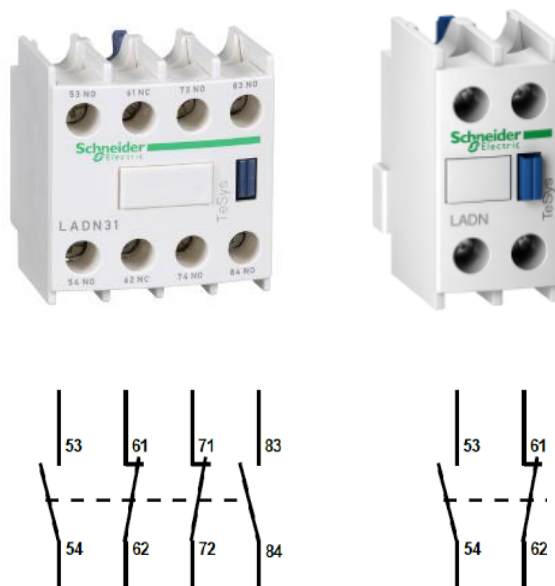


Figure 25. Blocs contacts auxiliaires pour contacteur.

- **Contacts temporisés**

Le contact temporisé permet d'établir ou d'ouvrir un contact après un certain temps pré-réglé de façon à permettre à notre équipement de fonctionner convenablement selon l'application désirée.

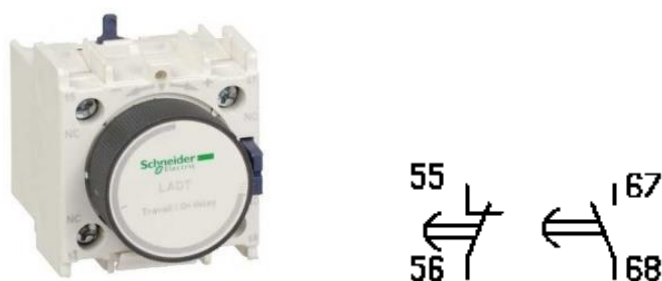


Figure 26. Bloc contacts temporisés pour contacteur.

- **Dispositif de condamnation mécanique**

Dans certains montages, si deux contacteurs s'excitent en même temps, la fermeture de leurs contacts de puissance crée un court-circuit dans le circuit de puissance. C'est pourquoi, il faut rendre impossible la fermeture simultanée des contacts (de puissance) des deux contacteurs, cette action s'appelle : verrouillage. On distingue le verrouillage électrique et le verrouillage mécanique

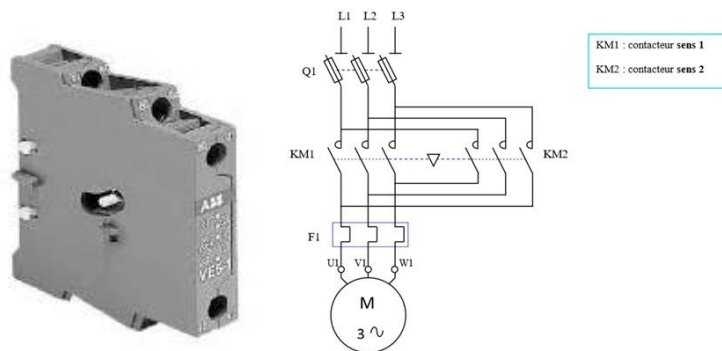


Figure 27. Dispositif de condamnation mécanique pour contacteur (Verouillage mecanique).

Remarque

- La bobine et les contacts auxiliaires se branchent toujours dans le circuit de commande tandis que les contacts de puissance se raccordent toujours dans le circuit de puissance.
- Certains modèles de contacteurs peuvent recevoir en plus des blocs annexes de contacts auxiliaires (instantanés ou temporisés).

Critères et choix d'un contacteur

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.

Catégorie d'emploi : Les catégories d'emploi normalisées fixent les valeurs de courant que le contacteur doit établir et couper. Elles dépendent :

- De la nature du récepteur.
- Des conditions dans lesquelles s'effectuent fermetures et ouvertures.

Courant d'emploi I_e : Il est défini suivant la tension assignée d'emploi, la fréquence et le service assignés, la catégorie d'emploi et la température de l'air au voisinage de l'appareil.

Tension d'emploi U_e : C'est la valeur de tension qui, combinée avec un courant assigné d'emploi, détermine l'emploi du contacteur. Pour les circuits triphasés, elle s'exprime par la tension entre phases.

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.

Endurance électrique (durée de vie) : 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.

Puissance P_e : C'est la puissance du moteur normalisé pour lequel le contacteur est prévu à la tension assignée d'emploi.

Courant thermique conventionnel (I_{th}) (à l'air libre, selon IEC)

Un contacteur en position fermée peut supporter ce courant I_{th} pendant au moins 8 heures sans que son échauffement dépasse les limites prescrites par les normes.

Tension assignée d'isolement (U_i)

La tension assignée d'isolement d'un appareil est la valeur de la tension qui sert à désigner cet isolement et à laquelle se rapportent les essais diélectriques, les lignes de fuite et les distances dans l'air.

Tension de commande U_c : C'est la valeur assignée de la tension de commande sur laquelle sont basées les caractéristiques de fonctionnement de (12V à 400V) alternatif ou continu.

Tableau 2. Catégorie et fonctionnement de différents type de contacteur.

	Catégorie	Récepteur	Fonctionnement
Alternatif	AC1	Four à résistances	Charge non inductives ou peu inductives
	AC2	Moteur à bagues	Démarrage, inversion de marche
	AC3	Moteur à cage	Démarrage, coupure du moteur lancé
	AC4		Démarrage, inversion, marche par à coups
Continu	DC1	Résistance	Charges non inductives
	DC2	Moteur shunt	Démarrage, coupure du moteur lancé
	DC3		Démarrage, inversion, à coups
	DC4	Moteur Série	Démarrage, coupure du moteur lancé
	DC5		Démarrage, inversion, à coups

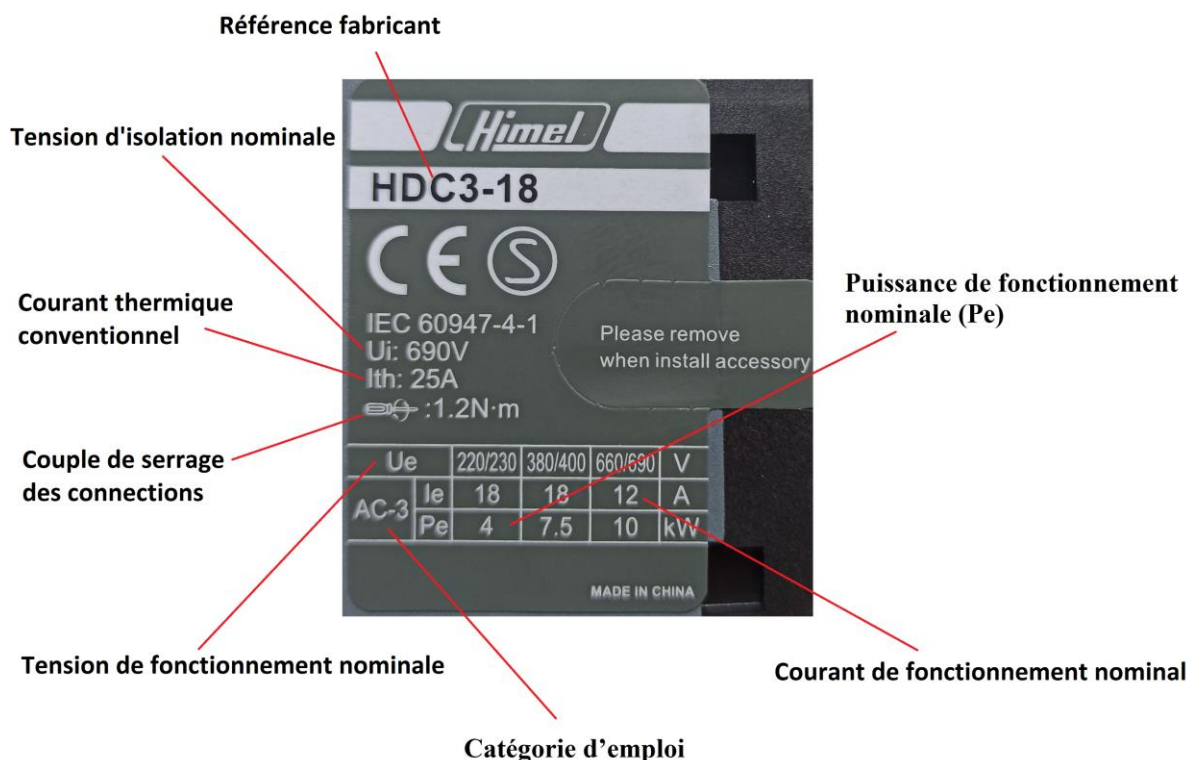


Figure 27. Indications inscrites sur un contacteur (Marque Himel).

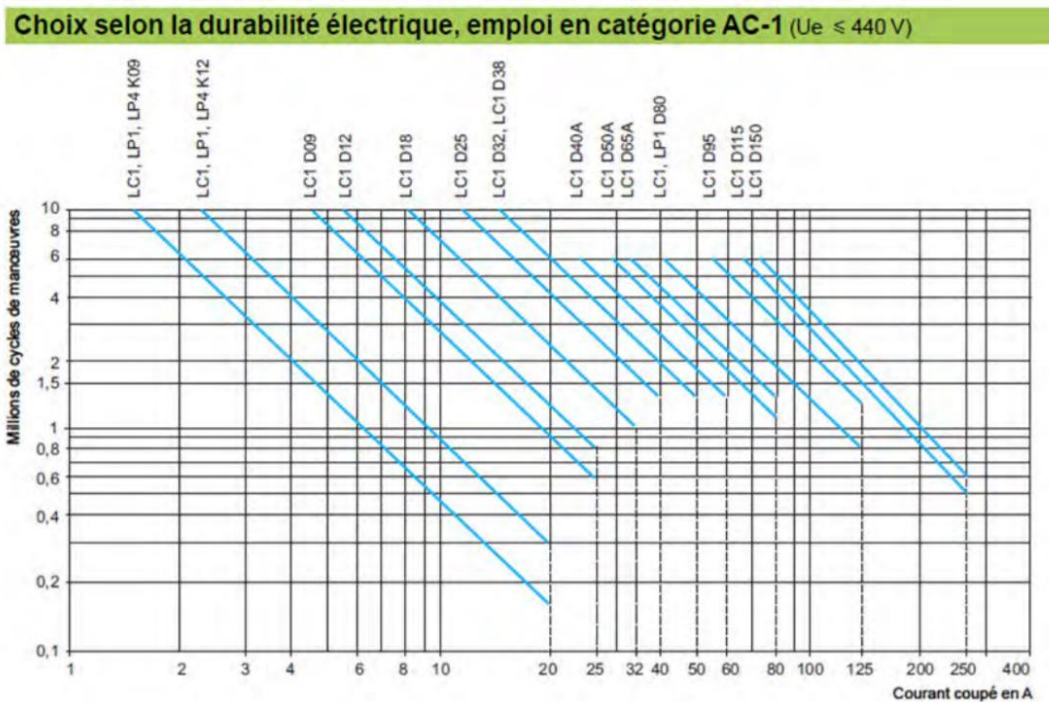


Figure 28. Durée de vie électrique d'un contacteur en AC1

III. Appareillages de protection

L'appareillage de protection électrique joue un rôle important dans les installations électriques, il est le garant de la protection des biens contre les surcharges et les courts circuits mais aussi de la protection des personnes contre les risques électriques (dispositif différentiel). L'appareil de protection doit être calculé et ajusté au circuit qu'il protège.

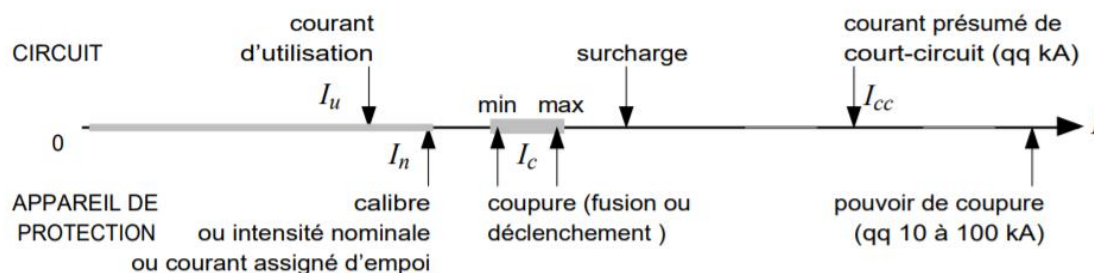
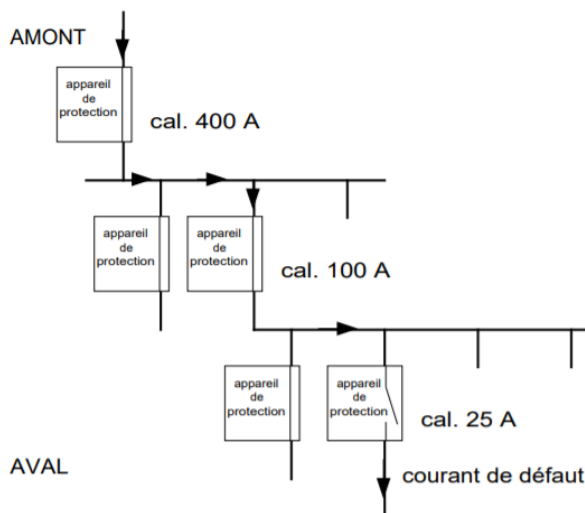


Figure 29. Déclenchement des appareils de protection en cas de surintensité.

- **Fonctionnement normal** : courant d'utilisation \leq calibre de l'appareil de protection.
- **Surintensité passagère** : démarrage moteur, connexion transformateur, etc. Pas de coupure.
- **Surintensité anormale** :
 - Surcharge : échauffement thermique, puissance demandée excessive...
Coupure après un certain délais.
 - Court-circuit. Coupure immédiate.
- **Coupure** : le fonctionnement de l'appareil de protection est assuré pour un courant donné dans un certain intervalle, qui correspond à une plage de réglage dans le cas d'un disjoncteur ou à une zone de fonctionnement indéterminé dans le cas d'un fusible.
- **Pouvoir de coupure** : courant maximal qu'un dispositif de protection peut couper (exprimé en kA).

Association des appareils de protection : sélectivité et filiation



Un courant traverse en général plusieurs appareils de protection en série, dont les calibres sont calculés et répartis en fonction des différents circuits à protéger. En cas de surintensité il y a bonne sélectivité lorsque seul l'appareil protégeant le circuit en défaut fonctionne.

Mais il faut aussi assurer la protection de l'installation en cas de fort court-circuit : c'est le rôle de la filiation.

- Sélectivité ampèremétrique : répartition des valeurs de courant d'emploi : calibre Amont > calibre Aval.
- Sélectivité chronométrique : échelonnement des temps de déclenchement : délai de coupure Amont > délai de coupure Aval.
- Filiation : utilisation répartie des pouvoirs de coupure des appareils de protection : pouvoir de coupure Amont > pouvoir de coupure Aval

III.1. Le fusible

Rôle

Un fusible est un dispositif de sécurité qui protège contre les courts-circuits et les surcharges. Il se présente sous la forme d'un cylindre, en verre ou en céramique, dont le cœur est traversé par un filament.

Ce filament fond (d'où le nom « fusible », qui signifie « qui peut fondre ») lorsqu'il est soumis à une trop forte chaleur engendrée par une surintensité. Cela a pour effet de couper le circuit et de protéger les équipements contre d'éventuelles dégradations ou des risques d'incendie.

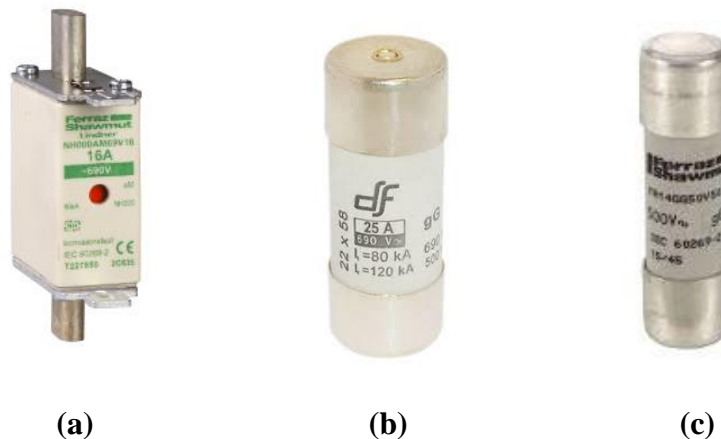
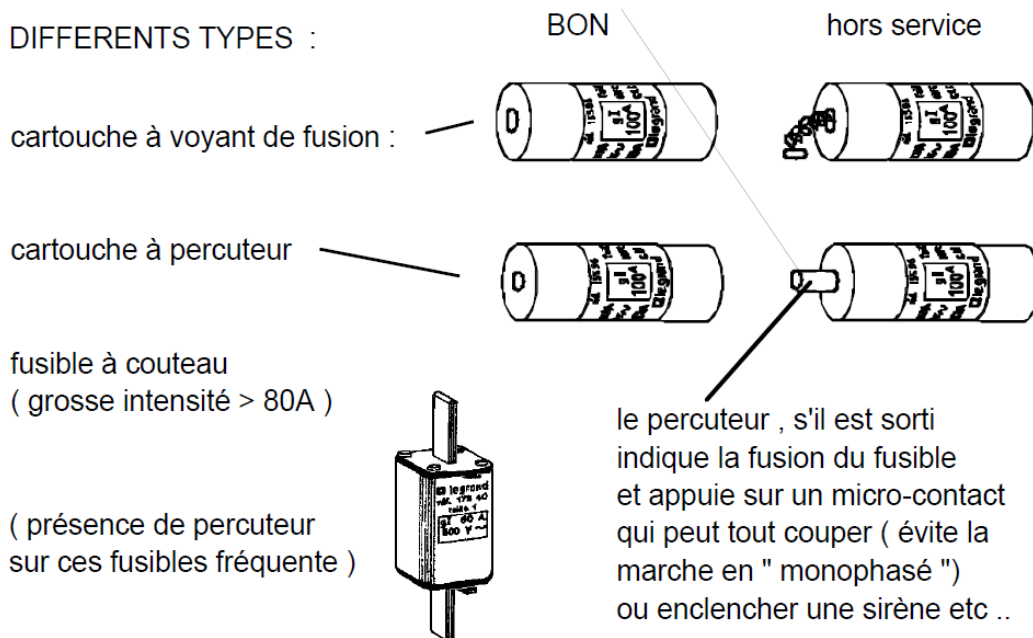


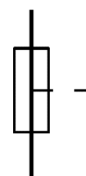
Figure 30. (a) Fusible à couteau, (b) fusible à avec percuteur, (c) fusible sans percuteur.



Symbole



Fusible sans percuteur



Fusible avec percuteur

Constitution

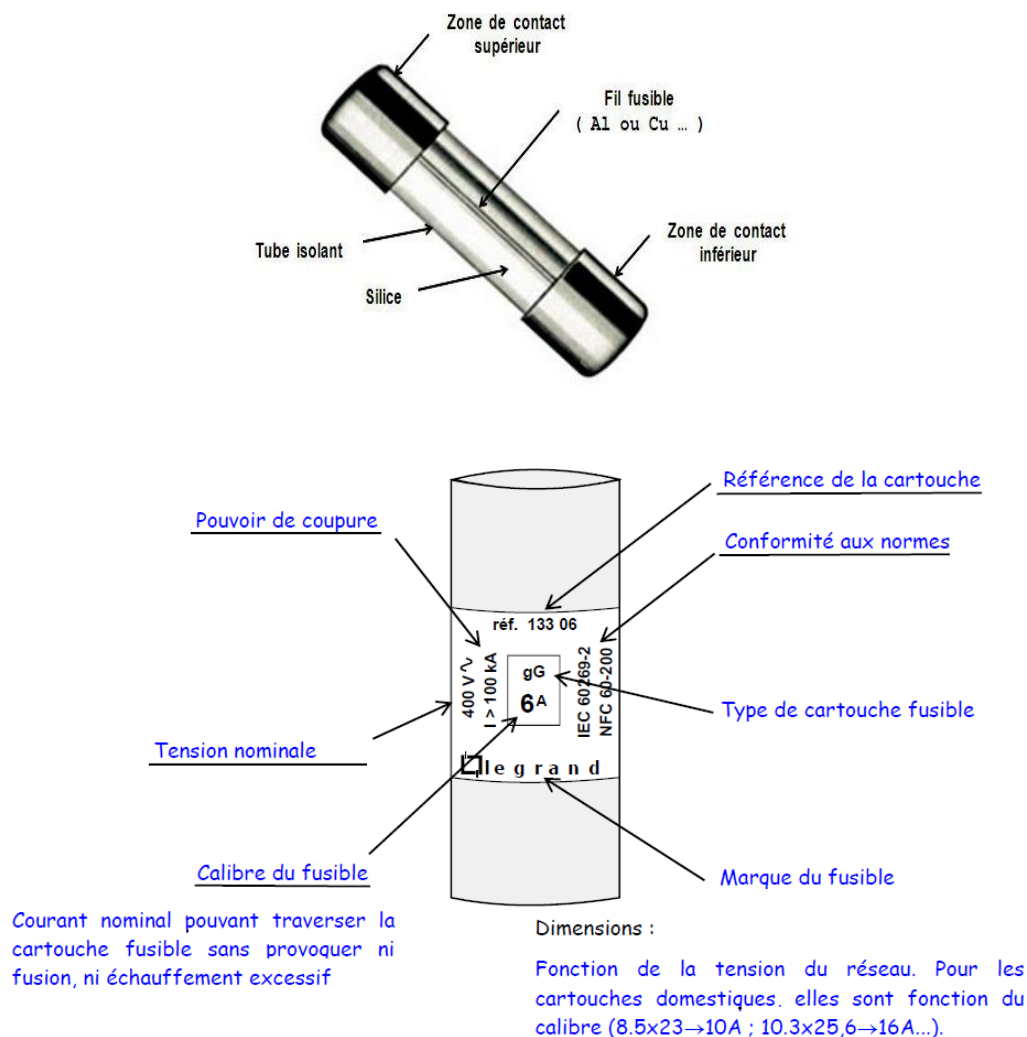


Figure 31. Constitution d'un fusible.

Caractéristiques principales

Tension nominale U_n

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

Courant nominal I_n

C'est le calibre du fusible. Il peut donc traverser le fusible en permanence sans provoquer la fusion ni d'échauffement anormal.

Courant de non fusion « I_{nf} »

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

Courant de fusion « I_f »

C'est la valeur du courant qui provoque la fusion de l'élément fusible avant l'expiration du temps conventionnel.

Courant de court-circuit présumé

C'est l'intensité efficace qui s'établirait en cas de court-circuit en l'absence de toute protection. Sa valeur de crête est d'autant plus élevée que le $\cos \varphi$ de l'installation est faible.

Pouvoir de coupure

Le pouvoir de coupure est la plus grande intensité de courant de court-circuit qu'un fusible peut interrompre, sous une tension donnée. Il s'exprime en kiloampères (kA).

Durée de coupure

C'est le temps qui s'écoule entre le moment où commence à circuler un courant suffisant pour provoquer la fusion et la fin de la fusion.

Courbe de fonctionnement du fusible

On exprime le temps de fusion en fonction de l'intensité, ce qui se traduit par deux courbes :

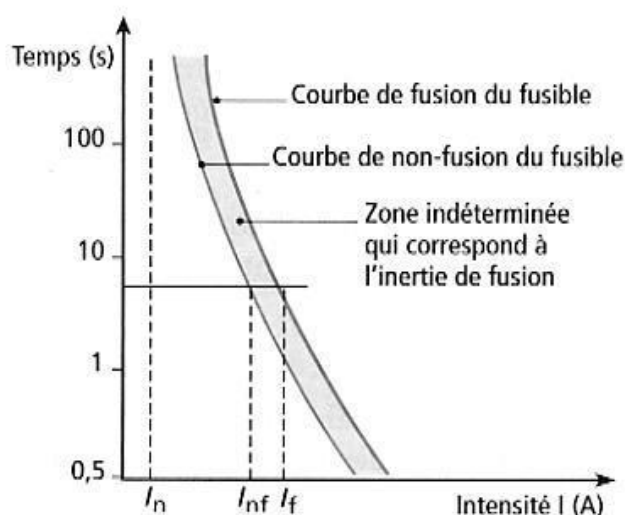


Figure 32. Courbe de fonctionnement du fusible.

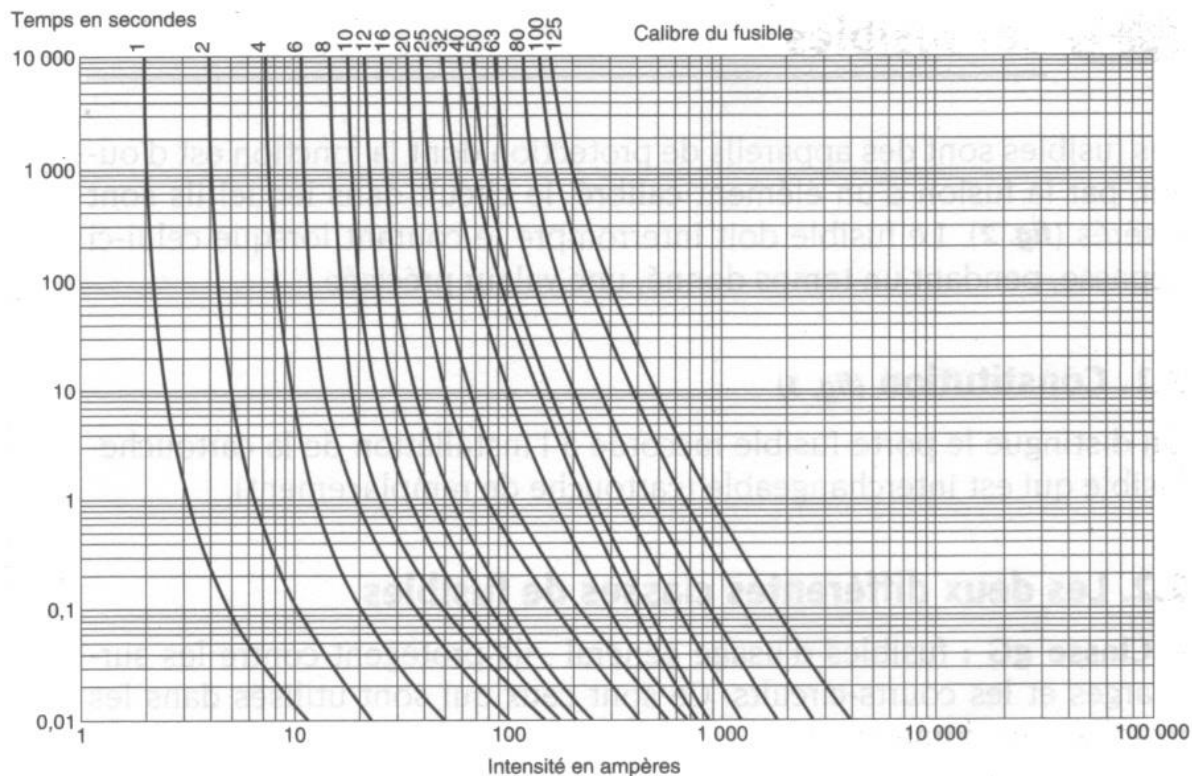


Figure 33. Courbes de fusion des fusibles cylindriques de classe gG.

Les différents types et formes de fusible

a) Les fusibles gG

Les fusibles gG sont des fusibles dit de « protection générale », protègent les circuits contre les faibles et fortes surcharges ainsi que les courts-circuits. Les inscriptions sont écrites en noir. L'image montre un fusible cylindrique.



Les fusibles aM

Les fusibles aM sont des fusibles dit « accompagnement moteur », protègent les circuits contre les fortes surcharges ainsi que les courts-circuits. Ils sont conçus pour résister à une surcharge de courte durée tel le démarrage d'un moteur. Ils seront associés à un système de protection thermique contre les faibles surcharges. Les inscriptions sont écrites en vert.



b) Les fusibles 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 écrites en rouges.



c) Les fusibles UR

Les fusibles ultra-rapides (UR) assurent la protection des semi- conducteurs de puissance et les circuits qui fonctionnent avec une tension continue.



Choix d'un fusible

Le choix d'un fusible doit être fondé sur la connaissance des caractéristiques du circuit à protéger :

- ✓ Le circuit de distribution, fusibles gG;
- ✓ Le circuit d'utilisation moteur, fusible aM.

Une protection par fusible peut s'appliquer à un départ (ligne) ou à un récepteur. Le choix du fusible s'effectue sur les points suivants :

- ✓ La classe : gG ou aM.
- ✓ Le calibre In

- ✓ La tension d'emploi U (inférieure ou égale à nominale U_n)
- ✓ Le pouvoir de coupure P_{dc}
- ✓ La forme du fusible (cylindrique ou à couteaux)
- ✓ La taille du fusible

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.

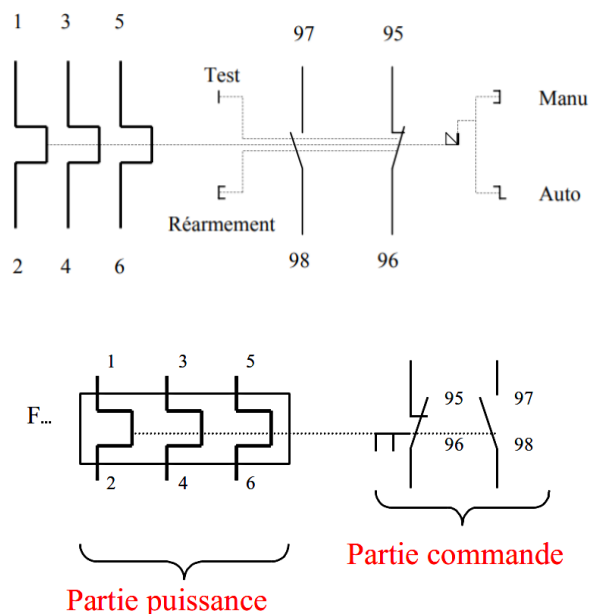
III.2. Relais thermique

Le relais thermique est un appareil qui protège le récepteur placé en aval contre les surcharges et les coupures de phase. Pour cela, il surveille en permanence le courant dans le récepteur.

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 est le contacteur qui coupe le courant dans le récepteur.

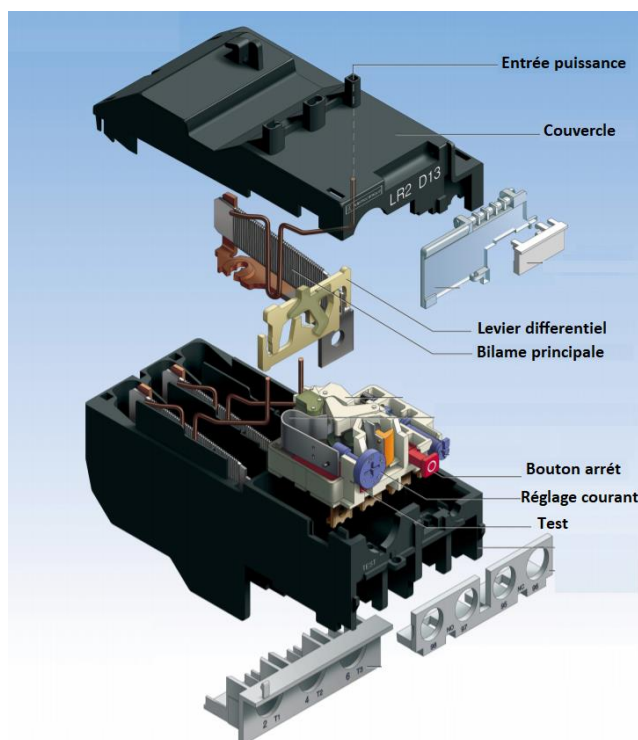
Symbole

Le relais thermique n'a pas de pouvoir de coupure, il est toujours associé à un contacteur. Le relais thermique ouvrira le circuit de puissance par le biais d'un contact auxiliaire dans le circuit de commande.



Constitution et fonctionnement

Les relais thermiques utilisent la propriété des bilames formées de deux lames minces de métaux ayant des coefficients de dilatation différents. Celles-ci s'incurvent en fonction de la température. Le courant à contrôler modifie la température grâce à l'effet joule (effet direct ou indirect selon que le courant circule dans le bilame ou autour) et déforme ainsi le bilame. Un dispositif mécanique permet alors, au-delà d'un certain seuil, de basculer un ou plusieurs contacts. Les alliages utilisés sont : fer-nickel et invar.



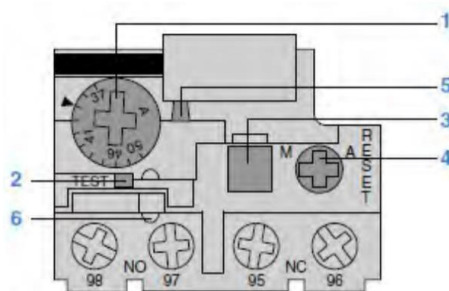
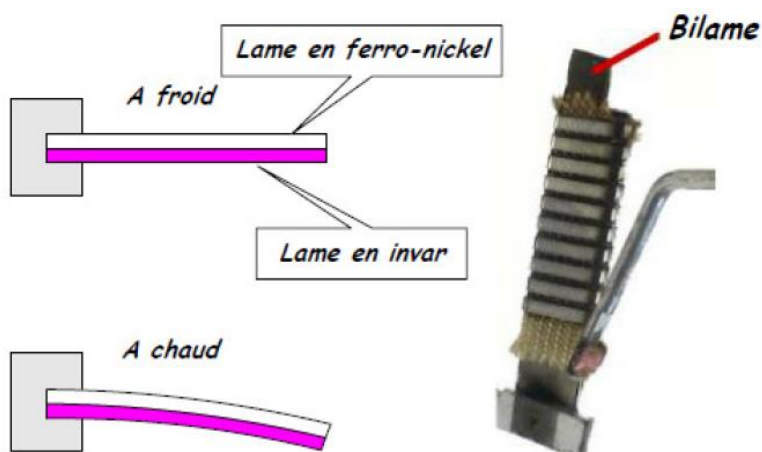


Figure 34. Vue éclaté d'un relais thermique.

1	Bouton de Réglage Ir
	Bouton Test, l'action sur le bouton permet :
2	<ul style="list-style-type: none"> - Le contrôle du câblage du circuit de commande. - La simulation du déclenchement du relais (action sur les deux contacts « O » et « F »)
3	Le bouton stop, il agit sur le contact « O » et sans effet sur le bouton « F ».
4	Bouton de réarmement
5	Visualisation du déclenchement
6	Sélecteur de choix entre réarmement manuel et automatique.



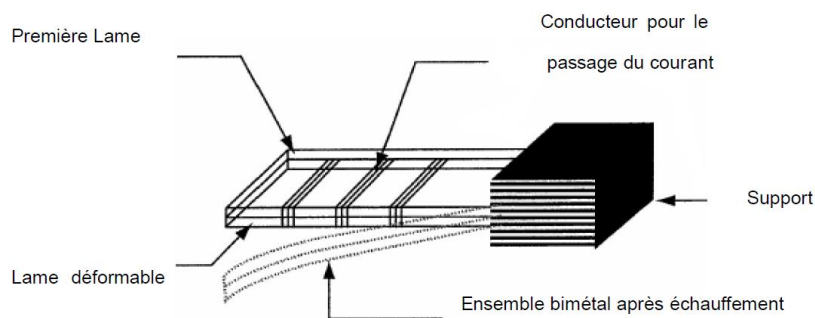


Figure 35. Principe de fonctionnement d'un relais thermique (déformation des bilames).

En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un système mécanique, lié aux bilames, assure l'ouverture d'un contact auxiliaire (NC 95-96) qui ouvre le circuit de commande d'un contacteur est le contacteur coupe le courant dans le récepteur.

Le relais thermique est généralement : différentiel, et / ou compensé.

Principe du dispositif différentiel

Chaque bilame se déforme en fonction du courant qu'elle contrôle. Ce dispositif provoque le déclenchement du relais lorsque les trois courants qui traversent les trois bilames sont différents.

Le déclenchement est d'autant plus rapide que la différence entre les courants, donc de déformation des bilames est grande.

Principe de la compensation en température

Afin d'éviter un déclenchement intempestif dû aux variations de la température ambiante, un bilame de compensation est monté sur le système principal du déclenchement. Ce bilame de compensation se déforme dans le sens opposé à celui des bilames principaux.

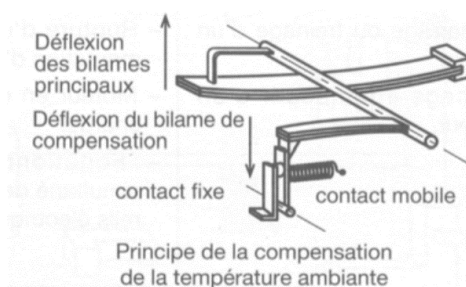


Figure 36. Principe de compensation de la température ambiante.

Classes de déclenchement d'un relais thermique

Les relais thermiques protègent contre les surcharges. Mais pendant la phase de démarrage, ils doivent laisser passer les surcharges temporaires dues à la pointe de courant et déclencher uniquement si cette pointe, c'est à dire la durée de démarrage, est anormalement longue.

Selon les applications, la durée normale de démarrage des moteurs peut varier de quelques secondes (démarrage à vide) à quelques dizaines de secondes (machine entraînée à grande inertie). Pour répondre à ce besoin la norme définit pour les relais de protection thermique trois classes de déclenchement :

- Classe 10 : temps de démarrage inférieur à 10s (applications courantes).
- Classe 20 : temps de démarrage inférieur à 20s
- Classe 30 : temps de démarrage inférieur à 30s

Celles-ci sont fonctions du temps de déclenchement à partir de l'état froid (pas de passage préalable de courant).

Tableau 3. Classes de déclenchement du 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	> 2h	< 2h	< 2 min	2s < t < 10s
10	> 2h	< 2h	< 4 min	2s < t < 10s
20	> 2h	< 2h	< 8 min	2s < t < 20s
30	> 2h	< 2h	< 12 min	2s < t < 30s

*I_r : courant de réglage du relais thermique.

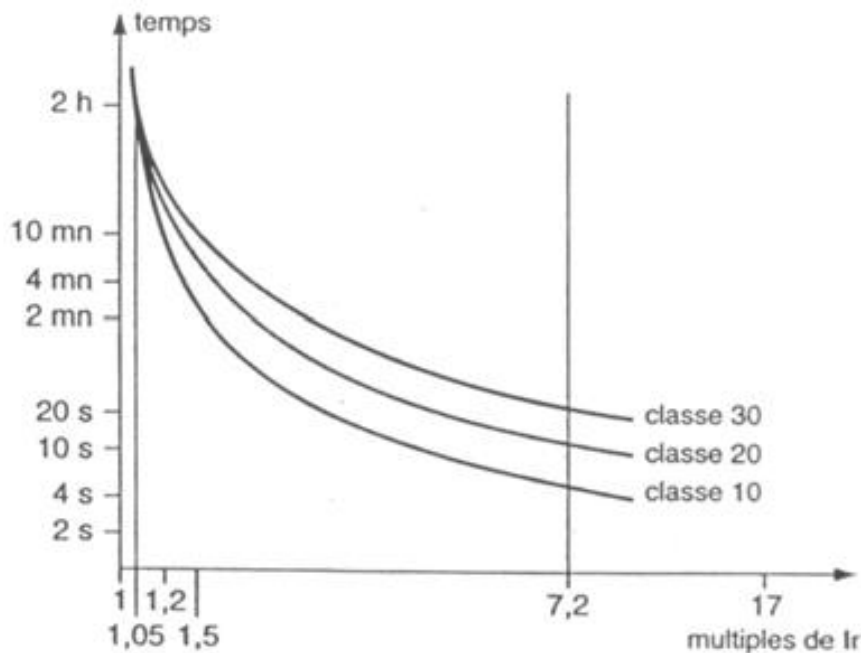


Figure 34. Courbe de déclenchement du relais thermique.

Critères de choix d'un relais thermique

Le choix et le réglage du relais thermique se fait en fonction de :

- ✓ Le courant nominal du moteur
- ✓ La plage de réglage du relais thermique
- ✓ La classe de déclenchement en fonction du temps de démarrage

III.3. Relais magnétique (électromagnétique)

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.

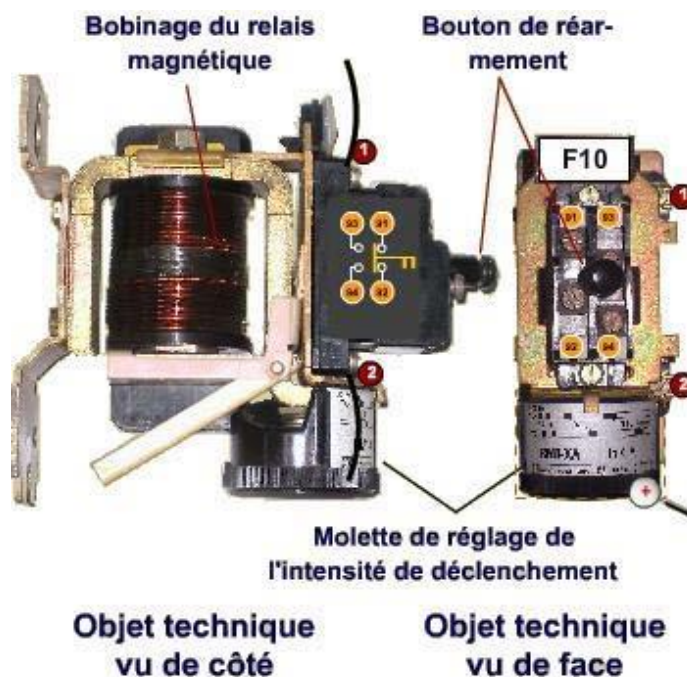


Figure 37. Relais électromagnétique.

Principe de fonctionnement

En fonctionnement normal, le bobinage du relais magnétique est parcouru par le courant du 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.

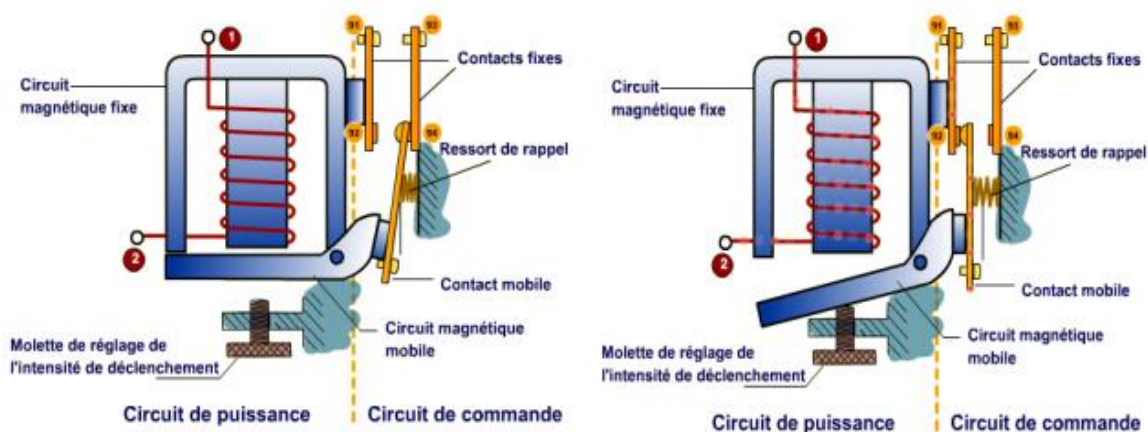
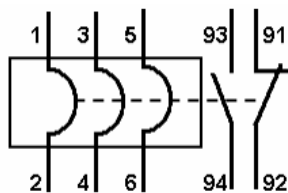


Figure 38. Vue éclaté d'un relais électromagnétique.

La raideur du ressort permet de régler pour quelle valeur du courant se produira la coupure. Le déclenchement est instantané avec un temps de réponse de l'ordre de milliseconde.

Symbole



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 réglage en service permanent ;
- De la valeur du réglage qui doit être supérieure au courant et aux pointes normales.

III.4. Relais magnéto-thermique

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).

III.5. Discontacteurs

Le discontacteur est un contacteur équipé d'un relais thermique destiné à assurer la protection contre les surcharges. Le discontacteur :

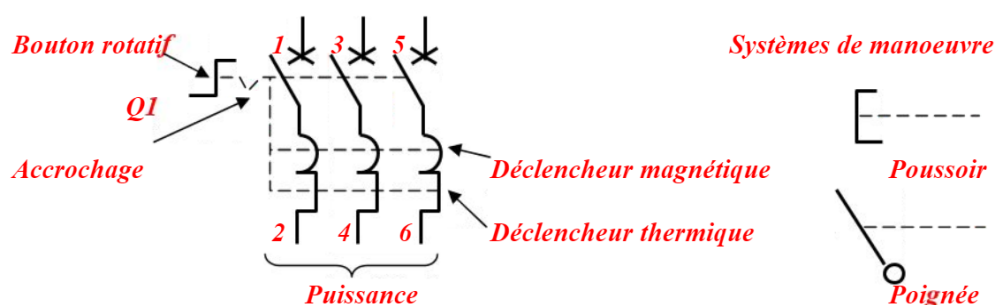
- ✓ Permet la commande à distance ;
- ✓ Réalise des systèmes automatiques ;
- ✓ Détecte toute coupure de l'alimentation ;
- ✓ Assure des verrouillages électriques ;
- ✓ Sépare le circuit de commande du circuit de puissance ;
- ✓ Protège les récepteurs contre les surcharges.

III.6. Disjoncteur

Un disjoncteur est un appareil de connexion électrique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées telles que celles du court-circuit ou de la surcharge.

Les disjoncteurs utilisent un électroaimant (déclencheur magnétique) ou un bilame métallique (déclencheur thermique) ou les deux.

Symbole



Constitution

C'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.

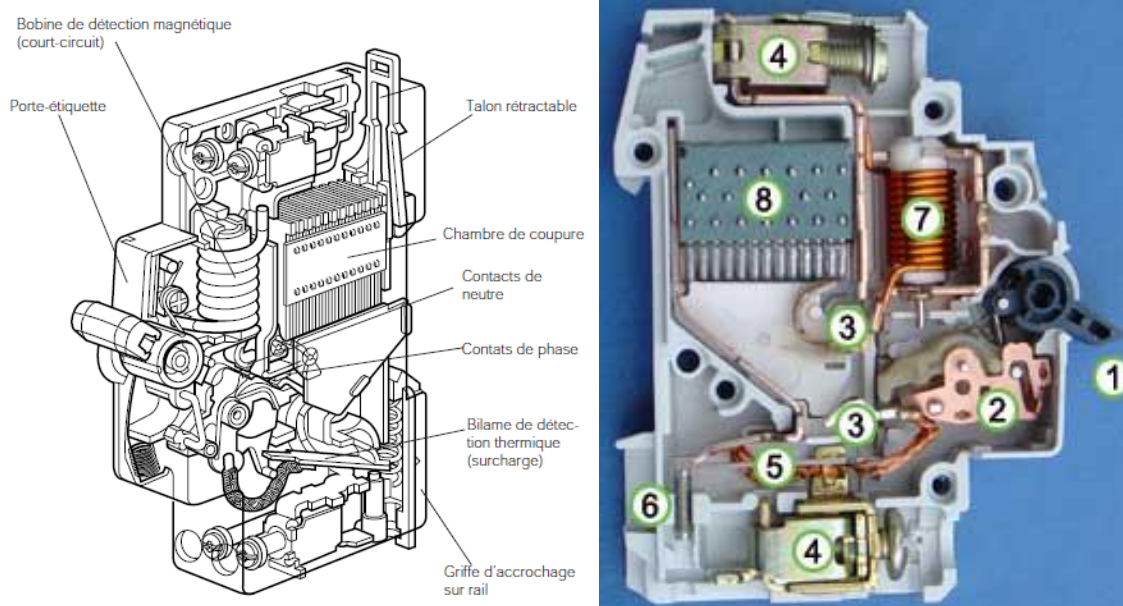


Figure 39. Vue éclatée d'un disjoncteur.

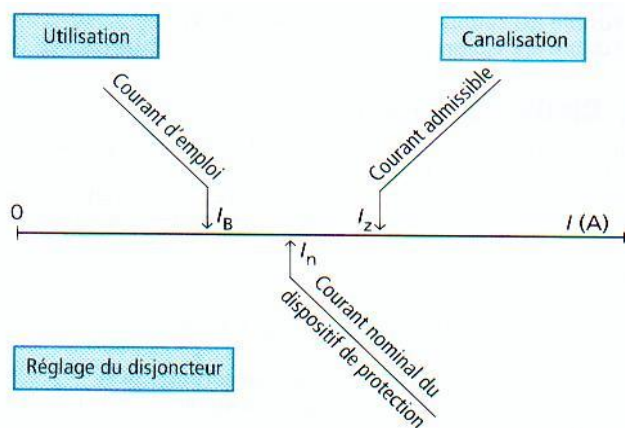
1. manette servant à couper ou à réarmer le disjoncteur manuellement. Elle indique également l'état du disjoncteur (ouvert ou fermé). La plupart des disjoncteurs sont conçus pour pouvoir disjoncter même si la manette est maintenue manuellement en position fermée ;
2. mécanisme lié à la manette, sépare ou approche les contacts ;
3. contacts permettant au courant de passer lorsqu'ils se touchent ;
4. connecteurs ;
5. bilame (2 lames soudées à coefficients de dilatation différents) : relais thermique (protection contre les surcharges) ;
6. vis de calibration, permet au fabricant d'ajuster la consigne de courant avec précision après assemblage ;
7. bobine ou solénoïde : relais magnétique (protection contre les courts-circuits) ;
8. chambre de coupure de l'arc électrique.

Fonctions

a) Protection thermique (contre les surcharges)

C'est le rôle des déclencheurs thermiques qui peuvent détecter de faibles surcharges. Le principe de fonctionnement est analogue à celui du relais thermique (un bilame se déforme et provoque l'ouverture du disjoncteur en cas d'échauffement ou de surcharge).

La coupure du circuit doit intervenir avant un échauffement anormal de la canalisation



Pour les disjoncteurs la norme NFC 15-100 donne les relations suivantes entre les courants :

- I_B : courant d'emploi du circuit
- I_Z : courant admissible de la canalisation
- I_N : courant assigné du dispositif de protection

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

b) Protection magnétique (contre les courts-circuits)

C'est le rôle des déclencheurs électromagnétiques. Ceux-ci interviennent au-delà des courants de surcharge et jusqu'à l'intensité maximale du courant de court-circuit. La coupure du circuit doit être exécutée même en cas de court-circuit.

Le pouvoir de coupure du disjoncteur (P_c) doit être supérieur au courant de court-circuit pouvant prendre naissance dans le circuit à protéger (I_{cc}).

$$P_{cc} > I_{cc}$$

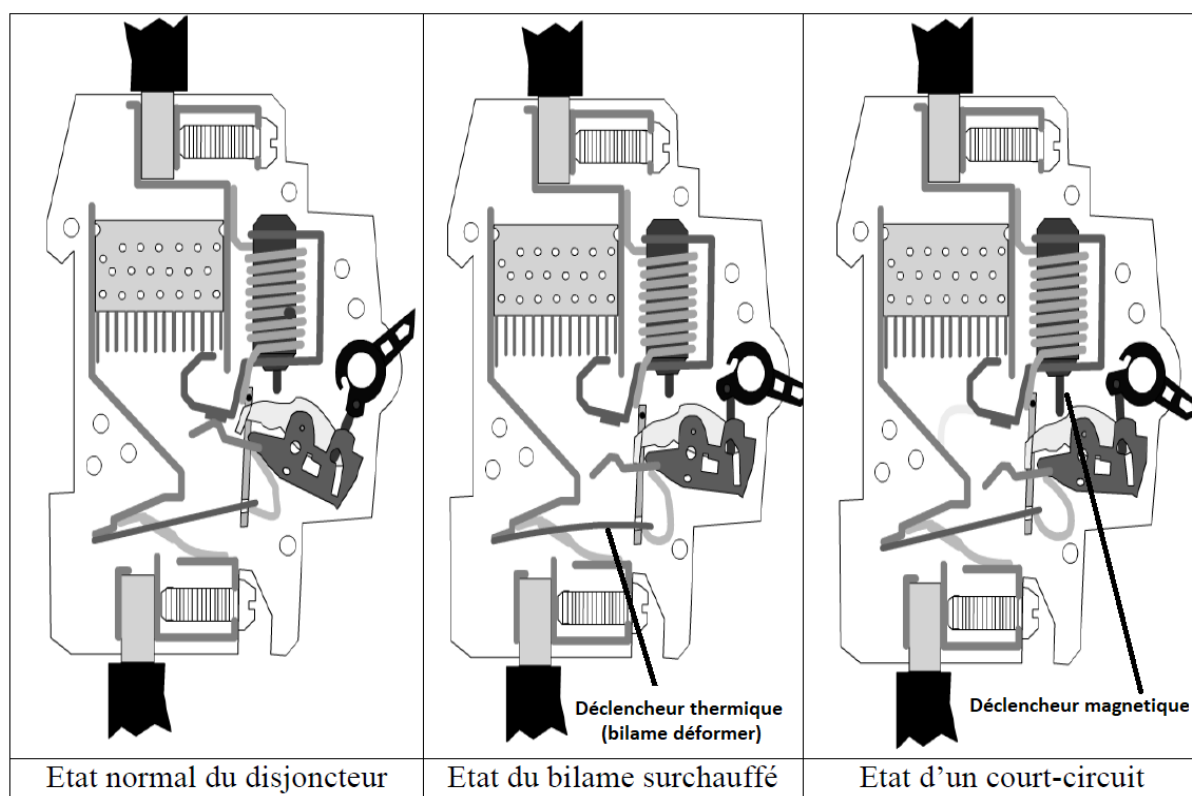


Figure 40. Différents types de protection d'un disjoncteur (thermique et magnétique).

c) Protection différentielle

Un disjoncteur différentiel est un interrupteur différentiel réalisant également une protection en courant de court-circuit (surcharge). Le principe d'un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) est de comparer les intensités sur les différents conducteurs qui le traversent. Par exemple, en monophasé, il compare l'intensité circulant dans le conducteur de phase, et celle du conducteur de neutre. C'est un appareil de protection des personnes et de détection des courants de fuite à la terre de l'installation électrique.

Le dispositif différentiel est basé sur le principe suivant : dans une installation normale, le courant électrique qui arrive par un conducteur doit ressortir par un autre. Dans une installation monophasée, si le courant dans le conducteur de phase au départ d'un circuit électrique est différent de celui du conducteur neutre, c'est qu'il y a une fuite. La différence d'intensité du courant à laquelle réagit un disjoncteur est appelée la "sensibilité différentielle du disjoncteur" (obligatoirement 30 mA sur les circuits terminaux domestiques), notée $I_{\Delta n}$ ("i delta n").

Son fonctionnement est très simple : chaque conducteur passe dans un tore magnétique, formant ainsi des champs électromagnétiques de force identique et en opposition qui s'annulent. En cas de différence, d'où son nom de différentiel, le champ électromagnétique résultant actionne un dispositif qui coupe immédiatement le courant. On doit avoir donc :

Monophasé :

$$\vec{I}_{ph} + \vec{I}_N = 0$$

Triphasé sans neutre :

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = 0$$

Triphasé avec neutre :

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N = 0$$

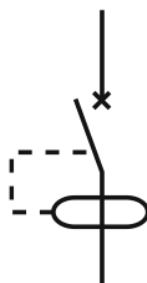


Figure 41. Symbole protection différentielle.

Les caractéristiques d'un disjoncteur

1) Identification

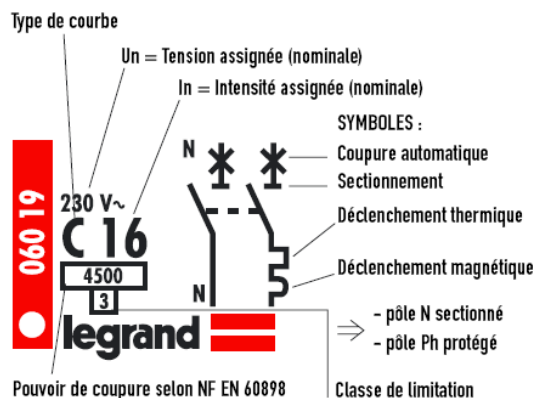


Figure 42. Indications inscrites sur un disjoncteur (Marque Legrand).

2) Grandeurs physiques

a) *Courant assigné ou nominal (I_N).*

C'est la valeur du courant que peut supporter indéfiniment le disjoncteur sans échauffement anormal. On l'appelle aussi calibre du disjoncteur.

b) *Courant de réglage (I_R).*

C'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur sans déclenchement. Ce courant est lié au réglage du déclencheur thermique, en général de 0,7 à 1 I_N .

c) *Courant de fonctionnement (I_m).*

C'est le courant de fonctionnement des déclencheurs magnétiques, en cas de court-circuit.

Les déclencheurs magnétiques ont pour rôle de provoquer l'ouverture du disjoncteur en cas de surcharge brutale ou de court-circuit. La valeur de I_m peut varier entre 2,8 I_N et 15 I_N .

d) *Tension d'emploi (U_e).*

C'est la tension pour laquelle l'appareil peut être utilisé.

e) *Pouvoir de coupure (P_c)*

C'est la plus grande intensité de court-circuit que peut interrompre le disjoncteur dans les conditions de tension et de court-circuit déterminées. Il doit être capable, après ces coupures, de fonctionner normalement. Il s'exprime en kiloampères (kA).

3) Courbes de déclenchement

C'est l'association de la courbe de déclenchement du relais thermique et de la courbe de déclenchement du relais magnétique

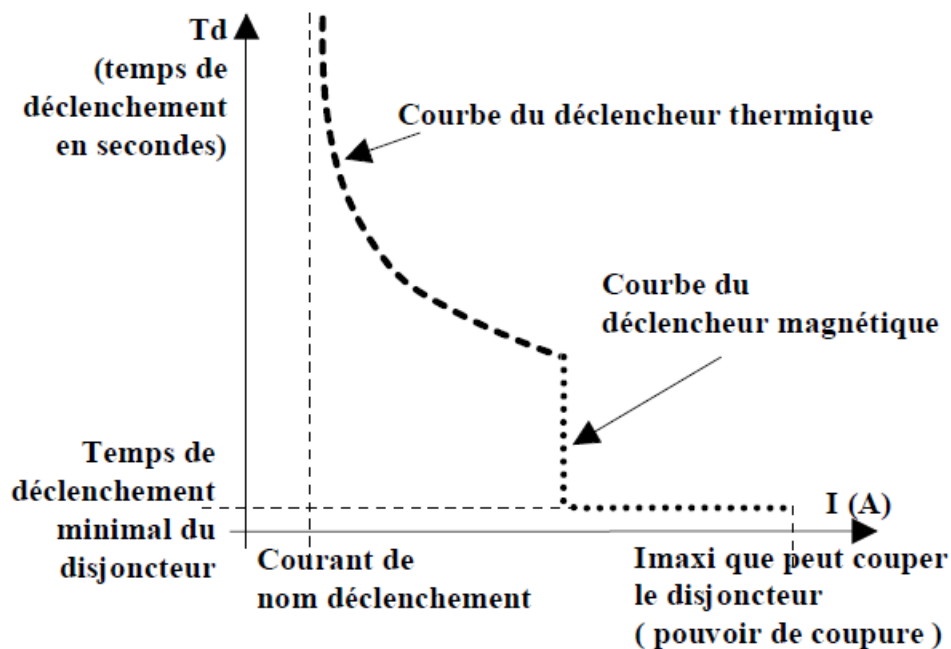


Figure 43. Courbe de déclenchement du disjoncteur magnétothermique.

Dès que le courant passe, il se forme un champ magnétique et de la chaleur suite à la résistance. Ces deux propriétés physiques sont mises à profit dans le disjoncteur. Dans la zone de surcharge, un bilame se déforme en fonction de la chaleur croissante jusqu'au moment du déclenchement (thermique). En cas de court-circuit, l'inertie du bilame est trop grande et c'est le déclencheur électromagnétique qui entre en action. Ce dernier est constitué d'une bobine avec un percuteur. Dès que le champ magnétique est trop grand, le percuteur est attiré par l'aimant et le flux de courant est interrompu immédiatement.

Il existe plusieurs courbes caractéristiques de fonctionnement de disjoncteur pour répondre à des besoins précis. Voici les différentes courbes de fonctionnement et leurs applications :

- **Courbe B** : Ce disjoncteur est utilisé pour détecter les courts-circuits de faible valeur (entre 3 et 5 fois le courant nominal).
- **Courbe C** : C'est le modèle utilisé dans les installations électriques domestiques. Il se déclenche en cas de surcharge à partir de 5 à 10 fois le courant nominal.
- **Le disjoncteur courbe D** : Ce matériel autorise les pics de courant transitoires et temporaires avec un seuil de déclenchement à partir de 10 fois le courant nominal.

- **Courbe Z** : Le disjoncteur courbe Z est adapté pour la protection des récepteurs très sensibles au court-circuit. Il déclenche entre 2 et 3 fois le courant nominal. Il est utilisé pour le matériel électronique.
- **Courbe MA** : C'est un disjoncteur un peu particulier car il ne possède pas de protection contre les surcharges. Le disjoncteur courbe MA est dédié aux démarreurs de moteur qui demande une forte intensité au démarrage. Le courbe MA déclenchera en magnétique à partir de plus de 10 fois le courant nominal.

On retrouve ces informations (ainsi que celle expliquées ci-dessus), sur le graphique suivant de Schneider Electric.

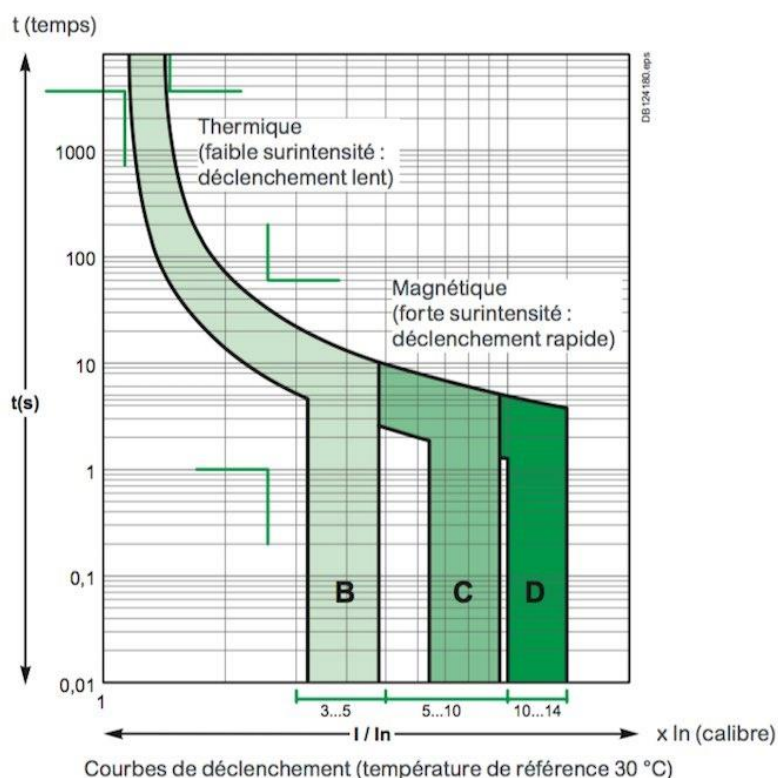


Figure 44. Comportement en surcharge et court-circuit pour trois modèles de courbes B, C et D.

Les critères de choix d'un disjoncteur

Le choix d'un disjoncteur repose sur différents critères, dont la plupart sont relatifs à votre sécurité.


































- ✓ **Les normes de sécurité** : chaque disjoncteur doit présenter une certaine conformité à des règles de sécurité. Pour des applications domestiques, les normes NF C 61-410 et NF EN 60898 doivent être visibles.
- ✓ **Les caractéristiques du réseau** : il faudra vous référer aux caractéristiques de votre réseau, et en particulier sa tension et sa fréquence.
- ✓ **La courbe de déclenchement** : chaque disjoncteur doit obligatoirement présenter l'existence d'au moins trois courbes parmi les cinq existantes (Z, B, C, D et MA). Le choix des courbes dépend du type de récepteurs (résistif ou inductif) et du type de l'installation à protéger (domestique, moteur, etc.).
- ✓ **Le pouvoir de coupure** : il exprime l'aptitude du disjoncteur à pouvoir stopper un courant de court-circuit.
- ✓ **L'environnement** : l'environnement dans lequel se trouve le disjoncteur peut avoir un rôle à jouer dans votre choix (comme le type de local ou la température ambiante).

Chapitre 5 : Élaboration des schémas électriques

L'installation électrique, plus que toute autre installation, réclame savoir-faire et maîtrise. Les règles de sécurité inhérentes à la mise en place de câbles électriques et accessoires sont drastiques et difficiles à comprendre pour un non-initié. C'est pourquoi ces travaux sont généralement réglementés par des normes et réalisés par un professionnel agréé. Les normes et réglementations d'une installation électrique protègent l'installateur et les utilisateurs. Leur application stricte permet d'équiper rationnellement un local avec du matériel résistant et de grande longévité.

I. Symboles des installations électriques

Pour la réalisation des installations/branchements électriques il faut avoir un schéma électrique qui doit représenter par l'intermédiaire des symboles faciles à reconnaître par tous les intéressés, les connexions à faire et les broches à connecter de toutes les composantes utilisées. C'est pour cela qu'on a été imposé par des normes internationales CEI (Comité International d'Electrotechnique), les modalités de représentation des différents éléments utilisés dans les installations électriques. Comme ça, un schéma une fois conçu, peut être interprété, modifié, et réalisée par un autre personne/collectif sans être nécessaire d'avoir des explications supplémentaires. Voici les principaux symboles utilisés :

APPAREILS DE PRODUCTION ET TRANSFORMATION	APPAREILS DE MESURE	CANALISATIONS	APPAREILS D'UTILISATION
 Générateur  Batterie de piles ou accus  Transformateur  Transformateur triphasé triangle/étoile  Transformateur de courant  Transformateur tore  Auto-transformateur	<p>Indicateurs</p>  Voltmètre  Ampèremètre  Wattmètre  Varmètre  Fréquence-mètre	 Conducteur de phase  Neutre  De protection (terre)  5 conducteurs (3 P + N + T)  Connexion borne  Connexion barrette  Croisement de 2 conducteurs avec connexion  Sans connexion  Dérivation  Boîte de jonction non enterrée	 Lampe d'éclairage (symbole général)  Tube à fluorescence  Moteur  Sonnerie  Résistance  Condensateur  Impédance  Eclairage de sécurité sur circuit spécial  Bloc autonome d'éclairage de sécurité
	<p>Enregistreurs</p>  Compteur d'énergie active (wattheuremètre)  Compteur d'énergie active (varheuremètre)		

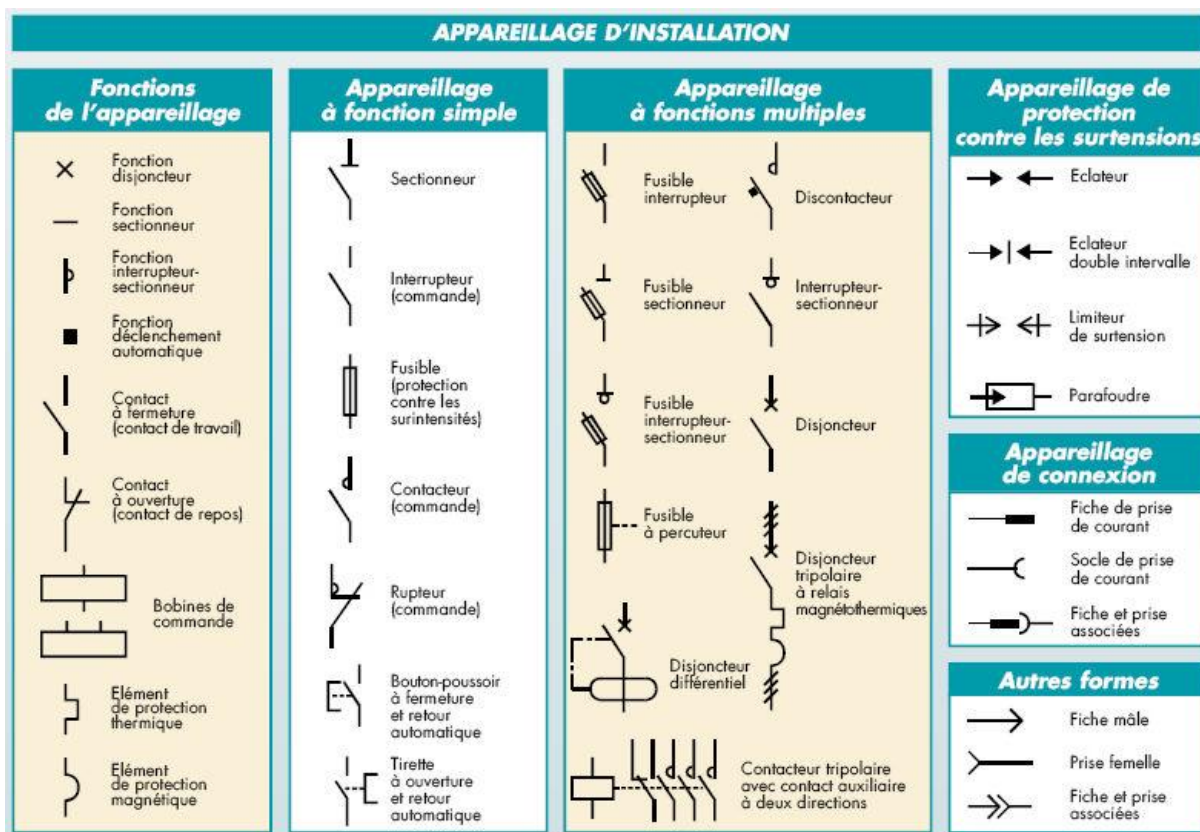


Tableau 4. Tableau des principaux symboles électriques.

II. Classification des schémas selon le mode de représentation

La mise en forme d'un schéma doit tendre vers un objectif de simplification graphique. L'utilisation de ce même schéma doit répondre à un besoin d'information technologique parfois très important. Ces deux facteurs, apparemment contradictoires imposent le choix du mode de représentation graphique le mieux adapté à la nature du problème posé et à la qualification professionnelle de l'utilisateur. Trois facteurs caractérisent le mode de représentation :

- Le nombre de conducteurs ;
- L'emplacement des symboles ;
- La représentation topographique.

II.1. Selon le nombre de conducteurs

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.

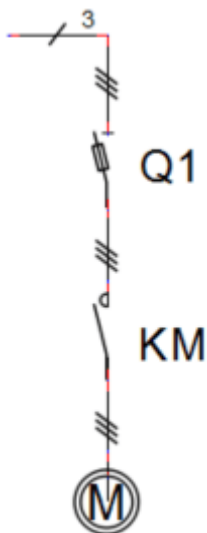


Figure 45. Schéma électrique unifilaire.

Représentation multifilaire

Dans la représentation multifilaire chaque conducteur est représenté par un trait. Si vous avez un dispositif électrique alimenté en triphasé, vous dessinez les trois fils de chaque phase. Cela prend plus de place, mais ça permet de faire figurer les numéros attribués au fils et aux borniers.

C'est aussi le schéma qui permet aux câbleurs de suivre facilement l'avancement de leur tâche de câblage et aux dépanneurs ou agents de maintenance de bien identifier les appareillages et conducteurs associés (ou connectés entre eux).

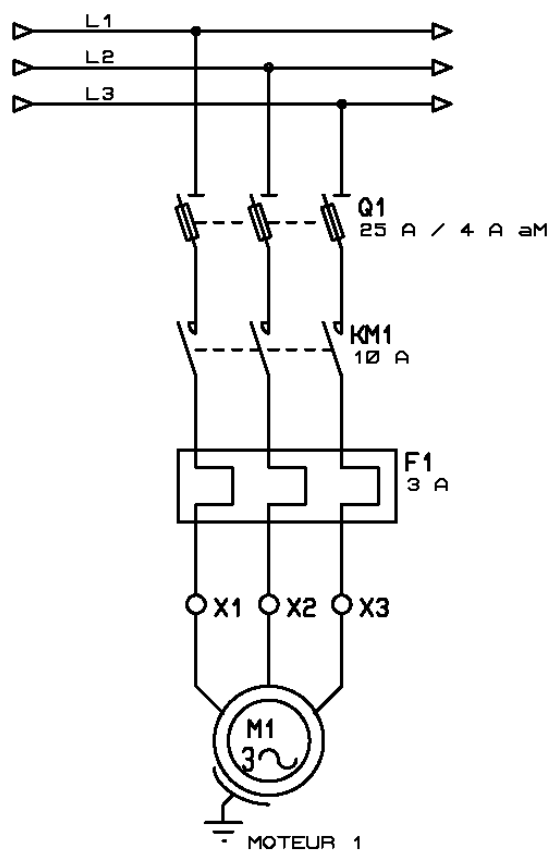


Figure 46. Schéma électrique multifilaire.

II.2. Selon l'emplacement des symboles

Représentation assemblée

Les symboles des différents éléments d'un même appareil, ou d'un même équipement, sont représentés juxtaposés (placer immédiatement l'un à côté de l'autre) sur le schéma.

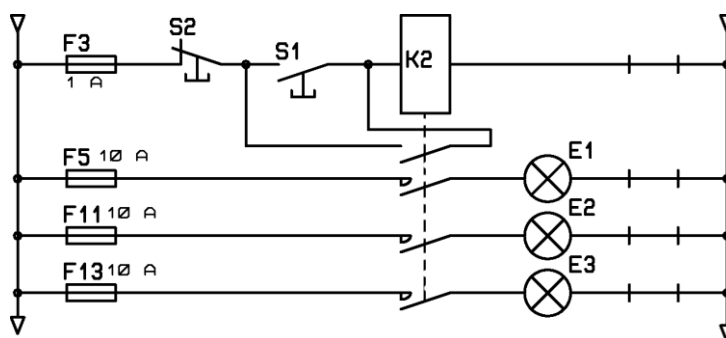


Figure 47. Schéma assemblée.

Représentation rangée

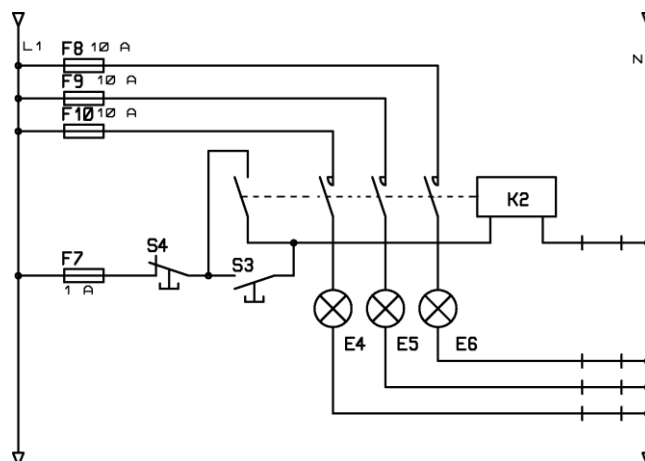


Figure 48. Schéma rangée.

Représentation développée

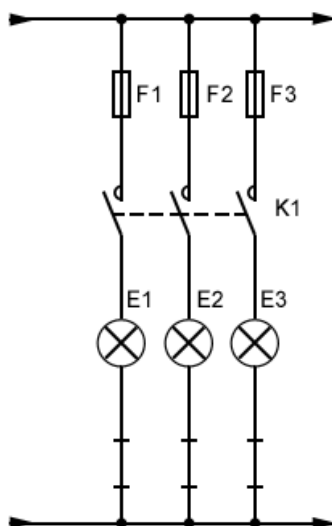


Figure 49. Schéma développé.

II.3. Représentation topographique (architecturale)

La représentation des symboles rappelle la disposition réelle des matériels dans l'espace.

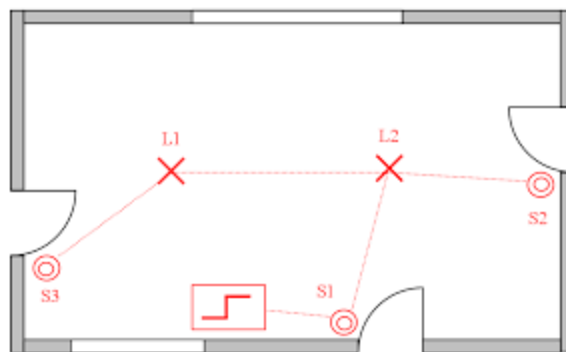


Figure 50. Schéma électrique architectural.

III. Circuit d'éclairage

III.1. Montage simple allumage

Le simple allumage en électricité sert à allumer ou éteindre un point d'éclairage depuis un seul endroit de la pièce (le plus souvent, à l'entrée de la pièce).

Il est donc composé :

- D'un interrupteur type va et vient (même s'il ne s'agit que d'un simple allumage, les interrupteurs portent le nom de va et vient car ils peuvent assurer les deux fonctions).
- D'une ou plusieurs ampoules électriques – aussi appelés point lumineux.

Ce type de montage électrique est adapté à une pièce qui possède une seule entrée, comme une chambre ou un bureau.



Figure 51. Montages simple allumage.

III.2. Montage double allumage

Ce type de montage est aussi utilisé pour des zones à un seul accès sauf que cette zone est partagée en deux demi zones éclairées séparément.

Le double allumage fonctionne selon le même principe que le simple allumage, mais il permet de commander deux points lumineux à partir d'un interrupteur double. Le schéma qui suit reprend le principe de deux simples allumages.

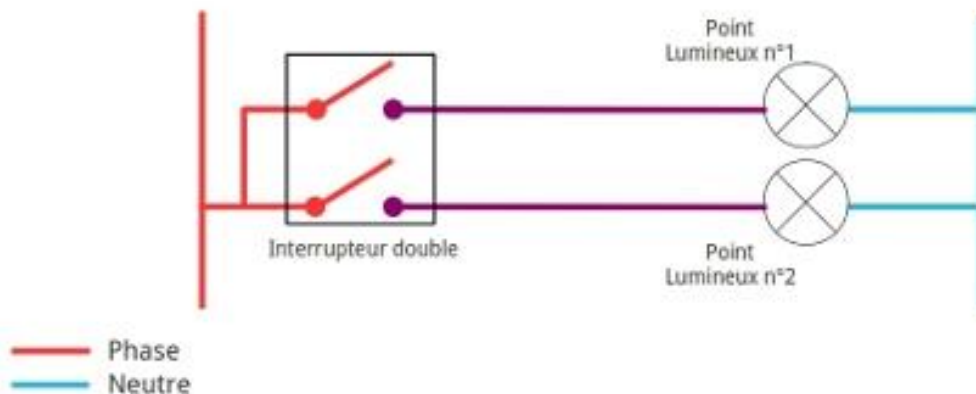


Figure 52. Montages double allumage.

III.3. Montage va-et-vient

Un circuit va-et-vient est un montage électrique qui permet d'éteindre ou d'allumer une ou plusieurs lampes à partir de deux interrupteurs, par exemple un interrupteur à chaque bout d'un couloir pour une même lampe d'éclairage. En particulier, il permet de changer l'état (allumée/éteinte) de la lampe à partir de chacun des interrupteurs et ceci, indépendamment de l'état de l'autre interrupteur. Ce principe de montage est recommandé pour les pièces comportant deux entrées. L'utilisateur peut alors traverser la pièce et commander le fonctionnement de l'ampoule indépendamment de l'endroit où il rentre et sort (d'où le nom de ce montage).

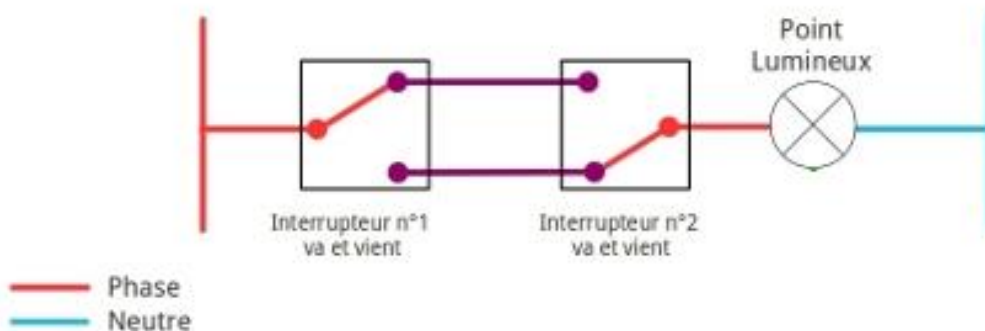


Figure 53. Montages va-et-vient.

III.4. Allumage par télérupteur

Rôle et Définition du télérupteur

Le télérupteur intervient dans le cadre d'un circuit d'éclairage. Il permet d'activer un (ou plusieurs) point lumineux à partir d'une ou plusieurs commandes. Pour rappel, une commande en électricité est un organe permettant de laisser passer le courant. Cet interrupteur est plus particulièrement un bouton poussoir.

En règle générale, le télérupteur est utilisé dans les cas où il y a trois commandes d'éclairage ou plus.

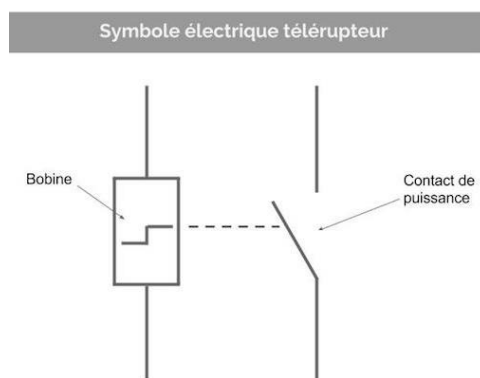
Dans le cas d'une seule commande, un montage électrique simple allumage suffit. Dans le cas de deux commandes, un montage va et vient est conseillé. C'est donc à partir de trois commandes que le télérupteur est généralement utilisé.

Principe et fonctionnement du télérupteur

Le télérupteur est un matériel électrique qui est constitué de deux éléments principaux qui sont :

- La bobine.
- Un contact pour la partie puissance.

Ces deux éléments sont représentés d'ailleurs sur le symbole du télérupteur.



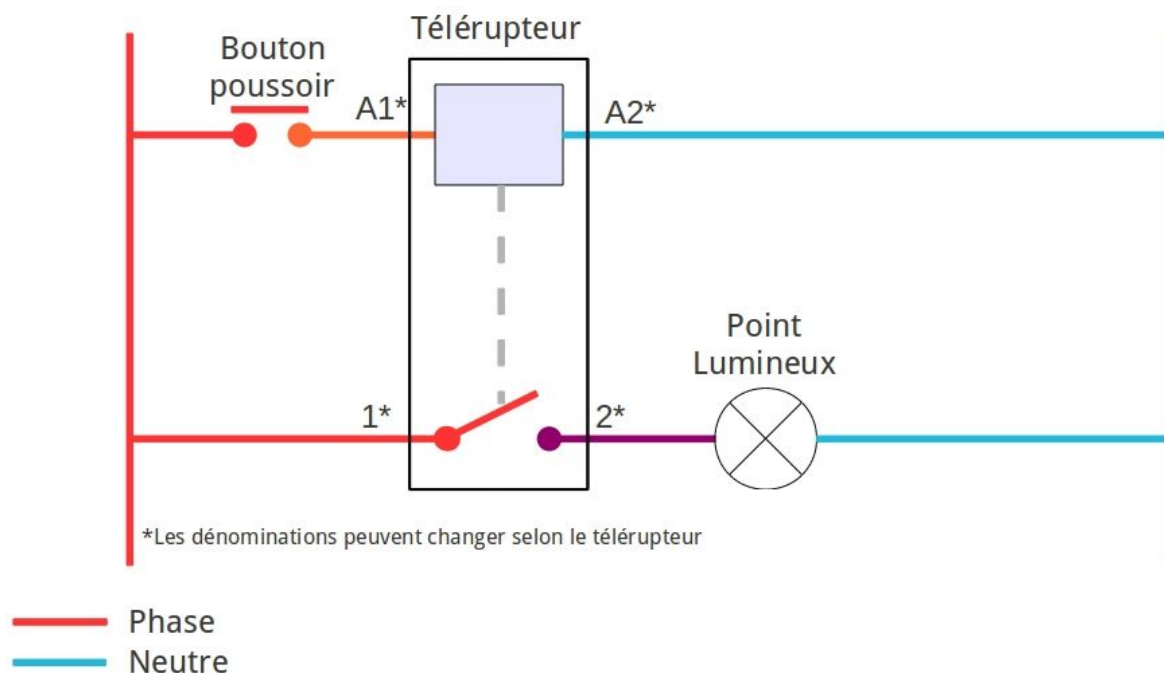


Figure 54. Principe de fonctionnement d'un télérupteur.

Une impulsion sur un bouton poussoir, excitera la bobine du télérupteur et fermera son contact (1-2) et les lampes seront allumées ; une seconde impulsion sur le bouton poussoir, désexcitera la bobine et ensuite son contact (1-2) s'ouvrira ce qui provoquera l'extinction des lampes.

III.5. Allumage par minuterie

La minuterie est de la famille des relais temporisés ; son ou ses contacts internes se ferment au moment de la commande (impulsion sur un bouton poussoir) et pour une durée déterminée, généralement de l'ordre de quelques minutes.

De ce fait, contrairement à des modes d'allumages classiques (simples interrupteurs) ou des télérupteurs, aucune action n'est requise pour permettre l'extinction des appareils d'éclairage.

Elle permet de fait de réaliser des économies d'énergies, la lumière ne pouvant rester allumée par simple négligence. La minuterie est principalement utilisée dans des lieux publics et de passage tels que des cages d'escaliers, parkings, ...

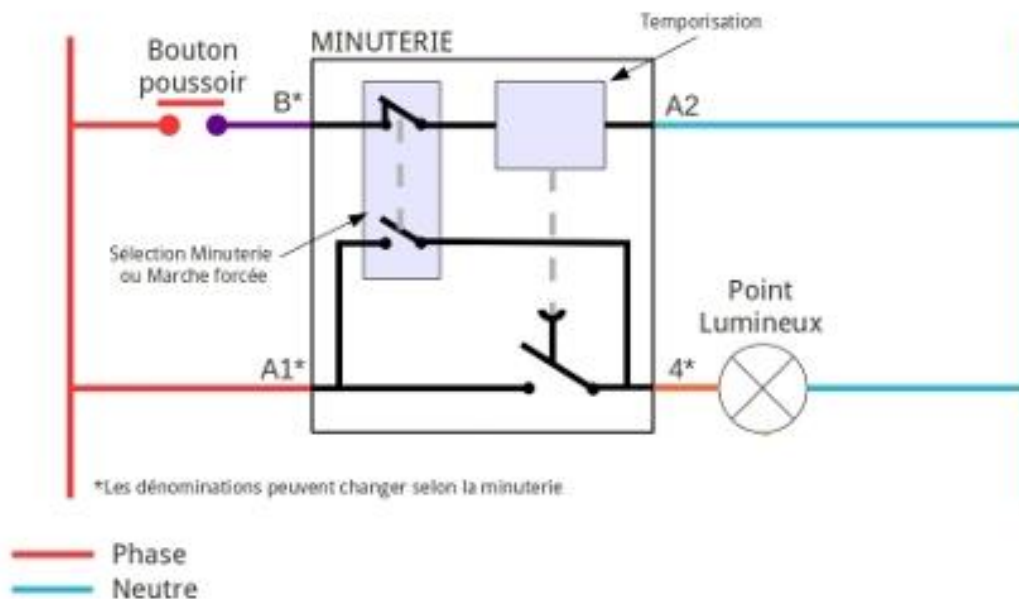


Figure 55. Principe de fonctionnement d'une minuterie.

Il convient d'adapter la durée d'allumage à l'environnement sans négliger le confort des utilisateurs. Il n'est par exemple pas très agréable de devoir appuyer à deux ou 3 reprises sur un bouton poussoir pour monter 4 étages les bras chargés de courses.

IV. Modes de démarrage d'un moteur

La majorité des installations industrielles sont constituées par deux types de circuits : le circuit de commande et le circuit de puissance.

Circuit de commande

Il comporte l'appareillage nécessaire à la commande des récepteurs de puissance. On trouve :

- La source d'alimentation
- Un appareil d'isolement (sectionneur)
- Une protection du circuit
- Un appareil de commande ou de contrôle (bouton poussoir, détecteur de grandeur physique)
- Organes de commande (bobine du contacteur)

La source d'alimentation de l'appareillage du circuit de commande ne sont pas nécessairement celle du circuit de puissance, elle dépend des caractéristiques de la bobine.

Circuit de puissance

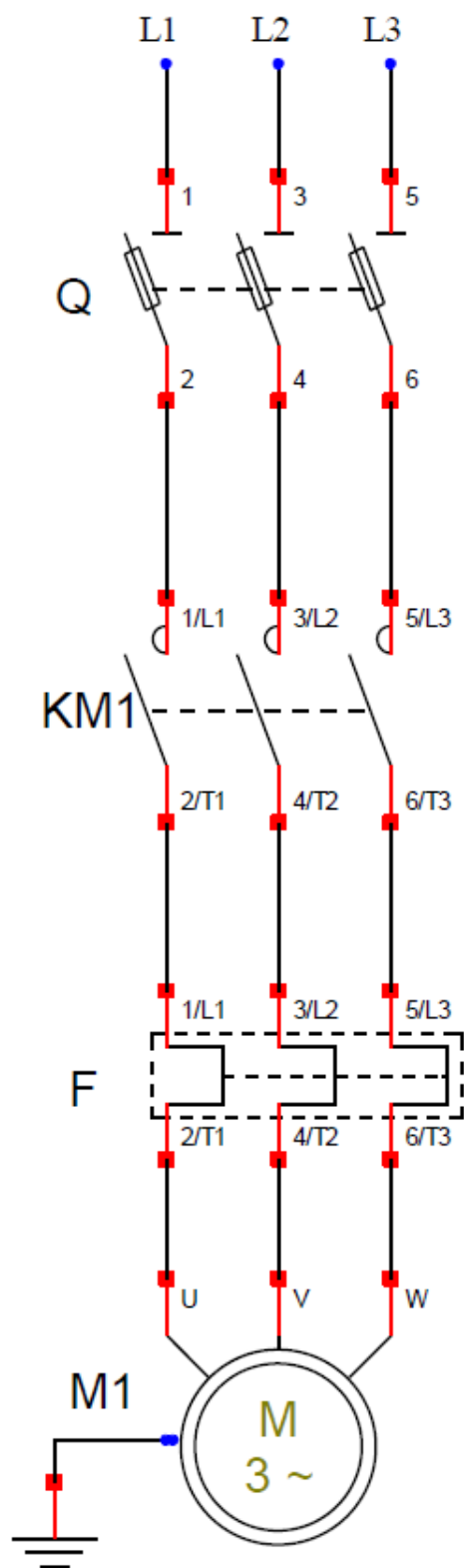
Il comporte l'appareillage nécessaire au fonctionnement des récepteurs de puissance suivant un automatisme bien défini. On trouve :

- Une source de puissance (généralement réseau triphasé).
- Un appareil d'isolement (sectionneur).
- Un appareil de protection (fusible, relais thermique, disjoncteur).
- Appareil de commande (les contacts de puissance du contacteur).
- Des récepteurs de puissance (moteurs).

IV.1. Démarrage direct à un seul sens de rotation

Ce type de démarrage est utilisé dans des installations où les moteurs sont utilisés dans un seul sens de rotation tel que le pompage d'eau, soufflage d'air, compression d'air....

La présence d'une double protection du moteur (par Q1 et F1) est justifiée par le réglage pointu du courant du relais F1 sur le courant nominal du moteur, ce qui n'est pas le cas pour Q1.



L1, L2, L3 : arrivée du réseau triphasé.

Q : sectionneur porte-fusibles équipé avec 2 contacts à fermeture.

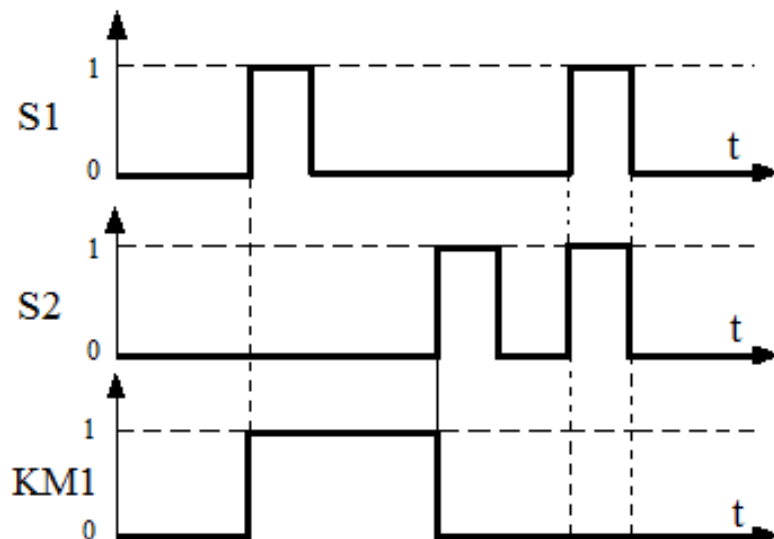
KM1 : contacteur tripolaire équipé avec un contact à fermeture.

F : relais de protection thermique.

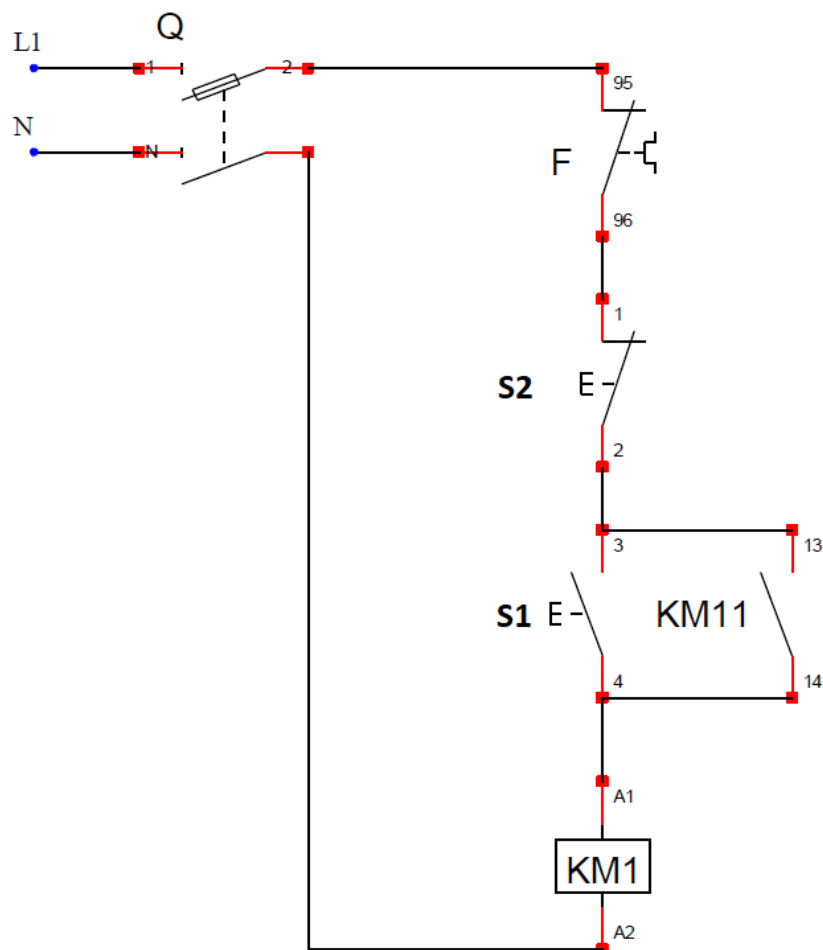
S1 : boutons poussoirs à fermeture et à retour automatique "MARCHE" (MA).

S2 : boutons poussoirs à ouverture et à retour automatique "ARRÊT" (AT).

Figure 56. Circuit de puissance d'un démarrage direct d'un moteur triphasé avec un seul sens de rotation.



(a)



(b)

Figure 57. (a) Séquences de commande, (b) : Circuit de commande du démarrage direct d'un moteur triphasé avec un seul sens de rotation.

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir S1 "marche", la bobine KM1 est alimentée, ce qui provoque la fermeture des contacts de puissance KM1 dans le circuit de puissance, et du contact auxiliaire KM11 placé en parallèle avec le bouton-poussoir S1. Le sectionneur étant fermé, le moteur démarre.

En relâchant le bouton-poussoir S1 "marche", la bobine demeure alimentée par le biais de son contact auxiliaire KM11 qui joue le rôle de maintien de l'alimentation de la bobine. Les contacts de puissance KM1 restent alors fermés et le moteur continue de tourner.

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir S2 "arrêt", on coupe l'alimentation de la bobine KM1. Par conséquent, ses contacts de puissance et de maintien sont relâchés, causant l'ouverture des circuits de commande et de puissance. Le moteur s'arrête.

Dans tous les cas, si une surcharge apparaît, le contact F du relais thermique s'ouvre. La bobine KM1 n'étant plus excitée, ses contacts de puissance KM1 s'ouvrent et le moteur s'arrête. Il s'arrête également lorsqu'une surintensité se produit, provoquant la fusion du fusible.

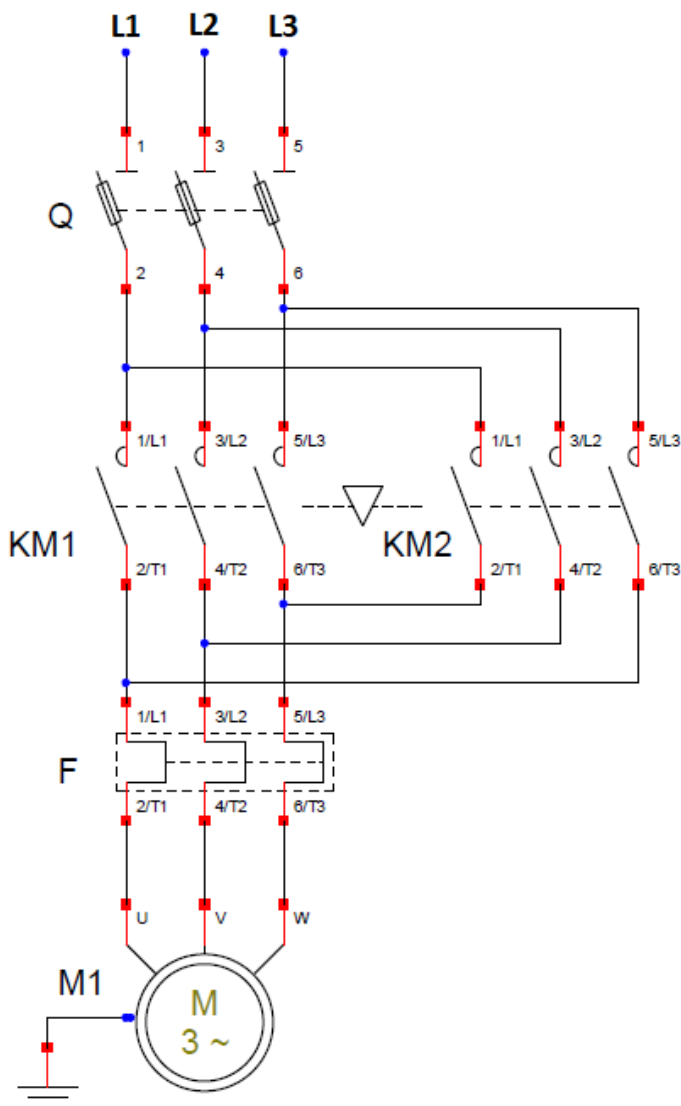
Si les boutons-poussoirs de marche et d'arrêt sont actionnés simultanément, la priorité est accordée à la commande d'arrêt, car aucun courant ne peut circuler dans le circuit de commande.

IV.2. Démarrage direct à 2 sens de rotation

Ce type de commande est utilisé si l'inversion du sens de marche du moteur se traduit par l'inversion du sens de déplacement d'un mobile (par exemple : déplacement vers la gauche ou la droite d'une table de machine-outil, déplacement vers l'avant ou l'arrière de la broche d'une tête d'usinage, montée ou descente d'un palan, etc.). Il est nécessaire de prévoir des interrupteurs de position qui provoquent l'arrêt automatique du moteur dès qu'ils sont actionnés.

Les schémas suivants permettent d'alimenter un moteur asynchrone triphasé directement sur le réseau. Le moteur est commandé par un bouton marche avant (sens 1), un bouton marche arrière (sens 2) et un bouton d'arrêt (l'arrêt est prioritaire).

Le circuit de puissance est constitué généralement d'un sectionneur, de deux contacteurs équipés d'inter-verrouillage (verrouillage mécanique) et d'un relais thermique.



L1, L2, L3 : arrivée du réseau triphasé.

Q : sectionneur porte-fusibles équipé avec 2 contacts à fermeture.

KM1 : contacteurs tripolaires sens1 équipés avec un contact à fermeture (F) et un contact à ouverture (O).

KM2 : contacteurs tripolaires sens2 équipés avec un contact à fermeture (F) et un contact à ouverture (O).

F : relais de protection thermique.

Figure 58. Circuit de puissance d'un démarrage direct d'un moteur triphasé à 2 sens de rotation.

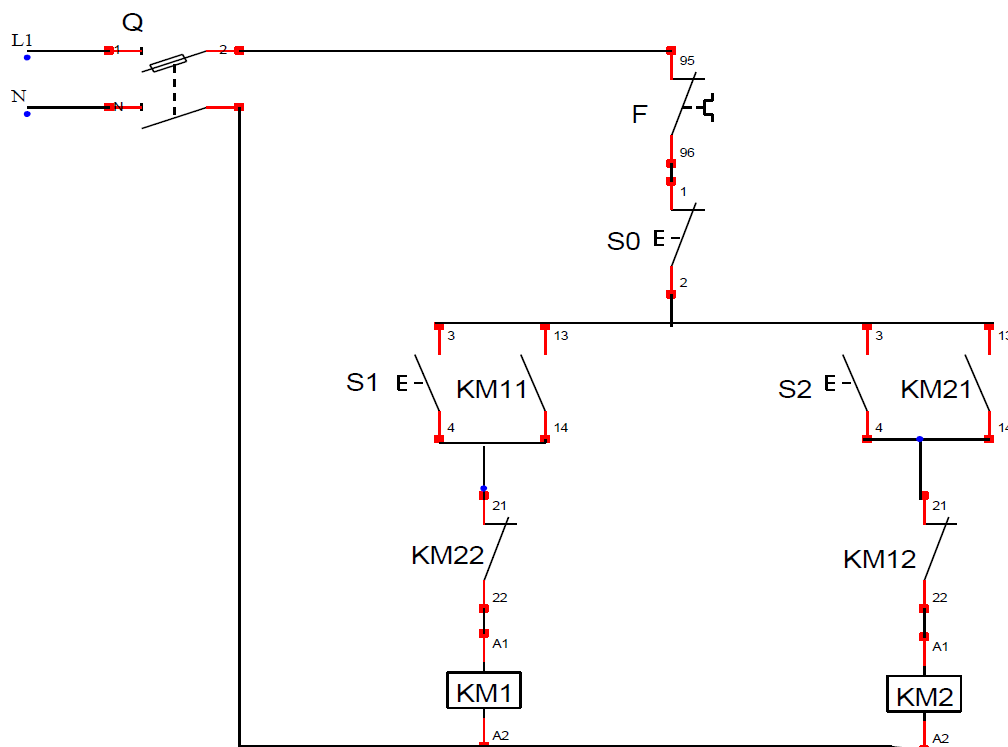


Figure 59. Circuit de commande du démarrage direct d'un moteur triphasé à 2 sens de rotation.

Avec :

- Q : Sectionneur
- F : Relais thermique
- S0 : Bouton poussoir arrêt
- S1 : Bouton poussoir marche sens1
- S2 : Bouton poussoir marche sens2
- KM1, KM2 : Contacteur principale
- KM11, KM12 : Contact de maintien.
- KM21, KM22 : Contact de verrouillage électrique.

Fonctionnement

Lorsqu'on appuie sur le bouton poussoir S1, la bobine du contacteur KM1 est mise sous tension. Le contact KM11 se ferme et maintient l'alimentation de la bobine de KM1 lorsque le bouton poussoir S1 est relâché (KM11 est dit contact d'« auto-alimentation »). Le moteur est mis sous tension par les pôles principaux du contacteur KM1 et tourne dans le sens de rotation direct.

Si le bouton poussoir S2 est actionné, le moteur tourne dans le sens direct, rien ne se passe. Le contact NC (normalement fermé) KM12 est ouvert car la bobine de KM1 est sous tension ; il empêche l'alimentation de la bobine de KM2 (verrouillage électrique de KM2 par KM1).

Si on appuie sur le bouton poussoir S0, l'alimentation de la bobine de KM1 est interrompue. Le contacteur revient à son état repos, le contact d'auto-alimentation KM11 s'ouvre, le moteur s'arrête. Lorsque l'utilisateur relâche S0, le moteur reste à l'arrêt.

Lors de l'appui sur le bouton poussoir S2, la bobine du contacteur KM2 est mise sous tension. Le contact KM21 se ferme et maintient l'alimentation de la bobine du contacteur KM2 lorsque l'utilisateur relâche S2 (auto-alimentation). Le moteur est mis sous tension par les pôles principaux de KM2 et tourne dans le sens de rotation inverse. L'appui sur le bouton- poussoir S1 est sans effet puisque KM22 est ouvert (verrouillage électrique de KM1 par KM2).

Si l'utilisateur appuie sur le bouton-poussoir S0, l'alimentation de la bobine du contacteur KM2 est interrompue, le contacteur retombe, le contact KM21 s'ouvre, le moteur est mis hors tension. Lorsque l'utilisateur relâche S0, le moteur reste à l'arrêt.

Avantages

- ✓ Coût réduit, le matériel est basique,
- ✓ Couple de démarrage important (sur couple au démarrage),
- ✓ Simplicité de mise en œuvre, ne nécessite pas de compétences particulières pour être câblé et mis en route.

Inconvénients

- ✓ Fort appel de courant à la mise sous tension du moteur qui peut perturber des équipements sensibles alimentés par le même départ,
- ✓ « Sur couple » au démarrage du moteur qui provoque des « à-coups » de charge entraînant une usure mécanique importante,
- ✓ Utilisable seulement avec des moteurs de faible puissance (moins de 5 kW).

IV.3. Démarrage étoile/triangle

Le démarrage étoile-triangle du moteur asynchrone triphasé : Conçu pour limiter le courant de ligne durant la phase de démarrage du moteur asynchrone, ce démarrage électromécanique

s'effectue en deux temps : le moteur est alimenté sous tension réduite en couplage étoile puis sous pleine tension en couplage triangle. Cette animation vise à en expliquer le principe de fonctionnement du point de vue de sa réalisation pratique, en s'appuyant sur les circuits de puissance et de commande.

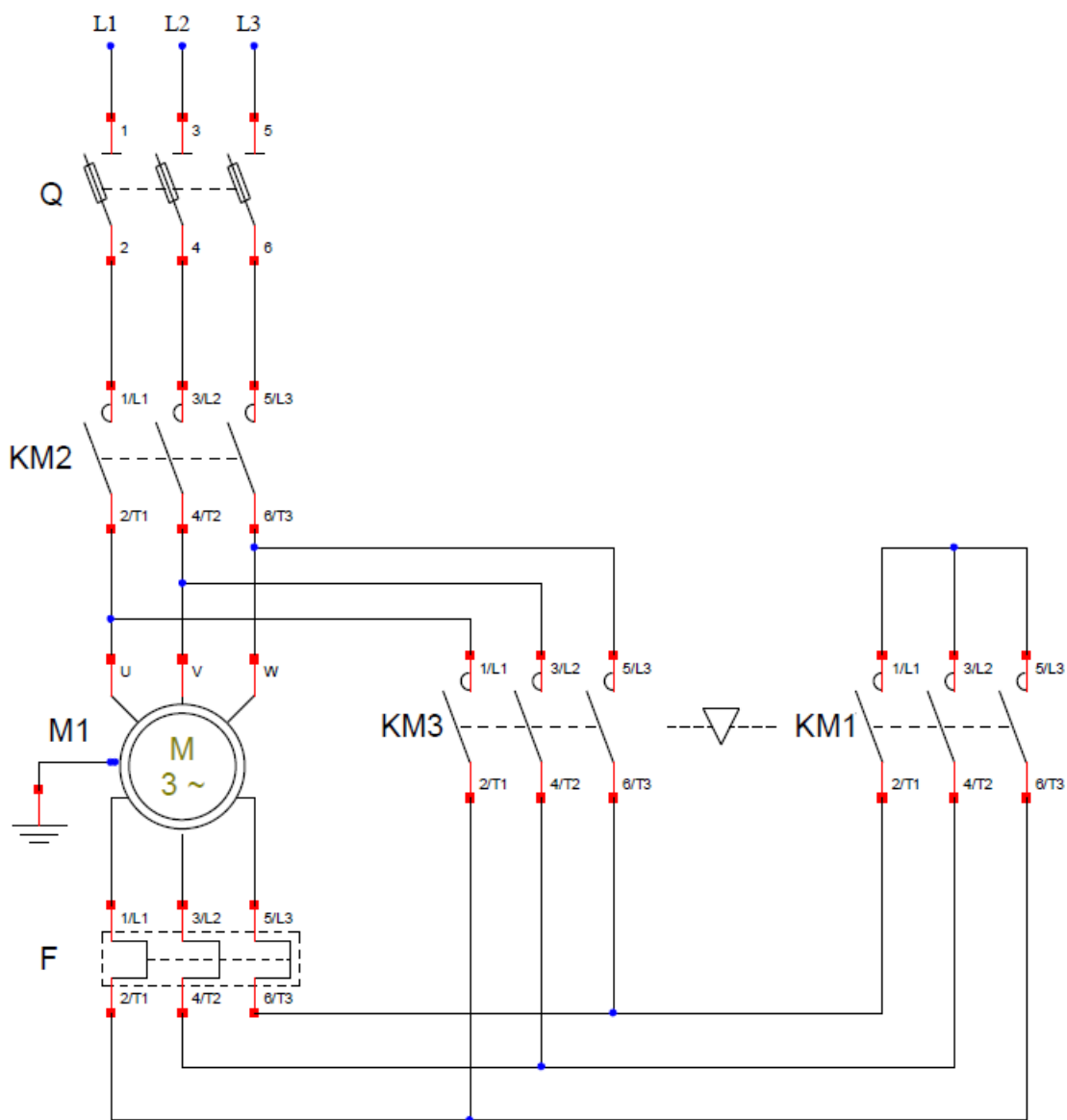


Figure 60. Circuit de puissance d'un démarrage étoile/triangle d'un moteur triphasé à 1 sens de rotation.

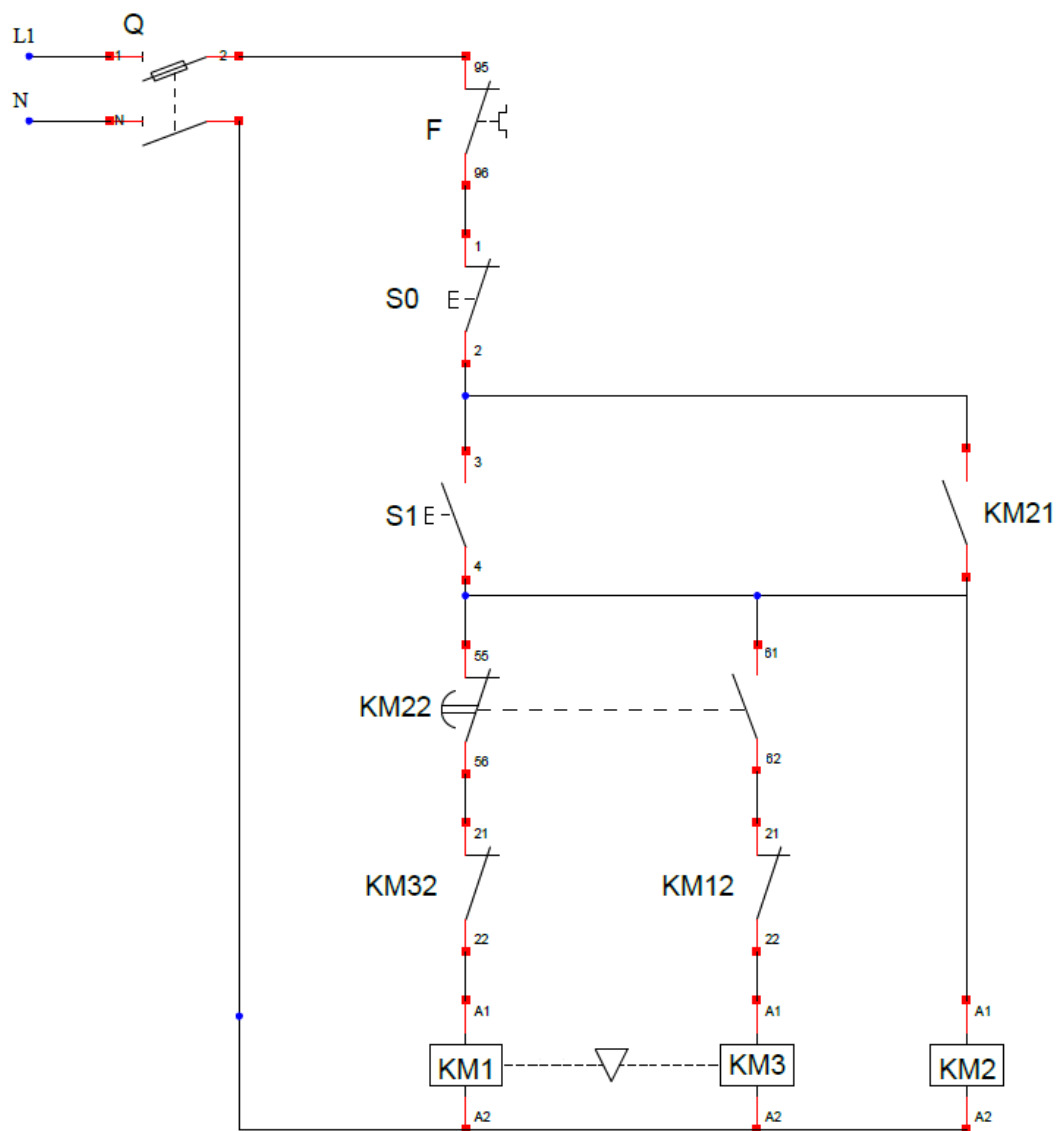


Figure 61. Circuit de commande d'un démarrage étoile/triangle d'un moteur triphasé à 1 sens de rotation.

Avec :

- ✓ KM1 : Contacteur étoile ;
- ✓ KM2 : Contacteur ligne ;
- ✓ KM3 : Contacteur triangle ;
- ✓ KM22 : contacts temporisés à l'ouverture.

Fonctionnement

La commande est effectuée par des boutons poussoirs momentanés (S0 et S1).

Une impulsion sur le bouton poussoir Marche (S1) met la bobine du contacteur étoile KM1 sous tension ainsi que le contacteur de ligne KM2. Le contact KM21 étant maintenant fermé, il auto alimente la bobine KM2 (même après avoir relâcher le bouton poussoir marche), démarre le cycle de la temporisation et permet l'auto maintien du contacteur KM1. Nous remarquerons que le contact KM12 interdit la mise sous tension de la bobine du contacteur KM3. Dans cette phase le moteur est couplé en étoile et prend de la vitesse.

Le temps prééglé du dispositif de temporisation s'écoule et les contacts de la temporisation se déclenchent KM22. La bobine KM1 n'est plus alimentée (le contact NC temporisé KM22 s'ouvre et le contact NO se ferme) et de ce fait autorise l'alimentation de KM3.

KM3 s'enclenche et permet au couplage triangle d'être effectif. Nous pouvons noter que le contact de KM32 interdit la mise sous tension de KM1 (ce dispositif est un ou exclusif appelé verrouillage électrique).

Une impulsion sur le bouton poussoir S1 (BP ARRET) arrête le moteur.

IV.4. Démarrage moteur à deux vitesses (Dahlander)

Le moteur Dahlander est un moteur asynchrone qui peut tourner à deux vitesses, par exemple 1450 et 2900 tours. Ces moteurs ont les même caractéristiques qu'un moteur asynchrone classique, sauf les deux vitesses. Il ne s'agit pas de deux moteurs simples qui sont accouplés et dont on utilise soit l'un, soit l'autre, mais d'un moteur dont tous les bobinages sont utilisés, quelle que soit la vitesse.

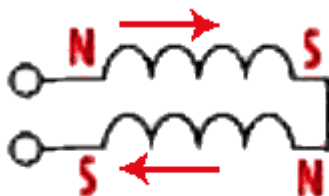
Le Dahlander (aussi appelé moteur à commutation de pôles ou moteur à couplage de pôles) n'est pas une forme particulière de montage triangle-étoile. Une construction triangle-étoile est conçue pour faire démarrer le moteur avec un appel de courant moindre (et également un couple moindre). Le Dahlander a environ le même couple aux deux vitesses.

Ces moteurs ont 6 bobinages, avec chaque fois deux bobinages consécutifs qui peuvent être connectés dans le même sens ou dans le sens inverse :

- ✓ Si les deux bobinages sont connectés dans le même sens (en parallèle), l'action des deux bobinages va se superposer comme s'il s'agissait d'un seul bobinage et on obtient en fait un seul pôle large. Le moteur a alors 3 pôles magnétiques et le moteur tourne à sa vitesse élevée, par exemple 2900 tours.



- ✓ Si les deux bobinages sont connectés en série, chaque bobinage produit un champ inverse et on obtient deux pôles, donc 6 pôles magnétiques en tout. Le moteur tourne à sa vitesse basse, par exemple 1450 tours.



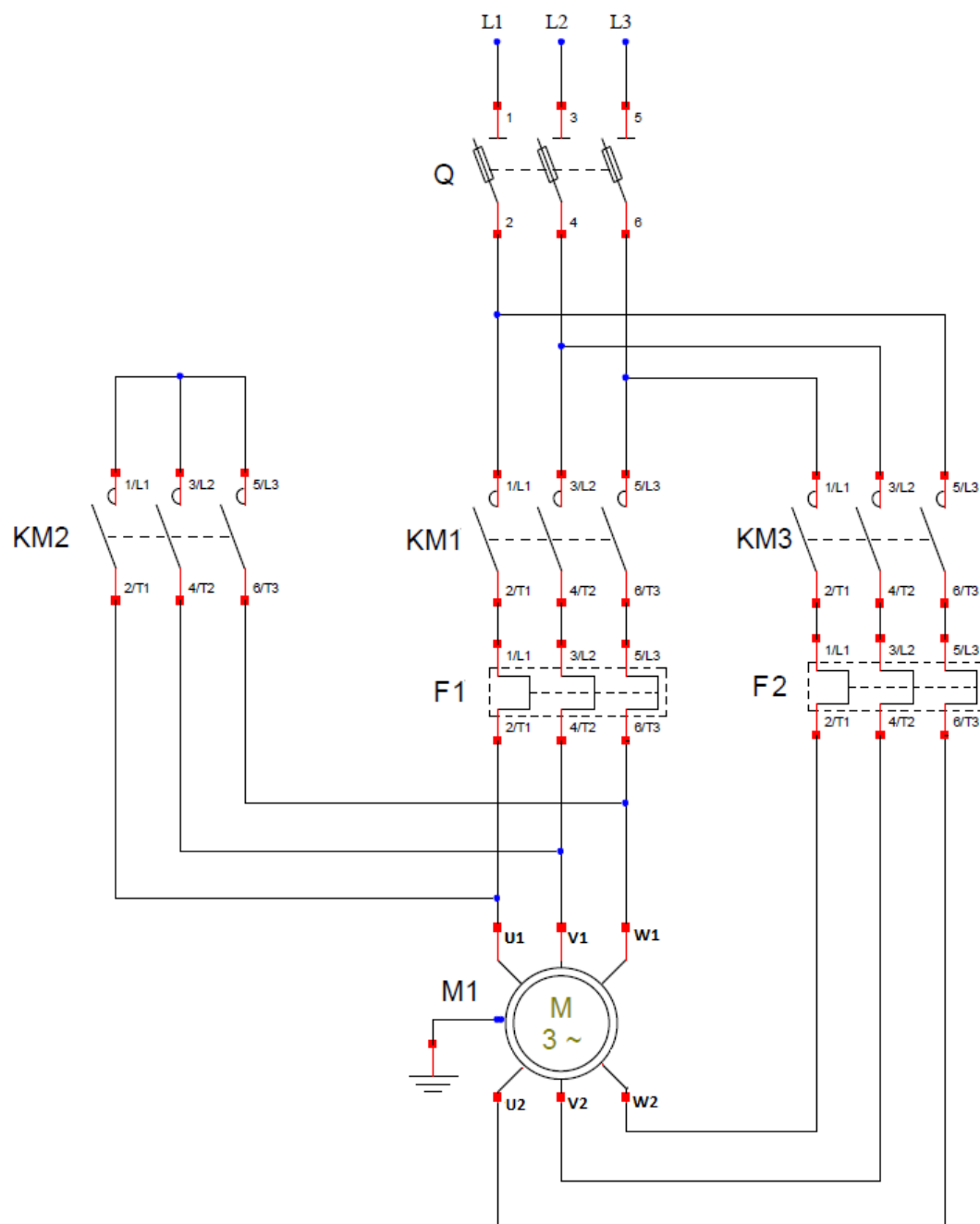


Figure 62. Circuit de puissance d'un démarrage d'un moteur Dahlander (2 vitesses) à un sens de rotation.

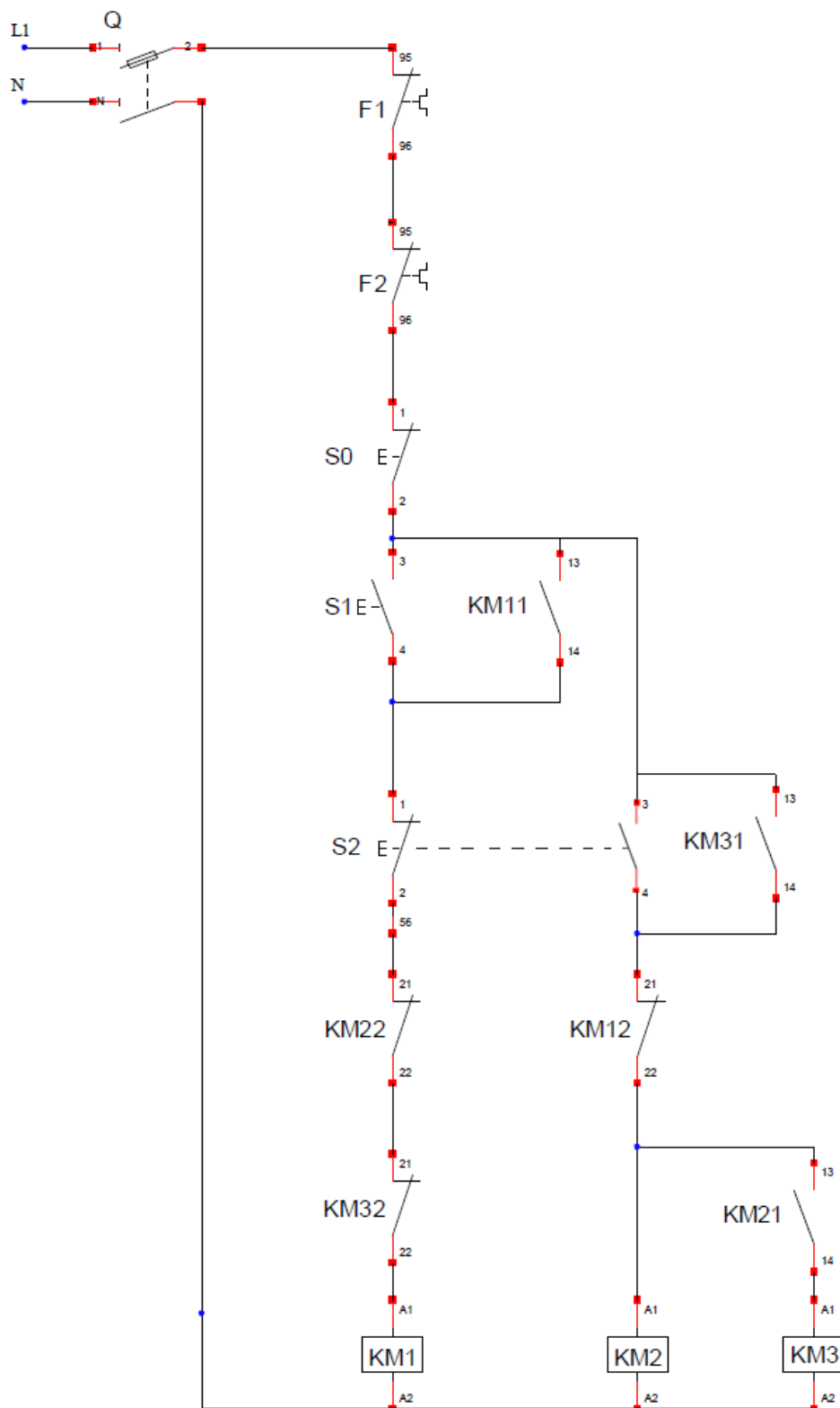


Figure 63. Circuit de commande d'un démarrage d'un moteur Dahlander (2 vitesses) à un sens de rotation.

Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir S1 (petite vitesse) permet l'excitation de la bobine du contacteur KM1, il s'ensuit :

- La fermeture du contact de maintien KM11 ;
- L'ouverture du contact de verrouillage KM12 en série avec KM2 et KM3 ;
- La fermeture simultanée des contacts de puissance KM1.

Le moteur démarre à petite vitesse.

Une action sur le bouton poussoir S3 (grande vitesse) a pour conséquence d'ouvrir le circuit de KM1 qui se désexcite en entraînant :

- L'ouverture du contact de maintien KM11.
- La fermeture du contact de verrouillage KM12.
- L'ouverture des contacts de puissance KM1 ; l'alimentation du moteur est coupée
- L'excitation des bobines KM2 et KM3 qui ferment leurs contacts principaux et amènent le moteur à tourner avec la grande vitesse ;

L'arrêt du moteur est provoqué soit par action sur le bouton S0 (arrêt) soit par ouverture de l'un des contacts des relais thermique (F1 et/ou F2).

Conclusion

Le schéma électrique est un moyen de représentation des circuits et des installations électriques, c'est donc un langage qui doit être compris par tous les électriciens. Pour cette raison, il faut respecter des règles de représentation et des symboles normalisés. Elles sont classifiées dans des normes internationales. Un schéma électrique représente, à l'aide de différents symboles graphiques, les différentes parties d'un réseau, d'une installation ou d'un équipement qui sont reliées et connectées fonctionnellement.

Le présent polycopié, ne présente que quelques symboles et schéma de base pour débutant dans le domaine d'électricité ou la nécessité de connaître les règles et les notions élémentaires pour les schémas électriques, sont obligatoires. N'empêche que pour réaliser ou modifier un nouveau circuit dans toute installation électrique, il convient de respecter les règles de raccordement des fabricants et les prescriptions de la norme.

L'installation électrique est soumise à divers risques comme les courts-circuits et les fuites de courant ; c'est pour cette raison que chaque circuit est protégé individuellement à fin d'éviter la propagation du défaut et aussi l'endommagement de notre installation et bien sur la protection des personnes.

Pour approfondir vos connaissances dans ce domaine, il existe d'autres documents et livres spécialisés qui proposent d'autres montages dans les installations d'éclairage et donnent différents modes de démarrage des moteurs électriques tel que le démarrage statorique, rotorique...

Références

- [1] www.ieee.org
- [2] Cahier de charge technique Schneider.
- [3] support de cours « Schémas et Appareillages électriques », Dr. BENAÏRED Noredine. Centre Universitaire de Relizane.
- [4] Guide professionnel des métiers de l'électricité édition Dunod
- [5] Support de cours, Schémas et Automates programmables, Dr Mesaoud Mohammedi, 2012.
- [6] support de cours « Appareillage et schéma électrique », Pr. Miloudi Mohamed. Université Djillali Liabès Sidi Bel-Abbès.
- [7] Cahier de charge technique Le grand.
- [8] « Le Schéma Electrique ». Auteur : Hubert Largeaud, Edition Eyrolles – 1991(-3ème Édition).
- [9] « Lignes aériennes : échauffements et efforts électrodynamiques ». Techniques de l'ingénieur. Auteur(s) : Michèle GAUDRY, Jean-Luc BOUSQUET. Réf : D4439. 1997.
- [10] Support de cours, L'arc électrique, Dr Edouard KABADANIAN, 2003.
- [11] Cahier Technique Schneider N° 193 " Les techniques de coupure en MT " (p. 18 - 22).
- [12] Equipement et installations électriques –Educatrice 2002 –R. Bourgoies, D. Cognel, B. Lehalle.
- [13] Le schéma électrique, 3^{ème} édition –Eyrolles 1993
- [14] Motorisation et Commande des Machines-Bernard Schneider
- [15] Electricité professionnelle, collection ETAPES-Nathan –A. Bory –J. Lafargue.
- [16] Equipement et installation électrique–Ed Deeline 2002.