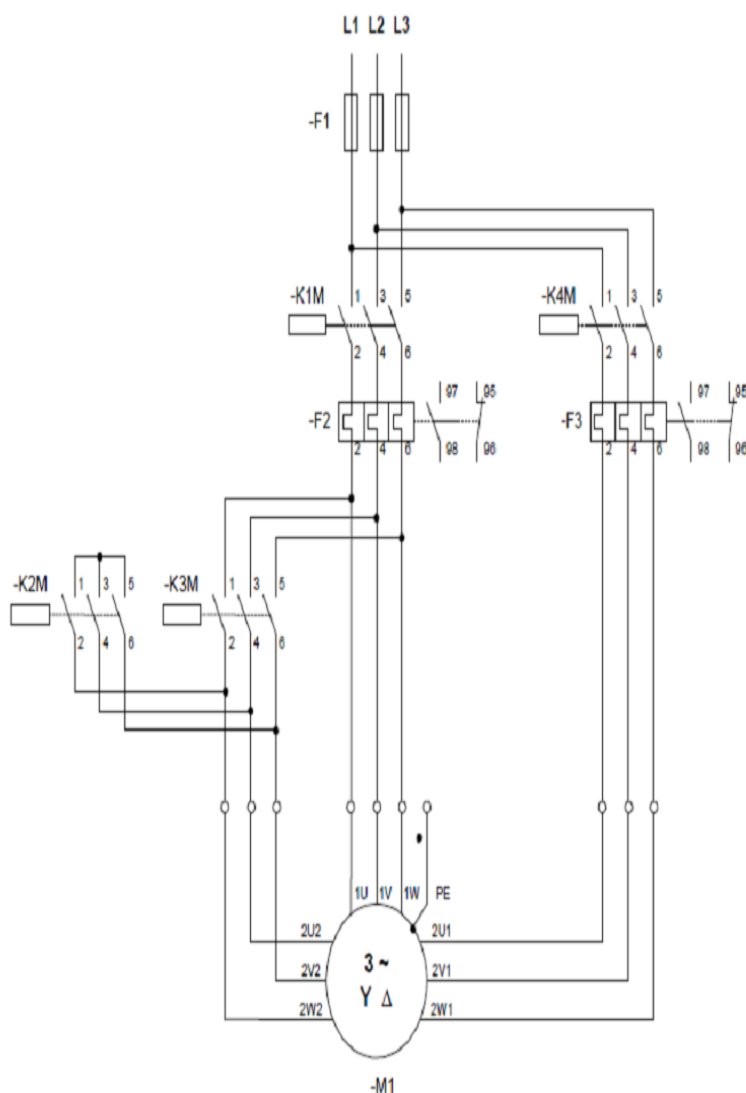


Cours Schémas et Appareillages Electriques 3ème Année : Electromécanique Electrotechnique



Elaboré par Dr : BELKHIRI SALAH

SOMMAIRE

AVANT – PROPOS.....	01
Introduction.....	02
I. Généralités sur l'appareillage.....	02
I.1. Phénomènes de contacts électriques	03
I.1.1 Définition.....	03
I.1.2 Types et caractéristiques.....	04
II. Phénomènes liés aux courants et à la tension.....	05
II.1 Surintensités	05
II.1.1 Surintensités passagères	05
II.1.2 Surintensités anormales.....	05
II.1.2.1 Surcharges	05
II.1.2.2 Courts - circuits	06
II.2 Surtensions	07
1. Effet de l'arc sur les contacts	08
2. Les efforts électrodynamiques	08
3. Claquage électrique	08
4. Ionisation des gaz.....	08
5. Rigidité diélectrique (gradient de potentiel)	09
6. Isolation électrique.....	09
III. Phénomènes d'interruption du courant électrique.....	10
III.1. Introduction	10
III. 2. Définition	10
III. 3. Naissance d'un arc électrique.....	10

III.3.1 Dans l'air	10
III.3.2 Dans l'huile	11
III.4. Propriétés de l'arc	11
III.4.1 Tension d'arc	11
III.4.2 Energie de l'arc	12
III.4.3 Section de l'arc.....	12
III.4.4 Longueur d'arc.....	12
III.4.5 Mobilité de l'arc	13
III.4.6 Volume de l'arc	13
III.4.7 Milieux de coupure de l'arc.....	13
III.4.8 Danger de l'arc.....	15
III.5 Principe de coupure de l'arc	15
III.6 Condition d'extinction de l'arc	16
III.6.1 Coupure de l'arc par blocage.....	16
III.6.2 Coupure de l'arc par extinction.....	16
III.7 Tension de rétablissement de l'arc (U_R)	17
III.8 Différentes techniques de coupure de l'arc	17
III.8.1 Coupure dans l'air	17
III.8.2 Coupure dans l'huile	18
III.8.3 Coupure dans le SF6	18
III.8.4 Coupure dans le vide	18
III.9 Les avantages et les inconvénients de l'arc	19
III.9.1 Les avantages.....	19
III.9.2 Les inconvénients.....	19

IV. Appareillages électriques.....	20
Introduction	20
IV.1 Appareillages de connexions	20
Contacts électriques	20
Bornes de connexion	21
Prises de courants	21
Le sectionneur	22
IV.2 Appareillages de commande et d'interruption	25
Les interrupteurs	25
Les commutateurs	27
Les boutons poussoirs	28
Les contacteurs	29
a. Contacteur de puissance	29
b. Contacteur de commande (relais d'automatisme séparé)	36
V. Appareillages de protection.....	37
Les fusibles	38
Les Relais de protection	45
a. Relais thermique.....	45
b. Relais Magnétique	51
c. Relais Magnétothermiques	53
Les discontacteurs	54
Les disjoncteurs	55
Différents types des disjoncteurs	61
a- Disjoncteur thermique	61
b- Disjoncteur magnétique	62
c- Disjoncteur magnétothermique	63
d- Disjoncteur différentiel	67

VI. Elaboration des schémas électriques	71
Classification des schémas électriques	73
1- Classification selon le nombre de conducteurs	73
2- Classification selon l'emplacement des symboles.....	74
3- Classification selon représentation topographique.....	76
Détermination pratique de la section minimale des conducteurs.....	82
Travaux pratiques	84
1- Installations électriques domestiques (circuits d'éclairage).....	84
a- Montage simple allumage	84
b- Montage double allumage	86
c- Montage va- et- vient	87
d- Montage avec térupteur	88
e- Montage avec minuterie.....	89
2- Commande électromécanique des machines électriques à courant alternatif.....	91
a- Démarrage direct d'un moteur à un et deux sens de rotation.....	92
b- Démarrage statorique (moteur à cage).....	93
c- Démarrage étoile triangle.....	94
d- Freinage par contre courant.....	95
e- Freinage par injection d'un courant continu.....	96
Références Bibliographiques	98
Canevas du module.....	100

AVANT - PROPOS

Tout le monde sait que notre spécialité GENIE ELECTRIQUE est une science destiné à étudier trois principaux domaines qui sont la production, transport et l'exploitation de l'énergie électromagnétique donc toute une chaîne d'électricité, la compréhension des différents phénomènes qui se produisent et accompagnent son fonctionnement nécessite la connaissance du rôle et la fonction de chaque élément de cette chaîne.

Ce cours est adressé aux étudiants poursuivant des études en troisième année licence options : Electromécanique et Electrotechnique ainsi à toute les personnes intéressées par l'électricité et tout particulièrement aux installateurs électriciens.

L'objectif principal de ce support de cours est de présenter des notions de base d'électricité fondamentale et de faciliter l'apprentissage des différents types d'appareillages constituant une installation électrique, bien sûr après avoir cité les différents phénomènes liés aux courants et à la tension, ainsi de savoir élaborer et décoder les schémas électriques en se basant sur des règles et symboles normalisés.

Introduction

Dans toute installation domestique et industrielle, le raccordement des appareillages électriques est une des règles de base à respecter pour garantir la sécurité du réseau électrique. L'absence de ces règles peut entraîner de réels dangers pour la vie des personnes et la mise en risque des installations électriques et des biens. Les appareils électriques jouent un rôle très important dans les circuits électriques, que ceux-ci soient de puissance ou de commande, de très haute comme de très basse puissance. La nature et la fonction de l'appareillage sont les paramètres technologiques prédominants dans les applications. Pour améliorer les performances des appareils et par conséquent les contacts électriques (résistance à l'érosion par l'arc, résistance de contact, soudure au rebondissement...) il est indispensable de comprendre les différents phénomènes qui se produisent lors de l'ouverture ou de la fermeture de ceux-ci, notamment l'effet des différentes forces qui se développent entre les électrodes de l'appareillage électrique. A fin d'influer le moins possibles sur le rendement des installations ou des appareils électriques, un contact ne doit consommer qu'une énergie très faible.

I. Généralités sur l'appareillage

L'énergie électrique, mise à la disposition des installations industrielles ou domestiques par l'intermédiaire du réseau de distribution, ne peut être connectée en permanence sur l'ensemble des récepteurs. Il est donc primordial d'employer des systèmes de commande de puissance permettant le transfert ou l'interruption de l'énergie électrique en origine du réseau vers les récepteurs.

Ce sont les appareillages (interrupteurs, disjoncteurs, sectionneurs, contacteurs etc.....) qui assurent cette activité appelée « commande de puissance ».

Avant de lire un schéma électrique, il faut connaître les différents appareillages qui le constituent et chaque fois que nous aurons à traiter un problème électrotechnique nous serons conduits à regarder la fonction de l'appareillage adapté.

D'une manière générale, la classification des appareillages se fait selon plusieurs paramètres :

a. Les paramètres d'entrées de l'installation:

- La nature du réseau : alternatif, continu, monophasé, triphasé, la fréquence.etc.....

b. Les paramètres de sortie de l'installation:

- La nature du récepteur : résistif, inductif, domestique, usin.etc.....
- La puissance nominale (courant assigné, tension nominale).
- La catégorie d'emploi.
- La taille : unipolaire, bipolaire, tripolaire et tétra polaire.

c. La fonction: l'appareillage est classé suivant la fonction qu'il réalise.

- Distribuer.
- Isoler, connecter, raccorder, séparer.
- Protéger.
- Commander.
- Gestion d'énergie.
- Convertir etc.....

d. La classe de tension: l'appareillage est classé aussi suivant sa tension.

- B.T.A: $50\text{ V} < U_n < 500\text{ V}$. C'est la basse tension terminale (BTT) avec 400V entre phases.
- B.T.B: $500\text{ V} < U_n < 1\text{ kV}$. C'est le réseau basse tension (BT).
- H.T.A: $1\text{ kV} < U_n < 50\text{ kV}$. Ce niveau recouvre les réseaux d'alimentation de la clientèle, dénommé réseau moyenne tension (MT) avant 1989.
- H.T.B: tension nominale supérieure à 50 kV (HT).

e. La nature de la commande: deux techniques qui peuvent se présenter.

- Manuelle.
- A distance.

f. Endroit et destination: trois catégories selon l'endroit d'emplacement.

- Aérien, en plein air.
- Sous enveloppe métallique, muni des gaz comprimés de soufflage.
- Immergé dans l'huile.

I.1. Phénomènes de contacts électriques

I.1.1 Définition :

On établit un contact électrique en pressant l'une contre l'autre deux électrodes conductrices, pour améliorer les performances des contacts des appareils électriques il est essentiel de comprendre les différents phénomènes qui se produisent lors de l'ouverture ou de la fermeture de ceux-ci, notamment l'effet des différentes forces qui se développent entre les électrodes (forces électromagnétiques, forces exercées par l'arc sur les contacts...). Vue l'importance et afin d'influer le moins possibles sur le rendement des circuits ou des appareils un contact ne doit consommer qu'une énergie très faible, d'où l'intérêt des caractéristiques suivantes : Résistance de contact, chute de tension et la densité de courant, aussi pour lutter contre les couches mauvaises conductrices et permettre la création de passages conducteurs, on peut agir sur quatre paramètres principaux : Le revêtement terminal des électrodes, la force de contact, les courbures des surfaces des électrodes et le frottement d'une électrode par rapport à l'autre.

I.1.2 Types et caractéristiques

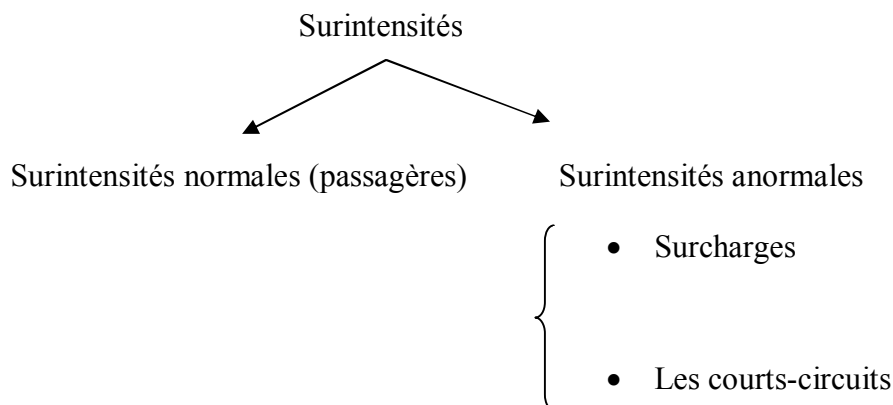
Les contacts jouent un rôle très important dans les installations électriques. Du fait qu'ils peuvent prendre des configurations extrêmement variées, il est difficile, voire impossible d'établir une classification indiscutable des contacts électriques. Il existe néanmoins des grandes familles que nous essaierons d'illustrer en fonction du rôle qui leur est demandé.

- Contacts permanents (fixe) : assurant une continuité électrique permanente entre deux pièces en immobilité relative, deux cas qui peuvent se présenter ;
 1. Les contacts permanents non démontables (soudure, éclisses, cosses et sertissage, etc....).
 2. Les contacts permanents démontables (visses ou par coincement).
- Contacts semi-fixe (temporaires) : assurant une continuité électrique entre deux pièces en immobilité relative, la mise en contact et la séparation s'effectuant par une manœuvre simple (prise de courant, douille de lampe, borne d'interrupteur, etc....).
- Contacts glissants : assurant la continuité électrique entre deux pièces en mouvement relatif de translations ou de rotation (le cas des moyens de transport électrique locomotive, trolleybus, métro, etc....).

II. Phénomènes liés aux courants et à la tension

L'expansion, des réseaux électriques en tous genres : transport, distribution d'énergie, dans les secteurs tant industriels que domestique a fortement contribué à l'augmentation des risques d'apparition de défauts, tels qu'une surtension ou surintensité. Le rôle de la protection électrique des matériels est d'éviter ou de limiter les conséquences destructives des défauts (les anomalies liés aux courants et la tension) et de séparer la partie défectueuse du reste de l'installation. Parmi ces phénomènes on peut établir la classification suivante :

II.1 Surintensités : La détection de la surintensité est généralement installée sur tous les conducteurs de phase. Elle ne provoque pas nécessairement la coupure omnipolaire, on distingue :



II.1.1 Surintensités passagères :

Elles surviennent lors du démarrage des moteurs, de la mise sous tension des transformateurs ou de l'allumage des tubes fluos, etc.....

Ces surintensités ne doivent pas provoquer le déclenchement des dispositifs de protection (pas de coupure de l'alimentation).

II.1.2 Surintensités anormales : deux cas qui peuvent se présenter

II.1.2.1 Surcharges :

Les surcharges sont dues généralement à une surabondance momentanée de récepteur en service surtout dans les heures de pointe. A titre d'exemple dans

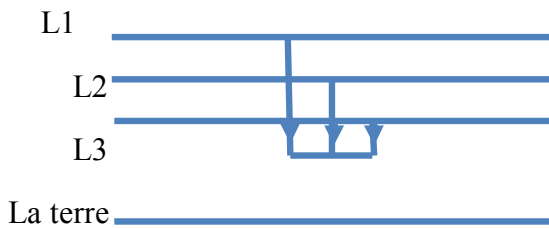
l'été la demande successive de l'électricité consommée par les dispositifs de refroidissement ; ventilateurs, climatiseurs, etc.... provoque des surcharges. L'appel de puissance mécanique (cas des moteurs électriques) plus importante que la normale, peut également entraîner les surcharges. Dans ce cas les circuits électriques sont sains, les valeurs des courants sont en générale de l'ordre de 1,5 à 03 fois le courant nominal, sans jamais dépasser dix ($10 I_n$). La prolongation de ces surcharges provoque un échauffement thermique excessif dans l'installation, la protection contre les surcharges est assurée par les disjoncteurs et relais thermique (la coupure de l'alimentation se fait après certains délais d'attente)

II.1.2.2 Courts - circuits :

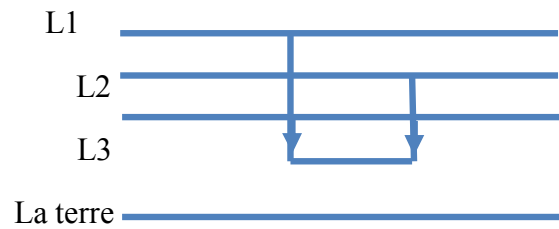
Tout fonctionnement d'un réseau électrique peut être sujet à l'apparition de défauts se manifestant souvent par des courants élevés de « courts-circuits », le court-circuit est un régime transitoire de caractère électromagnétique pendant lequel l'impédance du système est diminuée puis s'annule. Plusieurs types de défauts existent selon le réseau de distribution (ligne aérienne ou câble souterrain), selon le lieu de défaut, selon le nombre de phases qui sont en contact et également selon la durée du défaut (fugitif lorsqu'il est inférieur à 0,3 secondes, semi-permanent pour des défauts inférieurs à 15 seconds ou permanents si la durée dépasse 15 secondes). Beaucoup d'autres facteurs peuvent encore intervenir sur le type de défaut, comme le mode d'exploitation, le régime de neutre ou les performances des protections.

Les réseaux électriques doivent non seulement être dimensionnés pour supporter leurs régimes nominaux (courant assigné et tension nominale), mais aussi en cas de défaut.

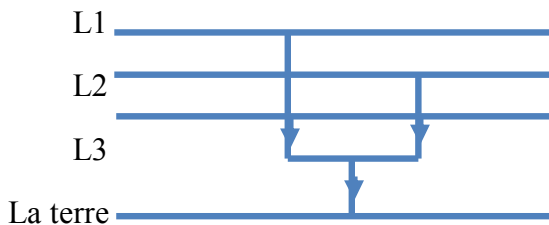
Les courants de court – circuit comme prévue sont consécutifs à un défaut dans un circuit (erreur de connexion, détérioration de l'isolement.etc...), ces courants sont nuisibles pour les réseaux, soit par des raisons thermiques (fusion des conducteurs, dégradation des isolants), soit pour des raisons mécaniques à cause des déformations provoquées par les forces électromagnétiques, soit pour des raisons de coût car ils provoquent des vieillissements prématurés du matériel. On distingue les types suivants :



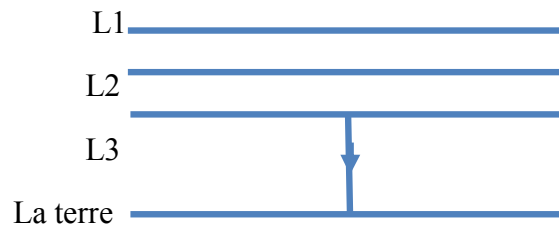
a) Court circuit triphasé symétrique (LLL).



b) Court circuit entre phase, isolé (LL).



c) Court circuit entre phase, avec la Terre (LLT).



d) Court circuit phase terre (LT).

→ Les valeurs des courants de court circuit sont, en general, supérieures à 10 fois I_n et peuvent atteindre 100 fois I_n ou plus.

Les protections sont généralement assurées par les disjoncteurs ou des fusible (la coupure de l'alimentaion se fait immédiatement).

II.2 Surtensions :

Toute installation électrique peut être soumise à des surtensions occasionnelles d'origine très diverses telles que :

- Surtensions d'origine atmosphériques (cas d'un coup de foudre) : ces surtensions sont dues et causées par le coup direct ou indirect de foudre sur tous les éléments conducteurs et particulièrement sur les câblages et les équipements électriques.
 - Surtensions de manœuvre : dues par une modification du régime établi dans un réseau électrique (lors d'une manœuvre d'appareillage, l'ouverture d'un circuit inductif en charge une surtension

proportionnelle au facteur $L \, di/dt$ est générée au moment de la coupure.etc...).

- Surtensions dues un défaut: causées par un changement d'état permanent du réseau (suite à un défaut d'isolement, rupture de conducteur neutre. etc....).
- Surtensions consécutives à un amorçage MT/BT: localisées dans les postes de transformation.

1. **Effet de l'arc sur les contacts**: au niveau des contacts, notons que les matériaux doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité électrique et thermique.
- Bonne tenue à l'oxydation en présence de SO_2 et H_2S .
- Grande dureté mécanique superficielle pour résister aux contraintes De frottement.
- Résistance à la soudure et à l'érosion électrique.

2. **Les efforts électrodynamiques**: quand deux conducteurs parallèles sont parcourus par des courants de même sens, il ya une force d'attraction ; s'ils sont parcourus par des courants de sens inverse, il ya répulsion, il peut aussi y avoir création de forces électrodynamiques lorsque un conducteur forme une boucle et est parcouru par un courant.

En cas de surintensités importantes (court- circuit), ces forces d'attraction ou de répulsion peuvent avoir des effets destructifs.

3. **Claquage électrique** : lorsqu'on augmente suffisamment la différence de potentiel appliquée sur deux électrodes métalliques séparées par un isolant, un arc électrique prendre naissance et peut être observé. La tension qui engendre l'arc électrique entre les deux électrodes est appelée tension de claquage (tension disruptive).

4. **Ionisation des gaz** : dans les conditions habituelles, les gaz sont isolants. Mais sous l'action d'une élévation de température, ils peuvent devenir conducteurs.

5. Rigidité diélectrique (gradient de potentiel) : Si on augmente la tension à laquelle est soumis un isolant au-delà d'une certaine valeur appelée tension de claquage, il apparaît un arc électrique dans l'isolant sous forme d'un courant intense traversant l'isolant en suivant un chemin formé par l'arc lui-même. Dans ce cas, l'isolant est percé (il y a rupture de la rigidité diélectrique), cette dernière est exprimée en KV /mm et elle dépend de :

- La fréquence, la forme et la durée d'application de la tension.
- La température, la pression et l'humidité de l'atmosphère.
- La présence d'impuretés dans l'isolant (bulles d'air,...).

6. Isolation électrique :

Les isolants sont des matériaux ayant une résistivité très élevée : 10^8 à 10^{16} $\Omega.m$, ne conduisent pas le courant électrique, car il contient très peu d'électrons libres dans la bande de valence. Ils sont caractérisés par des propriétés chimiques, mécaniques, thermiques et électriques dont l'objectif de remplir les fonctions suivantes :

- D'assurer une séparation électrique entre des conducteurs portés à des potentiels différents.
- De supporter les éléments d'un réseau électrique et les isoler les uns par rapport aux autres et par rapport à la terre.
- De réaliser les fonctions de diélectrique d'un condensateur.

III. Phénomènes d'interruption du courant électrique

III.1. Introduction : pour réaliser la coupure du courant dans un circuit électrique continu ou alternatif, il suffit d'ouvrir un appareil tels que : interrupteur, contacteur, disjoncteur, etc..., la résistance de l'appareil dans le circuit qui était nulle passe à la valeur maximale (infini) lors de la séparation brutale de deux contacts de l'appareillage ce qui provoque un arc électrique résulte de l'ionisation de l'air ou du diélectrique situé entre les deux contacts.

III. 2. Définition : Un arc électrique correspond à une décharge électrique lumineuse transportant un fort courant sous une faible différence de potentiel, ce phénomène fut découvert en 1813 par le physicien et chimiste anglais DAVY. L'arc électrique est un milieu conducteur, il possède une très haute température qui peut atteindre 5000°C à 8000°C suivant la nature des électrodes et le milieu dans lequel il se propage, l'apparition de ce dernier est facilitée si le circuit parcouru par un courant I est inductif, car une surtension proportionnelle au facteur LdI/dt est générée au moment de la coupure, en l'absence de précautions particulières, l'arc peut entraîner la soudure des électrodes.

III. 3. Naissance d'un arc électrique:

III.3.1 Dans l'air : La résistance de passage (résistance de contact) est donnée par la relation suivante : $R = \rho L / \Delta s$; ρ résistivité du milieu, L la distance entre les contacts et Δs la surface de contacte.

Au début du déplacement du contact mobile C2 (ouverture du circuit en charge), la distance L entre les contacts augmente et la surface Δs diminue puis s'annule ; donc R augment, ce qui entraîne un échauffement local des électrodes avec fusion de métal, le gradient de potentiel entre les contacts est très élevé ; un jet d'électrons ionise l'espace inter – électrodes. C'est dans cette colonne d'électrons et de gaz ionisés que l'arc va se propager (fig.1).

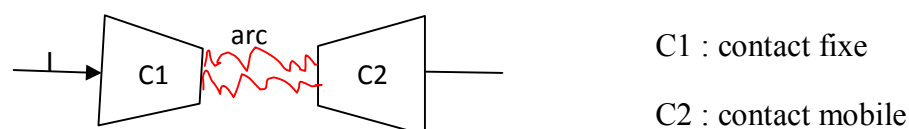


Fig.1 Naissance d'un arc dans l'air.

Donc l'apparition de l'arc dans l'air se manifeste comme étant la continuité du courant dans une colonne gazeuse plus ou moins ionisée et mobile.

III.3.2 Dans l'huile :

Le processus initial est identique : augmentation de L , diminution de Δs , d'où augmentation de R et de l'échauffement ; celui-ci provoque une fusion locale sur les électrodes et la vaporisation d'une petite quantité d'huile, ce qui forme une bulle gazeuse contenant de l'hydrogène, de l'acétylène, du méthane, etc. C'est à l'intérieur de cette bulle de gaz très chauds, parcourue par un jet d'électrons, que l'arc se propage (fig.2).

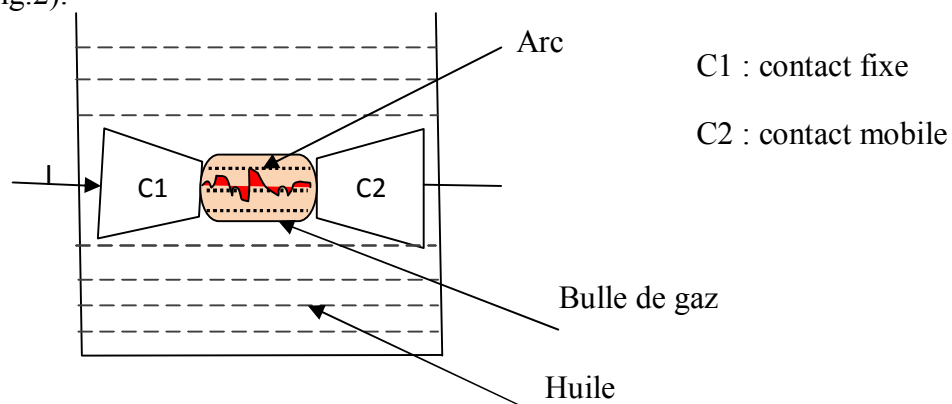


Fig.2 Naissance d'un arc dans l'huile.

III.4. Propriétés de l'arc :

III.4.1 Tension d'arc :

Quelque soit la nature du courant (continu ou alternatif), à tout instant, la différence de potentiel entre les deux électrodes en mouvement (ouverture complète ou même un faible écartement des électrodes) favorise l'établissement de l'arc avec une tension d'établissement U_{arc} (fig.3).

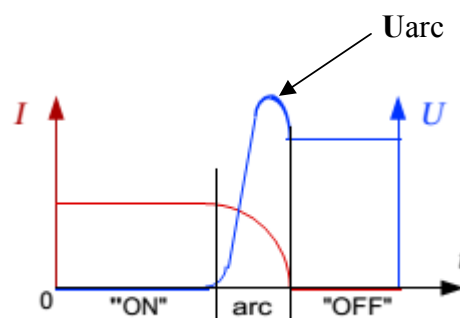


Fig.3 Tension d'établissement de l'arc

La tension d'établissement de l'arc électrique est définie comme suit :

$$U_a = \alpha + \beta I = \alpha + \beta.v.t$$

U_a : Tension de l'arc

α : Chute de tension à l'électrode négative

β : Chute de tension par unité de longueur d'arc

I : Longueur de l'arc

v : Vitesse d'allongement de l'arc

t : Temps de l'arc (compté depuis le début de la séparation des contacts)

III.4.2 Energie de l'arc :

L'énergie dissipée dans l'arc est :

$$W = \int_0^t I. \alpha. dt + \int_0^t I. \beta. v. t. dt = W_1 + W_2$$

W_1 : Énergie appliquée directement au contact négatif (à la racine de l'arc) ; une partie sera acheminée dans le métal de l'électrode sous forme de chaleur et dissipée plus loin ; l'autre partie servira à volatiliser des particules de métal ; la dégradation et la fusion des contacts est donc inévitable.

W_2 : Énergie développée dans la colonne d'arc sous forme d'un rayonnement lumineux intense et à température élevée.

III.4.3 Section de l'arc :

La section de l'arc ne dépend que de l'intensité du courant I à couper, elle est proportionnelle à cette intensité.

III.4.4 Longueur d'arc :

La longueur maximale d'un arc est proportionnelle à la tension U appliquée aux électrodes ; plus la tension est élevée, plus la longueur de l'arc est importante. En haute tension, l'arc peut atteindre plusieurs mètres de longueurs.

III.4.5 Mobilité de l'arc :

L'arc étant formé d'une colonne d'électrons dans l'air ou dans un gaz, il est très mobile, donc très sensible aux courants d'air, aux champs électriques et magnétiques.

III.4.6 Volume de l'arc :

Le volume de l'arc est proportionnel au produit $U.I$ donc à la puissance dépensée par l'arc.

III.4.7 Milieux de coupure de l'arc :

Bienfait aux progrès importants réalisés dans le domaine de la modélisation d'arc et de la simulation des écoulements gazeux que l'énergie d'arc a pu être asservie et utilisée efficacement pour définir des chambres de coupure à hautes performances. Historiquement, on peut résumer les milieux de coupure suivants :

- Air
- Huile
- Air comprimé
- Sf6
- Vide

Depuis des années, les constructeurs ont cherché, développé, expérimenté et mis en œuvre des appareils de coupure à base de milieux. 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 amorçages 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.
- 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 (fig.4) donne l'évolution de la rigidité diélectrique en fonction de la pression du milieu.

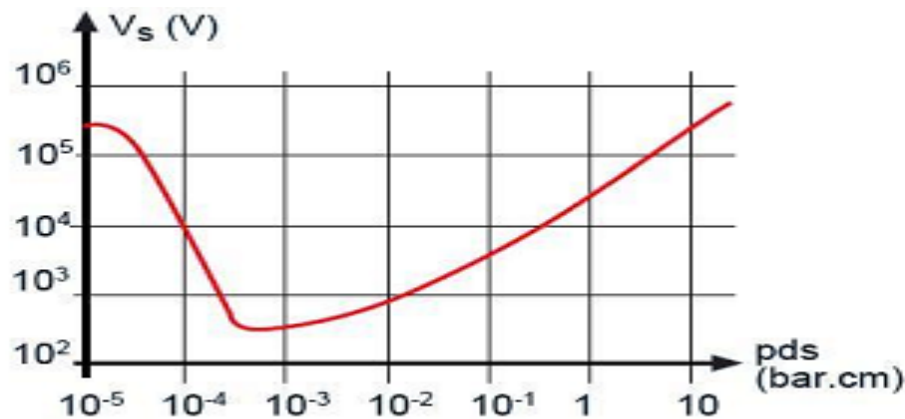


Fig.4 La courbe de PASCHEN

Les courbes suivantes (fig.5) et (fig.6) exposent l'évolution de la rigidité diélectrique en fonction de la distance inter – contacts.

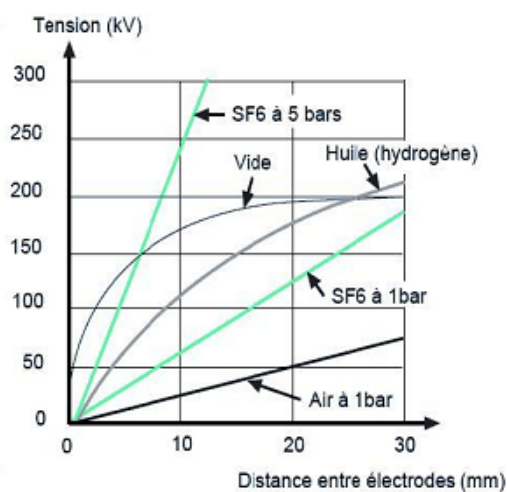


Fig.5 Rigidité diélectrique en fonction de la distance entre les électrodes

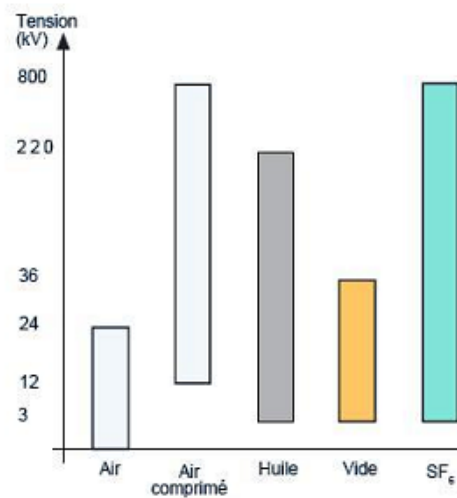


Fig.6 Domaine d'utilisation des différents milieux de coupure

Plusieurs milieux de coupure ont été développés à ce jour :

1. La coupure dans l'air jusqu'à 24 KV, mais aujourd'hui limitée à des utilisateurs en basse tension.
2. La coupure dans l'huile jusqu'à 200 KV.
3. La coupure dans le SF6 jusqu'à quelques centaines de KV.
4. La coupure dans le vide jusqu'à 36 KV.

III.4.8 Danger de l'arc :

L'arc est très dangereux par sa mobilité, d'où risque d'amorçage phase-terre ou phase-phase et risque d'électrocution pour le personnel ; il est dangereux également par son rayonnement lumineux intense, d'où risque d'aveuglement ; il est dangereux enfin par ses effets nuisibles sur les contacts, sur les pièces conductrices et isolantes voisines par suite de haute température.

Remarque :

- L'intensité à couper est grande, surtout en courant continu et sur des récepteurs fortement inductifs s'il s'agit d'un circuit à courant alternatif.
- Le courant continu plus difficile à couper que le courant alternatif qui passe par zéro cent fois par seconde.

III.5 Principe de coupure de l'arc :

En séparant les contacts d'un appareil de coupure en charge, on provoque un arc électrique ; l'arc ne s'éteint pas tout seul et la coupure du courant n'est effective qu'après l'extinction de ce dernier. Il faut donc le couper rapidement pour éviter ses effets destructeurs, mais il ne s'éteint que si la tension du réseau est insuffisante pour l'entretenir entre les contacts, c'est-à-dire : $U_{\text{réseau}} < U_{\text{arc}}$; on peut donc :

- Soit augmenter U_{arc} , or $U_{\text{arc}} = \alpha + \beta.l$; on pourra donc agir sur α , β et l .
- Soit diminuer indirectement $U_{\text{réseau}}$

Le procédé qui consiste à augmenter la tension d'arc jusqu'à avoir $U_{\text{arc}} > U_{\text{réseau}}$ s'appelle : « coupure par extinction », il est utilisé en courant continu et en courant alternatif BT et MT (36 KV).

En courant alternatif MT, surtout HT et THT, on utilise le principe de coupure dit : « coupure par blocage » à tension d'arc réduite qui consiste à supprimer l'ionisation entre contacts au moment où le courant alternatif passe par zéro.

III.6 Condition d'extinction de l'arc :

En courant alternatif à 50 HZ, l'arc s'éteint de lui-même cent fois par seconde et renaît à la même cadence ; il suffit donc d'empêcher son ré-allumage ; deux procédés peuvent être utilisés :

- Dans un premier procédé, on attend que l'arc s'éteigne, à cet instant on interpose un verrou diélectrique entre contacts (coupure par blocage) à tension d'arc réduite.
- Dans un deuxième procédé, on oblige l'arc à s'éteindre prématurément, comme en courant continu ; cela se produit lorsque $U_{\text{arc}} > U_{\text{réseau}}$ (coupure par extinction), tension d'arc élevée.

III.6.1 Coupure de l'arc par blocage :

Elle consiste donc à empêcher le ré allumage de l'arc, après extinction naturelle, en dé ionisant le milieu entre contacts, c'est-à-dire en remplaçant les gaz ionisés par des gaz non ionisés, afin d'augmenter la rigidité diélectrique entre contacts.

III.6.2 Coupure de l'arc par extinction :

- Action sur le terme α (fragmentation)

Il faut multiplier le nombre de chutes cathodiques en disposant et fractionnant l'arc en plusieurs arcs en série.

- Action sur le terme β (dé ionisation)

Cela consiste à dé ioniser le milieu entre contacts, il s'agit d'augmenter le gradient de potentiel ; il faut donc remplacer l'air ou les gaz ionisés (chauds) par l'air ou les gaz non ionisé (frais).

- Action sur le terme I (étirement)

Cela consiste à allonger au maximum l'arc, il faut l'imposer un chemin sinueux pour obtenir un grand allongement avec un faible encombrement.

III.7 Tension de rétablissement de l'arc (U_R) :

C'est la tension U_R qui apparait entre les contacts au moment précis de l'extinction de l'arc :

- Mise hors tension d'une installation à vide : des surtensions instantanées dangereuses peuvent se produire (ligne, transformateur).
- Mise hors service.
- Déclenchement sur court-circuit.

III.8 Différentes techniques de coupure de l'arc :

III.8.1 Coupure dans l'air :

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 dé ionisation. L'arc est refroidi par des systèmes de soufflage à haute pression.

La coupure n'est pas très utilisée en moyenne tension pour des raisons d'encombrement et de coût. Néanmoins, la coupure dans l'air reste la solution la plus utilisée en basse tension grâce à sa simplicité et son endurance.

L'air à pression atmosphérique présente une rigidité diélectrique faible et une constante de dé ionisation élevée.

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.

III.8.2 Coupure dans l'huile :

Elle consiste à immerger les électrodes (contacts) dans l'huile. Au moment de séparation des contacts, l'huile se décompose et dégage H_2 et $C_2 H_2$ principalement dans une bulle de gaz. Cette dernière 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 H_2 .

Les disjoncteurs à coupure dans l'huile ont donné la place à d'autres types de technologie tels que le SF_6 et le vide pour des raisons et les inconvénients suivants :

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

III.8.3 Coupure dans le SF_6 :

Vu ses propriétés chimiques et diélectriques, depuis plusieurs années, les constructeurs de disjoncteurs se sont orientés vers le SF_6 comme milieu de coupure. Sous l'effet de la température, la molécule SF_6 se décompose, mais dès que le courant retrouve des valeurs faibles, la molécule se compose à nouveau. Le SF_6 présente une conductivité thermique équivalente à celle de l'air, une rigidité diélectrique élevée et une constante de dés ionisation faible. L'arc électrique est composé d'un plasma de SF_6 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 et la gaine extérieure reste isolante.

III.8.4 Coupure dans le vide :

Dans la coupure sous vide, l'arc électrique est composé de vapeurs métalliques et d'électrons résultant des matériaux composant les contacts. Cet arc peut être délayé

ou concentré. 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 **MT** grâce à sa grande endurance électrique, très peu utilisée en **BT** pour des raisons de coût et reste dans le domaine éventuel pour la **HT**.

III.9 Les avantages et les inconvénients de l'arc :

III.9.1 Les avantages :

- L'avantage principal de l'arc électrique c'est le soudage à l'arc.

III.9.2 Les inconvénients:

- La rupture du circuit n'est pas effectuée tant que subsiste l'arc.
- Les électrodes sont détruites par fusion.
- L'arc présente un risque grave d'incendie ou d'explosion.
- La température élevée des gaz impose des contraintes thermiques importantes tantôt conductrices qu'aux isolants, réduisant leurs durées de vie.
- Il y a production d'un rayonnement électromagnétique parasite.

IV. Appareillages électriques

Introduction :

Un circuit électrique est un ensemble de conducteurs (fils) et de composants électriques, le schéma électrique vise à représenter au mieux le circuit électrique grâce à des symboles normalisés, donc pour présenter un circuit électrique, l'emploi d'un schéma et de symboles normalisés s'avère très pratique ; quatre types de schémas qui peuvent se présenter : schéma électrique développé, architectural, unifilaire et multifilaire. Avant de lire un schéma, il faut connaître les différents appareils qui le constituent.

Il faut noter que l'appareillage est classé suivant la fonction qu'il réalise et n'importe quelle installation doit comporter au moins les cinq fonctions suivantes :

- Séparer, condamner et isoler (appareillage de connexion)
- Protéger contre les court – circuit (appareillage de protection)
- Protéger contre les surcharges (appareillage de protection)
- Protéger les personnes (appareillage de protection)
- Etablir et interrompre l'énergie (appareillage de commande)

IV.1 Appareillages de connexions :

Les appareillages de connexions permettent d'assurer le raccordement entre deux parties d'un circuit électrique ou le sectionnement de l'installation et d'isoler la partie en aval et garantir sa séparation de toute source d'énergie électrique, ces appareils se manipulent toujours à vide. On peut distinguer :

➤ Contacts électriques :

Comme nous l'avons parlé précédemment, les contacts électriques assurant une continuité électrique entre deux pièces en immobilité relative, la mise en contact et la séparation s'effectuant par une manœuvre simple, il s'agit de : contacts permanent, temporaires et glissants.

➤ **Bornes de connexion :**

Les bornes de connexions sont implantés dans plusieurs appareillages et charges électriques (moteurs électriques, transformateurs, chauffages, appareils de réglage, appareils de mesure etc.) pour assurer le passage d'énergie électrique entre deux connecteurs, l'un mâle l'autre femelle (action de nettoyage), ce qui forme un contact électrique.

➤ **Prises de courants :**

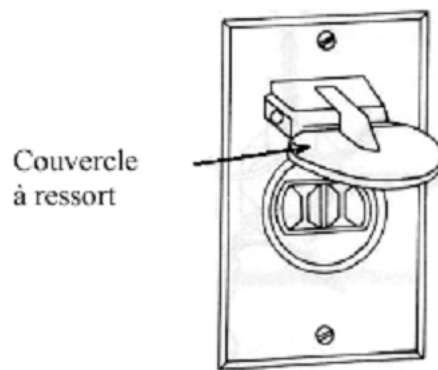
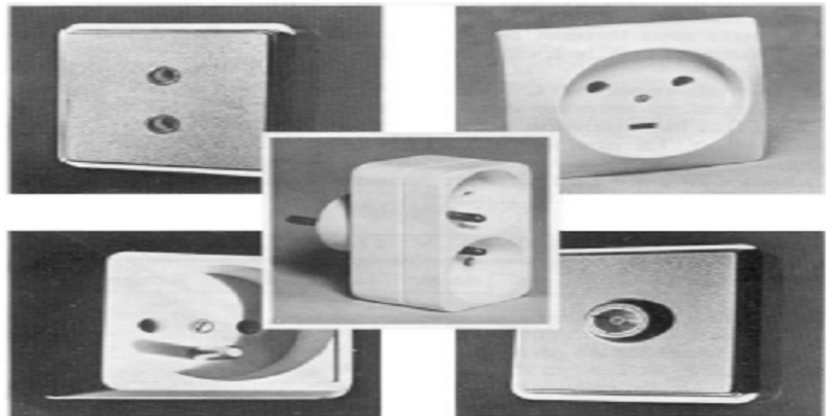
Les prises de courants permettent d'alimenter tous les appareils électriques de la vie ordinaire domestique (réfrigérateur, lave-linge, cafetière, aspirateur, télévision, etc....) ainsi que industrielle (moteurs asynchrones triphasés, etc.) en les connectant au réseau électrique. Les prises de courants peuvent être encastrées ou apparentes, la prise femelle est encastrée dans le mur. Pour des raisons de sécurité, les contacts se font au fond de trous circulaires. La prise mâle (fiche) vient s'insérer dans la prise femelle, les broches sont en laiton et correspondent à la phase et au neutre, avec éventuellement une broche de terre. Il existe différents prises électriques :

- ✓ Prise bipolaire, lorsqu'elle comporte deux organes de contact isolés les uns des autres.
- ✓ Prise tripolaire, lorsqu'elle comporte trois organes de contact isolés les uns des autres.
- ✓ Prise tétra polaire, lorsqu'elle comporte quatre organes de contact isolés les uns des autres.

Les prises de courant ne peuvent pas être placées dans n'importe quel endroit et à n'importe quelle hauteur. Il faut respecter une distance minimale par rapport au sol. D'où la classification suivante:

- ✓ Prises ordinaires (chambres, couloir, hall ...) elles sont simples.
- ✓ Prises protégés contre les projections et les chutes d'eau verticales (cuisine, salle de bain,..) elles sont généralement recouvertes d'un couvercle à ressort, le joint entre le mur et cette plaque - couvercle doit aussi être étanche et bien enfermé.

Les figures ci-dessous donnent les différents types des prises de courant.



Prise extérieure simple

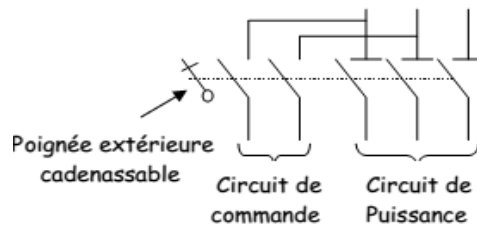
Fig.7 Les types de prises de courant

➤ **Le sectionneur :**

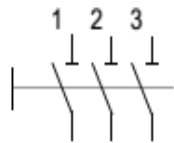
- **Définition** : un sectionneur est un appareil qui permet d'effectuer la mise hors tension d'une installation en séparant la partie installation de toute source d'énergie électrique. Il n'a pas de pouvoir de coupure, il ne peut donc être manœuvré en charge (se manipule toujours à vide). il a pour but d'isoler (c'est sa fonction) une partie du circuit pour en permettre la visite, l'entretien et d'effectuer des opérations de maintenance, de dépannage ou de modification sur les circuits électriques qui se trouvent en aval, en toute sécurité.

▪ **Symbole :**

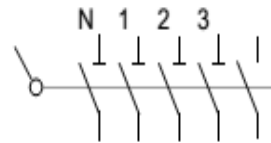
Le symbole de sectionneur est :



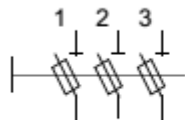
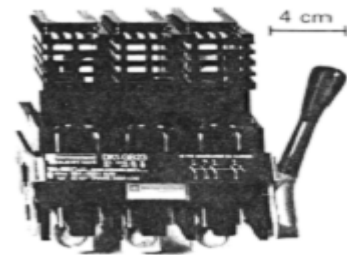
▪ **Appellation :** Q, Q₁, Q₂ etc.



sectionneur à commande manuelle
(symbole général), 3 phases



sectionneur à levier, 3 phase + neutre,
avec contact auxiliaire



sectionneurs porte-fusible

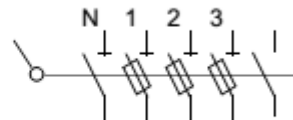


Fig.8 Différents types de sectionneurs

▪ **Rôle de sectionneurs :**

- ✓ Son but essentiel est de séparer et d'isoler un circuit de toute source de courant.
- ✓ Ne jamais actionner un sectionneur en charge, la capacité qu'a cet appareil à fermer ou à ouvrir un circuit est nul, donc aucun courant ne le traverse lorsqu'on l'actionne, les circuits en aval doivent être ouverts.
- ✓ Le sectionneur ne sera donc pas l'appareil qui devra supporter un arc électrique car il n'est pas le premier élément à s'ouvrir dans la ligne d'alimentation du moteur.
- ✓ Nous pouvons retrouver cet appareil dans différentes classes de tension BT, HT etc.
- ✓ Le sectionneur peut se rencontrer dans différents domaines d'application domestiques, industriels etc.

▪ **Rôle des différents organes :**

- ✓ Les contacts principaux (pôles de puissances : 1-2, 3-4, 5-6 et 7-8) permettent d'assurer le sectionnement de l'installation (circuit de puissance) et d'isoler la partie en aval. Ils sont câblés dans la partie puissance de l'installation et repérés sur le symbole de l'appareillage par des chiffres 1 à 8.
- ✓ Les contacts auxiliaires (pré-coupure) permettent de couper le circuit de commande, ils sont repérés (13-14, 23-24).

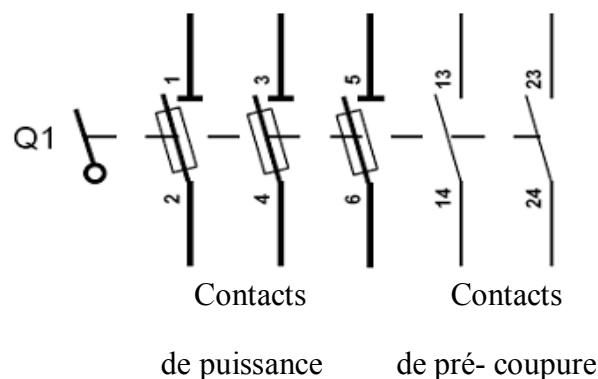


Fig.9 Sectionneur porte-fusible tripolaire

▪ **Caractéristiques principales :**

- ✓ Nombre de pôles de puissance (tripolaire, tétra polaire...).
- ✓ Le courant assigné supporté par les pôles de puissance.
- ✓ Tension maximum d'isolement entre les pôles de puissance.
- ✓ Nombre de contacts auxiliaires.
- ✓ Avec ou sans manette.
- ✓ La nature de la commande.
- ✓ Pouvoir de coupure (P_{dc}) est nul.

IV.2 Appareillages de commande et d'interruption :

➤ **Les interrupteurs :**

Les interrupteurs assurent la commande manuelle de l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique en charge. Généralement les interrupteurs sont utilisés pour les circuits d'éclairage des locaux d'habitation ou à usage de bureaux.

▪ **Symbole :**

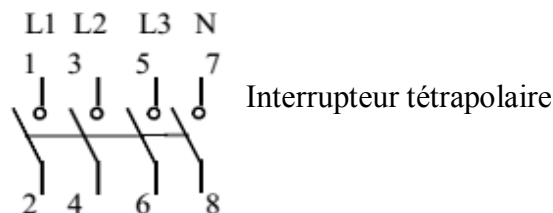


Fig.10 Interrupteur tétrapolaire

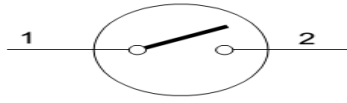
▪ **Appellation :** K, K1, K2...

▪ **Les différents types :** on distingue deux catégories :

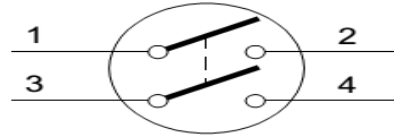
- ✓ Les interrupteurs simples
- ✓ Les interrupteurs combinés

A titre d'exemples pour les interrupteurs simples on trouve les modèles suivants:

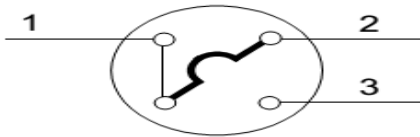
Interrupteur unipolaire



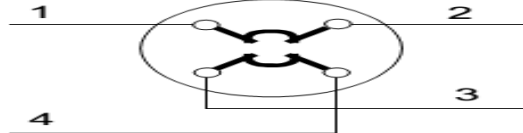
Interrupteur bipolaire



Interrupteur va – et –vient



Interrupteur permutateur



L'interrupteur unipolaire :

Permet de commander une ou plusieurs lampes d'éclairage d'un seul endroit.

L'interrupteur bipolaire :

Permet de commander d'un seul endroit deux circuits d'éclairage différents.

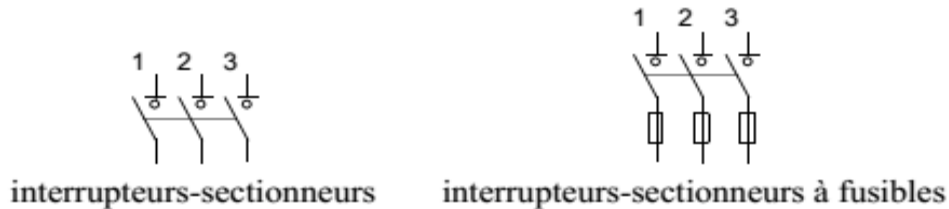
Le principe de l'interrupteur va – et –vient est : de pouvoir commander l'allumage et l'extinction d'une ou plusieurs lampes à partir de deux endroits différents.

L'interrupteur per mutateur :

Permet de commander un circuit d'éclairage d'un nombre quelconque d'endroits, comme le télérupteur ce dernier est un dispositif permettant de commander l'allumage et l'extinction d'un point lumineux depuis plusieurs endroits, à partir de boutons poussoir. Il convient lorsque l'on souhaite installer plus de trois points de commande pour l'éclairage.

Interrupteur minuterie : ce dispositif permet l'allumage et l'extinction automatique d'une ou plusieurs lampes, pour une durée limitée fixée à l'avance (utilisé particulièrement dans les couloirs et les cages d'escaliers).

A titre d'exemples pour les interrupteurs combinés on cite les modèles suivants:



L'interrupteur - sectionneur: sa fonction est l'ouverture et fermeture manuelle du circuit en charge et séparation.

L'interrupteur - sectionneur à fusibles: assure trois fonctions à la fois qui, sont l'interruption, isolation et la protection.

▪ **Caractéristiques principales :**

- ✓ La taille unipolaire, bipolaire, tripolaire etc.
- ✓ Tous les interrupteurs doivent couper la phase et non le neutre.
- ✓ Avoir leur pôle fixe relié à la phase.
- ✓ Le pouvoir de coupure (Pdc) est de l'ordre de 2 à 3 I_n .
- ✓ Le mode d'ouverture et de fermeture est manuel.

➤ **Les commutateurs :**

Un commutateur est un interrupteur à plusieurs positions (multipositions), on distingue :

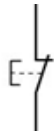
- ✓ Commutateur deux à trois directions avec arrêt.
- ✓ Commutateur double allumage.
- ✓ Commutateur va et vient.
- ✓ Commutateur triple allumage.
- ✓ Commutateur inverseur

➤ **Les boutons poussoirs :**

Sont des auxiliaires manuels de commande, se trouvent toujours dans les circuits de commandes a pour but de gérer la puissance à partir d'un tableau de commande on cite :

- ✓ Les boutons poussoirs à coups.
- ✓ Les boutons poussoirs à impulsion.
- ✓ Les boutons tournants.

▪ **Symboles :**



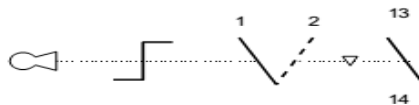
Bouton poussoir à ouverture et
Retour automatique



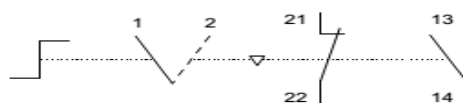
Bouton poussoir à fermeture
et retour automatique



Bouton tournant à
serrure
(clé n°455)
2 positions fixes.



Boutons tournants
2 positions fixes



▪ **Appellation :** S, S1, S2...

➤ **Les contacteurs :**

a. **Contacteur de puissance :**

- **Définition** : est un appareil de commande (de jonction commandée) par un électro-aimant, il fonctionne par tout ou rien (TOR). Il est capable d'établir ou d'interrompre le passage de l'énergie électrique, il a donc un pouvoir de coupure non nul. Il s'appelle aussi pré actionneur puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans la chaîne des énergies. Ce dernier peut être commandé à distance au moyen de bouton poussoir actionnés manuellement ou automatiquement asservi à une grandeur physique : pression, température, vitesse, etc.
- **Principe de fonctionnement** :

Lorsque la bobine de l'électro-aimant est alimentée, le contacteur se ferme, établissant par l'intermédiaire de pôles de puissances. La partie mobile de l'électro-aimant qui entraîne les parties mobiles des pôles et des contacts auxiliaires où, ces derniers se déplacent soit :

- ❖ Par rotation en tournant sur un axe.
- ❖ Par translation, en glissant parallèlement aux parties fixes.
- ❖ Par un mouvement combiné des deux.

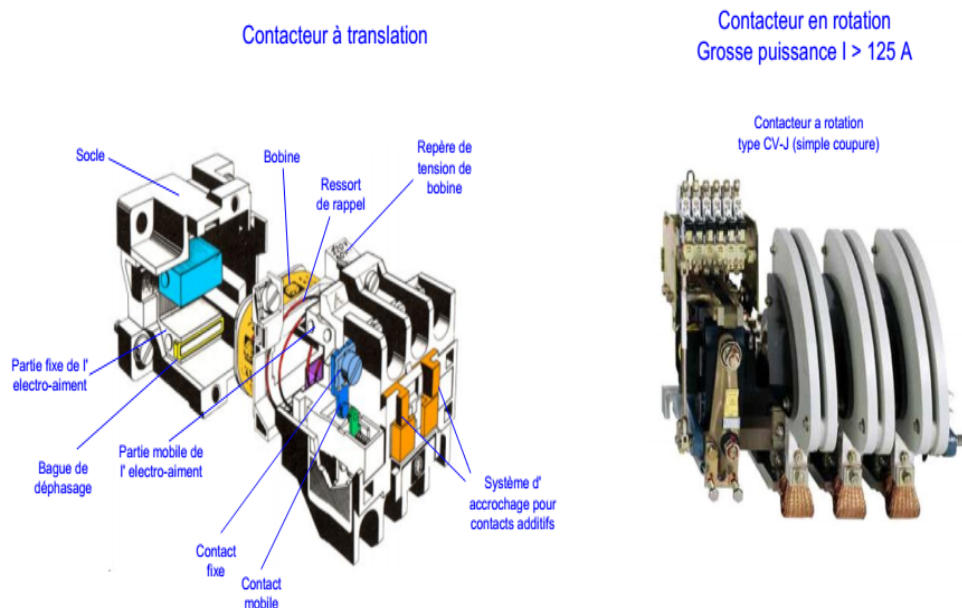


Fig.11 contacteur à une fermeture à translation et en rotation

Le contacteur est le premier élément qui s'ouvre dans la ligne d'alimentation du récepteur, charge, moteur, etc. Dès que la bobine est désexcitée (la coupure de la partie commande désalimente la bobine du contacteur), le circuit magnétique se démagnétise et le contacteur s'ouvre sous l'effet :

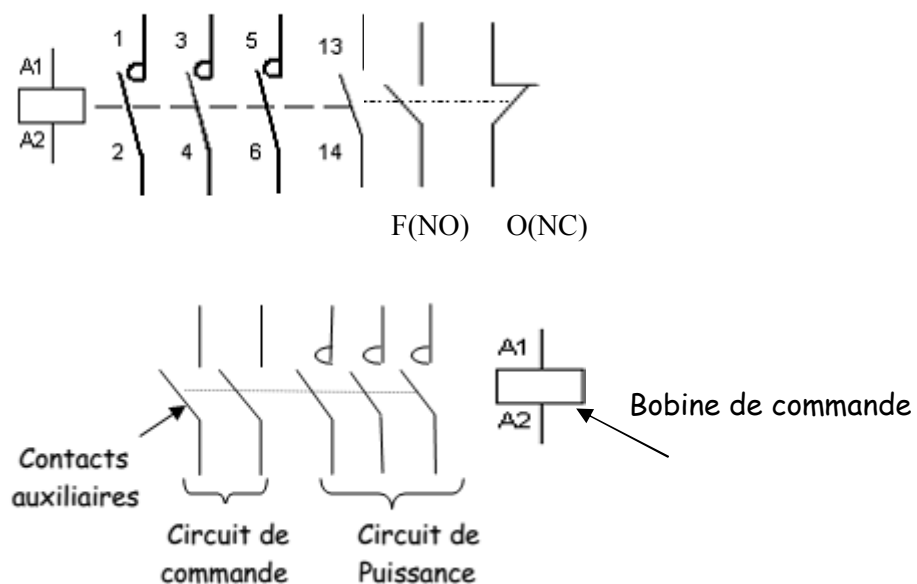
- ❖ Des ressorts de pression des pôles.
- ❖ Du ressort de rappel de l'armature mobile.

Le contacteur possède trois positions de réglage : arrêt, marche automatique et marche forcée (pendant les heures pleines). Il peut être mis en fonctionnement manuellement ou automatiquement.

▪ **Rôle :**

Mettre en fonctionnement arrêter un actionneur (moteur, four, transformateur, etc.) en charge, ses pôles de puissance sont prévus pour supporter les arcs électriques, la capacité à souffler cet arc (à le supprimer) sera donc assuré par son pouvoir de coupure.

▪ **Symbole :**



- **Appellation** : KM, KM1, KM2...
- **Caractéristiques principales** : les caractéristiques d'un contacteur de puissance sont :
 - ✓ Nombre de pôles de puissance ; unipolaire, bipolaire, tripolaire et tétrapolaire.
 - ✓ Nombre et le type (O, F) de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés.
 - ✓ Tension de la bobine de commande (24V, 110V, 220V et 380V).
 - ✓ Intensité maximum supportée par les pôles de puissance.
 - ✓ Tension maximum d'isolement entre les pôles de puissance.
 - ✓ Endurance électrique
 - ✓ Pouvoir de coupure est de l'ordre de $10 I_n$.
- **Constitution d'un contacteur** :
 - ✓ **L'électro-aimant** :

Il comprend essentiellement un circuit magnétique et une bobine, sa forme est variée en fonction du type de contacteur et peut éventuellement différer selon la nature du courant d'alimentation, alternatif ou continu. En raison d'éviter tout risque de rémanence, un léger entrefer prévu dans le circuit magnétique en position fermeture. Dans un circuit magnétique, la course d'appel est la distance qui sépare la partie fixe de la partie mobile, lorsque le contacteur est au repos ; la course d'écrasement est la distance qui sépare ces deux parties les pôles viennent en contact.

- ✓ **Circuit magnétique (cas d'un courant alternatif)** :

Ce circuit est caractérisé par : les tôles d'acier au silicium, circuit feuilleté afin de réduire les courants de Foucault, ce dernier peut être utilisé sans inconvénient en courant continu.

- ✓ **Circuit magnétique (cas d'un courant continu)** :

En courant continu, il n'y a pas de courant de Foucault. On utilisera donc un électro-aimant spécifique doté d'un circuit magnétique en acier massif.

- ✓ **La bobine**:

Le rôle de la bobine est la production du flux magnétique nécessaire à l'attraction de l'armature mobile de l'électro-aimant. Elle est conçue pour résister aux chocs mécaniques provoqués par la fermeture et l'ouverture des contacteurs ainsi qu'aux

chocs électromagnétiques dus au passage du courant dans ses spires. Les bobines utilisées actuellement, sont particulièrement résistantes aux chocs, aux surtensions etc.

✓ **Les pôles de puissance:**

Sont les pôles qui permettent d'établir et d'interrompre le courant dans la partie puissance de l'installation. Ils sont repérés dans le symbole de l'appareillage par des chiffres 1 à 8.

✓ **Les contacts auxiliaires :**

Les principales fonctions des contacts auxiliaires sont :

- Réaliser l'auto – alimentation (fonction mémoire).
- Les verrouillages électriques.
- L'asservissement.
- La logique de commande.

Les contacts auxiliaires sont repérés dans le symbole de l'appareillage par des nombres de deux chiffres 13-14, 21-22, etc. Ils se trouvent dans le circuit de commande ; soient incorporés dans le contacteur lui-même, soient dans un bloc auxiliaire additif complémentaire. Ces blocs s'accrochent généralement à l'avant du contacteur, il existe également moins de blocs qui s'accrochent latéralement. On distingue deux catégories :

▪ **Contacts auxiliaires standard (instantanés) :**

Deux types de contacts existent ; le contact normalement ouvert « normally open » (NO)  contact **F**. Le contact normalement fermé « normally closed »

(NC)  contact **O**.

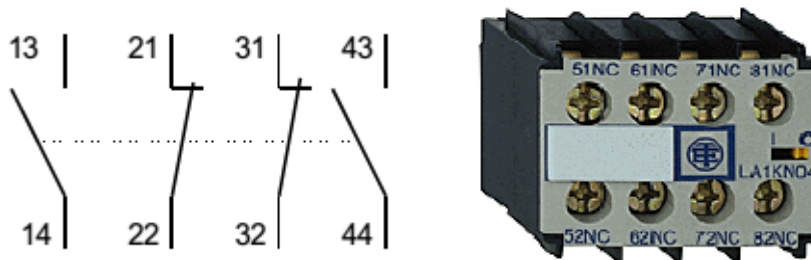


Fig.12 contacts auxiliaires instantanés

▪ **Contactes temporisés :**

Contrairement aux contacts instantanés qui changent de position dès l'excitation ou la désexcitation de la bobine de commande, les contacts auxiliaires temporisés s'ouvrent ou se ferment au bout d'un certain temps en fonction de la durée de la temporisation désirée. Généralement ce type des contacts se trouve incorporés dans un bloc additif supplémentaire, a pour but d'avoir la possibilité de temporiser une action au travail ou au repos de façon à permettre aux équipements de fonctionner convenablement. A titre d'exemple, le démarrage étoile – triangle d'un moteur asynchrone triphasé à cage, nécessite des contacts auxiliaires temporisés pour assurer le passage du couplage étoile au couplage triangle après certains délais de réglage.

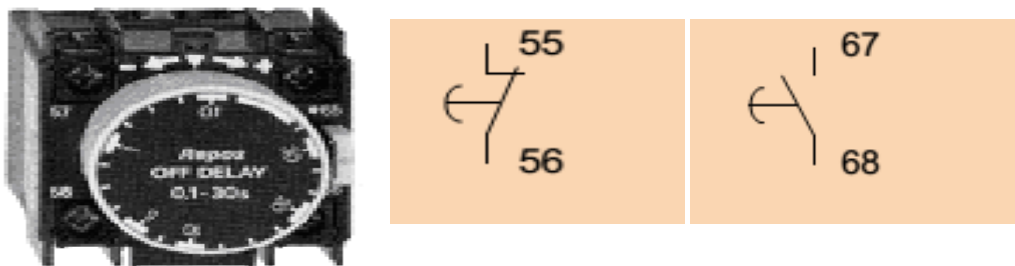
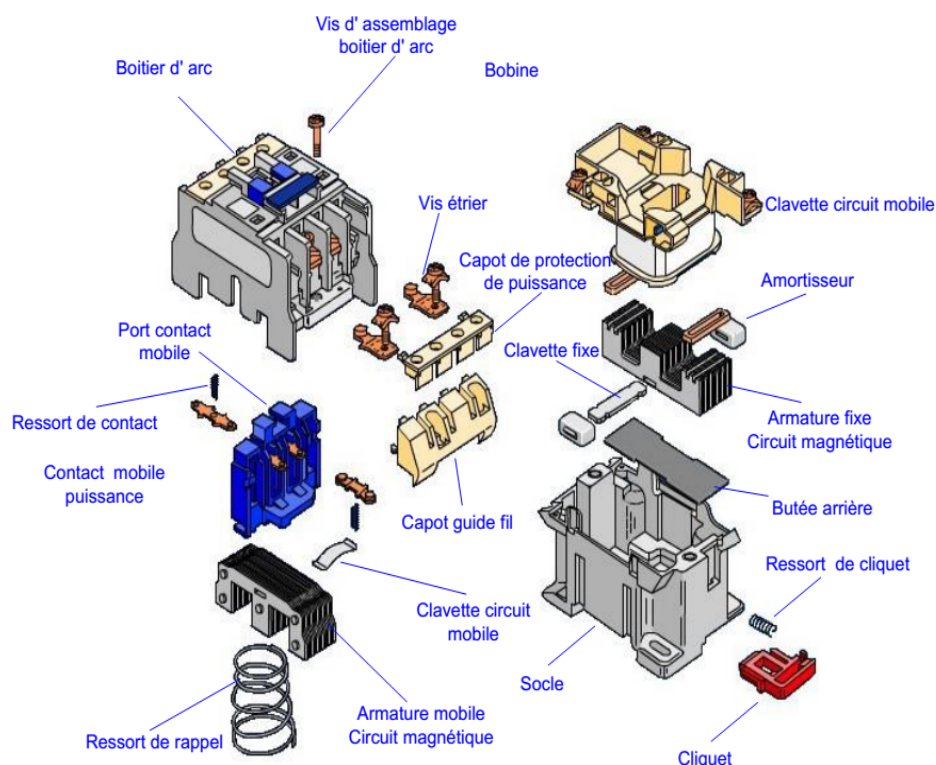


Fig.13 contacts auxiliaires temporisés

✓ **Vue éclatée d'un contacteur :**



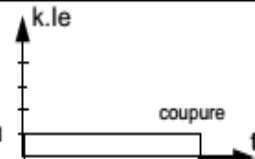
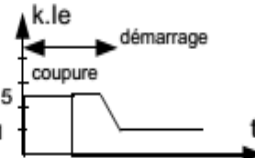
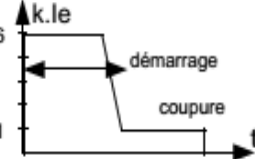
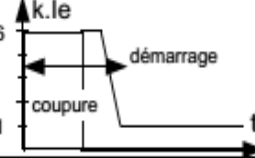
✓ Choix d'un contacteur de puissance :

Plusieurs paramètres qui vont rentrer en compte pour choisir un contacteur, en premier lieu en se basant sur les variables d'entrée : tension du réseau, nature du courant et la fréquence. Ensuite, aux variables de sortie : nature du récepteur, puissance, durée de fonctionnement, etc.

Les constructeurs, à la suite d'essais normalisés, ont confirmé des tableaux qui donnent directement les résultats. Une fois la puissance du récepteur à commander déterminée, la catégorie d'emploi définie, la tension d'alimentation choisie la lecture d'un tableau nous donne directement l'appareil à acheter et qui convient.

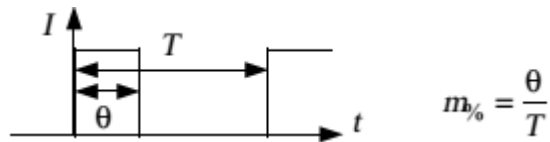
▪ Catégorie d'emploi d'un contacteur :

La catégorie d'emploi dépend de la nature de la charge et de l'application désirée. Le tableau ci-dessous, explique bien les différentes catégories d'emploi d'un contacteur.

Catégorie	Description	Fermeture / Ouverture	Exemples
Alt.	AC1 tout récepteur tel que : $\cos \phi \geq 0,95$		Chauffage, éclairage, distribution
	AC2 Commutation en régime sévère des moteurs asynchrones à bagues		Coupure en cours de démarrage, inversion rapide de marche, marche par à-coups, freinage en contre-courant
	AC3 Commutation des moteurs asynchrones à cage dont la coupure s'effectue moteur lancé		Tous moteurs à cage courants: pompe, compresseur, malaxeur, climatiseur, bande transporteuse, élévateur
	AC4 Commutation en régime sévère des moteurs asynchrones à cage		Coupure en cours de démarrage, inversion rapide de marche, marche par à-coups, freinage en contre-courant
Cont.	DC1 tout récepteur tel que : $\tau = L/R \geq 1 \text{ ms}$	comme AC1	Charges résistives ou peu inductives
	DC3 Commutation en régime sévère des moteurs shunt $\tau = L/R \leq 2 \text{ ms}$	comme AC2	Démarrage, inversion rapide, marche par à-coups, freinage en contre-courant
	DC5 Commutation en régime sévère des moteurs série $\tau = L/R \leq 7,5 \text{ ms}$	comme AC2	Démarrage, inversion rapide, marche par à-coups, freinage en contre-courant

▪ Facteur de marche d'un contacteur :

C'est le rapport m entre la durée θ de passage du courant pendant un cycle de manœuvre et la durée T de ce cycle.



▪ Fiabilité électrique d'un contacteur :

C'est le nombre moyen de cycles de manœuvre en charge que les pôles sont susceptibles d'effectuer sans entretien (remplacement).

Exemple d'un tableau fourni par les constructeurs pour déterminer le choix d'un contacteur.

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 ($\theta \leq 60^\circ\text{C}$)							courant assigné d'emploi en AC-3 440 V jusqu'à A	contacts auxiliaires instantanés	référence de base à compléter par le repère de la tension (1) fixation (2)			tensions usuelles		
220 V	380 V	415 V	440 V	500 V	690 V	1000 V			vis	ressort		~	=	BC (3)
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW								
2,2	4	4	4	5,5	5,5		9		LC1 D09.. (4)	LC1 D09.. (4)		B7	P7	BD BL
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5		12		LC1 D12.. (4)	LC1 D123.. (4)		B7	P7	BD BL
4	7,5	9	9	10	10		18		LC1 D18.. (4)	LC1 D183.. (4)		B7	P7	BD BL
5,5	11	11	11	15	15		25		LC1 D25.. (4)	LC1 D253.. (4)		B7	P7	BD BL
7,5	15	15	15	18,5	18,5		32		LC1 D32.. (4)	LC1 D323.. (4)		B7	P7	BD BL
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5		38		LC1 D38.. (4)	LC1 D383.. (4)		B7	P7	BD BL
11	18,5	22	22	22	30	22	40		LC1 D40.. (4)			B7	P7	BD
15	22	25	30	30	33	30	50		LC1 D50.. (4)			B7	P7	BD
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

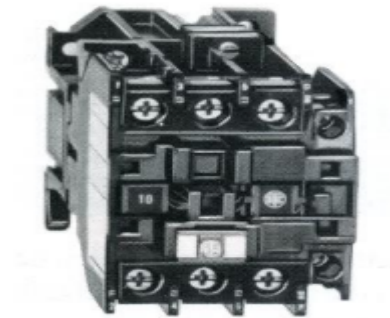
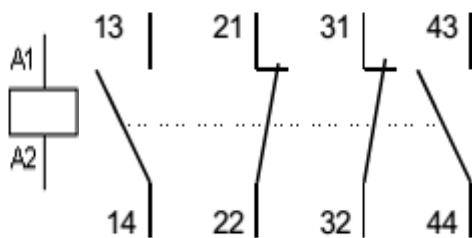
(1) Tensions du circuit de commande préférentielles.							
Courant alternatif							
volts	24	48	115	230	400	440	500
LC1 D09... D150 (bobines D115 et D150 antiparasitées d'origine)							
50/60 Hz	B7	E7	FE7	P7	V7	F7	
LC1 D40... D115							
50 Hz	B5	E5	FE5	P5	V5	F5	S5
60 Hz	B6	E6				F6	

b. Contacteur de commande (relais d'automatisme séparé) :**▪ Définition :**

Il s'appelle également contacteur auxiliaire à petit pouvoir de coupure dont les contacts n'agissent que dans des circuits de commande ou de signalisation (se trouve uniquement dans la partie commande de l'installation).

▪ Rôle :

Ce type de contacteur assure la fonction de commande à travers ces contacts auxiliaires sous le pilotage de la bobine.

▪ Symbole :**▪ Appellation : KA, KA1, KA2...****▪ Caractéristiques principales : les caractéristiques d'un contacteur de commande sont :**

- ✓ Nombre et le type (O, F) de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés.
- ✓ Tension de la bobine de commande (24V, 110V, 220V et 380V).
- ✓ Pouvoir de coupure de l'ordre de 2 à 3 I_n .

Ces contacts auxiliaires, sont également comme le contacteur de puissance destinés à assurer l'auto alimentation (maintien), les asservissements, les verrouillages des contacteurs dans les équipements.

V. Appareillages de protection :**▪ Généralités :**

Tout récepteur peut être le siège d'un certain nombre d'incidents mécaniques ou électriques. Afin d'éviter que ceux-ci n'entraînent sa détérioration ainsi que celle de l'équipement automatique à contacteurs qui le commande et perturbent le réseau d'alimentation, il est indispensable de le protéger. C'est le rôle des appareils de protections. Parmi les incidents les plus habituels pouvant se produire sur un récepteur (précisément un moteur), on cite :

✓ Les incidents d'origine mécanique :

Calage, surcharges momentanées ou prolongées qui entraînent systématiquement une augmentation de l'intensité absorbée par le moteur, et par-là même un échauffement dangereux des bobinages. Lorsque la surcharge persiste, le moteur est détérioré et si la section de la ligne est adaptée à l'intensité absorbée et au service du moteur, les fils s'échauffent également, les isolants fondent et il y a risque d'incendie.

✓ Les incidents d'origine électrique :

Surtension, chute de tension, déséquilibre de phases, manque de phase qui entraîne également une élévation du courant traversant les bobinages et le circuit d'alimentation.

Les appareillages de protection doivent réaliser les fonctions suivantes :

- Protection contre les courts-circuits.
- Protection contre les fortes surcharges.
- Protection contre les surcharges faibles et prolongées.
- Protection contre les défauts d'isolements.
- Protection contre la marche en monophasé.
- Protection contre des démarrages trop longs ou trop fréquents.

Parmi les appareillages de protection, on cite :

Fusibles, Relais de protection, Disjoncteurs, Discontacteurs, Limiteur de courant, Limiteur de tension, parafoudre, etc.

➤ **Les fusibles :**

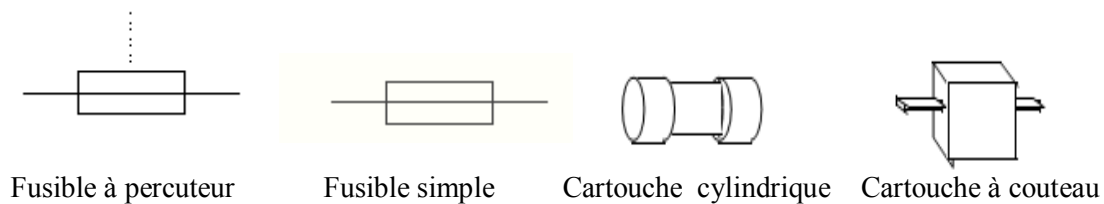
▪ **Définition :**

Les fusibles sont des éléments de faiblesse dans les circuits électriques. S'il y a des surintensités, c'est là que le circuit doit se couper.

▪ **Rôle :**

Les fusibles sont des dispositifs de sécurité qui protègent contre les courts-circuits et les surintensités très rapides et très fortes. Ils se présentent sous la forme d'un cylindre, en verre ou en céramique, dont le cœur est traversé par un filament. Ce dernier fond (d'où le nom « fusible », qui signifie « qui peut fondre ») lorsqu'il est soumis à une très forte chaleur engendrée par une surintensité. Cela a pour but de couper le circuit et de protéger les équipements contre d'éventuelles dégradations ou des risques d'incendie.

▪ **Symbole :**



▪ **Appellation :** F, F1, F2, etc.

▪ **Constitution :**

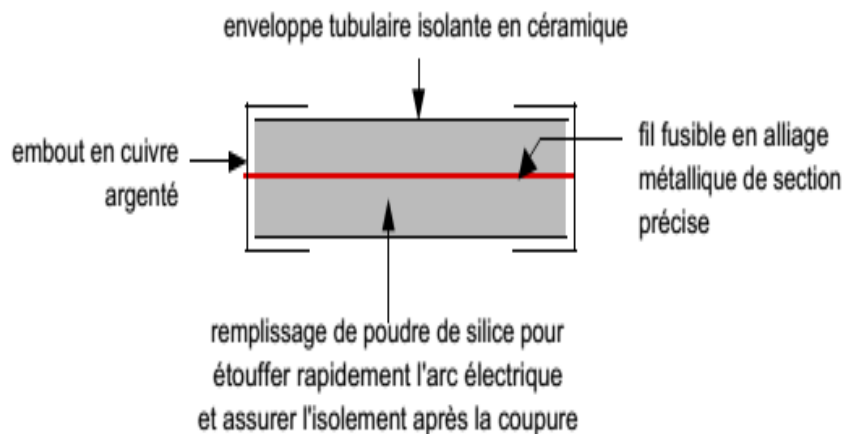


Fig.13 constitution d'un fusible cylindrique simple

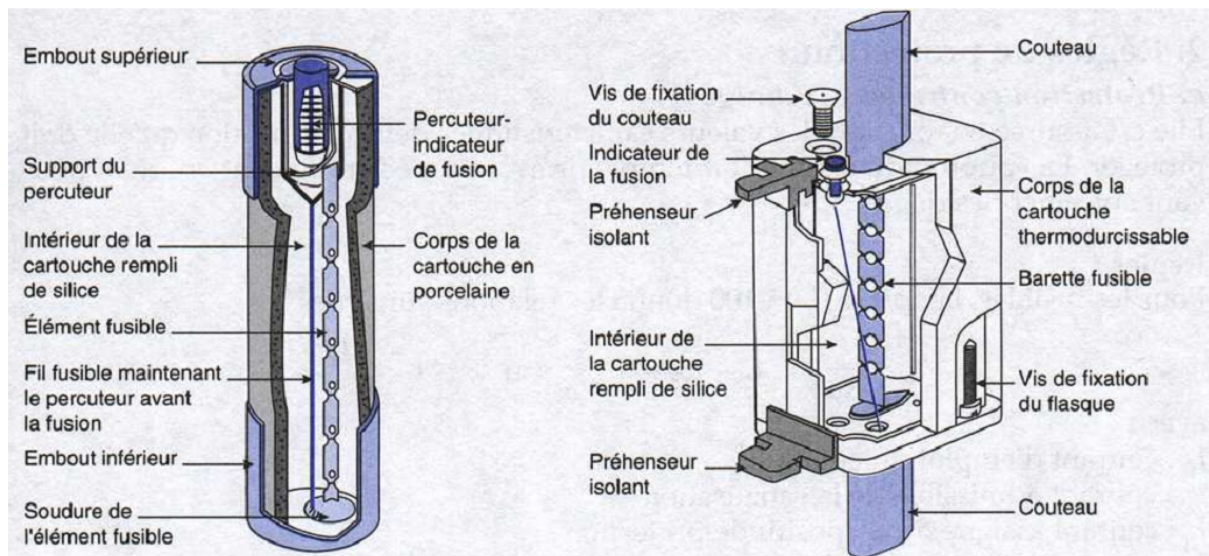


Fig.14 constitution d'un fusible à percuteur et à couteau

On retrouve des fusibles dans les installations électriques, où ils peuvent être de différents types : fusible à voyant de fusion, fusible à percuteur et fusible à couteau. Le percuteur, s'il est sorti indique la fusion du fusible et appuie sur un microcontact qui peut tout couper. Un fusible ne sert qu'une fois et doit être changé s'il est détérioré.

▪ **Principe de fonctionnement :**

Le fusible est constitué d'une lame fusible dans une enveloppe fermée. Cette lame fond si le courant qui la traverse dépasse la valeur assignée. L'enveloppe quant à elle, contient du sable (silice) afin de permettre une coupure franche en évitant ainsi le maintien du passage de courant à travers l'arc électrique.

Actuellement les fusibles sont en cartouches, on distingue plusieurs types :

▪ **Types :**

Les cartouches fusibles assurent une protection phase par phase avec un pouvoir de coupure important sous un petit volume. Ils répondent aux prescriptions des normes en vigueur et se classent comme suit :

✓ **Cartouche « distribution » type gI (gG nouvelles normes) :**

Ces cartouches sont utilisées dans les installations domestiques ou dans les circuits de distribution. Ces dernières permettent à la fois la protection contre les courts – circuits et contre les surcharges pour les circuits ne présentant pas de pointes de courant importantes (exemple : Eclairage, chauffage, circuit résistif). En générale, le calibre de la cartouche doit être de la valeur immédiatement supérieure au courant de pleine charge du circuit à protéger. Il faut tenir compte également de la section des conducteurs. Usage générale, marqués en Noir.

✓ **Cartouche industrielle « moteur » type aM:**

Elles sont destinées à assurer seulement la protection contre les courts – circuits sur les appareils présentant de fortes pointes d'intensité comme les moteurs asynchrones (supportent les surintensités passagères lors du démarrage du moteur). De fait, elles ne sont pas adaptées à la protection contre les surcharges faibles et prolongées (contrairement aux cartouches de type gG). C'est la raison pour laquelle, il est nécessaire d'ajouter un relais thermique dans le circuit d'alimentation des moteurs. En générale, leur calibre doit être immédiatement supérieur au courant de pleine charge du moteur à protéger. Usage industriel (moteur, transformateur etc.), marqués en vert.

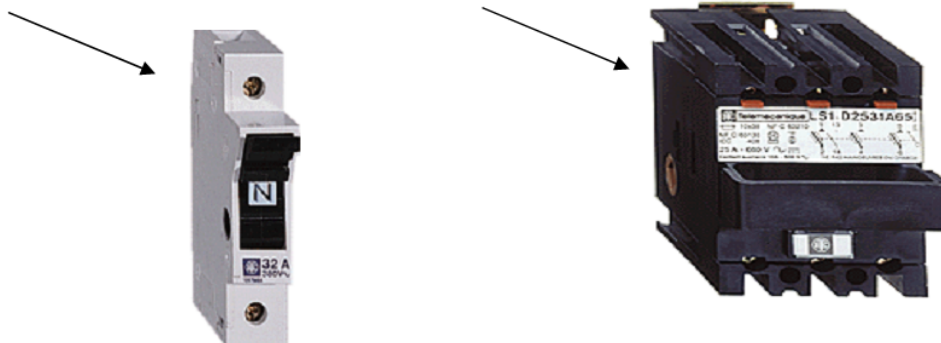
✓ **Cartouche ultra rapide UR:**

Elles sont destinées à assurer essentiellement les composants électroniques (semi-conducteurs). Usage, diodes thyristor.

Tous ces cartouches fusibles se montent dans des supports appelés : **Portes fusibles** ou dans des **sectionneurs**.

Portes fusibles

sectionneurs.



▪ **Caractéristiques des fusibles :**

Ils sont caractérisés par :

✓ **L'intensité nominale (I_n) :**

C'est l'intensité qui peut traverser indéfiniment un fusible sans provoquer ni échauffement excessif, ni fusion. C'est le calibre du fusible, s'exprime en ampère (A).

✓ **La tension du réseau (U_n) :**

C'est la tension du réseau dans lequel le fusible peut être utilisé, généralement elle est de l'ordre de : 250, 400, 500 ou 600. Elle s'exprime en Volts (V).

✓ **Courant de non fusion (I_{nf}) :**

C'est le courant qui peut être supporté par le Fusible pendant un temps spécifié sans fondre.

✓ **Courant de fusion (I_f) :**

C'est le courant qui provoque la fusion du

Fusible avant la fin du temps spécifié.

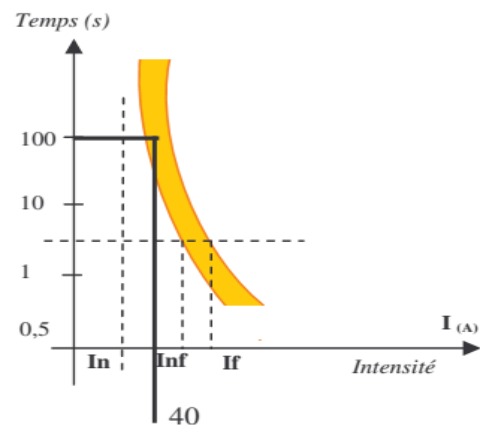


Fig.15 Courbes temps - courant de fusion et non fusion d'une cartouche fusible

✓ **Pouvoir de coupure (PDC) :**

C'est la plus grande intensité de court - circuit qu'un fusible peut couper en évitant la formation d'un arc électrique qui pourrait retarder dangereusement la coupure du courant. Il s'exprime en kilo ampères KA (généralement $P_{dc} \geq 50 I_n$).

✓ **Pouvoir de limitation (PDL) :**

C'est la propriété que possède une cartouche fusible à limiter l'intensité du défaut (court - circuit) et donc les effets électrodynamiques et thermiques du courant.

✓ **Durée de coupure (DDC) :**

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

✓ **Désignation d'une cartouche fusible :**

Une cartouche fusible est désignée par les éléments suivants :

- Son type (gI, gf, gG, UR ou aM).
- Son calibre (A).
- Sa tension nominale (V).
- Son pouvoir de coupure (KA).
- Sa taille (dimension de la cartouche = diamètre (mm) × longueur (mm)).

La figure.16 expose bien la description d'une cartouche fusible.

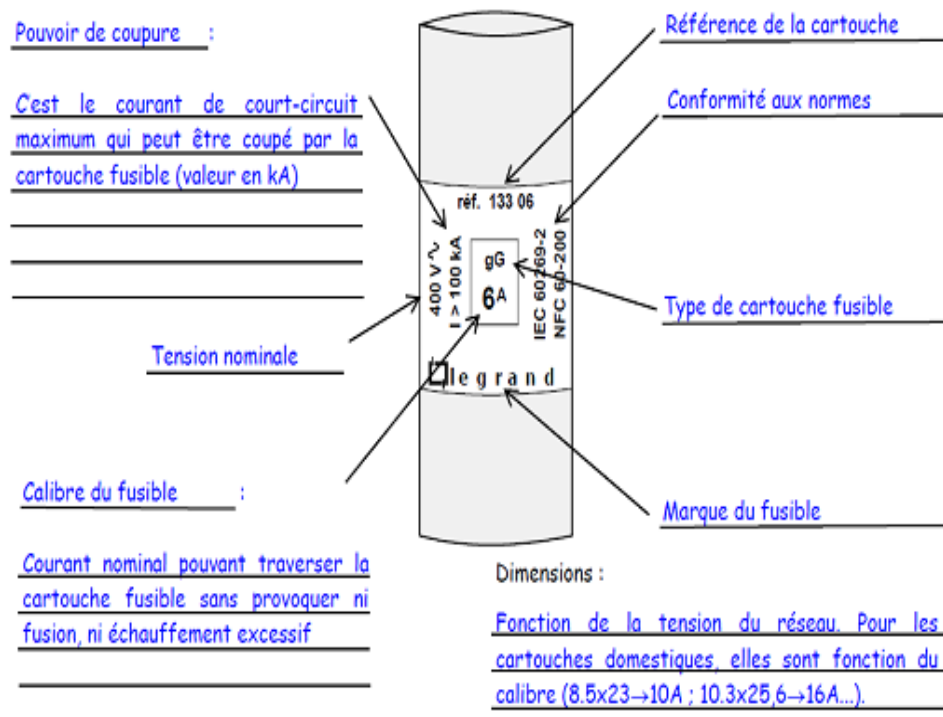


Fig.16 Désignation d'une cartouche fusible

✓ **Contraintes thermique ($I^2 t$) :**

Elle représente la limite de l'énergie supportée par la cartouche fusible sans détérioration. Elle s'exprime A^2s et se mentionne $I^2 t$.

- ✓ **Courbes de fusion:** Elles permettent de déterminer la durée de fonctionnement du fusible en fonction du courant qui le travers avant sa fusion.

○ **Cartouche type gG**

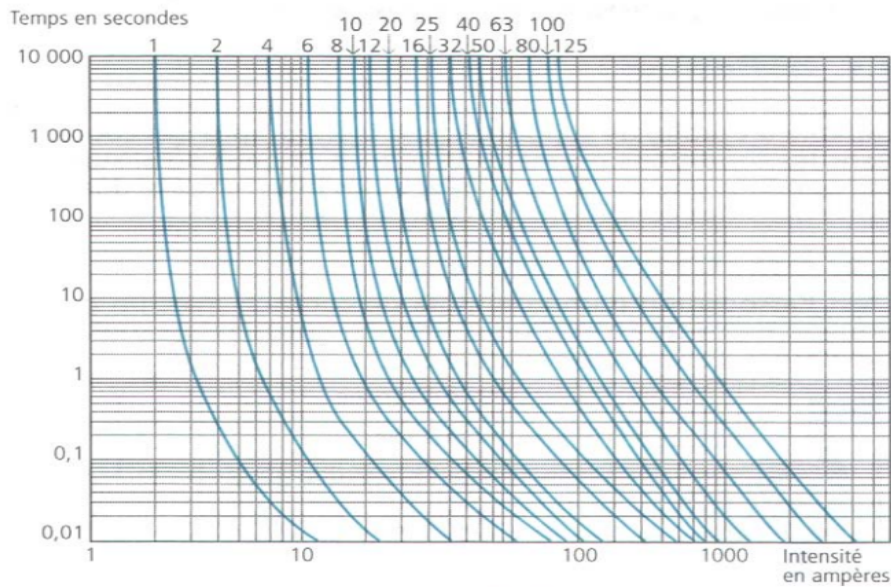


Fig.17 Courbes de fusion d'une cartouche fusible type gG

○ **Cartouche type aM**

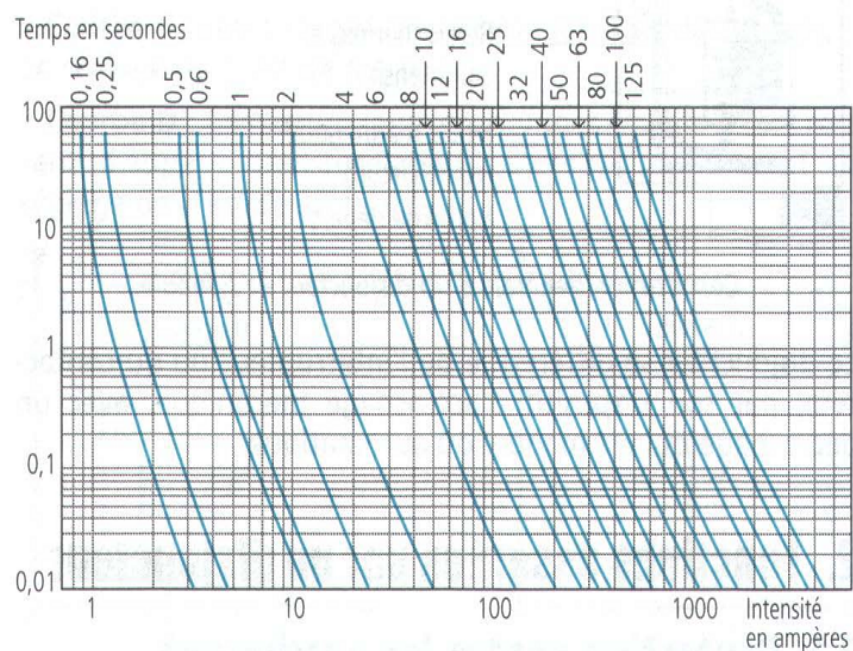


Fig.18 Courbes de fusion d'une cartouche fusible type aM

▪ **Avantages et inconvénients des fusibles:**

Les avantages :

- Simple et facile à installer.
- Peut coûteux.
- Encombrement réduit.
- Pouvoir de coupure important, les gG et aM sont dit : H.P.C. Haut pouvoir de coupure, car ils peuvent couper les courants de surintensités jusqu'à 100 KA efficace.
- Pas d'entretien.
- Garanti.

Les inconvénients :

- Un fusible ne sert qu'une fois et doit être changé. L'inconvénient majeur vient du fait qu'il faut le remplacer après usage. C'est pour cela que les disjoncteurs sont de plus en plus employés, ils ont l'avantage d'être ré-armables à volonté.
- Pour effectuer le changement d'une cartouche fusible, il faut être habilité BOV.
- Pour changer le porte fusible il faudra être B1V.
- Surtension lors la fusion.
- Un fusible est élément de résistance, consomme une certaine énergie lorsqu'il est traversé par un courant électrique.

➤ **Les Relais de protection :**

Les relais sont des appareils qui contrôlent la valeur d'un paramètre électrique. Ils provoquent l'ouverture ou la fermeture du circuit de puissance par l'intermédiaire de ces contacts auxiliaires de commande, lorsque le courant dépasse la valeur (seuil) prérégulée. On distingue :

a. Relais thermique :

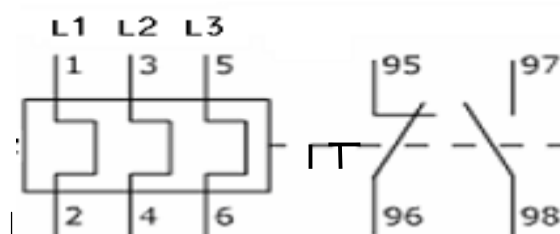
▪ **Définition :**

Est un organe de protection capable de protéger contre les surcharges faibles et prolongées. Un relais thermique n'a pas de fonction de coupure, il est destiné à commander l'ouverture d'un appareil de coupure, appareil qui doit avoir le pouvoir de coupure requis pour le courant de défaut à interrompre, en générale un contacteur. A cet effet, les relais thermiques disposent d'un contact de défaut (NC) qui est à placer en série avec l'alimentation de la bobine du contacteur.

▪ **Rôle :**

Le relais thermique mesure le courant qui circule dans chacun de ses circuits de puissance et compare avec l'intensité prérégulée en façade. Si le courant est supérieur dans l'un ou plusieurs de ses circuits, il actionne les deux contacts de commande. De plus, s'il y a une différence de courant entre les circuits (exemple : manque d'une phase) il déclenche aussi (relais différentiel).

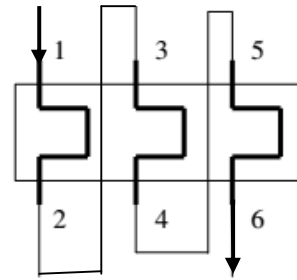
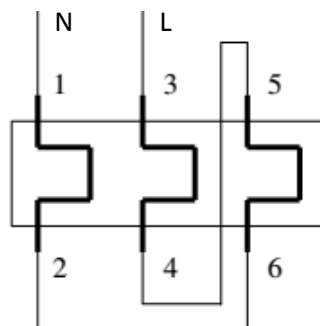
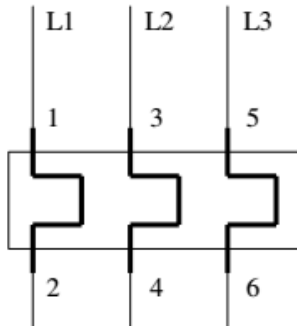
▪ **Symbole :**



Pôles de puissance Contacts auxiliaires

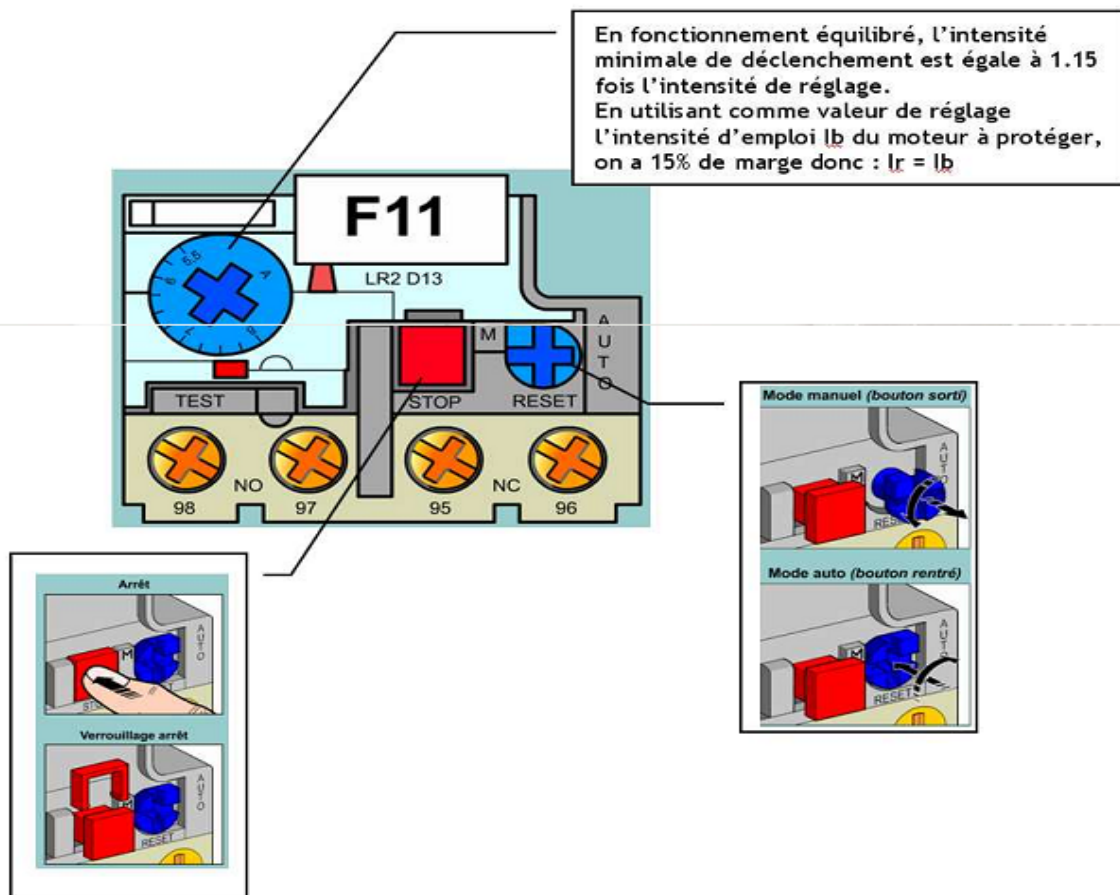
Les relais thermiques sont utilisables en courant alternatif et continu :

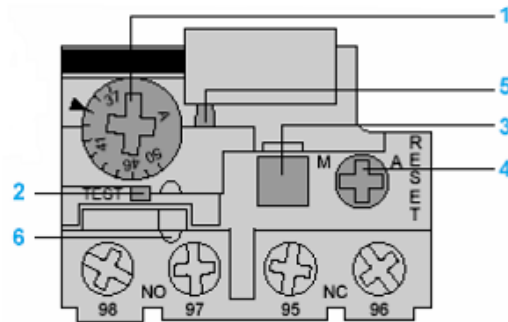
- En réseau triphasé
- En réseau monophasé
- En courant continu



- **Appellation** : F, F1, F2 etc.
- **Constitution** :

Constitution de la façade :

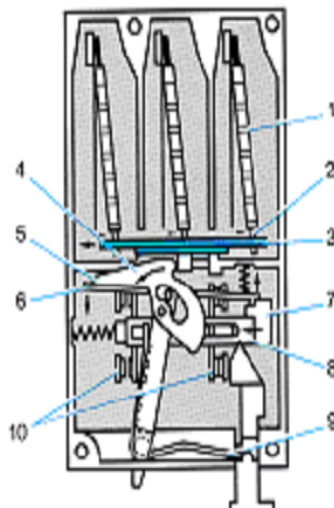
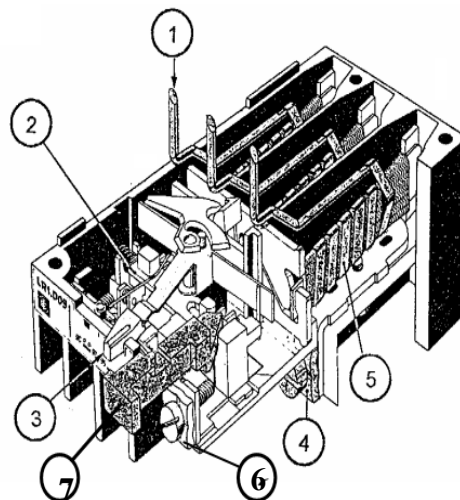




1	Bouton de réglage I_r
2	Bouton Test : L'action sur le bouton Test permet: - le contrôle du câblage du circuit de commande - la simulation du déclenchement du relais (action sur les 2 contacts "O" et "F").
3	Bouton Stop. Il agit sur le contact "O" et est sans effet sur le contact "F"
4	Bouton de réarmement et sélecteur de choix entre réarmement manuel et auto.
5	Visualisation du déclenchement
6	Verrouillage par plombage du capot

Constitution à l'intérieur :

①	Arrivé du courant
②	Système de déclenchement
③	Réglage du calibre de déclenchement
④	Départ courant
⑤	Elément bimétallique
⑥	Contact auxiliaire
⑦	Bouton de réarmement



Lorsqu'un courant important parcourt les enroulements chauffants (1), les bilames (2) se déforment et les réglettes du différentiel (3) sont entraînées dans le sens de la flèche.

La came (4) est entraînée également et tourne autour de son axe. Le bord d'attaque de cette came (5) provoque la rotation du bilame de compensation (6), la butée de maintien (7) libérée laisse échapper la pièce mobile (8) qui est sollicitée par un ressort en épingle (9).

Les contacts (10) changent de position.

Sur cette figure, le relais est en position « armé », en attente de déclenchement.

- **Principe de fonctionnement :**

Le principe de fonctionnement du relais thermique repose sur la déformation de ses bilames métalliques chauffés par le courant qui les traversent. Au passage du courant les bilames qui sont calibrés se déforment et actionnent le dispositif différentiel dont le déplacement latéral ou vertical, suivant le modèle du relais, provoque la rotation d'une came ou d'un arbre solidaire du dispositif de déclenchement. Quand l'amplitude de la déformation est suffisante, la pièce sur laquelle sont fixées les parties mobiles des contacts échappe à une butée de maintien, ce qui provoque l'ouverture brusque du contact auxiliaire du relais inséré dans le circuit de la bobine du contacteur.

Le réarmement ne peut s'effectuer que lorsque les bilames sont suffisamment refroidis. La distance que doit parcourir la pièce pour échapper à la butée de maintien est fonction du courant de réglage affiché sur le relais et de la température ambiante du local dans lequel est placé celui-ci ; d'où nécessité d'une correction par le bilame de compensation.

Les relais thermiques sont en généralement ; différentiels ou compensés.

- **Principe du relais différentiel :**

Le dispositif différentiel provoque le déclenchement du relais lorsque les courants traversant les trois bilames ne sont pas identiques (exemple : manque d'une phase). Le déclenchement est d'autant plus rapide que la différence est grande.

- **Principe du relais compensé :**

Un bilame de compensation, indépendant des bilames principaux et soumis uniquement à la température de l'air ambiant, se déforme en fonction des variations de celui-ci. Le déplacement que doit effectuer l'ensemble des éléments thermiques pour provoquer le déclenchement du relais est le même pour des variations de température comprise entre (-40° C et + 60° C).

- **Courbes de déclenchement :**

Cette courbe est donnée par le fabricant. Elle donne le temps de déclenchement du relais en fonction du courant de réglage et du courant de défaut.

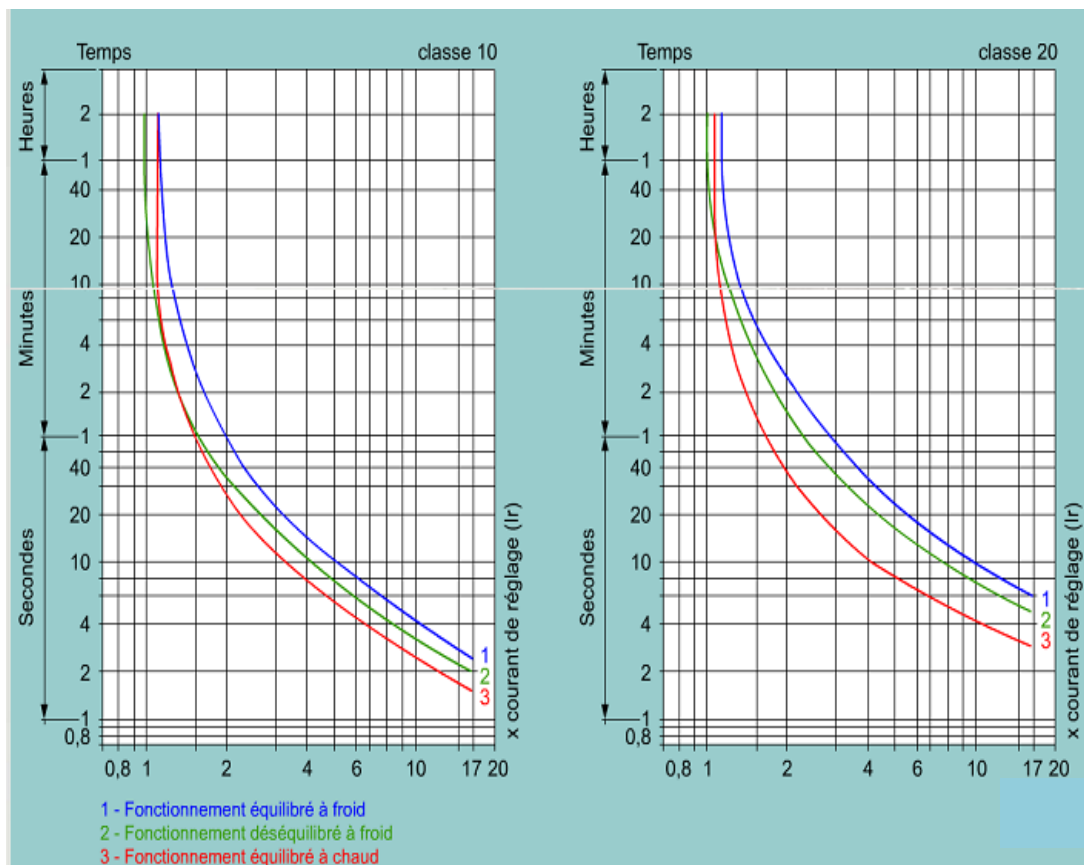


Fig. 19 Courbes de déclenchement

▪ **Classes de déclenchement :**

Pour répondre aux besoins de protection contre les surcharges, la norme définit pour les relais de protection thermique trois classes de déclenchement :

- Classe 10 : temps de démarrage inférieur à 10 s.
- Classe 20 : temps de démarrage inférieur à 20 s.
- Classe 30 : temps de démarrage inférieur à 30 s.

	1.05 Ir	1.2 Ir	1.5 Ir	7.2 Ir
Classe	Temps de déclenchement à partir de l'état froid			
10A	>2 h	< 2h	< 2 min	$2s \leq t \leq 10s$
10	>2 h	< 2h	< 4 min	$2s \leq t \leq 10s$
20	>2 h	< 2h	< 8 min	$2s \leq t \leq 20s$
30	>2 h	< 2h	< 12 min	$2s \leq t \leq 30s$

▪ **Caractéristiques principales :**

- Le calibre du relais est à choisir en fonction du courant nominal du moteur et du temps de démarrage calculé.
- Intensité maximale supportée par les pôles de puissance
- Intensité de réglage ($I_r = I_n$) le déclenchement réel se fait de 1.15 à 1.2 I_n .
- Nombre de contact auxiliaires et type (NC, NO).
- Réarmement manuel ou automatique.
- Différentiel ou compensé en température.

Les constructeurs chez TELEMCHANIQUE ont élaborés un tableau déterminant le choix des relais thermiques selon les zones de réglage.

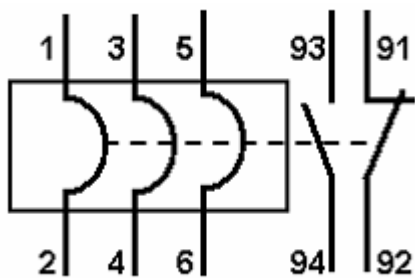
Zone de réglage du relais	Fusibles à associer			Pour montage sous contacteur LC1, LP1	Référence	Masse
	aM	gl-gL	BS88			
A	A	A	A			kg
0,10 - 0,16	0,25	2	-	D09-D32	LR2 D13 01	0,165
0,16 - 0,25	0,5	2	-	D09-D32	LR2 D13 02	0,165
0,25 - 0,40	1	2	-	D09-D32	LR2 D13 03	0,165
0,40 - 0,63	1	2	-	D09-D32	LR2 D13 04	0,165
0,63 - 1	2	4	-	D09-D32	LR2 D13 05	0,165
1 - 1,6	2	4	6	D09-D32	LR2 D13 06	0,165
1,25 - 2	4	6	6	D09-D32	LR2 D13 X6	0,165
1,6 - 2,5	4	6	10	D09-D32	LR2 D13 07	0,165
2,5 - 4	6	10	16	D09-D32	LR2 D13 08	0,165
4 - 6	8	16	16	D09-D32	LR2 D13 10	0,165
5,5 - 8	12	20	20	D09-D32	LR2 D13 12	0,165
7 - 10	12	20	20	D09-D32	LR2 D13 14	0,165
9 - 13	16	25	25	D12-D32	LR2 D13 16	0,165
12 - 18	20	35	32	D18-D32	LR2 D13 21	0,165
17 - 25	25	50	50	D25-D32	LR2 D13 22	0,165
23 - 32	40	63	63	D25-D32	LR2 D23 53	0,320
28 - 36	40	80	80	D32	LR2 D23 55	0,320
17 - 25	25	50	50	D40-D95	LR2 D33 22	0,510
23 - 32	40	63	63	D40-D95	LR2 D33 53	0,510
30 - 40	40	100	80	D40-D95	LR2 D33 55	0,510
37 - 50	63	100	100	D50-D95	LR2 D33 57	0,510
48 - 65	63	100	100	D50-D95	LR2 D33 59	0,510
55 - 70	80	125	125	D65-D95	LR2 D33 61	0,510
63 - 80	80	125	125	D80-D95	LR2 D33 63	0,510
80 - 93	100	160	160	D95	LR2 D33 65	0,510

b. Relais Magnétique :▪ **Définition :**

Ce type des relais, s'appels aussi à maximum d'intensités, sont des dispositifs de protection capables de protéger contre les fortes surcharges.

▪ **Rôle :**

Ces relais, sont destinés à protéger contre les surcharges importantes qui réclament une ouverture rapide du contacteur. Ils sont également utilisables pour assurer une protection contre les courts – circuits, sous réserve qu'ils soient associés à un contacteur dont le pouvoir de coupure est assez important.

▪ **Symbole :**

Contacts principales

contacts auxiliaires

▪ **Appellation :** F, F1, F2 etc.▪ **Principe de fonctionnement :**

Le principe de fonctionnement de ce type de relais se base sur le déplacement de l'armature magnétique. En fonctionnement normal, le champ magnétique produit par le bobinage est insuffisant pour attirer l'armature mobile. Lorsque l'intensité atteint en croissant l'intensité de réglage (surintensités importantes ou courts - circuits), le champ magnétique augmente, l'armature magnétique mobile est attirée et ouvre le contact auxiliaire 91-92, ce qui provoque le déclenchement du contacteur. Généralement le courant de réglage est compris entre : $6 I_n \leq I_r \leq 10 I_n$.

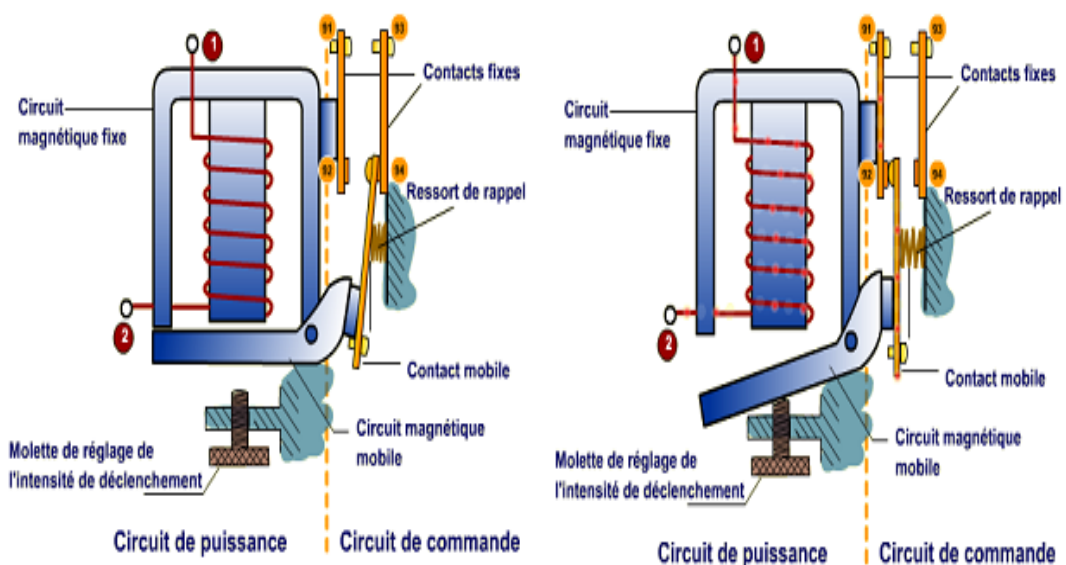
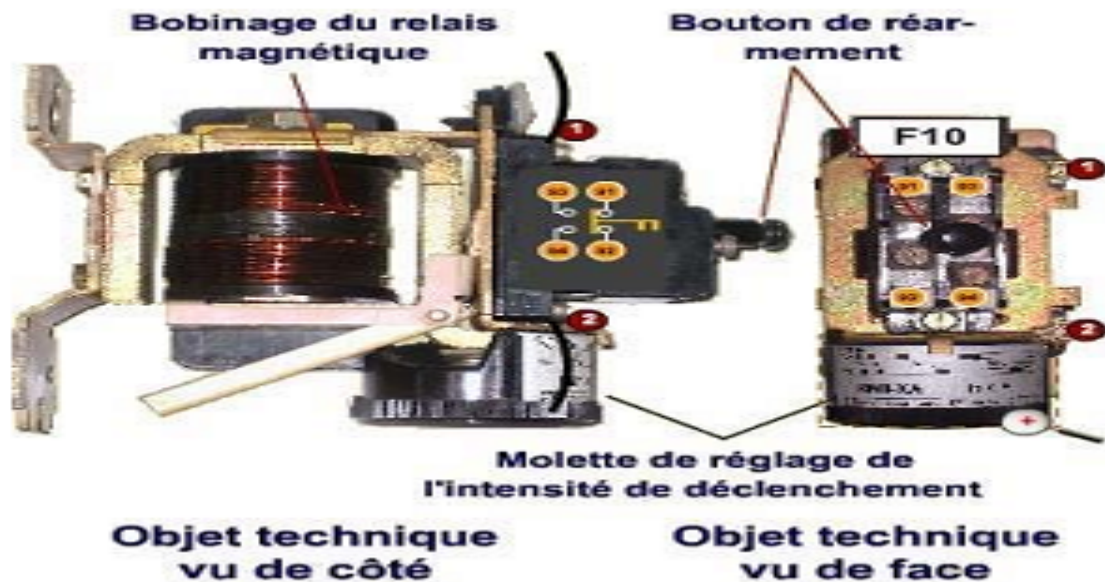


Fig.20 Relais magnétique ayant fonctionné à la suite d'une surintensité

La rigidité de ressort permet de fixer pour quelle valeur du courant se fera la coupure.

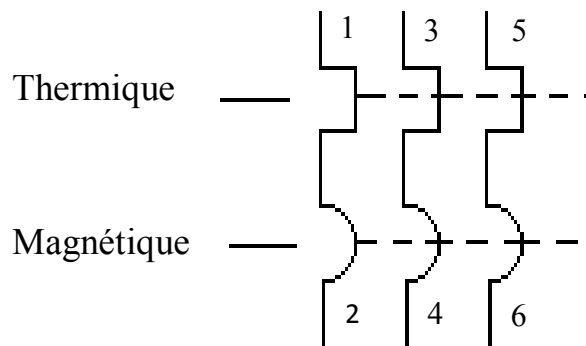
Pour réarmer le relais magnétique, il faut intervenir manuellement.

c. Relais Magnétothermiques :

▪ Définition :

Le relais magnétothermique est destiné à assurer la protection des moteurs contre les surcharges. Son déclenchement est différé pour les faibles surcharges et instantané pour les surintensités importantes. Donc c'est l'association d'un relais thermique et d'un relais magnétique, le premier contre les surcharges faibles et prolongées, le second assurant la protection contre les surintensités brutales, probablement les courts – circuits. Il est de différentes tailles ; unipolaire, bipolaire et tripolaire.

▪ Symbole :



▪ Principe de fonctionnement :

Suivant la nature de l'incident, deux déclenchements sont envisagés : le déclenchement thermique différé et le déclenchement magnétique instantané.

○ Déclenchement thermique différé :

Si le courant dépasse la valeur de réglage, le bilame s'échauffe, se déforme et après un certain temps libère la butée. L'ensemble butée – palette bascule et le bras de levier agissant sur l'arbre de transmission provoque l'ouverture du contact. Le réarmement ne peut s'effectuer que lorsque le bilame est suffisamment refroidi.

○ Déclenchement magnétique instantané :

Si le courant atteint rapidement une valeur élevée avant que le bilame ait eu le temps de se déformer suffisamment pour libérer la butée, l'armature magnétique mobile est attirée et ouvre le contact de commande, ce qui provoque le déclenchement du contacteur et par conséquent le circuit de puissance.

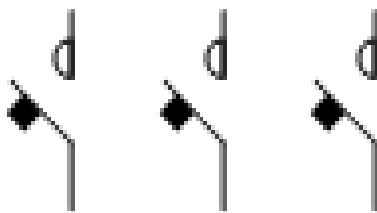
➤ **Les discontacteurs :**

▪ **Définition :**

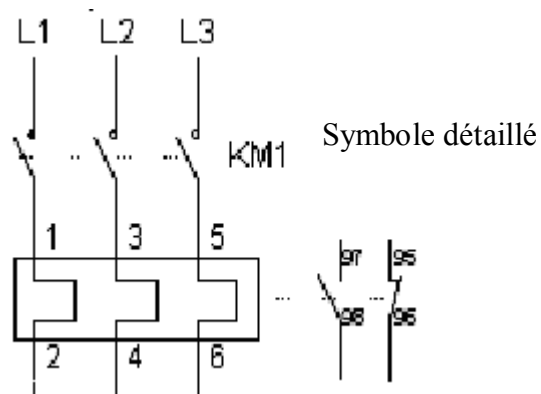
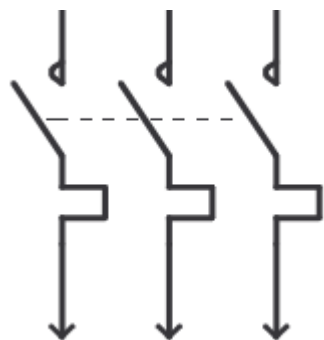
C'est l'association d'un contacteur avec un relais thermique. Dans le circuit de puissance, chaque enroulement chauffant doit être inséré dans chacune des phases ou polarité du récepteur à protéger.

Dans le circuit de commande, le contact de déclenchement du relais doit être raccordé en série dans le circuit de la bobine du contacteur commandant la mise sous tension du récepteur.

▪ **Symbole :**



Symbole simplifié



Symbole détaillé

▪ **Rôle :**

Cette association a un pouvoir de coupure égal à celui du contacteur (10 In). La protection contre les surcharges et contre la marche en monophasé est bien réalisée par le relais thermique compensé en fonction de la température ambiante et muni comme précédemment d'un dispositif de protection contre le déséquilibre de phases.

➤ **Les disjoncteurs :**

▪ **Définition :**

Les disjoncteurs sont des appareils de protection capables à la fois d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales (circuit sans défaut « réaliser office d'interrupteur ») ainsi que dans des conditions anormales déterminées telles que celles des courants de surcharges et de courts – circuits (accomplir fonction disjoncteur) lorsque le courant dépasse largement le courant nominal, ils sont doués d'un pouvoir de coupure.

▪ **Rôle :**

Les pôles de puissance d'un disjoncteur peuvent servir d'interrupteur, ils sont capables de supporter des surintensités et des surtensions. Le disjoncteur est muni aussi d'un système de déclencheur qui provoque son ouverture automatique. Le déclencheur permet l'ouverture des pôles du disjoncteur lors d'un défaut, il est de nature thermique, magnétique ou magnétothermique, il existe également des déclencheurs électroniques. Il subsiste une liaison mécanique entre chaque déclencheur et le système provoquant l'ouverture des pôles principaux. Le déclencheur magnétique a un pouvoir de coupure important capable d'interrompre des courants de court – circuit. Les disjoncteurs ont deux fonctions principales :

- Couper et sectionner : rôle des pôles principaux.
- Protéger contre les courts – circuits et les surcharges : rôle du déclencheur magnétique et du déclencheur thermique.

▪ **Symbole générale :**



▪ **Appellation :** Q, Q1, Q2 etc.

▪ **Caractéristiques fondamentales :**

Les disjoncteurs sont caractérisés par :

- ✓ **Intensité nominale (I_n)** : c'est l'intensité maximum que l'appareil peut supporter dans des conditions déterminées d'échauffement et de fonctionnement (régime permanent). Sa valeur figure dans la désignation de l'appareil (calibre).
- ✓ **Tension nominale (U_n)** : c'est la tension maximale d'utilisation.
- ✓ **Courant de fonctionnement (I_m)** : c'est le courant qui provoque le déclenchement pour les fortes surintensités. Il peut être fixe ou réglable et peut varier entre $1.5 I_n$ et $20 I_n$.
- ✓ **Courant de réglage (I_r)** : c'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur, sans déclenchement. Il peut être réglable de $0.7 I_n$ à I_n pour les déclencheurs thermiques et de $5 I_n$ à $10 I_n$ pour les déclencheurs magnétiques et de $0.4 I_n$ à I_n pour les déclencheurs électroniques.
- ✓ **Pouvoir de coupure (pdc)** : c'est la plus grande intensité de courant de court – circuit (présumé) qu'un disjoncteur peut interrompre sous une tension donnée. Il s'exprime en (KA) généralement supérieur à $30 I_n$.
- ✓ **Pouvoir de limitation (pdl)** : c'est la capacité d'un disjoncteur à ne laisser passer qu'un courant inférieur au courant de court – circuit présumé.
- ✓ **Le nombre de pôles de puissance** : unipolaire (1p), bipolaire (2p), tripolaire (3p) et tétra polaire (4p).
- ✓ **Type de protection** : on distingue deux catégories ; disjoncteur général et disjoncteur divisionnaire (modulaire).
- ✓ **Sélectivité des disjoncteurs** : c'est la coordination des disjoncteurs de telle sorte qu'un défaut survenant en un point quelconque de l'installation, soit éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut et par lui seul.

Le choix permet une sélectivité totale du point de vue des surcharges et des faibles courts – circuits. En revanche, la sélectivité n'est que partielle pour les courts – circuits élevés.

Soit le schéma ci-contre :

- En cas de défaut sur le départ 3 :

Il y a sélectivité si seul le disjoncteur B

S'ouvre (élimination du défaut).

- Dans le cas où le défaut sur 3 : provoque

L'ouverture des disjoncteurs B et de A.

Il n'y a plus sélectivité.

Deux paramètres classiques intervenant dans le choix de la sélectivité, il s'agit de :

- Les valeurs des courants de déclenchement : Sélectivité ampèremétrique.
- Le temps de déclenchement : Sélectivité chronométrique.

Il existe également la sélectivité logique.

❖ Sélectivité ampèremétrique :

Cette sélectivité est liée aux réglages des seuils de déclenchement I_m des déclencheurs magnétiques, sur les disjoncteurs amont et aval.

La capacité des disjoncteurs à rendre la surface perturbée la plus petite possible, donc à assurer une bonne continuité de service

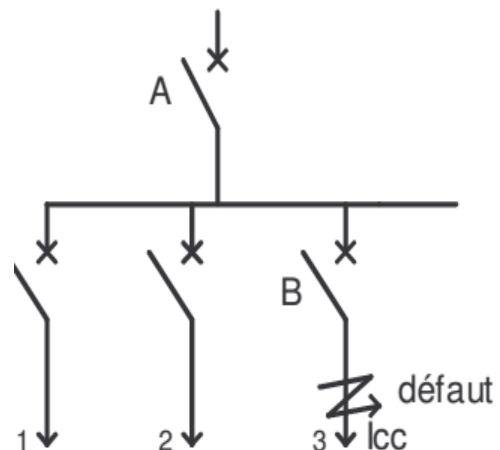
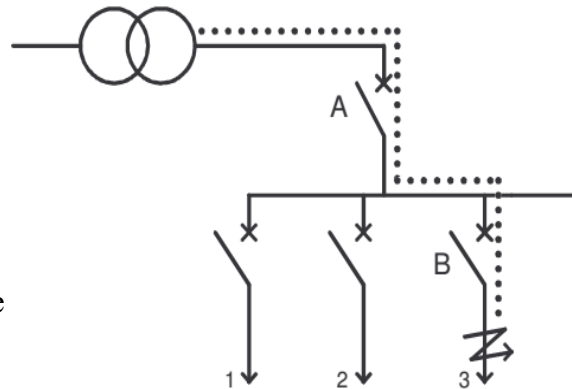
Si le court – circuit est localisé sur le départ 3

Soit I_{ccB} : courant de court – circuit maximal possible en aval du disjoncteur B.

Deux possibilités qui peuvent se présenter :

Suivant la valeur de I_{ccB} par rapport le seuil de

réglage I_m des disjoncteurs.



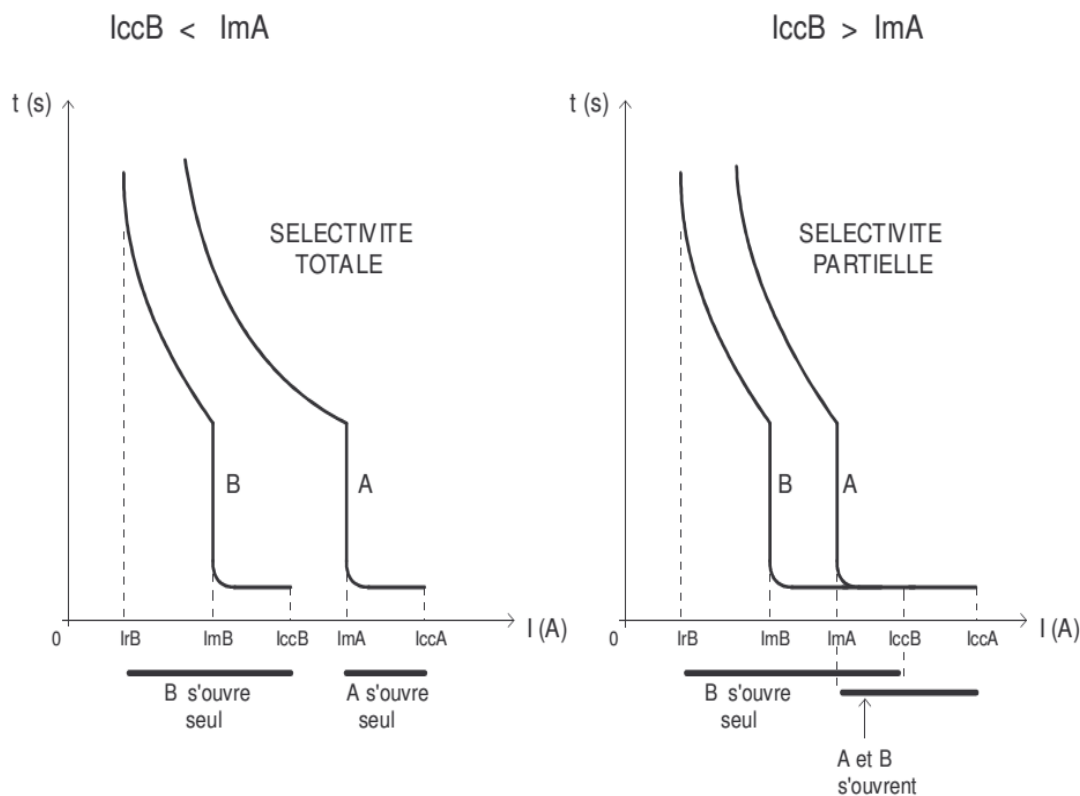


Fig.21 Sélectivité ampèremétrique entre deux disjoncteurs

La sélectivité est souvent difficile à réaliser, car l'écart entre I_{ccB} et I_{ccA} est généralement insuffisant. Dans de ce cas, la sélectivité est partielle et limitée à l'intensité de réglage I_{mA} du déclencheur magnétique du disjoncteur amont.

❖ Sélectivité chronométrique :

Cette sélectivité consiste à retarder le déclenchement du disjoncteur amont par rapport à celui du disjoncteur aval. Le disjoncteur amont, est appelé disjoncteur « sélectif ». Ce dernier est muni d'une temporisation au déclenchement, réglables à plusieurs crans.

On dit qu'il y a sélectivité chronométrique totale, si le temps total de coupure du disjoncteur aval B est inférieur au temps de non déclenchement du disjoncteur amont A.

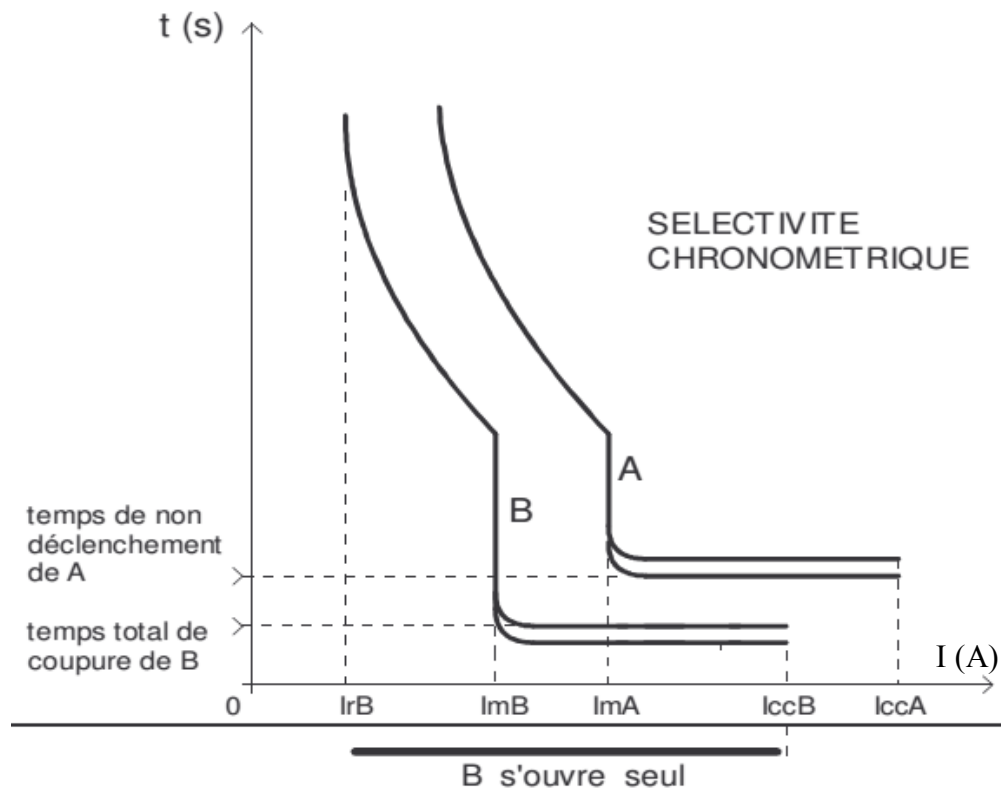


Fig.22 Sélectivité chronométrique entre deux disjoncteurs

❖ Sélectivité logique :

Chaque disjoncteur est associé à un relais logique qui reçoit les informations « défauts » de capteurs. Lorsque le relais est sollicité par un défaut, il envoie :

- Un ordre d'attente à la temporisation propre du relais amont (ordre d'augmentation de la temporisation propre du relais amont).
- Un ordre de déclenchement au disjoncteur auquel il est associé (sauf s'il a lui-même reçu un ordre logique d'attente de l'étage aval).

Cette sélectivité peut être utilisée sur l'ensemble des réseaux, des principaux Départs Basse Tension (DBT) jusqu'au disjoncteur Générale Basse Tension (GBT).

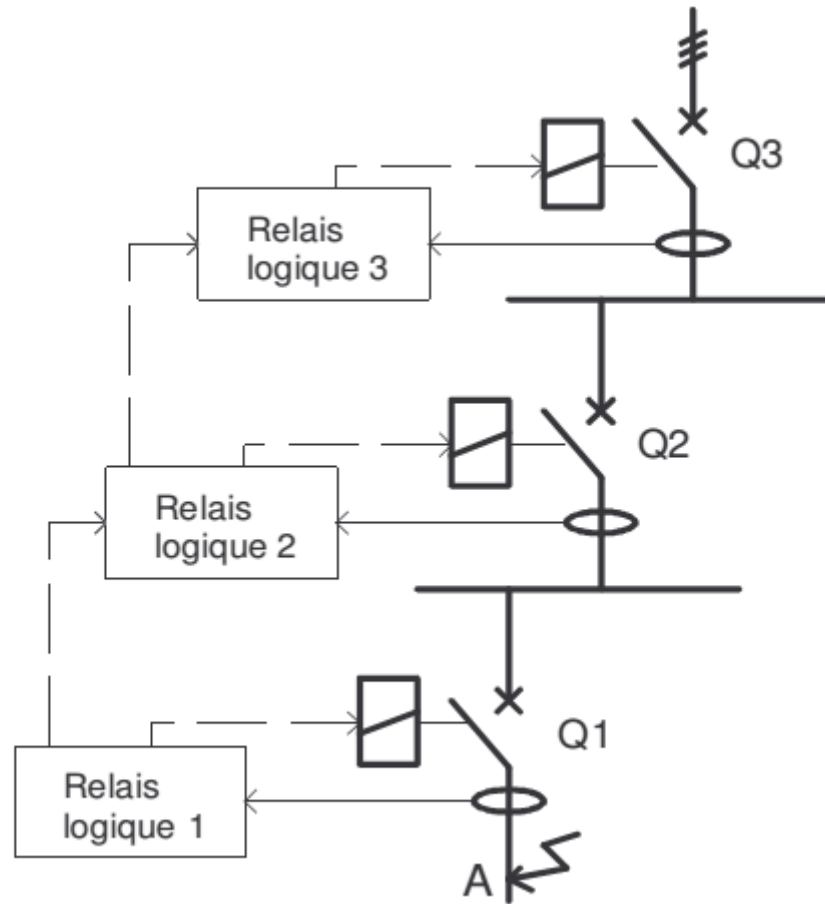


Fig.23 Sélectivité logique entre deux disjoncteurs

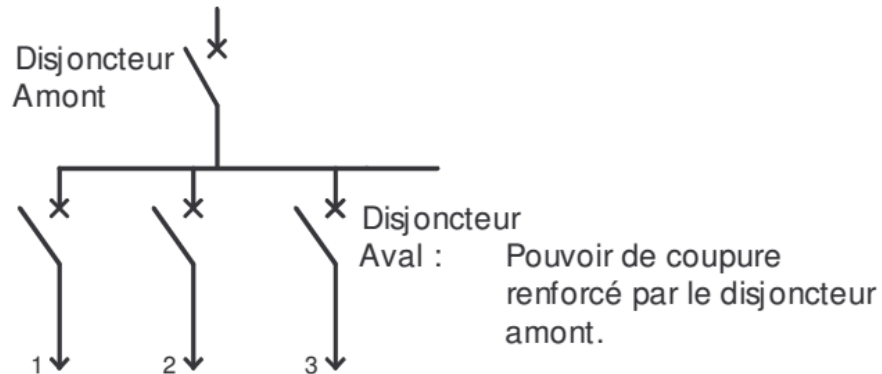
Lorsqu'un défaut est survenant au point A, ce défaut sera vu par les trois disjoncteurs en descente :

- Le relais 1 met en attente le relais 2 et déclenche le disjoncteur Q1.
- Le relais 2 met en attente le relais 3.

✓ Filiation des disjoncteurs :

La filiation est une technique d'association qui permet d'utiliser le pouvoir de limitation des disjoncteurs, de façon à installer en aval des disjoncteurs à pouvoir de coupure réduit, afin de diminuer le coût de l'installation. La filiation des disjoncteurs offre la possibilité d'installer en aval un disjoncteur moins performant, le disjoncteur amont ayant une fonction de barrière pour les forts courants de court – circuit, il peut également renforcer le pouvoir de coupure d'un

disjoncteur aval. La recherche d'une filiation entre deux disjoncteurs amont-aval, ne permet plus d'avoir une sélectivité totale entre ceux-ci.



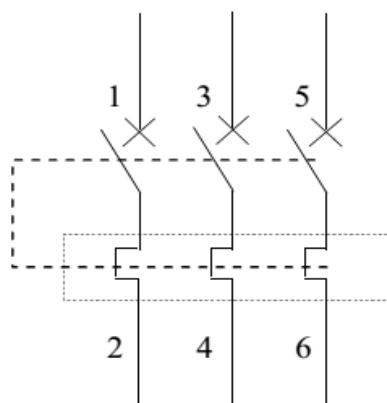
▪ **Différents types des disjoncteurs :**

On distingue :

- ✓ Les disjoncteurs thermiques
- ✓ Les disjoncteurs magnétiques
- ✓ Les disjoncteurs magnétothermiques
- ✓ Les disjoncteurs différentiels

a. **Disjoncteur thermique :**

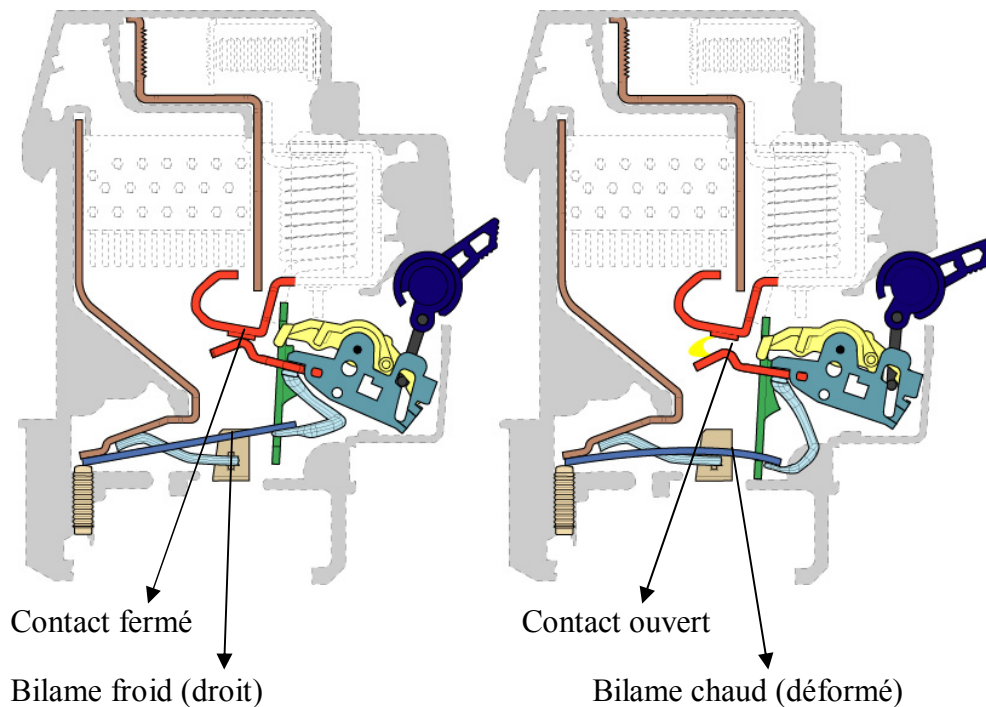
▪ **Symbole :**



- **Fonction :** protection contre les surcharges dues à une anomalie du réseau (surtension) ou à une cause mécanique (couple résistant excessif au démarrage d'un moteur asynchrone par exemple).

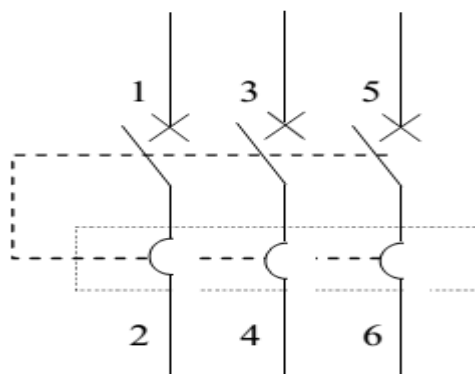
▪ **Principe de fonctionnement :**

Les déclencheurs thermiques détectent les faibles surcharges, à l'aide d'un élément bimétalliques, appelé bilame qui se déforme (se tordre) par suite d'échauffement provoqué par les surcharges. Leur déclenchement entraîne l'ouverture du disjoncteur, éliminant ainsi le défaut.



b. **Disjoncteur magnétique :**

▪ **Symbole :**



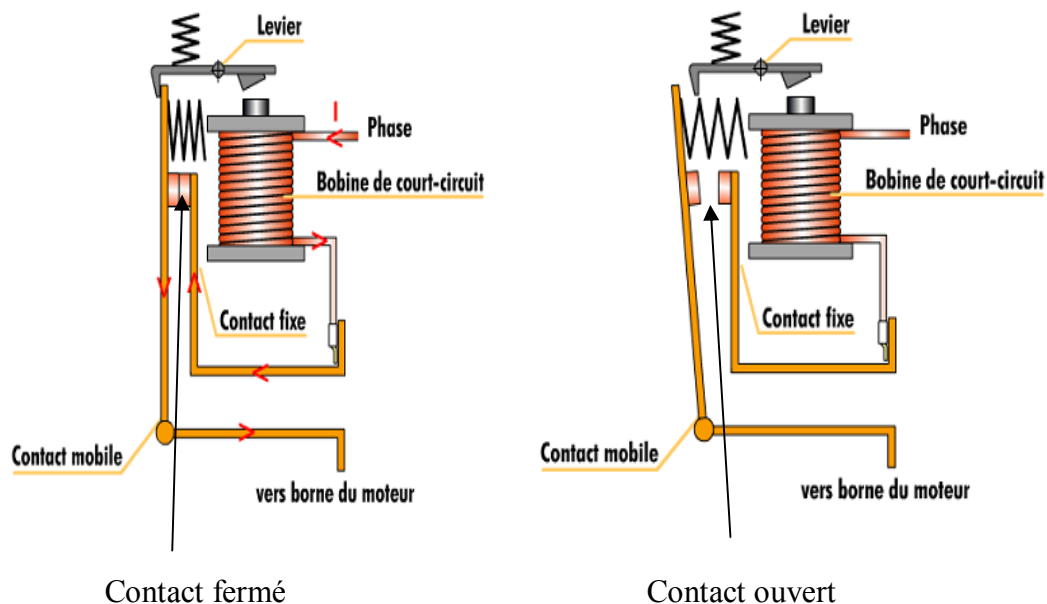
▪ **Fonction :** protection contre les courts – circuits :

- ✓ Court – circuit impédant $10 \leq I_{cc} \leq 50 \text{ In}$, souvent provoqué par la détérioration des isolants des conducteurs (bobinage moteur).
- ✓ Court – circuit $I_{cc} \geq 50 \text{ In}$, provoqué par exemple par une erreur de connexion au cours d'une opération de maintenance.

▪ Principe de fonctionnement :

Les déclencheurs magnétiques détectent et protègent contre les fortes surcharges et courant de court – circuit. Leur déclenchement provoqué par le déplacement de l'armature magnétique fixée sur le contact mobile entraine l'ouverture du disjoncteur, éliminant ainsi le défaut. En fonctionnement normal, le courant qui circule dans la bobine du circuit magnétique n'est pas suffisant pour que le champ magnétique qu'il crée attire l'armature. Le circuit électrique est donc fermé.

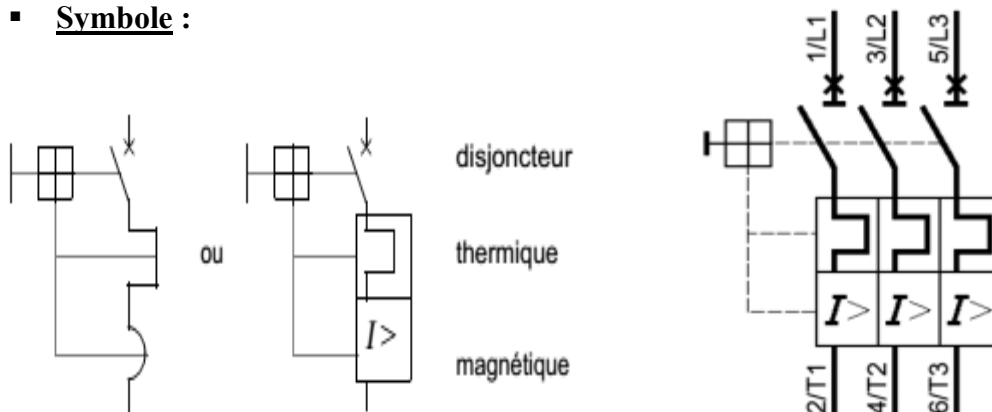
Lors d'un court – circuit ce courant va augmenter très brutalement, et par conséquent va créer un champ important suffisant d'attirer l'armature magnétique ce qui provoque l'ouverture du circuit électrique.



c. Disjoncteur magnétothermique :

C'est l'association d'un disjoncteur thermique et d'un disjoncteur magnétique

▪ Symbole :

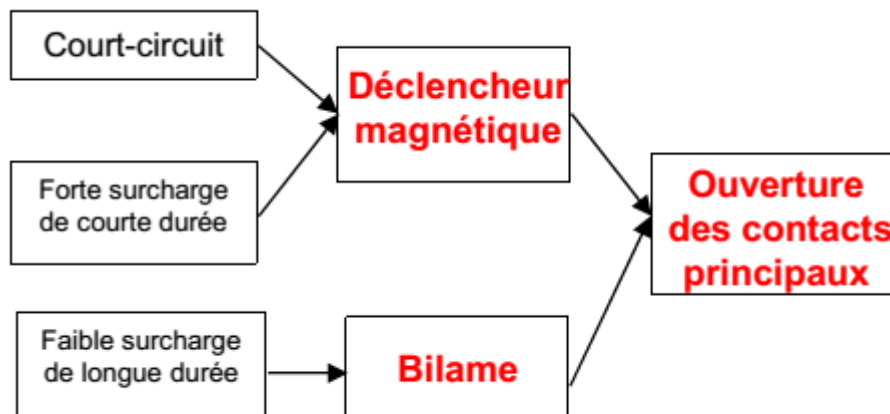


▪ **Fonction :**

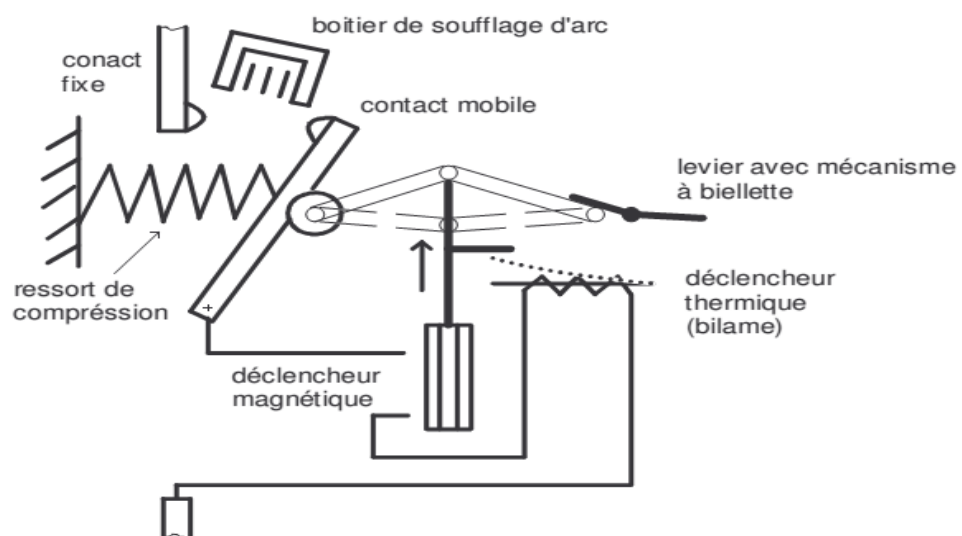
Le disjoncteur magnétothermique assure la protection des bien contre les courts – circuits, les fortes surcharges de courte durée et les faibles surcharges de longue durée

▪ **Principe de fonctionnement :**

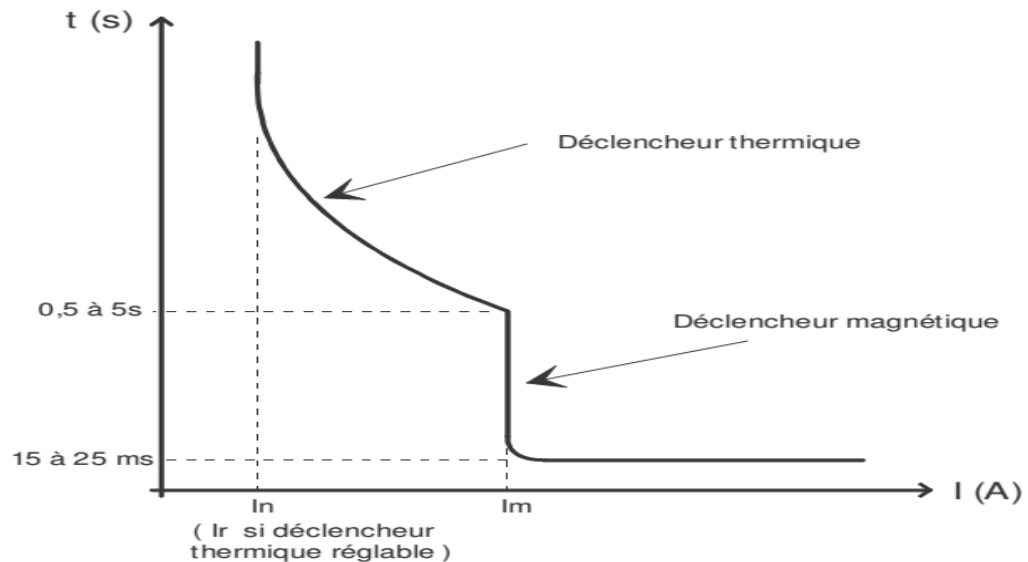
Les disjoncteurs magnétothermiques possèdent un déclencheur magnétique par phase et un bilame par phase. En cas de forte surintensité ou de court – circuit (courant très supérieur au courant de réglage I_r), le déclencheur magnétique agit sur un système mécanique qui ouvre les pôles principaux ; en cas de faible surcharge (courant légèrement supérieur à I_r) de longue durée, le bilame agit sur le même système mécanique.



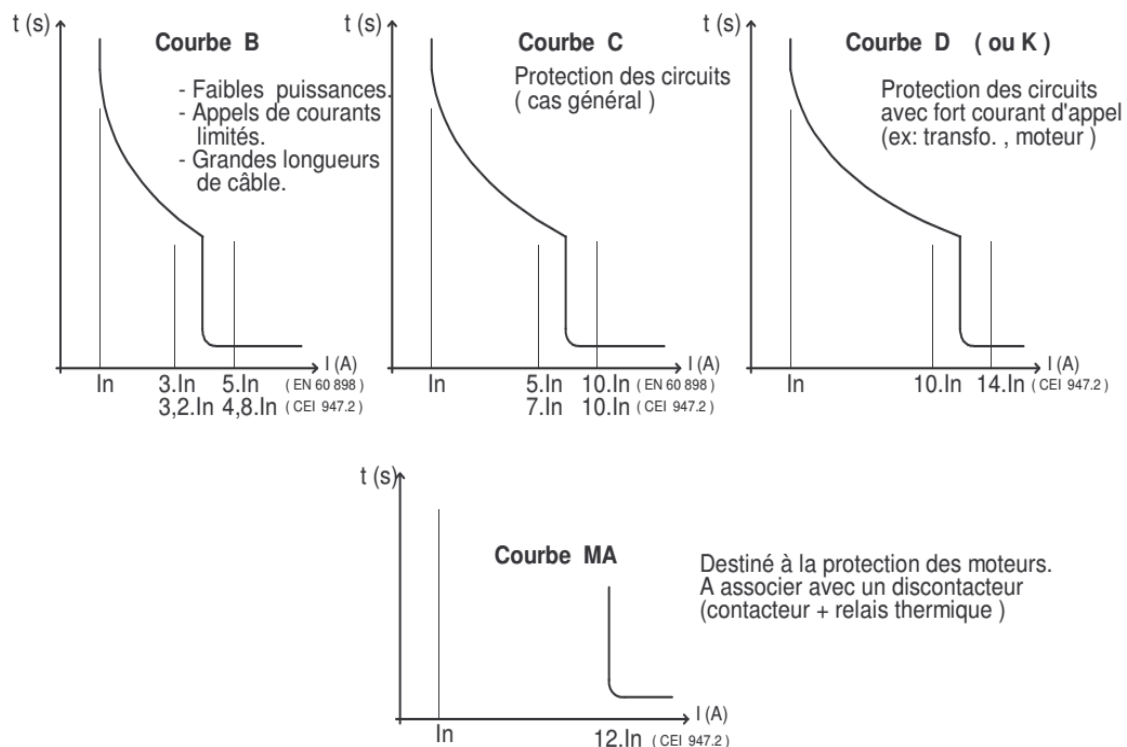
▪ **Structure générale d'un disjoncteur magnétothermique :**



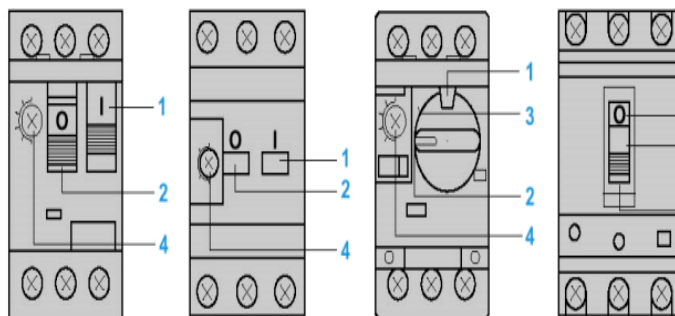
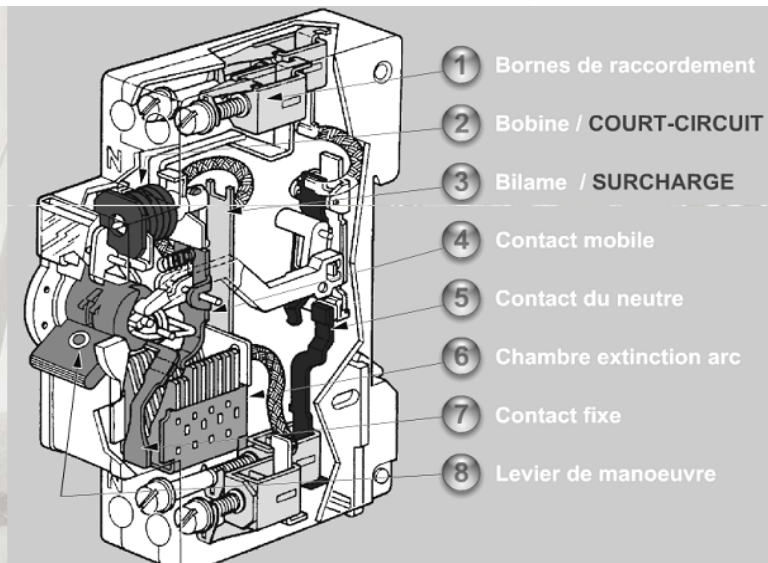
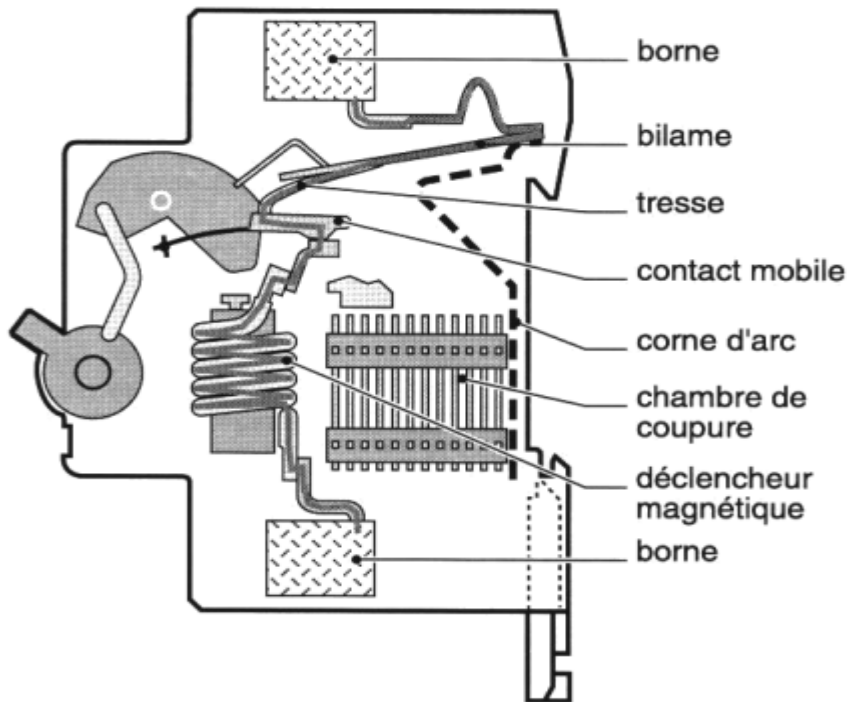
- **Courbe de fonctionnement** : c'est la superposition des courbes de déclenchement des déclencheurs thermiques (bilame) et des courbes de déclenchement des déclencheurs électromagnétiques (électro-aimant). Elle représente le temps de déclenchement du disjoncteur magnétothermique en fonction des multiples de l'intensité de réglage I_r .



Les courbes de déclenchement normalisées types : B, C, D et MA suivant les normes de fabrication (CEI 947-2 et EN 60 898), sont données comme suit :



▪ **Constitution:**

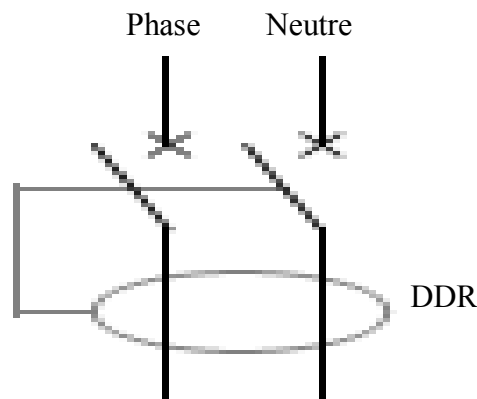


- 1 : Enclenchement manuel par poussoir, bouton rotatif ou levier basculant
 2 : Déclenchement manuel
 3 : Position de déclenchement automatique « Trip » du bouton rotatif ou du levier
 4 : Réglage du déclencheur thermique (bilame) par bouton gradué

d. Disjoncteur différentiel :

C'est l'association de l'interrupteur différentiel et le disjoncteur magnétothermique. Le dispositif de détection de défaut différentiel résiduel (DDR), est essentiellement caractérisé par sa sensibilité $I_{\Delta n}$, qui dépend du lieu d'utilisation « industriel, domestique, etc. on distingue les classes suivants :

- ✓ Les DDR à haute sensibilité : $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$.
- ✓ Les DDR à moyenne sensibilité : $I_{\Delta n}$ varie de ; 100 mA, 300 mA, 500 mA à 1A.
- ✓ Les DDR à basse sensibilité : $I_{\Delta n}$ varie de ; 3mA, 5mA, 10mA à 20mA.

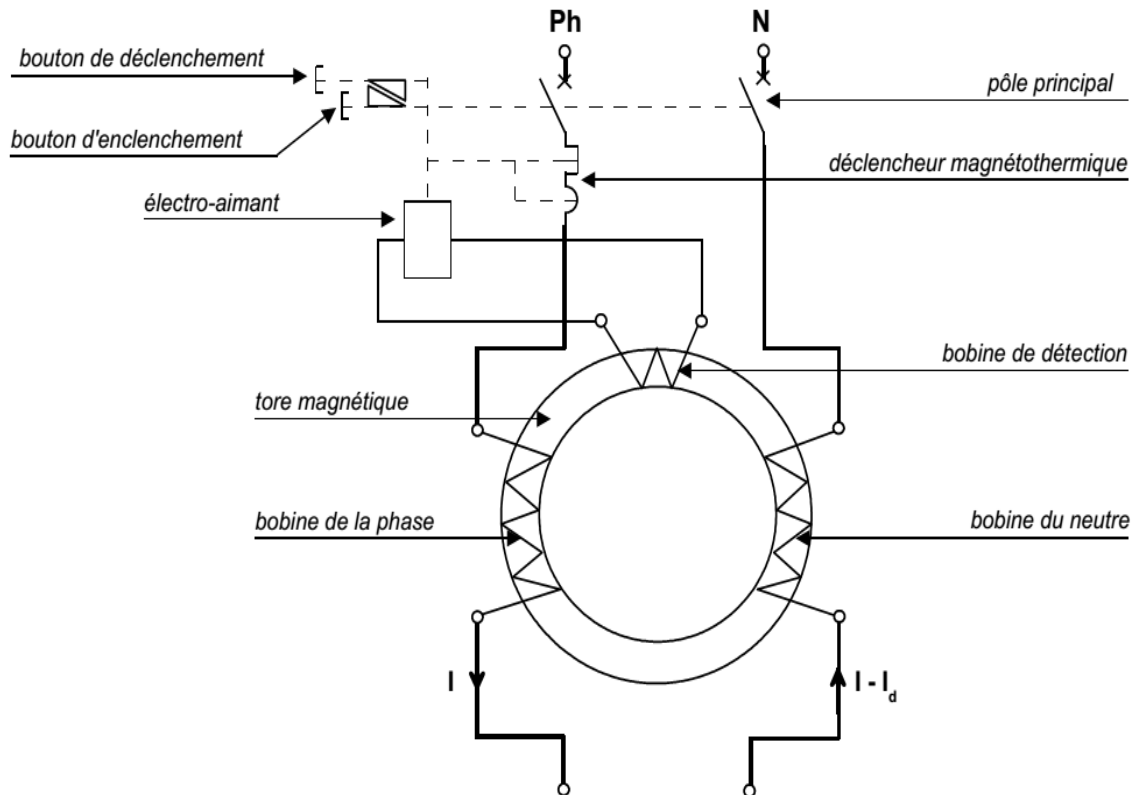
▪ Symbole :**▪ Fonction :**

Protection des personnes en régime TT contre les contacts indirects (risques d'électrisation), il remplit également toutes les fonctions du disjoncteur magnétothermique.

▪ Principe de fonctionnement :

Le dispositif différentiel est composé de trois bobines placées sur un circuit magnétique appelé tore :

- ✓ La bobine de phase correspondant au courant entrant I_e .
- ✓ La bobine de neutre correspondant au courant sortant I_s .
- ✓ La bobine de détection ou de déclenchement correspondant au courant de fuite I_f .

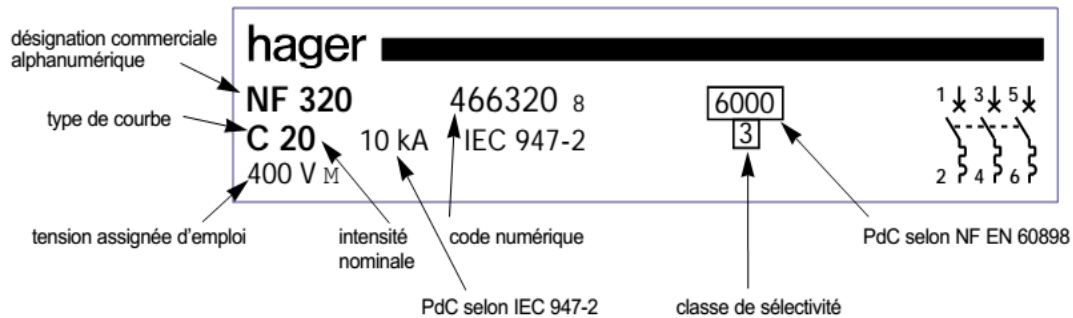


Lors d'un fonctionnement normal, le courant circulant dans la phase est égal au courant circulant dans le neutre. Les bobines de phase et de neutre étant montées en sens contraire, le flux engendré par les deux bobines est nul dans le tore et la bobine de déclenchement ne détecte aucun flux. Donc en fonctionnement normal, on doit avoir :

- En monophasé : $I_{ph1} + I_n = 0$
- En triphasé sans neutre : $I_{ph1} + I_{ph2} + I_{ph3} = 0$
- En triphasé avec neutre : $I_{ph1} + I_{ph2} + I_{ph3} + I_n = 0$

Lors d'un défaut de fuite à la terre (cas d'une personne en contact indirect avec une carcasse métallique sous tension), une partie du courant de phase est dévié par la terre. La totalité du courant de phase ne circule plus dans la bobine de neutre, donc les deux courants ($I_{ph} + I_n \neq 0$) ne sont plus égaux. Il se crée alors un déséquilibre au niveau du tore, ce qui permet d'alimenter l'électro-aimant par le flux détecté par la bobine de déclenchement. Cette dernière donne alors l'ordre d'ouvrir le circuit de déclenchement et par conséquent l'ouverture des pôles de puissance.

▪ **Exemple des données techniques d'un disjoncteur :**



▪ **Classification et choix des disjoncteurs :**

Il existe trois types des disjoncteurs :

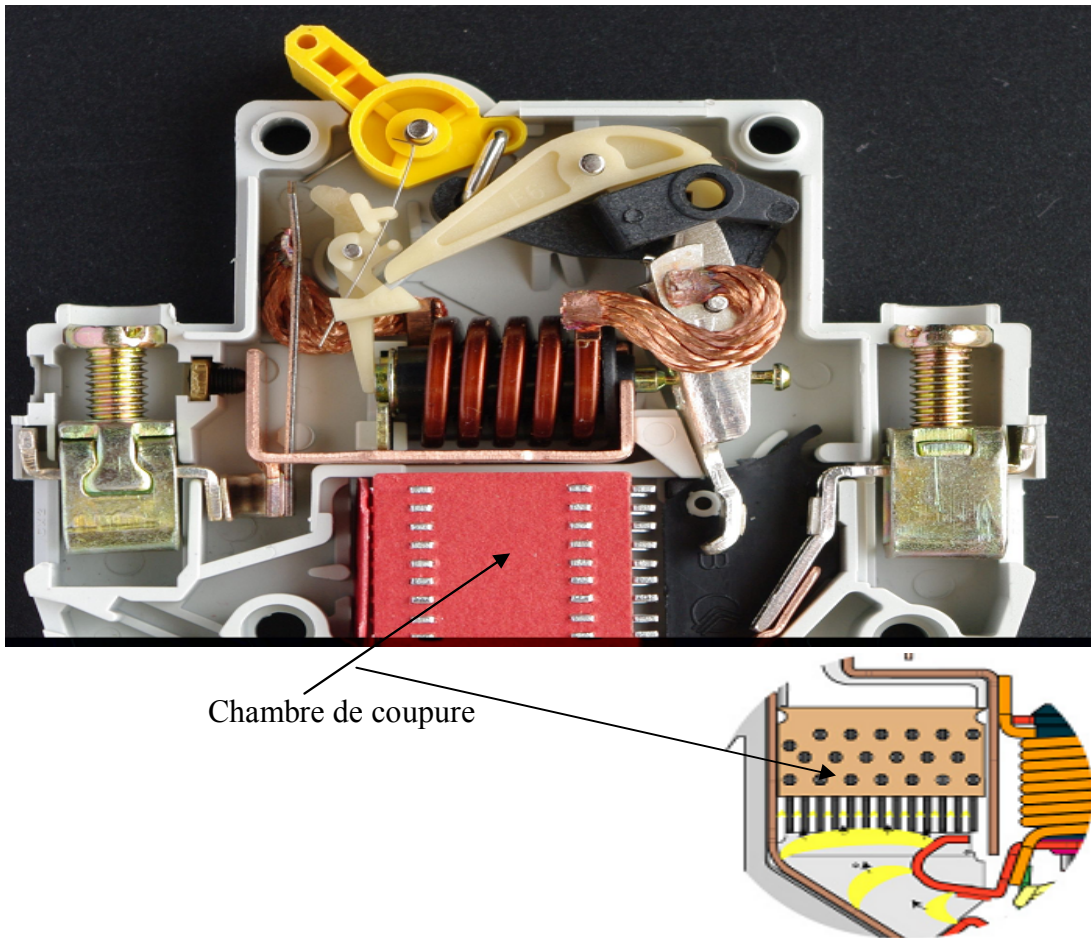
- les disjoncteurs divisionnaires ; calibres (10-15-20-25-32A).
- les disjoncteurs de distributions basses tensions :
 - disjoncteurs sous boîtier moulé ; calibres (de 20A à 1250A).
 - disjoncteurs sur châssis métallique ; calibres (de 800A à 6300A).
- les disjoncteurs moyennes (MT) et hautes tension (HT).

Le choix d'un disjoncteur s'effectue en fonction :

- De la norme de l'installation (domestique, industrielle, etc.).
- Des normes produites.
- Des caractéristiques du réseau (tension, fréquence).
- De l'environnement (type de local, température, section et nature des câbles en aval).
- Des impératifs d'exploitation (sélectivité, auxiliaires de commande, etc.).

▪ **Technique d'extinction d'arc dans la chambre de coupure :**

Le rôle de la chambre de coupure est d'attirer et d'éteindre l'arc lors d'un court – circuit qui se produit entre les contacts pendant la coupure. 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.



Chambre de coupure

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

- ✓ D'élever sa vitesse de déplacement.
- ✓ De guider sa trajectoire.
- ✓ De l'allonger.

De par leur constitution et du fait de l'augmentation de température, les joues latérales libèrent un gaz qui contribue à la déionisation de l'air. Puis, pénétrant dans les languettes d'acier cuivré, l'arc est divisé en plusieurs arcs élémentaires. La déionisation de l'air à l'intérieur de la chambre est également obtenue par refroidissement et évacuation de l'air ionisé hors du produit.

Pour cela, les constructeurs utilisent la masse des languettes et l'échappement vers l'extérieur, sur le haut du produit. Plusieurs techniques (moyennes) utilisées pour étouffer l'arc dans les disjoncteurs, on cite : le gaz SF₆, air comprimé, huile, etc.

VI. Elaboration des schémas électriques :**▪ Définition :**

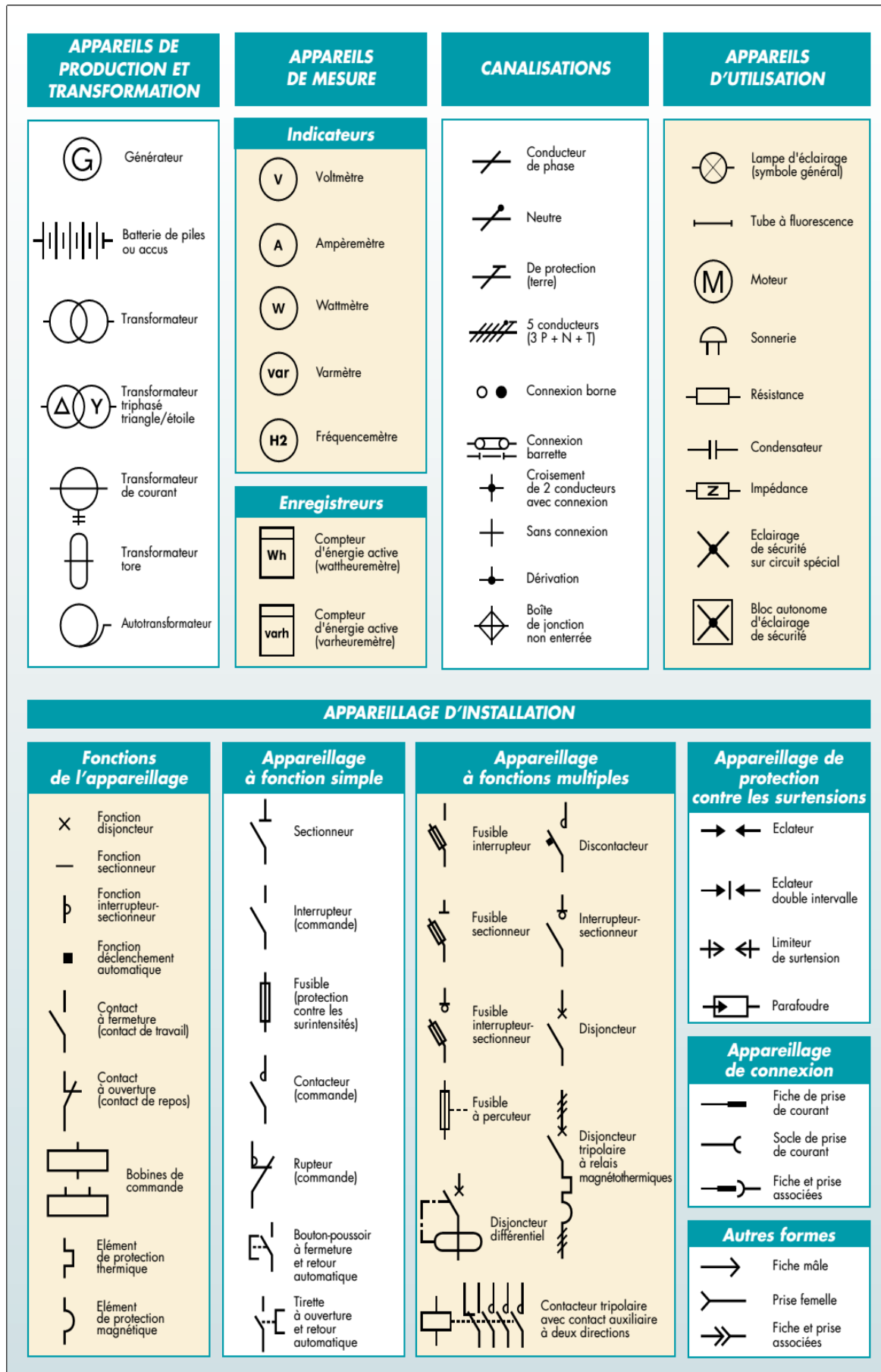
Le schéma électrique vise à représenter au mieux le circuit électrique grâce à des symboles normalisés, la normalisation existe à l'échelon international dont l'objectif est de parvenir à un langage commun des électriciens qui facilite l'écriture, la lecture et la compréhension des schémas électriques. La normalisation des symboles permet également de lire un schéma électrique plus rapidement par n'importe quel technicien. Le but principal d'un schéma électrique est :

- D'expliquer le fonctionnement de l'équipement.
- De fournir les bases d'établissement et de réalisation des installations.
- De faciliter la mise en service.
- De faciliter la maintenance et les réparations plus rapidement.

▪ Symboles et normalisations:

Pour représenter un circuit électrique, l'emploi d'un schéma et de symboles normalisés s'avère très pratique. Le tableau ci-après a pour objet de faciliter la réalisation de schémas d'installations électriques. Ces symboles sont ceux qui ont été adoptés sur le plan international. Ils sont destinés à définir l'implantation des équipements électriques non seulement sur le plan architectural de maison, logement et autres bâtiment domestique mais également dans la construction des installations industrielles. Il est clair que l'installation électrique, doit faire l'objet d'un schéma ou d'un tableau indiquant notamment :

- ✓ La nature et la composition des circuits (points d'utilisation desservis, nombre et section des conducteurs, nature des canalisations, etc.).
- ✓ Les caractéristiques des dispositifs assurant les fonctions de protection, de séparation, de commande, etc.



▪ **Classification des schémas électriques :**

On peut classer les schémas électriques de plusieurs façons (schéma domestique, industriel, simple, complexe, etc.), mais la classification plus courante est celle déterminée selon deux termes :

➤ **Selon l'objectif envisagé:** exemples ;

- ✓ Schéma de principe.
- ✓ Schéma de fonction.
- ✓ Schéma de réalisation.

➤ **Selon le mode de représentation:** on s'intéresse au trois facteurs.

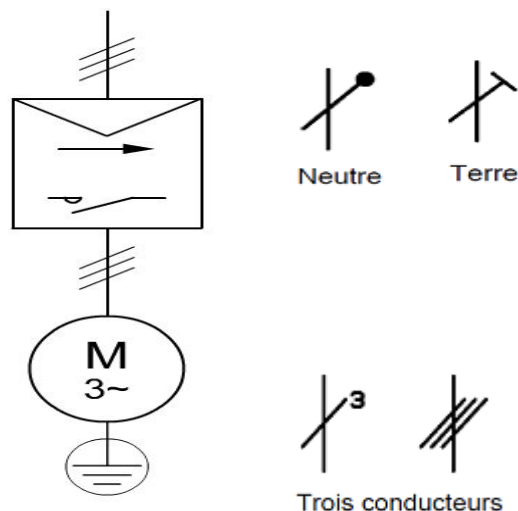
- ✓ Nombre de conducteurs.
- ✓ Emplacement des symboles.
- ✓ Représentation topographique.

1- **Classification selon le nombre de conducteurs :**

a) **Représentation unifilaire :**

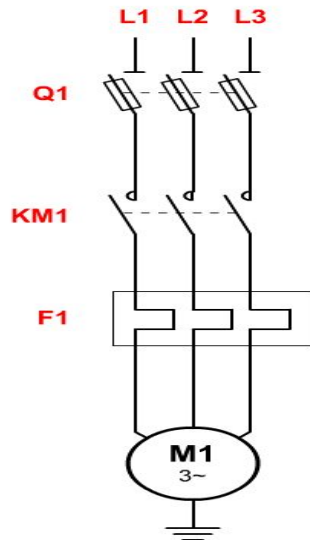
Consiste à représenter deux ou plusieurs conducteurs par un trait unique.

Exemple : démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à cage un seul sens de marche.

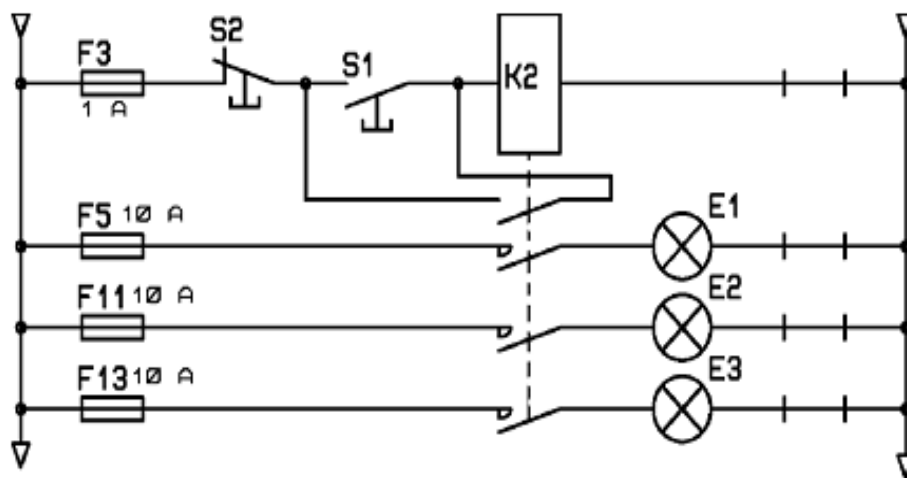


b) Représentation multifilaire :

Chaque conducteur est représenté par un trait individuel. On prend même exemple, démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à cage un seul sens de marche.

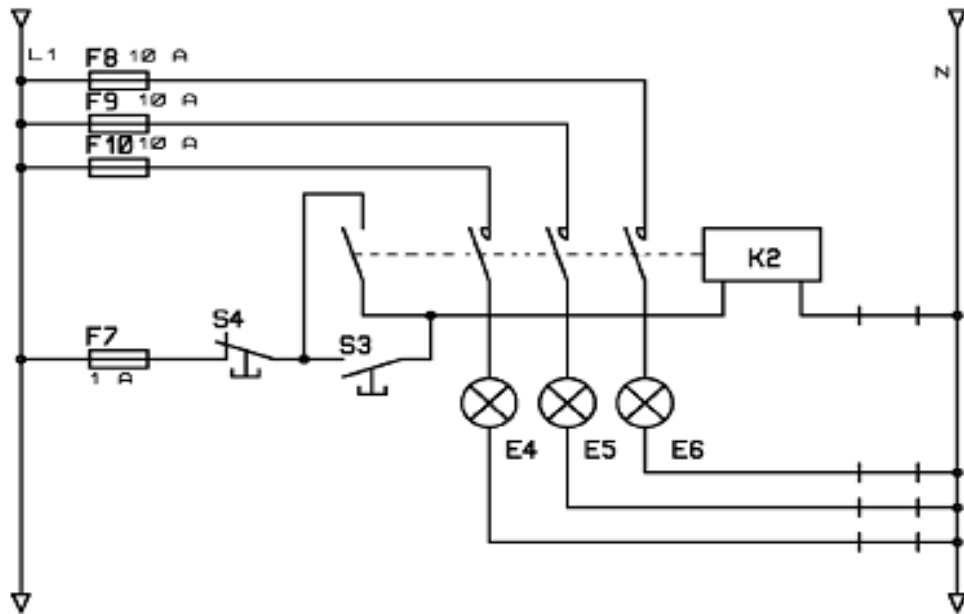
2- Classification selon l'emplacement des symboles:a) Représentation assemblée :

Les symboles des éléments d'un appareil sont représentés juxtaposés sur le schéma.

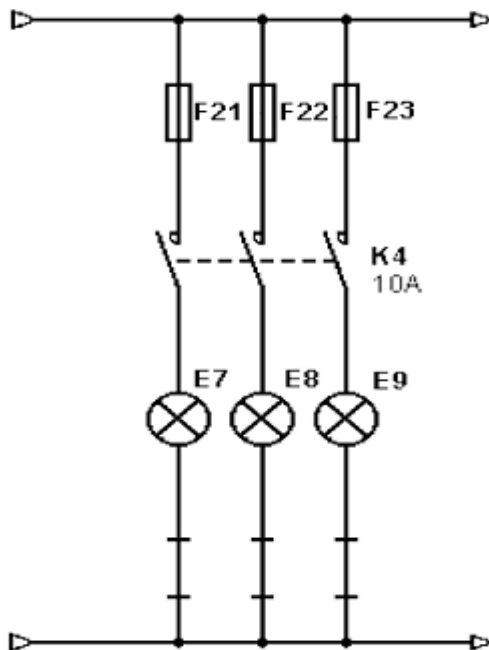


b) Représentation rangée :

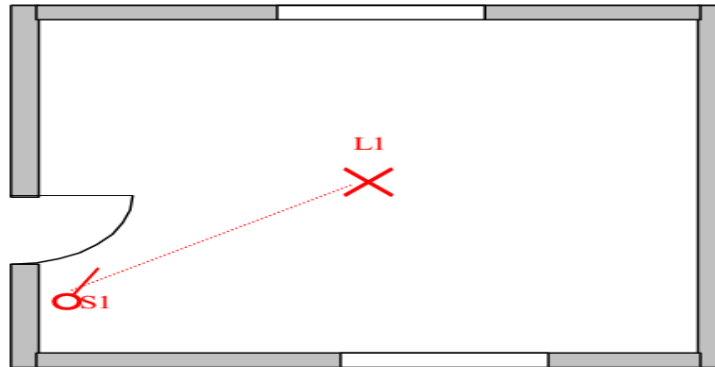
Les symboles des éléments d'un appareil sont disposés de façon à pouvoir représenter simplement les liaisons mécaniques.

c) Représentation développée :

Les symboles des éléments sont séparés et disposés pour suivre facilement le tracé



- 3- **Classification selon représentation topographique:** L'emplacement des symboles rappelle la disposition topographique des matériels correspondants : schémas de réalisation, schémas architecturaux (d'implantation) et schémas de réseaux.

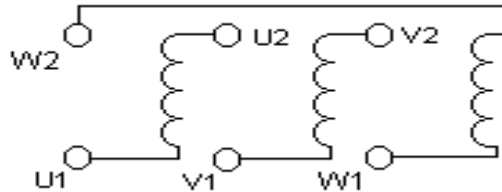


- **Désignations:** La désignation de l'appareillage permette d'exprimer les caractères alphabétiques du type de moyen d'exploitation.

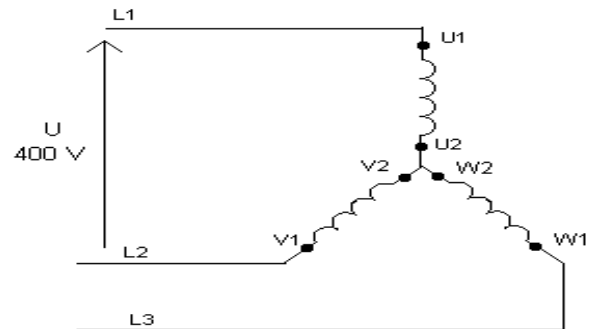
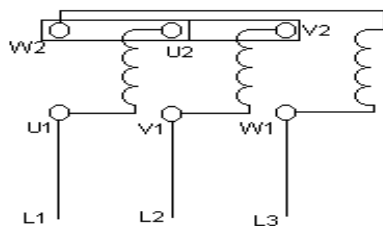
Carac-tères	Moyen d'exploitation	Exemples
A	Modules	Amplificateurs, combinaisons d'appareils
B	Convertisseurs de grandeurs non électr. en grandeurs électr. et inversement	Convertisseur de mesure, synchro-transmetteur, capteur angulaire
C	Condensateurs	Condensateurs de compensation, déparasitage, démarrage
D	Dispositifs de temporisation et de mémorisation, éléments binaires	Lignes de retard, éléments bistables et monostables, mémoire à tores, registres
E	Divers	Eclairage, chauffage ainsi que dispositifs qui ne font pas partie du tableau
F	Dispositifs de protection	Sécurités, déclencheurs, verrouillages
G	Générateurs, alimentations électriques	Batterie, blocs secteurs, oscillateurs
H	Dispositifs de signalisation	Signalisations lumineuses, signalisations acoustiques
K	Relais, contacteurs	Relais temporisés, contacteurs principaux et auxiliaires
L	Inductances	Ballasts inductifs, bobines d'allumage
M	Moteurs	Moteurs à courant alternatif, triphasé, continu
P	Appareils de mesure, dispositifs de test	Dispositifs de mesure afficheurs, compteurs
Q	Appareils de commutation à courant fort	Sectionneurs, sectionneurs de puissance, interr. principaux
R	Résistances	Résistances fixes et réglables, shunts, thermistances, etc.
S	Interrupteurs auxiliaires, sélecteurs	Touche pression, interr. de commande, commutateur rotatif
T	Transformateurs	Convertisseurs de courant et de tension, transformateurs de commande, secteur et de protection
U	Modulateurs, convertisseurs de grandeurs électriques	Convertisseurs de fréquence, transducteurs, démodulateurs, dispositifs de codage
V	Tubes, semi-conducteurs	Tubes cathodiques, diodes, tube à décharge gazeuse
W	Eléments de transmission	Guide d'ondes, jeux de barres, câbles
X	Bornes, dispositifs à enfichage	Bornes à visser et à souder, fiches, prises
Y	Dispositifs mécaniques à enclenchement électrique	Freins, embrayages, soupapes pneumatiques
Z	Terminaisons, filtres, limiteurs	Imitation de câbles, régulateur dynamique

▪ **Principe de repérage et de marquage pour les bornes de connexion :**

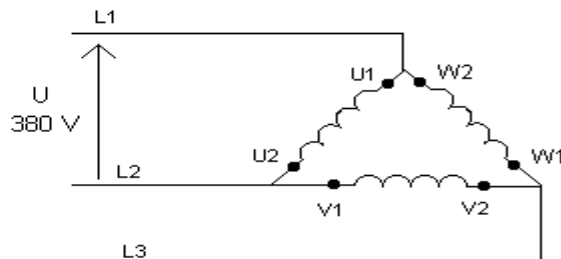
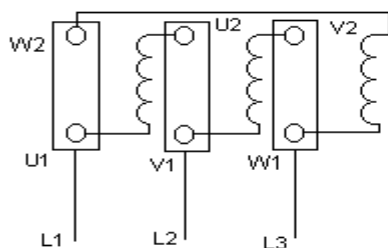
En marquant les extrémités des éléments par des lettres de référence, exemple ; U, V et W on rajoute un préfixe numérique après la lettre pour distinguer entre l'entrée et la sortie de l'élément (U1 pour l'entrée, U2 pour la sortie) également si on a un group d'éléments semblables ayant même lettres de référence, on les distingue par un préfixe numérique placé devant la lettre (1U1, 1U2).



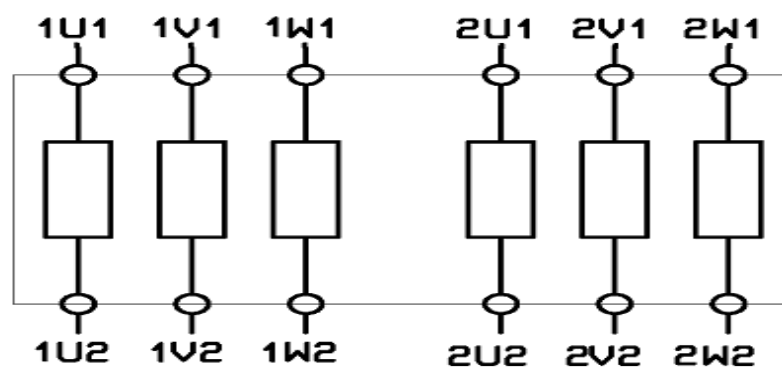
Couplage étoile :



Couplage triagle :



Lettres de références pour plusieurs groupe semblables :



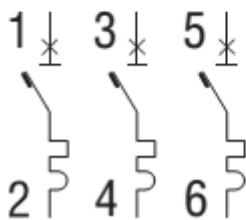
▪ **Principe de marquage pour les pôles principaux et contacts auxiliaires :**

➤ **Pôles de puissance :**

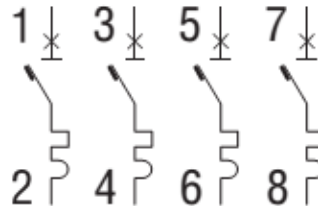
Comme nous l'avons mentionné précédemment, les pôles de puissance sont repérés par un seul chiffre de 1 à 6 pour un appareil tripolaire et de 1 à 8 pour un appareil tétrapolaire quelque soit sa fonction.



P2 MB 3P...



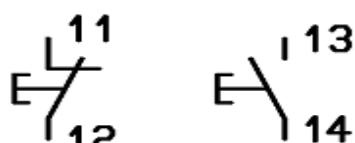
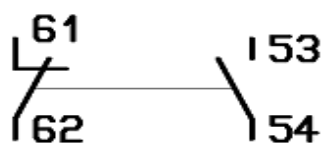
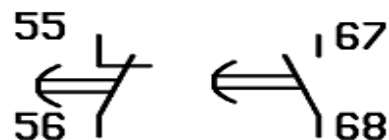
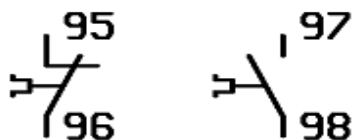
P2 MB 4P...



➤ **Contacts auxiliaires :**

Ils sont repérés par un nombre de deux chiffres. Le chiffre des unités indique la fonction du contact, le chiffre des dizaines indique le numéro d'ordre de chaque contact de l'appareil sauf le 9 qui est réservé au relais de protection, on distingue :

- Contact à ouverture (1-2).
- Contact à fermeture (3-4).
- Contact à fonctionnement spécial (5-6, 7-8).

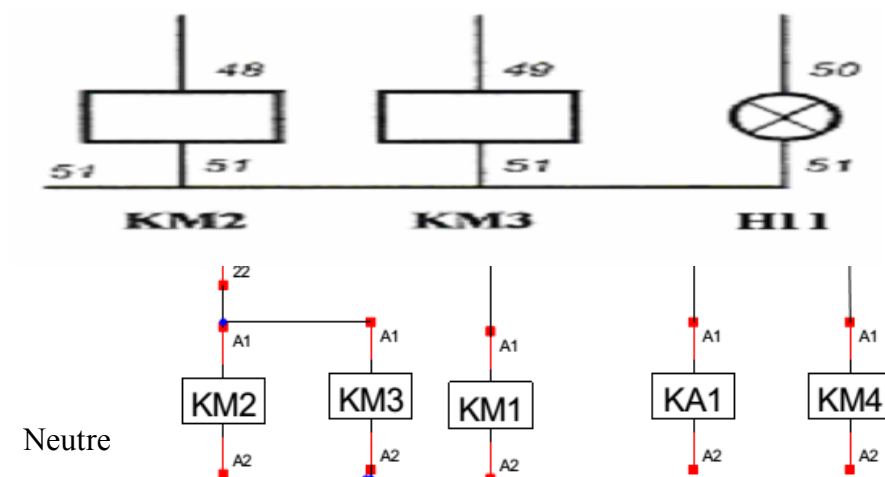


▪ Repérage des conducteurs :

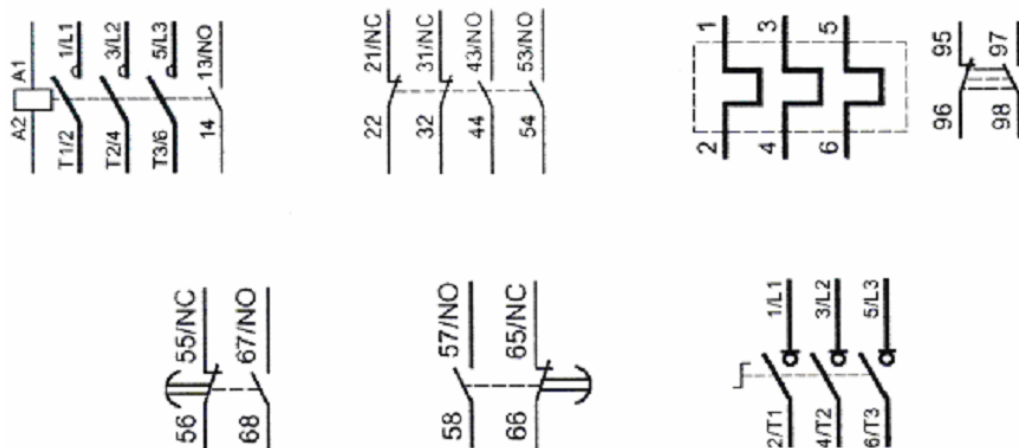
Chaque conducteur doit porter un repère correspondant à celui du schéma électrique. On distingue :

➤ Repérage équipotentiel :

C'est le plus simple à mettre en œuvre. Tous les conducteurs toujours soumis au même potentiel portent un même numéro. Le numéro change lorsqu'il y a possibilité d'ouverture du circuit.



- Repérage dépendant du matériel : la méthode consiste à affecter aux conducteurs les numéros de repères donnés aux matériels par les constructeurs. Un adressage est nécessaire pour ne pas confondre les conducteurs raccordés sur du matériel similaire. Exemples :



▪ **Repérage appareils :** Exemples ;

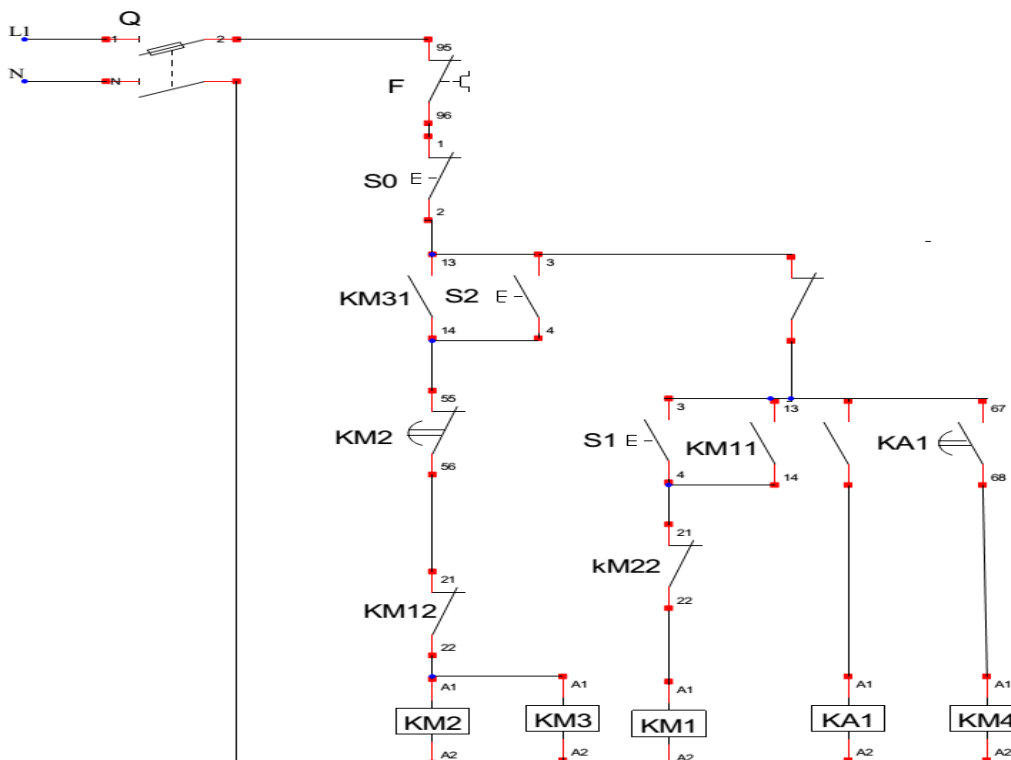
Lettre repère	Matériels
F	Appareil de protection
M	moteur
Q	Dispositif de sectionnement, disjoncteur..
S	Commande manuelle, BP, fin de course...
KA	Contacteur auxiliaire
KM	Contacteur de puissance

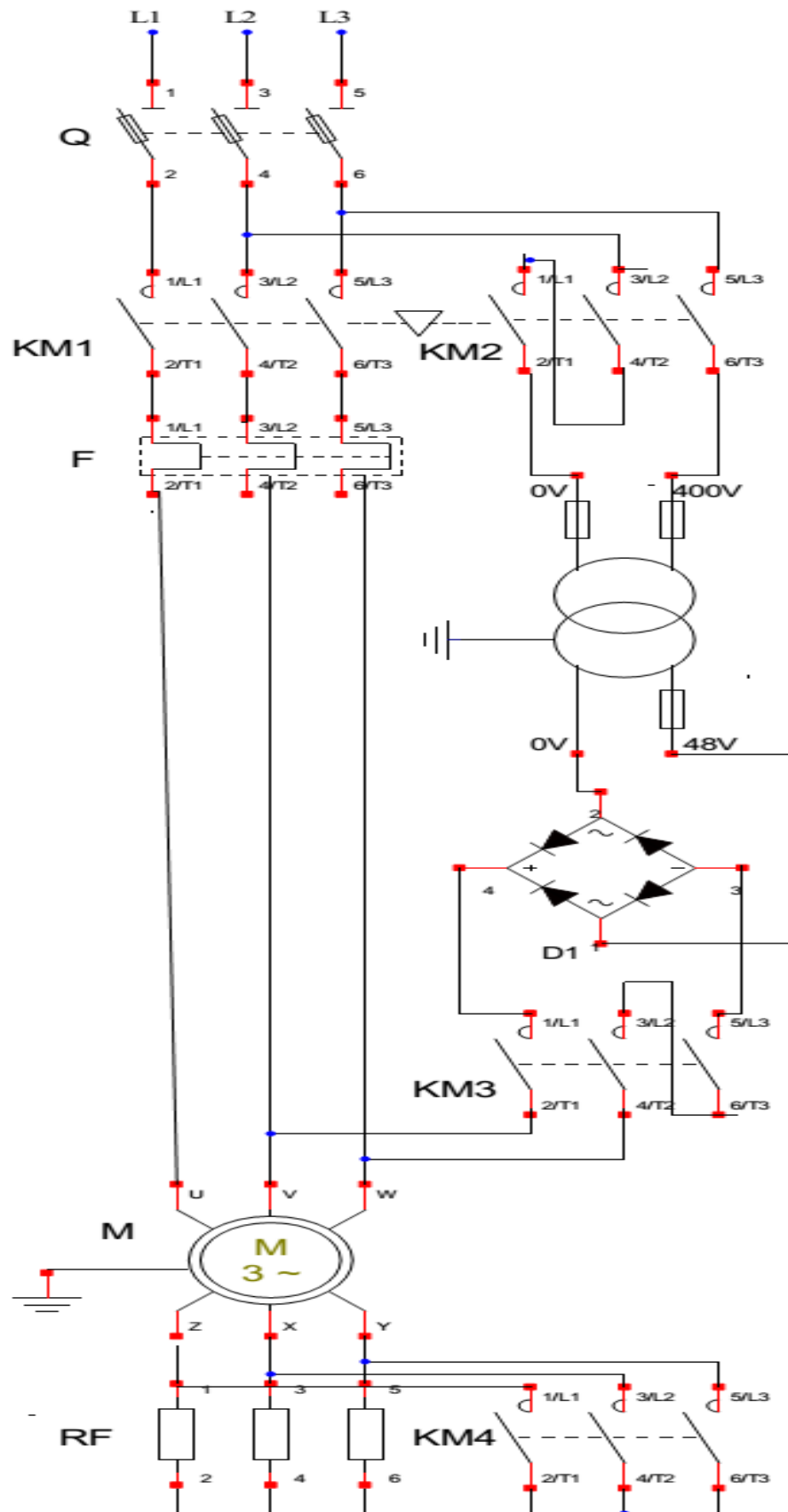
▪ **Exemples de lecture des schémas de commande et de puissance :**

La représentation et l'élaboration des schémas électriques se fait toujours hors tension dans les conditions initiales. Différents structures vont constituer un dossier :

- Circuit de puissance.
- Circuit de commande.
- Circuit des borniers.
- Carnet de câbles.
- Nomenclature, etc.

➤ **Circuit de commande :**



➤ Circuit de puissance :

Q : Sectionneur. **F** : Relais thermique.

S0 : Bouton poussoir arrêt non freiné. **S1** : Bouton poussoir marche.

S2 : Bouton poussoir arrêt freiné.

KM2, KM3 : Contacteurs pour le freinage.

KM1 : Contacteur de ligne.

KM4 : Contacteur de court – circuit de groupes des résistances.

KA1 : Contacteur auxiliaire.

KM1 2, KM2 2 : Contacts auxiliaires de verrouillage.

KM1 1, KM3 1 : Contacts auxiliaires d'auto- alimentation (maintien).

KA1 1 : Contact temporisé à la fermeture.

RF : Groupes des résistances.

▪ **Détermination pratique de la section minimale des conducteurs:**

La section des conducteurs est déterminée à partir de la connaissance du courant maximal admissible I_z de la canalisation lui-même déterminé à partir des conducteurs et de leur condition d'emploi. La détermination des valeurs de courants admissibles se fait selon les principes fondamentaux d'exploitation des installations et de sécurité des personnes. Le tableau des courants admissibles donné ci-après, permet de déterminer directement la section des conducteurs en fonction :

- Du type de conducteur ; en cuivre ou en aluminium.
- De la nature de l'isolant qui définit la température maximale admissible en fonctionnement, notée PR pour les isolants supportant 90 °C (EPR, PRC...) et PVC pour ceux supportant 70 °C.
- Du courant admissible théorique.
- Le nombre de conducteurs chargés.
- De la méthode de référence -mode de pose- (B, C, D, E, F), ils sont regroupés sous quatre rubriques :

- ✓ Pose à l'air libre.
- ✓ Pose sous conduit ou goulotte à l'air libre.
- ✓ Pose encastrée dans les éléments de construction.
- ✓ Pose enterrée.

Si le mode de pose varie le long du parcours d'un câble ou conducteur, le courant admissible doit être déterminé pour la partie la plus défavorable. Néanmoins, pour une pose à l'air libre, on ne prendra pas en compte un passage sous conduit de moins de 1 m, ou un passage encastré sur moins de 0,20 m.

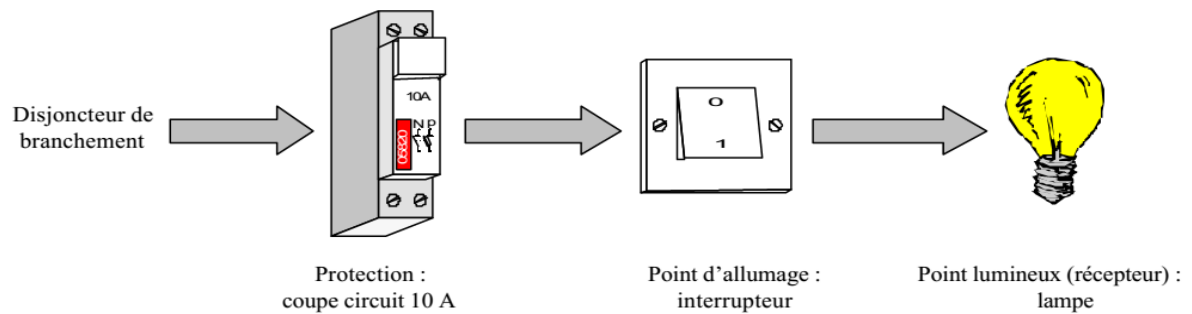
Courants admissibles dans les canalisations (en A)														
Méthodes de référence		Isolant et nombre de conducteurs chargés												
		PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2							
B		PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2							
C			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2						
D											PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2
E				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2					
F					PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2				
Conducteurs cuivre	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26		26	32	31	37
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36		34	42	41	48
	4	28	32	34	36	40	42	45	49		44	54	53	63
	6	36	41	43	48	51	54	58	63		56	67	66	80
	10	50	57	60	63	70	75	80	86		74	90	87	104
	16	68	76	80	85	94	100	107	115		96	116	113	136
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161	123	148	144	173
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200	147	178	174	208
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242	174	211	206	247
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310	216	261	254	304
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377	256	308	301	360
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437	290	351	343	410
	150		299	319	344	371	395	441	473	504	328	397	387	463
	185		341	364	392	424	450	506	542	575	367	445	434	518
	240		403	430	461	500	538	599	641	679	424	514	501	598
	300		464	497	530	576	621	693	741	783	480	581	565	677
	400					656	754	825		940				
	500					749	868	946		1083				
	630					855	1005	1088		1254				
Conducteurs aluminium	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28					
	4	22	25	26	28	31	32	35	38					
	6	28	32	33	36	39	42	45	49					
	10	39	44	46	49	54	58	62	67		57	68	67	80
	16	53	59	61	66	73	77	84	91		74	88	87	104
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121	94	114	111	133
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150	114	137	134	160
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184	134	161	160	188
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237	167	200	197	233
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289	197	237	234	275
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337	224	270	266	314
	150		227	245	261	283	304	324	346	389	254	304	300	359
	185		259	280	298	323	347	371	397	447	285	343	337	398
	240		305	330	352	382	409	439	470	530	328	396	388	458
	300		351	381	406	440	471	508	543	613	371	447	440	520
	400					526	600	663		740				
	500					610	694	770		856				
	630					711	808	899		996				

Travaux pratiques :

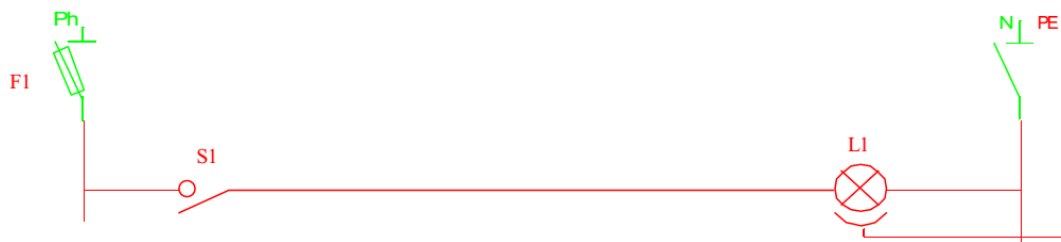
1- Installations électriques domestiques (circuits d'éclairage):

a- Montage simple allumage :

Ce montage permet de commander (mise en ou hors service) une lampe d'éclairage d'un seul lieu.

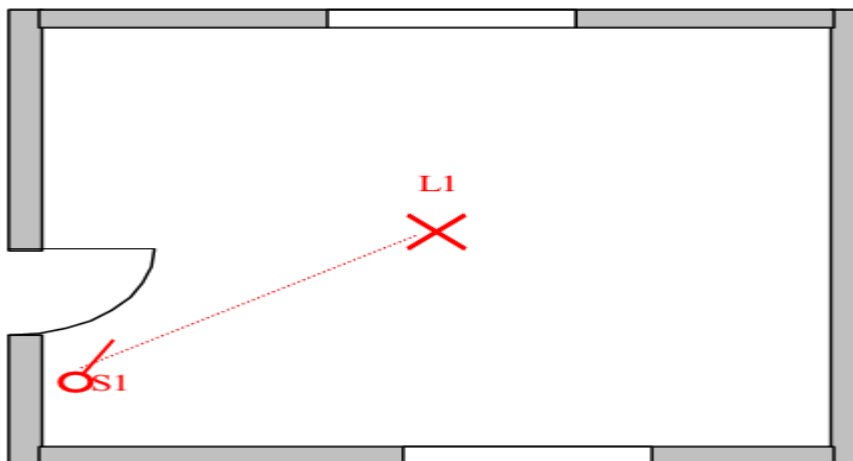


❖ Schéma développé du montage :



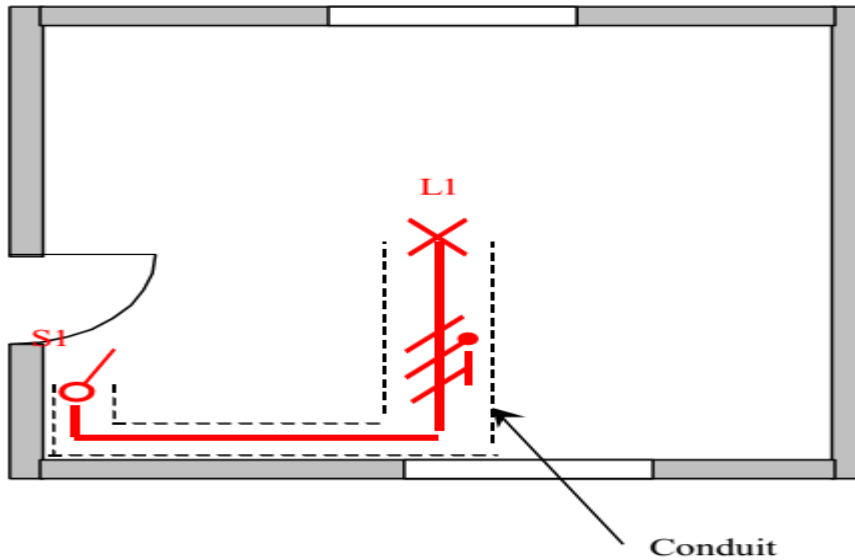
❖ Schéma architectural (implantation) du montage :

Ce schéma a pour but de donner l'emplacement des éléments du schéma développé à l'intérieur de la pièce concernée.



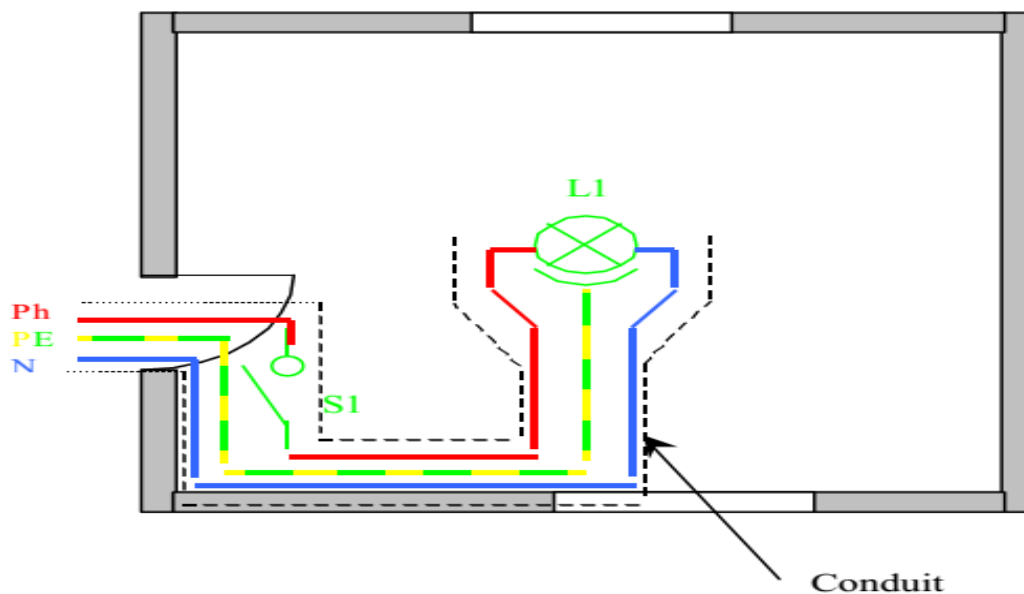
❖ Schéma unifilaire du montage :

Ce schéma permet de donner l'emplacement des conduits dans lesquels ils y auront les conducteurs. Il nous indiquera aussi le nombre de conducteur présent à l'intérieur et leur type (phase, neutre, conducteur de protection, etc.).



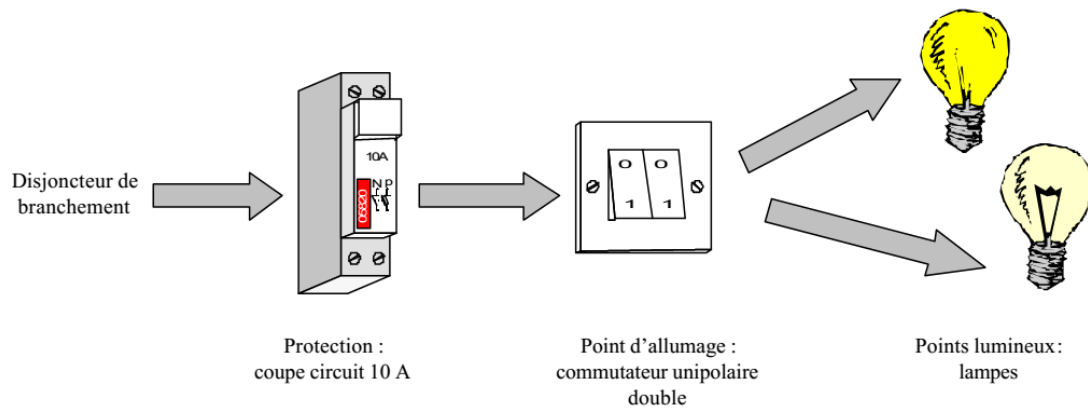
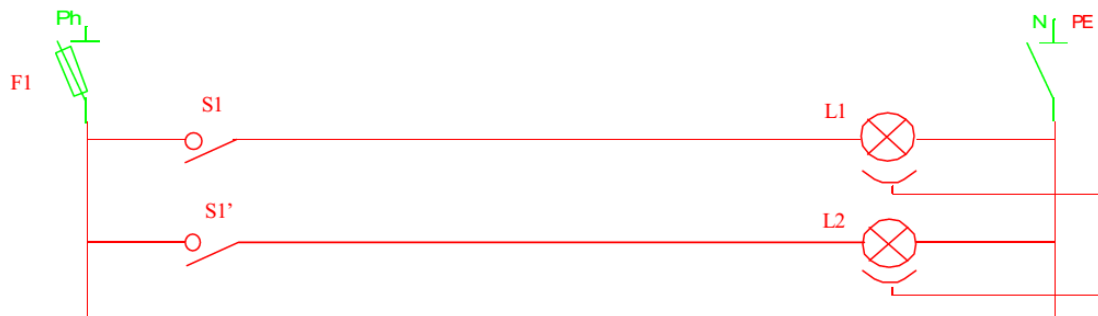
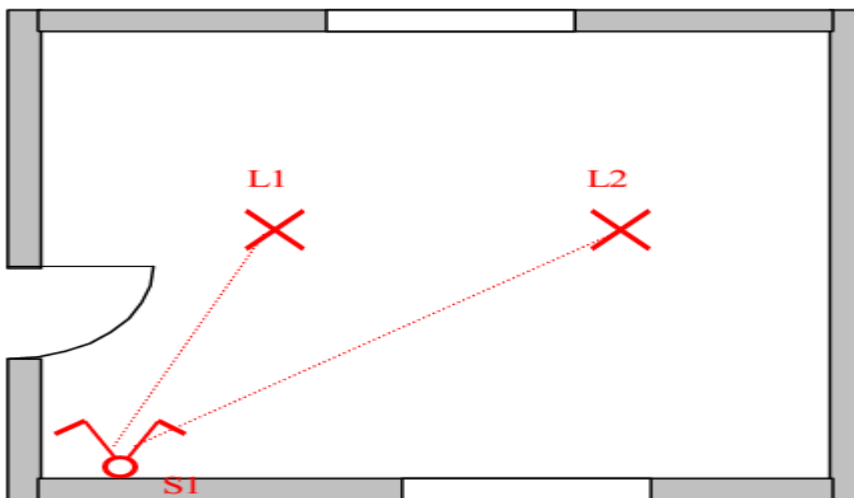
❖ Schéma multifilaire du montage :

Ce schéma permet d'expliquer comment sont branchés tous les conducteurs (phase, neutre, conducteur de protection, etc.) sur les appareillages électriques. C'est le schéma de branchement ou de câblage de l'installation.



b- Montage double allumage :

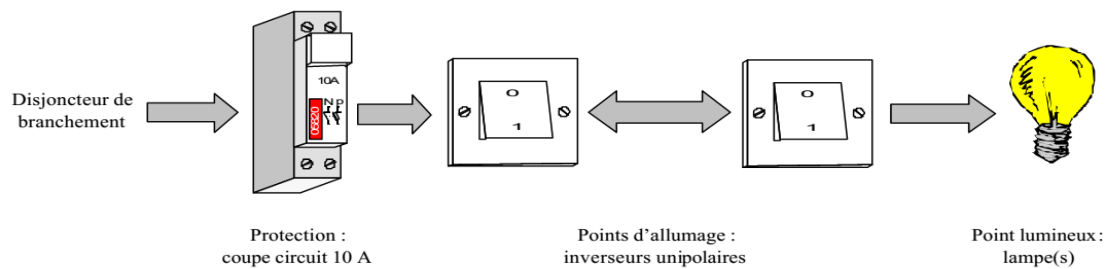
Ce montage permet de commander d'un seul endroit deux circuits d'éclairage différents.

❖ Schéma développé du montage :❖ Schéma architectural (implantation) du montage :

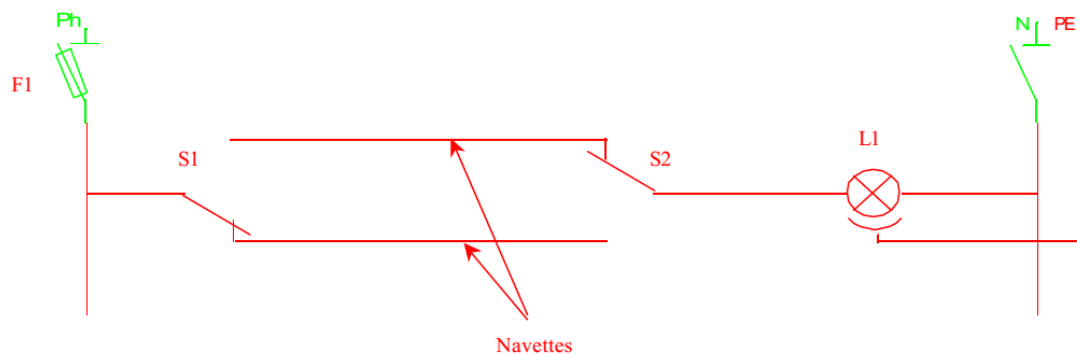
Ce montage est utilisé pour commander les lustres de salle à manger, éclairage de vitrines de magasin, etc.

c- Montage va- et- vient :

Ce montage permet de commander un circuit d'éclairage de deux endroits différents.



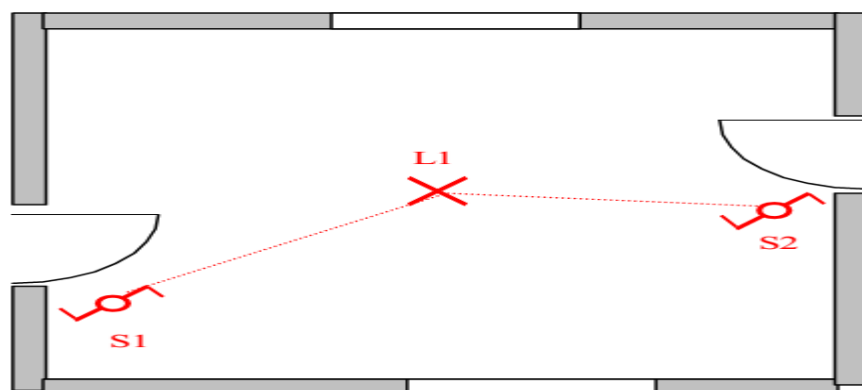
❖ Schéma développé du montage :



Dès que l'on manœuvre un des commutateurs (S1 ou S2), le circuit est fermé et la lampe est allumée. Si l'on manœuvre une deuxième fois un des commutateurs, le circuit s'ouvre et la lampe s'éteint. Les deux conducteurs, reliant les commutateurs S1 et S2 entre eux, s'appellent les navettes.

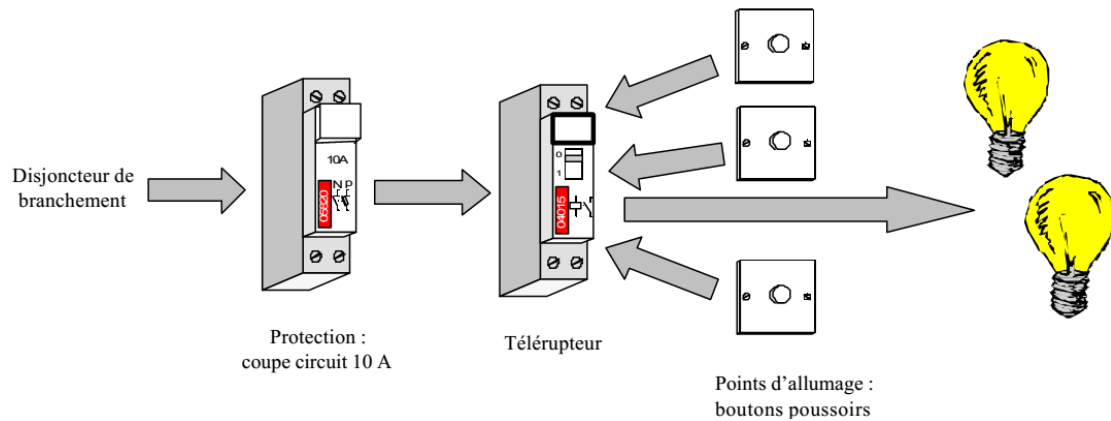
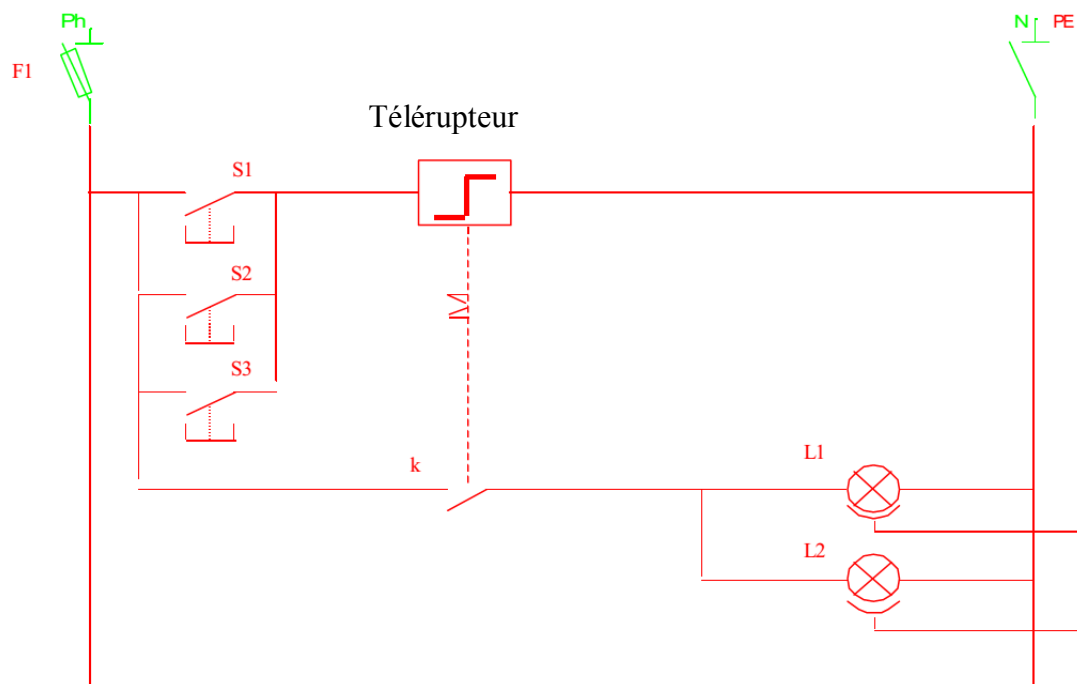
Ce montage est utilisé dans les grandes pièces, pièces à deux entrées, couloirs, garage, montées d'escaliers, etc.

❖ Schéma architectural (implantation) du montage :

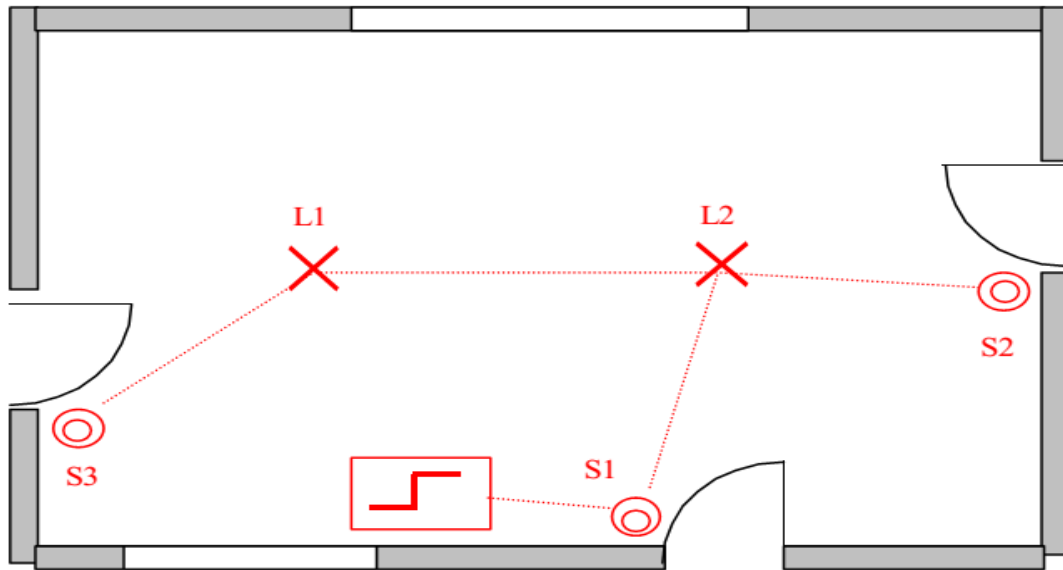


d- Montage avec télérupteur :

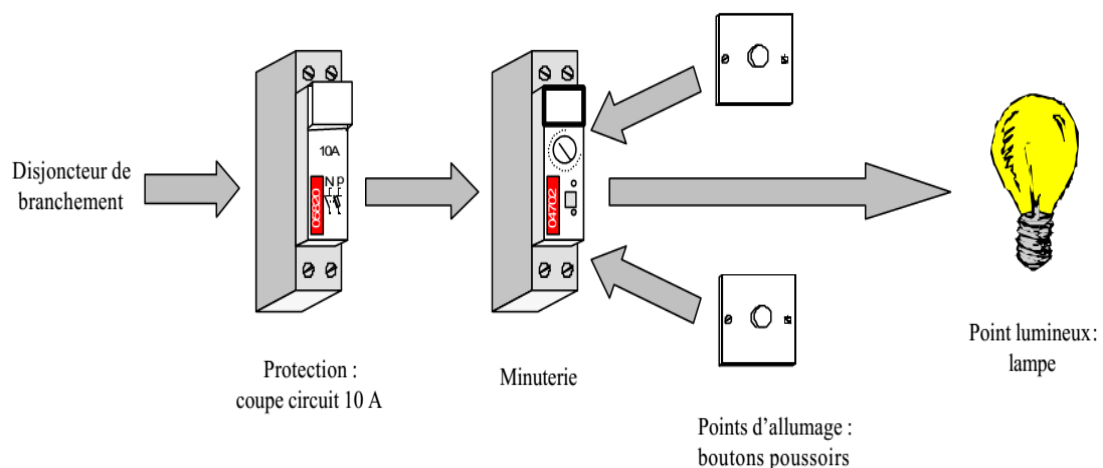
On installe un télérupteur lorsque l'on dispose d'au moins de trois points de commande pour l'allumage ou l'extinction d'une ou plusieurs lampes. Ce montage est utilisé surtout dans les Halls, Couloirs.

**❖ Schéma développé du montage :**

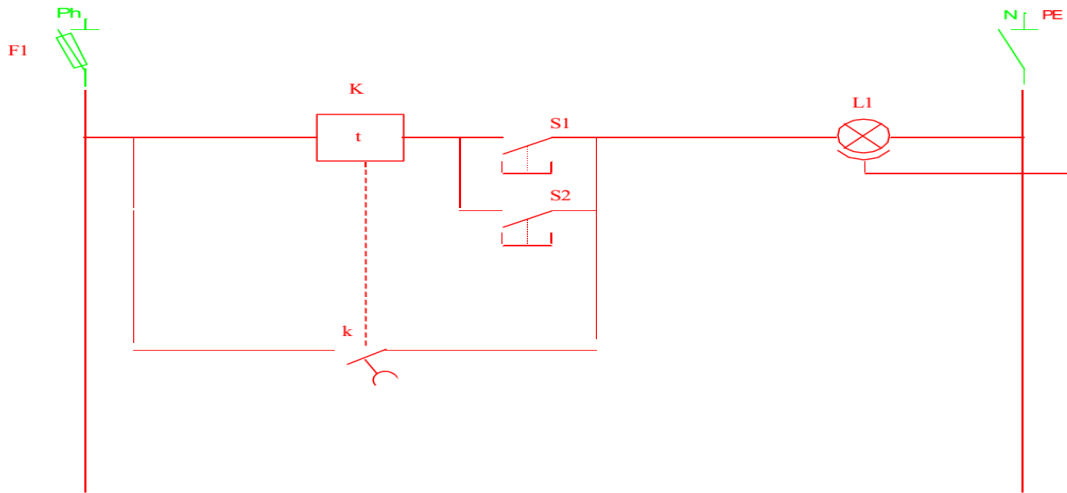
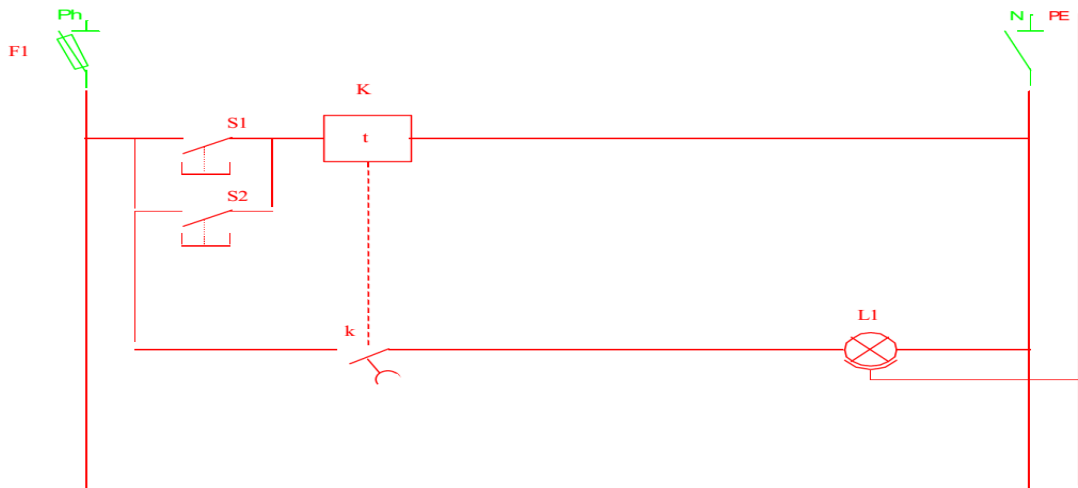
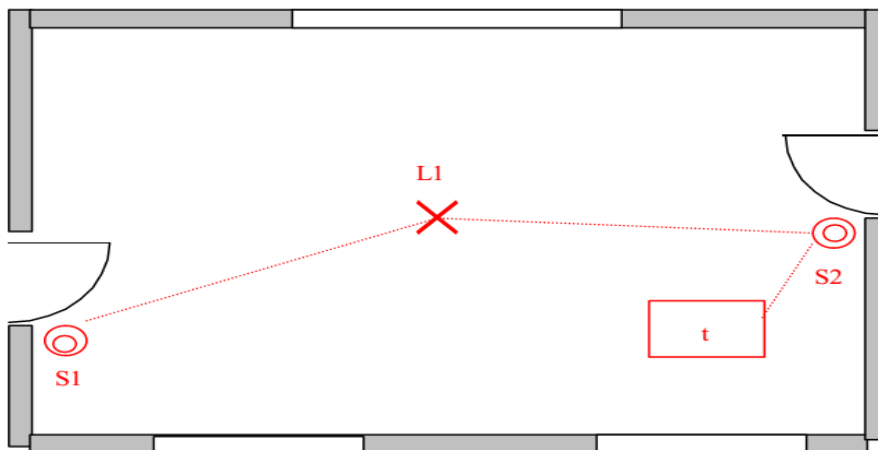
Une impulsion sur l'un des boutons poussoirs des points d'allumage, permet la mise sous tension et l'allumage des lampes. Une nouvelle impulsion sur l'un des boutons poussoirs, permet d'éteindre les lampes.

❖ Schéma architectural (implantation) du montage :e- Montage avec minuterie :

On installe une minuterie lorsque l'on désire une extinction automatique d'une ou plusieurs lampes.



Une impulsion sur un des boutons poussoirs, permet la mise sous tension et l'allumage d'une ou plusieurs lampes pendant un temps bien déterminé (réglable). L'extinction des lampes est automatique. On distingue deux schémas développés :

❖ Schéma développé sans effet :❖ Schéma développé avec effet :❖ Schéma architectural (implantation) du montage :

✓ Objectif :

Cette partie des travaux pratique vise à faire un récapitulatif pour l'étudiant pour tous les montages domestiques réalisés. L'étudiant doit réussir à la fin de cette partie l'éclairage de toutes les installations données.

✓ Critères d'évaluation :

- Câblage correcte.
- Méthode de travail de l'étudiant.
- Réalisation et présentation des montages des différentes installations.
- Réponses aux questions posées à la fin de la séance.

✓ Matériels nécessaires :

- Source d'alimentation 220 V.
- Appareillage de protection (disjoncteur).
- Boutons poussoirs.
- Interrupteurs simple allumage et double allumage.
- Prises de courants, Lampes.
- Télérupteur, Minuterie.
- Fils rigide de section 1,5 mm² : rouge, bleu et vert- jaune.
- Fils rigide de section 2,5 mm² : rouge, bleu et vert- jaune.
- Pince coupant, pince à dénuder les fils.
- Tournevis test, tournevis américain, tournevis français.

2- Commande électromécanique des machines électriques à courant alternatif :**✓ Objectifs :**

Dans cette partie des travaux pratique, d'étudiant doit savoir :

- Etudier le fonctionnement et les caractéristiques des différents types des démarreurs et freinages des moteurs asynchrones triphasés.
- Mettre en évidence les phénomènes de démarrage et de freinage des moteurs asynchrones triphasés.
- Visualiser les différentes parties de câblage.
- Distinguer pratiquement la différence entre circuit de puissance et circuit de commande.

✓ Critères d'évaluation :

- Câblage correcte.

- Méthode de travail de l'étudiant.
- Réalisation et présentation des montages des différentes installations.
- Réponses aux questions posées toujours à la fin de la séance.

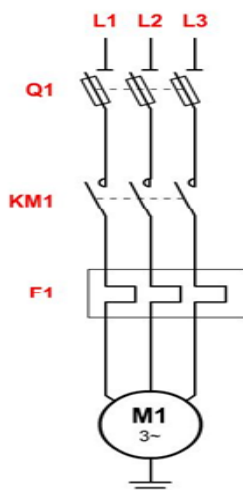
✓ **Matériels nécessaires :**

- Source d'alimentation 220 V/ 380 V, 230 V/ 400 V.
- Appareillages de protections (disjoncteur, sectionneur porte fusibles et relais thermique).
- Boutons poussoirs (S). Groupes de résistances (R)
- Contacteurs de puissance (KM) et de commande (KA).
- Blocs additifs des contacts auxiliaires standards.
- Blocs additifs des contacts auxiliaires temporisés.
- Prises de courants, Redresseur monophasé.
- Transformateur abaisseur 400 V/48 V.
- Moteurs électriques (à cage, à bague).
- Fils rigide de section 1,5 mm² : rouge, bleu et vert-jaune.
- Fils rigide de section 2,5 mm² : rouge, bleu et vert-jaune.
- Pince coupant, pince à dénuder les fils.
- Tournevis test, tournevis américain, tournevis français.

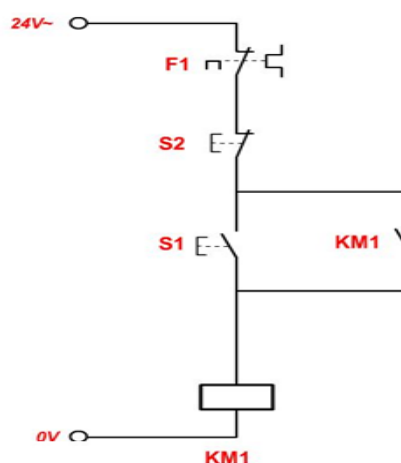
a- Démarrage direct d'un moteur à un et deux sens de rotation :

- Démarrage direct à un sens de rotation : c'est le schéma le plus simple à réaliser, les enroulements du stator du moteur à cage sont directement couplés au réseau. La pointe de courant de démarrage est varié de (5 à 8 In).

Circuit de puissance

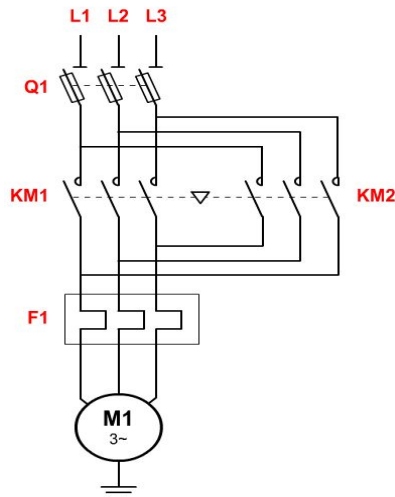


circuit de commande

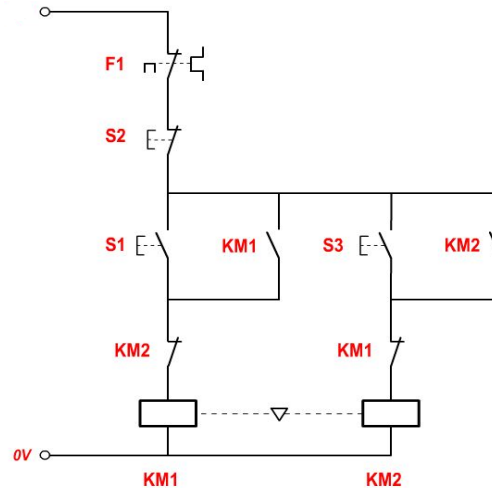


- Démarrage direct à deux sens de rotation : pour changer le sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, il faut inverser deux des trois phases du circuit d'alimentation.

Circuit de puissance

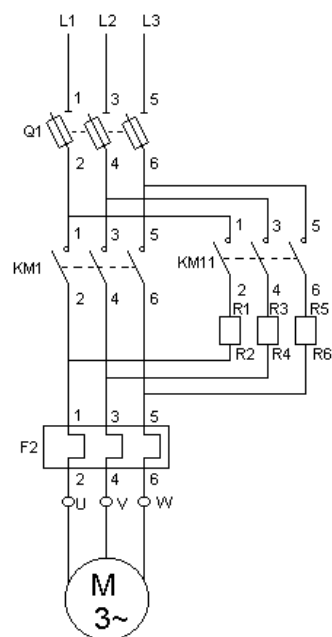


Circuit de commande

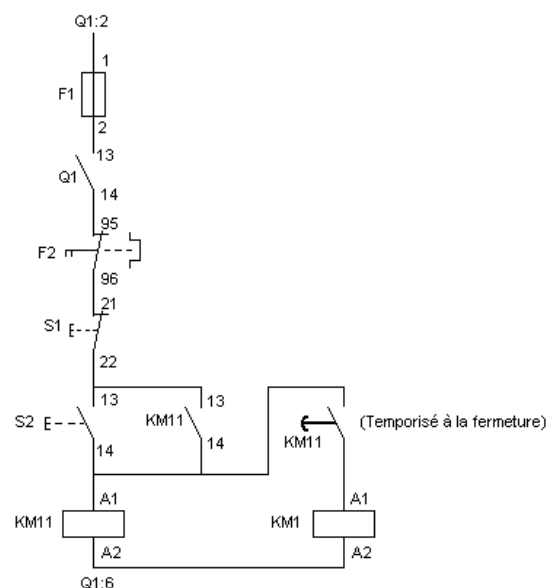


- b- Démarrage statorique (moteur à cage)** : le démarrage s'effectue en deux temps et dure entre 7 à 12 S, le courant de démarrage est de l'ordre de 4.2 In.
- Dans le premier temps, on met en série avec chaque phase du stator une résistance (Fermeture KM 11).
 - Dans le second temps, on court- circuit les résistances (KM 1).

Circuit de puissance



Circuit de commande



c- Démarrage étoile triangle :

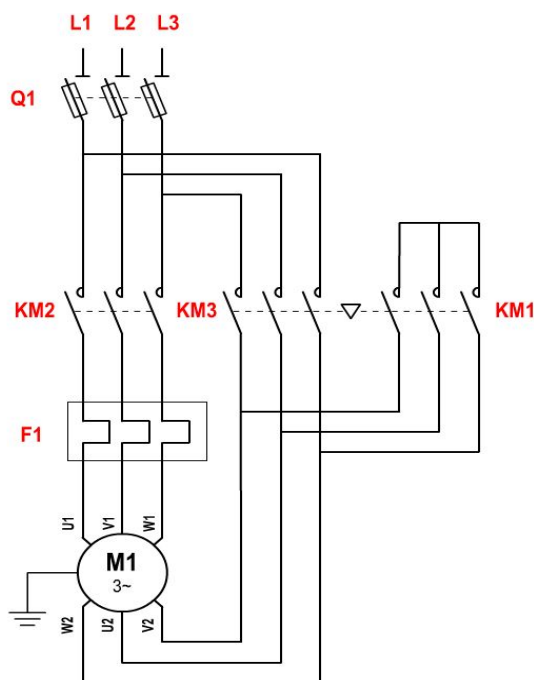
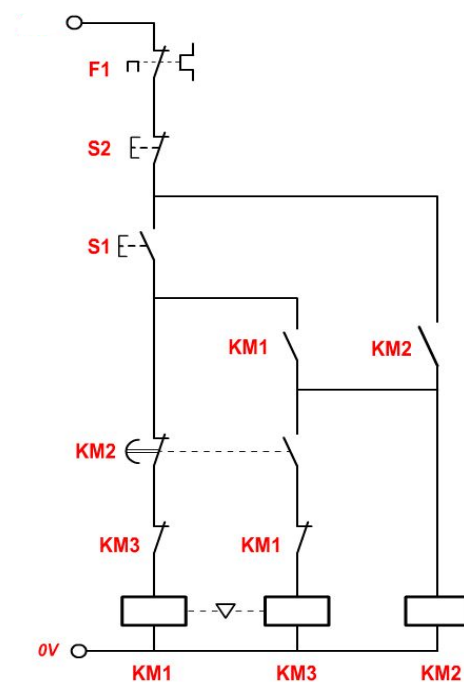
Le démarrage s'effectue en deux étapes et dure 3 à 7 secondes.

- Dans la première partie : couplage étoile du moteur ;

Les enroulements sont soumis à une tension ($U/\text{racine de } 3$), le courant de démarrage I_d est réduit par rapport au démarrage direct ($I_d = 1.3 \text{ à } 2.6 I_n$), le couple au démarrage est plus faible qu'en démarrage direct ($C_d = 0.2 \text{ à } 0.5 C_n$).

- Dans la deuxième partie : couplage triangle du moteur ;

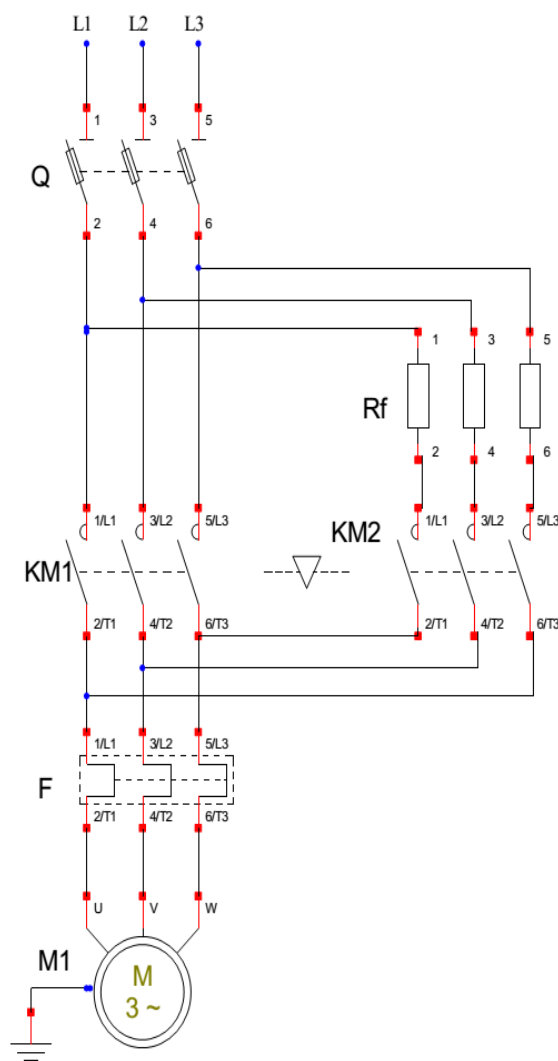
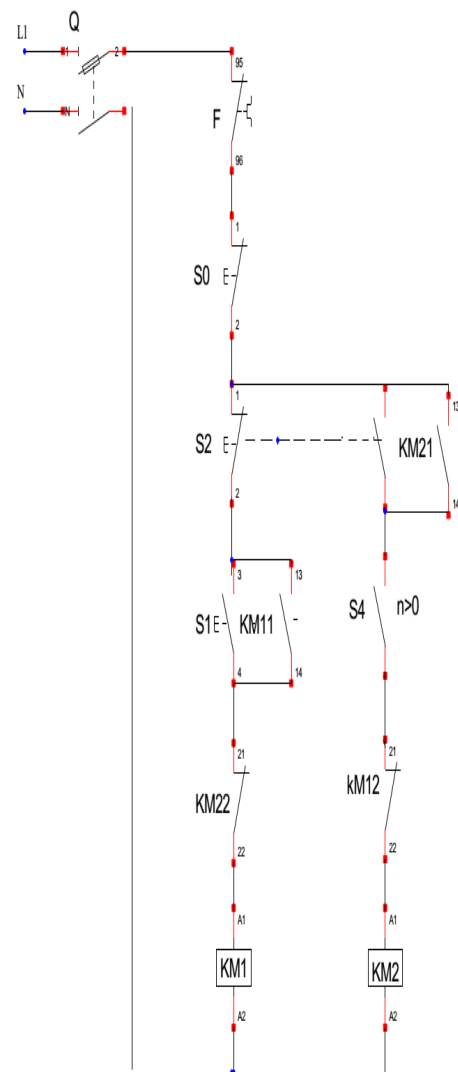
Quand le moteur est lancé, on passe au couplage triangle et le moteur atteint sa vitesse nominale à pleine tension.

Circuit de puissance**Circuit de commande**

d- Freinage par contre courant :

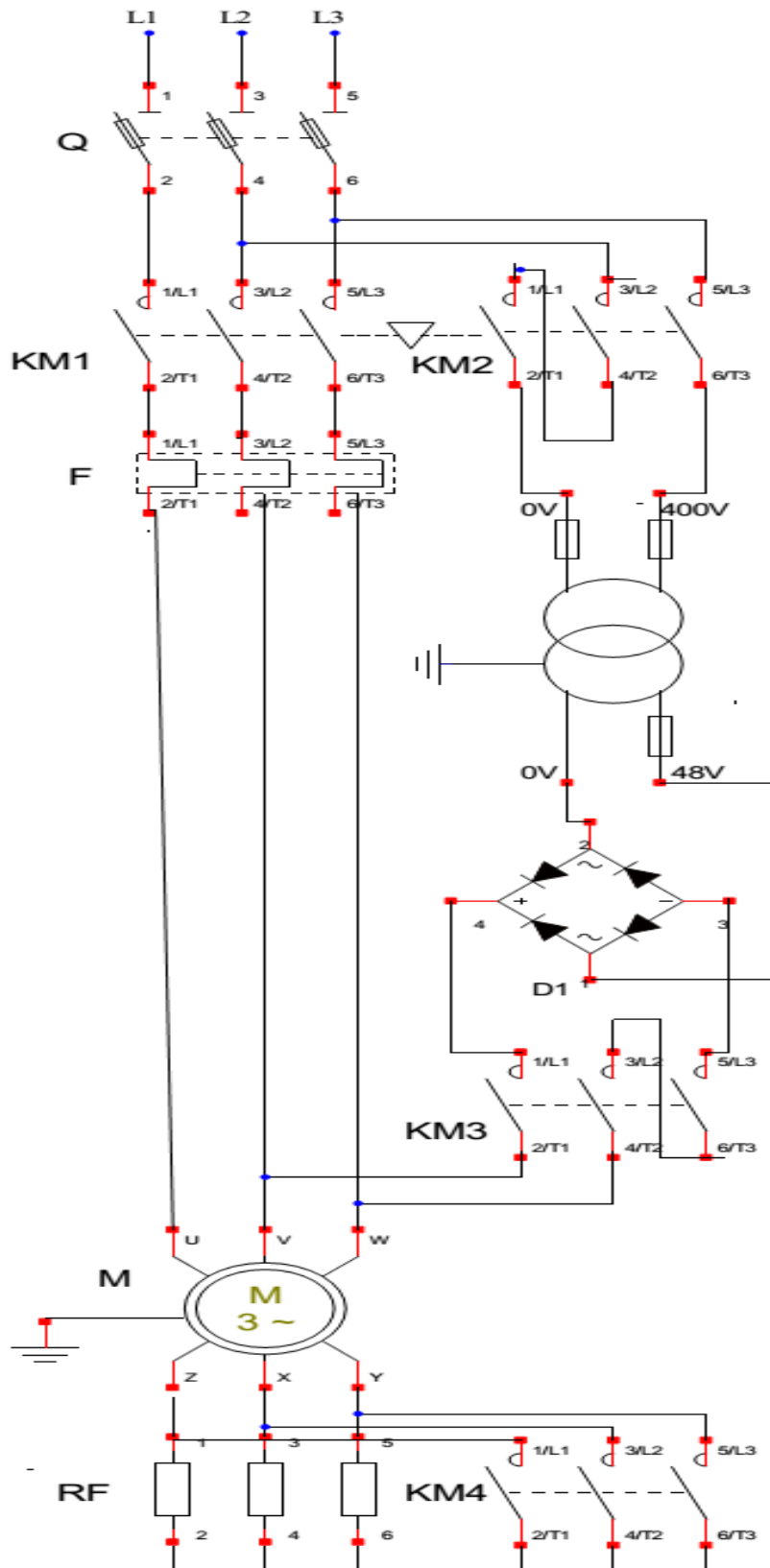
Le freinage par contre courant consiste à inverser deux phases d'alimentation, moteur lancé, pour qu'il change de sens de rotation. La fréquence de rotation va alors décroître rapidement et, au moment où elle devient nulle, on coupe l'alimentation. Le changement de sens de rotation, moteur lancé, implique que le moteur doit alors vaincre un couple résistant plus important. Il va donc consommer beaucoup plus de courant. Pour limiter ce dernier, on doit placer des résistances en série avec le stator. Il faut aussi couper l'alimentation du frein au moment précis où le moteur s'arrête sinon, il va repartir dans l'autre sens.

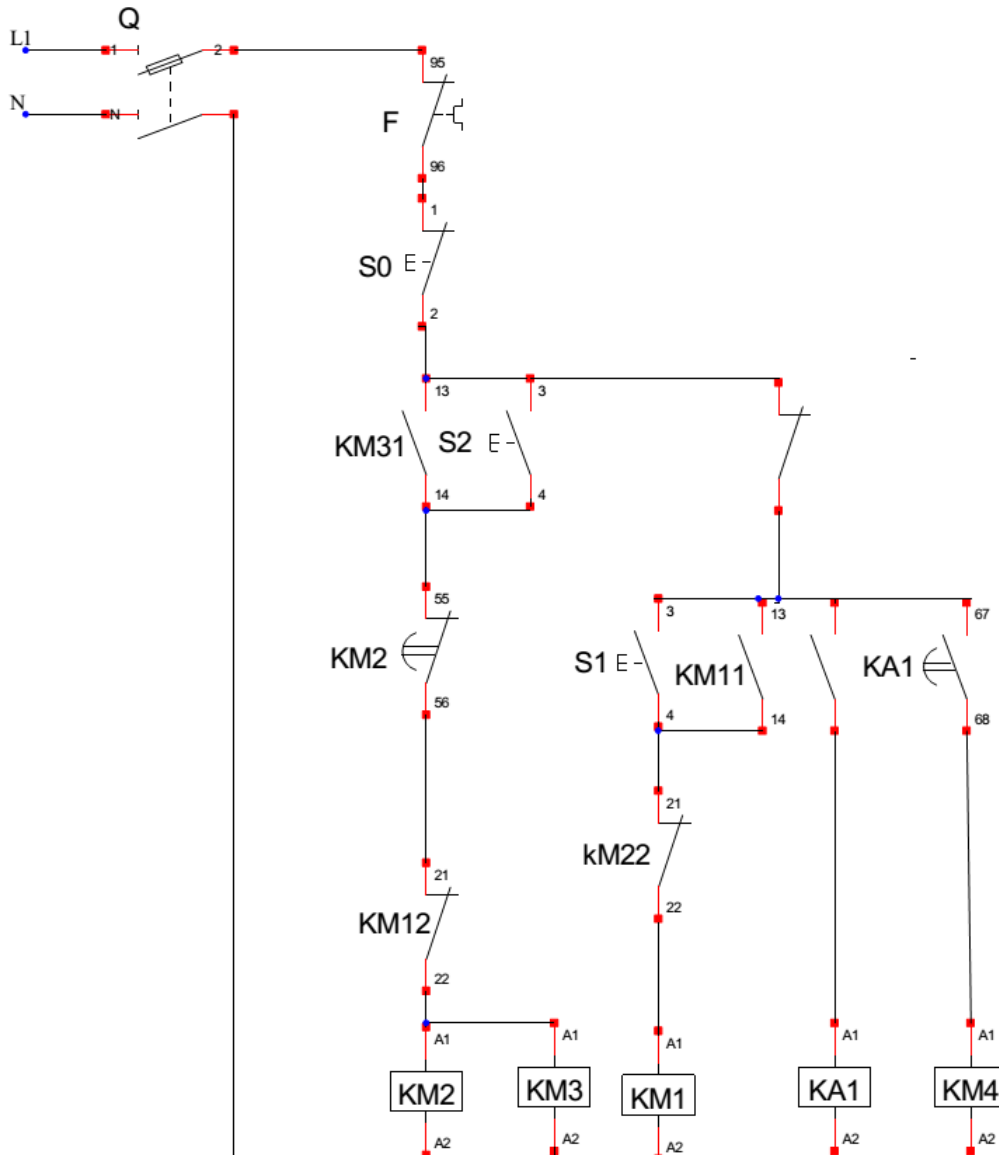
Ce mode de freinage est très efficace.

Circuit de puissance**Circuit de commande**

e- Freinage par injection d'un courant continu :

Circuit de puissance



Circuit de commande

Ce mode de freinage est utilisé sur les moteurs à cages et à bagues. En coupant l'alimentation triphasée appliquée au stator, à ce moment, on applique à ce stator une tension continu, on crée alors un champ fixe. Ce champ fixe a pour but de bloquer la rotation du rotor du moteur.

Pour ce mode de freinage, il n'y a pas de risque de démarrage dans l'autre sens.

Références Bibliographiques :

- Guide de la distribution électrique basse tension et HTA 2009.
- <http://www.Electrotechnique-fr.com>
- Protection des circuits et matériels électriques 2013.
- Rapport, Technologie Appareillage de coupure, ALLILECHE. M. 1994.
- Physique Appliquée – G. Pinson.
- Appareillage – industriels, cours.
- Guide Schneider Electric.
- Appareillage modulaire BETA protect.
- Cours Matériaux – appareillage – électrique. H.BEN AMMAR.
- Cours Schémas et appareillages électriques. Dr : N. BENAIRE. 2014.
- Cours appareillages électriques basse tension.
- Cours chapitre 9 Protection par fusibles. 2009.
- Sciences de l'ingénieur. 2005.
- Généralités sur les réseaux électriques, Cahier Technique n°6.
- Guide de la mesure de terre. 2013.
- Cours Protection des personnes et de matériels.
- Jeux de barres à basse tension, ROLAND AUBER. 2008.
- Disjoncteurs moteur magnétothermiques, Schneider Electric.
- <http://www.gecif.net>
- Livre, Sécurité et Intérim.
- Livre, Electricité Industrielle Avancé. Brigitte REMACLE. 2014.
- Résumé théorique et guide de travaux pratiques, Mme ELKORNO NAIMA. 2006.
- Livre, Le guide de l'installation électrique, MM GUELMANE et ROUSSELIN. 2012.
- <http://louispayen.apinc.org>
- Livre, La sécurité reliée à l'électricité comprendre et prévenir, MARIE-JOSEE ROSS. 2^{ème} édition, 2011.
- Education à la sécurité et à la prévention des risques électriques en sciences physiques. Cours.
- Cours Electricité – régulation, PHILIPPE CRETAL, PATRICK DELPECH.
- Dossier Risques Electriques, 2017.

- Cours, La protection Electrique. 2013.
- Cours, Installation électrique domestique.
- Travaux pratiques Installations électriques1, NARJESS SGHAIER et Mbarek MBAREK.
- Extrait normes, guide hager.
- Disjoncteurs magnétothermiques et dispositifs différentiels, Lovato – electric.
- Cours, les différents schémas électriques en domestique.
- Catalogue distribution basse tension Schneider Electric.
- Electro système T STI et 1 STI, H. NEY, édition Nathan Technique.
- Livre, Comment marchent les disjoncteurs, REZEMIKA. 2016.
- Cours, démarrage et freinage des moteurs asynchrones triphasés.
- Livre, Contrôle des moteurs, commande de mouvement. 2008.
- www.schneider-electric.fr
- Guide hager, disjoncteur divisionnaire. 2001.
- Guide puissance. Distribution et Puissance Jusqu'à 400 A. 2007.
- Manuel technique, principe de protection, hager. 2018.
- Catalogue technique, SAGE Isomax S.
- Disjoncteur moteur J7MN www.audin.fr
- Cours les quatre schémas de base, O. JEANSOLIN.
- Guide schéma électrotechnique et électricité. www.positron-libre.com
- Les systèmes industriels, LP DESCARTES.
- Cours, Normes et symboles, 1^{ère} GEL. 2003.
- Cours, principales règles de schéma électrique et de câblage, AMIENS.
- Cours, Symboles électriques. 2013.
- Symboles normalisés, PROMOTELEC. 2000.
- Livre, TEMBREAK 2, le disjoncteur de puissance compact, TERASAKI.
- Guide pratique, Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection Méthodes pratiques. UTE. 2003.
- Guide pratique, Schémas électriques Automatisation et distribution d'énergie. MOELLER GMBH, BONN. 2008.

Canevas du Module: SCHEMAS ET APPAREILLAGES**Semestre: S5****Unité d'enseignement: UEF 3.1****Crédits: 03, Coefficient: 02****Objectifs de l'enseignement:**

Apprendre les différents types d'appareillage de protection et commande des installations électriques ainsi que la réalisation d'une installation électrique.

Connaissances préalables recommandées:

Notions d'électricité fondamentale, d'électrostatique et de magnétostatique de base.

Contenu de la matière:**Chapitre 1. Généralité sur l'appareillage (2 semaines)**

Défauts et anomalies de fonctionnement, rôle et classification des protections, fonctions de base de l'appareillage, le sectionnement, la commande, la protection, classification de l'appareillage, choix de l'appareillage, caractéristiques d'un appareillage électrique, protection de l'appareillage, classes des matériels électriques, dispositions de protection.

Chapitre 2. Phénomènes liés aux courants et à la tension (3 semaines)

Les surintensités, les efforts électrodynamiques, calcul de la résistance de l'arc, effets de l'arc sur le contact, les surtensions, isolation, claquage, rigidité, ionisation des gaz.

Chapitre 3. Phénomènes d'interruption du courant électrique (3semaines)

Naissance de l'arc (dans l'air et dans l'huile), principe de coupure de l'arc (dans l'air et dans l'huile), conditions d'extinction de l'arc, tension de rétablissement, différentes techniques de coupure de l'arc.

Chapitre 4. Appareillage de connexion et d'interruption (3 semaines)

Les contacts, bornes et connexions, prise de courant, sectionneurs, les interrupteurs (définition, rôle et caractéristique), les commutateurs (définition, rôle et caractéristique), les contacteurs (définition, rôle et caractéristique).

Chapitre 5. Appareillage de protection**(2 semaines)**

Fusibles (rôle et fonctionnement, types), relais thermique (définition, rôle, type et caractéristiques), disjoncteurs (définition, rôle, types et caractéristiques).

Chapitre 6. Élaboration des schémas électriques**(2 semaines)**

Symboles des installations électriques, conventions et normalisation, exemples de lecture des schémas de commande et de puissance, détermination pratique de la section minimale des conducteurs de la canalisation.

Travaux Pratiques:

- Montage de base de l'électricité domestique (2 TP sur l'éclairage non commandé et 2 TP sur l'éclairage commandé).
- Quelques procédés de commande électromécanique des machines électriques à courant alternatif (2 TP de procédé de démarrage des moteurs asynchrones triphasés et 2 TP de procédé de freinage des moteurs asynchrones triphasés).

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen : 60%.