

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique



CLASSE DE 3ÈME ANNEE LICENCE ELECTROMECHANIQUE

Support de Cours Schémas et Appareillages Electriques

Réalisé par:

Dr. Tkouti Nacira

Année Universitaire 2024 / 2025

Matière : Schémas électriques et appareillage

VHS: 37h30 (Cours: 1h30, TP: 1h00)

Crédits: 3

Coefficient: 2

Objectifs de la matière d'enseignement

Cette matière 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, à apprendre les différents types d'appareillage de protection et commande des installations électriques ainsi que la réalisation d'une installation électrique.

Lire, comprendre et Connaitre les différents symboles et normes de schémas électriques

Des installations électriques domestiques et industrielles.

Elle permet aussi à l'étudiant de mettre en pratique les connaissances acquises durant sa formation en réalisant des circuits électriques et les appliquer aux circuits d'éclairage et commande des moteurs électriques.

Le cours traite six chapitres :

Chapitre 1. Généralités sur l'appareillage

Chapitre 2. Phénomènes d'interruption du courant électrique

Chapitre 3. Appareillage de connexion et d'interruption

Chapitre 4. Appareillage de protection

Chapitre 5. Élaboration des schémas électriques

Chapitre 6. Application des schémas et appareillage

Chapitre 1 Généralités sur l'appareillage

1. Définition de l'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.

2. Choix et classifications de l'appareillage

Pour choisir l'appareillage électrique adapté au récepteur demande une bonne connaissance du comportement du récepteur lors de l'utilisation normale et lors de dysfonctionnement en prenant en considération la cadence de fonctionnement, le risque de surcharge, la résistance aux courts-circuits et la résistance aux surtensions. Les constituants (appareillages, sous-ensembles) doivent être conformes aux normes correspondantes et convenir à leur application particulière en ce qui concerne la présentation extérieure de l'ensemble, leurs caractéristiques électriques et mécaniques. L'appareillage électrique est classé en plusieurs catégories selon :

sa fonction

Pour adapter la source d'énergie au comportement du récepteur, il est défini cinq grandes fonctions à remplir par l'appareillage électrique :

- **Le sectionnement** : il est nécessaire d'isoler, en tout ou partie, les circuits, les récepteurs de leur source d'énergie afin de pouvoir intervenir sur les installations en garantissant la sécurité des intervenants (électriciens habilités).

- **L'interruption** : alors que l'installation est en service, le récepteur remplissant sa fonction, il est parfois nécessaire d'interrompre son alimentation en pleine charge, ceci pouvant faire office d'arrêt d'urgence.
- **La protection contre les courts circuits** : les installations et les récepteurs peuvent 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, les perturbations sur le réseau d'alimentation et les risques d'accidents humains, il est indispensable de détecter ces courts circuits et d'interrompre rapidement le circuit concerné.
- **La 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.
- **La commutation** : son rôle est d'établir et de couper le circuit d'alimentation du récepteur.

b. sa tension

On distingue les domaines de tension suivants:

- la basse tension BT qui concerne les tensions inférieures à 1 kV.
- la moyenne tension MT (HTA) qui concerne les tensions entre 1 kV et 50 kV.
- la haute tension HT (HTB) qui concerne les tensions supérieures à 50 kV.

c. sa destination

L'appareillage électrique est destiné à fonctionner dans les réseaux ou installations principaux suivants:

- installations domestiques BT (< 1 kV).
- installations industrielles BT (< 1 kV).
- installations industrielles HT (3,6 à 24 kV).

- réseaux de distribution (< 52 kV).
- réseaux de répartition ou de transport (≥ 52 kV).

d. son installation

On peut distinguer :

- Le matériel pour l'intérieur, qui est destiné à être installé uniquement à l'intérieur d'un bâtiment, à l'abri des intempéries et de la pollution, avec une température ambiante qui n'est pas inférieure à $- 5$ °C (éventuellement $- 15$ °C ou $- 25$ °C).
- Le matériel pour l'extérieur, qui est prévu pour être installé à l'extérieur des bâtiments, et qui par suite doit être capable de fonctionner dans des conditions climatiques et atmosphériques contraignantes.

e. le type de matériel

Deux types sont distingués :

- le matériel ouvert, dont l'isolation externe est faite dans l'air.
- le matériel sous enveloppe métallique ou blindé, muni d'une enveloppe métallique, reliée à la terre, qui permet d'éviter tout contact accidentel avec les pièces sous tension.

f. la température de service

L'appareillage est prévu pour fonctionner avec les températures normales de service suivantes:

- la température maximale de l'air ambiant n'excède pas 40 °C et sa valeur moyenne, mesurée pendant une période de 24 h, n'excède pas 35 °C.
- la température minimale de l'air ambiant n'est pas inférieure à $- 25$ °C ou $- 40$ °C.

g. technique de coupure

L'histoire de l'appareillage électrique est riche d'inventions diverses, de principes de coupure performants, de technologies très variées utilisant des milieux aussi différents pour l'isolement et la coupure. On peut résumer les milieux suivants qui ont été choisis pour la coupure : • air • huile • air comprimé • SF6 • vide.

3. Phénomènes liés au courant et à la tension

3.1 Les surintensités

Les causes et les valeurs des surintensités sont multiples. On distingue habituellement dans les surintensités, les surcharges et les courts-circuits.

a. La surcharge

Le courant de surcharge est en général une faible surintensité se produisant dans un circuit électrique sain. L'exemple type est le circuit alimentant des prises de courant sur lesquelles on a raccordé un trop grand nombre d'appareil.

➤ *Caractéristiques*

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. La durée de cet effet thermique est relativement longue (de quelques secondes à quelques heures), et la surcharge peut donc être caractérisée par la valeur efficace du courant. La protection contre une surcharge est réalisée par un dispositif de protection capable de diminuer la durée de la surcharge.

Causes habituelles des surcharges

Manque de maintenance	<i>Accumulation de poussières, salissures, particules étrangères</i>
Vieillesse des équipements	<i>Pièces usées, lubrification insuffisante</i>
Problème thermique	<i>Isolement dégradé, composants défectueux</i>
Mauvaise utilisation	<i>Capacité insuffisante, usage excessif</i>

Qualité de l'énergie	<i>Surtensions et sous tensions transitoires</i>
Défauts de terre de faible amplitude	<i>Particules métalliques, dégâts des eaux</i>

b. Le court-circuit

Le courant de court-circuit est en général une forte intensité produite par un défaut de résistance négligeable entre des points présentant une différence de potentiel en service normal.

➤ **Caractéristiques**

Le court circuit est souvent dû à une défaillance électrique importante comme la rupture d'un isolant, la chute d'un objet métallique sur des barres ou la défaillance d'un semi conducteur. Il en résulte un courant de défaut dont la valeur efficace est très élevée (typiquement supérieure à 10 fois la valeur du courant nominal de l'installation).

L'effet thermique est tellement rapide que les dégâts dans l'installation se produisent en quelques millisecondes. Cet effet thermique extrêmement rapide ne peut pas être caractérisé par la valeur efficace du courant présumé de défaut comme c'est le cas dans les surcharges, car il dépend de la forme de l'onde de courant. Dans ce cas la protection doit limiter l'énergie associée au défaut; cette énergie est liée à la grandeur suivante I^2t . Cette grandeur est une mesure de l'énergie thermique fournie à chaque ohm du circuit par le courant de court circuit pendant le temps t .

Cependant la protection contre les court-circuits impose souvent une condition supplémentaire qui est la limitation du courant crête autorisé dans l'installation. En effet les forces électromagnétiques sont proportionnelles au carré de la valeur instantanée du courant et peuvent produire des dégâts mécaniques aux équipements si les courants de court circuit ne sont pas « limités » très rapidement. Les contacts de sectionneurs, contacteurs et même de disjoncteurs peuvent se souder si le courant crête passant dans le circuit de défaut n'est pas limité à une valeur suffisamment basse.

Si la fusion de certains conducteurs et de certaines parties de composants se produit, un arc entre les particules fondues peut s'amorcer, déclencher des incendies et créer des

situations dangereuses pour le personnel. Une installation électrique peut même être complètement détruite.

Les fusibles ultra-rapides pour la protection des semi conducteurs fournissent une excellente protection en cas de court circuit.

Causes habituelles des courts-circuits

Elément étranger	<i>Boulons, tournevis, autres objets conducteurs</i>
Défaillances de composants	<i>Claquage de semi conducteur</i>
Surtensions	<i>Foudre, commutations, interruptions</i>
Défauts de terre de grande amplitude	<i>Court-circuit à la terre</i>
Influences externes	<i>Inondations, incendies, vibrations</i>

3.2 Les surtensions

En électrocinétique, la surtension désigne le fait pour un élément particulier d'un dipôle électrique d'avoir à ses bornes une tension supérieure à celle aux bornes du dipôle complet. C'est le cas par exemple de la tension aux bornes d'un condensateur dans un dipôle RLC série en résonance.

D'autre part, un réseau électrique possède en générale 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. Les surtensions sont une des causes possibles de défaillances d'équipements électriques ou électroniques, bien que ceux-ci soient de mieux en mieux protégés contre ce type d'incident.

Les différents types de surtension dans les réseaux électriques sont :

- 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. La *ferrorésonance* est une surtension transitoire ou temporaire (***La ferrorésonance est un phénomène de résonance affectant les réseaux électriques impliquant une "inductance non linéaire" et une capacité alimentées par une source sinusoïdale.***).

- 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.

3.3 .Les efforts électrodynamiques

Nous savons que la circulation de courants dans des conducteurs parallèles induit dans ces conducteurs des forces électromagnétiques proportionnelles au produit des courants circulant dans les deux conducteurs.

En cas de court-circuit dans une configuration de ligne ou de poste en conducteurs souples, on mesure alors des surtensions mécaniques (traction et flexion) appelées efforts électrodynamiques au niveau des supports et des isolateurs d'ancrage. On observe également des mouvements de conducteurs très importants. Ces efforts pouvant être considérables, il est indispensable de les prendre en compte dès la conception d'un nouvel ouvrage.

4. Rigidité diélectrique, isolant électrique, claquage électrique

4.1. Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un milieu isolant représente la valeur maximum du champ électrique que le milieu peut supporter avant le déclenchement d'un arc électrique (donc d'un court-circuit). On utilise aussi l'expression champ disruptif qui est synonyme mais plus fréquemment utilisée pour qualifier la tenue d'une installation, alors que le terme rigidité diélectrique est plus utilisé pour qualifier un matériau. Pour un condensateur quand cette valeur est dépassée, l'élément est détruit. La valeur maximale de la tension électrique appliquée aux bornes, est appelée tension de claquage du condensateur.

Dans le cas d'un disjoncteur à haute tension, c'est la valeur maximum du champ qui peut être supportée après l'extinction de l'arc (l'interruption du courant). Si la rigidité diélectrique est inférieure au champ imposé par le rétablissement de la tension, un réamorçage de l'arc se produit d'où l'échec de la tentative d'interruption du courant.

4.2. Isolant électrique

En électricité comme en électronique, un isolant, ou isolant électrique aussi appelé matériau diélectrique, est une partie d'un composant ou un organe ayant pour fonction d'interdire le passage de tout courant électrique entre deux parties conductrices. Un isolant possède peu de charges libres, elles y sont piégées, contrairement à un matériau conducteur où les charges sont nombreuses et libres de se déplacer sous l'action d'un champ électromagnétique.

La faculté d'un matériau à être isolant peut aussi être expliquée par la notion de bandes d'énergie. L'isolation électrique est rattachée à une grandeur physique mesurable, la résistance, qui s'exprime en ohms (*symbole* : Ω).

4.3. 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.

5. Ionisation des gaz

L'ionisation est l'action qui consiste à enlever ou ajouter des charges à un atome ou une molécule. L'atome - ou la molécule - perdant ou gagnant des charges n'est plus neutre électriquement. Il est alors appelé ion.

Un plasma est une phase de la matière constituée de particules chargées, d'ions et d'électrons. La transformation d'un gaz en plasma (gaz ionisé) ne s'effectue pas à température constante pour une pression donnée, avec une chaleur latente de changement d'état, comme pour les autres états, mais il s'agit d'une transformation progressive. Lorsqu'un gaz est suffisamment chauffé, les électrons des couches extérieures peuvent être arrachés lors des collisions entre particules, ce qui forme le plasma. Globalement neutre, la présence de particules chargées donne naissance à des comportements inexistant dans les fluides, en présence d'un champ électromagnétique par exemple.

Chapitre 2. Phénomènes d'interruption du courant électrique

1. Définition de l'arc électrique : L'arc électrique correspond à une décharge lumineuse qui accompagne le passage de l'électricité entre deux conducteurs présentant une différence de potentiel convenable. Ce phénomène fut découvert en 1813 par le physicien et chimiste anglais Humphry Davy qui en étudia les effets à travers différents gaz.

2. 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 $r.i^2.t = 0$ (Figure1 et 2).

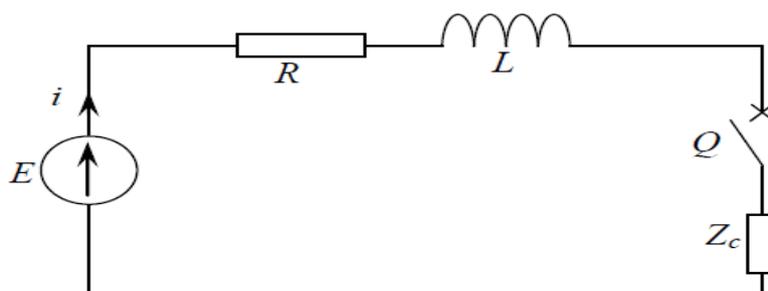


Figure 1. Explication simplifiée relative à un fonctionnement sur court-circuit ($Z_c=0$).

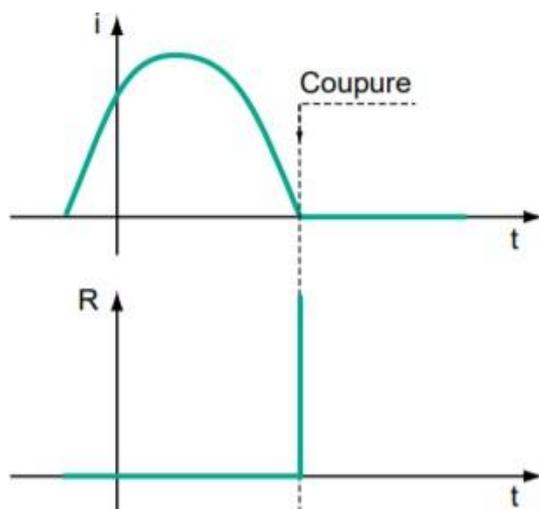


Figure 2. Coupure réalisée par un interrupteur idéal

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.

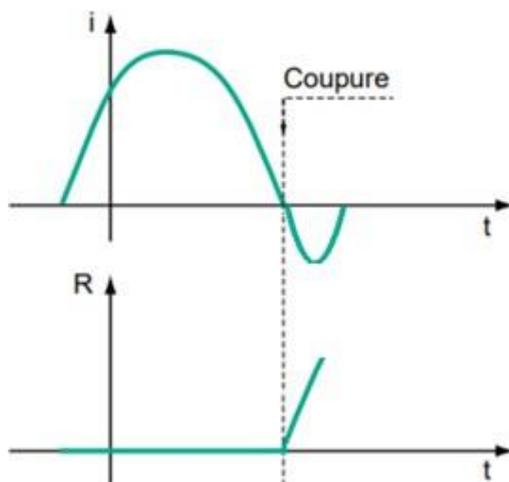


Figure 3. Coupure réalisée par un interrupteur réel.

L'énergie de coupure prend la forme :

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

Cette relation montre que même avec une coupure infiniment rapide, l'énergie électromagnétique $\frac{1}{2}Li^2$ 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 $J = \frac{i}{S}$ 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 ses effets négatifs.

3. Coupure avec 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 $\frac{1}{2} Li^2$
- ✚ Supporter une tension $L \frac{di}{dt}$ qui survient lors du passage du courant de la 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 zéro, ainsi l'énergie emmagasinée $\frac{1}{2} Li^2$ et la tension $L \frac{di}{dt}$ seraient nulles.

4. Inconvénients, 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, d'incendie pour le matériel.
- ✓ Onde parasite, rayonnement U-V.

5. Processus de coupure avec l'arc électrique :

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

a La période d'attente :

C'est la 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.

b. 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.

a. 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.

La vitesse de croissance de la TTR a un rôle fondamental sur la capacité de coupure d'appareils. La norme impose pour chaque tension nominale, une valeur enveloppe qui correspond aux besoins normalement rencontrés.

Le pouvoir de coupure d'un disjoncteur correspond à la valeur la plus élevée du courant qu'il peut couper à sa tension assignée et à sa TTR assignée. Un disjoncteur devrait être capable de couper tout courant inférieur à son PDC pour toute TTR dont la valeur est inférieure à la TTR assignée. Pour une tension assignée de 24 kV, la valeur maximale de TTR est de l'ordre de 41 kV et peut accroître avec une vitesse de 0.5 kV/ms.

6. Les milieux de coupure :

Depuis des années, les constructeurs ont cherché, développé, expérimenté et mis en œuvre des appareils de coupure à base de milieux aussi variés que : l'air, l'huile, le SF et enfin le vide. Pour une coupure réussie, le milieu doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Avoir une conductivité thermique importante pour pouvoir évacuer l'énergie thermique engendrée par l'arc électrique ;
- Avoir une vitesse de dés ionisation importante pour éviter des réamorçages du milieu ;

- Avoir une résistivité électrique faible lorsque la température est élevée pour minimiser l'énergie dissipée pour l'arc ;
- Avoir une résistivité électrique grande lorsque la température est faible pour minimiser le délai de rétablissement de la tension ;

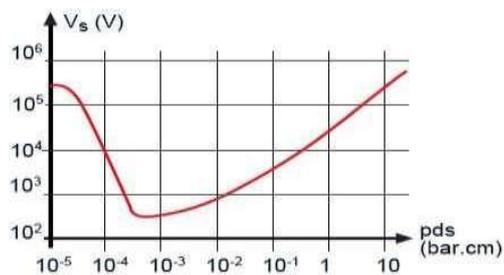


Figure 4 : La courbe de Paschen

L'espace inter contacts doit offrir une tenue diélectrique suffisante.

La tenue diélectrique du milieu dépend de la distance entre les électrodes et de la pression du milieu. Pour l'air, la courbe de Paschen donne l'évolution de la rigidité diélectrique en fonction de la pression du milieu.

Les courbes suivantes donnent l'évolution de la rigidité diélectrique en fonction de la distance inter contacts.

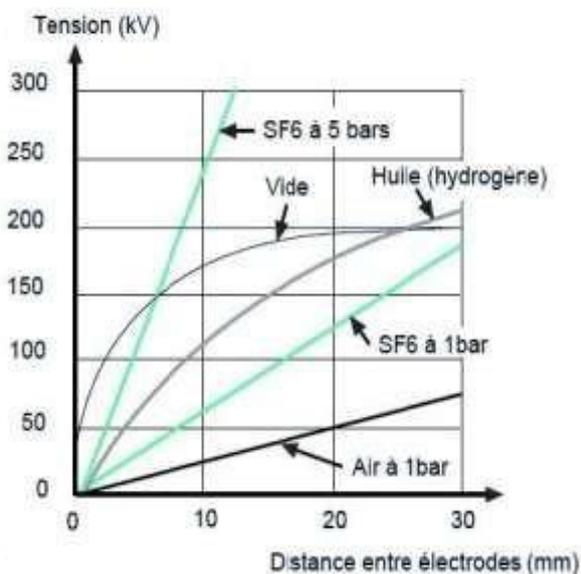


Figure 5 : Rigidité diélectrique en fonction de la distance entre les

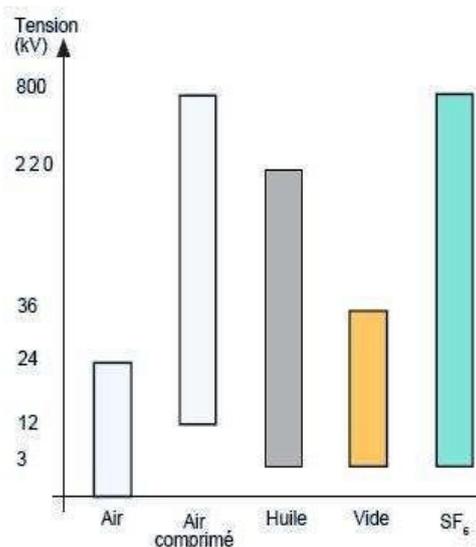


Figure 6 : Domaine d'utilisation des différents milieux de coupure.

7. Différentes techniques de coupure de l'arc :

a. 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.

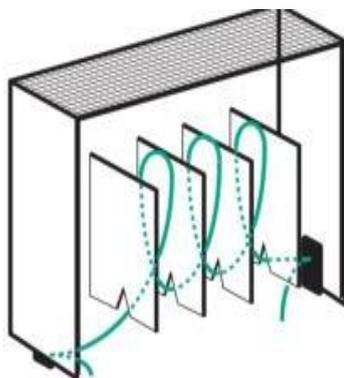


Figure 7. Chambre de coupure d'un disjoncteur dans l'air.

b. 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.

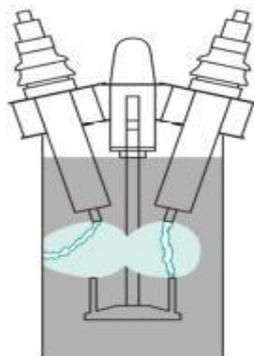


Figure 8. Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'huile.

c. 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).

d. 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 3 : Appareillage de connexion et d'interruption

1. Appareillage de connexion

Les appareillages de connexion sont conçus pour exécuter la fonction de séparation qui correspond à la mise hors tension de tout ou une partie d'une installation et garantir sa séparation de toute source d'énergie électrique. En basse tension, ils sont des dispositifs établis généralement une fois pour toutes et ne pouvant être modifiés sans intervention sur leurs éléments, le plus souvent à l'aide d'outils. Il s'agit de :

- Jeux de barres béto-barres et dérivations (soudés, boulonnés, assurés par serre barres) ;
- Bornes de différents modèles (bornes à vis, sans vis, à cages, à plage, à tige, à étrier, à plots, en barrettes...);
- Cosses et raccords (soudés, sertis, à griffes, à brides...);
- Cosses, clips et languettes, pour connexions rapides... ; → Raccords et connexions à percement d'isolant, utilisés dans des applications particulières (téléphonie, lignes aériennes et conducteurs isolés en faisceaux...);
- Boîtes en plastique ou en fonte remplies de paraffine pour les connexions immergées.

Ces connexions sont effectuées soit sur les bornes des appareillages, soit sur des bornes placées dans les enveloppes des appareillages (coffrets, tableaux...), soit encore dans des boîtes affectées à ce seul usage (boîtes de connexion), de façon à rester accessibles pour vérifications ou interventions.

a. 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.).

b. Bornes de connexion

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



Fig. 9. Plaque à bornes (moteur)

c. Prise 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 10. 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.

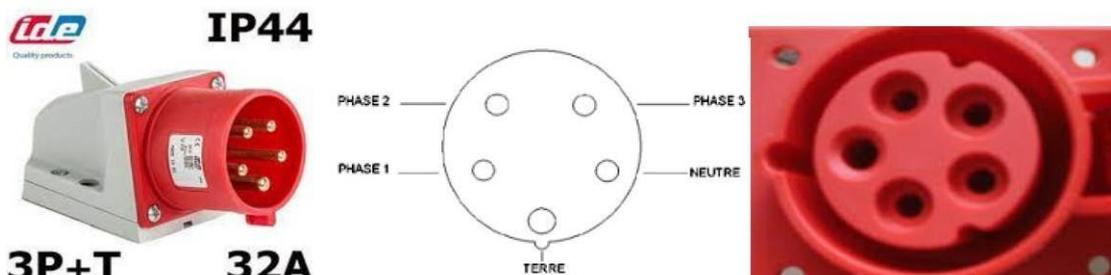


Figure 11. Prise de courant triphasée 3P+N+T.

2. Appareillage d'isolement

Le Sectionneur

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon visible, un circuit électrique en aval de son alimentation et qui assure en position ouverte une distance de sectionnement satisfaisante électriquement.

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 ».

L'ouverture et la fermeture d'un sectionneur doivent se faire lorsque le courant qui le traverse est nul (à vide)

➤ Rôle

- Isoler une portion d'un circuit électrique des sources d'énergie
- Garantir la sécurité des intervenants lors d'une opération de maintenance

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.

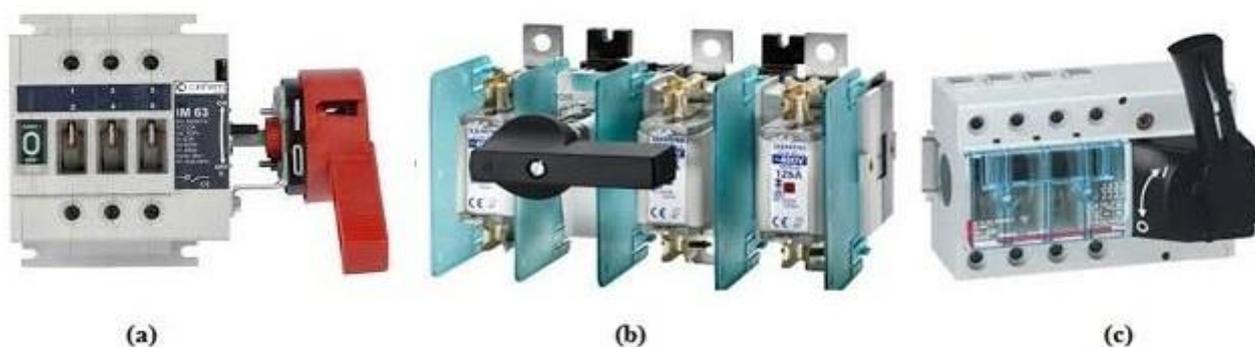


Figure 12 : Sectionneurs basse tension

- (a) Une coupure électrique réellement visible (b) sectionneur porte fusible (c) interrupteur sectionneur

- **Principe de fonctionnement** : Mettre hors tension une installation électrique ou une partie de cette installation en toute sécurité électrique. (Pas de pouvoir de coupure, quand le sectionneur est manœuvré, le courant doit être nul. Cela permet, par exemple, de condamner un circuit électrique (avec cadenas le cas échéant) afin de travailler en toute sécurité.

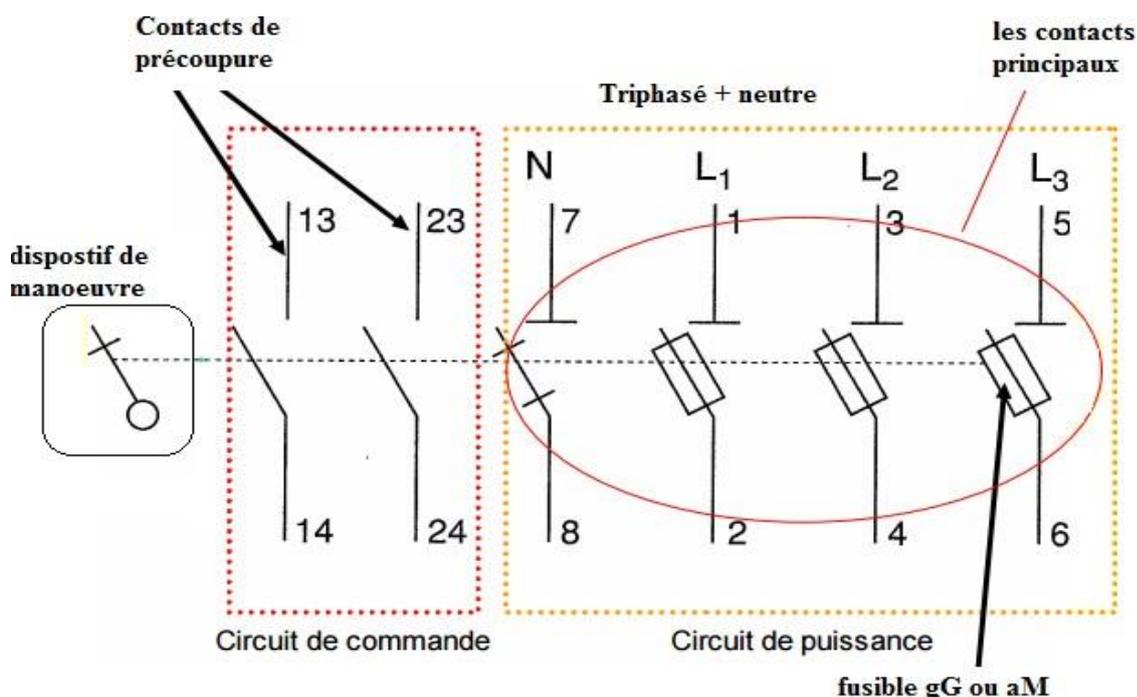


Figure 13. Schéma et symbole d'un sectionneur triphasé

➤ Constitution

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

Permettent d'assurer le sectionnement de l'installation.

- **Les contacts auxiliaires (13-14), (23-24)**

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

Inversement, 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.

- **Choix de composant**

Le choix d'un sectionneur porte-fusibles dépend de la taille des fusibles qui lui sont associés, donc par conséquent, de la puissance absorbée par la partie puissance du circuit.

Le choix de l'interrupteur sectionneur dépendra de la puissance absorbée par l'ensemble de l'installation.

- ***Symbole : Q***

Plusieurs types de configurations peuvent être utilisés en fonction du besoin du système. Voici quelques exemples :

- ***Caractéristiques principales :***

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

Contrairement à l'interrupteur sectionneur, le sectionneur porte fusible n'a pas de pouvoir de coupure : il ne permet pas de couper un circuit électrique en charge (moteur électrique en rotation, résistances de chauffage alimentées,...).

A la différence du sectionneur porte-fusibles, l'interrupteur sectionneur n'a pas de fusible associé, il faudra donc rajouter dans le circuit un système de protection contre les courts-circuits.

➤ *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.

3. Appareillages d'interruption et de commande

a. Les interrupteurs

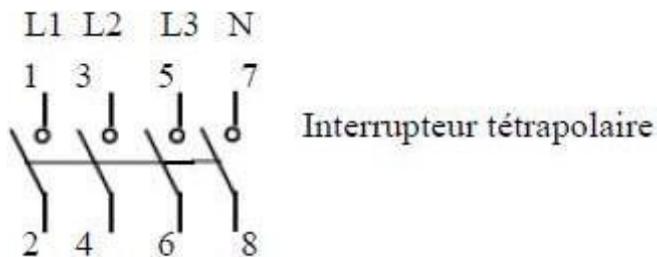
Rôle

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



Figure 14. Interrupteurs.

Symbole :



b. Les interrupteurs-sectionneurs

Rôle

Les interrupteurs-sectionneurs satisfont les applications d'interrupteurs par la fermeture et la coupure en charge de circuits résistifs ou mixtes, résistifs et inductifs, ceci pour des manœuvres fréquentes.



Figure. 15. Interrupteur sectionneur

Symbole



Interrupteur-sectionneur tétrapolaire.

c. Les commutateurs

Le commutateur est un interrupteur qui permet de choisir entre plusieurs états actifs d'un appareil donc il est destiné à couper, à rétablir, à inverser le sens du courant électrique, ainsi que le distribuer à volonté dans différents circuits.

Commutateur universel, commutateur-inverseur, commutateur de couplage comme il existe des commutateurs à plusieurs pôles.

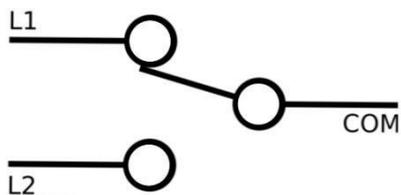


Figure. 16. Symbole d'un inverseur



Figure. 17. commutateur électrique

Rôle

Il permet notamment de créer différents circuits au sein d'un même réseau, de recevoir des informations et d'envoyer des données vers un destinataire précis en les transportant via le port adéquat.

Fonctionnement

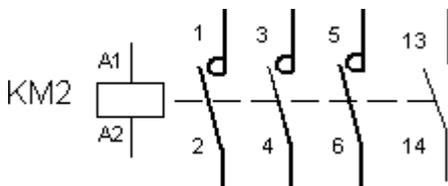
il n'a que 2 positions: 1 ou 0. Ses contacts sont soit ouverts soit fermés. Le commutateur offre la possibilité de choisir entre plusieurs positions, si l'on reprendre l'exemple du moteur électrique, avec un commutateur vous pouvez choisir entre marche avant, marche arrière et arrêt du moteur.

d. Le Contacteur

Le contacteur est un appareil de commande capable d'établir ou d'interrompre le passage de l'énergie électrique afin d'alimenter des moteurs industriels de grande puissance (plus de 50 kW) eten général des consommateurs de fortes puissances symbolisé par **KM**. Il assure la fonction commutation électrique. Il est capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharges en service donc il possède le pouvoir de coupure **PdC**. L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance.

Il est aussi utilisé en milieu domestique pour alimenter des appareils électriques comme le chauffage ou le chauffe-eau, car les organes de commande (thermostat, interrupteur-horaire et autres contacts de commande) risqueraient d'être rapidement

détériorés par le courant trop important.



Symbole :



Figure. 18. Contacteur.

➤ Constitution

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

Les contacteurs tripolaires comportent la plupart du temps un contact auxiliaire, tandis que les contacteurs tétra polaires n'en ont en général pas (la place du contact auxiliaire étant occupée par le quatrième contact de puissance 7-8 non représenté sur le schéma ci-dessous). La différence entre contact de puissance et contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister lors de l'apparition d'un arc électrique, lorsqu'il ouvre ou ferme le circuit; de ce fait, c'est ce contact qui possède un pouvoir de coupure. Le contact auxiliaire n'est doté que d'un très faible pouvoir de coupure; il est assimilé à la partie commande du circuit dont les courants restent faibles face à la partie puissance.

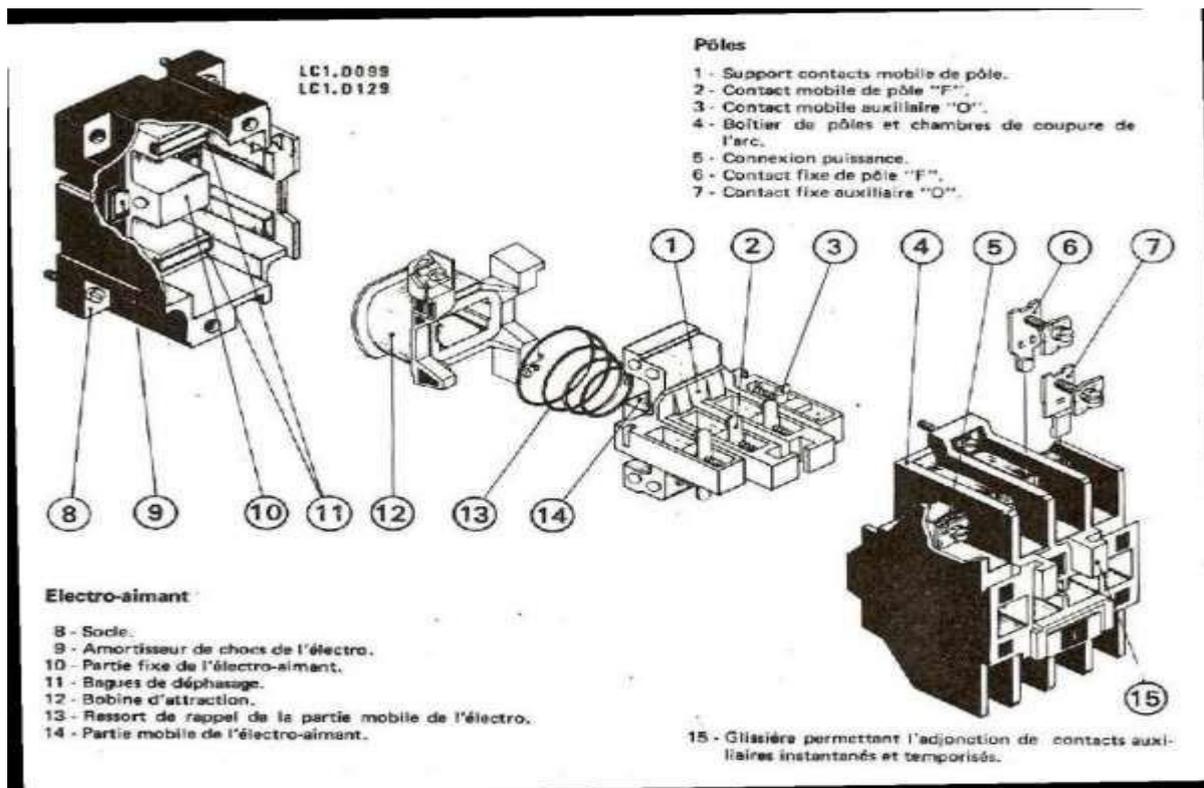


Figure. 19. Constitution générale d'un contacteur.

Un contacteur se compose d'une partie fixe (l'armature fixe) et d'une partie mobile (l'armature mobile).

On retrouve au cœur de ce dispositif :

- Une bobine
- Une bague de déphasage (pour stabiliser les vibrations de la bobine)
- Un ressort de rappel
- Des contacts auxiliaires ouverts ou fermés
- Un circuit magnétique (avec aimant fixe ou fermé)
- Des contacts de puissance (unipolaires, bipolaires, tripolaires, tétrapolaires)
- **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.

➤ **Fonctionnement**

La bobine, qui peut être alimentée en courant alternatif ou continu, va générer un champ magnétique. Ce champ magnétique va attirer la partie mobile contre la partie rigide, ce qui va entraîner l'ouverture ou la fermeture des contacts selon les modèles (NO / NF). Dès que la bobine n'est plus alimentée, le ressort de rappel va renvoyer la partie mobile à sa position de départ entraînant par conséquent la fermeture ou l'ouverture des contacts.

Pour en revenir aux modèles de contacteur, reprenez bien la différence les contacts NO et les contacts NF :

- Un contact NO est un contact dit normalement ouvert, ce qui signifie que tant que la bobine n'est pas alimentée, il reste ouvert.
- Un contact NF (ou NC en anglais) est dit normalement fermé, il est donc en permanence fermé si la bobine n'est pas alimentée.

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.

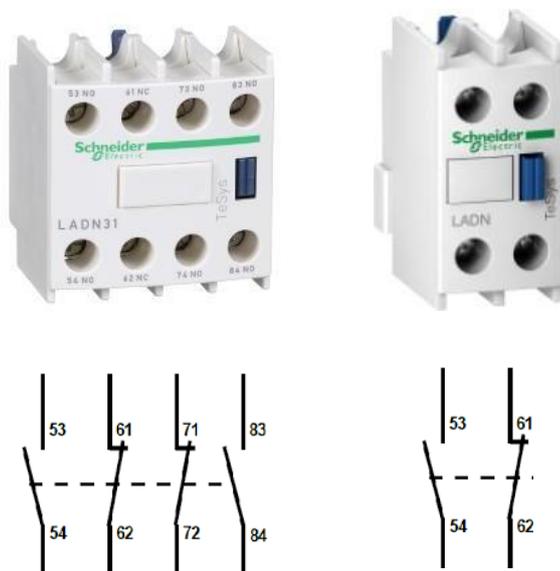


Figure 20. Blocs contacts auxiliaires pour contacteur.

• *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.

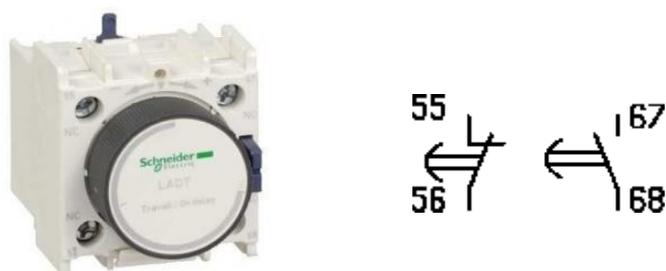


Figure 21. Bloc contacts temporisés pour contacteur.

• *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

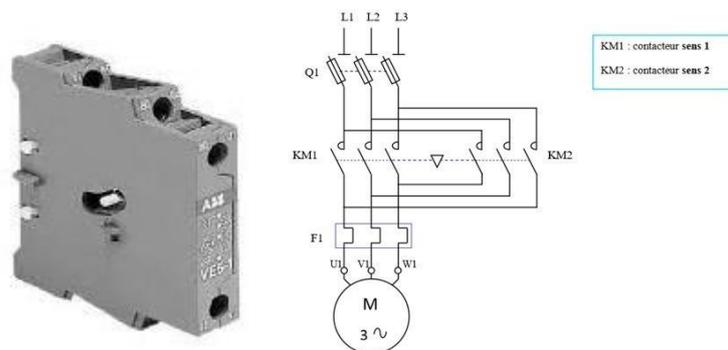


Figure 22. Dispositif de condamnation mécanique pour contacteur (Verrouillage mecanique).

➤ La catégorie d'emploi

Les catégories d'emploi normalisées fixent les valeurs de courant et de tension des contacteurs à partir :

- de la nature des récepteurs
- des conditions dans lesquelles s'effectuent la fermeture et l'ouverture des contacteurs.
- Durée de la vie électrique : C'est le nombre de manœuvre en charge que les contacts principaux peuvent supporter sans remplacement.
- Température.

Le tableau suivant illustre les catégories des contacteurs à employer en tenant compte de la nature du récepteur et les conditions dans lesquelles s'effectuent fermeture et ouverture

Tableau I.2 : les catégories d'emploi des contacteurs

puissance normalisée								courant		contacts		référence de base	
4 catégories d'emploi en alternatif :													
Catégorie	Récepteur			Fonctionnement				I fermeture	I ouverture				
AC1	Résistances ($\cos \varphi \geq 0,95$)			Pas de surintensité sauf défaut				In	In				
AC2	Moteur à rotor bobiné			Marche par à coup				7.In	7.In				
AC3	Moteur à cage d'écuréuil			Coupure moteur lancé ou calé				7.In	In				
AC4	Moteur à cage d'écuréuil			Marche par à coup				7.In	7.In				
5 catégories d'emploi en continu :													
Catégorie	Récepteur			Fonctionnement									
DC1	Charge faiblement inductive			C ^{ste} de temps L/R ≤ 1 ms									
DC2	Moteur à excitation dérivation			Coupure moteur lancé ou calé									
DC3	Moteur à excitation dérivation			Marche par à coup, Inversion du sens									
DC4	Moteur à excitation série			Coupure moteur lancé ou calé									
DC5	Moteur à excitation série			Marche par à coup, Inversion du sens									
18,5	30	37	37	37	37	37	65	LC1 D65**		B7	P7	BD	
22	37	45	45	55	45	45	80	LC1 D80**		B7	P7	BD	
25	45	45	45	55	45	45	95	LC1 D95**		B7	P7	BD	
30	55	59	59	75	80	75	115	LC1 D115**		B7	P7	BD	
40	75	80	80	90	100	90	150	LC1 D150**		B7	P7	BD	
(1) Tensions du circuit de commande préférentielles.													
Courant alternatif													
volts		24	48	115	230	400	440	500					
LC1 D09...D150 (bobines D115 et D150 antiparasitées d'origine)													
50/60 Hz		B7	E7	FE7	P7	V7	R7						
LC1 D40...D115													
50 Hz		B5	E5	FE5	P5	V5	R5	S5					
60 Hz		B6	E6			R6							

➤ Critères de 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 :

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

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.

Chapitre 4 : Appareillage de protection

1. Le Fusible

Le fusible ou coupe-circuit à fusible est un dispositif de sécurité conçu pour couper le courant électrique lors d'une surcharge ou d'un court-circuit (voir *ici* notre article sur le rôle du fusible). Le composant principal de ce dispositif est un petit isolant enveloppant un fil conducteur qui fond quand il est traversé par un courant d'intensité supérieure au calibre supporté. Ainsi, il permet d'ouvrir le circuit électrique pendant une période de surintensité et prévient les incendies ainsi que la destruction de l'ensemble du système. Le fusible garantit l'intégrité du circuit d'alimentation.

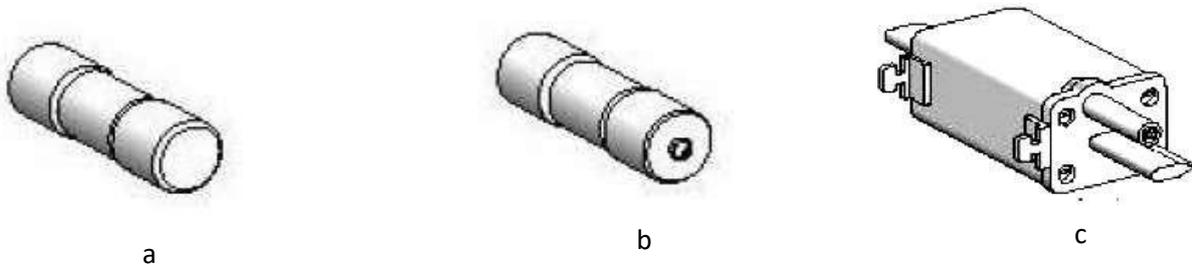
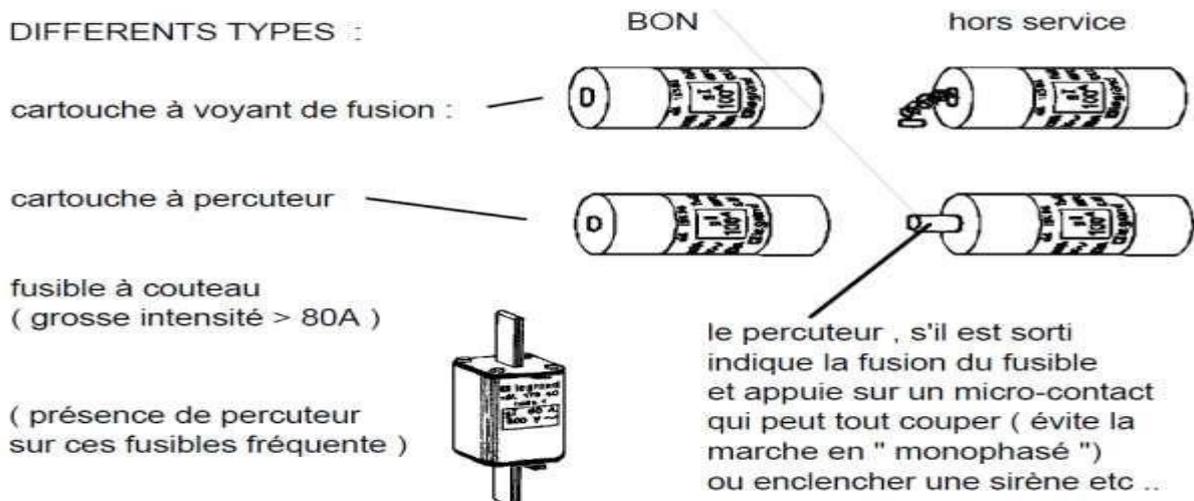
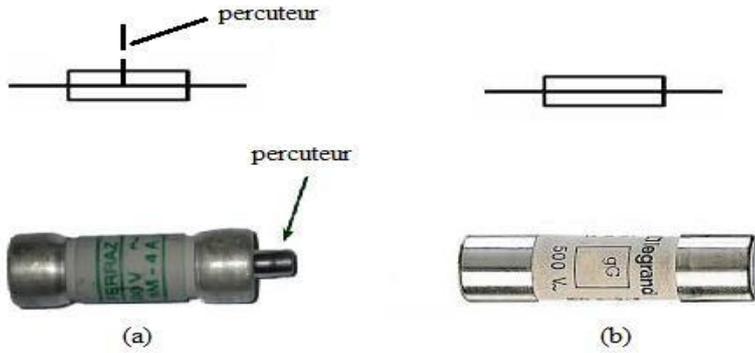


Figure 23. a : fusible sans percuteur b : fusible à avec percuteur c : Fusible à couteau

En général, le fusible est associé à un porte fusible permet d'avoir la fonction sectionneur.



Symbol



➤ **Structure interne d'un fusible**

- **Constitution :**

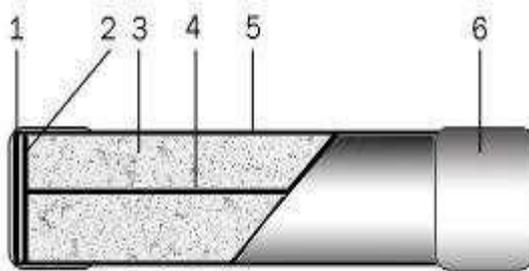


Figure 24. constitution du fusible

- 1 : Plaque de soudure.
- 2 : Disque de centrage de la lame fusible.
- 3 : Silice (permet une coupure franche).
- 4 : Lame fusible.
- 5 : Tube isolant.
- 6 : Embout de contact.

➤ **Caractéristiques principales :**

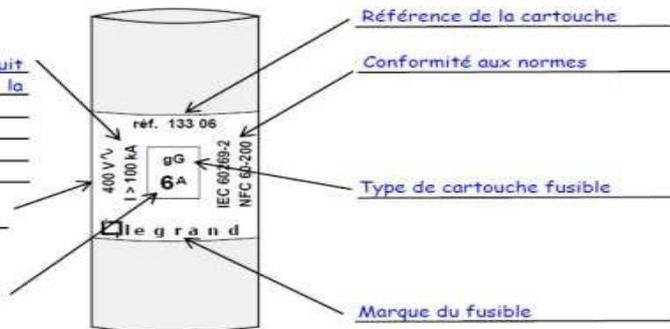
Pouvoir de coupure :

C'est le courant de court-circuit maximum qui peut être coupé par la cartouche fusible (valeur en kA)

Tension nominale

Calibre du fusible :

Courant nominal pouvant traverser la cartouche fusible sans provoquer ni fusion, ni échauffement excessif



Dimensions :

Fonction de la tension du réseau. Pour les cartouches domestiques elles sont fonction du calibre (8.5x23 → 10A ; 10.3x25.6 → 16A...).

- **Courant nominal ou calibre d'une cartouche fusible I_n :**

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

- **Tension nominale d'une cartouche fusible U_n :**

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

- **Courant de fusion I_f :**

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

- **Courant de non fusion I_{nf} :**

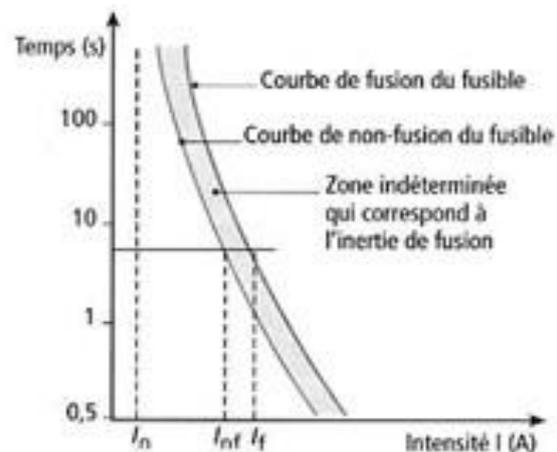
C'est la valeur du courant qui peut être supporté par le fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.

- **Pouvoir de coupure d'une cartouche fusible :**

C'est le courant maximal qu'un fusible peut couper sans que la tension de rétablissement ne provoque un réamorçage de l'arc. Les fusibles possèdent de très hauts pouvoirs de coupure (de 80 à 170 kA).

Calibres en A	I_{nf} intensité de non fusion	I_f intensité de fusion	t = temps conventionnel
$I_n \leq 4$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
$4 < I_n \leq 10$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$10 < I_n \leq 25$	$1,4 I_n$	$1,75 I_n$	1 h
$25 < I_n \leq 63$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	1 h
$63 < I_n \leq 100$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$100 < I_n \leq 160$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$160 < I_n \leq 400$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	3 h
$400 < I_n$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	4 h

(a)



(b)

Figure 25. Caractéristiques temps –intensité de fusion et non fusion

➤ **Contraintes thermiques de pré-arc et d'arc**

Un fusible coupe un court-circuit en deux temps : le pré-arc, puis l'arc. La contrainte thermique de pré-arc correspond à l'énergie minimale nécessaire pour que l'élément fusible de la cartouche commence à fondre. Il est important de connaître cette contrainte thermique pour déterminer la sélectivité sur un court-circuit entre plusieurs systèmes de protection en série.

La contrainte thermique d'arc correspond à l'énergie limitée entre la fin du pré-arc et la coupure totale.

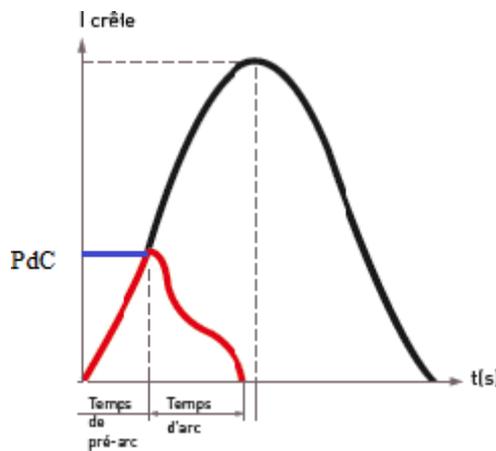
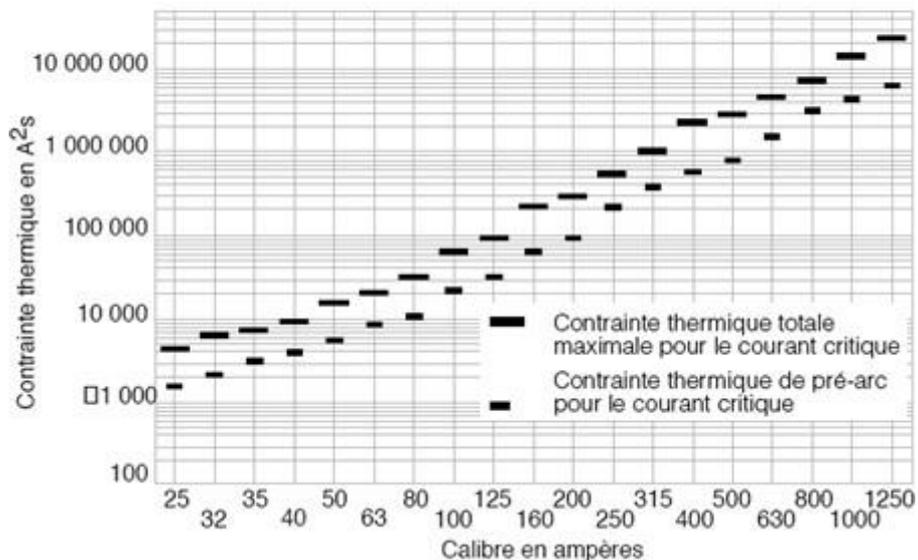


Figure 26. Contraintes thermiques de pré-arc et d'arc

➤ **Les contraintes thermiques d'une cartouche fusible (I^2t)**

C'est l'énergie par unité de résistance nécessaire à la fusion du fusible. Cette

■ **Contraintes thermiques ($\int I^2dt$) en 500 V \sim**



contrainte thermique doit être inférieure à celle de l'installation à protéger.

Figure 27. Les contraintes thermiques d'une cartouche fusible (I^2t)

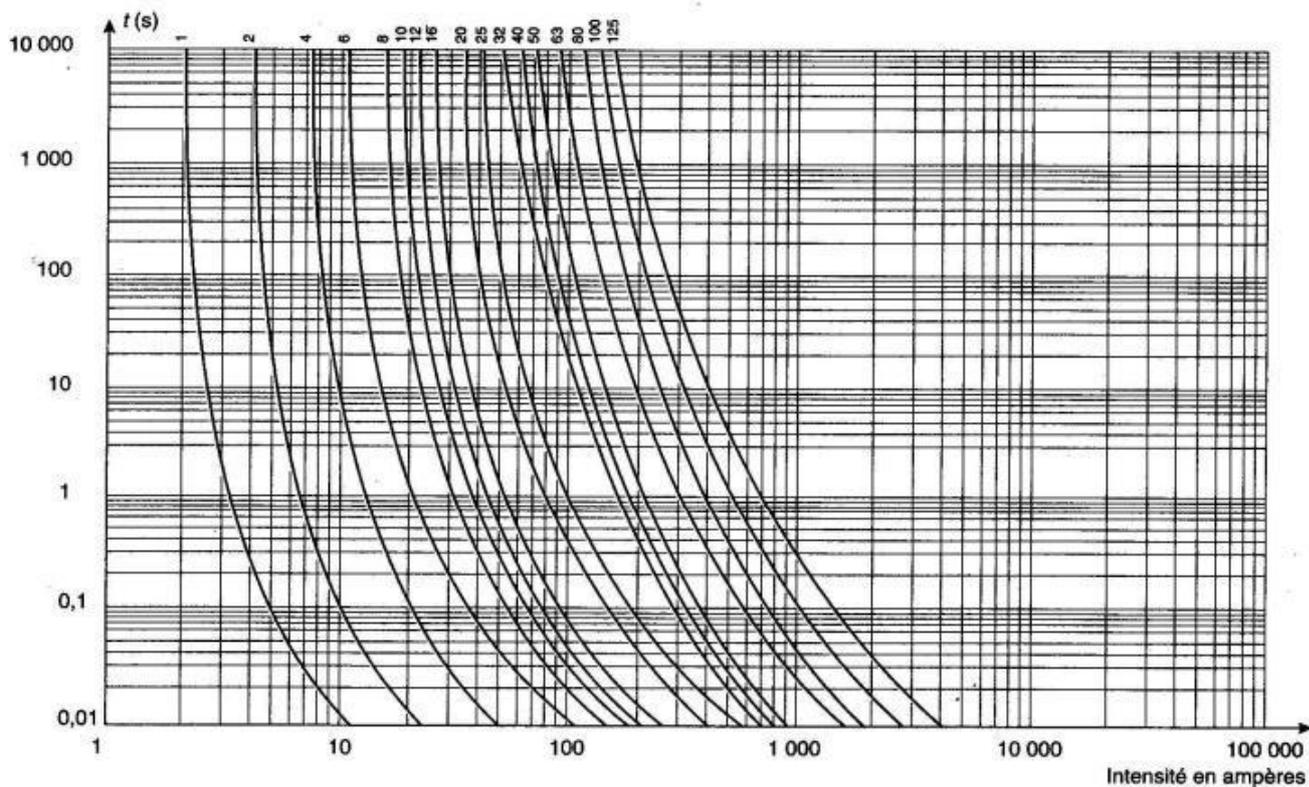


Figure 28 . Courbes de fusion des cartouches fusibles de type gG

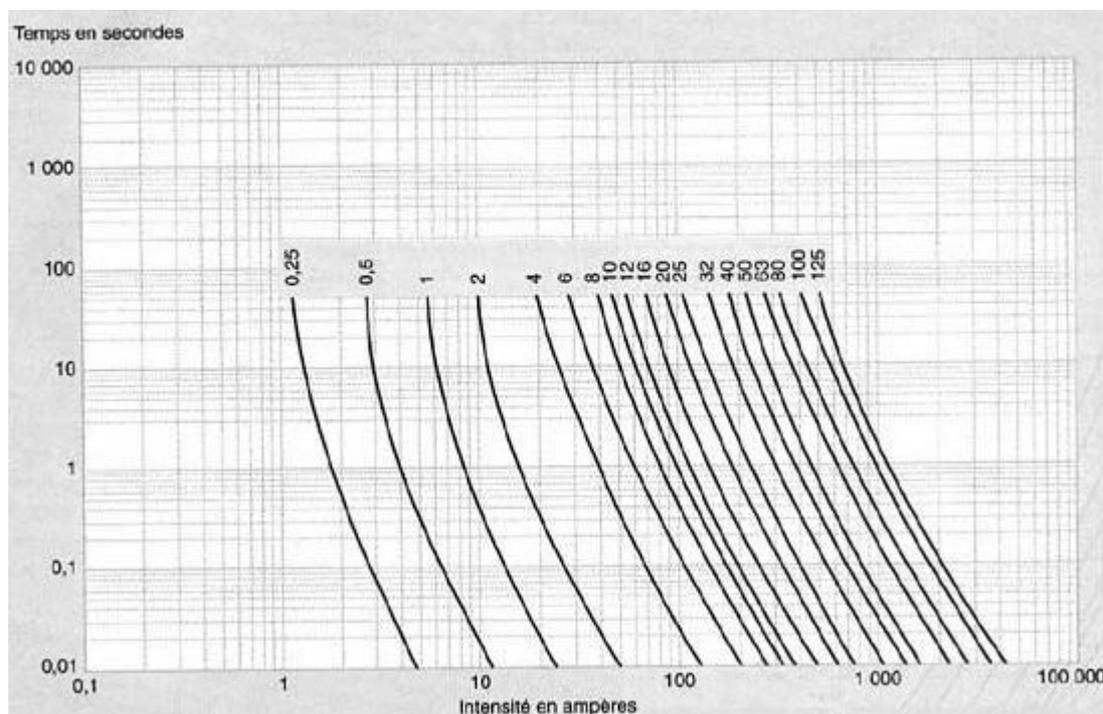


Figure 29. Courbes de fusion des cartouches fusibles de type aM

➤ **Différents types et formes des fusibles**

Il existe principalement quatre types de fusibles :

1. Les fusibles gG :

Les fusibles **gG** sont des fusibles dit « 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.



2. 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. L'image montre un fusible à couteaux.



Remarque : Les fusibles **aM** n'étant pas prévus pour une protection contre les faibles surcharges, les courants conventionnels de fusion ou de non fusion ne sont pas fixés. Ils fonctionnent à partir de $4.I_n$ environ.

3. 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.



4. Les fusibles UR :

Les fusibles ultra-rapides (**UR**) assurent la protection des semi-conducteurs de puissance et des circuits sous tension continue.



➤ **Désignation**

diamètre (mm), longueur (mm), calibre (A) et type (g1 , gf ou Am) Exemple : fusible 10.3

x 38 20 A Am

➤ **Choix d'un fusible :**

Pour choisir un fusible, il faut connaître les caractéristiques du circuit à protéger :

- Circuit de distribution, fusibles gG.
- 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 I_n .
- 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.

Par ailleurs, il faut vérifier que la contrainte thermique du fusible est bien inférieure à celle de la ligne à protéger : $I \cdot t \text{ du fusible} < I \cdot t \text{ de la ligne}$.

➤ **Avantages et inconvénients d'un fusible :**

Avantage :

- 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.

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.

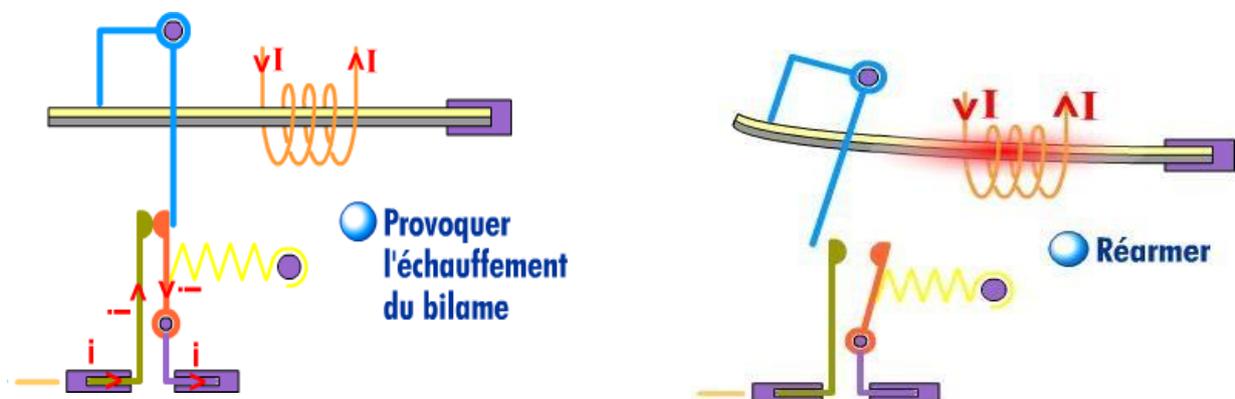
En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande et le contacteur coupe le courant dans le récepteur.

Le relais thermique est représenté par la lettre **F** sur les schémas.



➤ Fonctionnement :

Le relais thermique est constitué d'un bilame métallique (deux lames à coefficient de température différent). Le passage du courant, s'il est supérieur à la valeur de réglage du relais, provoque l'échauffement et la déformation du bilame. Un contact électrique associé à ce bilame, déclenche le circuit de commande.



➤ Constitution d'un relais thermiques

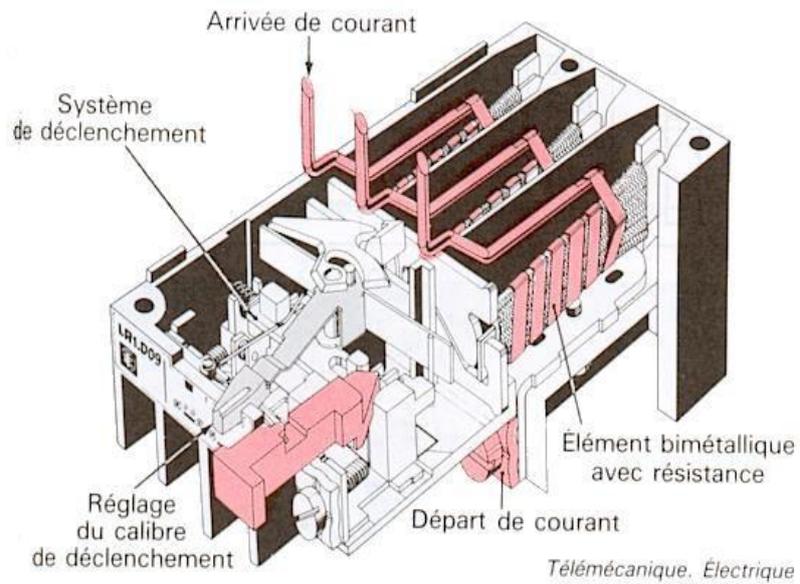


Figure 30. Constitution du relais thermique

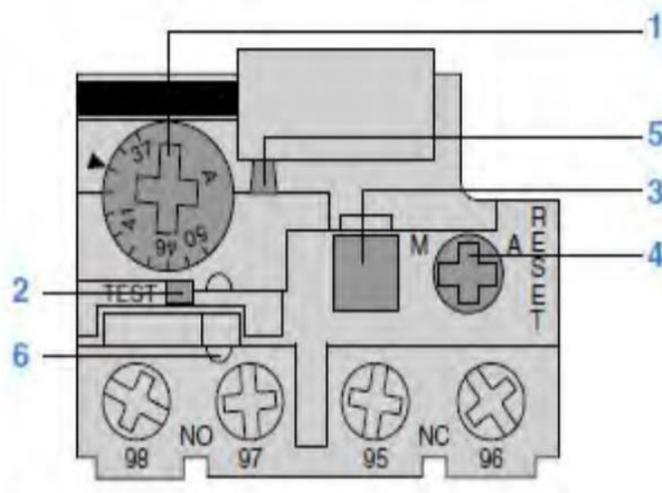


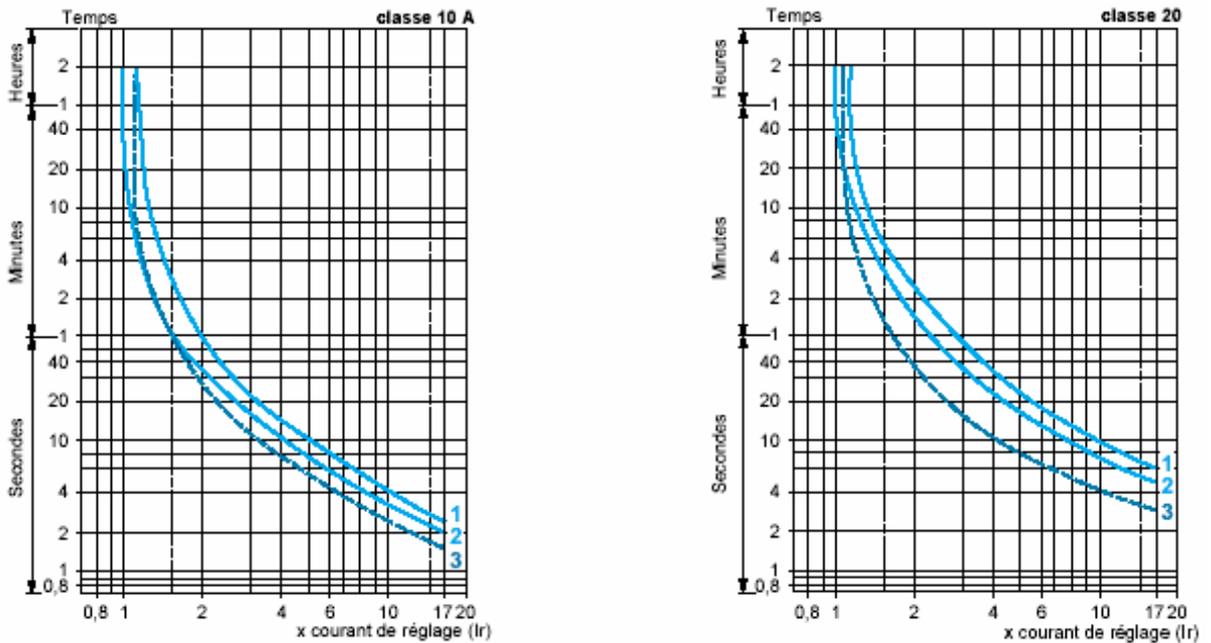
Figure 31. Vue éclaté d'un relais thermique.

1	Bouton de Réglage I_r
	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.

Courbes de déclenchement

C'est la courbe qui représente le temps de déclenchement du relais thermique en fonction des multiples de l'intensité de réglage.

Temps de fonctionnement moyen en fonction des multiples du courant de réglage.



1. fonctionnement équilibré, 3 phases, sans passage préalable du courant (à froid)
2. Fonctionnement sur les 2 phases, sans passage préalable du courant (à froid)
3. Fonctionnement équilibré 3 phases, après passage prolongé du courant de réglage (à chaud)

Figure 32. Temps de fonctionnement moyen en fonction de multiple du courant de réglage

➤ **Classes de déclenchement d'un relais thermique**

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).

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.

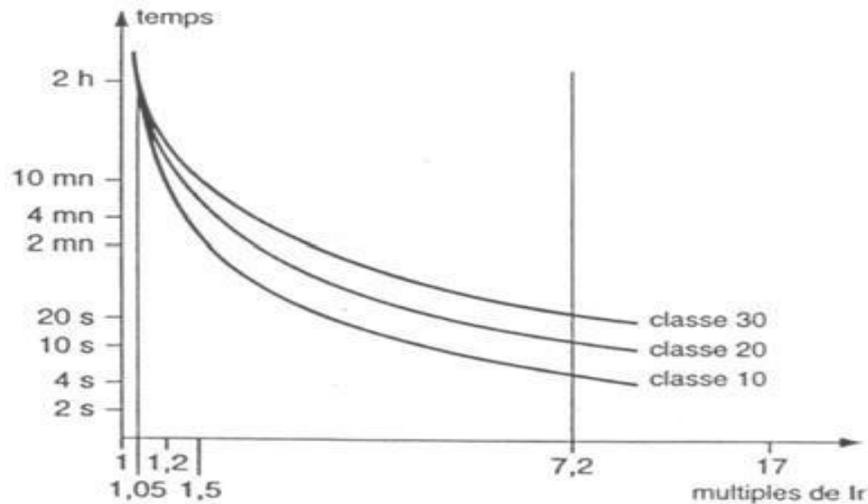


Figure 33. Courbe de fonctionnement du fusible

➤ **Critères de choix d'un relais thermique**

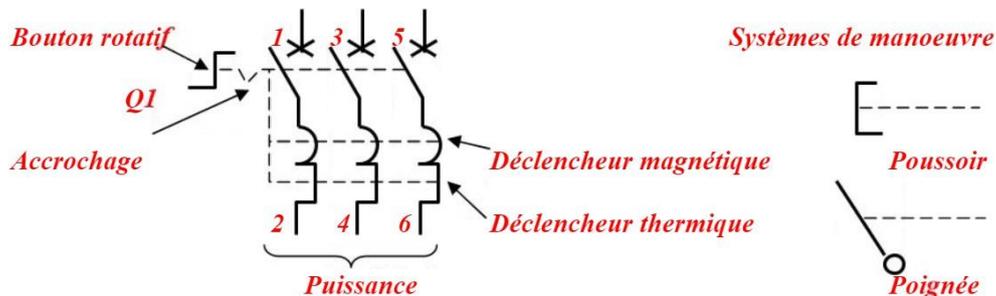
- Tension d'emploi
- plage de réglage
- Courant d'emploi
- durée de démarrage (classe 10, 20 ou 30)
- L'intensité de réglage (I_r) qui doit être égale à l'intensité nominale (I_n) à lire sur la plaque signalétique du moteur.

3. Le 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.

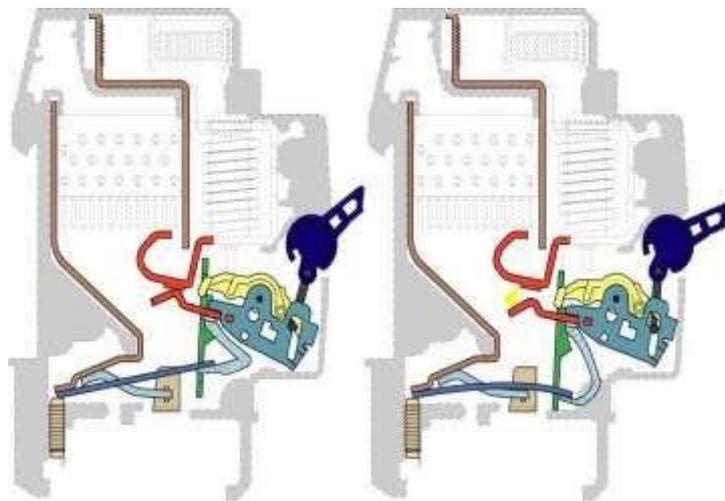
Symbole



- **Principe thermique :**

Une lame bimétallique (bilame) est parcourue par le courant. Le bilame est calibré de telle manière qu'avec un courant nominal I_n , elle ne subisse aucune déformation.

Par contre si des surcharges sont provoquées par les récepteurs, en fonction du temps, la lame va se déformer et entraîner l'ouverture du contact en 0,1sec au minimum.



Circuit fermé

Circuit en cours d'ouverture

- **Principe magnétique**

En service normal, le courant nominal circulant dans la bobine, n'a pas assez d'influence magnétique (induction magnétique) pour pouvoir attirer l'armature mobile fixée sur le contact mobile. Le circuit est fermé.

Si un défaut apparaît dans le circuit aval du disjoncteur de canalisation, l'impédance du circuit diminue et le courant augmente jusqu'à atteindre la valeur du courant de court-circuit. Dès cet instant, le courant de court-circuit provoque une violente aimantation de l'armature mobile. Cela a comme conséquence d'ouvrir le circuit aval du disjoncteur en 0,1sec au maximum.

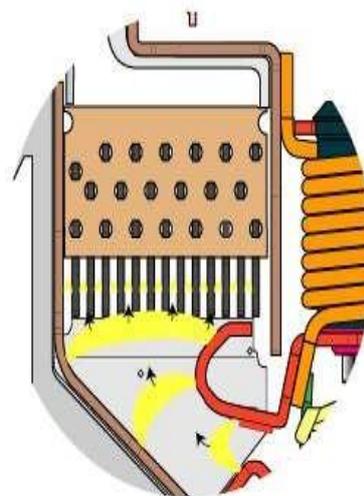
- **Chambre de coupure**

Le but de cette chambre est de couper le plus rapidement possible l'arc électrique qui se produit à l'ouverture du contact.

Dès la séparation des contacts, l'arc est déplacé vers la chambre de coupure sous l'effet de la force dite de Laplace, induite par la géométrie des contacts fixe et mobile.

Au cours du trajet entre les contacts et la chambre, l'arc est canalisé entre deux joues qui permettent :

- d'augmenter sa vitesse de déplacement,
- de guider sa trajectoire,
- de l'allonger.



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.

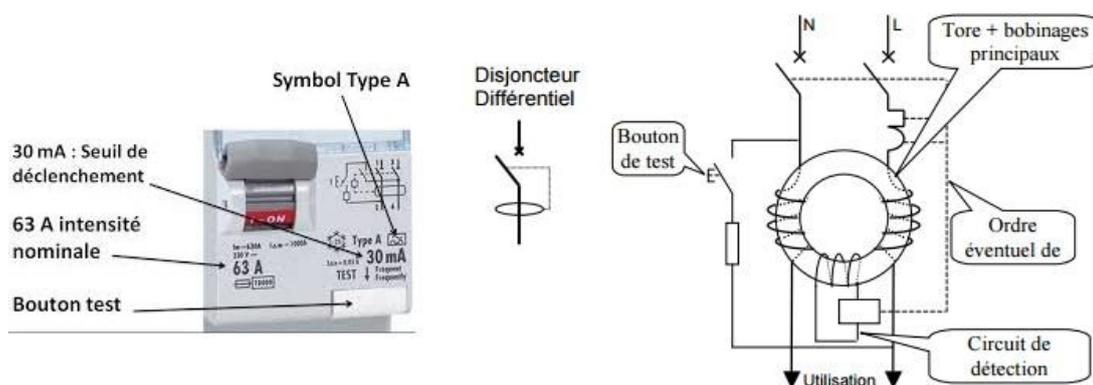


Figure 34. Principe du disjoncteur différentiel

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.

Le courant différentiel-résiduel assigné, noté $I\Delta n$, est la valeur maximale du courant différentiel qui doit provoquer le fonctionnement du dispositif. Sa valeur exprime communément la sensibilité ou le réglage du DDR (exemple : DDR 30 mA). Un DDR peut, du point de vue des normes de produits différentiels, déclencher à partir de la moitié de son courant différentiel résiduel assigné.

Le seuil de réglage est appelé sensibilité.

La norme tolère une plage de fonctionnement :

- $I_d < I\Delta n/2$: Non déclenchement assuré ;
- $I\Delta n/2 \leq I_d < I\Delta n$: Déclenchement possible ;
- $I_d \geq I\Delta n$:

Déclenchement assuré.

Réglages :

- Quelque soit le schéma de terre : Haute sensibilité ($I\Delta n \leq 30$ mA) pour les circuits prises

confort

On distingue les appareils de :

- moyenne sensibilité : 650, 500, 300, 100 mA
- haute sensibilité : 30, 12, 6 mA

Choix d'un disjoncteur:

- I_N : courant nominal de fonctionnement (trouvé à partir de I_B avec $I_N \geq I_B$)
- U_N : tension nominale de fonctionnement
- Pouvoir de coupure (doit être supérieur au courant de court-circuit)
- Nombre de pôle de coupure: monophasé, uni, uni + neutre, bipolaire (2 phases), triphasé (tripolaire) ou triphasé + neutre (tétra polaire)
- Type de courbe du disjoncteur : le type de courbe va dépendre du récepteur protégé (du courant d'appel à la mise sous tension) et il définit les bornes de coupure de la partie magnétique du disjoncteur. Exemple des courbes les plus courantes :

Courbe B :

courbe C :

courbe D :

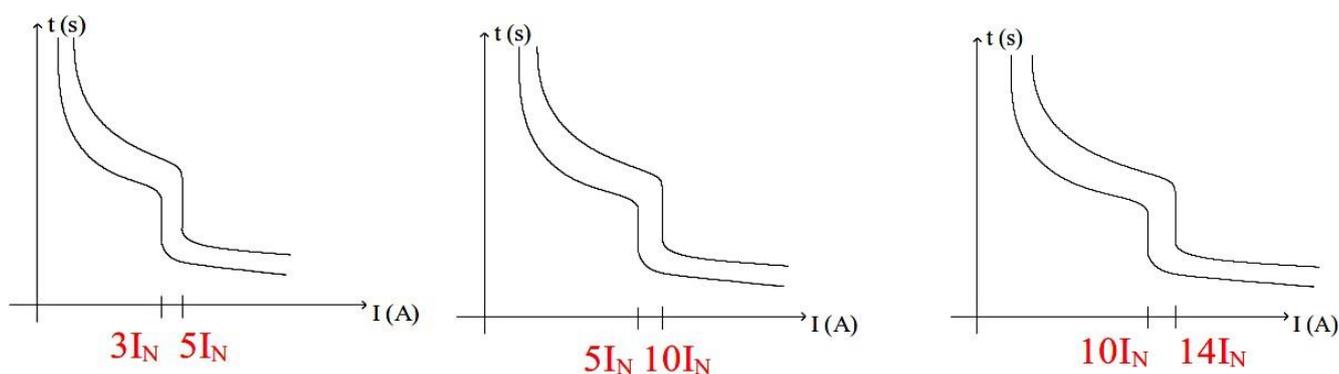


Figure 35. Les types de courbes des disjoncteurs

Par exemple, pour un disjoncteur 2A de courbe B, la zone de coupure magnétique se trouve entre 6A ($3 \times I_N$) et 10A (mais on ne sait pas où exactement). Ce qu'on sait c'est qu'il coupe quand le courant dépasse 10A et qu'il ne coupe pas quand le courant est inférieur à 6A.

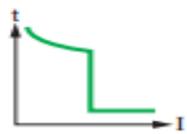
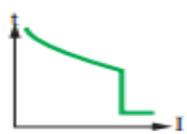
Type	Déclencheur	Applications
	Seuil bas type B	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sources à faible puissance de court-circuit (générateurs) ■ Grandes longueurs de câbles
	Seuil standard type C	<ul style="list-style-type: none"> ■ Protection des circuits : cas général
	Seuil haut type D ou K	<ul style="list-style-type: none"> ■ Protection des circuits en présence de fort courant d'appel (exemple : transformateurs ou moteurs)
	12 In type MA	<ul style="list-style-type: none"> ■ Destiné à la protection des moteurs en association avec un disjoncteur (contacteur avec protection contre les surcharges)

Figure. 36 Les types des déclencheurs et leurs applications

Choix du déclencheur

Le déclencheur est un organe démontable et réglable peut être associé au disjoncteur permettant l'ouverture des pôles du disjoncteur lors d'un défaut (court-circuit, surcharge). Il est de nature magnétothermique ou électronique. Ce dernier cas permet une plus grande précision et un réglage plus souple.

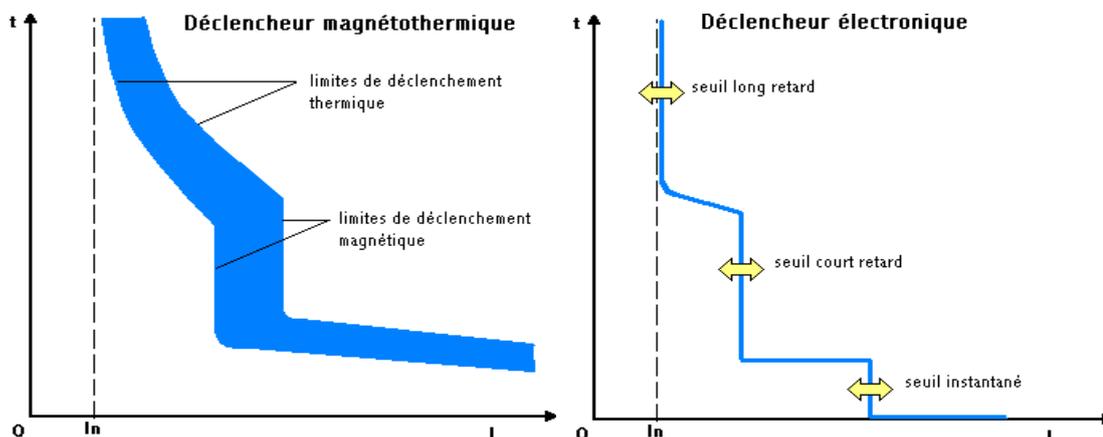


Figure 37 Les courbes des déclencheurs magnétothermique et électronique

Pour régler le déclencheur il faut choisir le type de courbe à mettre en œuvre suivant l'application voulue.

Chapitre 5. Élaboration des schémas électriques

1. Normalisation

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. Elles sont classifiées dans des normes internationales.

L'objectif de telle normalisation internationale est d'arriver à un langage commun entre les électriciens qui facilite l'écriture, la lecture et la compréhension des schémas électriques.

La commission électrotechnique internationale (CEI), appelée aussi IEC (International Electrotechnical Commission). Créée en 1906, prépare des normes applicables à l'électricité et l'électronique.

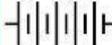
2. But d'un schéma électrique

- Expliquer le fonctionnement de l'équipement (il peut être accompagné de tableaux, de diagrammes et chronogrammes),
- Fournir les bases d'établissement et de réalisation physique de l'installation,
- Faciliter les essais (mise en service),
- Faciliter la maintenance et les dépannages plus rapidement.

3. 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 réalisé 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  Fréquencemètre	 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)		

APPAREILLAGE D'INSTALLATION			
<p>Fonctions de l'appareillage</p>  Fonction disjoncteur  Fonction sectionneur  Fonction interrupteur-sectionneur  Fonction déclenchement automatique  Contact à fermeture (contact de travail)  Contact à ouverture (contact de repos)  Bobines de commande  Élément de protection thermique  Élément de protection magnétique	<p>Appareillage à fonction simple</p>  Sectionneur  Interrupteur (commande)  Fusible (protection contre les surintensités)  Contacteur (commande)  Rupteur (commande)  Bouton-poussoir à fermeture et retour automatique  Tirette à ouverture et retour automatique	<p>Appareillage à fonctions multiples</p>  Fusible interrupteur  Discontacteur  Fusible sectionneur  Interrupteur-sectionneur  Fusible interrupteur-sectionneur  Disjoncteur  Fusible à percuteur  Disjoncteur tripolaire à relais magnétothermiques  Disjoncteur différentiel  Contacteur tripolaire avec contact auxiliaire à deux directions	<p>Appareillage de protection contre les surtensions</p>  Eclateur  Eclateur double intervalle  Limiteur de surtension  Parafoudre
			<p>Appareillage de connexion</p>  Fiche de prise de courant  Socket de prise de courant  Fiche et prise associées
			<p>Autres formes</p>  Fiche mâle  Prise femelle  Fiche et prise associées

Tableau . Tableau des principaux symboles électriques.

4. Schéma électrique

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

Un schéma électrique a pour but :

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

5. Classification des schémas

5.1 Classification selon le but envisagé

a) Schéma fonctionnel

C'est un schéma explicatif relativement simple, destiné à faire comprendre le fonctionnement d'une installation ou une partie d'installation, par des symboles ou par des figures simples.

b) Schéma des circuits (de principe)

Schéma explicatif destiné à faire comprendre en détail le fonctionnement d'une installation ou une partie d'installation. Ce type tient compte des connections électriques et des liaisons qui interviennent dans l'installation.

c) Schéma d'équivalence

Schéma explicatif particulier nécessaire à l'analyse et aux calculs des caractéristiques d'un élément de circuit ou d'un circuit.

d) Schéma de réalisation

Destiné à guider la réalisation et la vérification des connexions d'une installation ou d'un équipement ; ces connexions peuvent être intérieures à l'équipement ou extérieures aux différentes parties de l'équipement ou installation.

5.2 Classification 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.

5.2.1 Nombre de conducteurs :

Selon le nombre de conducteurs, d'appareils ou éléments représentés par un symbole, on distingue :

a) La 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.

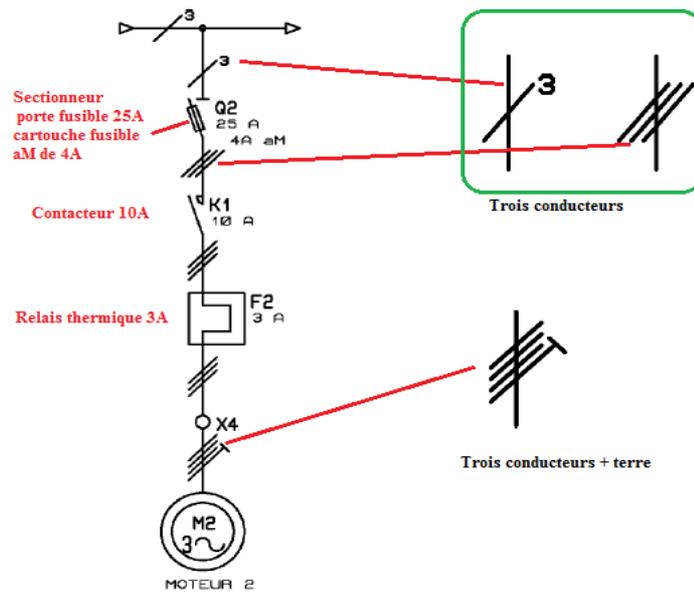


Figure 38. Schéma unifilaire du circuit de puissance de démarrage d'un moteur asynchrone

b) 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).

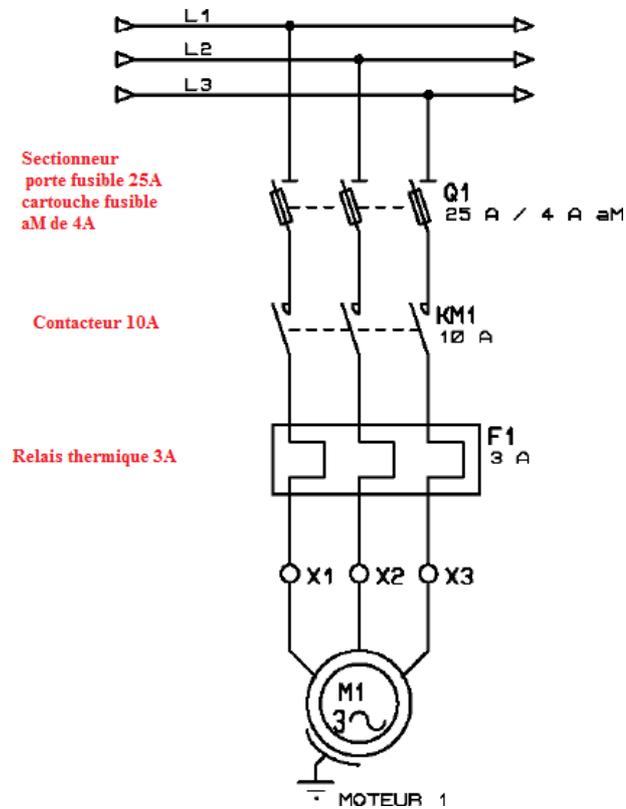


Figure 39. Schéma électrique multifilaire.

5.2.2 Emplacement des symboles

Selon l'emplacement relatif sur le schéma des symboles correspondant au matériel ou élément, on distingue :

a) La représentation assemblée

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

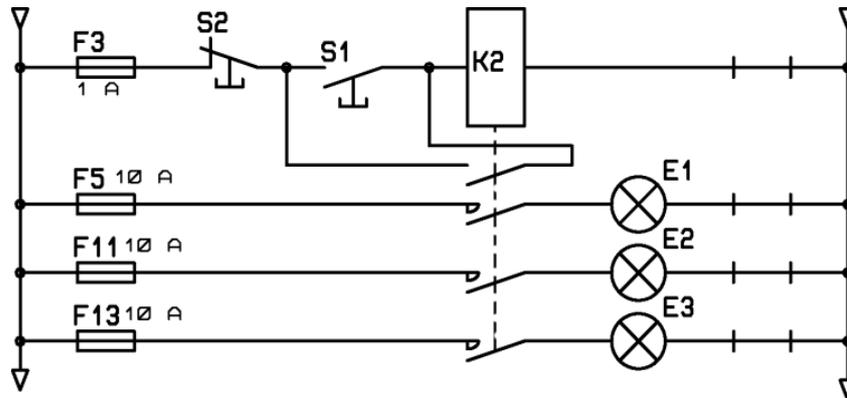


Figure 40. Schéma assemblée.

b) Représentation rangée

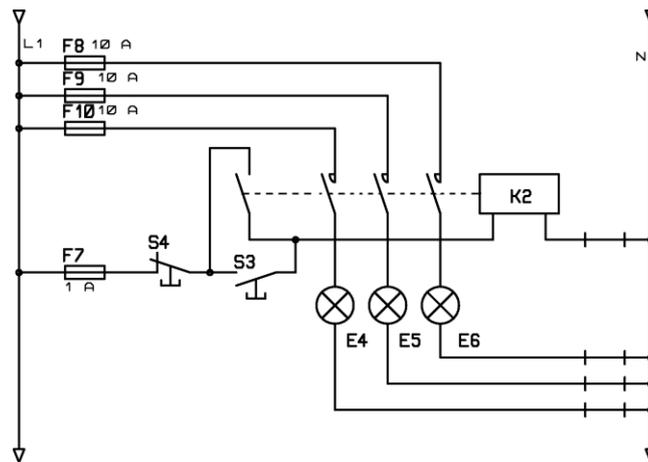


Figure 41. Schéma rangée.

c) Représentation développée

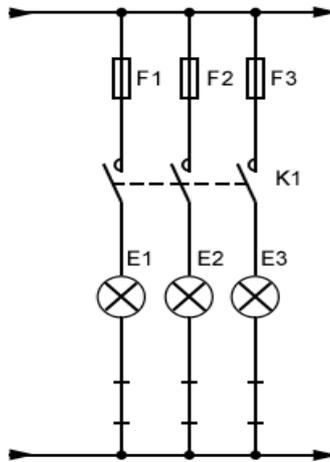


Figure 42. Schéma développé.

5.2.3 Représentation topographique (architecturale)

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

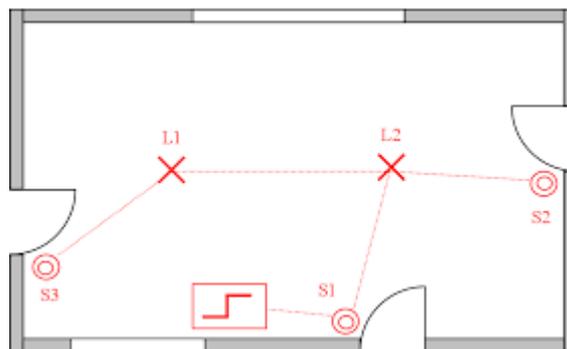


Figure 43. Schéma électrique architectural.

6. Identification des éléments

6.1 Définition

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

6.2 Principe d'identification

A

B

C

Sorte de l'élément	Fonction	Numéro de l'élément
--------------------	----------	---------------------

a. Identification de la sorte d'élément

Les éléments sont identifiés à l'aide de lettre repère (sur la partie A). Exemple : Une bobine de contacteur : K, Un bouton poussoir : S.

Tableau des lettres repères pour l'identification des sortes d'éléments

Repère	Sorte d'élément	Exemple
A	Ensemble ou sous-ensemble fonctionnel	Amplificateur
B	Transducteur d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique ou vice versa	Couple thermo-électrique, cellule photo-électrique...
C	Condensateurs	
D	Opérateur binaire, dispositifs de temporisation ou de mise en mémoire	Opérateur combinatoire, ligne à retard, bascule bistable, monostable, mémoire magnétique...
E	Matériel divers	Eclairage, chauffage, éléments non spécifiés dans ce tableau.
F	Dispositifs de protection	Coupe-circuit, limiteur de surtension, parafoudre...
G	Générateurs (dispositifs d'alimentation)	Génératrice, alternateur, batterie
H	Dispositifs de signalisation	Avertisseur lumineux ou sonores.
K	Relais et contacteurs	
L	Inductances	Bobine d'induction, bobine de blocage.
M	Moteurs	
P	Instrument de mesure, dispositifs d'essai.	Appareil indicateur, appareil enregistreur.
Q	Appareils mécaniques de connexion pour circuit de puissance.	Disjoncteur, sectionneur.
R	Résistances	Potentiomètre, rhéostat, shunt, persistance.
S	Appareils mécaniques de connexion pour	Boutons poussoirs.

COURS

CIRA

b. Identification de la fonction de l'élément

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

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

Tableau des repères d'identification fonctionnelle

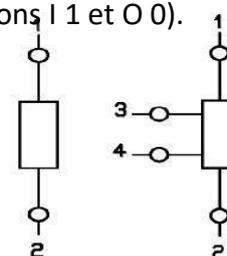
Repère fonctionnel	Légende	Repère fonctionnel	Légende
AL	Alarme	FE	Fermeture
Auto	Automatique (mode)	FR	Freinage
AR	Arrière	GA	Gauche
AT	Arrêt	GV	Grande vitesse
AV	Avant	HA	Haut
BA	Bas	HS	Hors service
CA	Courant alternatif	I	Courant
CC	Courant continu	L	Ligne d'alimentation
D	Triangle (couplage)	MA	Marche
Dcy	Départ cycle	Manu	Manuel (mode)
DE	Descente	MI	Minimum
DM	Démarrage	MO	Montée
DR	Droite	MX	Maximum
EA	Eau	NO	Normal
ES	En service	OU	Ouverture
EX	Excitation	P	Puissance
FC	Fin de course	PV	Petite vitesse
+	Augmentation	SY	Synchronisation
-	Diminution	U	Tension
INC	Incrémentation	Y	Etoile (couplage)
DEC	Décrémentation	W	Vitesse angulaire

c. Identification des bornes d'appareils

Il est fondé sur une notation alphanumérique employant des lettres majuscules et des chiffres arabes. Les lettres I et O ne doivent pas être utilisées (pour éviter les confusions I 1 et O 0).

6.3. Principe de marquage des bornes

a. Pour un élément simple

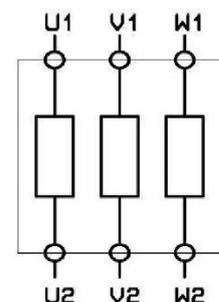


Les deux extrémités d'un élément simple sont distinguées par des nombres de référence successifs, par exemple 1 et 2. S'il existe des points intermédiaires à cet élément, on les distingue par des nombres supérieurs en ordre normalement croissant à ceux des extrémités.

b. Pour un groupe d'élément

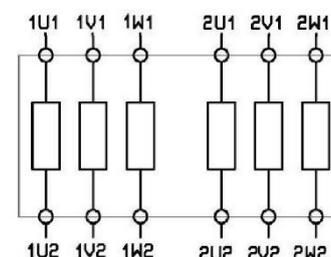
Pour un groupe d'éléments semblables, les extrémités des éléments seront désignées par des lettres de référence qui précéderont les nombres de référence indiqués au paragraphe (a).

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



c. Pour plusieurs groupes semblables

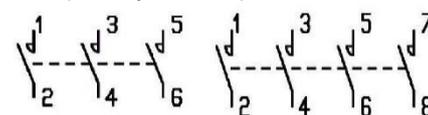
Pour plusieurs groupes semblables d'éléments ayant les mêmes lettres de référence, on les distingue par un préfixe numérique devant les lettres de référence.



6.4. Principe de marquage des contacts

a. Contacts principaux

Les bornes (contacteurs, sectionneurs, disjoncteurs et relais de protection contre les surcharges) sont repérées par un seul chiffre de 1 à 6 (tripolaire), de 1 à 8 (tétrapolaires).



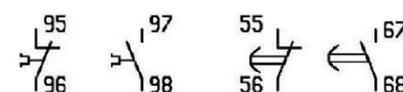
b. Contacts auxiliaires

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

1-2, contact à ouverture ;

3-4, contact à fermeture ;

5-6, 7-8, contacts à fonctionnement spécial.

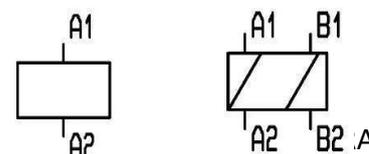


Le chiffre des dizaines indique le numéro d'ordre de chaque contact auxiliaire de l'appareil.



c. Organe de commande

Les repères sont alphanumériques, la lettre étant placée en première position : on utilise A1 et A2 pour une bobine de commande d'un contacteur. On utilise A1-A2 et B1-B2 pour une bobine de commande d'un contacteur à deux enroulements.



d. Marquages particuliers

Ils concernent les bornes raccordées à des conducteurs bien définis : Voir tableau suivant.

Tableau des marquages particuliers des bornes d'appareil

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

7. Repérage des conducteurs sur les schémas

Le repérage individuel des conducteurs est généralement nécessaire pour un schéma des connexions, pour un schéma explicatif détaillé et pour un schéma général des connexions. Le repérage peut être fixé lors de l'étude du schéma ou dans les cas simples, choisi lors de la pose des conducteurs ; on doit alors reporter les repères sur le schéma ou sur un document annexe.

a. Repérage dépendant

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

b. Repérage indépendant

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

c. Repérages particuliers

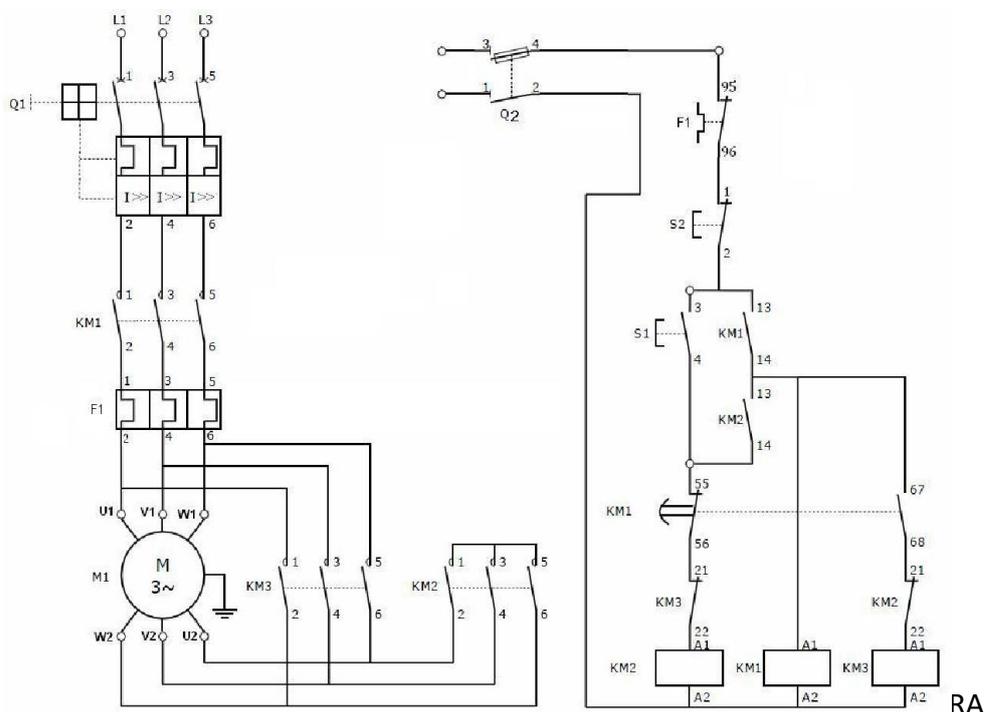
Tableau des marquages des conducteurs particuliers

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

Tableau des marquages des conducteurs particuliers

d. Méthode de repérage en schéma développé

Les circuits élémentaires peuvent être disposés verticalement ou horizontalement. Sur un schéma développé, chaque symbole d'un élément doit être repéré de façon à pouvoir situer tous les éléments d'un appareil (voir le schéma ci-dessous).



8. Détermination de la section minimale des conducteurs

Ce cours permet de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit. Une section bien dimensionnée permettra :

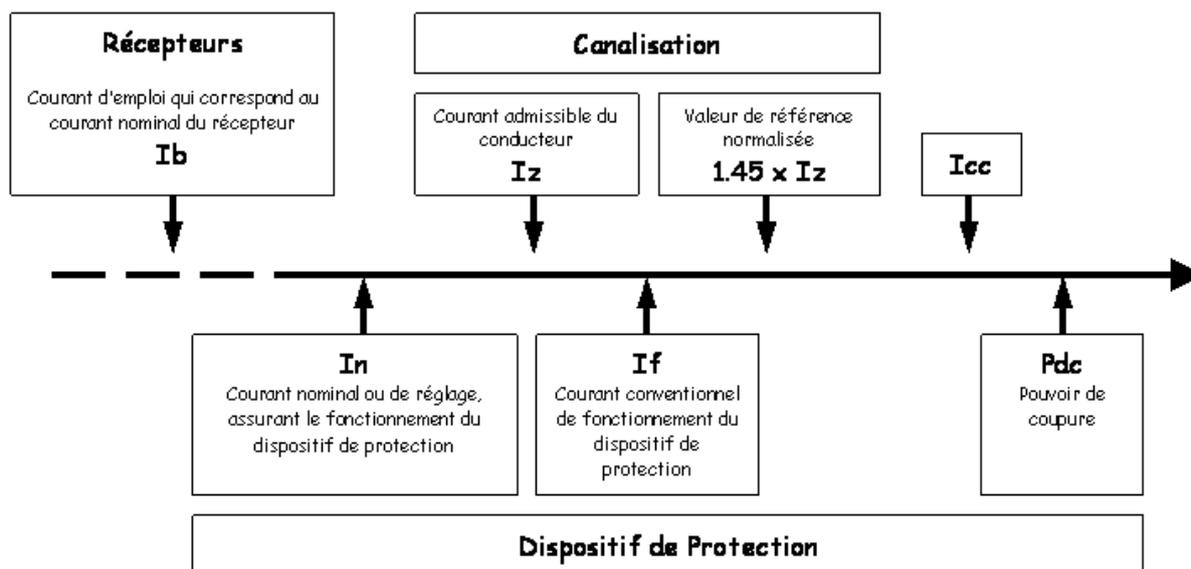
- Un échauffement normal de l'âme conductrice du conducteur afin de garder les propriétés de l'isolant.
- Une chute de tension inférieure définie par la norme.
- Une tenue au courant de court-circuit, ICC (Intensité Court-Circuit).

8. 1- Environnement et Mode de pose

Les dispositifs de protection doivent être prévus pour interrompre tout courant de surcharge dans les conducteurs avant qu'il ne puisse provoquer un échauffement nuisible (des isolants, des connections, des canalisations...).

Pour cela, on définit les courants suivants :

- *Le courant d'emploi I_b* . Il correspond au courant nominal du récepteur.



Le courant de fusion I_f : c'est le courant assurant le fonctionnement du dispositif de protection.

- pour les disjoncteurs, au courant de fonctionnement dans le temps conventionnel :

NFC 61-41 Disjoncteur Domestiques : $I_f \sim 1.45 I_{rth}$

NFC 63-120 Disjoncteur Industrielle : $I_f \sim 1.3 I_{rth}$

Où $I_{rth} = I_n$, c'est le réglage du dispositif de protection.

- pour le fusible, au courant de fusion dans le temps conventionnel : NFC61-201 et NFC63-210
Fusibles : I_f est élevé

Calibre	I_f
$I_n \leq 10A$	$1.9 I_n$
$10A < I_n \leq 32A$	$1.75 I_n$
$I_n \geq 32A$	$1.6 I_n$

Le *courant admissible* I_z : c'est le courant admissible maximal que pourra véhiculer un conducteur sans échauffement. Le courant admissible I_z dans la canalisation dépendra, dans un premier temps du dispositif de protection.

$I_z = k \times I_n$ avec : I_z courant admissible dans la canalisation ;

I_n courant nominal ou de réglage de la protection

K coefficient dépendant du dispositif de protection

On applique un coefficient k pour déduire le calibre du dispositif de protection à partir du courant admissible de la canalisation.

- Coefficient k pour les fusibles :

Calibre fusible	Coefficient k
$I_n \leq 10A$	1.31
$10A < I_n \leq 32A$	1.21
$I_n \geq 32A$	1.1

Exemple :

Pour un fusible gG de 16A $\rightarrow k = 1.21$ donc : $I_z = 1.21 \times 16$ soit $I_z = 19.36 A$

- Coefficient k pour les disjoncteurs :

Dans la pratique $k = 1$

Type	Calibre Disjoncteur	Coefficient k
Petits disjoncteurs	$I_n < 100A$	1.45
Disjoncteur à usage général	$I_n \leq 63A$	1.35
	$I_n > 63A$	0.86

Exemple :

Pour un petit disjoncteur de 63A $\rightarrow k = 1.45$ donc : $I_z = 1.45 \times 63$ soit $I_z = 91.35$ A

La protection contre les surcharges est assurée lorsque les conditions suivantes sont remplies :

$$I_b \leq I_n \leq I_z \text{ et } I_f \leq 1.42 I_z$$

La section d'un conducteur dépend donc du type de protection mais surtout de l'environnement dans lequel il est posé. Comme un courant circulant dans un conducteur produit de l'énergie thermique (loi de joule) $W = R i^2 t$, Cette énergie thermique produit une élévation de température dans l'âme du conducteur mais aussi dans l'isolant.

8. 2. Démarche pour le calcul de la section des conducteurs de phases

Pour obtenir la section de conducteur de phase, il faut déterminer:

- *Le mode de pose de la canalisation* suivant une méthode de référence : A, B, C, D, E ou F. Exprimé par le facteur K_1 . Ce facteur de correction K_1 permet de prendre en compte la dissipation thermique du mode de pose car les conducteurs chauffent. Cette chaleur doit être dissipée pour garder les propriétés des isolants (voir tableau facteur de correction K_1).

Deux autres facteurs de corrections :

- *Le groupement de câble* K_2 : puisque la dissipation thermique d'un câble va provoquer l'échauffement du câble jointif (voir tableau facteur de correction K_2).

- *La température ambiante* K_3 : voir tableau facteur de correction K_3 .

On en déduit le courant admissible calculé I_z , dont on choisira une valeur normalisée supérieure à celle calculée dans le tableau détermination de la section minimale.

$$I_z = \frac{I_b}{K_p \times K_t \times K_g} = \frac{I_b}{K}$$

Avec : K est l'ensemble des facteurs de correction $K = K_p \times K_t \times K_g$.

- Lettre de sélection

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ■ sous vide de construction, faux plafond ■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles 	B
	<ul style="list-style-type: none"> ■ en apparent contre mur ou plafond ■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées 	C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	E
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	F

- Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	■ câbles multiconducteurs	0,90
	■ vides de construction et caniveaux	0,95
C	■ pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	■ autres cas	1

- Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales sur des tablettes	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :

- 0,80 pour deux couches
- 0,73 pour trois couches
- 0,70 pour quatre ou cinq couches

- Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71

- **Détermination de la section minimale** : (voir le tableau de la page suivante)

Exemple :

Un câble PR triphasé est tiré sur un chemin de câble perforé, conjointement avec 3 autres circuits constitués :

- D'un câble triphasé (1^{er} circuit)
- De 3 câbles unipolaires (2^e circuit)
- De 6 câbles unipolaires (3^e circuit) : ce circuit est constitué de 2 conducteurs par phase.

Il aura donc un regroupement de 5 circuits triphasés dont la température ambiante est de 40 °C. Le câble PR véhicule 23A par phase.

Réponse :

Méthode E, le mode de pose est sur chemin perforé.

$K_1 = 1$, Il est sur chemin perforé et il y a la lettre E.

$K_2 = 0.75$, Il y a 5 circuits, la lettre de sélection est la lettre E et le mode de pose est sur chemin perforé.

$K_3 = 0.91$, La température ambiante est de 40 °C et l'isolation est en PR.

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3$$

$I_b = 23A$, on rappelle que I_b est le courant d'emploi traversant le circuit. Ce qui implique :

$$I_z = I_b / K = \frac{I_b}{K_p \times K_g \times K_t} = \frac{23}{1 \times 0.75 \times 0.91} = 33.7A$$

On choisira une valeur normalisée supérieure à 33.7A dans le tableau détermination de la section minimale.

La valeur choisie est de 42A d'où une section de **4 mm²** (Lettre de sélection E, matière PR, triphasé 3).

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
500					749	868	946		1 083	
630					855	1 005	1 088		1 254	
section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
	300		351	381	406	440	497	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
630					711	806	899		996	

Chapitre 6 : application des schémas et appareillages

1. Circuit d'éclairage

a. Montage simple allumage

Il permet d'établir ou d'interrompre un circuit d'éclairage électrique d'un seul endroit à l'aide d'un seul appareil de commande (Interrupteur unipolaire).

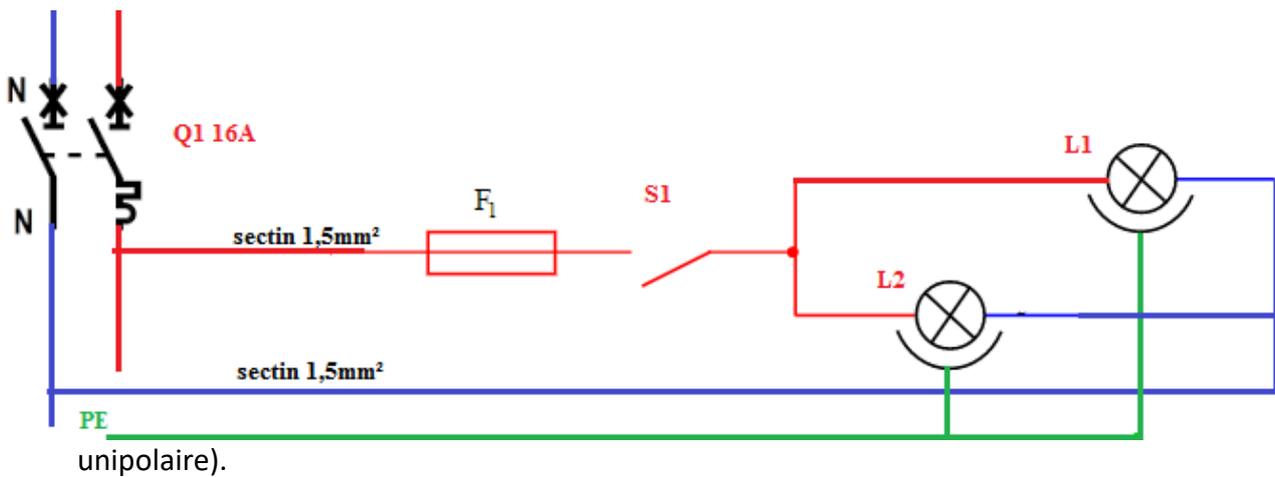


Figure 44. Schéma développé d'un montage simple allumage Le chronogramme correspondant au montage simple allumage est illustré comme suit :

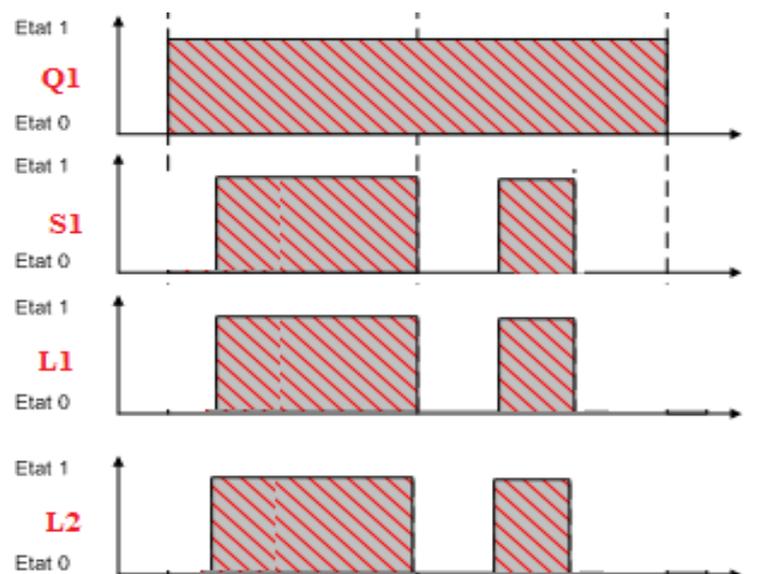


Figure 45. Chronogramme d'un montage simple allumage

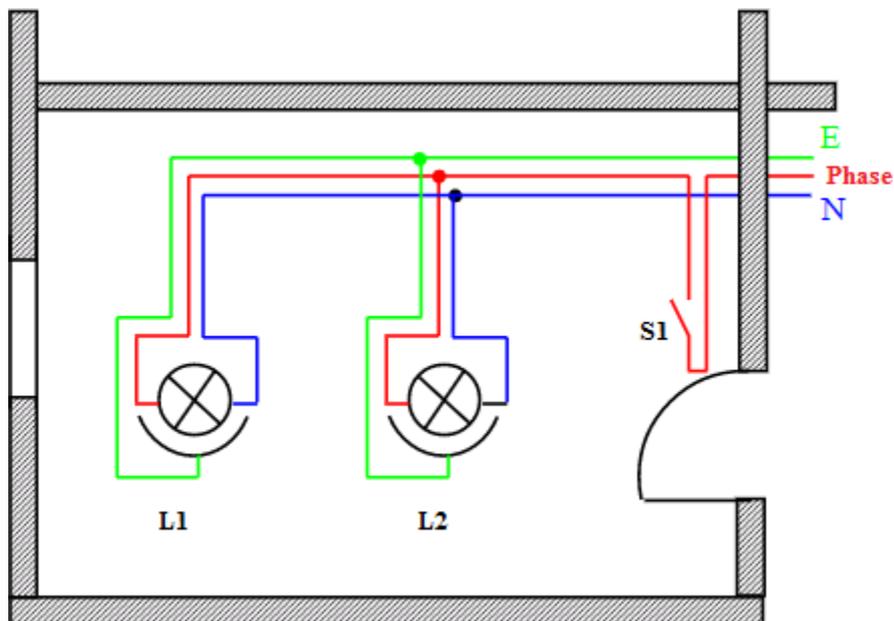


Figure 46. Schéma multifilaire d'un montage simple allumage

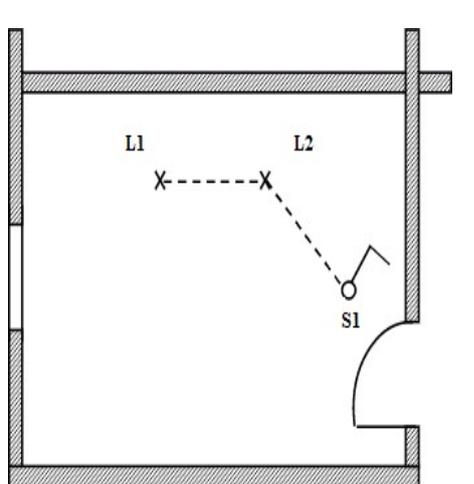


Figure 47 : Schéma architectural d'un montage simple allumage

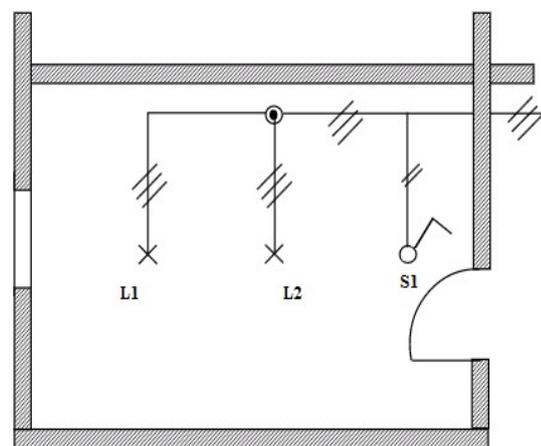


Figure 48. Schéma unifilaire d'un montage simple allumage

a. Montage double allumage

Il permet d'établir ou d'interrompre deux circuits électriques différents d'un seul endroit à l'aide d'un appareil de commande (Interrupteur bipolaire).

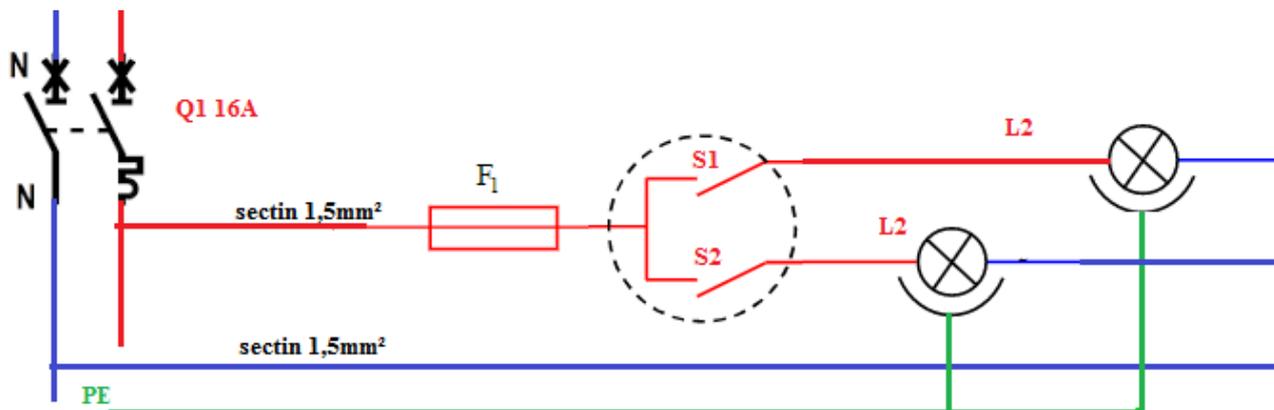


Figure 49. Schéma développé d'un montage double allumage

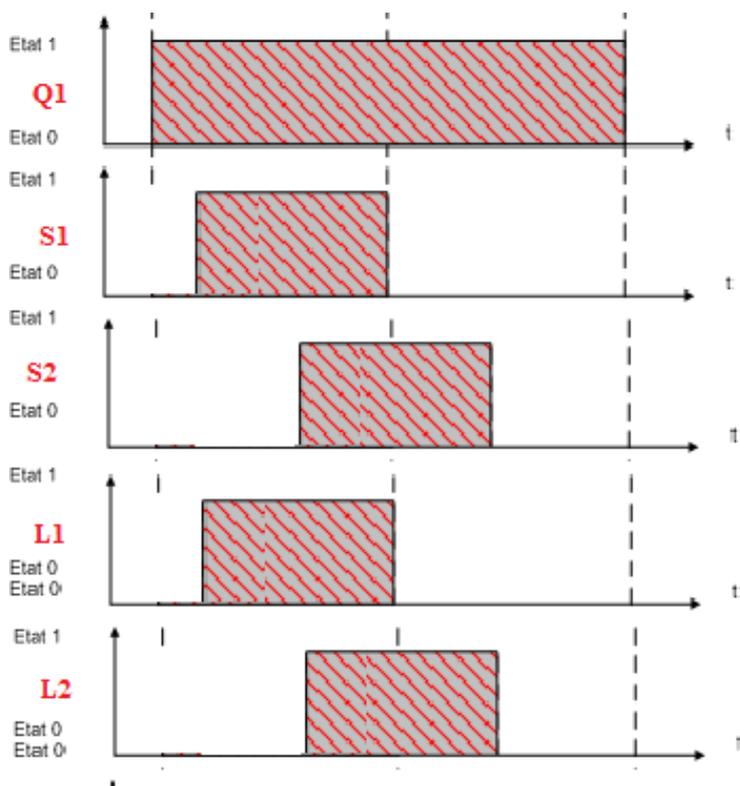


Figure 50. Chronogramme d'un montage double allumage

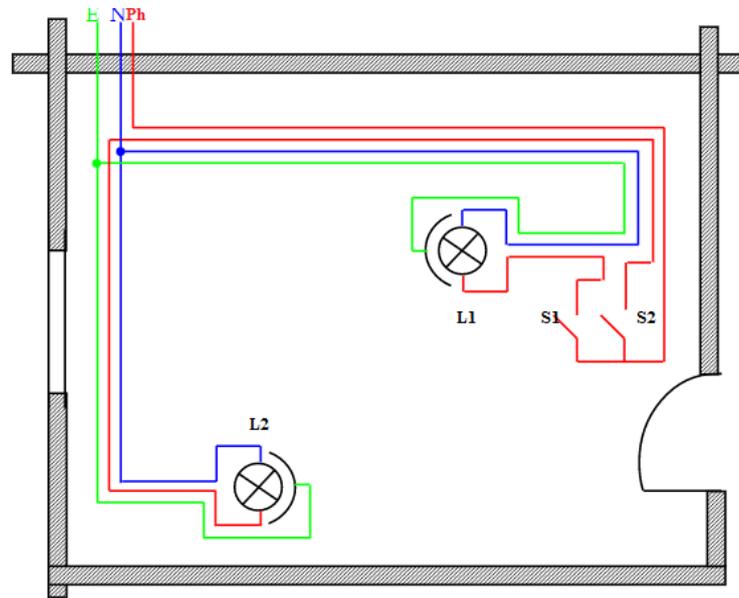


Figure 51. Schéma multifilaire double allumage

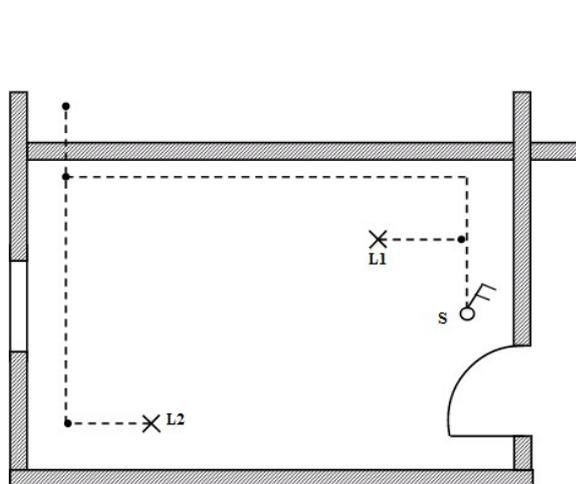


Figure 52. Schéma architectural double allumage

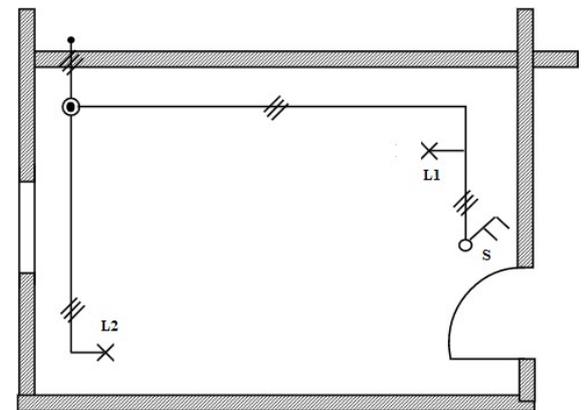


Figure 53. Schéma unifilaire double allumage

a. Montage Va et Vient

Le va et vient permet de mettre sous tension un ou plusieurs points d'éclairage et cela de deux endroits différents. Le principe du mécanisme repose sur la permutation d'un contact. Ce contact oriente la tension vers deux bornes. L'une de ces deux bornes suivant la position est sous ou hors tension. C'est le principe du va et vient. Les appareils de commande d'éclairage doivent être fixés au moins à environ 1,10 m du sol fini. C'est approximativement la hauteur des poignées des portes. Il

convient de positionner le boîtier de commande à l'opposé des charnières des portes.

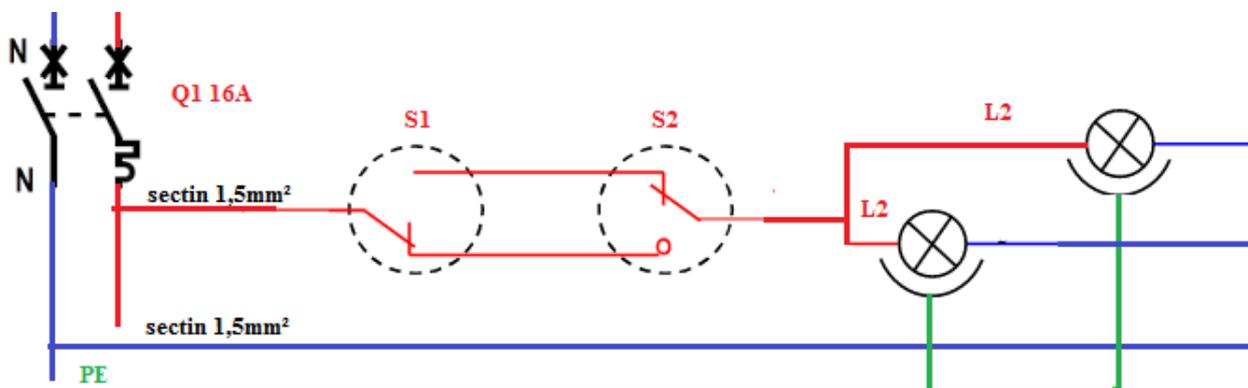


Figure 54. Schéma développé d'un montage va et vient

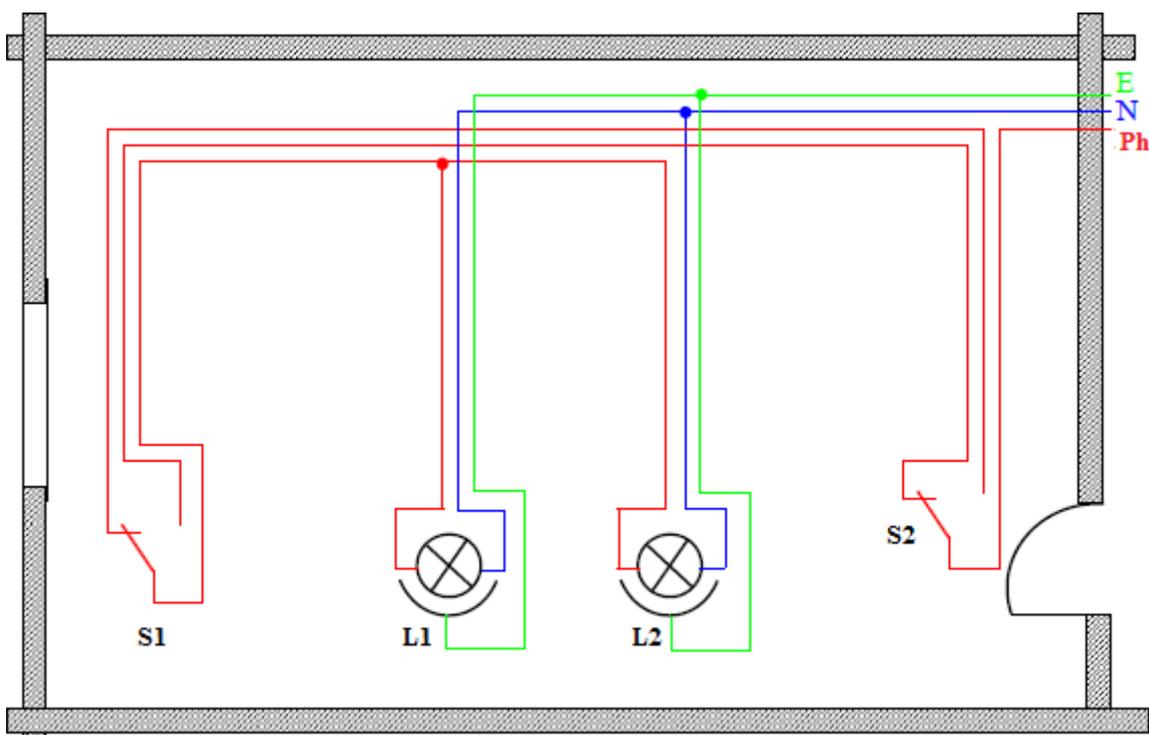


Figure 55. Schéma multifilaire d'un montage va et vient

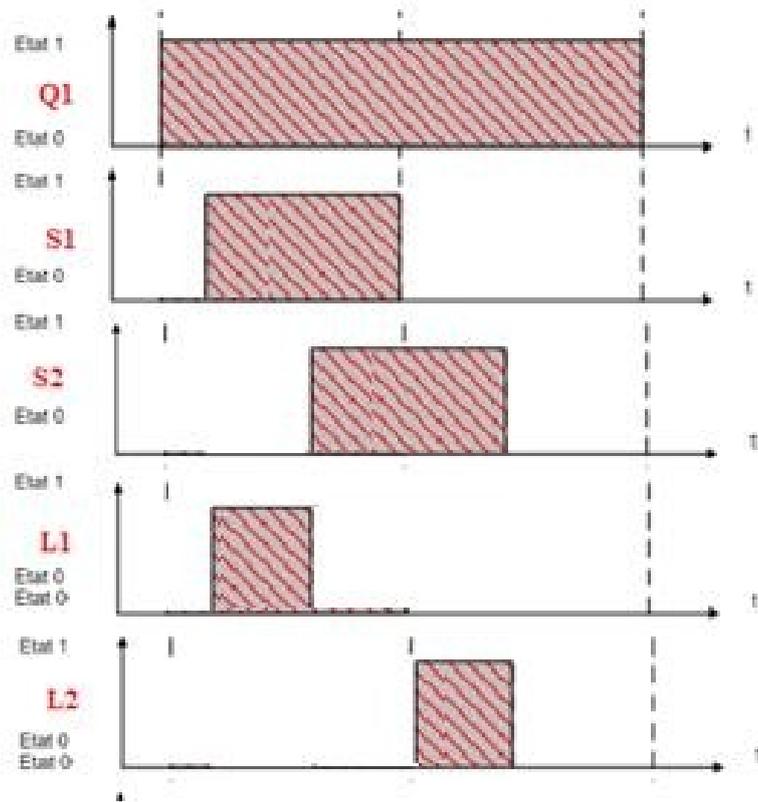


Figure 56. Chronogramme d'un montage va et vient

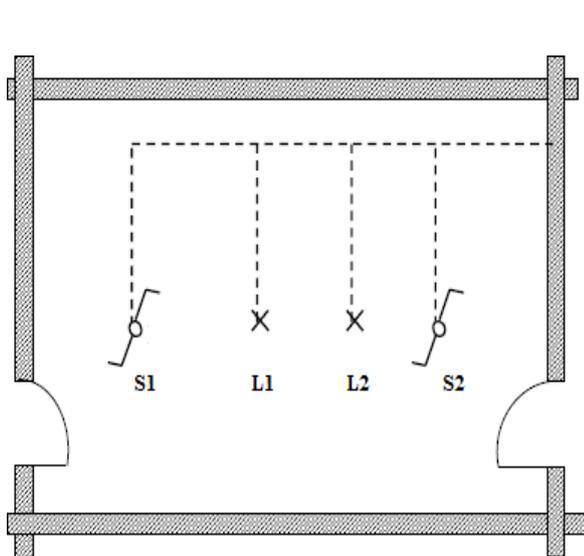


Figure 57. Schéma architectural d'un montage va et vient

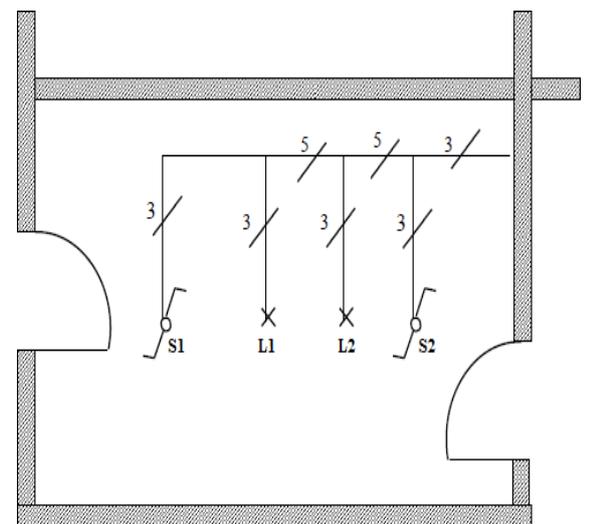


Figure 58. schéma unifilaire d'un montage va et vient

a. Montage avec télérupteur pour commande de l'éclairage :

Le télérupteur autorise la commande d'un circuit d'éclairage à partir d'un ou plusieurs boutons poussoirs. Le télérupteur est très pratique et économique lorsqu'il s'agit d'installer plus de trois points pour la commande de l'éclairage ou lorsque la distance est trop importante entre deux points de commande. Exemples : long couloir, cage d'escalier, grande pièce...

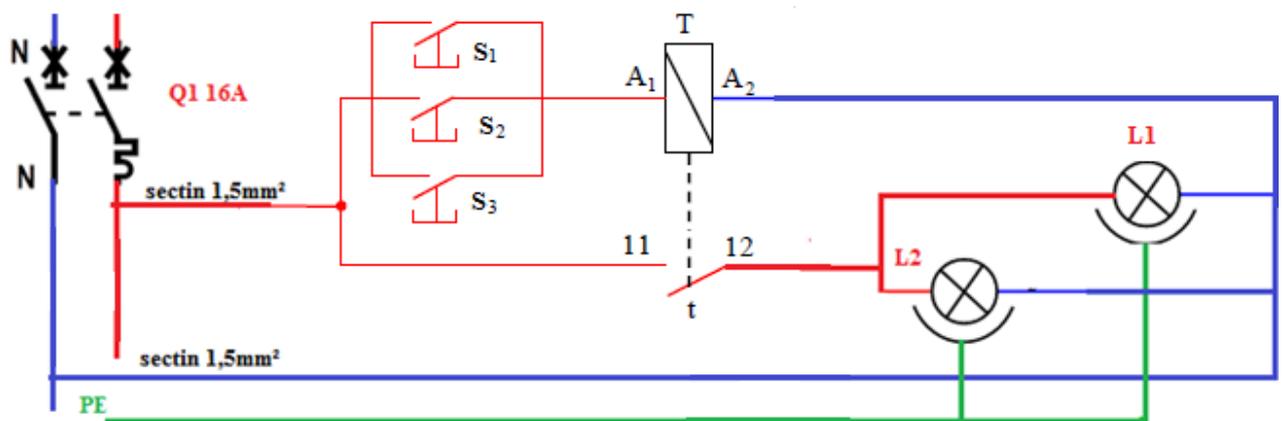


Figure 59. Schéma développé d'un montage à télérupteur

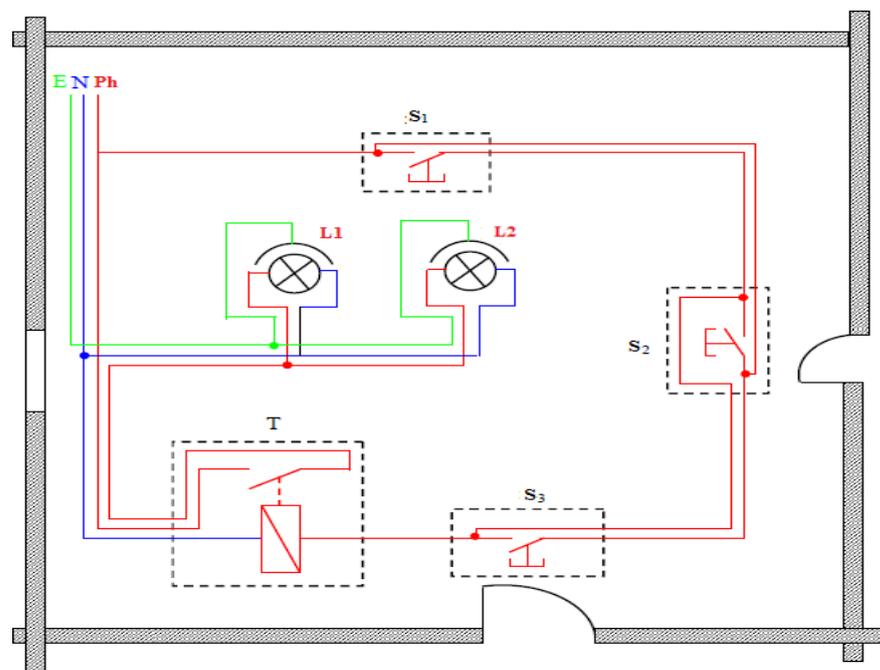


Figure 60. Schéma multifilaire pour montage télérupteur

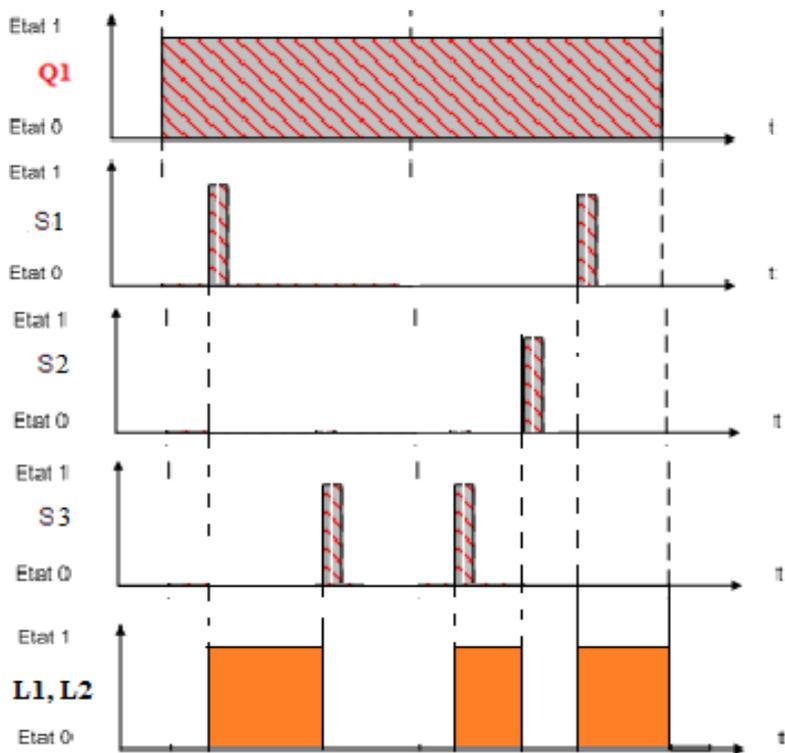


Figure 61. Chronogramme du montage télérupteur

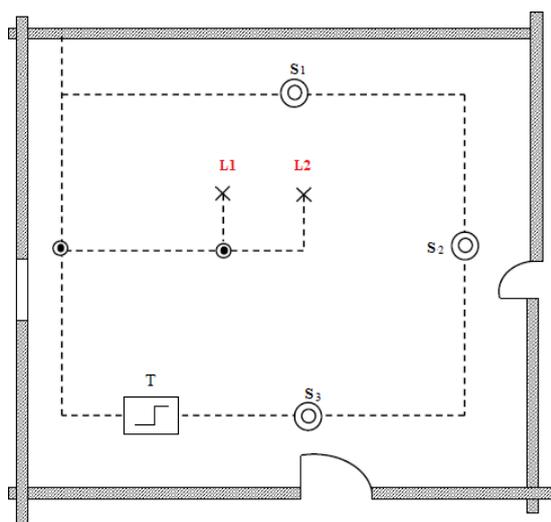


Figure 62. Schéma architectural du montage télérupteur

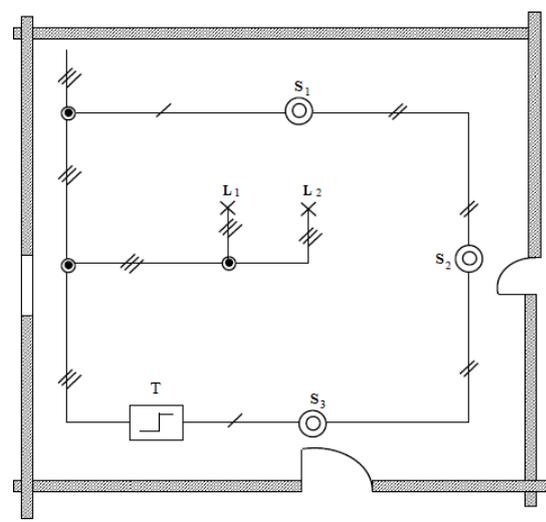


Figure 63. Schéma unifilaire du montage télérupteur

e. Allumage avec minuterie

Une minuterie est un appareil électrique à mémoire, il est constitué par une bobine et un ou plusieurs contacts. Elle peut être de type électronique (analogique ou digital). Elle peut être réalisée à partir d'un circuit intégré électrique programmable (microcontrôleur, FPGA,...). Elle permet de contrôler un circuit d'éclairage par des impulsions électriques, pour un nombre quelconque d'endroit. La mise en marche se fait manuellement par action un des boutons poussoirs (BP). La mise à l'arrêt se fait d'une manière automatique par un contact temporisé (temps prééglé) à ouverture retardée.

Montage avec effet: La bobine est excitée par une impulsion sur l'un des boutons poussoir pendant un cycle de fonctionnement. La temporisation repart de nouveau à partir de cet instant, si on appui sur un de ces boutons poussoir.

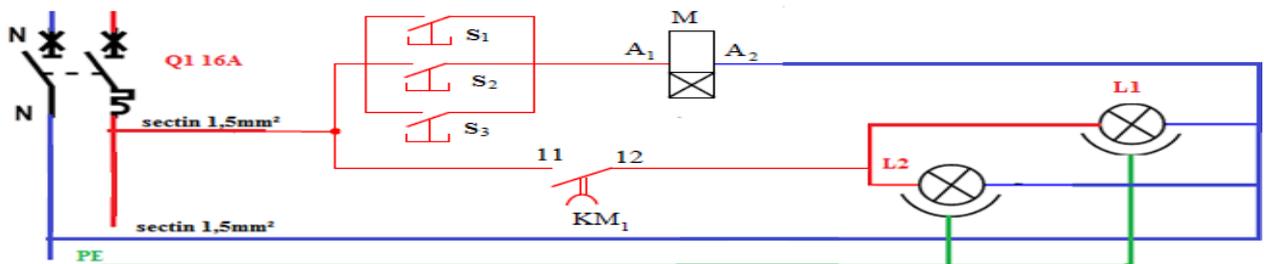


Figure 64. Schéma développé du montage minuterie avec effet

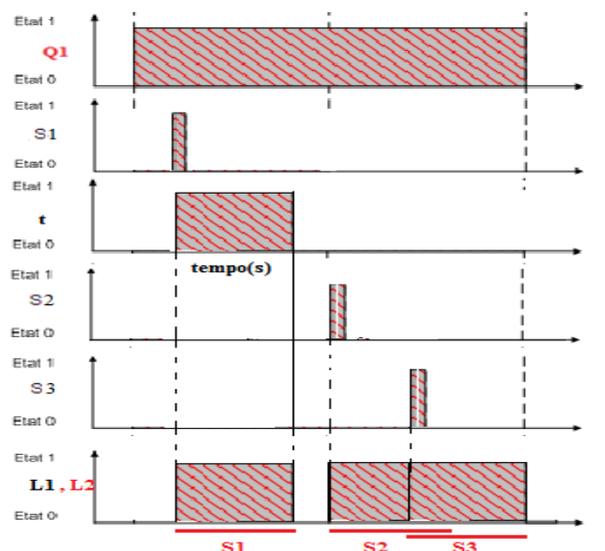


Figure 65. Chronogramme d'une minuterie à montage avec effet

- **Montage sans effet:** La bobine est excitée par une impulsion sur un des boutons poussoir pendant un cycle de fonctionnement. La temporisation reste inchangée si on appui sur un des boutons poussoir et le cycle ne sera pas perturbé.

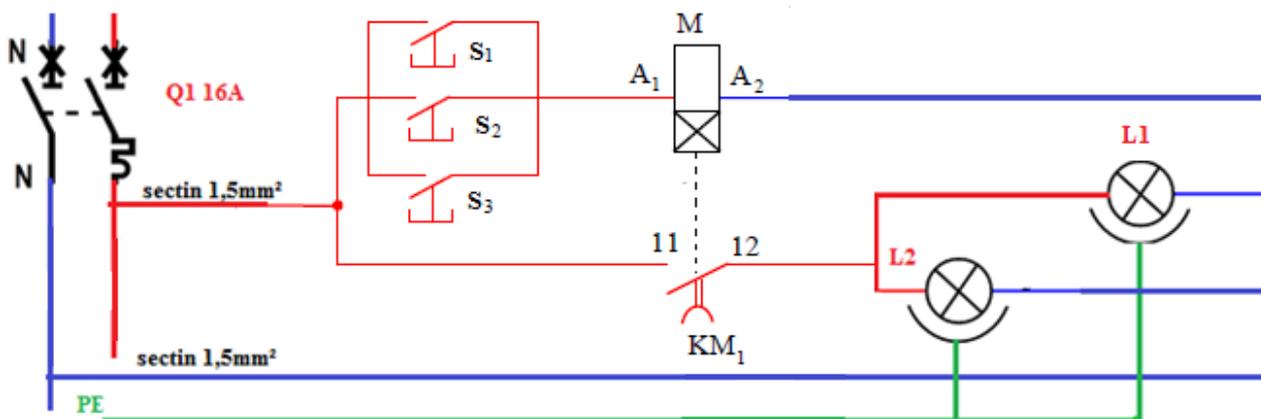


Figure 66. Schéma développé du montage minuterie (Sans effet)

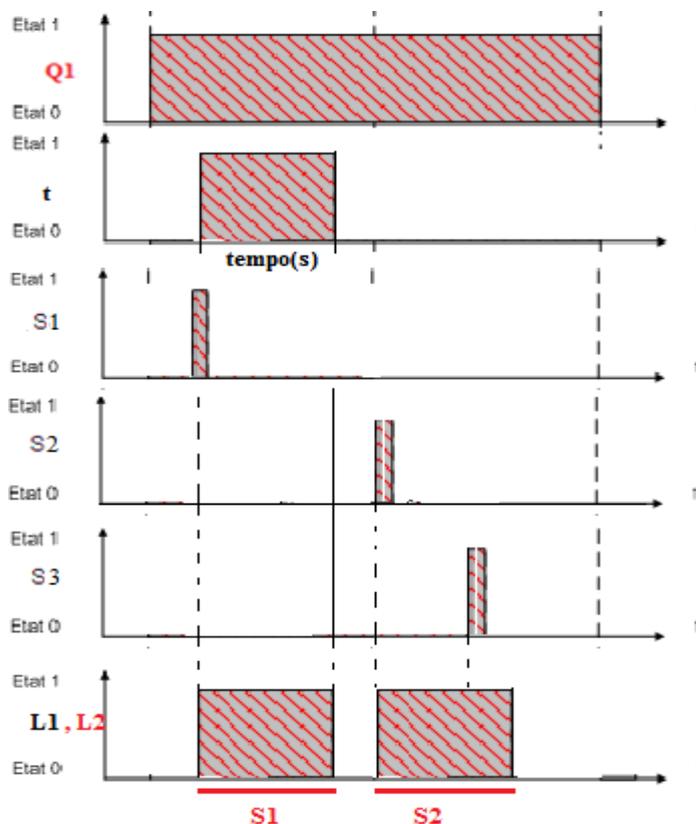


Figure 67. Chronogramme d'une minuterie à montage sans effet

1. Modes de commande d'un moteur électrique

a. Démarrage direct à un seul sens de rotation

Seuls les moteurs asynchrones triphasés avec rotor en court-circuit ou rotor à cage peuvent être démarrés en direct. Au démarrage du moteur le courant de démarrage est de l'ordre de 4 à 8 fois le courant nominal. Le couple au décollage est très important, il atteint environ 1,5 fois le couple nominal.

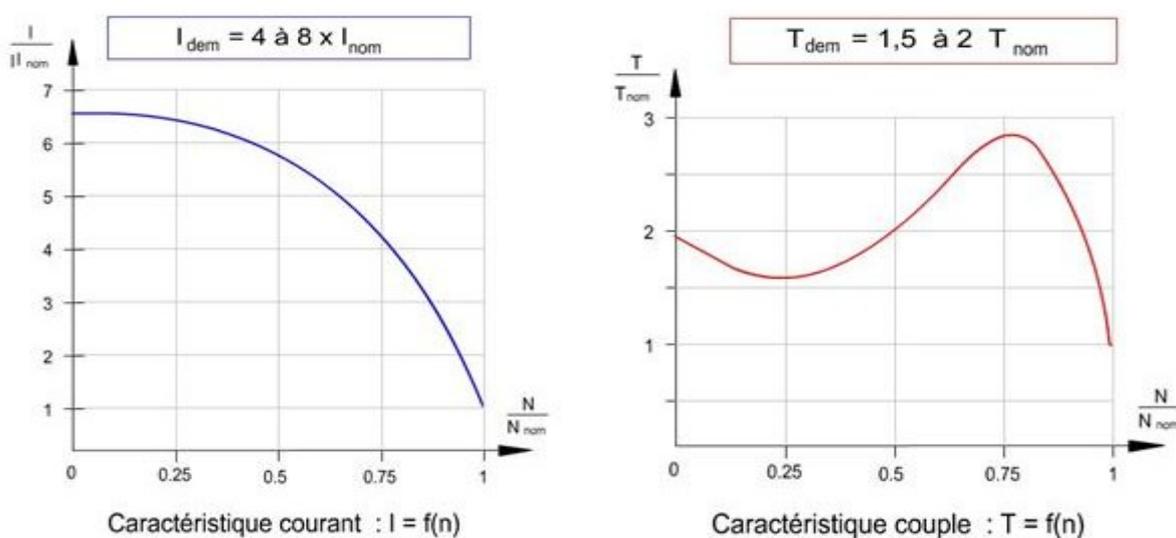


Figure 68 Caractéristiques courant et couple en fonction de la vitesse d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil.

Les schémas explicatifs facilitent l'étude et la compréhension du fonctionnement d'une installation ou d'une partie d'installation. On distingue :

- Le schéma fonctionnel permettant de comprendre le fonctionnement global de l'installation,
- Le schéma des circuits électriques permet de comprendre en détail le fonctionnement d'installation,
- Le schéma d'équivalence qui permet l'analyse et le calcul des caractéristiques d'un circuit électrique.

Soit le schéma de commande et de puissance d'un moteur triphasé suivant :

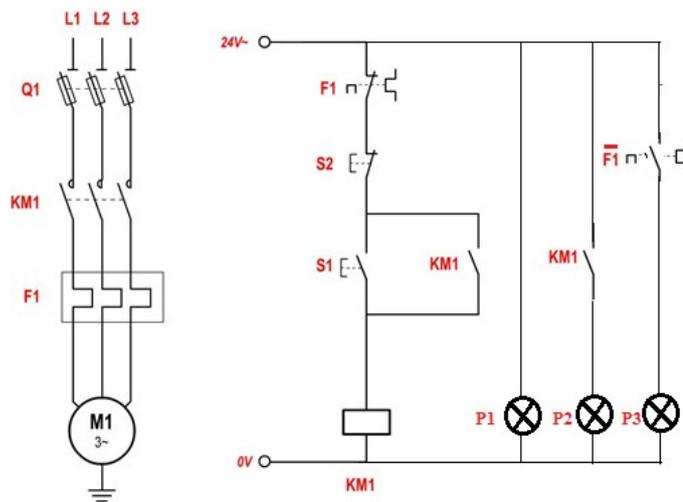


Figure 69. Le schéma développé d'un moteur triphasé



Figure 70. Schéma fonctionnel d'un moteur triphasé

- P1 : lampe témoin indiquant la mise sous tension.
- P2 : lampe témoin indiquant la mise en marche.
- P3 : lampe témoin indiquant défaut de surcharge.

- Le diagramme de fonctionnement

Les Diagrammes ou tableaux explicatifs facilitent la compréhension des schémas et donnant des informations supplémentaires. On distingue:

Le diagramme ou tableau de séquence qui facilite l'analyse des actions se succédant dans un ordre déterminé,

Le diagramme ou tableau de séquence temps qui tient compte de la valeur des intervalles de temps entre les actions successives.

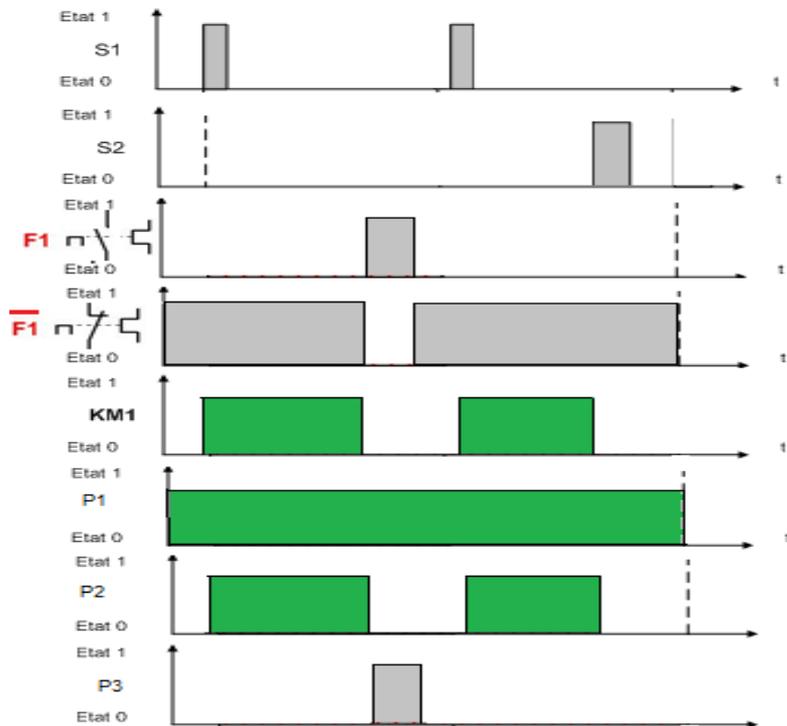


Figure 71. Diagramme de fonctionnement d'un montage à démarrage direct pour moteurasynchrone.

- **Intensité de courant**

La surintensité au moment du démarrage peut être de 4 à 8 fois

l'intensité nominale $I_d = 4 \text{ à } 8 I_n$

- **Couple moteur**

Au moment du démarrage, le couple moteur est en moyenne de 1,5 à 2 fois le couple nominal.

Conclusions Avantages inconvénients du démarrage direct

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Simplicité de l'appareillage. ⇒ Couple important. ⇒ Temps de démarrage court. 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Appel du courant important ⇒ Démarrage brutal

b. Démarrage direct moteur avec double sens de rotation

Rappels

Pour changer le sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, il faut inverser deux des trois phases du circuit d'alimentation comme illustré à la figure IV. ?

Détermination du couplage A partir de les indications données par la plaque signalétique du moteur et le réseau d'alimentation l'utilisateur doit coupler adéquatement les enroulements du stator soit en triangle soit en étoile.

- Si la plus petite tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entrephases du réseau on adopte **le couplage Δ** .
- Si la plus grande tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entrephase du réseau on adopte **le couplage Y**.

Couplages des enroulements sur plaque à bornes On utilise des barrettes pour assurer le couplage choisi des enroulements sur la plaque à bornes du moteur.

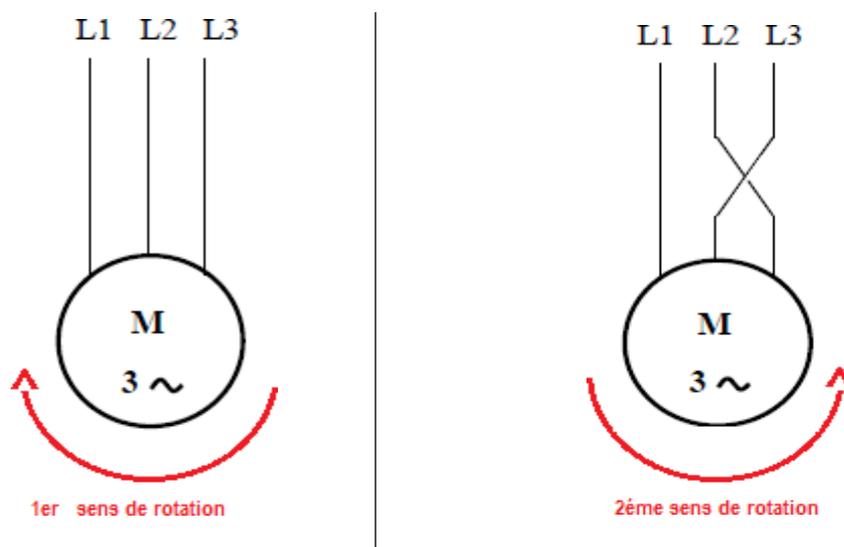
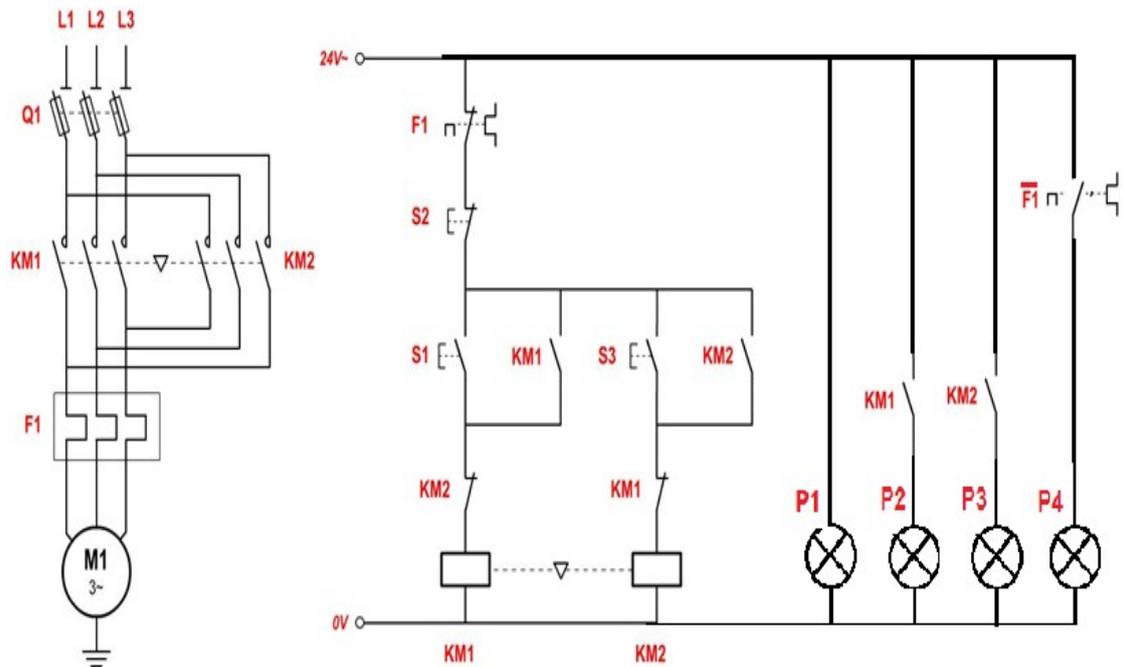


Figure 72. Principe d'inversion de sens de rotation d'un moteur asynchrone

Soit le schéma de commande et de puissance d'un moteur triphasé suivant :



Circuit de puissance

Circuit de commande

Figure 73. Le schéma développé d'un moteur triphasé en deux sens de rotation

P1 : lampe témoin indiquant la mise sous tension.

P2 : lampe témoin indiquant la mise en marche à droite.

P3 : lampe témoin indiquant la mise en marche à gauche.

P4 : lampe témoin indiquant défaut de surcharge.

Le schéma fonctionnel de la rotation en deux sens pour un moteur asynchrone et lediagramme de fonctionnement sont illustrés dans les figures suivantes :

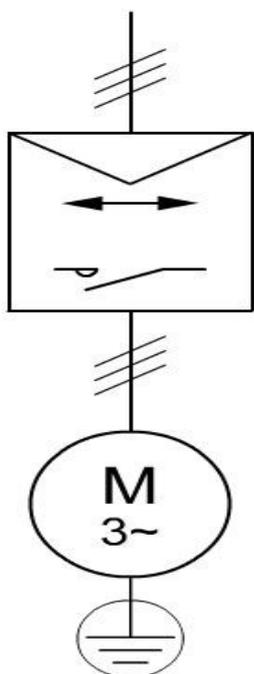


Figure 74. Diagramme fonctionnel

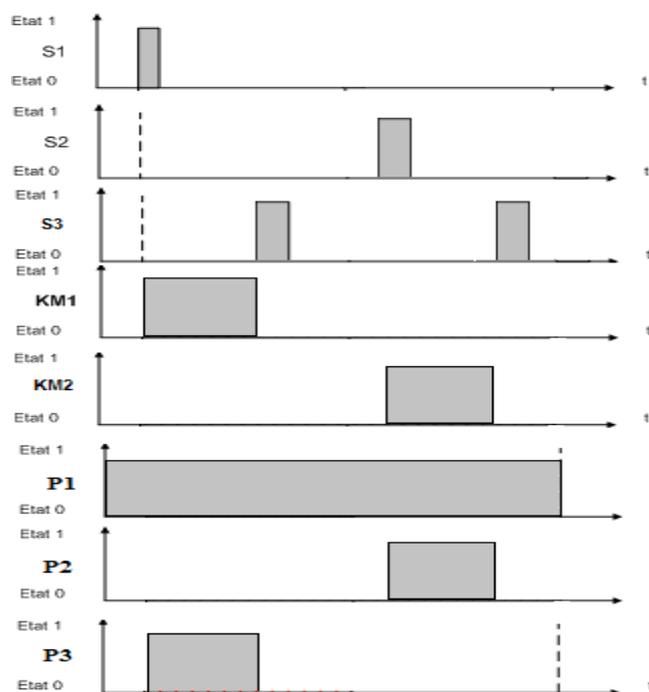


Figure 75. Diagramme de fonctionnement

c. Démarrage étoile triangle

Principe de limitation du courant de démarrage

Contrairement au démarrage direct, le démarrage des moteurs de moyennes et fortes puissances nécessite l'utilisation de procédés de limitation de courant de démarrage tout en maintenant les performances mécaniques de l'ensemble « moteur-machine entraînée ».

Il existe deux types techniques d'actions :

- **Action sur le stator** qui consiste à réduire la tension aux bornes des enroulements statoriques et le démarrage peut être réalisé par :
 - Couplage étoile-triangle,
 - Elimination des résistances statoriques,
 - Utilisation d'un auto-transformateur.

Ce type d'action est utilisé pour les moteurs de moyennes puissances.

- **Action sur le rotor** : Consiste à augmenter la résistance rotorique au démarrage et le démarrage peut être réalisé par:
 - Elimination des résistances rotoriques,
 - Utilisation des moteurs à cages multiples ...

Ce procédé de démarrage est accompagné en plus de la réduction du courant de démarrage, d'une augmentation du couple de démarrage. Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs de fortes puissances.

Démarrage étoile-triangle

Le démarrage du moteur s'effectue en deux temps :

1er temps : chaque enroulement du stator est alimenté sous une tension réduite $U/\sqrt{3}$ en utilisant le couplage Y. t_1 est le temps nécessaire pour que la vitesse du moteur atteigne environ 80% de sa vitesse nominale.

2ème temps : chaque enroulement du stator est alimenté par sa tension nominale changeant le couplage au triangle.

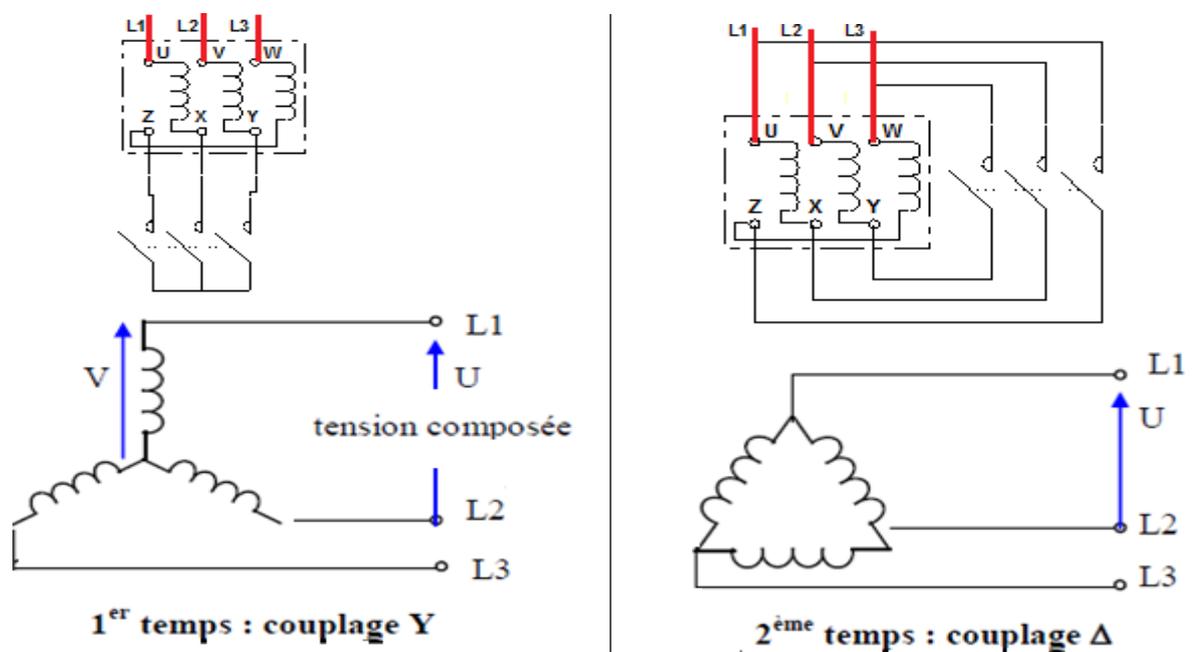


Figure 76. Principe de couplage Y-Δ

Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à **couplage Δ** lors de leur fonctionnement normal.

Exemple :

Un moteur 400V/690V sur un réseau 230V/400V.

Un moteur 230V/400V sur un réseau 133V/230V.

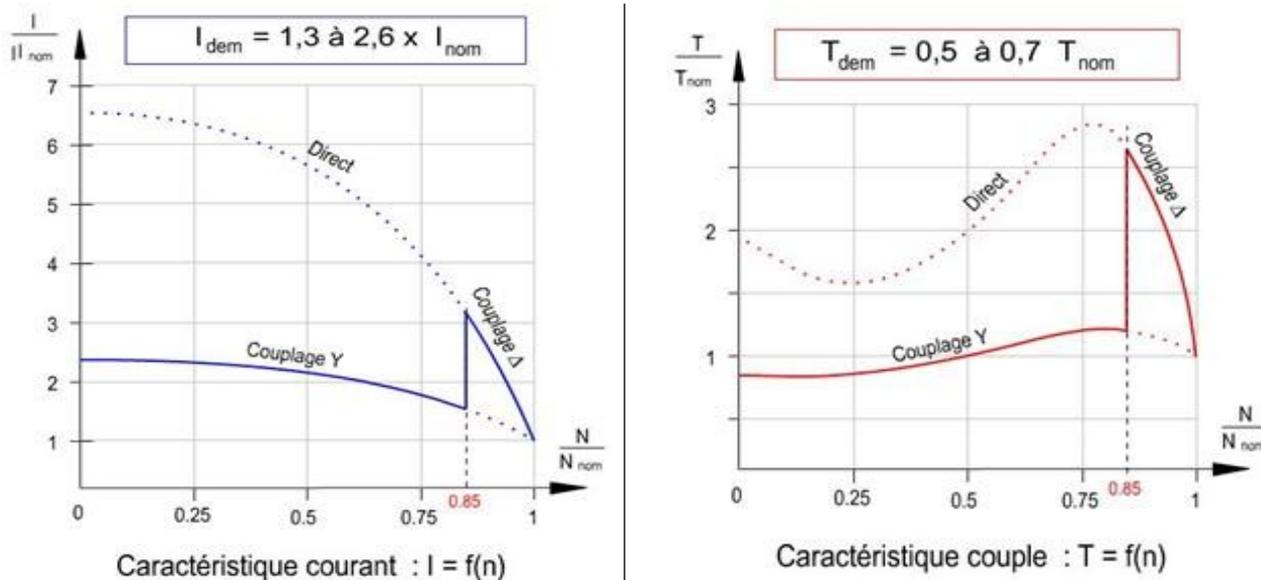


Figure 77. Caractéristiques couple-courant en fonction de la vitesse de rotation pour le démarrage Y-Δ

On constate que le couple et l'intensité au démarrage sont réduits d'environ 3 fois par rapport à un démarrage direct.

En raison de la diminution sensible du couple de démarrage le moteur ne peut pas démarrer en charge.

La temporisation

Pour réaliser la commutation automatisée du couplage Y au couplage Δ, on utilise un contact temporisé qui permet d'établir ou d'ouvrir un contact après certains temps prééglés de façon à permettre à notre équipement de fonctionner convenablement.

Le contact temporisé permet d'établir ou d'ouvrir un contact un certain temps après la fermeture (au travail) ou à l'ouverture (au repos) du contacteur qui l'actionne.

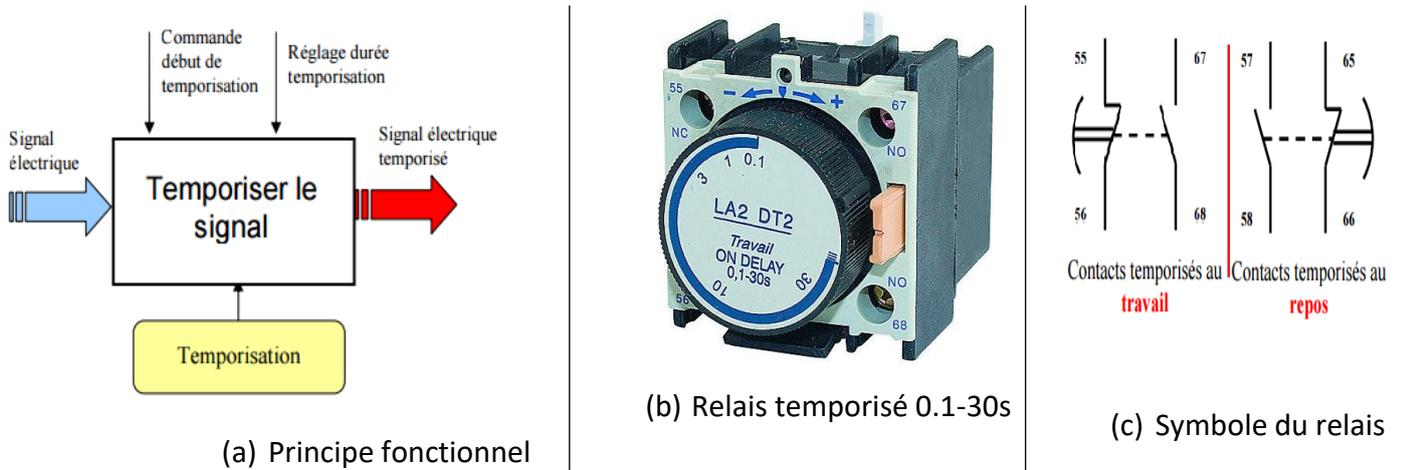


Figure 78. Principe de la temporisation pour le démarrage Y-Δ

Il existe deux types de relais temporisés

- Relais temporisé à action retardé
- Relais temporisé à relâchement retardé

Le principe de fonctionnement est illustré au tableau suivant :

Soit le schéma de commande et de puissance d'un moteur triphasé suivant :

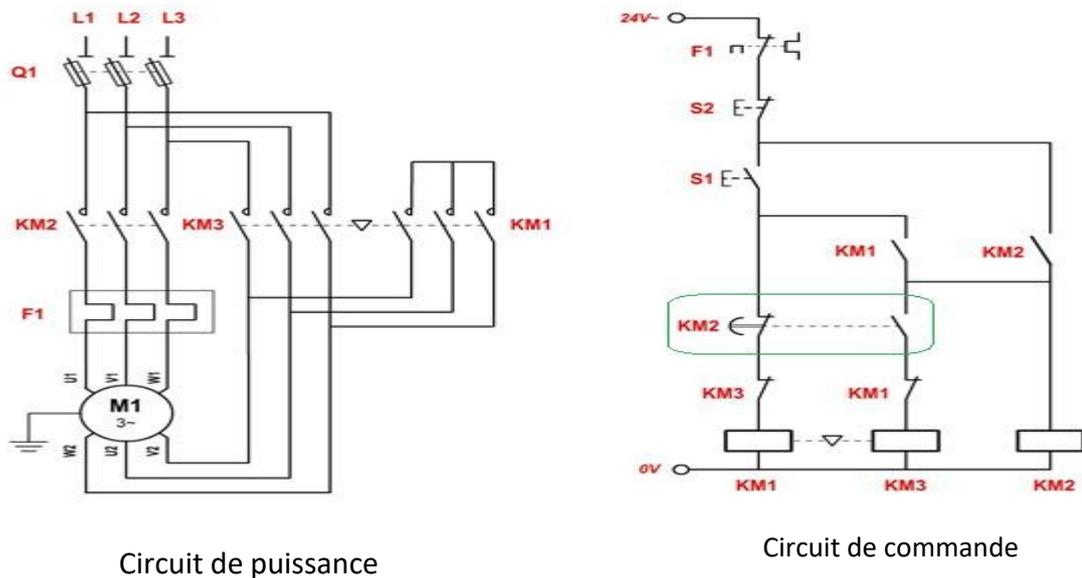


Figure 79. Le schéma développé d'un moteur triphasé en démarrage Y-Δ

Le schéma fonctionnel du démarrage Y-Δ d'un moteur asynchrone et le diagramme defonctionnement sont illustrés dans la figure suivante :

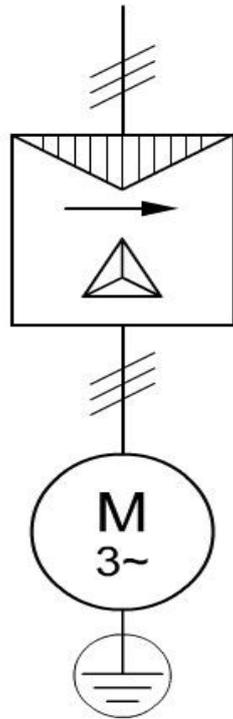


Figure 80. Le Schéma fonctionnel

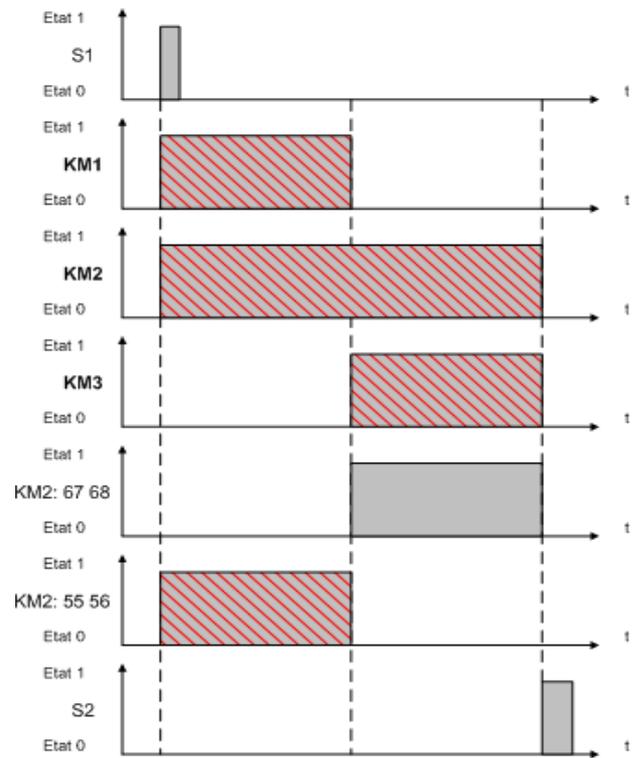


Figure 81. Diagramme de fonctionnement

On constate que le couple et l'intensité au démarrage sont réduits d'environ 3 fois par rapport à un démarrage direct.

En raison de la diminution sensible du couple de démarrage le moteur ne peut pas démarrer en charge.

Références

- [1] Christophe Prévé 'Protection des réseaux électriques', Hermès, Paris,1998.
- [2] S.H. Horowitz & A.G. Phadke, John Wiley & Sons 'Power System Relaying', 2nd edition, 1995.
- [3] Féchant L 'Appareillage électrique à BT, Appareils de distribution', Techniques de l'Ingénieur, Génie électrique, D 4 865.
- [4] Cahier de charge technique Le grand.
- [5] Support de cours, Schémas et Automates programmables, Dr Messaoud Mohammedi, 2012.
- [6] Cahier de charge technique Schneider.
- [7] Guide professionnel des métiers de l'électricité édition Dunod.
- [8] Cahier Technique Schneider № 193 " Les techniques de coupure en MT " (p. 18 - 22).
- [9] support de cours « Schémas et Appareillages électriques », Dr. BENAÏRED Noredine. Centre Universitaire de Relizane.