

Schémas électriques et sécurité

Bloc 2 – UE17

Année académique 2023-2024

Diego CURTO

Objectifs du cours

Le but principal du cours est l'étude des appareils de commandes et de protection dans une installation électrique. Au terme du cours, l'étudiant devra être capable de :

- choisir un modèle d'appareil selon un cahier de charges et en se basant sur les données provenant d'un fabricant ;
- lire un schéma électrique (puissance et commande) ;
- expliquer les différents moyens de démarrage des moteurs asynchrones ;
- dessiner avec le logiciel EPLAN le schéma électrique d'une installation selon un cahier de charges donné, en respectant la nomenclature officielle et les normes de sécurité vue en classe.

Remarque :

Les notions vues dans le cours de « Schéma Electrique » de l'UE11 du Bloc 1 sont des **prérequis** pour le cours de Schémas électriques et sécurité. Un rappel des notions importantes est fait en début du cours.

Cotation

La cote finale sera calculée sur base des points obtenus lors de l'examen écrit de janvier (50%) et de la note du labo EPLAN (50%).

Cette cote intervient dans la note globale de l'UE17 : 95% « Schémas électriques et sécurité », 5% « Sécurité industrielle ».

Remerciements

Je remercie très vivement Monsieur Pierre Gabriel (HELMo Gramme) pour les notes qu'il a bien voulu que j'utilise dans le cadre de ce cours.

Références

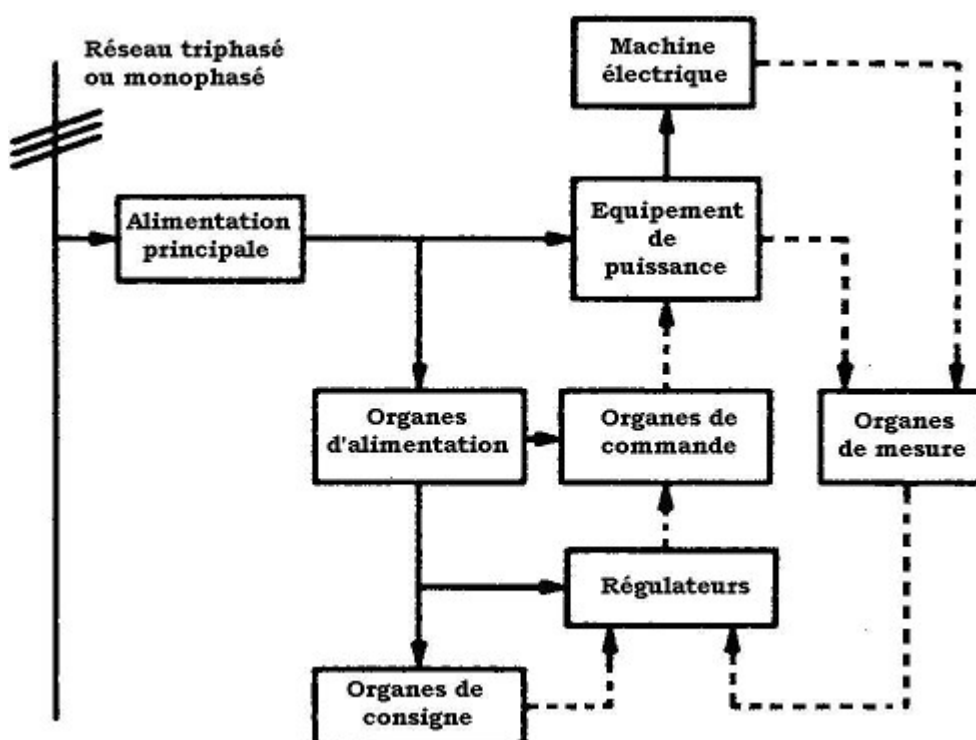
Ma source principale étant les notes de Monsieur Pierre Gabriel, je ne les ai pas référencées dans les notes en bas de page à chaque fois que je les utilise.

Pour les autres sources utilisées, à chaque fois, il y a une note en bas de page qui indique l'origine de la source.

Chapitre 1. Introduction

1.1. Schéma général d'une installation

La figure ci-dessous donne la représentation schématique d'un équipement électrique industriel. Comme le montre la figure, le domaine de l'électricité industrielle peut être subdivisé schématiquement en électricité (ou électronique) de puissance (traits pleins) et en électricité (ou électronique) de réglage et de commande (traits pointillés)

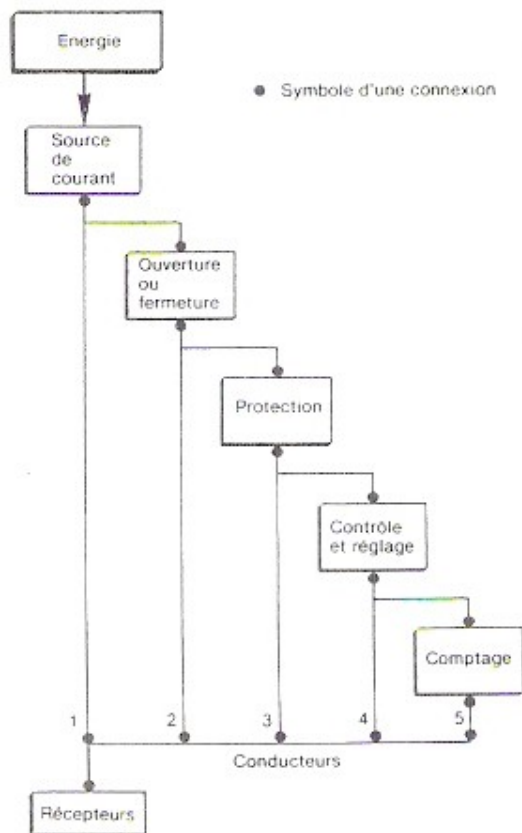


L'*alimentation principale* reliée au réseau triphasé ou monophasé comprend l'interrupteur principal, les protections contre les surcharges et les courts-circuits, ainsi qu'un éventuel transformateur permettant l'adaptation de l'équipement de puissance à la tension de réseau, ou son isolation galvanique par rapport à ce dernier.

Les *organes de consigne*, les *régulateurs*, les *organes de commande* et, parfois même, les *organes de mesure* nécessitent une alimentation qui, dans la plupart des cas, doit être stabilisée. C'est le rôle joué par l'*organe d'alimentation*.

L'élément principal de l'installation est la *machine électrique* (en général un moteur électrique) qui représente le récepteur final (en bout de chaîne). Or pour faire fonctionner un récepteur électrique, il est nécessaire de pouvoir le connecter à une ligne électrique pour recevoir l'énergie indispensable à son bon fonctionnement. C'est là qu'intervient l'*équipement de puissance*.

Le tableau ci-dessous classe le matériel en fonction du rôle qu'il joue dans une liaison électrique « *source de courant - récepteur* ».



Fonction	Définition	Exemples
Appareillage de raccordement	Assure la liaison électrique entre deux ou plusieurs systèmes conducteurs	Borne de raccordement Prise de courant Douille de lampe Sectionneur
Appareillage de commande	Assure en service normal la mise en et hors circuit de partie d'installation ou d'appareil d'utilisation à l'exclusion de toute action de réglage	Interrupteur Inverseur Commutateur Contacteur Combinateur
Appareillage de protection	Eviter que les matériels électriques soient parcourus par des courants qui leur soient nuisibles ainsi qu'à leur environnement	Fusible Disjoncteur Relais thermique
Appareillage de réglage	Agit sur les grandeurs électriques afin de les adapter à l'utilisation	Rhéostat-Potentiomètre Self variable Capacité variable Dispositif électronique
Appareils de mesure et de contrôle	Permettent d'effectuer les mesures et le contrôle des grandeurs électriques	Ampèremètre-Voltmètre Compteur-Enregistreur Fréquencemètre Oscilloscope

Dans le schéma précédent, on constate que l'on peut choisir différentes voies pour connecter un récepteur sur une source d'énergie.

La voie la plus courte est la plus directe mais elle ne permet aucun contrôle.

La voie la plus longue est la plus efficace mais elle coûte beaucoup plus cher.

L'installateur devra donc faire des choix en fonction des moyens qui lui sont alloués mais également en fonction de la sécurité des biens et des personnes et des impératifs techniques imposés par l'installation.

1.2. Caractéristiques principales en régime normal

La **tension nominale d'isolement** : C'est la tension maximale (AC ou DC) que l'appareil peut supporter sans risque de détérioration. Au-delà de cette limite, l'appareil peut céder par claquage d'isolation.

Le **courant nominal** ou normal de fonctionnement : C'est le plus grand courant que le récepteur peut absorber en régime normal pendant une durée indéterminée sans risque d'échauffement ni de détérioration des contacts.

Le **courant limite thermique** : C'est le courant maximum que l'appareil enclenché peut supporter à une température de régime pendant un certain temps sans être détérioré par échauffement.

La **durée de vie mécanique** : C'est le nombre de manœuvres de fonctionnement que peut supporter un appareil. Par exemple un contacteur peut supporter 50 millions de manœuvres (enclenchement-déclenchement).

La **cadence maximale de fonctionnement** : C'est le nombre de manœuvres effectuées dans un certain temps. Par exemples certains appareils vont à 3 manœuvres/minute et d'autres à 10 manœuvres/heure.

1.3. Caractéristiques principales en régime perturbé

Le régime est dit perturbé lorsque l'appareil rencontre des conditions anormales de fonctionnement telles que : court-circuit, surcharge, perte de phase, etc.

Le pouvoir de fermeture : C'est l'intensité du courant la plus élevée que l'appareil **peut établir** sans détérioration nuisible. Le pouvoir de fermeture s'exprime en ampères A ou en KA.

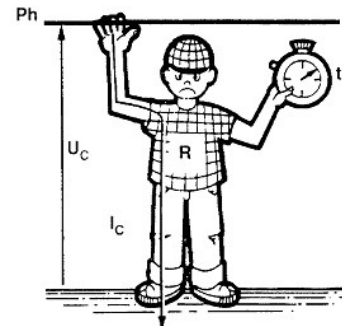
Le pouvoir de coupure : C'est l'intensité ou la puissance la plus élevée que l'appareil **peut couper** sans détérioration nuisible et cela dans des conditions bien déterminées. Il s'exprime en ampères ou en puissance apparente : VA ou KVA

1.4. Les risques électriques¹

Voir les détails vus en BAC 1 dans le cours d'Electricité – Appareils Electriques.

Quatre paramètres interdépendants influent sur le niveau des risques :

- I_c : courant qui circule dans le corps humain,
- U_c : tension appliquée au corps,
- R : résistance du corps humain ($R_{interne} + R_{peau}$)
- t : temps de passage du courant dans le corps.



Les courbes ci-dessous, issues de la norme CEI 479, illustrent la relation $t = f(I_c)$ et déterminent quatre zones :

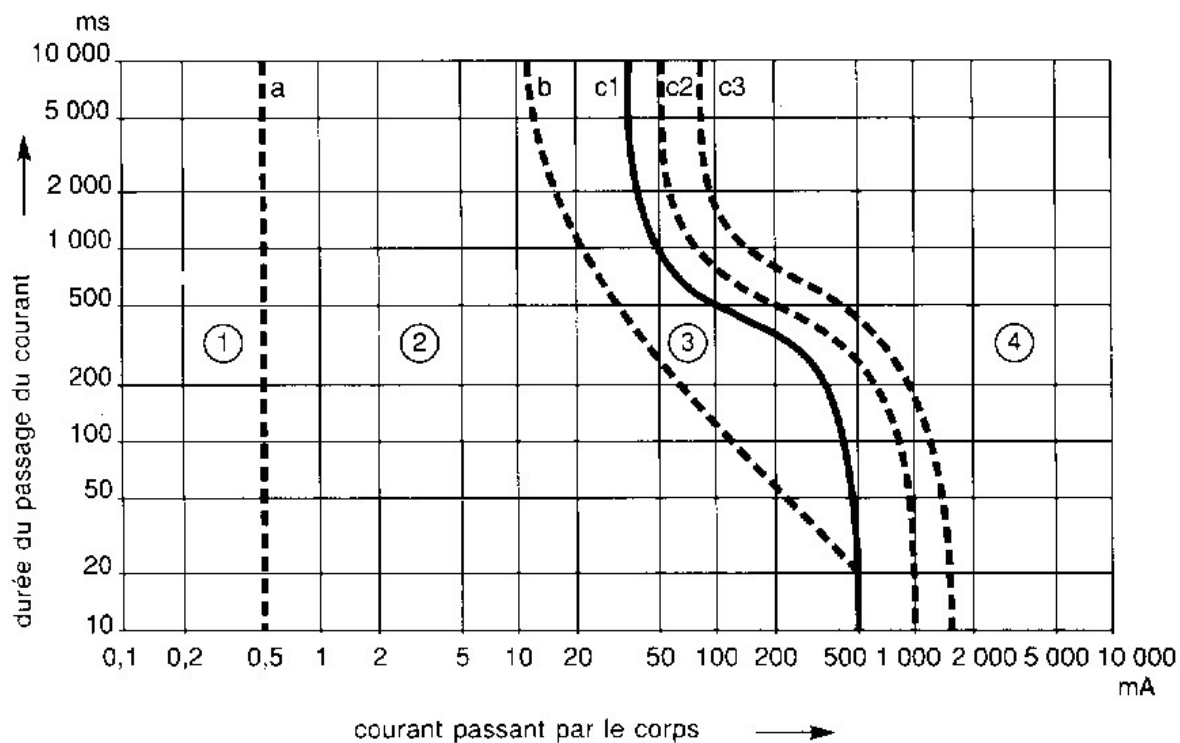
Zone 1 : aucun risque.

Zone 2 : courant perçu mais aucun effet physiologique dangereux.

Zone 3 : la personne ne peut plus lâcher l'appareil en défaut, habituellement sans dommage organique, mais probabilité de contractions musculaires et de difficultés respiratoires.

Zone 4 : fibrillation ventriculaire augmente de 5% des cas pour la courbe C2, 50 % des cas pour la courbe C3, et plus de 50% au-delà de cette dernière courbe, d'où des effets patho-physiologiques importants tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves.

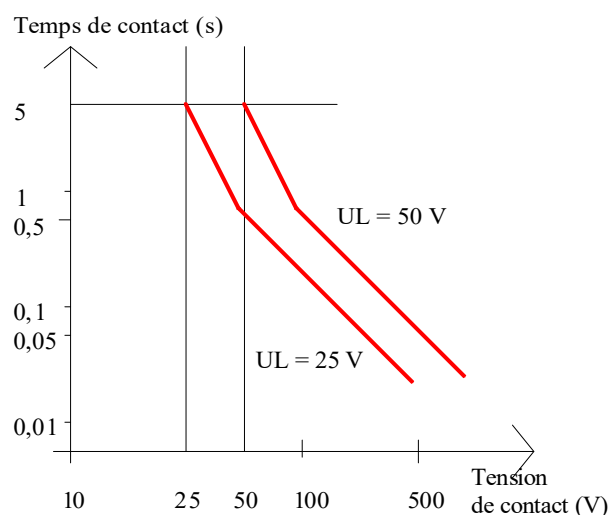
¹ Texte et images provenant de « Sécurité électrique : prévention et éducation » de D. Veyrat (1997).



Les courbes de la figure ci-contre illustrent la relation $t = f(U_c)$.

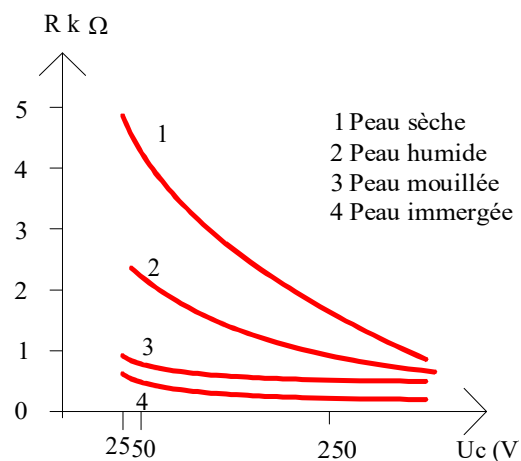
Pour des risques plus importants des alimentations en Très Basse Tension de Sécurité (TBTS) peuvent être requises : 12V pour les endroits immergés, 24V et 48V pour les locaux humides ou secs.

En courant continu lissé, les tensions limites conventionnelles sont respectivement 60V et 120V suivant qu'il s'agit de locaux ou emplacements de travail mouillés ou non.



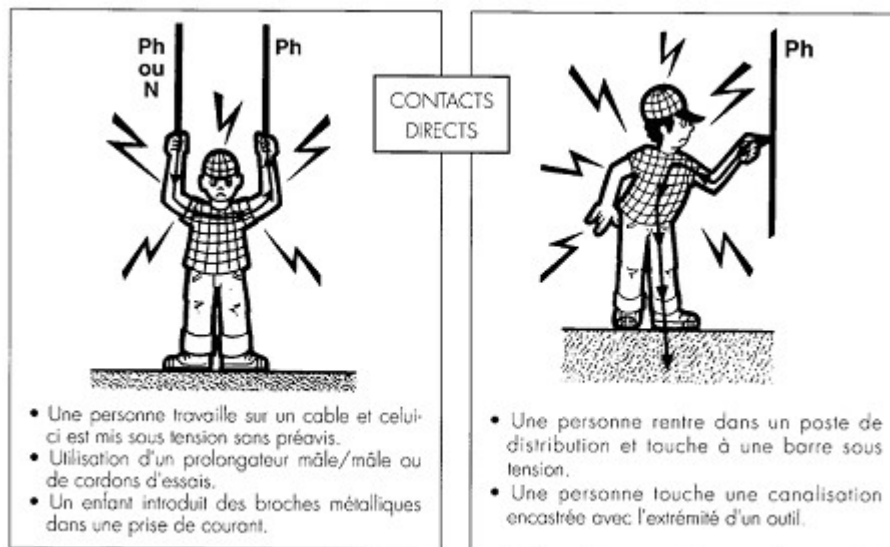
La figure ci-contre donne les courbes donnant la relation $R = f(U_c)$ entre la résistance du corps humain et la tension de contact. La résistance du corps humain varie suivant que la peau est sèche ou humide, mouillée ou immergée.

La valeur minimale de la résistance du corps humain est 325Ω lorsque le corps est immergé, par exemple dans des salles de bains ou des piscines.

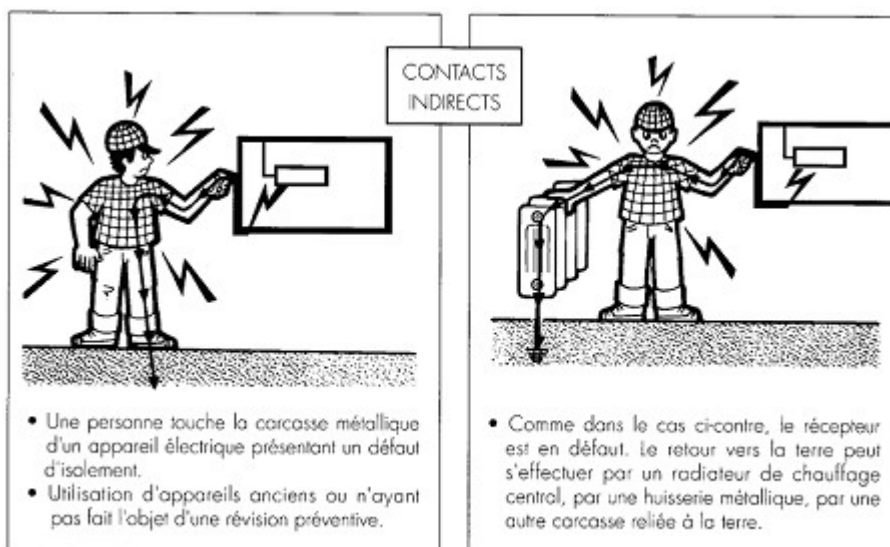


Il existe essentiellement 4 types d'accidents.

Accidents liés à l'imprudence et à la maladresse de l'utilisateur



Accidents liés seulement à l'état du matériel employé



Chapitre 2. Les appareils

Attention ce chapitre ne contient que les caractéristiques principales des appareils. Tous les détails sur la constitution, le principe de fonctionnement et autres se trouvent dans le cours d'Electricité – Appareils Electriques (BAC 1).

2.1. Les appareils de raccordement

2.1.1. Le sectionneur ou sectionneur porte fusibles

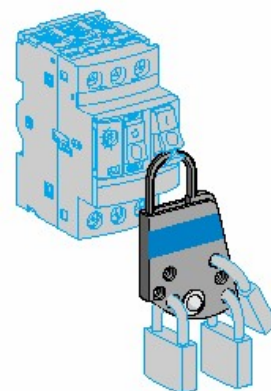
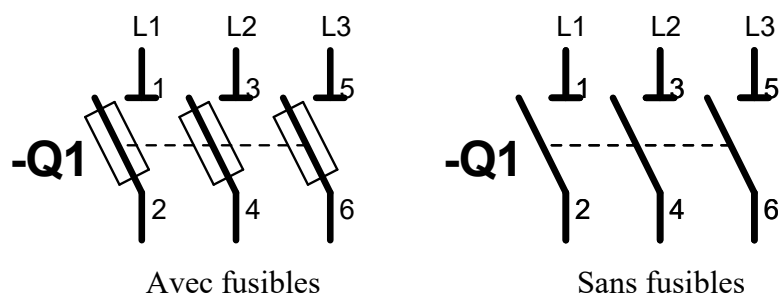
Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion qui est constitué principalement d'un bloc tripolaire ou tétrapolaire, d'un ou de deux contacts auxiliaires de pré-coupure et d'un dispositif de commande latérale ou frontale cadénassable. La fermeture ou l'ouverture des pôles est effectuée **manuellement** au moyen de cette commande. Il peut également servir de porte fusibles.

Le sectionneur est un appareil qui permet d'effectuer la mise hors tension d'une installation électrique en séparant celle-ci de sa tension d'alimentation. Son rôle principal est d'**isoler l'installation** et par conséquent de garantir la sécurité des personnes qui doivent effectuer des travaux de réparation ou d'entretien ou de recherche d'une panne.

Si un technicien doit travailler en amont du sectionneur dans une installation, il doit vérifier que les contacts soient ouverts et puis il peut cadénasser le bouton de Marche/Arrêt pour que personne ne puisse remettre le contact. Ainsi il peut travailler en toute sécurité. En aucun cas, il ne doit être possible de cadénasser le sectionneur en position fermée ou si les contacts sont soudés suite à un incident.



Représentation schématique et numérotation



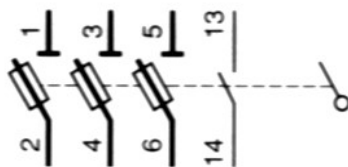
Le pouvoir de coupure

Le sectionneur n'a aucun pouvoir de coupure c'est à dire que ses contacts sont incapables de couper un courant. **Il n'y a aucun système prévu pour couper un arc électrique** créer par

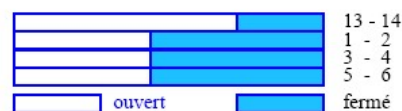
¹ Images provenant de « Communication technique : sectionneur (leçon 3) » BEP Métier de l'électrotechnique, LP Descartes à Fécamp.

un courant circulant au moment de la coupure. Par conséquent, avant d'actionner un sectionneur, il faut être certain qu'aucun courant ne circule dans l'installation.

Autrement dit, le courant doit être au préalable interrompu dans le circuit d'utilisation au moyen d'un appareil prévu à cet effet : le contacteur. Le sectionneur peut posséder un (ou deux) contact auxiliaire de pré-coupure qui peut se raccorder en série avec la bobine d'un contacteur. Ce contact auxiliaire doit ouvrir le contacteur avant et le fermer après les pôles du sectionneur. Mais, il ne doit pas être considéré comme un organe de commande du contacteur qui a sa propre commande Marche/Arrêt. C'est une sécurité de blocage de commande.



Courses respectives des pôles de puissance et du contact de pré-coupure



2.1.2. L'interrupteur sectionneur

Un cas particulier des sectionneurs est l'**interrupteur-sectionneur**. En effet, il s'agit d'un sectionneur qui possède un dispositif qui permet de « couper » un arc électrique. Par conséquent, il peut être manœuvré (ouverture et fermeture) même s'il est parcouru par un courant. Il possède donc un pouvoir de coupure et un pouvoir de fermeture.



2.2. Les appareils de commande

2.2.1. Les interrupteurs et les moyens d'extinction de l'arc

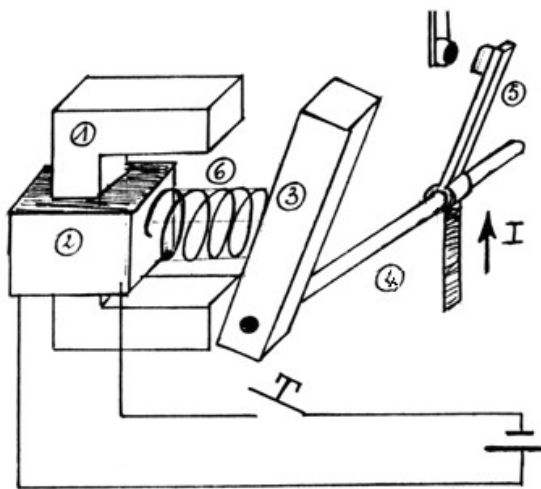
Un interrupteur est un appareil mécanique de commande d'ouverture ou de fermeture, capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales d'un circuit, y compris et éventuellement, les conditions spécifiques de surcharge de service (par exemple un démarrage moteur). **Un interrupteur possède un pouvoir de coupure et un pouvoir de fermeture.**

Pour pouvoir être manœuvré en charge, un interrupteur doit être capable de couper rapidement et efficacement un arc électrique à l'ouverture ou à la fermeture d'un circuit. La technique fait appel à plusieurs types de solution qui peuvent être utilisées séparément ou en cascade.

Pour les moyens d'extinction de l'arc électrique, voir les détails vus en BAC 1 dans le cours d'Electricité – Appareils Electriques.

2.2.2. Le contacteur

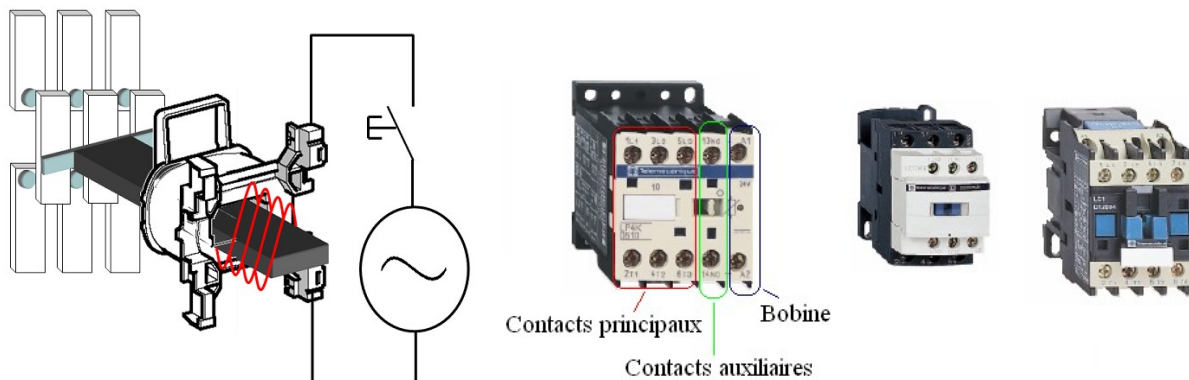
Constitution et principe



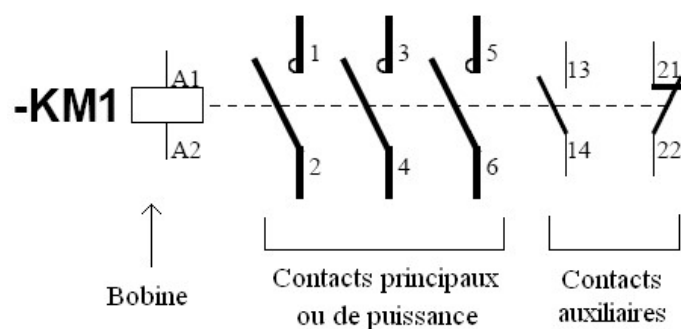
- 1) Un noyau fixe en fer doux.
- 2) Une bobine.
- 3) Un noyau mobile en fer doux.
- 4) Un axe de rotation.
- 5) Un contact fixe et un mobile.
- 6) Un ressort de rappel

Si nous alimentons la bobine au moyen d'un courant, celle-ci créera un champ magnétique et le noyau mobile sera attiré : le mécanisme se ferme. Le contact mobile change de position. Il ferme le circuit électrique. Si maintenant nous coupons le courant, le ressort de rappel repousse le noyau mobile : le contact mobile s'ouvre et le circuit électrique s'ouvre.

En pratique, le noyau mobile est placé comme indiqué sur la figure suivante et un contacteur possède plusieurs contacts : les contacts de puissance et les contacts auxiliaires.



Représentation schématique et numérotation

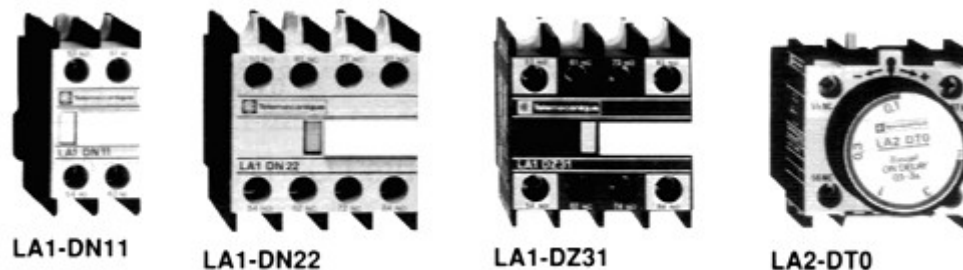


Les contacts de puissances permettent d'établir ou de couper des courants de fortes intensités. C'est pourquoi, ils sont munis d'un ou de plusieurs systèmes d'extinction d'arc (souvent sous ambiance naturelle : air) qui fixent le pouvoir de coupure du contacteur.

Les contacts auxiliaires sont de petits contacts destinés à assurer l'auto-alimentation de la bobine, à des asservissements, des verrouillages d'autres contacteurs, ... Ils peuvent couper des courants entre 5A et 10A selon le modèle.

2.2.3. Les organes auxiliaires

La plupart des contacteurs ne disposent que de très peu de contacts auxiliaires. Souvent ils ne possèdent qu'un contact auxiliaire normalement ouvert. C'est bien souvent insuffisant pour réaliser une commande automatique. Il faut donc ajouter des contacts auxiliaires complémentaires. Les organes auxiliaires sont constitués d'un ensemble de contact blocs que l'on peut greffer sur le boîtier du contacteur soit de face, soit latéralement.



Les contacts sont actionnés par le mécanisme magnétique du contacteur qui les enclenche en même temps que les contacts principaux.

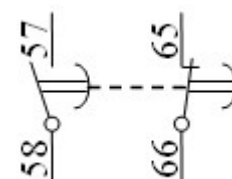
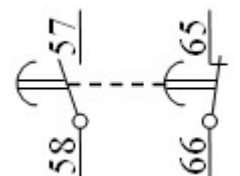
Les contacts instantanés

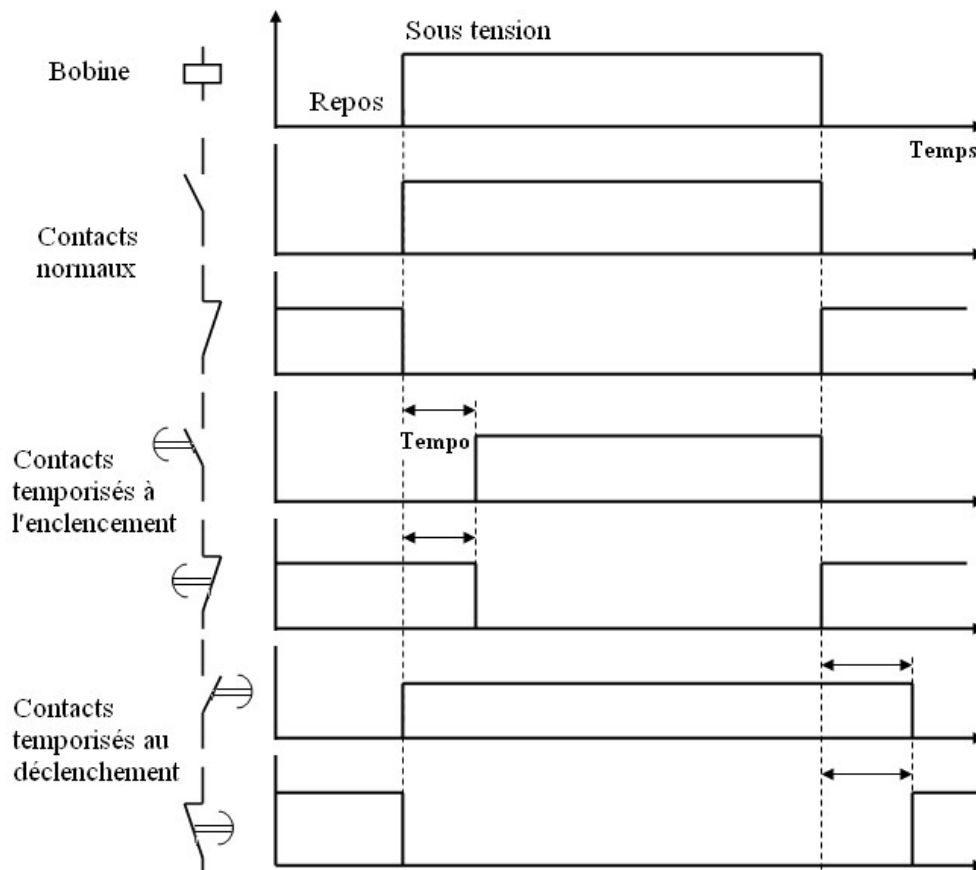
Ce sont des contacts auxiliaires normalement ouverts **NO** (en anglais : *normaly opened NO*) et normalement fermés **NF** (ou *normaly closed NC*).

Les contacts temporisés

Nous pouvons distinguer deux grandes familles de contacts temporisés :

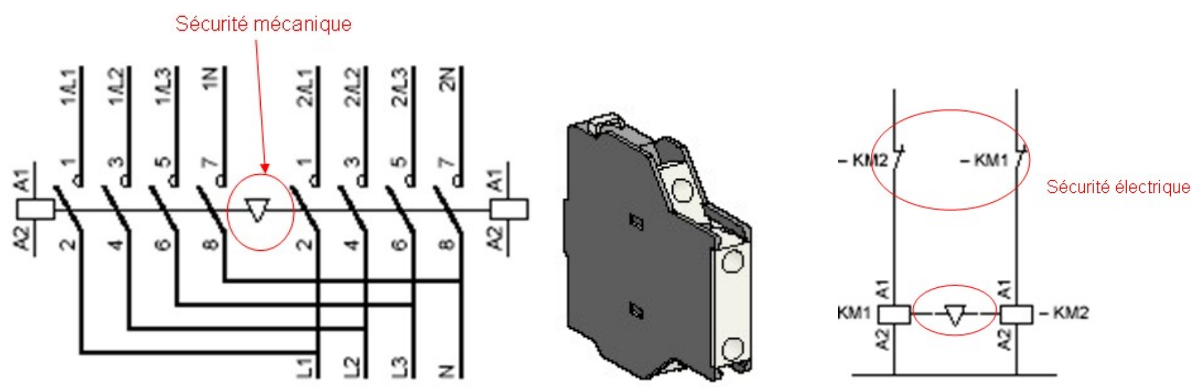
- **temporisés à l'enclenchement** : ces contacts s'enclenchent (NO se ferme et NF s'ouvre) un certain temps après l'alimentation de la bobine. Ce retard est programmé par l'utilisateur.
- **temporisés au déclenchement** : ces contacts se déclenchent (NO s'ouvre et NF se ferme) un certain temps après la coupure de la bobine. Ce retard est programmé par l'utilisateur.





Les dispositifs de condamnation

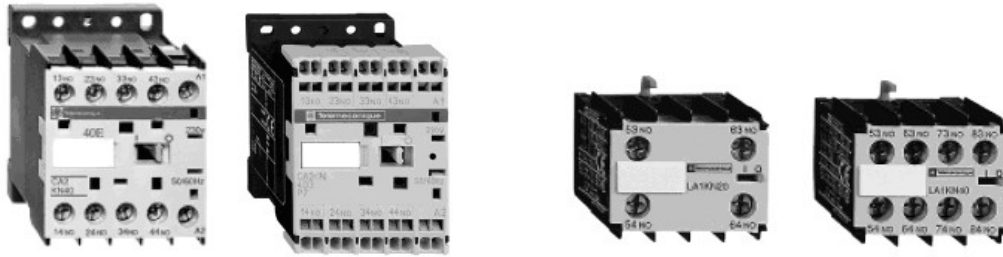
Il s'agit d'un appareil qui est placé entre deux contacteurs. Il possède un mécanisme qui interdit l'enclenchement simultané de deux contacteurs juxtaposés. En plus de cette sécurité mécanique, il est souvent conseillé de placer aussi une sécurité électrique (au niveau de la commande).



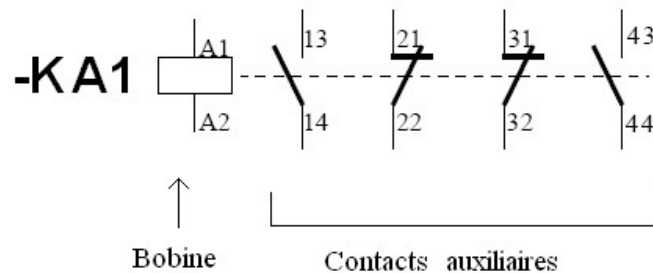
2.2.4. Les contacteurs auxiliaires

A ne pas confondre avec les organes auxiliaires pour contacteurs. Il s'agit de contacteurs qui possèdent leur propre bobine pour commander uniquement des contacts auxiliaires. La différence avec les contacteurs « classiques » est que les contacteurs auxiliaires ne possèdent pas de contacts de puissance et n'ont donc pas de pouvoir de coupure. Ils possèdent leurs

propres organes auxiliaires qui se greffent dessus et donc sont commandés par la bobine du contacteur auxiliaire.



Représentation schématique et numérotation



2.3. Les appareils de protection

Une installation, même réalisée conformément aux règles, peut subir des détériorations telles que : court-circuit, foudre, surcharge, coups dans un câble etc. Il est donc nécessaire de la protéger contre : les surintensités, les surtensions et les baisses de tension.

On est en surintensité dès que l'intensité du courant dépasse la valeur de l'intensité nominale de l'installation. On distingue différents types de surintensité :

Les surcharges de faible surintensité : surcharges dont l'intensité est supérieure au courant nominal et inférieur à 5 fois I_N ($I_N < I < 5 \times I_N$).

Les surcharges de forte surintensité : surcharges dont l'intensité est comprise entre 5 et 10 fois l'intensité nominale ($5 \times I_N < I < 10 \times I_N$). Dans certains cas, la surcharge de forte surintensité peut être acceptée pendant des temps très courts pour permettre à une installation de démarrer.

En aucun cas, les surcharges de forte surintensité ne peuvent être maintenues pendant un temps de circulation supérieur à 5 secondes dans un circuit.

Le court-circuit : Le court-circuit est dû à un défaut entre deux points d'un réseau. On dit que l'on atteint un courant de court-circuit lorsque le courant dépasse de 10 fois le nominal ($10 \times I_N < I_{cc}$).

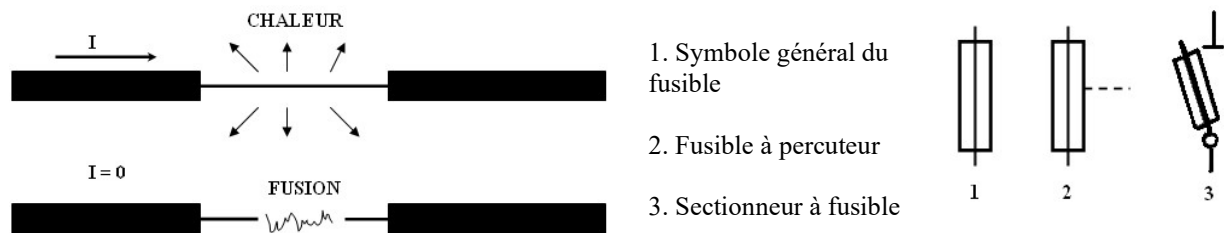
Les courants de court-circuit ne sont jamais tolérés dans une installation sauf cas particulier comme la soudure à l'arc ou autres.

2.3.1. Les fusibles

Le coupe-circuit à fusible ou fusible est un appareil de connexion dont la fonction est d'ouvrir par la fusion un ou plusieurs de ses éléments, conçus et calibrés à cet effet, le circuit dans lequel il est inséré. Il doit interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse, pendant un temps suffisant, une valeur précisée.

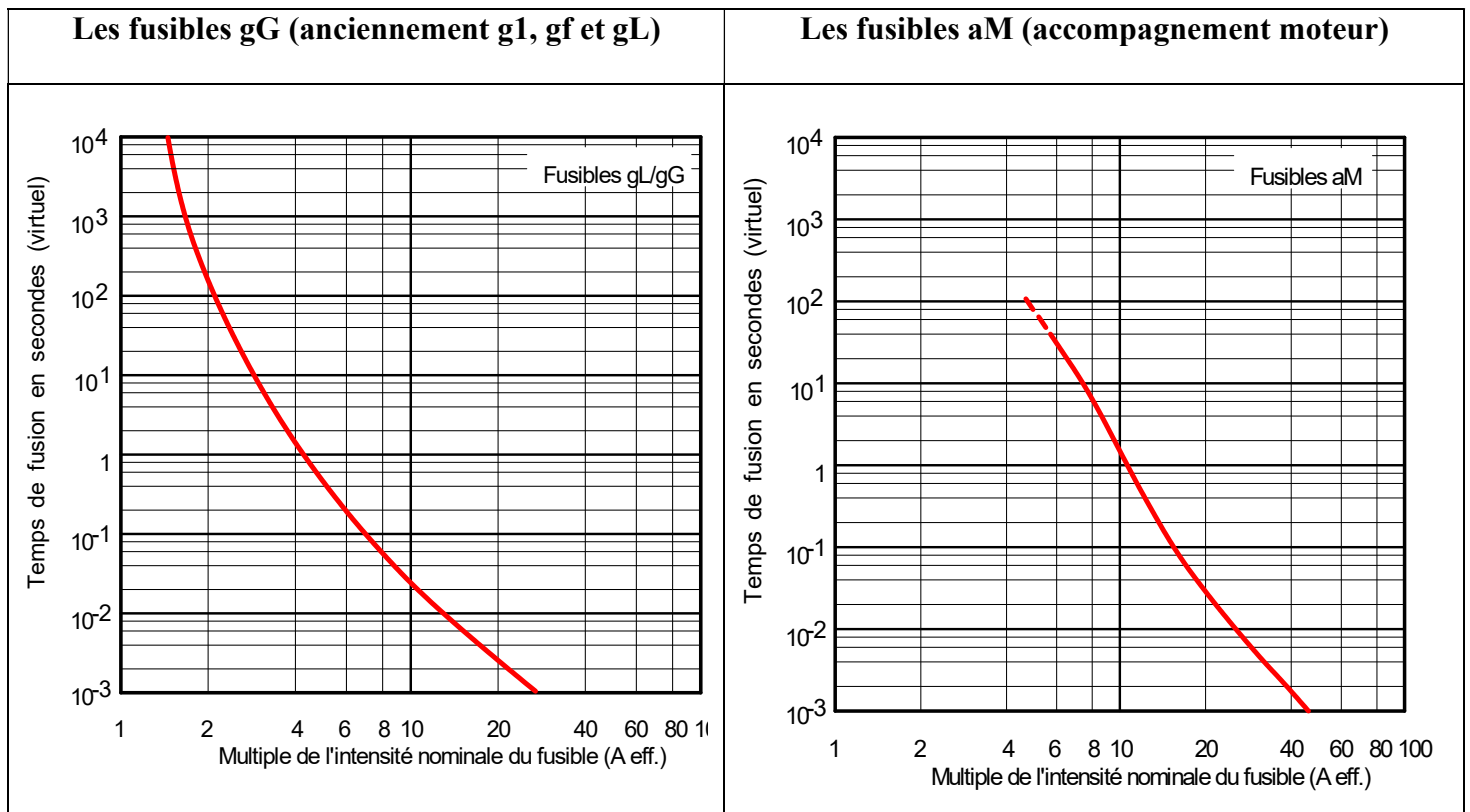
L'énergie dégagée est proportionnelle au temps t : $W = R \cdot I^2 \cdot t = (\rho \cdot L / S) \cdot I^2 \cdot t$

Ainsi lorsque le courant augmente, le fil du fusible dégage plus de chaleur que le câble par lequel passe le courant. Après un certain temps « t », le fil du fusible rougit et fond.



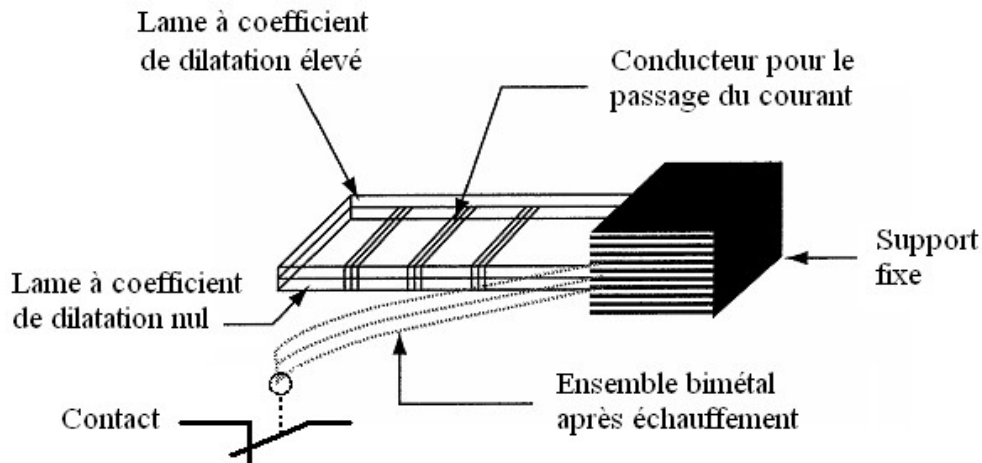
Différents types de fusible

Ils se classent en deux catégories selon la courbe de fusion du fusible. Les fusibles gG protègent l'installation contre les faibles surcharges de longue durée (surcharges ne présentant pas de pointes de courant importantes) et contre les courts-circuits. Les fusibles aM (ou accompagnement moteur) protègent l'installation contre les courts-circuits et les pointes de courant élevées et "laissent passer" les fortes surintensités de courtes durées sans fondre (par exemple au démarrage des moteurs).



2.3.2. Les relais thermiques

C'est un système déclencheur avec un bilame et qui fonctionne sous l'effet thermique du courant qui le traverse (effet Joule). Lorsque le bilame s'échauffe, il se dilate en s'incurvant à cause de la différence de dilatation des deux métaux. En s'incurvant, le bilame déclenche une serrure qui libère un mécanisme actionné par un ressort et ouvre un ou plusieurs contacts.



1

Les contacts d'ouverture peuvent être de deux types. Suivant le type de contact, l'utilisation sera différente :

- Les contacts de puissance dans les disjoncteurs. →
- Les contacts de commande pour le contrôle du courant dans des contacteurs. ↘

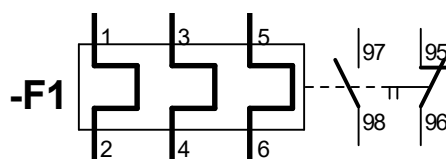


Dans les disjoncteurs, il y a directement coupure des contacts de puissance tandis que dans les relais, le système intervient par l'intermédiaire de contacts auxiliaires qui coupent une bobine d'excitation d'un contacteur. Dans ce cas, la coupure est indirecte et moins rapide que dans le cas du disjoncteur



2

Représentation schématique et numérotation

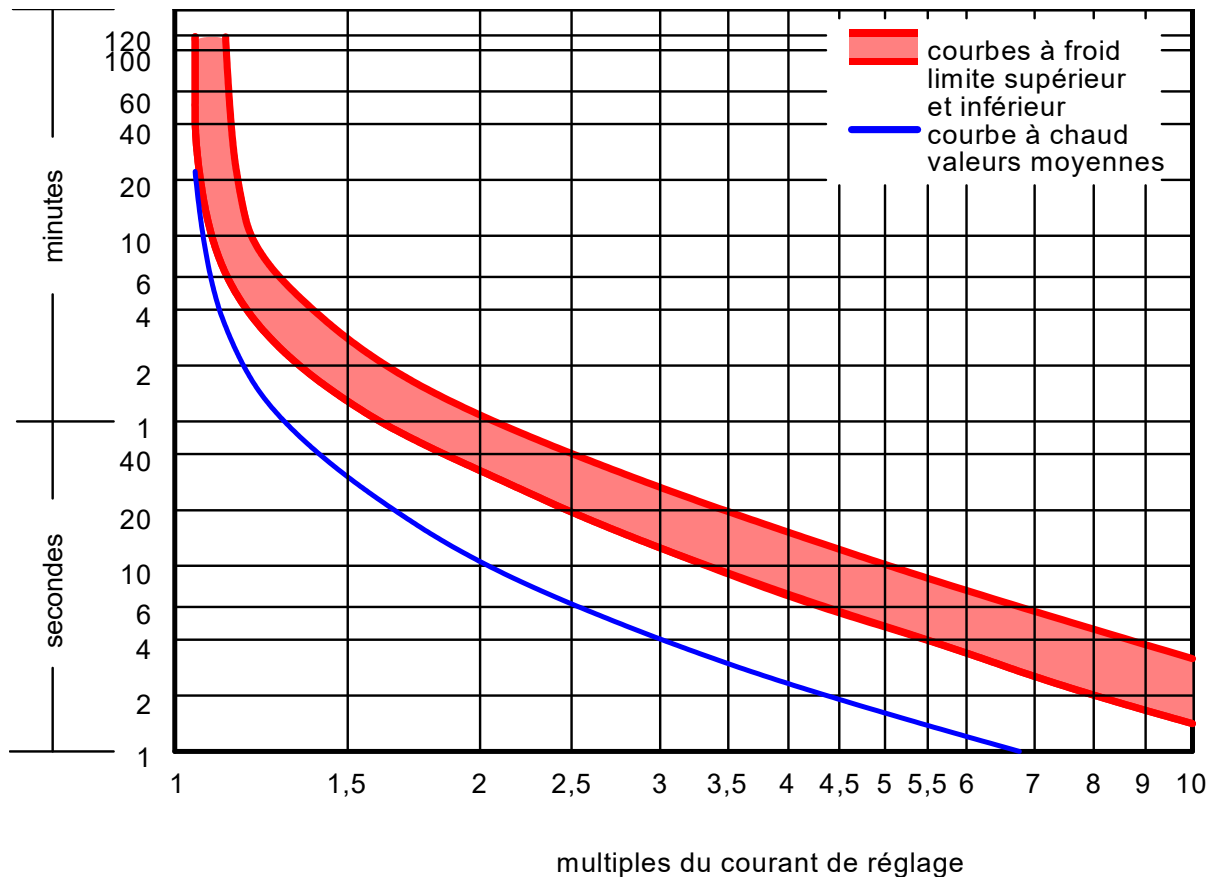


¹ Image provenant de « Communication technique : le relais thermique (leçon 5) » BEP Métier de l'électrotechnique, LP Descartes à Fécamp.

² Idem que 1.

Courbe de déclenchement et réglage

La courbe représente le temps de déclenchement en fonction des multiples de l'intensité de réglage. Le relais déclenche légèrement au-dessus de l'intensité de réglage. On peut donc régler le thermique à la valeur nominale du moteur ou légèrement au-dessus : $I_r = 1 \text{ à } 1,05 I_n$

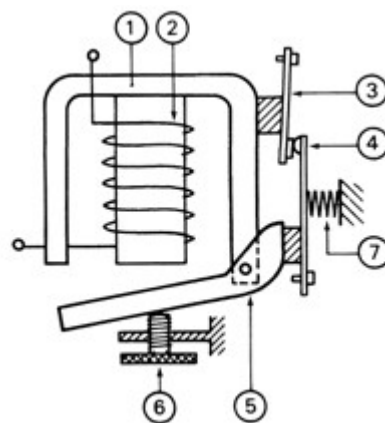


Au vu de la courbe de déclenchement, nous voyons que le relais thermique sert essentiellement à protéger l'installation contre les surcharges de faible surintensité.

2.3.3. Les relais magnétiques

Il se compose de :

- 1) Un circuit magnétique fixe
- 2) Une bobine en cuivre de grosse section
- 3) Un contact fixe
- 4) Un contact mobile
- 5) Un circuit magnétique mobile
- 6) Une vis de réglage de l'entrefer
- 7) Un ressort de rappel

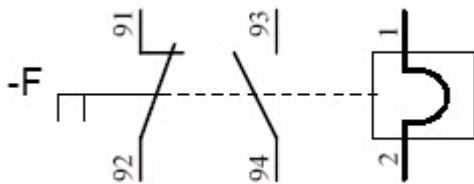


Lorsque la bobine est traversée par le courant à contrôler, il se crée un champ magnétique. Ce champ magnétique est d'autant plus intense que le courant qui traverse la bobine est élevé. Ce champ attire l'armature mobile. Si l'attraction est suffisante, l'armature mobile se soulève et actionne un contact. Ce contact coupe le circuit de la bobine d'un contacteur et le courant se coupe. Dans les dispositifs utilisés actuellement, l'armature mobile actionne directement la serrure d'un disjoncteur et dans ce cas, le système coupe le courant par des contacts de puissance. Nous parlerons donc de relais magnétique dans le premier cas et de disjoncteur (moteur) magnétique dans le deuxième cas.

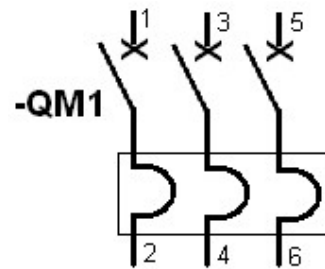


Ce dispositif peut protéger contre les surcharges de forte intensité et des courts-circuits. Il peut dans certains cas remplacer le fusible en réagissant plus rapidement.

Représentation schématique et numérotation



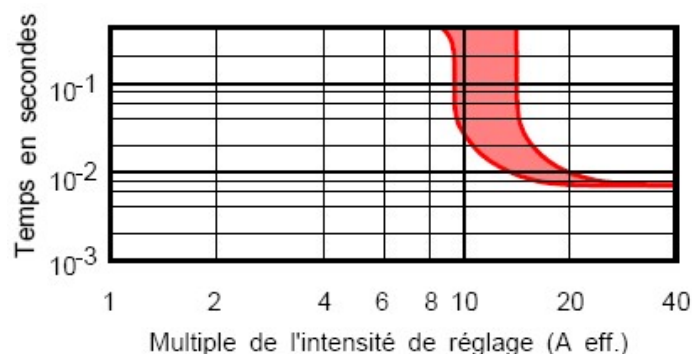
Relais magnétique (en bloc monophasé) avec deux contacts auxiliaires



Disjoncteur magnétique triphasé

Courbe de déclenchement

Suivant la valeur du réglage (via la vis 6), le déclenchement se fait presque instantanément. Il y a aussi une zone d'incertitude. Pour un réglage $I_r = 10 I_N$: si le courant dépasse fortement I_r , le temps est presque nul ; si le courant ne dépasse que faiblement I_r , la palette mettra moins de 0,1 seconde pour se fermer.



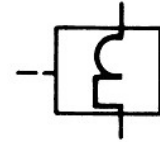
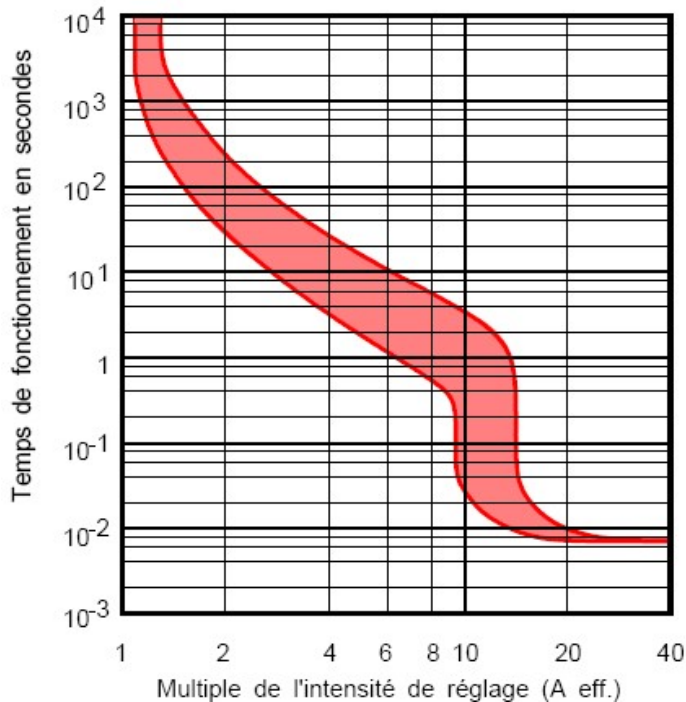
¹ Images provenant de « Les départs pour les moteurs asynchrones triphasés » de Schneider Electric.

2.3.4. Les disjoncteurs magnétothermiques

C'est l'association d'un relais magnétique et d'un relais thermique. Le premier protège contre les surintensités brutales et les courts-circuits, le deuxième contre les surcharges de faible surintensité. **Il possède un grand pouvoir de fermeture et un grand pouvoir de coupure.** Il est représenté par le symbole ci-dessous.

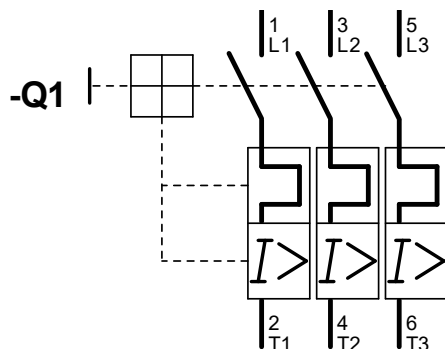
Courbe de déclenchement

C'est la combinaison des deux courbes de déclenchement des deux systèmes précédents rassemblée sur un seul graphique.



Cette technique de protection est complète. Elle sera très utilisée dans les disjoncteurs. **C'est le type de protection intégrale pour les surcharges.** Cependant, les fusibles restent plus rapides pour les courts-circuits violents supérieurs à 40 fois I_N . Le déclencheur magnétique prend tout de même 1 centième de seconde pour réagir.

Représentation schématique :



2.3.5. Le disjoncteur domestique

Il s'agit d'un disjoncteur magnétothermique avec un préréglage. Selon l'application, ils se différencient par leur courbe de déclenchement normalisée (voir cours B1).

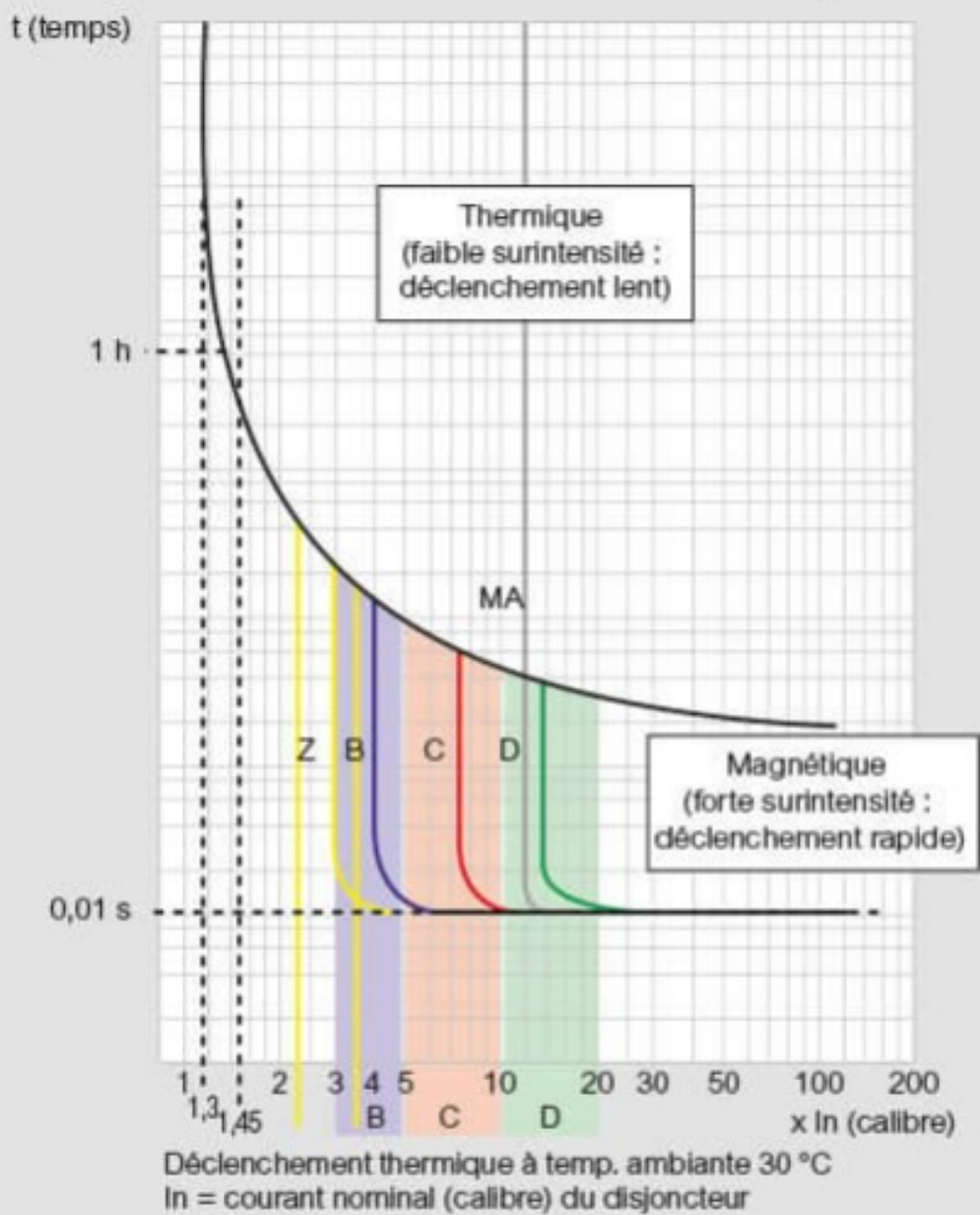
Dans les installations domestiques, il remplace le fusible. A l'encontre du fusible, il permet un ré-enclenchement instantané du circuit interrompu par un simple mouvement de manette ou de bouton poussoir. Calibres : 2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32 A pour les plus usuels. Ils sont uni, bi, tri et tétrapolaires du type modulaire avec pouvoir de coupure de 3000A.

Les courbes de déclenchement des disjoncteurs

Un disjoncteur peut inclure ou non une détection thermique ; de ce fait il existe deux types principaux de disjoncteurs :

- avec déclencheur thermique :
 - courbe B : seuil de déclenchement du magnétique entre 3 et 5 ou 3,2 et 4,8 fois l'intensité nominale
Cette protection est utilisée pour les circuits électriques ayant une longueur de câble importante.
 - courbe C : seuil de déclenchement du magnétique entre 5 et 10 ou 7 et 10 fois l'intensité nominale
Il s'agit du disjoncteur le plus couramment utilisé dans le tableau électrique. Il sert à protéger les prises électriques, les radiateurs, l'éclairage ou encore les appareils électroménagers;
 - courbe D : seuil de déclenchement du magnétique entre 10 et 14 fois l'intensité nominale
Ce disjoncteur convient pour protéger certains moteurs, comme ceux d'une pompe à chaleur ou d'une VMC
 - courbe Z : seuil de déclenchement du magnétique entre 2,4 et 3,6 fois l'intensité nominale
Cette protection est utilisée pour les circuits électroniques
- sans déclencheur thermique :
 - courbe MA : seuil de déclenchement du magnétique à 12 ($\pm 20\%$) fois l'intensité nominale
Il est conçu pour assurer la protection contre les courts-circuits des départs-moteurs.

Courbes de déclenchement des disjoncteurs



Courbes	Réglage seuils magnétique
Z ⁽¹⁾	2,4 à 3,6 In
B	3 à 5 In
C	5 à 10 In
D	10 à 14 In (10 à 20 selon les normes)
MA	12 à 14 In

1 : Disjoncteurs courbe Z disponibles sur catalogue en ligne ou contacter votre direction régionale

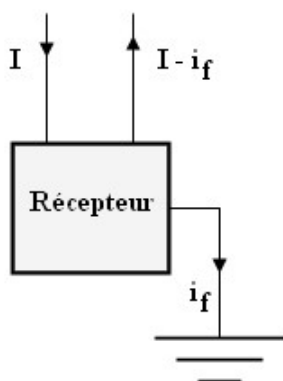
2.3.6. Le disjoncteur différentiel

Le disjoncteur différentiel est un disjoncteur muni d'un système complémentaire de sécurité permettant de détecter des pertes de courant sur une ligne.

Il a pour rôle d'assurer :

- La protection des circuits contre les surintensités dues aux surcharges faibles et fortes.
- La protection contre les courts-circuits.
- La protection des installations contre les fuites de courant.
- La protection des personnes contre les contacts directs.
- La protection des personnes contre les contacts indirects.

Les courants de fuite

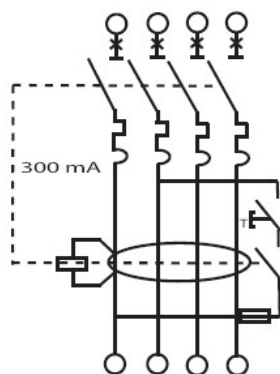


Considérons une installation présentant un défaut d'isolement. La masse étant reliée à la terre, si le point neutre du transfo est relié à la terre (comme dans la plupart des installations domestique) il y a un courant de fuite qui retourne au point neutre du transfo par la résistance de terre.

Le courant sortant du récepteur est différent du courant entrant dans le récepteur.

Si ce courant de fuite est « faible », aucun des appareils que nous avons vus ne le détectera et la fuite continuera indéfiniment.

Représentation schématique et plage de sensibilité



Sensibilités	Plage de sensibilité	Calibres Bipolaire, tripolaire et tétrapolaire	Pouvoir de coupure
300mA	De 150 à 300 mA	20, 25, 32, 40, 63A	3000 et 6000 A
100mA	De 50 à 100 mA	10, 16, 20, 25, 32, 63A	3000 et 6000A
30mA	De 12 à 30 mA	10, 16, 20, 32, 40, 63A	3000 et 6000A
10mA	5 à 10mA	10, 16, 20, 25, 32A	3000 et 6000A

2.3.7. Comparaison des appareils d'établissement et d'interruption des circuits électriques

Les deux tableaux suivant proviennent de « Comparaison des appareils d'établissement et d'interruption des circuits électriques » de C.Bernardin (15 novembre 2000).

DESIGNATION	SECTIONNEUR	INTERRUPTEUR	CONTACTEUR	DISJONCTEUR	FUSIBLE
Symbole					
Définition de la Fonction	Séparer tout ou partie d'une installation de la source d'énergie	Établir et interrompre les courants dans les conditions normales, supporter des courants anormaux (I_{cc}) pendant une durée spécifiée		Établir, supporter et interrompre des courants normaux et des I_{cc} pendant une durée spécifiée	Interrompre un circuit lorsque le courant dépasse une valeur donnée dans un temps donné.
Mode de fermeture	manuel	manuel	Semi-automatique	manuel	manuel
Mode d'ouverture	manuel	manuel	Semi-automatique	Manuel + automatique	automatique
Pouvoir de coupure	Aucun	2 à 3 I_n	10 I_n	> 30 I_n	>50 I_n
Isoler/Séparer	☒				
Commander puiss ^{ce}		☒	☒	☒	
Protéger les matériels détection coupure $I >$ coupure $I_{cc} >>$				☒ ☒ ☒	☒ ☒ ☒
Protéger les personnes					
Coupure visible	☒				
Coup.plein ^t appar ^{te}				☒	☐
Consignation	☒			☐	

DESIGNATION	SECTIONNEUR à fusibles	INTERRUPTEUR différentiel	DISCONTACTEUR	DISJONCTEUR différentiel	RELAIS THERMIQUE
Symbole					
Mode de fermeture	manuel	manuel	Semi-automatique	manuel	
Mode d'ouverture	manuel	Manuel + automatique	Semi-automatique + automatique	Manuel + automatique	
Pouvoir de coupure	Celui des fusibles	2 à 3 I_n	10 I_n	> 30 I_n	
Isoler/Séparer	☒				
Commander la puiss ^{ce}		☒	☒	☒	
Protéger les matériels détection coupure sur $I >$ coupure sur $I_{cc} >>$	☒ ☒ ☒		☒ ☒	☒ ☒ ☒	☒
Protéger les personnes		☒		☒	
Coupure visible	☒				
Coupure pleinement apparente				☒	
Consignation	☒			☐	

Chapitre 3. Schémas électriques

3.1. Normalisation

Définition du plan

Le plan est constitué du **cadre** qui détermine les limites du plan et permet la mise en page du schéma et du **cartouche** qui se situe dans le coin inférieur droit et contient au minimum les informations suivantes

- le nom et le prénom du dessinateur
- le nom de la firme qui produit le plan
- la date de fabrication du plan
- le titre du schéma ou du plan
- le numéro de référence ou d'identification
- le numéro du plan. Ce numéro donne la position du plan dans l'ensemble des plans composants le schéma.

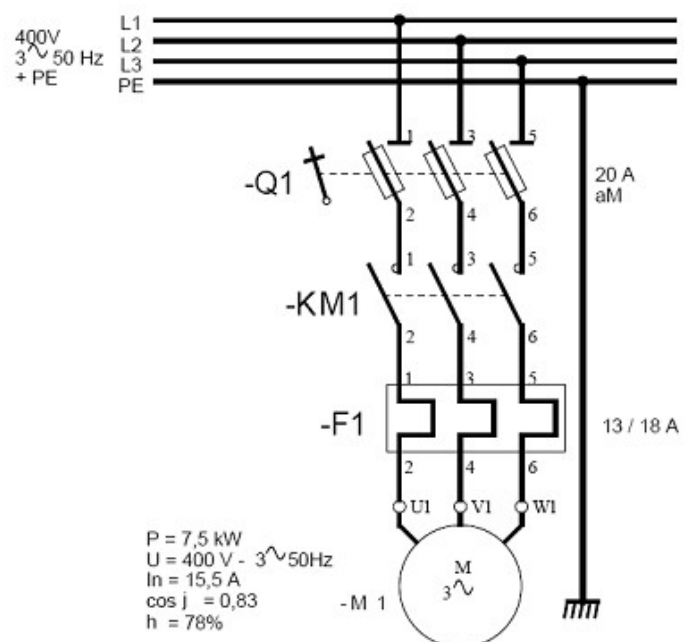
Institut industriel saint Joseph Visé Rue de la Croix Rouge, 12 - 4000 Visé - tél. : 04375 20 30	Nom :	Date :	Réf. :

Définition du schéma

Un schéma montre comment les différentes parties d'un réseau, d'une installation, d'un ensemble d'appareils sont fonctionnellement reliées et connectées. Il utilise à cet effet des symboles, des traits et des repères. Les circuits de puissance, de commande et de signalisation doivent être représentés par des traits de grosseurs différentes.

Le circuit de puissance

Dans la partie supérieure du schéma de puissance, des lignes horizontales représentent le réseau de distribution sur lequel votre installation va se brancher. Les différents moteurs et appareils de puissance sont placés sur les dérivations. Ces lignes sont tracées en traits forts afin de signaler à l'utilisateur qu'il doit utiliser des conducteurs dont la section est adaptée aux caractéristiques électriques des récepteurs. Il est recommandé de les inscrire à coté de chaque appareil.



Le circuit de commande et de signalisation

Les deux lignes horizontales (L1 et L2) représentent l'alimentation. Les symboles des organes de commande des contacteurs, des relais et autres appareils commandés électriquement sont disposés et connectés entre eux par des lignes verticales équidistantes. Chaque ligne verticale possède son numéro de ligne. Sur chaque plan, la première ligne portera toujours le numéro 1. Le numéro de ligne se place sous chaque ligne verticale. Dans le circuit de commande et de signalisation, les liaisons électriques sont réalisées en traits fins.

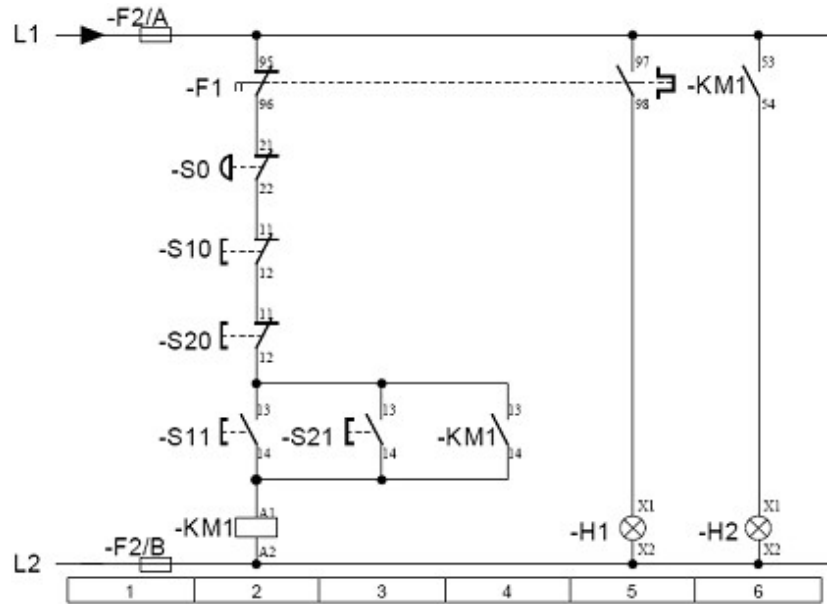
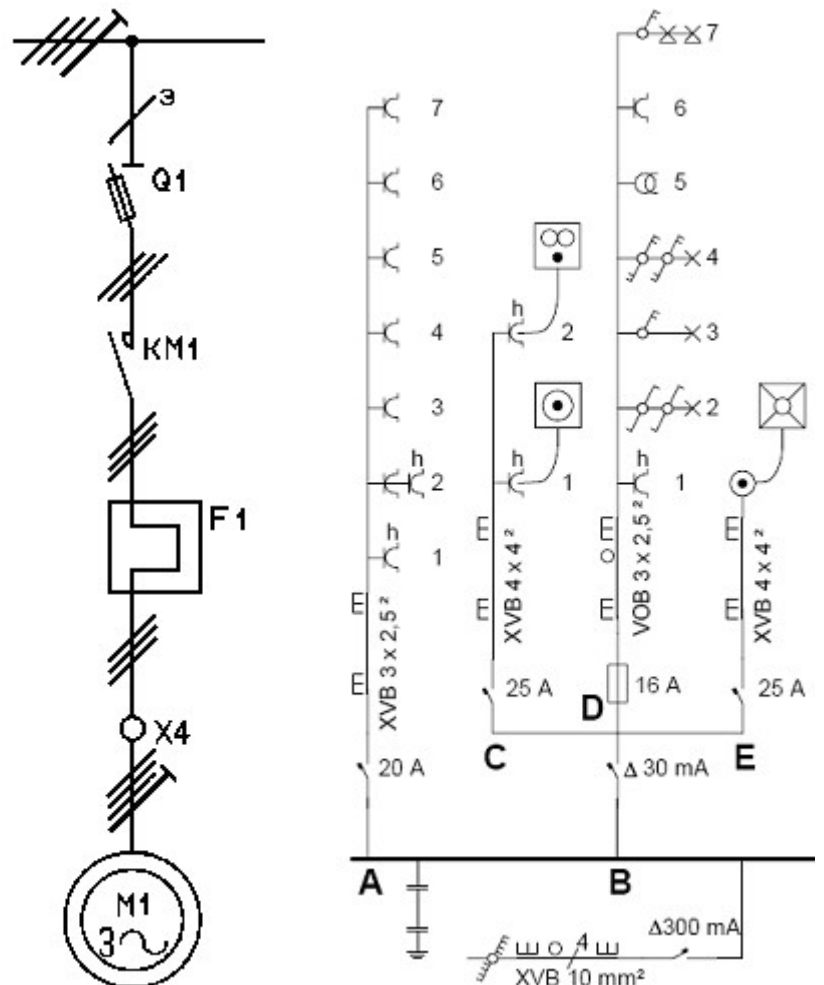


Schéma unifilaire

Deux ou plusieurs conducteurs sont représentés par un trait unique. On indique sur ce trait le nombre de conducteurs en parallèle.

Cette représentation est surtout utilisée en triphasé ou dans les schémas des installations électriques domestiques (voir les notes de cours de BAC 1).



3.2. Les symboles

Les appareils doivent normalement être représentés dans l'état non alimenté ou dans la position occupée en l'absence de toute action opérative. Il est également essentiel que tous les éléments d'un appareil à plus de deux directions et à commutations complexes soient représentés de façon cohérente.

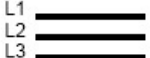
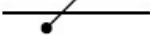
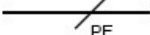
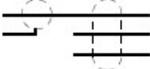
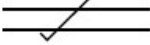
Pour éviter toute ambiguïté, une indication spéciale sur le schéma (note, diagramme, ...) est nécessaire, par exemple pour les appareils qui peuvent se maintenir dans un ou plusieurs états. Chaque organe constituant l'appareil (bobine, pôle, contact auxiliaire, etc.) est représenté par un symbole qui doit être rigoureusement conforme aux règles adoptées. Ceci permet, à la lecture du schéma, de connaître quelles sont les fonctions assurées par les divers éléments et de comprendre le fonctionnement de l'équipement.

Les symboles graphiques représentés ci-dessous sont fidèles à la norme IEC 1082-1 (décembre 1992).

* Nature des courant

Courant alternatif	
Courant continu	
Courant ondulé ou redressé	
Courant alternatif triphasé 50 Hz	3~50 Hz
Mise à la terre	
Mise à la masse	
Terre de protection	
Terre sans bruit	

* Nature des conducteurs

Conducteur, circuit auxiliaire	
Conducteur, circuit de puissance	
Faisceau de 3 conducteurs	L1 L2 L3 
Représentation unifilaire	
Conducteur neutre (N)	
Conducteur de protection (PE)	
Conducteurs sous écran conducteurs blindé	
Conducteurs torsadés	

* Bornes et connexions

Dérivation et croisement					
Croisement sans connexion					
Borne de commande (1) de puissance (2)	(1) (2) 				
Barrette à bornes ou bornier	<table border="1" data-bbox="633 1998 745 2020"><tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr></table>	11	12	13	14
11	12	13	14		

Connexion par contact glissant	
Fiche 1-commande 2-puissance (Fiche mâle)	(1) (2) 
Prise 1-commande 2-puissance (Fiche femelle)	(1) (2) 
Fiche et prise	(1) (2) 

* Contacts

Contact NO (Contact à fermeture)		Contact à deux directions sans chevauchement	
Contact NF (Contact à ouverture)		Contact à deux directions avec chevauchement	
Interrupteur		Contact à ouverture anticipée. Opèrent plus tôt que les autres contacts d'un même ensemble	
Sectionneur		Contact à ouverture tardive. Opèrent plus tard que les autres contacts d'un même ensemble	
Contacteur		Contact de passage fermant momentanément à l'action de son organe de commande	
Rupteur		Contact de passage fermant momentanément au relâchement son organe de commande	
Disjoncteur		Contact à fermeture à position maintenue	
Interrupteur-sectionneur		Interrupteur de position	
Interrupteur-sectionneur à ouverture automatique		Contact à fermeture ou ouverture temporisée à l'action (retard à l'enclenchement)	
Sectionneur fusible		Contact à fermeture ou ouverture temporisée au relâchement (retard au déclenchement)	

* Organes de commande

Commande électromagnétique Contacteur auxiliaire contacteur de puissance		Commande électromagnétique à verrouillage mécanique	
Contacteur électromagnétique à deux enroulements		Commande électromagnétique d'un relais clignoteur	
Contacteur électromagnétique à mise au travail retardée (retard à l'enclenchement)		Commande électromagnétique d'un relais impulsif	
Contacteur électromagnétique à mise au repos retardée (retard au déclenchement)		Commande électromagnétique à action et relâchement retardé	
Commande électromagnétique d'un relais à rémanence		Bobine d'électrovanne	

* **Organes de mesure**

Relais de mesure ou dispositif apparenté: symbole général		Dispositif actionné par la fréquence	
Relais de surintensité à effet magnétique		Dispositif actionné par le niveau d'un fluide	
Relais de surintensité à effet thermique		Dispositif actionné par le nombre d'événements	
Relais à maxima de courant		Dispositif actionné par un débit	
Relais à minima de tension		Dispositif actionné par la pression	
Relais à manque de tension		Dispositif actionné par la température	

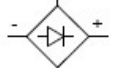
* **Commande mécaniques, électriques, pneumatiques et hydrauliques**

Liaison mécanique (forme 1) (forme 2)		Commande mécanique manuelle par tirette (retour automatique)	
Dispositif d'accrochage		Commande mécanique manuelle rotative (à décrochage)	
Dispositif d'accrochage en prise		Commande mécanique manuelle "coupe de poing"	
Dispositif d'accrochage libéré		Commande mécanique manuelle par volant	
Retour automatique		Commande mécanique manuelle par pédale	
Retour non automatique		Commande mécanique manuelle à accès restreint	
Retour non automatique en prise		Commande mécanique manuelle par levier	
Verrouillage mécanique		Commande mécanique manuelle par levier avec poignée	
Dispositif de blocage		Commande mécanique manuelle par clé	
Dispositif de blocage engagé mouvement vers la gauche bloqué		Commande mécanique manuelle par manivelle	
Commande mécanique manuelle par poussoir (retour automatique)		Accrochage par poussoir à décrochage automatique	

Commande par galet	
Commande par came et galet	
Commande par moteur électrique	
Commande par accumulation d'énergie électrique	
Commande par horloge électrique	
Accouplement mécanique débrayé	
Accouplement mécanique embrayé	

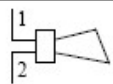
Mécanisme à déclenchement libre	
Commande par effet de proximité	
Commande par effleurement	
Dispositif sensible à une proximité de commande à l'approche d'un aimant	
Dispositif dépendant d'un système photoélectrique	
Commande pneumatique ou hydraulique simple effet	
Command pneumatique ou hydraulique double effet	

*** Matériels ou éléments divers**

Coupe circuit fusible	
Coupe circuit fusible à percuteur	
Diode	
Pont redresseur	
Thyristor	
Transistor NPN	
Transistor PNP	
Condensateur	
Élément de pile ou accumulateur	
Résistance	
Shunt	

Inductance	
Potentiomètre	
Résistance dépendant de la tension (varistance)	
Résistance dépendant de la température (thermistance)	
Photorésistance	
Photodiode	
Transformateur de tension	
Autotransformateur	
Transformateur de courant	
éclateur	
Parafoudre	

* Signalisation

Lampe de signalisation ou d'éclairage	
Dispositif lumineux clignotant	
Avertisseur sonore	
Sonnerie	
Sirène	
Ronfleur	

Si l'on désire préciser

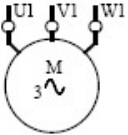
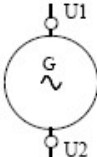
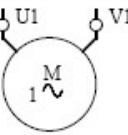
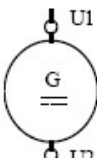
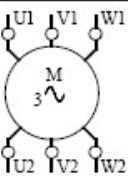
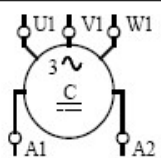
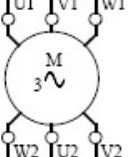
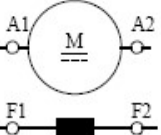
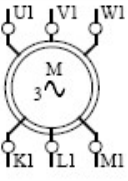
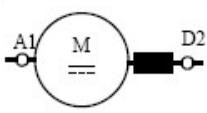
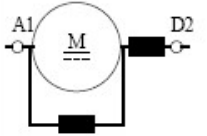
* la couleur

Rouge	RD ou C2
Orange	OG ou C3
Jaune	YE ou C4
Vert	GN ou C5
Bleu	BU ou C6
Blanc	WH ou C9

* le type

Néon	Ne
Vapeur de sodium	Na
Mercure	Hg
Iode	I
Electroluminescente	EL
Fluorescente	FL
Infrarouge	IR
Ultraviolet	UV

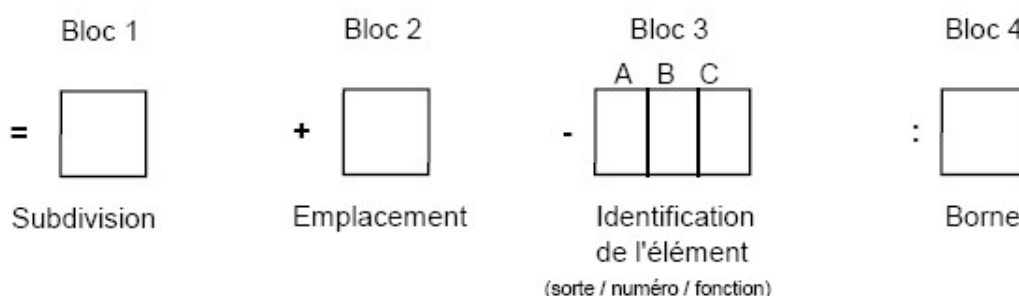
* Machine électriques tournantes

Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit (cage d'écureuil)		Génératrice courant alternatif	
Moteur asynchrone monophasé		Génératrice courant continu	
Moteur asynchrone à deux enroulements stator séparés (moteur à deux vitesses)		Commutatrice (triphasé / continu) à excitation en dérivation	
Moteur asynchrone à six bornes de sortie (couplage étoile-triangle)		Moteur à courant continu à excitation séparée	
Moteur asynchrone triphasé rotor à bagues		Moteur à courant continu à excitation en série	
Moteur à aimant permanent		Moteur à courant continu à excitation composée	

3.3. Les repères

3.3.1. Les repères d'identification

Le repère d'identification est composé de quatre blocs qui spécifient avec précision la situation du symbole graphique dans l'ensemble des plans qui constituent l'étude ou le dossier de l'installation. Chaque bloc est précédé d'un opérateur des calculs fondamentaux : =, +, -, :

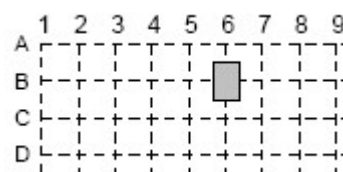


Subdivision

Le repère de subdivision est composé de caractères alphanumériques et précédé du signe "=". Il permet d'exprimer, dans une installation complexe, à quelle partie l'objet désigné appartient. Les parties sont découpées suivant les lieux (salle de commande) ou suivant les dispositifs (chaîne N°3). Exemple : = C3

Emplacement

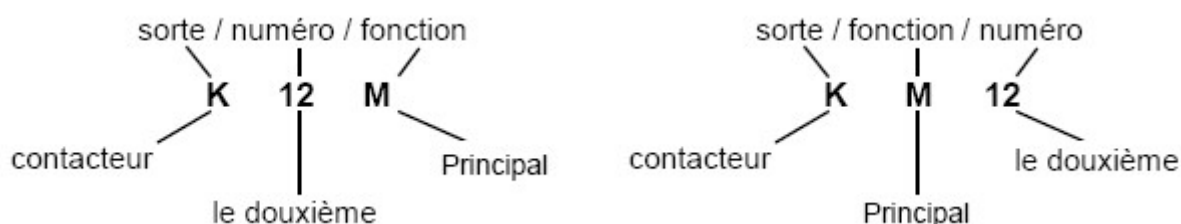
Ce deuxième bloc permet, comme son nom l'indique, de localiser aisément dans le lieu ou le dispositif spécifié précédemment, l'emplacement de l'élément désigné. La méthode la plus couramment employée consiste dans l'utilisation d'un quadrillage (comme au jeu du combat naval). Le repère d'emplacement se compose lui aussi de caractères alphanumériques. Exemple : + B6



Identification et fonction de l'élément

Ce troisième repère est subdivisé en trois parties. Il est précédé du caractère "-".

- **Sorte** (nature) de l'élément concerné, formé d'une lettre (voir tableau des lettres repères des sortes de matériel).
- **Numéro** de l'élément, discrimine entre eux plusieurs éléments désignés par la même lettre. Dans certains cas, une série particulière de nombres peut être affectée à une famille d'éléments.
- **Fonction**, il s'agit d'une lettre qui précise la fonction assurée par l'élément. (voir tableau des lettres repères des fonctions généralisées).



Le repère d'identification de l'élément se place à gauche et dans l'axe du symbole lorsqu'il s'agit d'un contact. Dans le cas des bobines ou des témoins de signalisation, le repère d'identification se place soit à gauche, tout comme pour le contact, soit sous la ligne inférieure représentant l'alimentation et dans l'axe vertical de l'élément à repérer.



Borne

C'est le repérage affecté à une borne d'un élément. Il est précédé du symbole distinctif ":". Comme les deux premiers, il se compose de caractères alphanumériques. Dans les borniers, les blocs de jonction n'ont pas de repérage spécifique pour désigner l'accès d'un côté ou de l'autre. C'est dans le plan des borniers que graphiquement celui-ci sera spécifié.

Exemple : sectionneur Q1 avec les bornes **Q1:2** et **Q1:6**

3.3.2. Les repères des bornes de raccordement des appareils

Les numéros des bornes de raccordement des appareils sont ceux qui figurent sur les bornes ou sur la plaque signalétique de l'appareil. A chaque organe de commande, à chaque type de contact, principal, auxiliaire instantané ou temporisé, sont affectés deux repères alphanumériques ou numériques qui lui sont propres. Sur la page suivante, un dessin détaillé illustre parfaitement les explications écrites ci-dessous.

Contacts principaux

Leurs bornes sont repérées par un seul chiffre (1 à 6 en tripolaire, 1 à 8 en tétrapolaire). Les chiffres impairs sont placés en haut et la progression s'effectue de haut en bas et de gauche à droite.

Contacts auxiliaires

Les bornes des contacts auxiliaires sont repérées par des nombres à deux chiffres. Les chiffres des unités ou chiffre de fonction indiquent la spécificité électrique du contact auxiliaire :

1 et 2 : contact à ouverture (**NF** - normalement fermé)

3 et 4 : contact à fermeture (**NO** - normalement ouvert)

5 et 6 : contact à ouverture (**NF**) à **fonctionnement spécial** tel que temporisé, décalé, de passage, de déclenchement thermique.

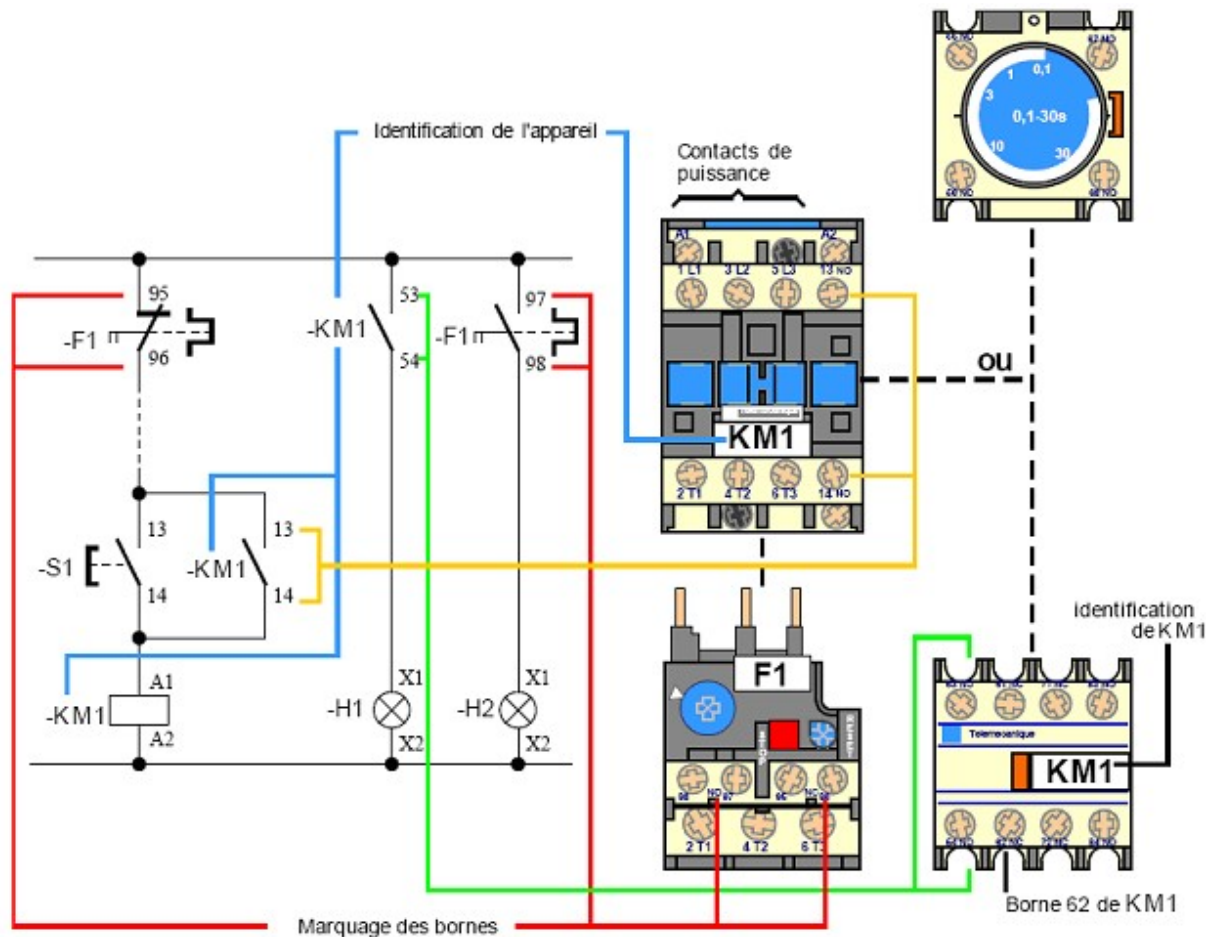
7 et 8 : contact à fermeture (**NO**) à **fonctionnement spécial** tel que temporisé, décalé, de passage, de déclenchement thermique.

Le chiffre des dizaines indique le numéro d'ordre et la position géographique de chaque contact sur l'appareil.

Organes de commande (bobines) et de signalisation

Les repères sont alphanumériques, la lettre étant placée en première position. Les bobines des contacteurs sont signalées A1 et A2, les bobines de commande à deux enroulements sont repérées A1 et A2, B1 et B2.

Les éléments de signalisation sont repérés par X1 et X2.

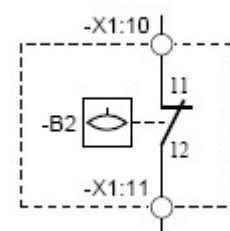


Remarque : la représentation des éléments d'adjonction au contacteur est incomplète. Celui-ci peut recevoir beaucoup d'autres blocs additifs. Il vous est recommandé de rechercher toutes ces possibilités dans les catalogues des fournisseurs.

3.3.3. Le repérage des bornes dans les borniers

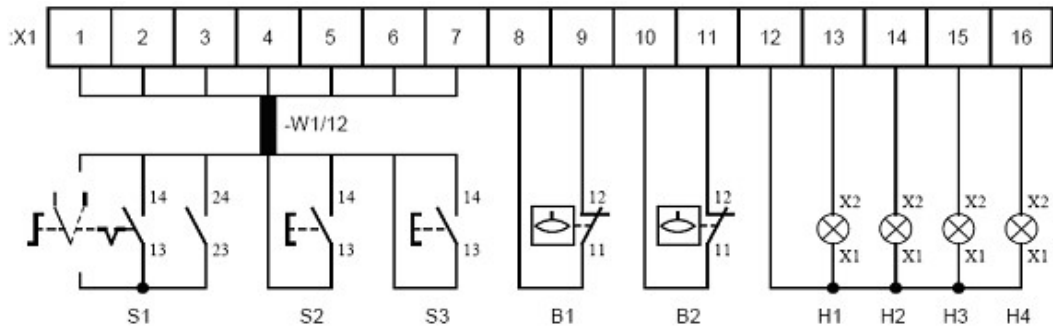
Dans le schéma de principe

Les bornes des borniers sont représentées par un cercle de 4 mm à 5 mm de diamètre. Leur repère d'identification est composé d'une part de l'identification du bornier et d'autre part de la borne. Les ensembles et les appareils auxiliaires sont dessinés éventuellement dans un cadre en traits pointillés.



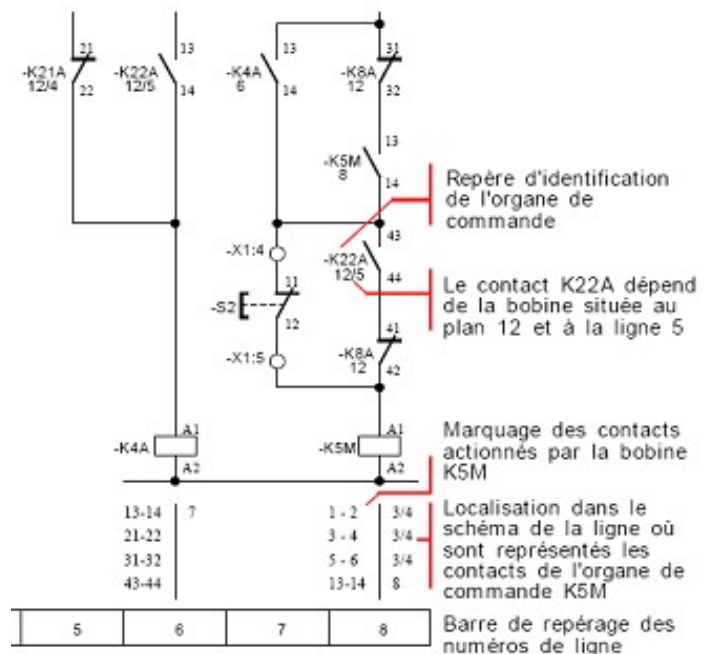
Dans le schéma de câblage

Afin de permettre le montage rapide de tous les éléments extérieurs à l'armoire de commande, un plan de câblage du ou des borniers s'avère indispensable, surtout dans le cas de plans complexes. Il est représenté par le bornier et les symboles des appareils qui s'y connectent (symboles et repères).



Localisation des éléments dans le schéma

C'est l'indication de l'endroit du schéma où se trouvent les autres organes du même appareil. Elle est inscrite sous l'organe de commande et parfois sous l'identification des contacts. Elle est composée du numéro du folio / numéro de ligne; le numéro de ligne étant suffisant à l'intérieur du même folio. Pour rappel, sur chaque folio, la première ligne porte toujours le numéro 1.



Les commentaires

Les commentaires sont des informations écrites en toutes lettres et qui aident à la compréhension fonctionnelle du schéma. Ils sont placés en haut de la feuille au dessus des lignes du schéma. Ils sont indispensables lors de schémas importants.

¹ Image provenant de : <http://fr.fotolia.com/>

3.3.4. Tableau des lettres pour l'identification des 'sortes' de matériel

Lettre repère	Sorte de matériel	Exemples
A	Ensembles, sous ensembles fonctionnels	Amplificateurs à tubes ou à transistors, amplificateurs magnétiques, laser, maser
B	Transducteurs d'une grandeur non électrique ou vice-versa	Couple thermoélectriques, cellule thermoélectrique, cellule photoélectrique, dynamomètre électrique, transducteur à cristal, microphone, tête de lecture
C	condensateurs	
D	Opérateurs binaires, dispositifs de temporisation, dispositifs de mise en mémoire	Opérateurs combinatoire, ligne de retard, bascule bistable, bascule monostable, enregistreur, mémoire magnétique, enregistreur sur bande ou sur disque.
E	Matériels divers	Eclairage, chauffage, éléments non spécifiés dans ce tableau
F	Dispositifs de protection	Coupe-circuit à fusible, limiteur de surtension, parafoudre
G	Générateurs (dispositifs d'alimentation)	Génératrice, alternateur, convertisseur rotatif de fréquence, batterie, oscillateur, oscillateur à quartz
H	Dispositifs de signalisation	Avertisseurs lumineux et sonores
K	Relais et contacteurs	
L	Inductances	Bobine d'induction, bobine de blocage
M	Moteurs	
P	Instruments de mesure, dispositifs d'essai	Appareils indicateur, appareil enregistreur, compteur, commutateur horaire
Q	Appareils mécaniques de connexion pour circuits de puissance	Disjoncteur, sectionneur
R	Résistances	Résistances réglables, potentiomètres, rhéostats, shunt, thermistance
S	Appareils mécaniques de connexion pour circuits de conduite	Auxiliaire manuel de commande, bouton poussoir, interrupteur de fin de course, sélecteur, cadran téléphonique, étage de connexion
T	Transformateurs	Transformateur de tension, transformateur de courant
U	Modulateurs, convertisseurs	Discriminateur, démodulateur, convertisseur de fréquence, codeur, convertisseur redresseur, onduleur autonome, translateur télégraphique
V	Tubes électroniques, semi-conducteurs	Tube à vide, tube à gaz, tube à décharge, lampe à décharge, diode, transistor, thyristor
W	Voies de transmission, guide d'onde, antenne	Bretelle (conducteur de renvoi), câble, jeu de barre, guides d'ondes, coupleur directif de guide d'onde, dipôle, antenne parabolique

X	Bornes, fiches, socles	Fiche et prise de connexion, clips, fiche d'essai, planchette à borne, sortie à souder
Y	Appareils mécaniques actionnés électriquement	Frein, embrayage, électrovalve pneumatique
Z	Charges correctives, transformateurs différentiels, filtres, correcteurs, limiteurs	Equilibreur, compresseur/extenseur, filtre à cristal

3.3.5. Tableau des lettres pour l'identification des fonctions générales

Lettre repère	Fonction générale
A	Auxiliaire
B	Direction du mouvement (avant, arrière, lever, baisser, ...)
C	Comptage numérique
D	Différentiel
E	
F	Protection
G	Essai
H	Signalisation
J	Intégration
K	Approche (exemple : mise à niveau)
L	
M	Principal
N	Mesure
P	Proportionnel
Q	Démarrage, d'arrêt, de fin de course
R	Réarmement, effacement
S	Mise en mémoire, enregistrement
T	Temporisation
U	
V	Vitesse (accélération, freinage)
W	Additionneur
X	multiplicateur
Y	Analogique
Z	Numérique

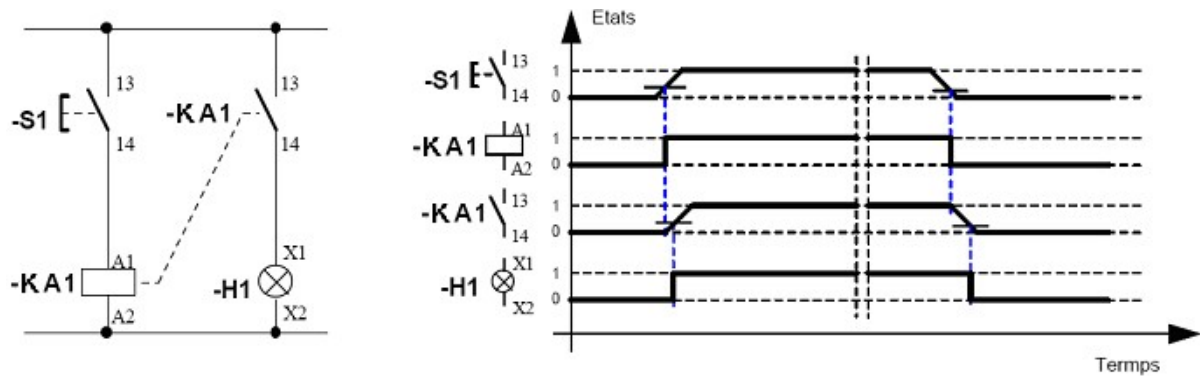
3.4. Les schémas de base

3.4.1. Diagramme de basculement des contacts

Dans les chapitres précédents, lors des définitions des différents composants du schéma de puissance et de commande, les symboles qui représentaient des contacts, montraient ceux-ci en position de repos. Afin de mieux comprendre le comportement d'un schéma, il est souvent nécessaire de représenter les réactions dynamiques des contacts sur un diagramme de leurs états en fonction du temps.

Remarque : pour simplifier et ne pas trop encombrer les schémas de commande, certains éléments "évidents" n'ont pas été indiqués (fusibles, numéros des lignes, ...).

Diagramme de phase (état en fonction du temps)

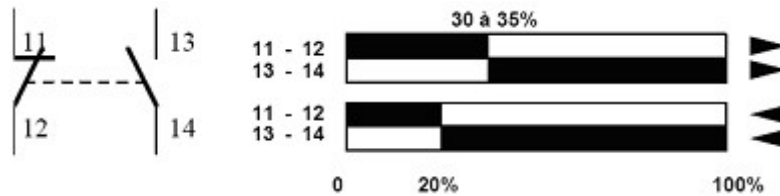


Cet exemple simple montre aisément les moments où sont ouverts ou fermés les divers contacts ainsi que la mise sous et hors tension de la bobine et de la lampe témoin. Les contacts ont des actions lentes qui se représentent par des obliques à 45°, tandis que les éléments purement électriques (qui n'ont pas de déplacements mécaniques) ont des réactions très rapides et se représentent par des verticales.

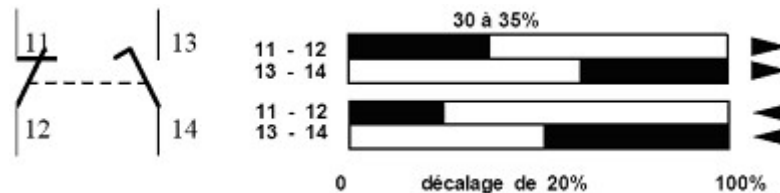
Moment de commutation

Tous les appareils électromécaniques qui permettent d'ouvrir ou de fermer des contacts, sont sujets au seuil de basculement. Qu'il soit dépendant d'un organe commandé par un dispositif électrique, manuel ou mécanique, la commutation des contacts est dépendante de la course effectuée et réagit presque toujours différemment suivant le sens aller ou retour.

Contacts directs simultanés

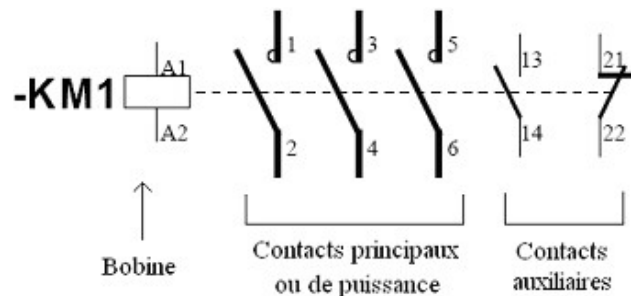


Contacts directs décalés

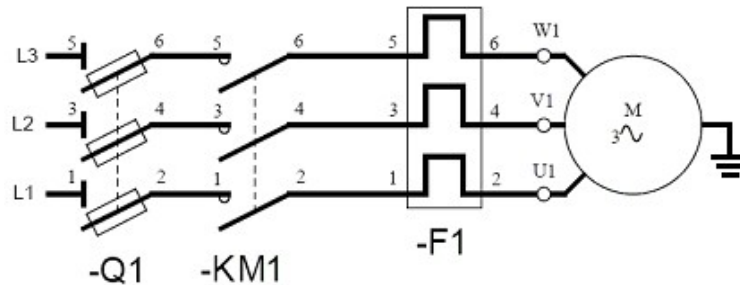


3.4.2. Commande d'un contacteur

Pour rappel, lorsque la bobine du contacteur est alimentée, les contacts principaux et auxiliaires basculent simultanément : les contacts auxiliaires fermés s'ouvrent et les contacts auxiliaires ouverts se ferment. Le circuit qui alimente la bobine est appelé circuit de commande ou simplement commande.



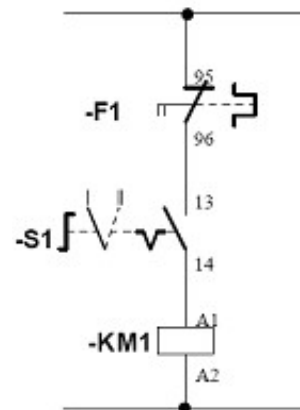
Les trois exemples de schémas de commande présentés ci-dessous sont destinés à commander un moteur asynchrone triphasé. Ils doivent donc systématiquement être accompagnés d'un schéma de puissance comme celui de la page 21. De nouveau, pour simplifier et ne pas trop encombrer le schéma de puissance, certains éléments "évidents" n'ont pas été indiqués. Ainsi le schéma de puissance de la page 21 est repris ci-dessous.



Commande par commutateur

Fonctionnement : Le commutateur (ou interrupteur) S1 a 2 positions qui se maintiennent. La position 1 laisse le contact 13-14 ouvert et la position 2 ferme le contact 13-14. Dans ce dernier cas, la bobine est alimentée et ferme le contacteur KM1. Dans le schéma de puissance, si le sectionneur Q1 est enclenché, alors le moteur démarrera.

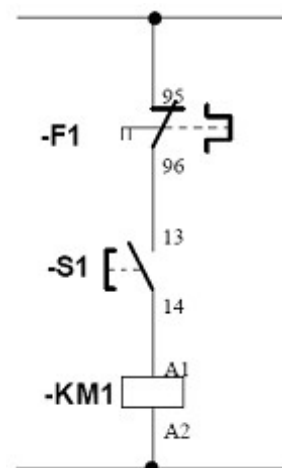
Particularités : Le commutateur est maintenu en position fermée par un dispositif d'accrochage. Lors d'une coupure de courant, le contacteur KM1 s'ouvre. Lorsque la tension du réseau réapparaît, le contact du commutateur étant resté établi, le contacteur se ferme à nouveau.



Commande par bouton-poussoir à impulsion

Fonctionnement : Le bouton-poussoir S1 a un rappel automatique (il ne se maintient pas enfoncé). Il est normalement ouvert. Si on appuie dessus il se ferme et alimente la bobine qui ferme le contacteur KM1. Dès qu'on lâche le doigt du bouton, celui-ci s'ouvre, la bobine n'est plus alimentée et KM1 s'ouvre.

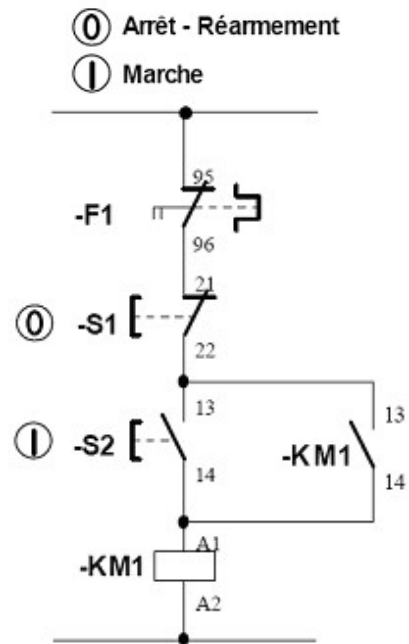
Particularités : La bobine du contacteur est alimentée pendant la durée de l'impulsion.



Commande par 2 boutons-poussoirs + maintien

Fonctionnement : Le bouton-poussoir S1 est NF et le bouton-poussoir S2 est NO. En appuyant sur S2, la bobine est alimentée et le contacteur KM1 se ferme. En même temps le contact 13-14 de KM1 se ferme et réalise un **auto-maintien**. Ainsi, lorsqu'on relâche S2, la bobine reste alimentée via le contact 13-14 de KM1. L'arrêt se fait en appuyant sur S1 qui s'ouvre et coupe l'alimentation de la bobine. Le contacteur KM1 et son contact 13-14 s'ouvrent également et restent ouverts tant qu'on n'a pas ré-appuyer sur S2.

Particularités : Lors d'une coupure de courant, le contacteur s'ouvre, une impulsion sur le bouton-poussoir S2 est indispensable pour provoquer une nouvelle fermeture. Possibilité d'ajouter un ou plusieurs postes de commande à distance.



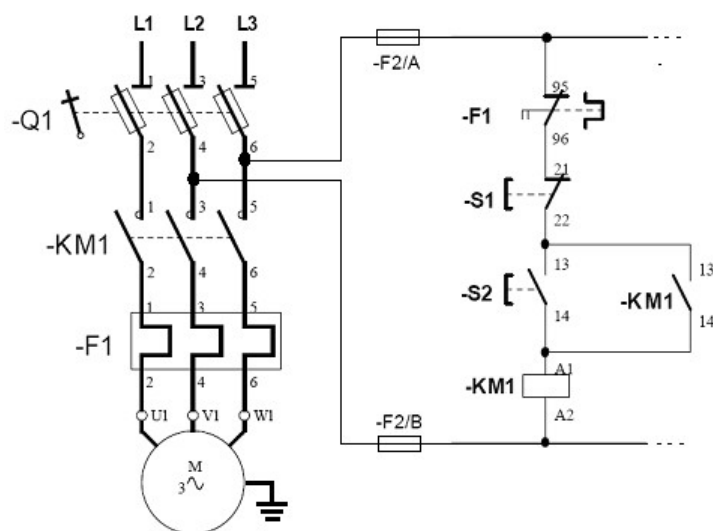
Il existe plusieurs autres circuits pour commander un contacteur (selon le ou les interrupteurs utilisés). Nous ne les voyons pas en détails ici, mais quelques uns seront vus lors des exercices faits en classe.

3.4.3. Alimentation du circuit de commande

Le circuit de commande est raccordé en dérivation sur le circuit de puissance, soit entre deux phases, soit entre une phase et le neutre ou encore via un transformateur pour travailler en TBTS. En générale, les bobines des contacteurs travaillent en 220V ou en 24V. De nouveau, il existe plusieurs schémas possibles. Nous n'en présentons que quelques-uns.

Entre phases avec sectionneur porte-fusibles de puissance

Le raccordement s'effectue aux bornes 4 et 6 du sectionneur Q1. La fonction de sectionnement du circuit de commande est assurée par les pôles principaux du sectionneur Q1. La protection du circuit de commande est réalisée par des fusibles ou un disjoncteur calibré pour protéger le circuit de commande contre les courts-circuits.



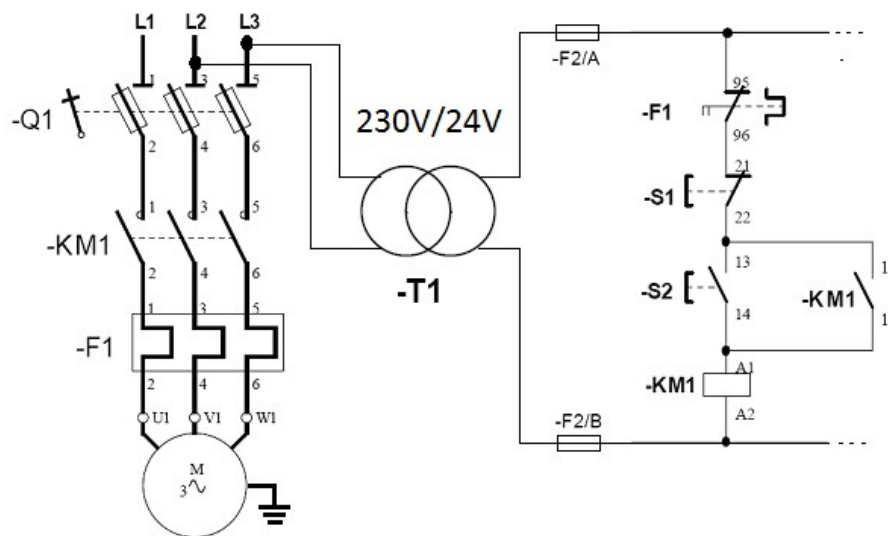
Alimentation séparée du circuit de commande

Le circuit de commande peut être alimenté sous une tension identique ou différente du circuit de puissance, entre deux phases ou entre une phase et le neutre, par l'intermédiaire de deux bornes disponibles (par exemple L1 et L2). Le circuit est identique au précédent sauf que l'arrivée et le retour se font par les bornes L1 et L2 au lieu de passer par les bornes 4 et 6 du sectionneur Q1.

Alimentation par un transformateur

Elle peut répondre à différents objectifs :

- Disposer d'une tension de commande plus faible lorsque la tension du circuit de puissance est élevée (400V, 500V ou plus), certains appareils auxiliaires ayant une tension nominale inférieure.
- Séparer du circuit de puissance un circuit de commande dont l'étendue et/ou l'environnement sont la cause de pertes d'isolement fréquentes.
- Bénéficier de la protection des personnes par "séparation des circuits", éventuellement en "très basse tension de sécurité" (TBTS), lorsque les risques de rupture du conducteur de protection (PE) et/ou s'il s'agit d'appareils mobiles, notamment des boîtes à boutons pendantes.

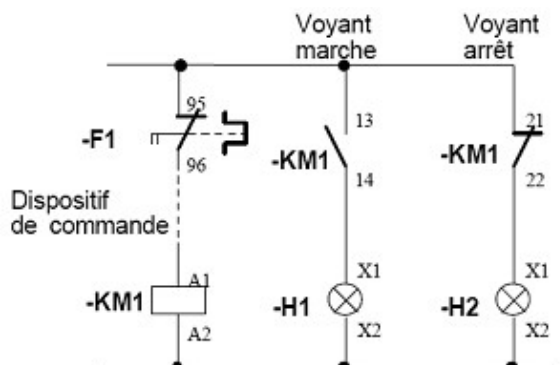


3.4.4. La signalisation

De nouveau, il existe plusieurs circuits différents pour réaliser la fonction de signalisation que se soit une signalisation lumineuse ou sonore. Voici deux exemples illustratifs.

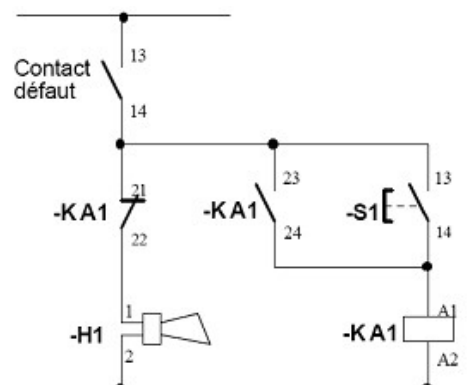
Signalisation lumineuse

Par voyant "marche" ou "arrêt" : Le voyant « marche » signale l'enclenchement du contacteur alors que le voyant « arrêt » signale le déclenchement du contacteur.



Signalisation sonore

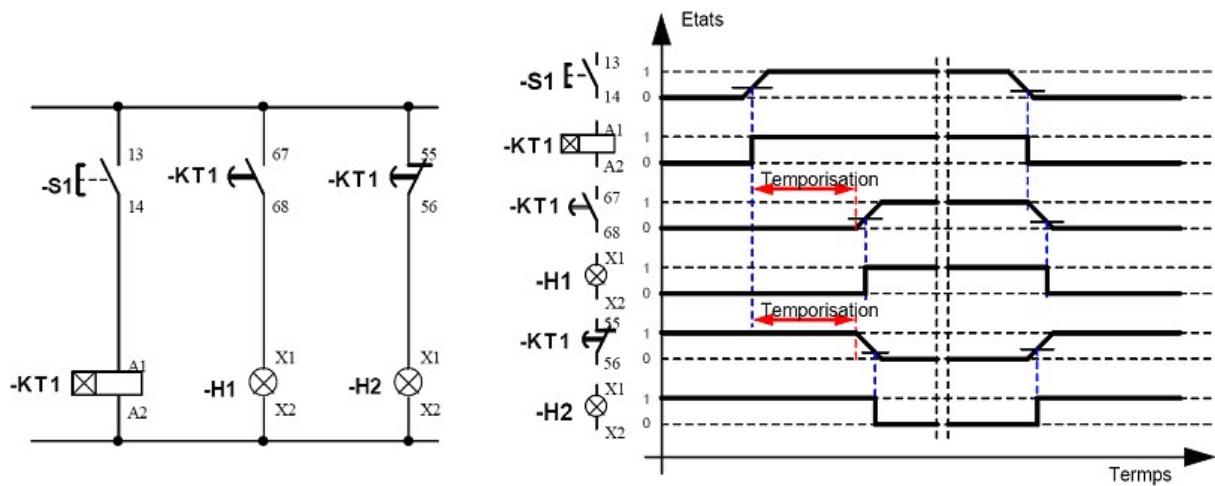
Par avertisseur sonore avec acquittement : Le contact de défaut actionne un avertisseur sonore qui reste sous tension tant que le bouton-poussoir "acquittement" S1 n'a pas été actionné.



3.4.5. Les contacts temporisés

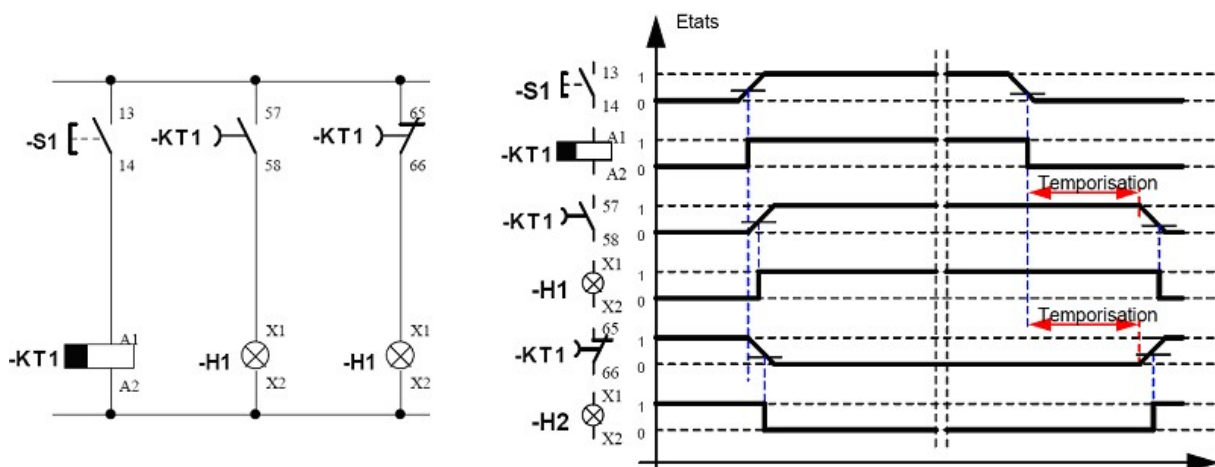
Retard à l'enclenchement

Lors de la fermeture du contact du bouton-poussoir S1, la bobine du contacteur KT1 est sous tension. Ses contacts temporisés ne basculeront qu'après le délai réglé. Au relâchement de S1, la bobine est hors tension et les contacts temporisés reprennent immédiatement leur position de repos. On peut prévoir un auto-maintien. Dans ce cas, il ne faudra pas oublier de mettre un bouton « stop » NF. Suivant l'utilisation d'un contact temporisé à fermeture (normalement ouvert) ou à l'ouverture (normalement fermé), les lampes témoins s'éclaireront ou s'éteindront avec le retard défini.



Retard au déclenchement

Lors de la fermeture du contact du bouton-poussoir S1, la bobine du contacteur KT1 est sous tension. Ses contacts temporisés basculent immédiatement. Lors de la mise au repos du contacteur temporisé, il faut attendre le délai réglé pour que les contacts temporisés reprennent leur position normale. Suivant l'utilisation d'un contact temporisé à la fermeture (normalement ouvert) ou à l'ouverture (normalement fermé), les lampes témoins s'illumineront ou s'éteindront plus longtemps.



Chapitre 4. Démarrage des moteurs asynchrones triphasés

Veillez vous reporter au cours d'*Electrotechnique* pour le principe de fonctionnement et l'utilisation des moteurs asynchrones triphasés.

Dans le cadre de ce cours, nous allons étudier les schémas de commande et de puissance pour différents types de démarrage des moteurs asynchrones triphasés¹ :

- direct et changement de sens de rotation
- étoile-triangle
- progressif
- variateur de fréquence

En se référant au cours d'Electrotechnique, nous savons que le couple de démarrage (C_d), ainsi que le courant au moment du démarrage ($4.I_N < I_d < 7.I_N$) sont deux des grandeurs qui caractérisent un moteur asynchrone et qui déterminent le temps de démarrage.

En fonction de la charge à entraîner, on peut être amené à agir sur les trois grandeurs (couple, courant et temps de démarrage) afin d'éviter les à-coups sur la charge, les surintensités trop importantes qui perturbent le réseau ou la sollicitation des pièces mécaniques qui peut entraîner une usure prématurée.

On démarre donc les moteurs de façon à limiter ces inconvénients :

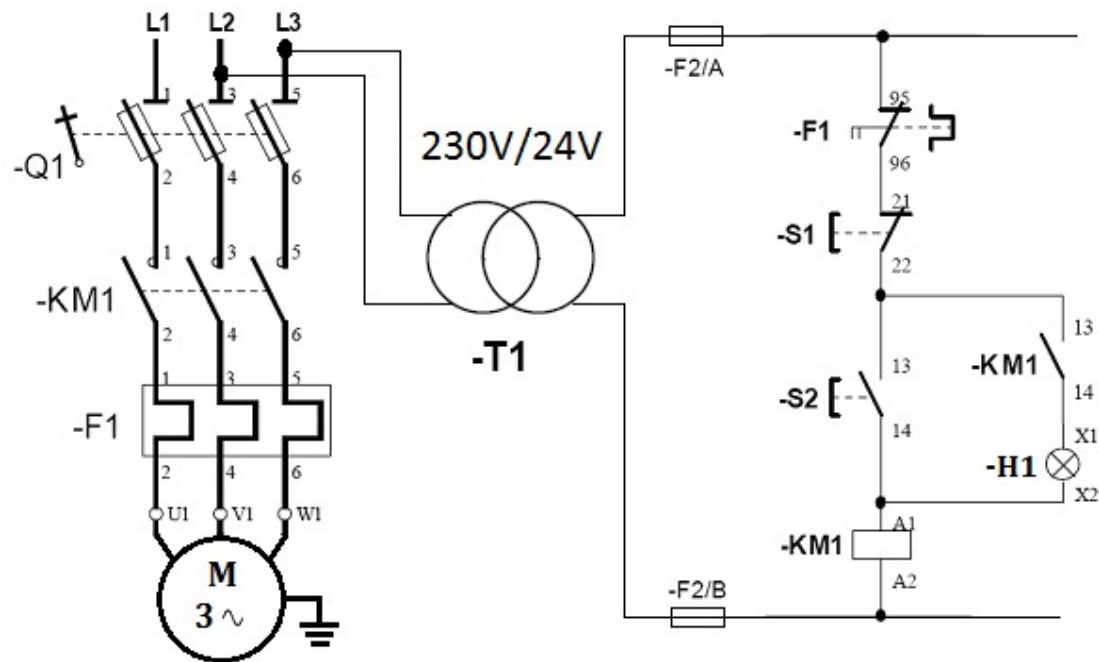
- Le démarrage direct est utilisé pour les moteurs de petites puissances (faible pointe d'intensité au démarrage).
- Les démarreurs « étoile triangle », « progressif » ou « par variateur de fréquence » sont utilisés pour limiter le courant ou les contraintes de démarrage des moteurs asynchrones de plus grande puissance.

4.1. Démarrage direct

Dans ce type de démarrage, le moteur est connecté directement sur l'alimentation via les protections classiques (couplage étoile ou triangle). La figure suivante présente un schéma de puissance possible.

Le schéma de commande varie selon le nombre de boutons de démarrage et/ou d'arrêt et selon la signalisation éventuelle. Dans le schéma ci-dessus, nous supposons qu'il y a un bouton-poussoir pour démarrer, un bouton-poussoir pour arrêter et une lampe (en générale de couleur rouge) qui s'allume lorsque le moteur est sous tension.

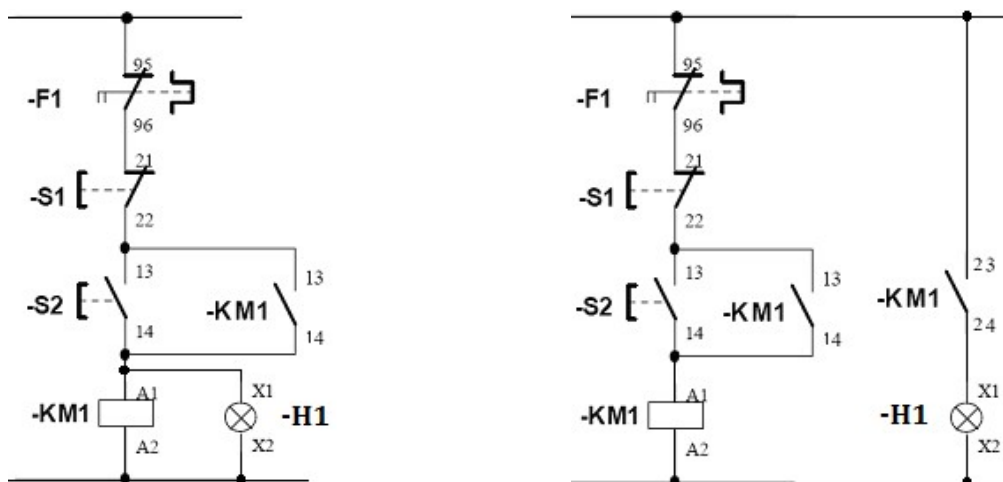
¹ Une partie du texte de ce chapitre provient de « Communication technique : démarrage moteur (leçon 8) » BEP Métier de l'électrotechnique, LP Descartes à Fécamp.



Fonctionnement

Dès qu'on appuie sur le bouton S2, on met sous tension la bobine de KM1 qui ferme les contacts principaux (circuit de puissance : moteur démarre) et le contact auxiliaire 13-14 (circuit de commande : maintien et alimentation de la lampe H1). Le thermique F1 protège le circuit de puissance alors que les fusibles F2 protègent le circuit de commande. Si on appuie sur le bouton S1, on ouvre le circuit qui alimente la bobine de KM1. La bobine n'étant plus alimentée, les contacts principaux de KM1 s'ouvrent et le moteur s'arrête ; le maintien s'ouvre et la lampe s'éteint.

Sur le schéma précédent, si la commande est réalisée par exemple en 24V, la lampe peut créer une chute de tension telle, que le maintien ne se fera pas. Il faut alors placer la lampe en parallèle sur la bobine ou via un contact supplémentaire de KM1.



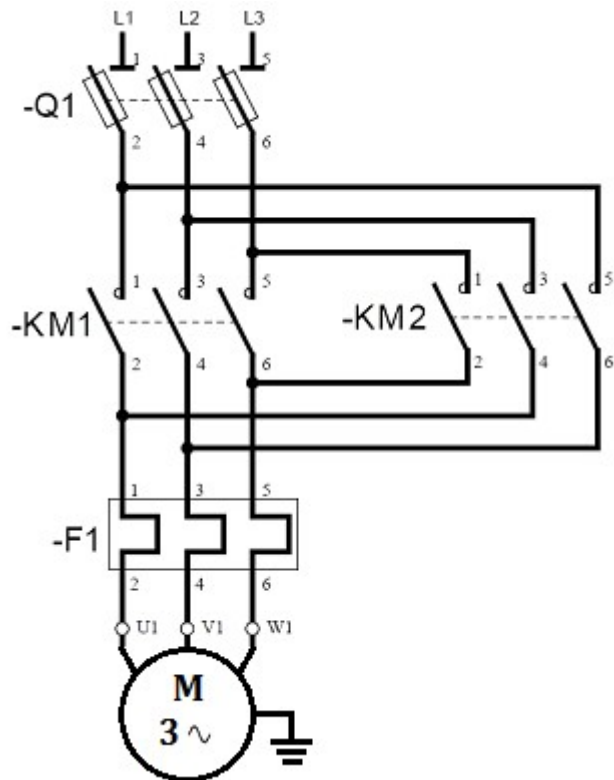
Le grand inconvénient de ce type de démarrage est qu'il crée un courant d'appel très important (une pointe) lors du démarrage. Ce qui peut dans certains cas enclencher les éléments de sécurité (disjoncteur ou autres). De plus, nous observons une diminution de la durée de vie du moteur et des appareils par lesquels passe cette pointe de courant.

4.2. Changement du sens de rotation

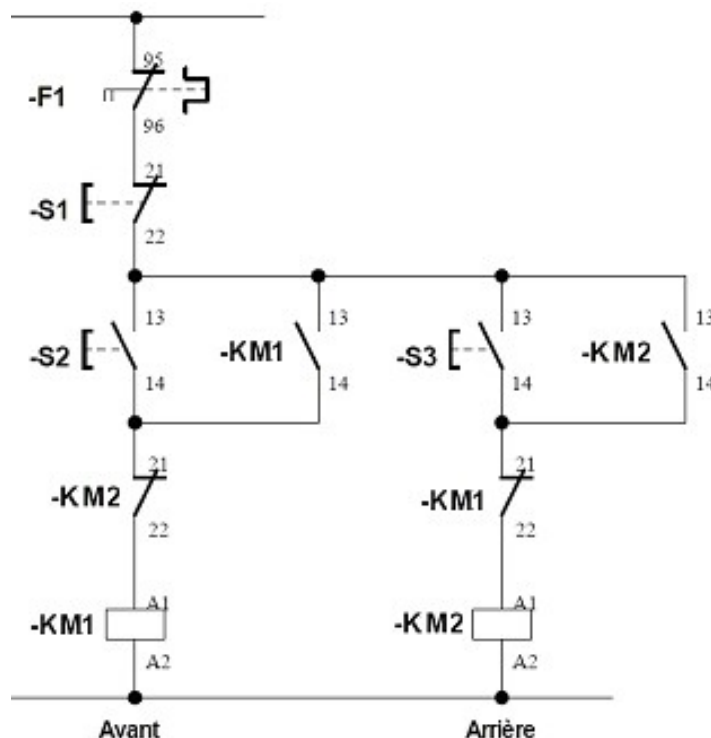
Il s'agit d'un démarrage direct comme dans le cas précédent. Cependant, cette fois-ci, nous voulons changer le sens de rotation du moteur. Ce principe est fortement utilisé en industrie, en particulier dans les applications avec convoyeur. Le convoyeur voyage dans le sens « avant » et « arrière » selon le bouton sur lequel on appuie ou selon une commande automatique.

En se référant au cours d'Electrotechnique, nous savons que pour pouvoir inverser le sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, il suffit d'inverser deux des trois phases. Ce qui nous permet de construire le schéma de puissance ci-contre.

Si KM1 est enclenché, les lignes L1, L2 et L3 seront respectivement connectées à U1, V1 et W1. Si KM2 est enclenché, alors les lignes L1 et L2 sont inversées.



Dans le cas d'un convoyeur classique, le schéma de commande doit comporter un bouton « stop », un bouton « avant », un bouton « arrière » et éventuellement une signalisation lumineuse ou sonore. La figure ci-dessous donne un exemple de schéma de commande.



Fonctionnement

Avant : Une impulsion sur le bouton-poussoir S2 alimente la bobine du contacteur KM1 à condition que KM2 soit ouvert avec son contact (21-22) fermé. L'auto-maintien de KM1 (13-14) se fait et en même temps l'ouverture du contact (21-22) de KM1 réalise le **verrouillage électrique** de KM2. Il est donc impossible d'alimenter la bobine de KM2 tant que le contacteur KM1 est enclenché. L'arrêt se fait par l'intervention sur le bouton-poussoir S1.

Arrière : Une impulsion sur le bouton-poussoir S3 alimente la bobine du contacteur KM2 à condition que KM1 soit ouvert avec son contact (21-22) fermé. L'auto-maintien de KM2 (13-14) se fait et en même temps l'ouverture du contact (21-22) de KM2 réalise le **verrouillage électrique** de KM1. Il est donc impossible d'alimenter la bobine de KM1 tant que le contacteur KM2 est enclenché. L'arrêt se fait par l'intervention sur le bouton-poussoir S1.

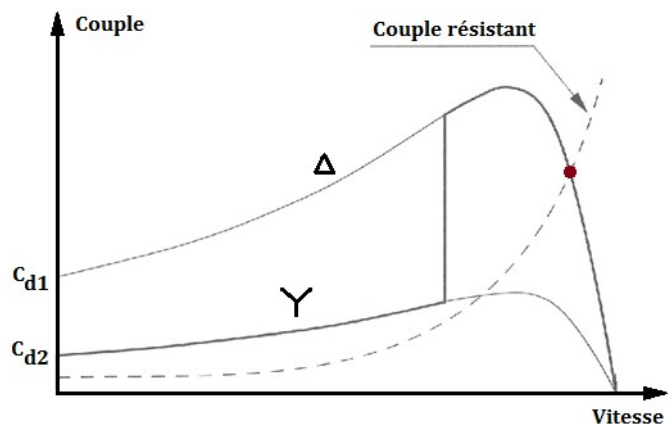
Remarque : Dans cette configuration, pour changer de sens de rotation, il faut d'abord arrêter le moteur avant d'enclencher l'autre sens de rotation. En d'autres termes, il faut à chaque fois appuyer sur le bouton-poussoir S1 « stop » avant d'appuyer sur S2 ou S3. Selon la commande voulue, il se peut que le changement de sens se fasse directement sans devoir passer par le bouton « stop ».

4.3. Démarrage étoile-triangle¹

Nous avons vu dans le paragraphe précédent, qu'il se produisait lors du démarrage une pointe de courant. Afin de limiter cette pointe de courant, il est possible dans certains cas de réaliser le démarrage du moteur en deux temps.

Premier temps: COUPLAGE ETOILE
(démarrage sous tension réduite)

Deuxième temps: COUPLAGE
TRIANGLE (alimentation sous tension
nominale)



Principe

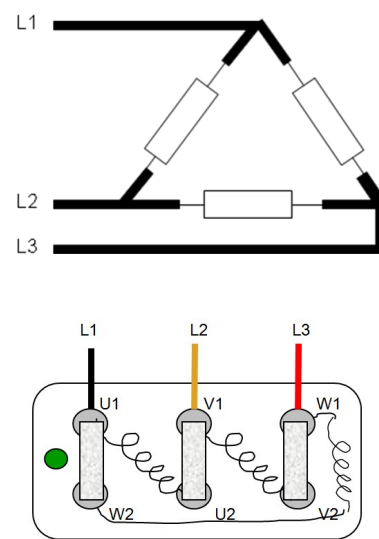
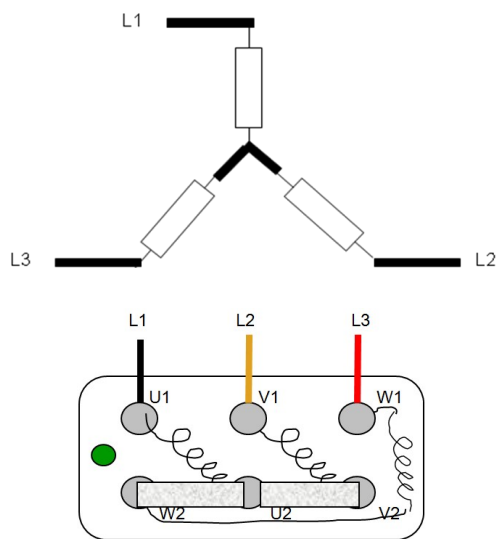
- Lors de la mise sous tension du moteur, le couplage des enroulements est fait en étoile, ce qui permet de démarrer le moteur sous une tension inférieure à la tension nominale ($U_N/\sqrt{3}$).
- Ce couplage est maintenu pendant le temps nécessaire au moteur pour atteindre environ 80% de sa vitesse nominale.
- Ce n'est qu'alors que le moteur sera alimenté sous sa tension nominale (U_N) en remplaçant le couplage étoile par le couplage triangle.

¹ Ce paragraphe est tiré de « Communication technique : démarrage moteur (leçon 8) » BEP Métier de l'électrotechnique, LP Descartes à Fécamp.

Remarque : il faudra toujours vérifier que la tension du réseau sera supportée par les enroulements du moteur lors du couplage triangle.

L'emploi de la méthode de démarrage Etoile –Triangle suppose que l'on se soit préalablement assuré que le couple de démarrage du moteur est suffisant pour l'application concernée. En effet, comme le montre la courbe précédente, au cours de la première phase de démarrage (couplage Y), le couple résistant de la machine entraînée doit, quelle que soit la vitesse, inférieur au couple moteur.

Rappel : les deux figures suivantes présentent la façon de coupler des bobines en étoile ou en triangle avec des barrettes conductrices.



La figure suivante présente le schéma de puissance.

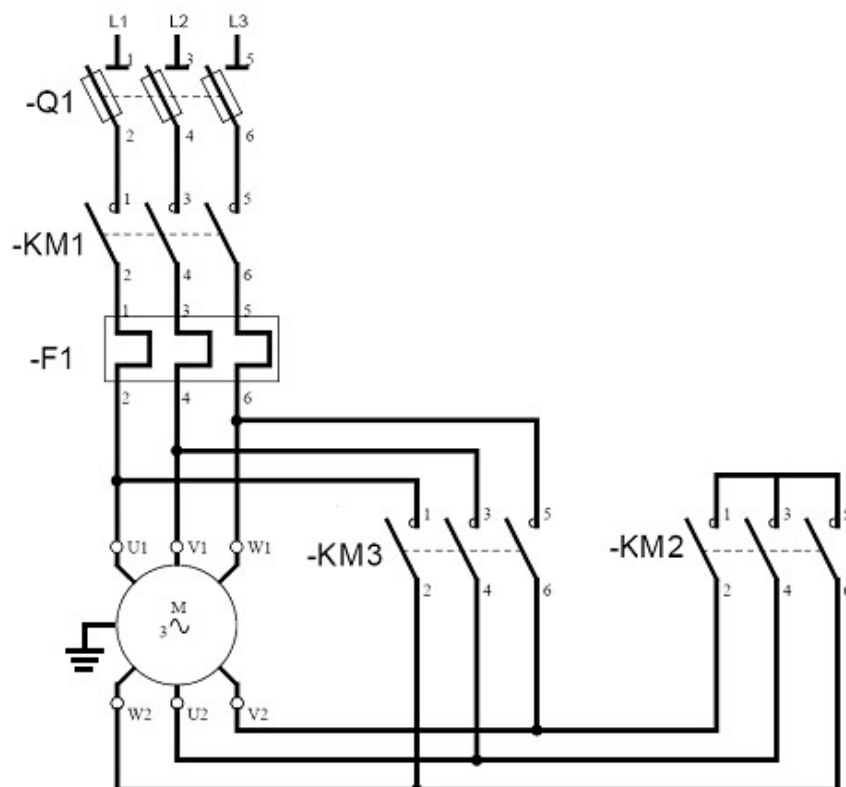


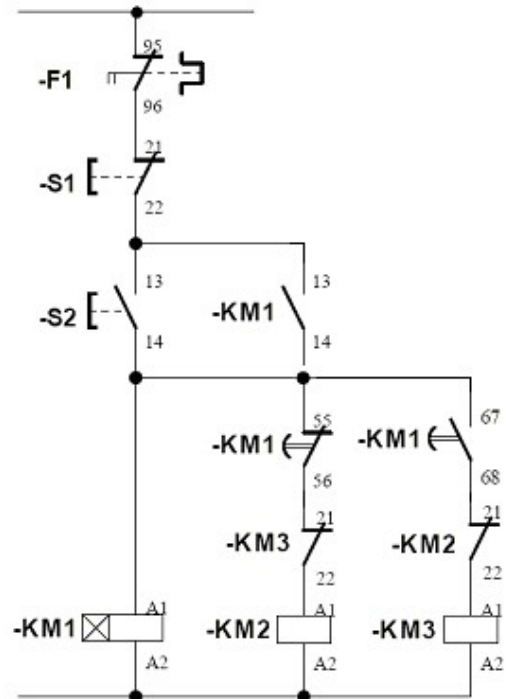
Schéma de commande

De nouveau, il existe différents schémas de commande selon les besoins et le matériel disponible. Dans tous les cas, le contacteur KM1 doit être temporisé. La figure suivante présente un schéma de commande possible.

En appuyant sur S2, on met la bobine de KM1 sous tension ; ce qui ferme ses contacts de puissance et son auto-maintien.

En même temps, la bobine de KM2 est mise sous tension aussi et ferme ses contacts de puissance. Ainsi le moteur démarre en étoile.

Par contre, la bobine de KM3 n'est toujours pas mise sous tension grâce au contact temporisé NO (67-68) de KM1 qui reste ouvert.



Après un certain détail (réglable), les contacts temporisés de KM1 s'enclenchent. Le NF (55-56) s'ouvre et le NO (67-68) se ferme. Au final, la bobine de KM2 n'est plus alimentée alors que celle de KM3 est mise sous tension. Par conséquent, le moteur passe en triangle. Dès qu'on appuie sur le bouton-poussoir S1, la bobine de KM1 n'est plus alimentée. Les contacts de puissance de KM1 s'ouvrent et le moteur s'arrête.

Le verrouillage électrique est indiqué sur le schéma de commande. Pour rappel, il empêche que KM2 et KM3 s'enclenchent en même temps, ce qui provoquerait un court-circuit. On pourrait éventuellement ajouter un verrouillage mécanique comme expliqué plus haut.

4.4. Démarrage progressif (Softstarter)¹

Les schémas de démarrage vus jusqu'à présent utilisent tous un ou plusieurs contacteurs (système électromagnétique et mécanique). Les démarreurs progressifs ou softstarters sont des systèmes purement électroniques (pas de contacts mécaniques). Comme le nom l'indique, leur rôle est de permettre un démarrage progressif du moteur avec les avantages suivants :

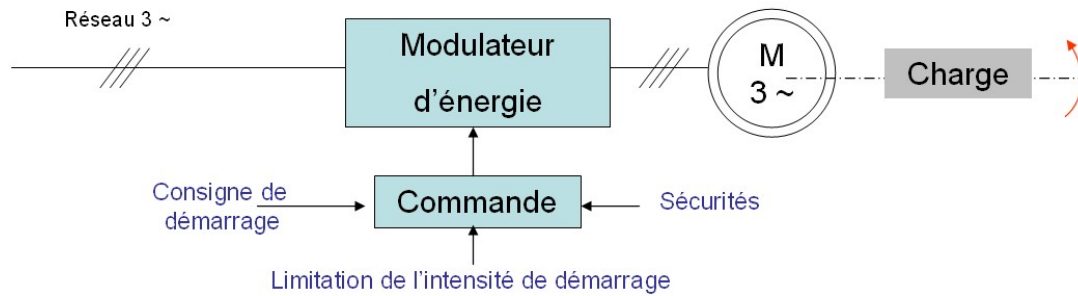
- Démarrage sans à coup
- Montée progressive en vitesse
- Limitation de l'appel du courant lors du démarrage
- Usure réduite des systèmes mécaniques de transmission

Ces démarreurs remplacent de plus en plus les démarreurs à technologie électromagnétique (étoile-triangle et autres) et ceci dans toutes les gammes de puissances.



¹ Ce paragraphe est tiré de « Communication technique : démarrage moteur (leçon 8) » BEP Métier de l'électrotechnique, LP Descartes à Fécamp

Principe de fonctionnement



La tension triphasée du réseau vient à l'entrée du moduleur qui va la modifier selon une consigne et d'autres paramètres de commande.

La tension est appliquée progressivement au stator du moteur au lieu d'être appliquée directement.

La variation de la tension statorique est obtenue grâce à l'électronique qui se trouve dans le moduleur.

La consigne de démarrage permet de régler le temps de la phase de démarrage.

A la fin du démarrage, le stator du moteur est sous tension nominale.

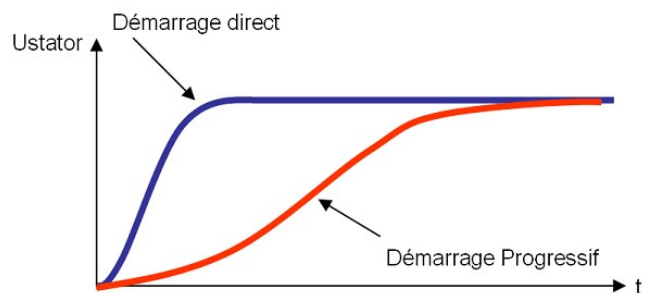
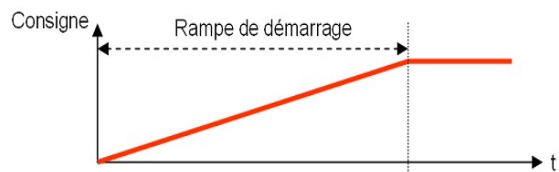


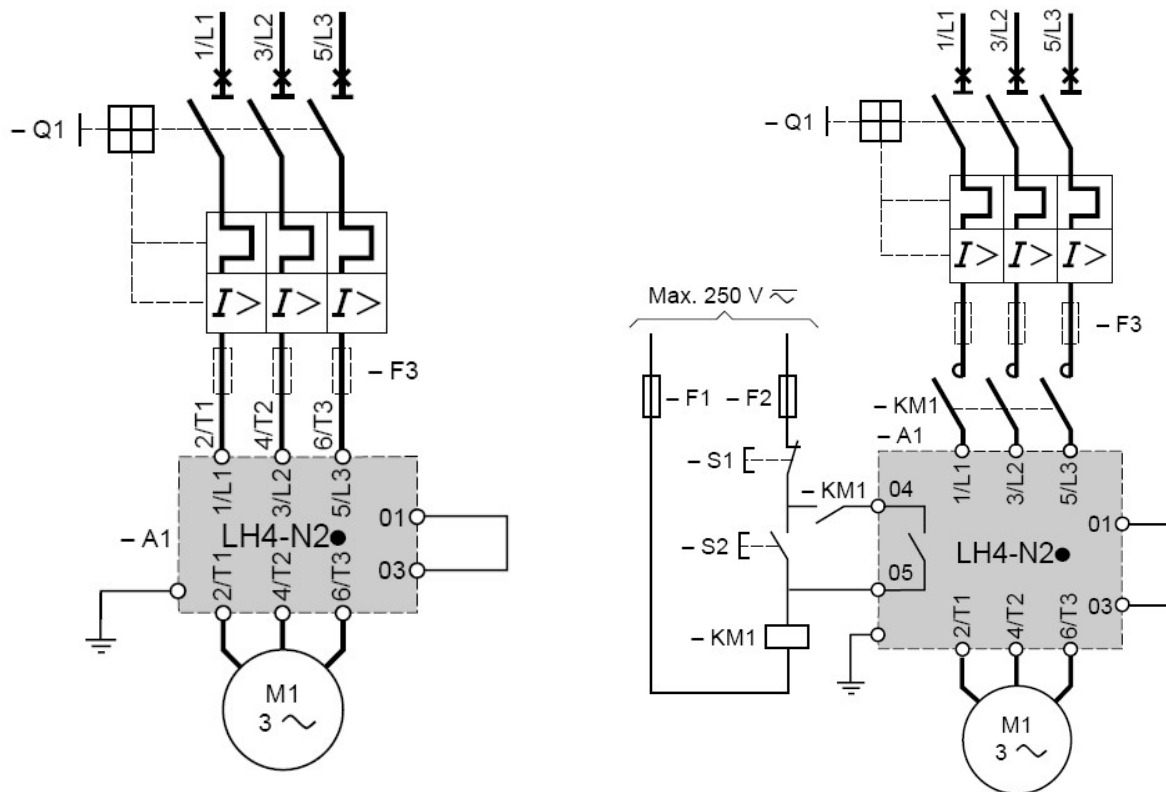
Schéma de puissance et schéma de commande

Telemecanique propose deux grandes familles de démarreurs :

- Les démarreurs progressifs **LH4 N1** sont particulièrement adaptés pour les convoyeurs, tapis transporteurs, portes automatiques fragiles ou bruyantes, téléskis, les petits portiques tels que ceux pour le lavage des voitures et toutes les machines équipées de courroies.
- Les démarreurs-ralentisseurs progressifs **LH4 N2** sont utilisés pour les ventilateurs, pompes, compresseurs et toutes les machines à fortes inerties. Sur les machines, où l'isolement galvanique n'est pas nécessaire, ils évitent l'utilisation du contacteur de ligne. Plus performants, les LH4 N2 peuvent être mis en lieu et place des LH4 N1.

Selon le modèle utilisé, les besoins et le matériel disponible, il existe plusieurs schémas de puissance et de commande. Souvent les fabricants proposent plusieurs possibilités d'utilisation. Les deux exemples ci-dessous sont tirés des fiches techniques de *Telemecanique* pour la famille LH4-N2.

¹ Image provenant des fiches techniques de Square D : « LH4 Modular Soft Start »

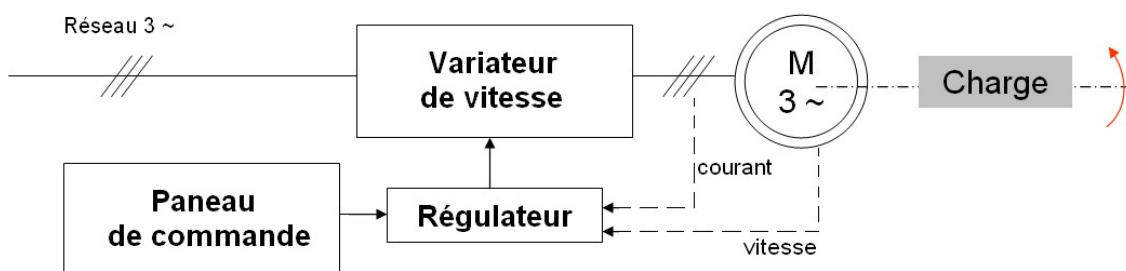


Dans le schéma de gauche, dès que le disjoncteur Q1 est enclenché, le moteur démarrera progressivement. Et pour l'arrêter, il faut couper le disjoncteur Q1.

Par contre dans le schéma de droite, après avoir enclenché le disjoncteur Q1, il faut encore appuyer sur le bouton S2 pour démarrer le moteur. Et pour l'arrêter, il suffit d'appuyer sur le bouton S1.

4.5. Variateur de fréquence (ou variateur de vitesse)

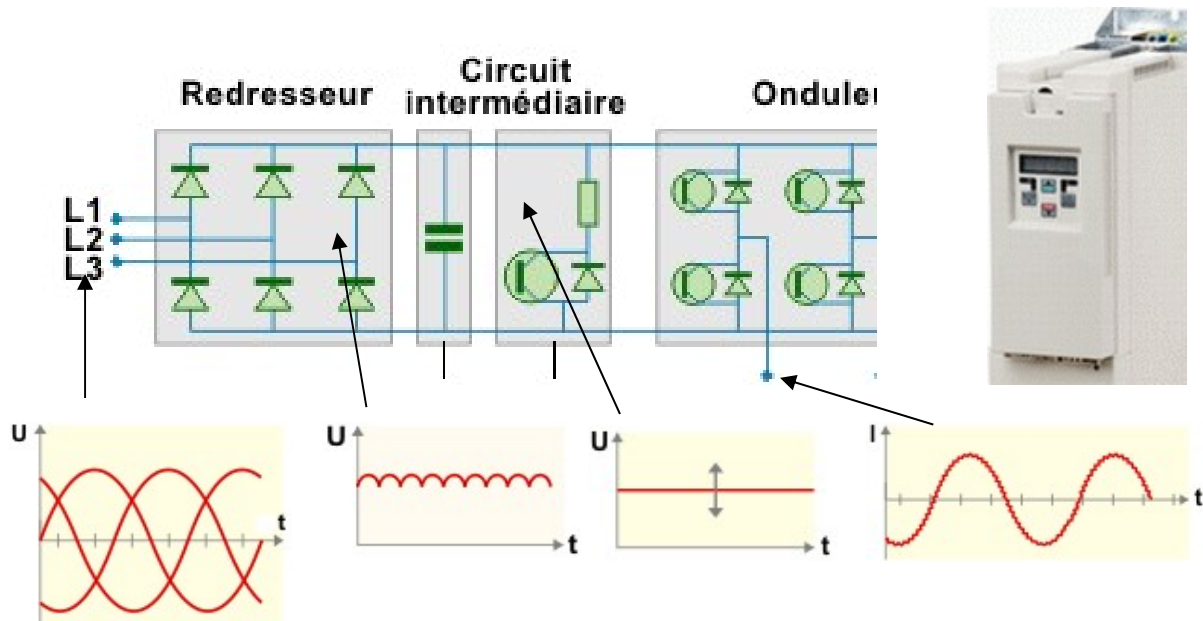
Principe général



La tension triphasée du réseau est appliquée à l'entrée du variateur qui la modifiera selon la commande qu'il reçoit. Un panneau de commande permet à l'utilisateur d'introduire différents paramètres de réglage. Un régulateur envoie alors une commande vers le variateur de vitesse qui va adapter la tension appliquée au moteur et donc modifier la vitesse. Selon la configuration utilisée, il peut y avoir une mesure du courant et/ou de la vitesse.

Principe du variateur de vitesse¹

La figure suivante donne le schéma de principe d'un variateur de vitesse classique.



Le variateur de vitesse est composé essentiellement :

- d'un **redresseur** (à diodes ou à thyristors) qui, connecté à une alimentation triphasée (le réseau), génère une tension continue à ondulation résiduelle (le signal n'est pas parfaitement continu).
- d'un **circuit intermédiaire** agissant principalement sur le **filtrage** de la tension de sortie du redresseur (améliore la composante continue).
- d'un **onduleur** qui engendre le signal de puissance à tension et/ou fréquence variables.
- d'une **électronique de commande** pilotant (transmission et réception des signaux) le redresseur, le circuit intermédiaire et l'onduleur.

Fonction des variateurs de vitesse

Parmi la multitude de possibilités de fonctions qu'offrent les variateurs de vitesse actuels, citons les suivantes :

- l'accélération contrôlée
- la décélération contrôlée
- la variation et la régulation de vitesse (en boucle ouverte ou en boucle fermée)
- l'inversion du sens de marche
- le freinage d'arrêt
- ...

¹ Information et images tirées du Portail de l'Énergie en Région wallonne : <http://energie.wallonie.be/energieplus/CDRom/ascenseurs/equipements/ascequvariateurvitesse.htm>