



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES

Cours, travaux dirigés et travaux pratiques

Pr. ELMARIAMI

Année universitaire : 2017/2018

PLAN DU COURS

I- Rappels sur le transport de l'énergie électrique

II- Fonctions de l'appareillage électrique

III- Schémas électriques

IV- Commande des moteurs électriques

V- Comportement du moteur au démarrage :

1 : Démarrage direct

2 : Démarrage étoile triangle

3 : Démarrage statorique

4 : Démarrage par autotransformateur

5 : Démarrage rotorique

6 : Vérification des démarrages

Travaux Dirigés

I- Rappels sur le transport de l'énergie électrique

L'électricité est un agent énergétique lié à la puissance. L'approvisionnement en électricité provenant des centrales exige l'installation de lignes aériennes ou souterraines permettant d'acheminer le courant jusqu'aux consommateurs. (Fig.1 et Fig.2)

Selon la tension d'exploitation, on distingue les réseaux suivants :

- très haute tension THT 225 ou 400 kV
- haute tension HT 50 à 150 kV
- moyenne tension MT 10 à 30 kV (20 ou 22 kV)
- basse tension BT 230 ou 400 V

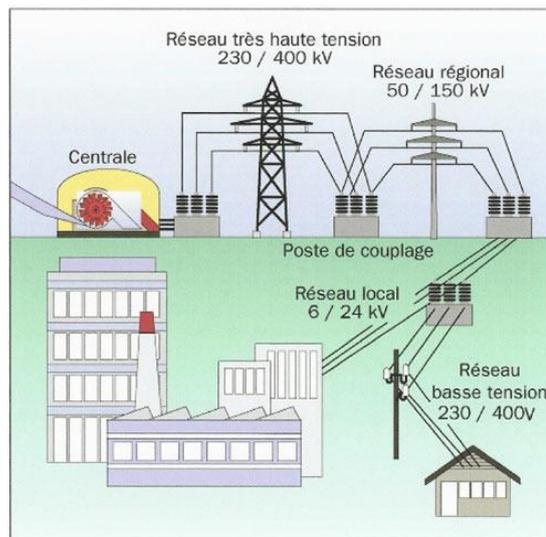


Fig.1 : de la centrale au client

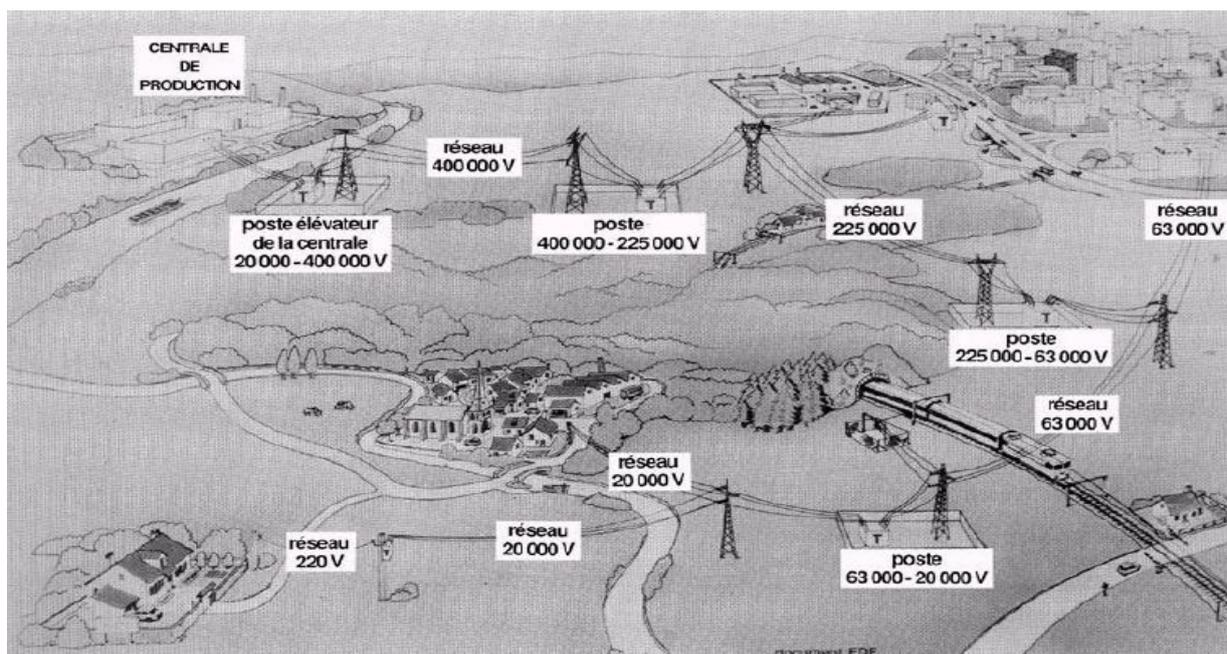


Fig.2 : Transport, Répartition et Distribution de l'énergie électrique

Le Décret n° 88-1056 définit les niveaux de tension suivants :

Domaine de tension	Courant alternatif	Courant continu
TBT	$U \leq 50$ volts	$U \leq 120$ volts
BT	$50 < U \leq 1000$ V	$120 < U \leq 1500$ V
HTA	$1000 < U \leq 50$ kV	$1500 < U \leq 75$ kV
HTB	$U > 50$ kV	$U > 75$ kV

a) Réseaux à très haute tension

Réseaux de transport d'une tension de 225 ou de 400 kV. Les lignes à très haute tension acheminent l'électricité des grandes centrales électriques aux postes situés à proximité des grands centres de consommation. Elles couvrent de grandes distances et assurent le transport supra-régional (réseau d'interconnexion).

b) Réseaux à haute tension

Réseaux de distribution primaire d'une tension de 50 à 150 kV. Dans les postes de couplage et de transformation, la très haute tension est ramenée à des valeurs plus faibles, compatibles avec le réseau primaire. Celui-ci achemine l'énergie vers des centres de consommation dont les besoins en énergie sont compris entre 10 et 100 MW (grosse industrie, postes régionaux des villes ou des zones rurales). Le réseau de distribution primaire est responsable de l'alimentation électrique au niveau régional.

c) Réseaux à moyenne tension

Réseaux de distribution secondaire d'une tension de 10 à 30 kV. Dans les postes de couplage régionaux, alimentés par des lignes haute tension, le niveau de tension est abaissé à une valeur permettant l'alimentation en électricité des zones urbaines et rurales.

d) Réseaux à basse tension

Réseaux de distribution d'une tension inférieure à 1000 V (1 kV). Dans les stations de transformation locales, la moyenne tension est abaissée au niveau d'utilisation, soit 230 et 400 V. Ce réseau approvisionne les habitations et les petites industries environnantes.

II- Fonctions de l'appareillage électrique

Toute personne amenée à travailler avec du matériel électrique peut être confrontée à un accident d'origine électrique. L'accident électrique a en général des conséquences lourdes. Pour cela, il faut connaître et appliquer les principes de base de la sécurité électrique afin de limiter les risques électriques. Seules les personnes habilitées doivent intervenir sur les ouvrages électriques.

En général il faut :

- Utiliser des outils adaptés (tournevis et pinces isolés)
- Protéger les circuits de mesures contre les surintensités
- Mettre des Lunettes ou écrans faciaux anti U.V.
- Mettre des gants isolants adaptés à la tension

Lors des travaux pratiques :

- Commencer toujours par câbler la commande et ensuite la puissance,
- Ne pas câbler sous tension, et à chaque intervention couper l'alimentation de la commande et de la puissance.

Il faut noter : pour qu'une installation électrique soit conforme aux normes, elle doit comporter les quatre fonctions suivantes :

- 1- Fonction sectionnement
- 2- Fonction commutation ou commande
- 3- Fonction protection contre les surcharges
- 4- Fonction protection contre les courts circuits

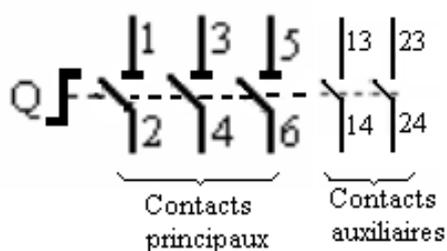
Ces différentes fonctions sont assurées par l'appareillage électrique.

II-1- Matériel de couplage :

1- Sectionneur :

Un sectionneur est un appareil destiné à ouvrir et à fermer un circuit à **vide**. Le sectionneur n'est pas destiné à couper en charge, son rôle est d'établir une coupure visible du circuit. Le sectionneur est le premier appareil à fermer et le dernier à ouvrir. Dans la majorité des cas, les sectionneurs sont munis de fusibles et on parle alors de coupe-circuit sectionneur ou sectionneur porte fusibles. Le pouvoir de coupure (Pdc) du sectionneur est nul.

REPRESENTATION : On adoptera toujours la représentation en triphasé :



Commande rotative



Commande directe

2- Interrupteur :

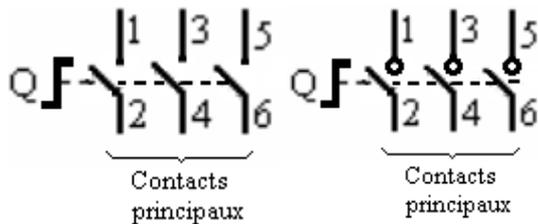
C'est un appareil qui permet la fermeture et l'ouverture d'un circuit en charge. Ses contacts sont dimensionnés pour couper le courant nominal de l'installation.

L'interrupteur peut être fermé suite des courts-circuits donc il doit avoir le pouvoir de fermeture nécessaire.

Il faut noter aussi qu'il existe des **interrupteurs-sectionneurs** qui réalisent le sectionnement à coupure pleinement apparente.

Il existe aussi des **interrupteurs-fusibles** qui sont munis de fusibles.

REPRESENTATION : on peut le représenter de deux façons différentes :



Interrupteur-sectionneur

Interrupteur-Fusible

3- Contacteurs :

Les deux appareils vus précédemment sont des appareils à commande manuelle; ils nécessitent une intervention extérieure. Le contacteur est un appareil qui commande électro-magnétiquement l'ouverture et la fermeture d'un circuit en charge. Les contacts sont fermés ou ouverts à l'aide d'une bobine appelée **Bobine de commande**, si cette bobine est alimentée ou **excitée** les contacts principaux sont fermés et si la bobine est non alimentée ou **désexcitée** les contacts principaux sont ouverts.

Le contacteur est un appareil qui présente l'avantage de simplifier la commande des circuits d'une manière appréciable. Il présente par ailleurs les avantages suivants:

- Possibilité de couper automatiquement en cas de manque de tension (protection contre le retour de courant).
- Permet la commande à distance.

Constitution :

Un contacteur est constitué :

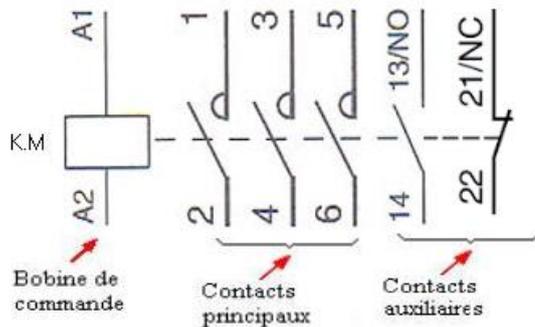
- 1- de la bobine de commande (élément moteur)
- 2- des pôles ou contacts principaux (instantanés), pouvant supporter des courants élevés.
- 3- des contacts auxiliaires instantanés ou temporisés, ne pouvant supporter que des courants faibles. Les contacts principaux sont ouverts au repos et fermés en marche. Les contacts auxiliaires peuvent être ouverts ou fermés au repos ou en marche.

L'alimentation de la bobine peut être faite en courant alternatif ou en courant continu, la seule différence se situe au niveau de l'électro-aimant. En alternatif le circuit magnétique est feuilleté pour réduire les pertes par courants de foucault. En continu le circuit magnétique est en acier massif. la force d'attraction électromagnétique est importante, mais il est possible de diminuer le courant dans la bobine en insérant une résistance.

L'alimentation de la bobine peut se faire avec du 380V AC, 220V AC, 48V AC ou du 24V AC, mais l'utilisation du 48V ou 24V AC présente l'inconvénient d'une chute de tension importante au moment de la fermeture du circuit de la bobine dû au courant appelé si les longueurs des circuits d'alimentations sont importantes.

3-1- Contacteur principal :

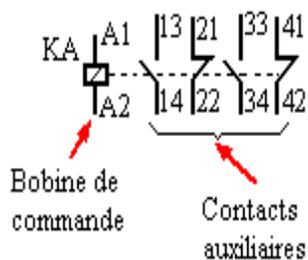
REPRESENTATION :



3-2- Contacteur auxiliaire :

Ce sont des contacteurs dont le bloc de contacts est prévu pour le couplage de circuits auxiliaires (circuits de commande, de signalisation,...) Il n'y a que des contacts auxiliaires et pas de contacts principaux.

REPRESENTATION :



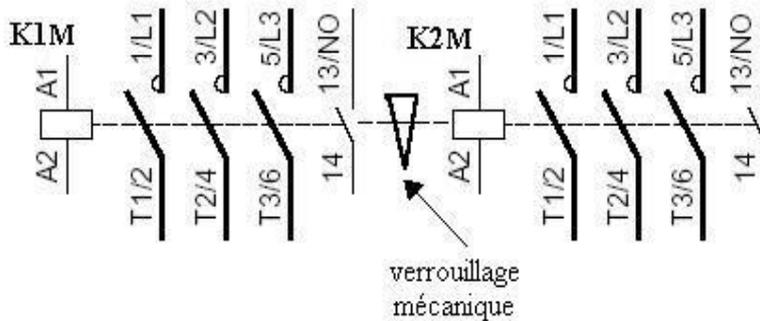
Remarque : pour un besoin de contacts auxiliaires on utilise des blocs de contacts auxiliaires qu'on monte sur les contacteurs (principaux ou auxiliaires)



3-3- Contacteurs avec verrouillage mécanique :

C'est un ensemble de deux contacteurs accouplés mécaniquement qui ne peuvent être enclenchés simultanément. Ils sont utilisés dans des applications où l'enclenchement simultané de deux contacteurs provoque un court-circuit. Par exemple dans l'inversion de sens de rotation d'un moteur triphasé.

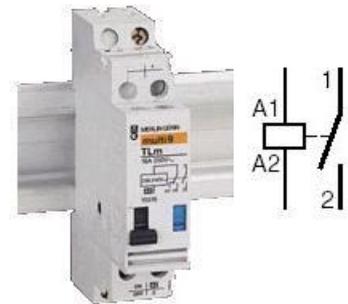
REPRESENTATION :



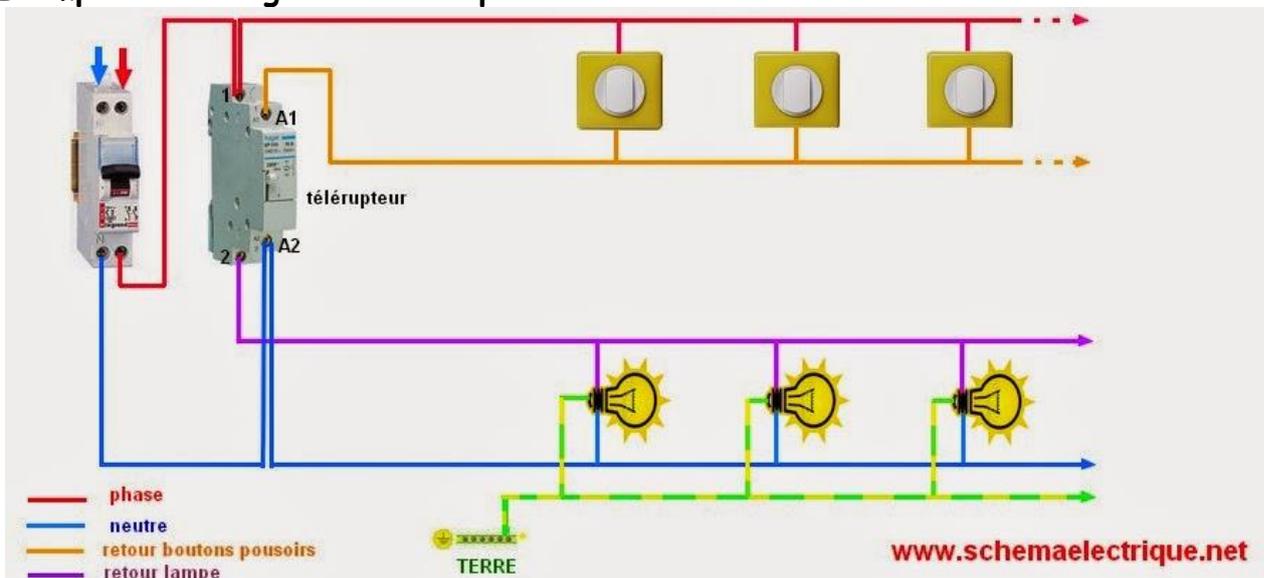
4- Télérupteurs

Les télérupteurs sont utilisés pour la commande à distance par boutons-poussoirs, de circuits comportant des récepteurs résistifs (lampes incandescentes, halogènes basse tension) ou inductifs (tubes fluo, lampes à décharge).

Ils réalisent l'ouverture et la fermeture, maintenues mécaniquement, de circuits commandés à distance par impulsions. Ils facilitent la commande de l'éclairage de plusieurs endroits (généralement supérieur à 3).



Exemple de câblage d'un télérupteur :



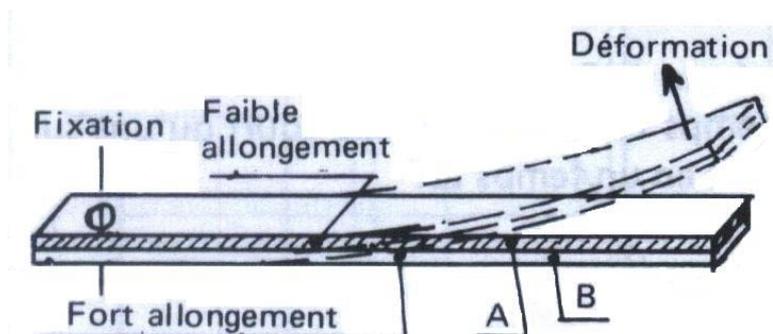
II-2- Matériel de protection :

Pour assurer un fonctionnement correct des installations il est indispensable de les protéger contre les surintensités : les surcharges et les courts-circuits.

Plusieurs types d'appareils de protection peuvent être utilisés pour la protection du matériel.

1- Relais thermique :

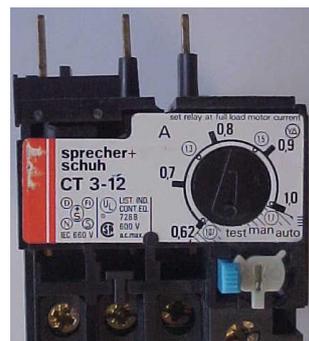
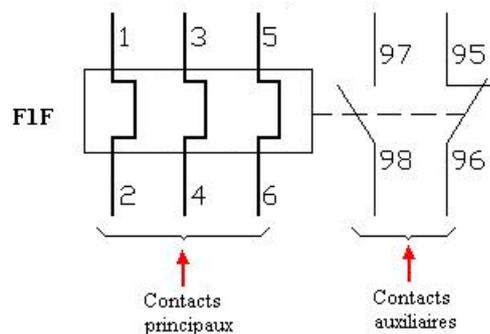
Un relais thermique est un appareil qui sert à protéger contre les surcharges (courant excessif). Il est constitué de 3 bilames qui s'échauffent sous l'effet du courant consommé par l'installation.



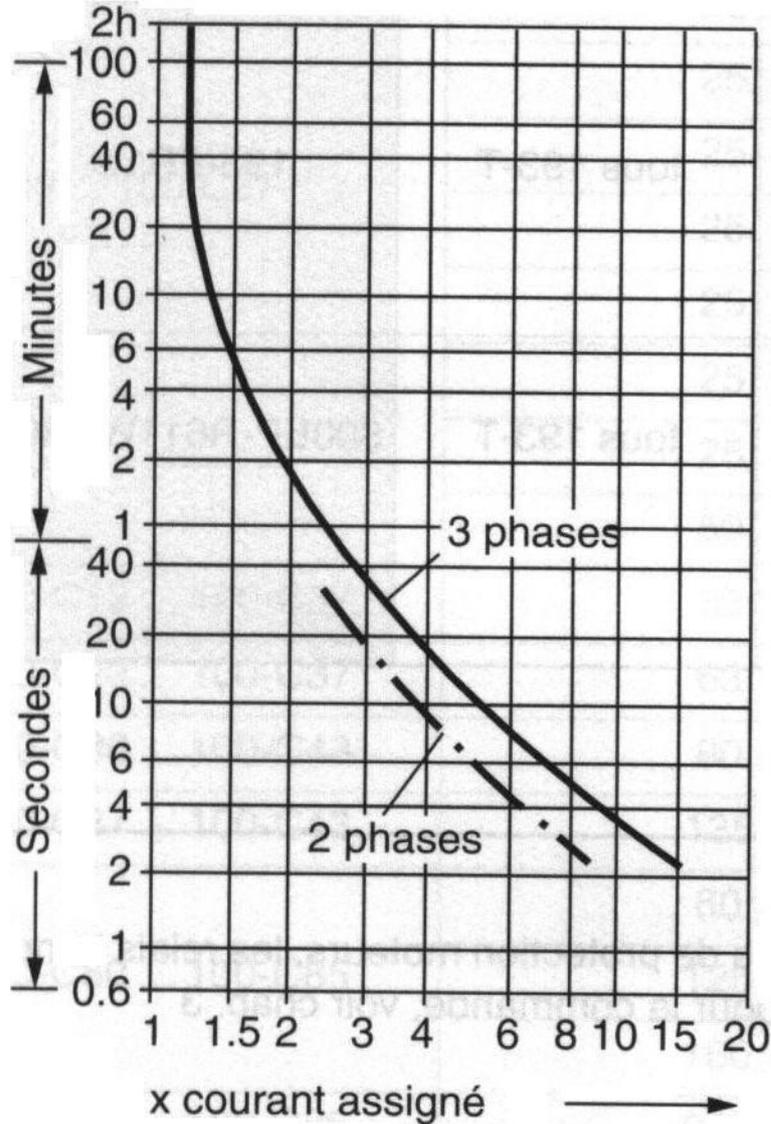
Lorsqu'il y a surcharge par suite surchauffement, le relais coupe l'alimentation au niveau du contacteur. Il faut noter que si des surintensités agissent dans des conditions normales (lors du démarrage des moteurs électriques) le relais thermique ne doit pas en principe couper l'alimentation. Les relais thermiques sont équipés d'un contact d'ouverture (fermé au repos) et d'un contact à fermeture (ouvert au repos).

Ces contacts sont actionnés dès que les éléments de déclenchement sont activés. Le contact d'ouverture coupe le circuit de commande de la bobine du contacteur et déclenche celui-ci. Le contact de fermeture sert pour alimenter une lampe de signalisation (orange) indiquant le déclenchement thermique du contacteur. Un bouton de réarmement permet de remettre le relais à son état après refroidissement et disparition du défaut. On peut aussi avoir un réarmement automatique du relais. L'utilisateur dispose d'une fourchette de courant pour régler un relais thermique. En général celui-ci est réglé sur le courant nominal de fonctionnement de l'installation. Lorsqu'il y a dépassement du courant de réglage, le relais déclenche pendant un temps donné par le constructeur (voir la caractéristique du relais thermique).

REPRESENTATION :



CARACTERISTIQUE:



Le courant assigné du relais thermique est son courant de réglage.

2- coupe-circuit fusible :

Les fusibles sont des organes de protection qui coupent le circuit principal (de puissance) par la fusion d'un ou de plusieurs conducteurs. (Leur rôle est de couper le circuit en cas de surintensité ou de court-circuit ou lorsque la valeur préétablie est dépassée pendant un temps fixe). Chaque fusible est défini par son courant nominal et par son courant de fusion :



Fusible à cartouches
cylindriques

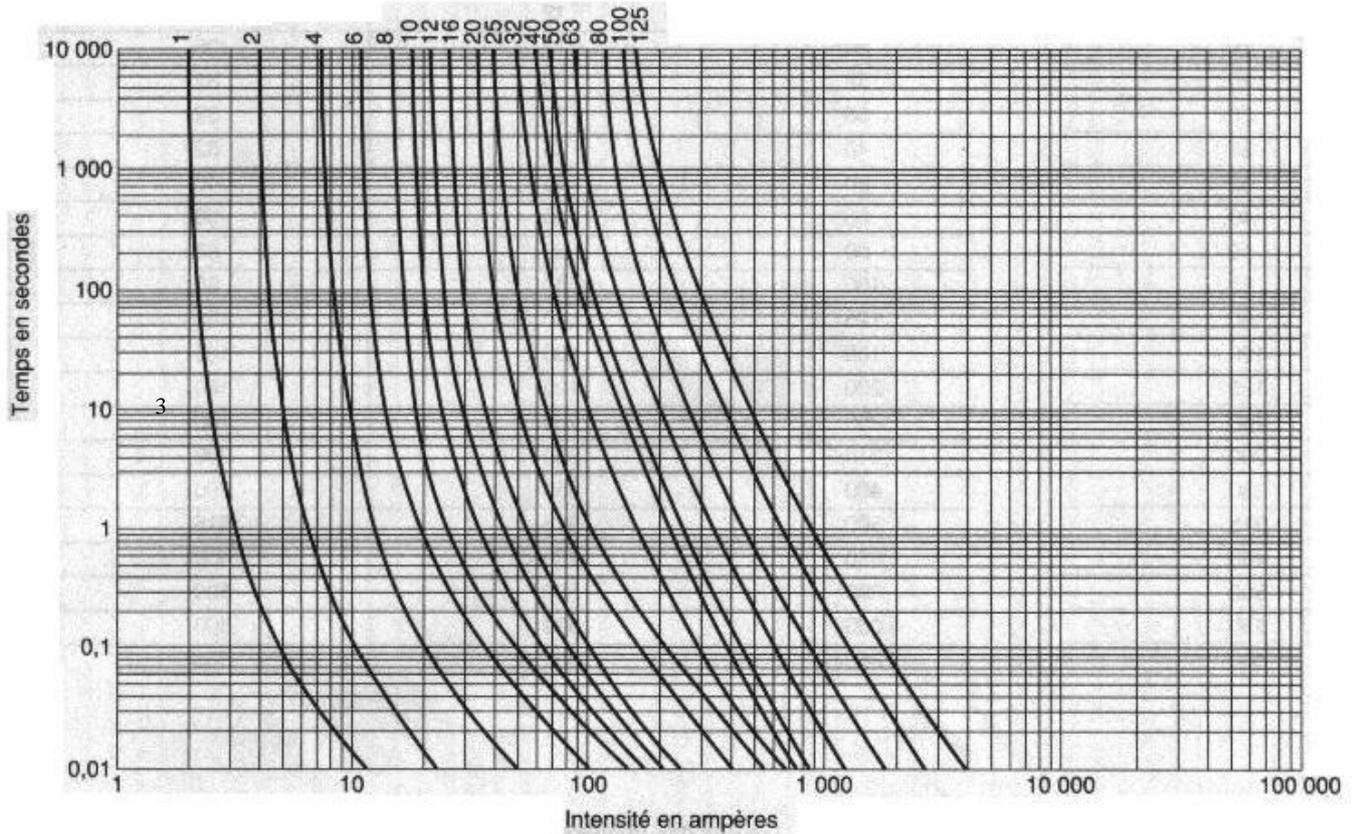


Fusible à cartouche
à couteaux

Deux types de fusibles sont à envisager :

- Les fusibles types gL, gG ou gF (usage général) pour protéger contre les surcharges et les courts-circuits. Les inscriptions sont écrites en noir. Le courant de fonctionnement minimal I_f est définie par :

- * $2.1 I_n$ pour $I_n \leq 4 A$
- * $1.9 I_n$ pour $4 < I_n < 16 A$ (I_n étant le calibre du fusible gG).
- * $1.6 I_n$ pour $I_n \geq 16 A$



Courbes caractéristiques des fusibles gG (constructeur LEGRAND)

- Les fusibles type aM (accompagnement moteur) qui protègent uniquement contre les courts-circuits et sont utilisés en présence d'un relais thermique. Les inscriptions sont écrites en vert. Le courant de fonctionnement minimal I_f est définie par :

- * $5.2 I_n$ pour $I_n < 4 A$
- * $4.7 I_n$ pour $4 \leq I_n < 16 A$ (I_n étant le calibre du fusible aM).
- * $4 I_n$ pour $I_n \geq 16 A$

3- Disjoncteur et disjoncteur moteur:

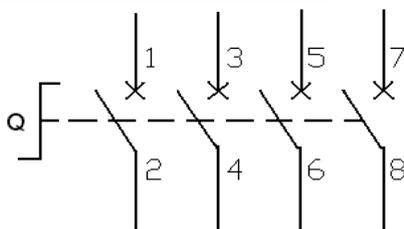
Un disjoncteur est un interrupteur perfectionné normalement maintenu fermé par un verrouillage. Son pouvoir de coupure lui permet de supporter les sollicitations dues à la mise en ou hors service d'appareils ou d'installations en état de fonctionnement normal ou en cas de défaut, et principalement en cas de courts-circuits (coupures automatiques).

Un disjoncteur est capable d'interrompre un circuit quelque soit le courant qui le traverse jusqu'à son pouvoir de coupure ultime : Icu exprimé en kA (norme CEI.947-2).

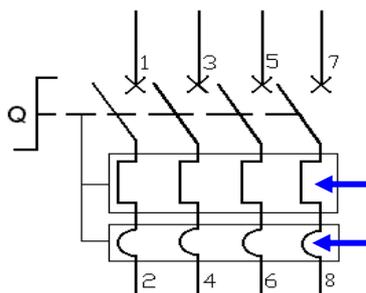
Un disjoncteur protège l'installation :

- contre les surcharges (action du déclencheur thermique)
- contre les courts-circuits (action du déclencheur magnétique)

REPRESENTATION :



Disjoncteur
(Représentation générale)



Disjoncteur
magnétothermique

← Déclencheur thermique

← Déclencheur magnétique



Un disjoncteur moteur protège le moteur contre les surcharges et les courts circuits. Il ne déclenche pas au démarrage du moteur. Il assure aussi le sectionnement du circuit. Il offre un réglage thermique plus précis par rapport au disjoncteur magnétothermique.



← Réglage thermique
du courant

Disjoncteur moteur

Un disjoncteur est choisi en fonction du courant nominal, du pouvoir de coupure, de l'encombrement et du nombre des pôles (Bipolaire, tripolaire ou tétra polaire).

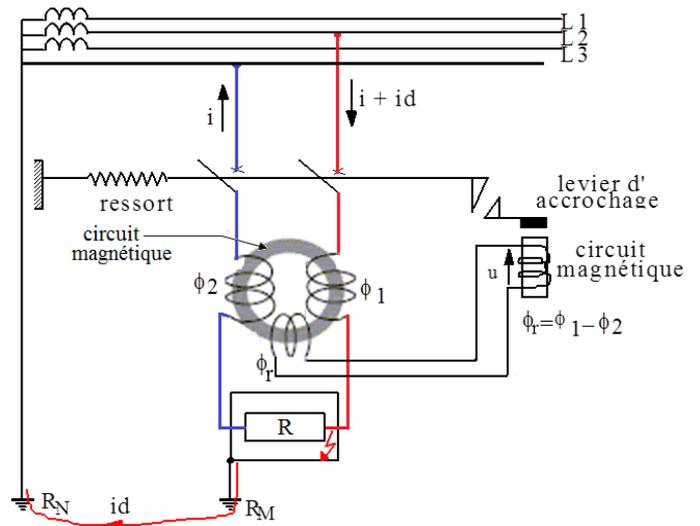
4- Disjoncteur différentiel

d- Disjoncteur différentiel

Un disjoncteur différentiel est un dispositif de sécurité de l'installation qui compare à chaque instant le courant entrant et le courant sortant. Si les deux ne sont pas égaux, cela signifie qu'une partie fuit dans le sol et donc qu'un des appareils électriques est mal isolé et présente donc un danger pour les personnes.

Un circuit principal constitué de deux bobines identiques bobinées en sens inverse N1 et N2, un circuit secondaire constitué d'une bobine N3 ramassant le flux résultant et un électro-aimant assurant le déclenchement du disjoncteur.

Les disjoncteurs différentiels sont utilisés pour détecter les courants de fuite à la terre.



Sensibilités ($I\Delta n$) : Elles sont normalisées par la CEI :

- haute sensibilité -HS- : 6-10-30 mA,
- moyenne sensibilité -MS- : 100-300 et 500 mA,
- basse sensibilité -BS- : 1-3-5-10 et 20 A.

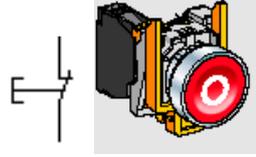
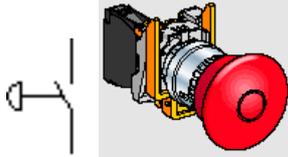
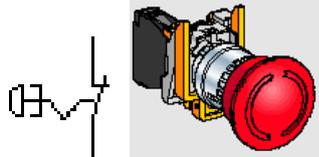
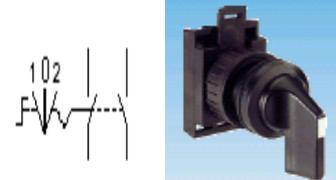
Les différentiels de haute sensibilité ≤ 30 mA assurent aussi la protection des personnes contre les contacts directs.

II-3- Matériel de commande :

Les auxiliaires de commande servent à commuter ou à mettre en ou hors service les appareils à actionner, on distingue alors plusieurs types selon l'utilisation faite de ces auxiliaires :

- Les contacts auxiliaires des appareils
- Les boutons poussoirs commandés par impulsions qui disposent d'une seule position stable (ouvert ou fermé).
- Les boutons poussoirs avec accrochage à deux positions stables.
- Les boutons "coup de poing" pour l'arrêt d'urgence.
- Les boutons poussoirs à clé.
- Les boutons rotatifs avec ou sans rappel automatique.
- Les fins de coursesetc.

REPRESENTATION :

			
Bouton-poussoir Contact "F"	Bouton-poussoir Contact "O"	Coup de poing" impulsion Contact "F"	"Coup de poing" Arrêt d'urgence : Pousser-tirer Contact "O"
			
Bouton tournant 2 positions fixes Contact "F"	Fin de courses 2 contacts "F" et "O"	Bouton tournant à deux directions avec position médiane d'ouverture	

II-4- Relais temporisés :

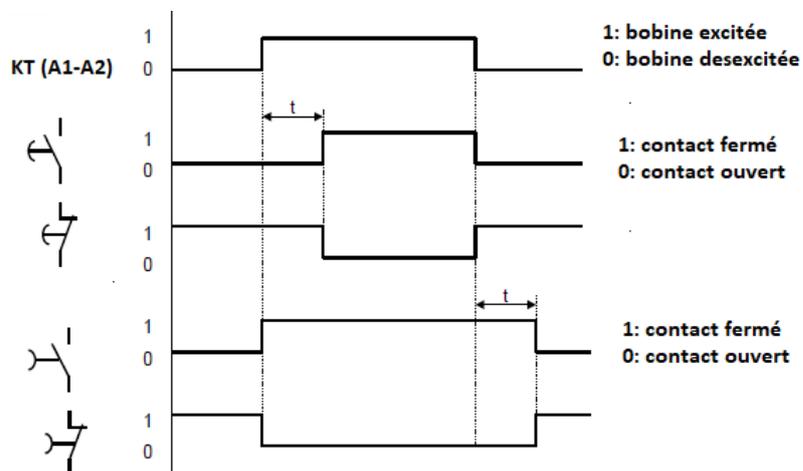
Les relais temporisés sont des appareils de commande qui servent pour retarder pendant un temps choisi par l'opérateur la transmission des ordres reçus. Le mécanisme de temporisation varie d'un modèle à un autre. On distingue les relais temporisés mécaniques, pneumatiques ou électroniques. Les relais peuvent être temporisés à l'enclenchement (à l'action), au déclenchement (au repos) ou à l'enclenchement et au déclenchement.

REPRESENTATION :



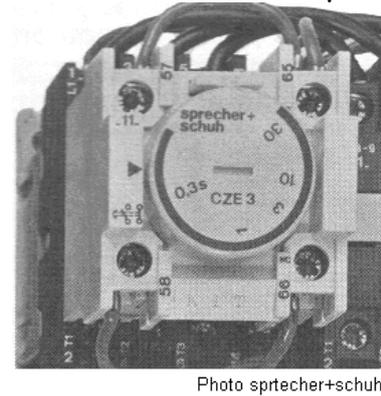
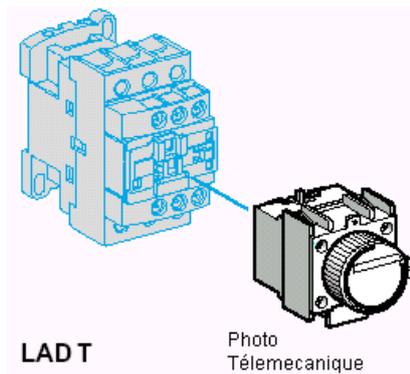
relais temporisé à l'action

relais temporisé au relachement



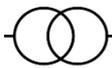
Chronogramme des deux relais temporisés

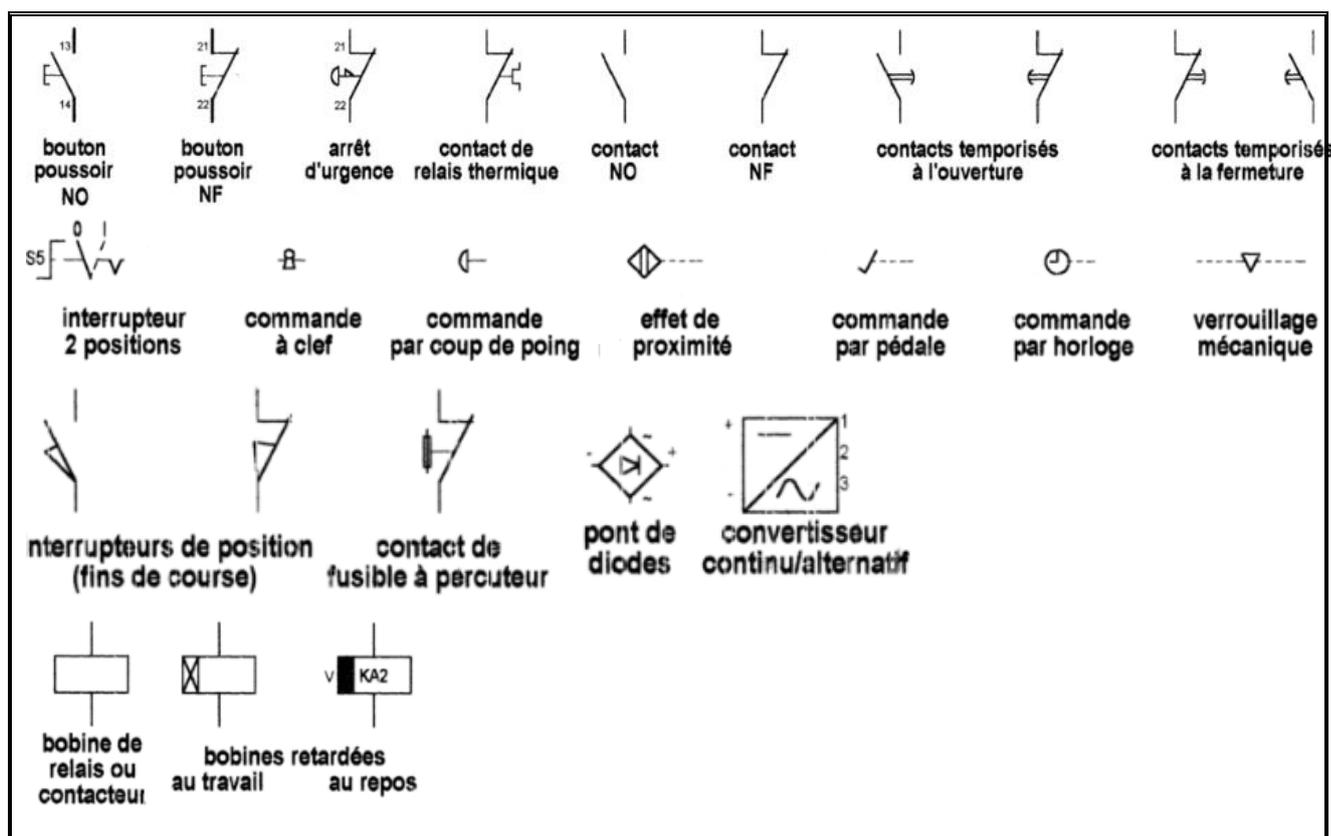
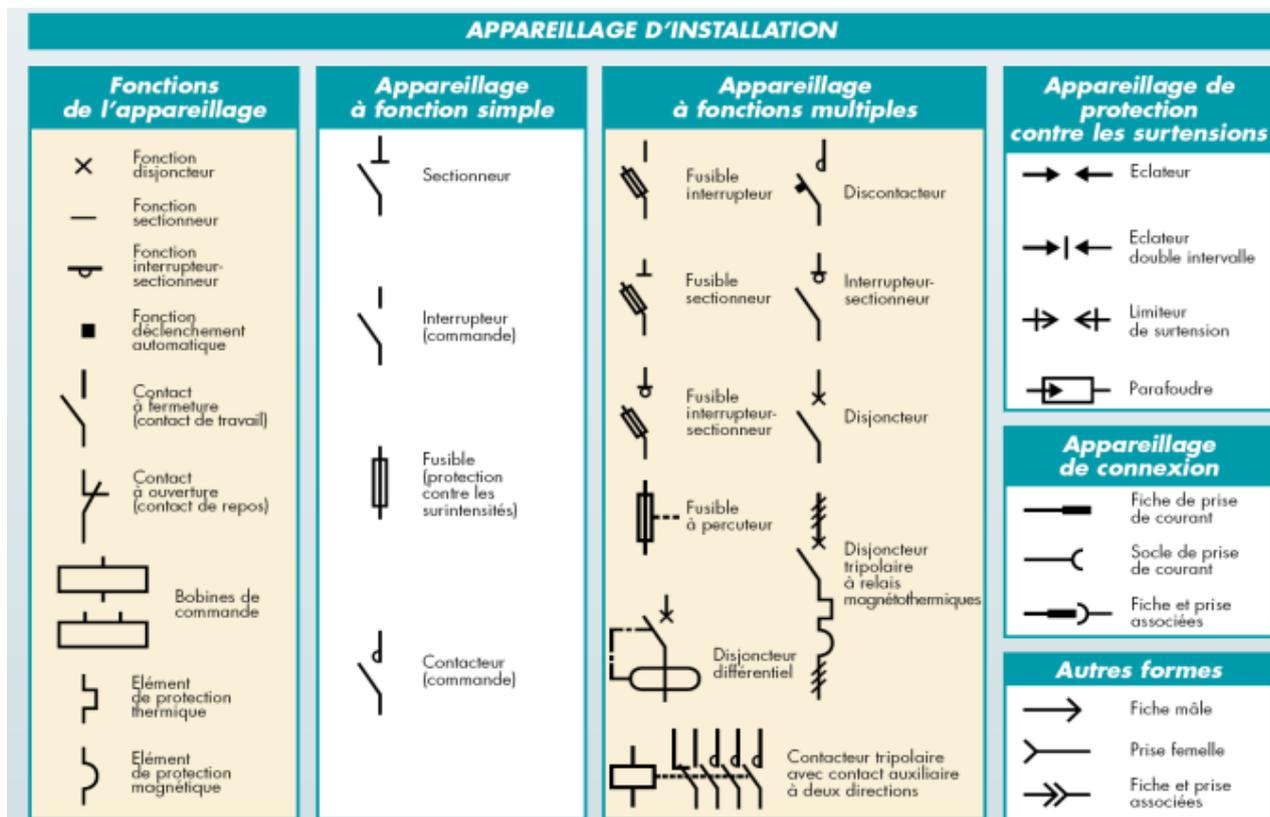
Il faut noter aussi qu'il existe un ensemble de contacts temporisés qu'on peut monter sur des contacteurs (principaux ou auxiliaires), on parle alors des blocs temporisés.



III- Schémas électriques

1. Symboles graphiques :

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



2. Marquage des bornes

Un appareil est constitué d'un certain nombre d'organes. Chacun d'eux aboutit à des bornes qui font l'objet d'un marquage. Le choix du marquage est effectué par le fabricant de l'appareil en tenant compte des règles et des normes en vigueur.

Résumé des normes relatives pour marquage des bornes au sein des contacteurs :

● Bobines :

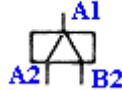
Les marques des bornes d'une bobine sont toujours alphanumériques.



Bobine de Contacteur



Bobines à deux enroulements parallèles et 3 ou 4 bornes



Aimant de verrouillage

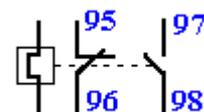
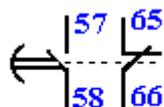
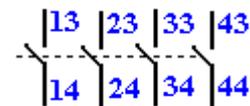
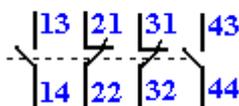
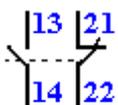
● Contacts auxiliaires :

Le marquage des bornes des éléments de couplage auxiliaires des contacteurs principaux ou auxiliaires est formé d'un nombre à deux chiffres :

Chiffres pour fonctions spéciales (p.ex. : temporisation, relais thermique...)	}	Fonction d'ouverture : .1- .2	
		Fonction de fermeture : .3- .4	
		Fonction d'ouverture : .5- .6	
		Fonction de fermeture : .7- .8	

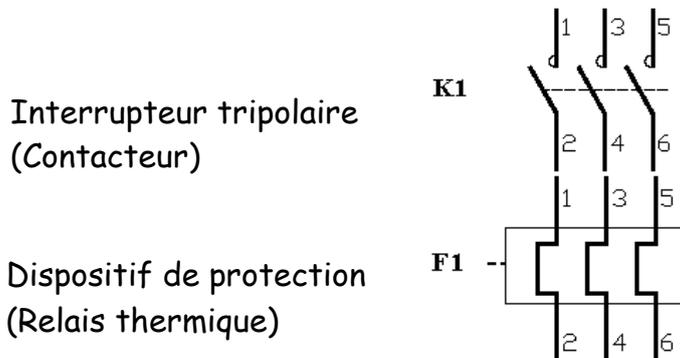
Chiffre des dizaines = Numéro d'ordre : Les bornes situées sur le même contact d'un élément de commutation doivent être identifiées par le même numéro d'ordre.

Exemples :



● Contacts principaux :

Le marquage des bornes des contacts principaux (contacteurs, relais thermique, interrupteur ...) est formé d'un nombre à un seul chiffre.



3. Etablissement des schémas électriques

1- Introduction :

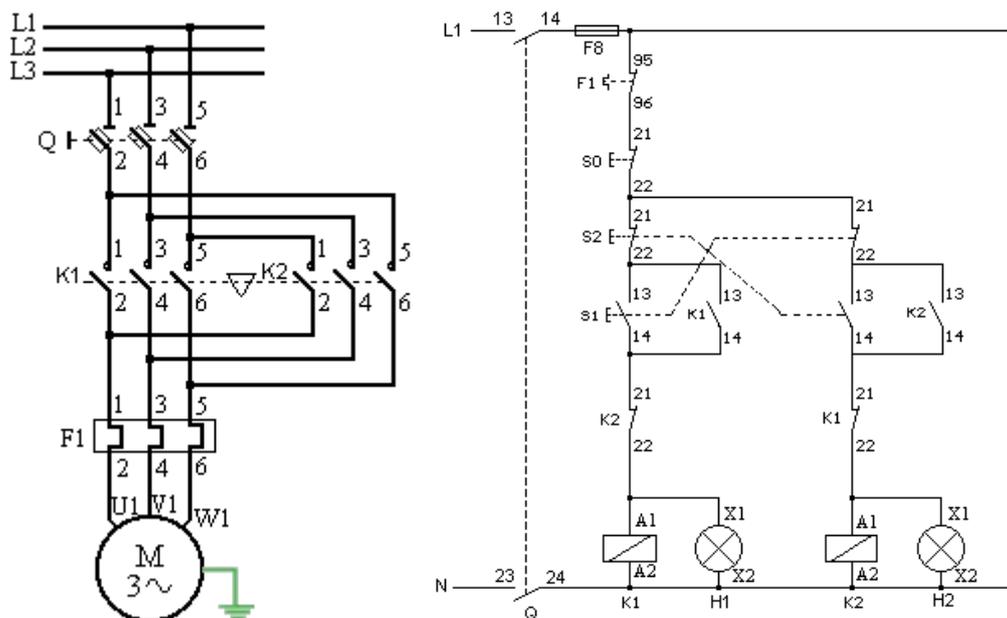
Le schéma est une représentation graphique fonctionnelle d'un montage. Il indique la façon dont chaque élément doit être raccordé pour pouvoir effectuer une fonction très déterminée. En ce qui concerne la distribution d'énergie et les installations, les schémas sont toujours dessinés "hors tension".

En général, on distingue deux types de schémas électriques :

- Le schéma développé
- Le schéma simplifié.

2- Schéma développé (ou schémas des circuits) :

Ce schéma sert à représenter de façon claire et précise le déroulement du processus de commande, sans tenir compte de l'emplacement réel du matériel. Les circuits de puissance et de commande sont représentés en vertical et séparés. C'est cette représentation que nous allons adopter pour sa clarté et sa simplicité. (Fig. 1)



a- circuit de puissance

b- circuit de commande

Fig.1. Schéma développé d'inversion de sens de rotation d'un moteur triphasé

3 - Schéma unifilaire (ou simplifié)

Ce genre de schéma n'est utilisé que si sa compréhension et sa clarté n'ont pas diminué (Fig. 2 et Fig.3)

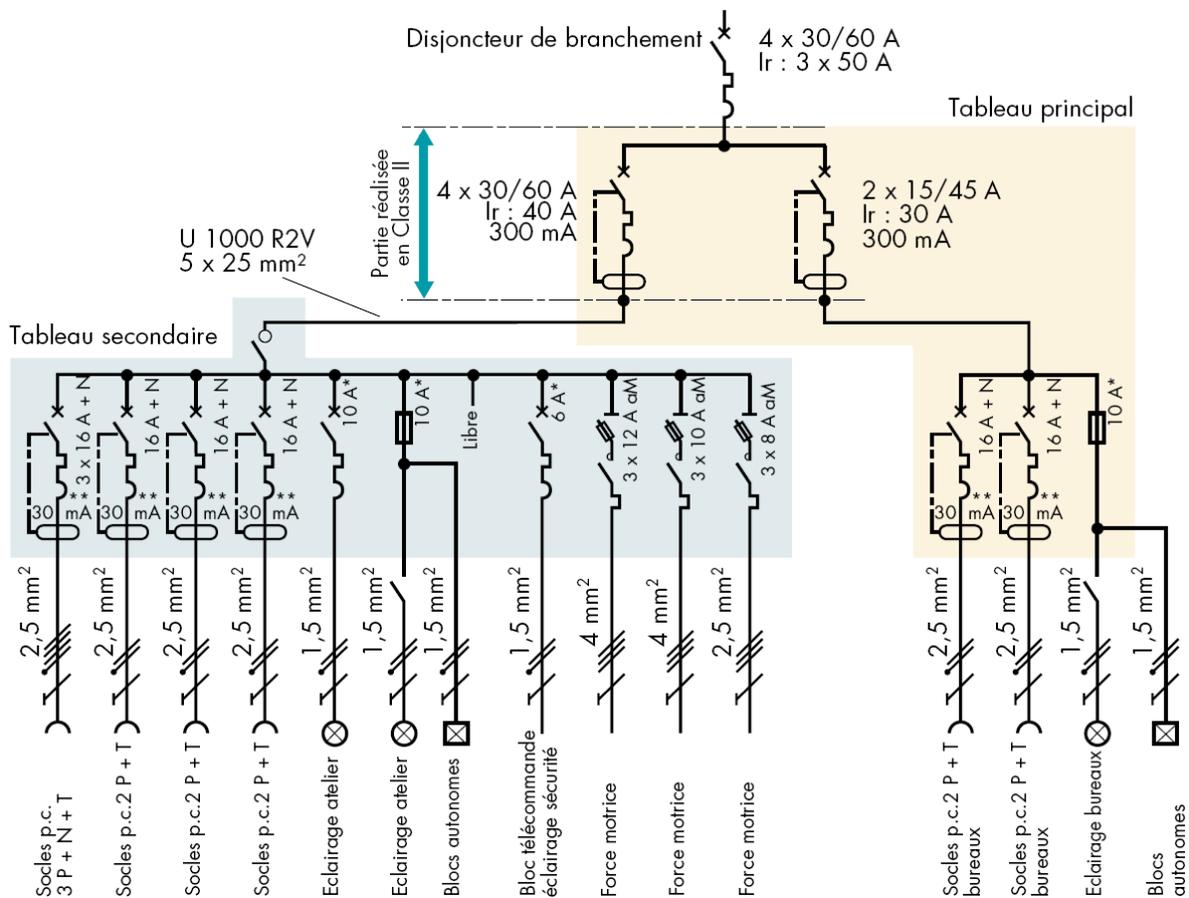
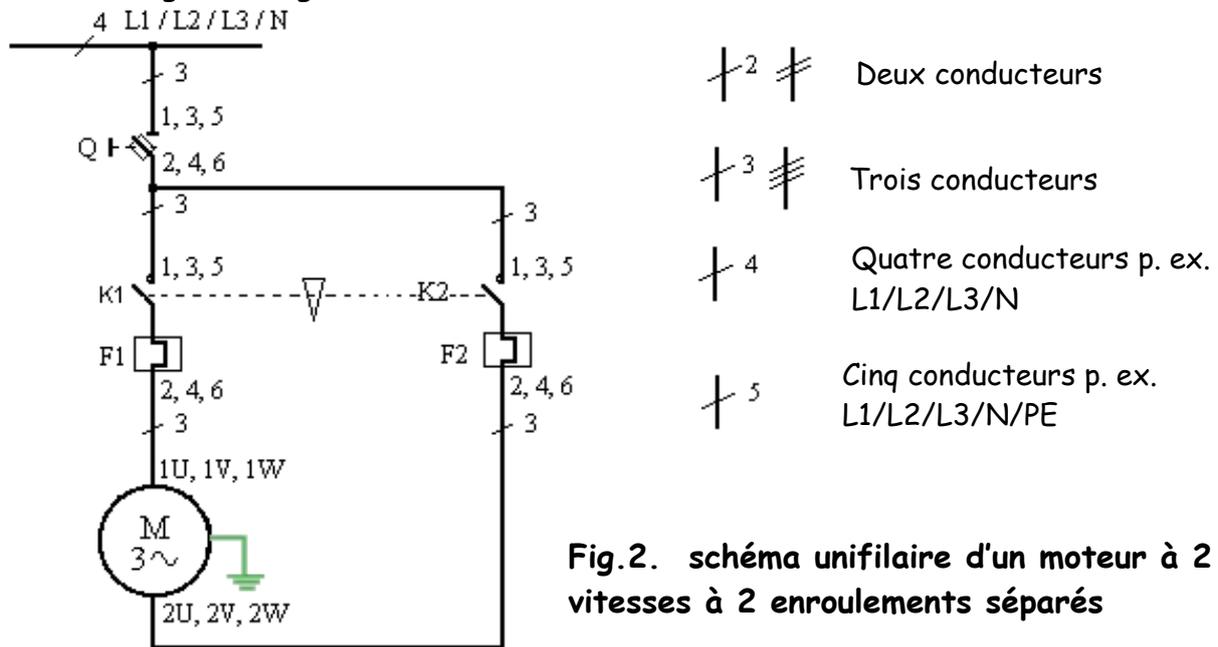


Fig.3 : schéma unifilaire d'installation électrique d'un local artisanal

4- Règles pratiques pour établir un schéma développé :

Les circuits de puissance et de commande doivent être représentés par des schémas séparés.

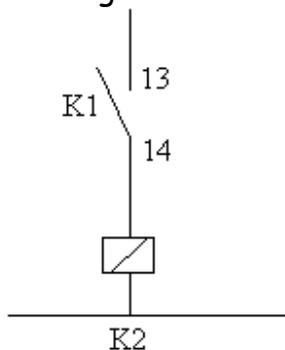
Les appareils utilisés (sectionneur, contacteur, etc ...) sont à représenter dans leur état de repos (non alimentés). Les appareillages pour circuits d'intervention d'urgence, d'alarme ou de sécurité devront être représentés dans l'état pour lequel le système est en fonctionnement normal. Les appareils d'essai devront être en position de service. Voici encore quelques règles pour tracer un schéma développé:

Représentation verticale:

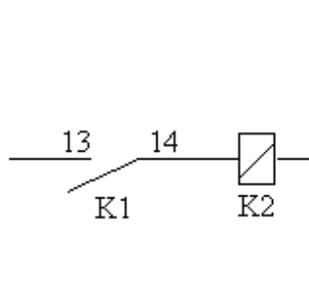
- ◆ le mouvement des contacts doit se faire de la gauche vers la droite,
- ◆ le nom du contact doit être écrit à gauche et son marquage à droite,
- ◆ le contact fixe est relié à l'alimentation,
- ◆ le nom de l'organe de commande est dans le rectangle ou au dessous.

Représentation horizontale:

- ◆ le mouvement du contact du bas vers le haut,
- ◆ le nom du contact doit être écrit en bas et son marquage en haut,
- ◆ le contact fixe est relié à l'alimentation,
- ◆ le nom de l'organe de commande est dans le rectangle ou au-dessous.



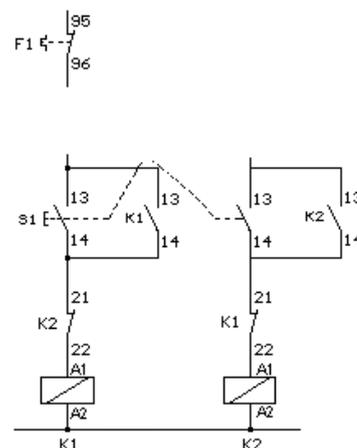
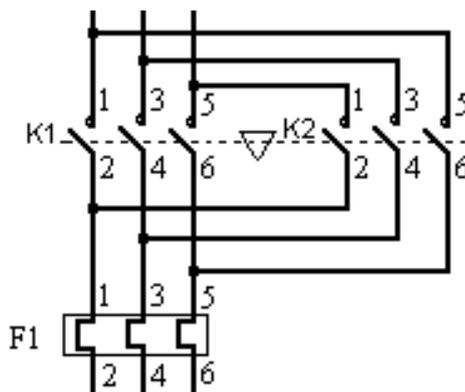
Représentation verticale



Représentation horizontale

N.B : Dans un **Exemple :**

schéma, les contacts se rapportant au même appareil, sont repérés par sa même lettre.



VI- Commande des moteurs électriques :

VI-I- Commande directe d'un moteur:

On désire commander un moteur asynchrone triphasé selon le circuit de puissance ci-dessous appelé aussi un « départ moteur »

Dans un départ moteur il faut réaliser les quatre fonctions suivantes :

- Sectionnement pour mettre « hors tension » le circuit du moteur (on utilise pour cette fonction des Sectionneurs ou des interrupteurs sectionneurs...)
- Commande pour démarrer et arrêter le moteur (on utilise pour cette fonction des Contacteurs)
- Protection contre les surcharges (on utilise pour cette fonction des Relais thermiques...)
- Protection contre les courts-circuits (on utilise pour cette fonction des Fusibles, des disjoncteurs,...)

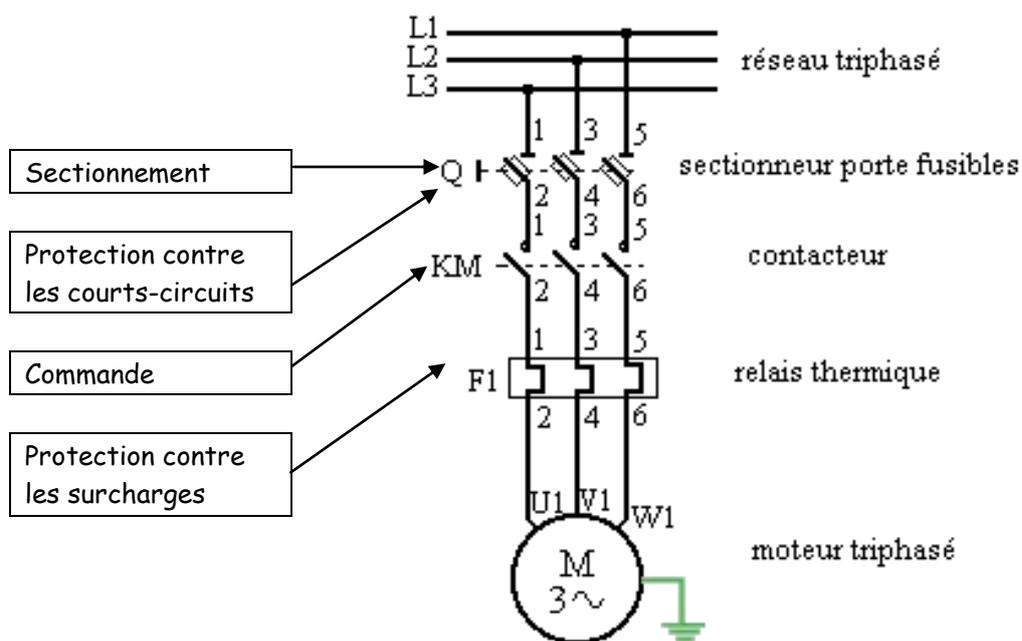
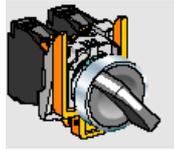
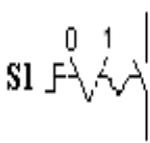


Schéma d'un départ moteur



VI-I-2- schémas de commande :

1- Commande par contact permanent:

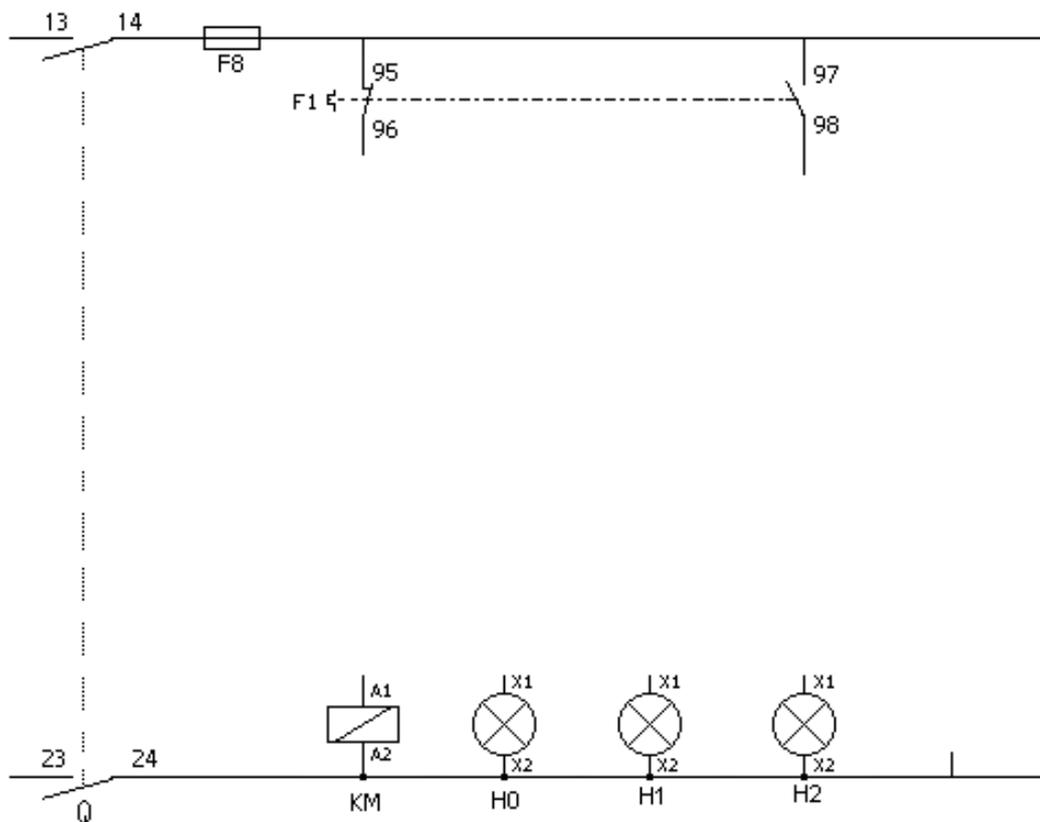


Etablir le **circuit de commande** en prévoyant:

- La protection contre les surcharges,
- Les différentes signalisations (H1 : marche, H0 : arrêt et H2 : défaut thermique).

Il faut noter que ce type de commande est recommandé pour les circuits d'éclairage et de chauffage et pour les installations où les moteurs peuvent redémarrer, sans danger, après une coupure fortuite du courant (machines fonctionnant sans surveillance : par exemple les pompes et les ventilateurs). Ce type de commande est interdit pour les machines outils. En effet une coupure de courant arrête la machine et le contacteur est déclenché, et dès le retour imprévu du courant, le contacteur se referme et la machine démarre simultanément ce qui peut engendrer des risques importants pour le matériel et le personnel. Pour ce type de machine on a recours à la commande par des boutons poussoirs.

Le relais thermique doit être à réarmement manuel.



Circuit de commande par contact permanent

2- Commande par Bouton Poussoir :

■ Marche à coup:



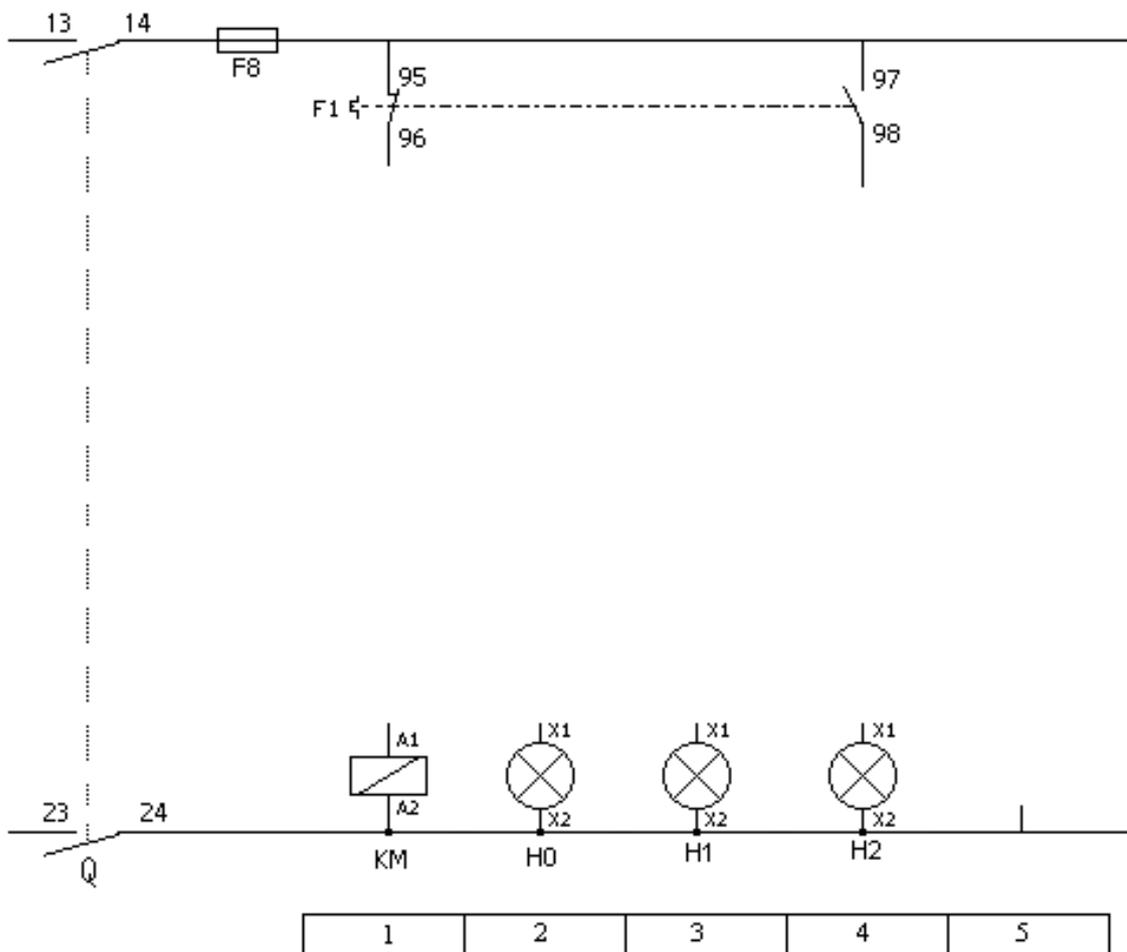
Appui sur S1 ⇒ **marche** du moteur et
Relâchement de S1 ⇒ **arrêt** du moteur.

Le moteur est alimenté seulement pendant la durée d'appui sur le bouton poussoir S1 (par exemple : les palans, les pont roulants).

Le relais thermique peut être à réarmement manuel ou automatique.

Etablir **le circuit de commande** en prévoyant:

- La protection contre les surcharges,
- Les différentes signalisations (H1 : marche, H0 : arrêt et H2 : défaut thermique).



Circuit de commande par bouton poussoir (marche à coup)

■ Marche continue (normale) :



Fonctionnement :

- appui sur S1 ⇒ marche du moteur
- relâchement de S1 ⇒ moteur reste en marche
- appui sur S0 ⇒ arrêt du moteur

Ce type de commande est recommandé pour les machines fonctionnant avec surveillance (exemple : les machines-outils).

Le relais thermique peut être à réarmement manuel ou automatique.

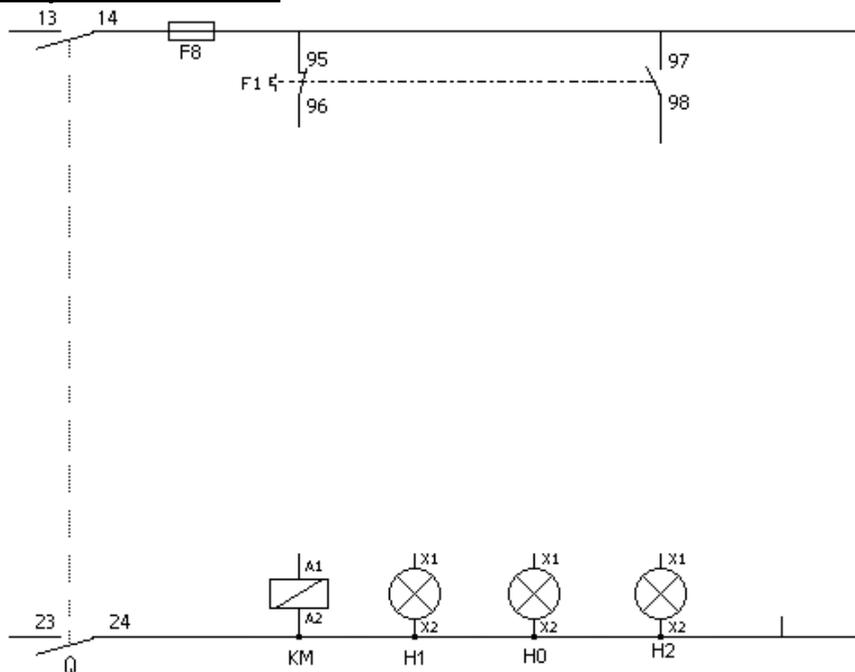
Etablir le **circuit de commande** dans les deux cas suivants :

- **marche prédominante** (appui simultané sur S0 et S1 entraîne la marche du moteur)
- **arrêt prédominant** (appui simultané sur S0 et S1 entraîne l'arrêt du moteur).

Prévoir dans les deux cas:

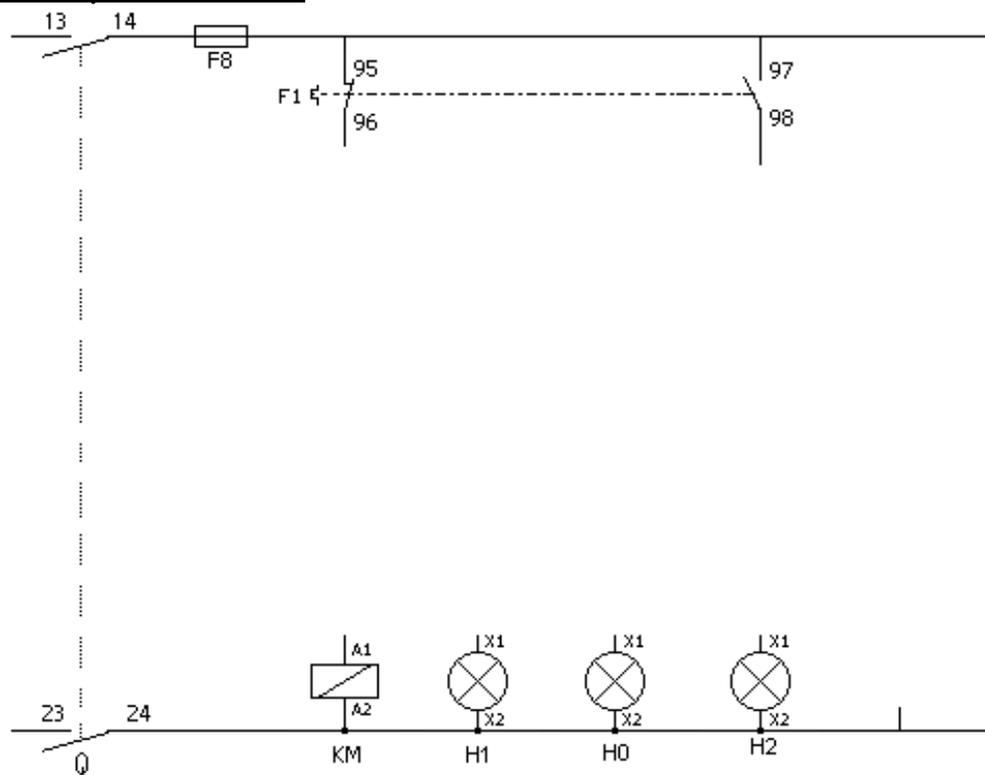
- La protection contre les surcharges,
- Les différentes signalisations (H1 : marche, H0 : arrêt et H2 : défaut thermique).

Cas 1 : marche prédominante :



Circuit de commande par bouton poussoir (marche normale) 1^{ère} configuration

Cas 2 : Arrêt prédominant :

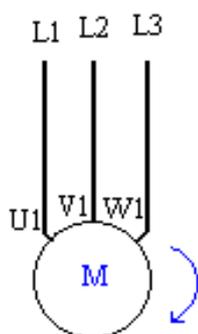


Circuit de commande par bouton poussoir (marche normale) 2^{ème} configuration

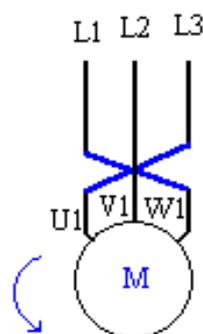
VI-II- Démarreur Inverseur :

Il permet l'inversion de sens de rotation d'un moteur.

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur triphasé, il faut permuter 2 phases d'alimentation du circuit du moteur.



Moteur tourne à droite

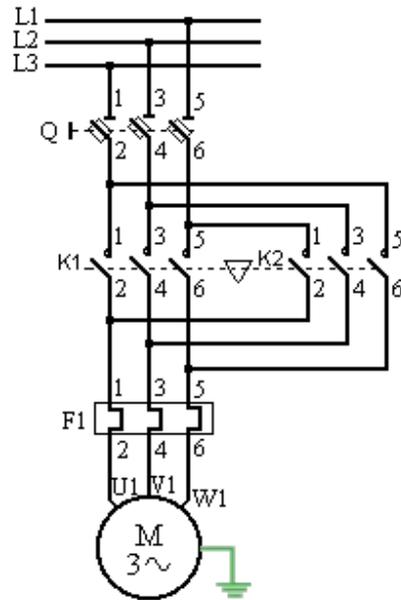


Moteur tourne à gauche

Pour réaliser l'inversion automatique il faut utiliser un **contacteur à verrouillage mécanique**.

On les trouve dans la commande des ascenseurs, des fraiseuses,etc.

1- Circuit de Puissance:

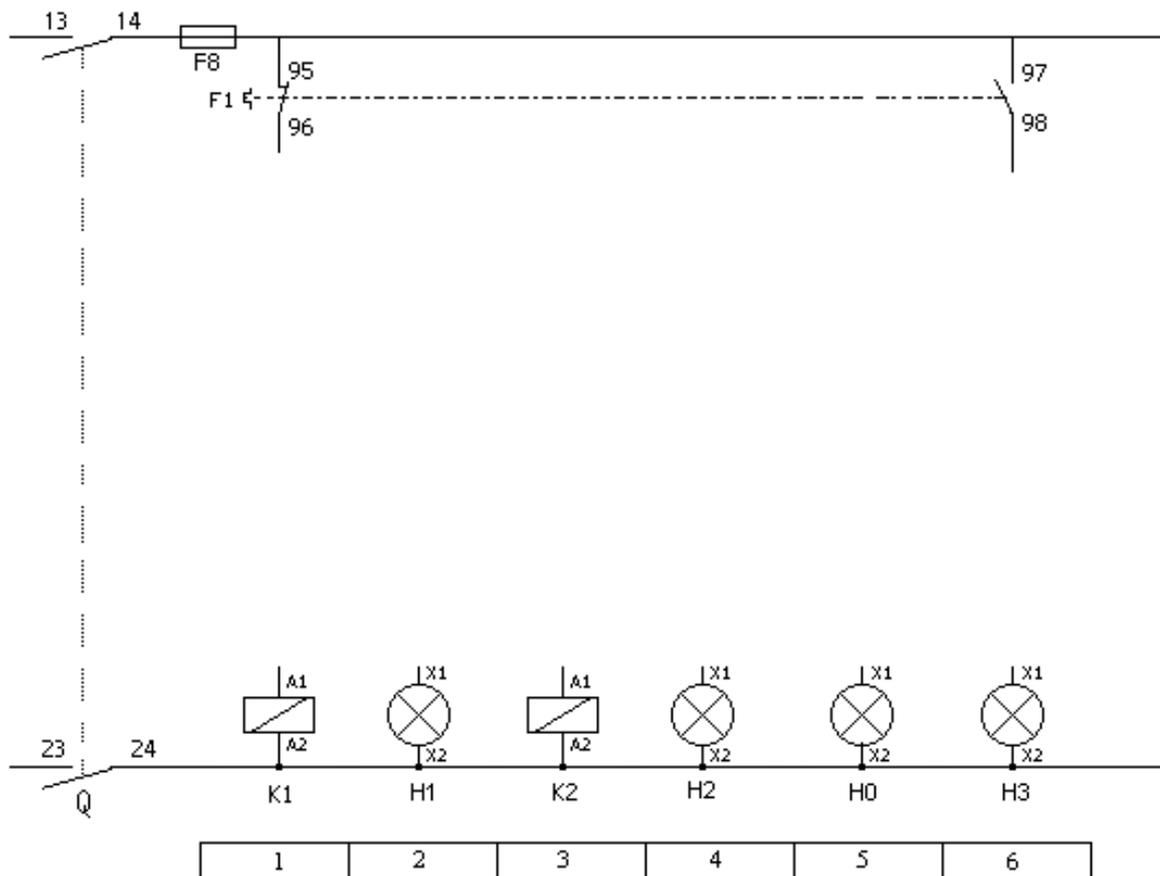


2- Circuit de commande: (commande par boutons poussoirs)

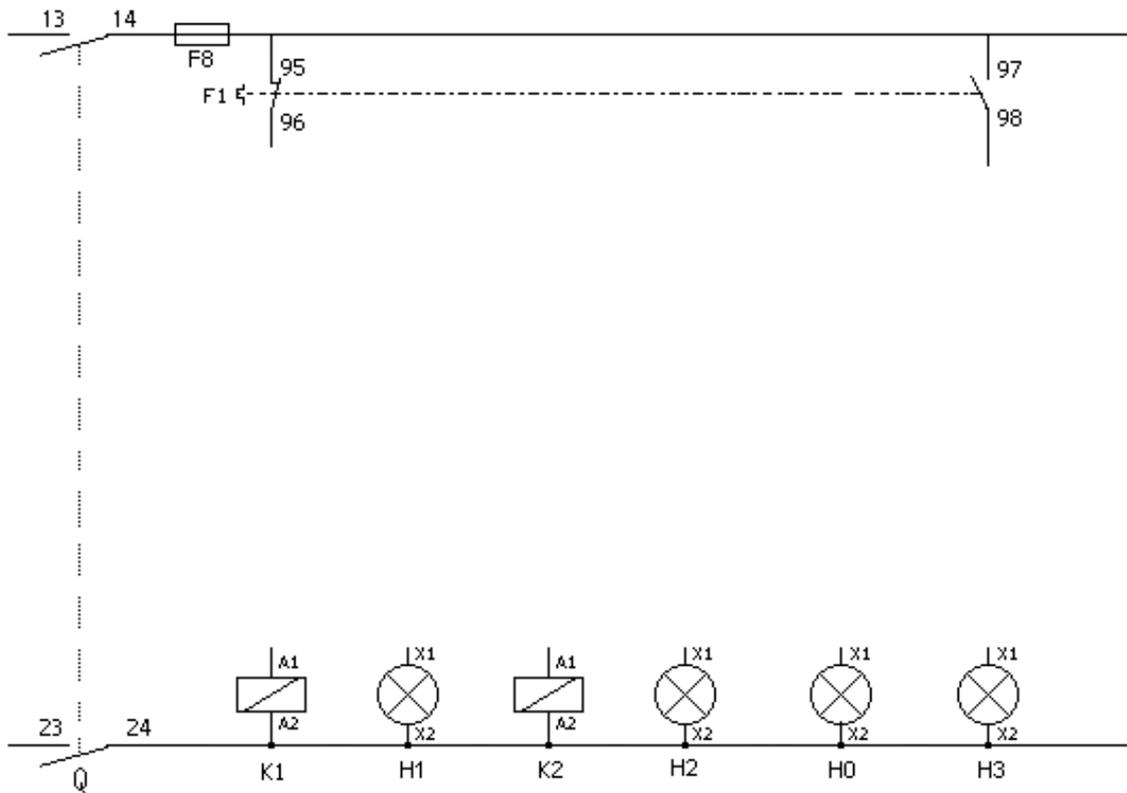
3 boutons poussoirs: S1: marche avant, S2: marche arrière et S0: arrêt

4 lampes de signalisation : H0 (Arrêt), H1 (Marche avant), H2 (Marche arrière) et H3 (Défaut thermique).

2-2-1- Inversion en passant obligatoirement par S0:

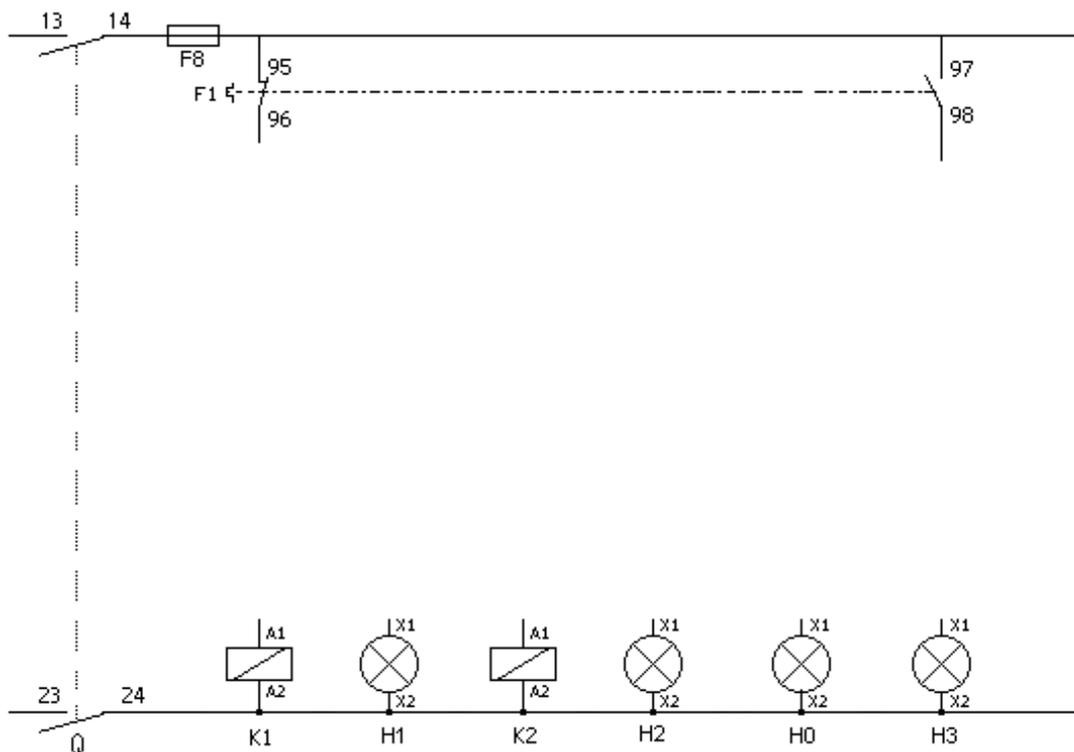


2-2-2- Inversion sans passer obligatoirement par S0:



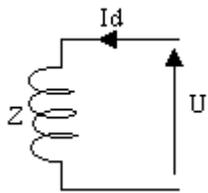
Exercice :

Afin de ne pas endommager le moteur suite à une inversion brusque de sens de rotation, modifier le circuit de commande précédent en ajoutant une temporisation (au repos) avant d'inverser le sens de rotation.



V- Comportement du moteur au démarrage :

Au démarrage un moteur asynchrone est équivalent à une inductance.

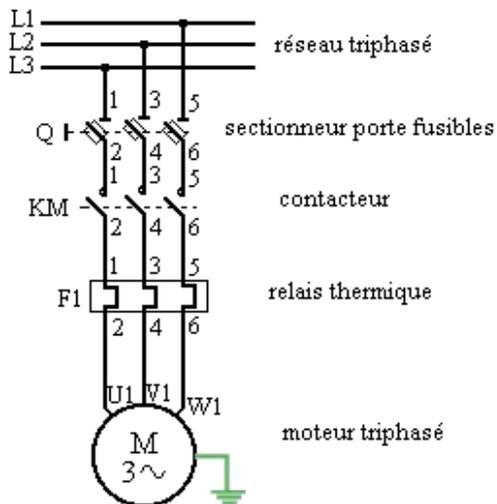


On a : $I_d = U / Z$

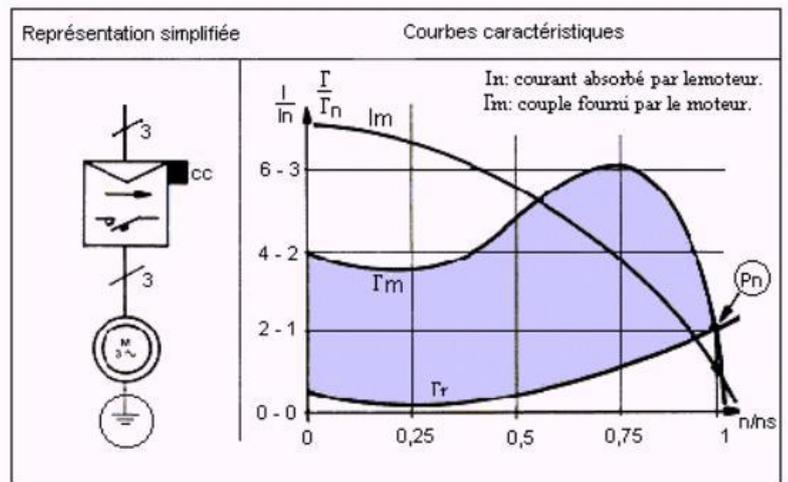
Le courant de démarrage I_d apparaît donc important et peut provoquer des chutes de tension conduisant à un mauvais fonctionnement des récepteurs. Alors il faut faire appel à des procédés de démarrage permettant de diminuer la pointe de courant de démarrage.

1- Démarrage direct: C'est un démarrage en un seul temps et le stator est couplé directement au réseau. La pointe de courant de démarrage atteint 4 à 8 fois le courant nominal et le couple au démarrage atteint 1.5 à 2 fois le couple nominal selon la puissance des moteurs. Le démarrage direct permet donc de démarrer le moteur en pleine charge à condition que le réseau puisse fournir la pointe de courant de démarrage.

■ Circuit de puissance:

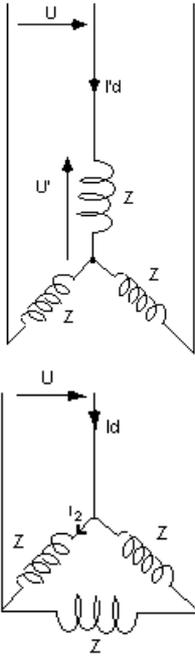


■ Caractéristique:



Si dans une application, on a besoin de diminuer soit la pointe de courant soit le couple, il faut recourir un autre type de démarrage.

2-Démarrage étoile - triangle: Ce démarrage ne peut être conçu qu'aux moteurs dont les deux extrémités des enroulements statoriques sont sorties sur la plaque à bornes et dont la tension du couplage triangle correspond à la tension du réseau.



On a: $U' = \frac{U}{\sqrt{3}}$ et $I'd = \frac{U'}{Z} = \frac{U}{\sqrt{3}Z}$.

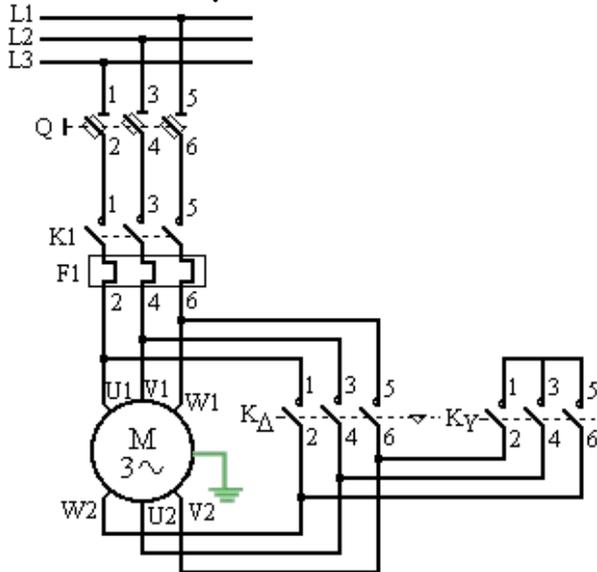
D'autre part on a : $I_d = \sqrt{3} I_2$ et $I_2 = \frac{U}{Z} \Rightarrow I_d = \frac{\sqrt{3}U}{Z}$.

D'où $I'd/I_d = 1/3 \Rightarrow$ le courant de démarrage est réduit de 1/3 par rapport au démarrage direct.

Le couple est réduit proportionnellement au carré de la tension $\Rightarrow \Gamma'd / \Gamma_d = (U'/U)^2 = 1/3 \Rightarrow$ le couple est aussi réduit de 1/3 par rapport au démarrage direct.

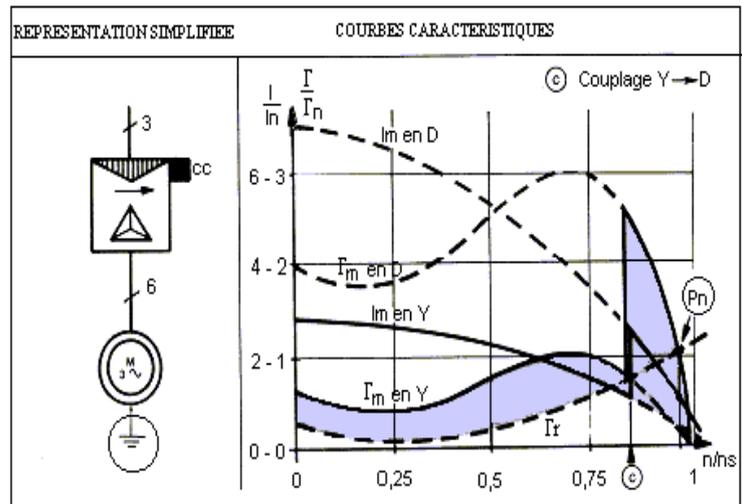
Vu la valeur du couple, ce démarreur n'est donc conçu que pour les machines démarrant à vide ou à faible couple résistant.

■ **Circuit de puissance:**



■ **Caractéristique:**

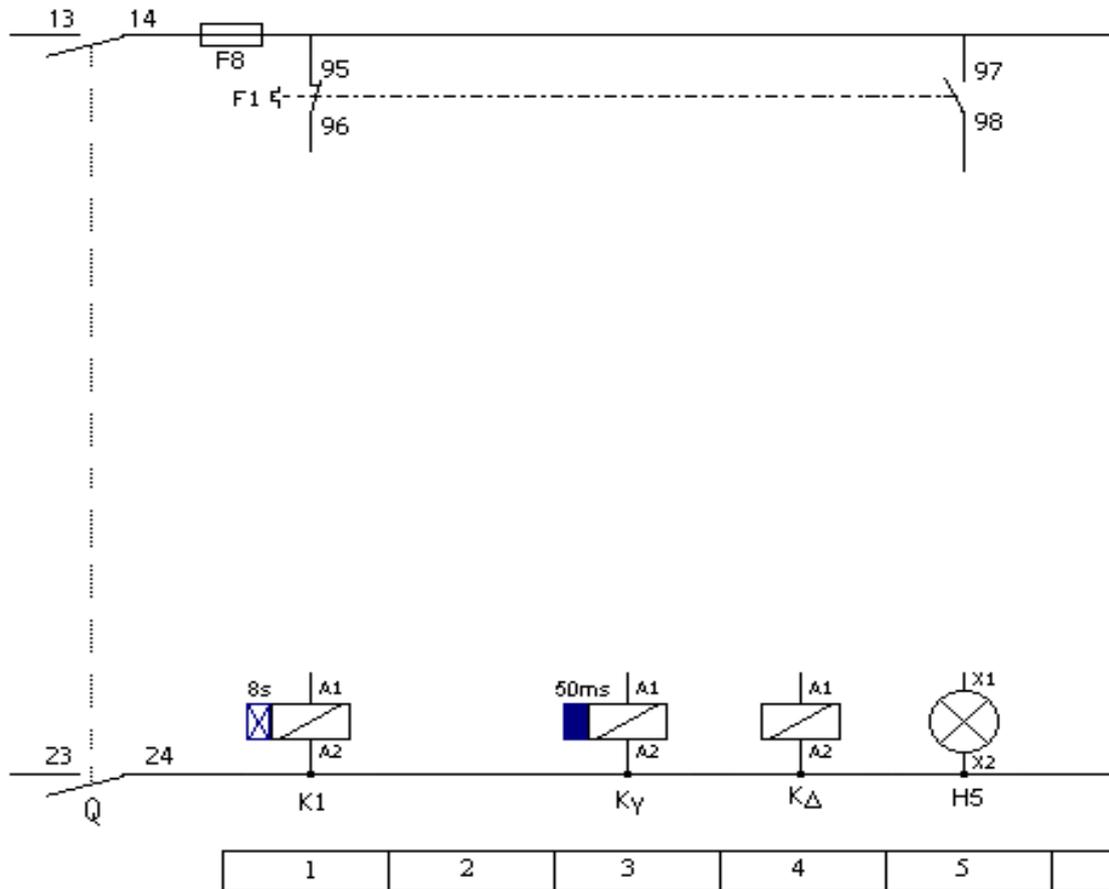
Caractéristique:



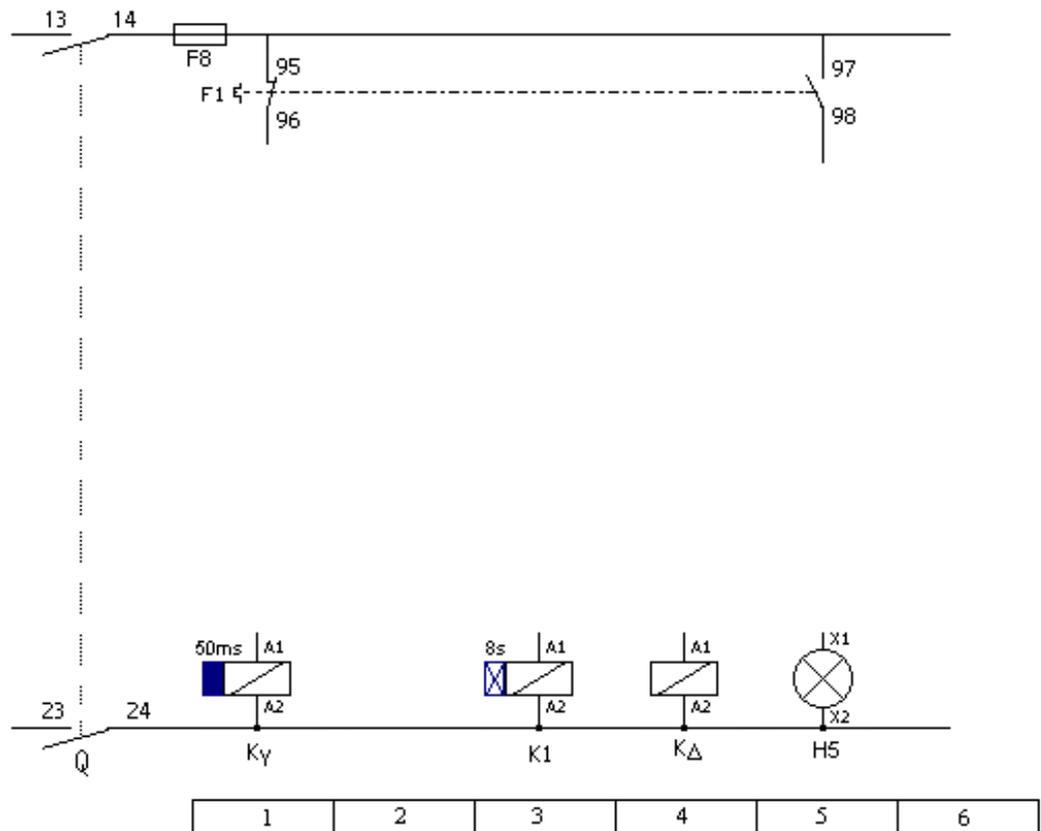
Remarque : Pour les moteurs de grande puissance, il faut marquer un temps d'arrêt avant de commuter au couplage triangle. Ce temps est de l'ordre de 25 à 50 ms (temps nécessaire pour l'extinction de l'arc électrique entre les pôles du contacteur étoile).

■ **Circuit de commande:**

Solution 1 :



Solution 2 :

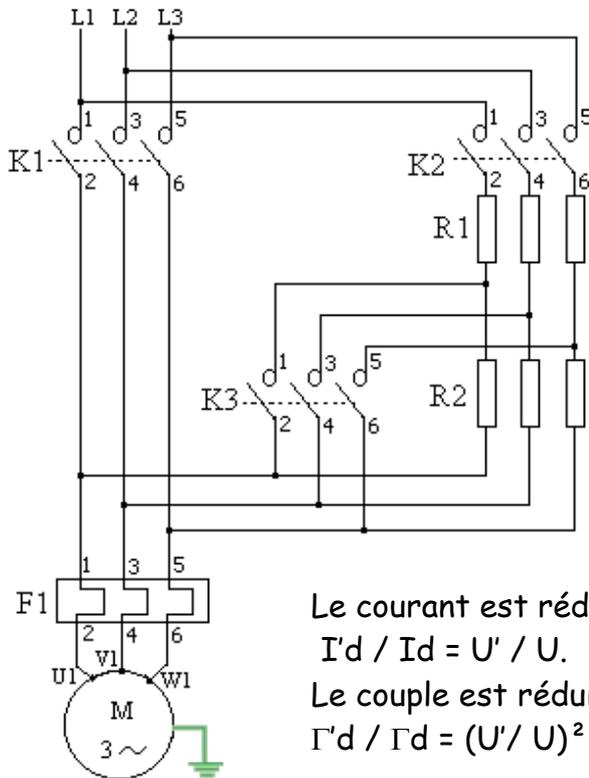


3- Démarrage Statorique:

Insertion des résistances ou des inductances en série avec les enroulements statoriques du moteur.

■ Circuit de puissance:

NB : Attention à l'inversion des phases pendant le câblage.



⇒ Démarrage doux sans surintensité

Démarrage en 3 temps:

- 1er temps: insertion des blocs de résistances R1 et R2,
- 2ème temps: élimination d'un bloc de résistance (R2),
- 3ème temps: élimination des 2 blocs de résistances et couplage du stator sous la pleine tension du réseau.

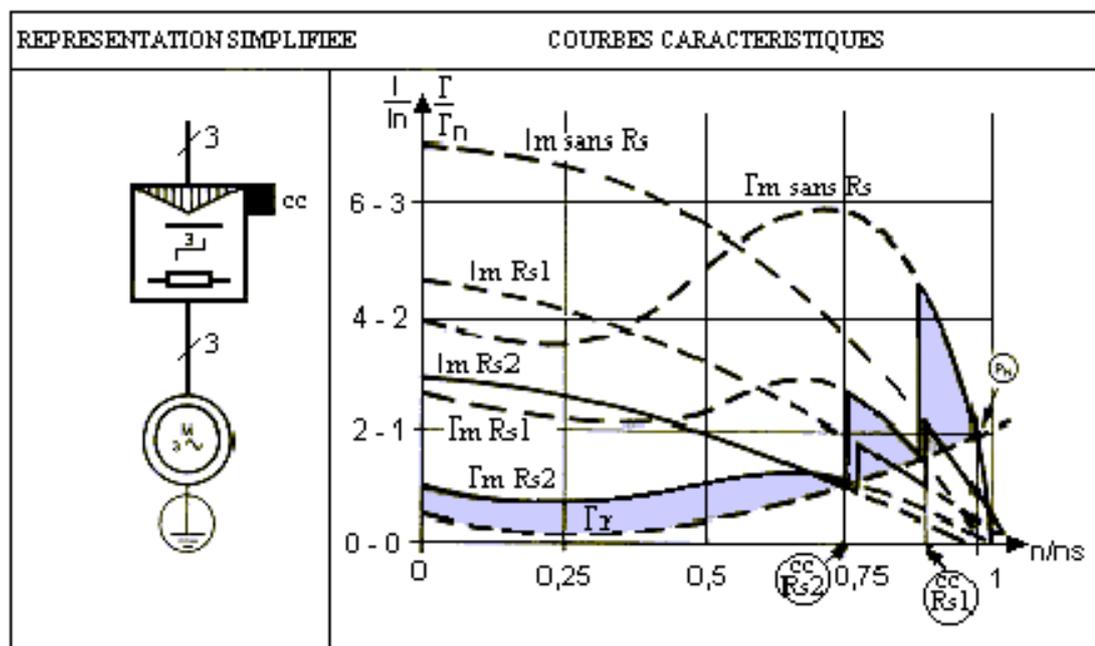
Le courant est réduit proportionnellement à la tension :

$$I'd / Id = U' / U.$$

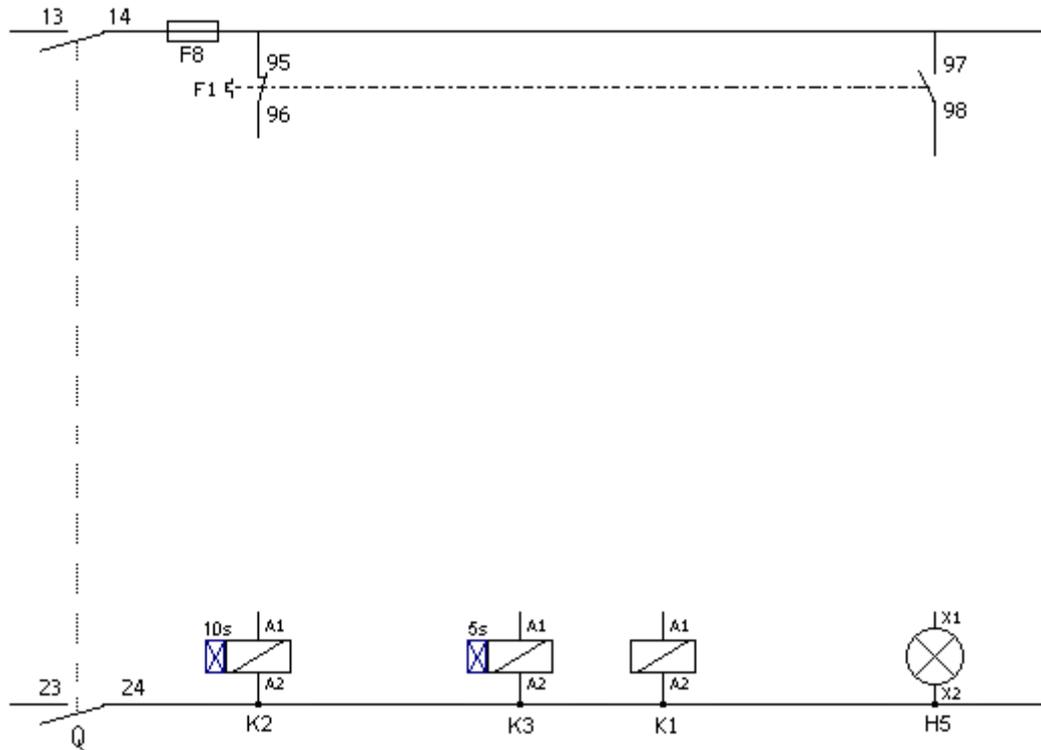
Le couple est réduit proportionnellement au carré de la tension :

$$\Gamma'd / \Gamma d = (U' / U)^2$$

■ Caractéristique:



■ **Circuit de commande:**

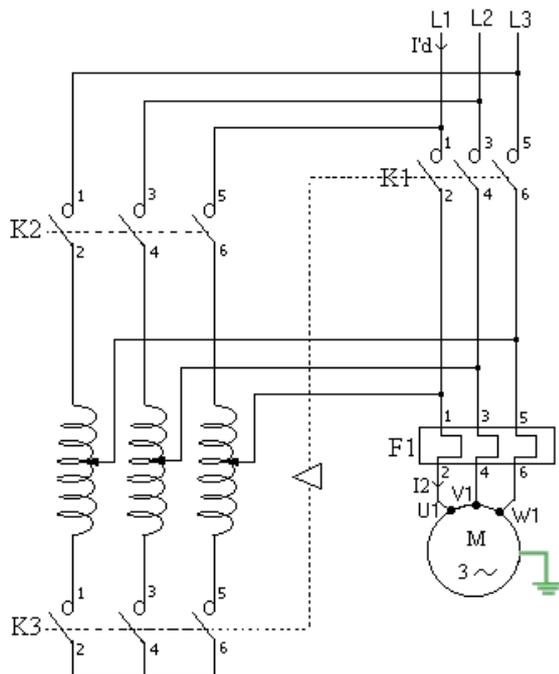


4- Démarrage par Autotransformateur:

Le moteur est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire de l'autotransformateur, lequel est mis hors circuit une fois le démarrage est terminé.

■ **Circuit de puissance:**

NB : Attention à l'inversion des phases pendant le câblage.



C'est un démarrage en 2 temps:

1er temps: enclenchement de K3 et K2, démarrage sous tension réduite.

2ème temps: déclenchement de K3 et enclenchement de K1, couplage du stator sous la pleine tension puis déclenchement de K2.

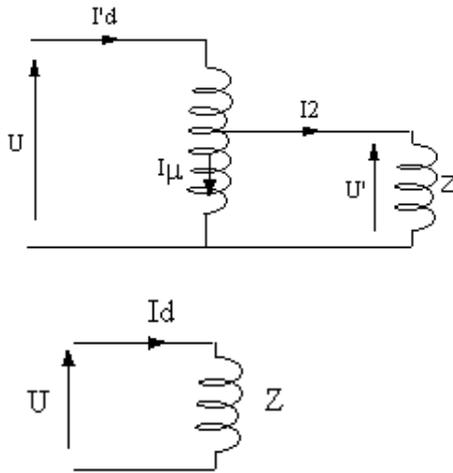
Le couple est réduit proportionnellement au carré de la tension ainsi que le courant de ligne mais il est un peu élevé, vu le courant magnétisant de l'autotransformateur.

$$I'd / Id = (U' / U)^2$$

$$I'd / Id = 1,15 (U' / U)^2$$

(Ici on a pris le courant magnétisant = 15% du courant primaire)

En effet :



On a: $I'd = I_{\mu} + m \cdot I2$

Avec $m = U'/U$ le rapport de l'autotransformateur.

I_{μ} est le courant magnétisant de l'autotransformateur, il dépend de la qualité de l'autotransformateur.

On a: $I2 = U' / Z$ et $I_d = U / Z \Rightarrow$

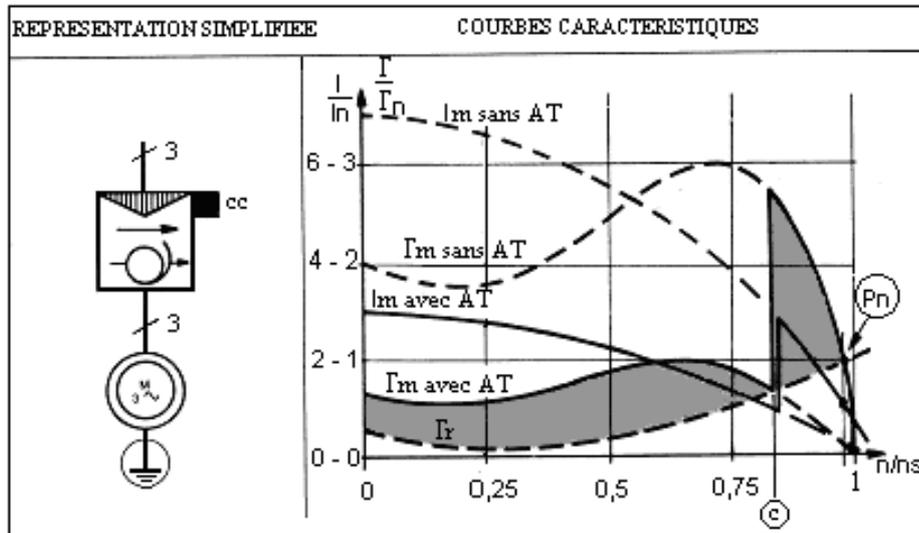
$$I2 = \frac{U'}{U} I_d = m I_d.$$

Si on prend $I_{\mu} = 15\%$ du courant primaire, soit:

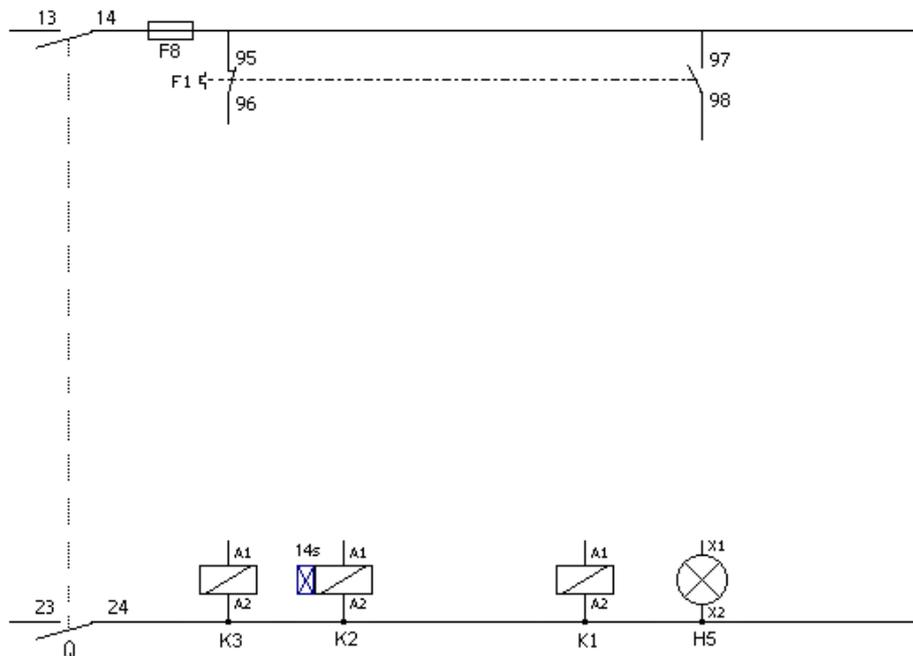
$I_{\mu} = 0.15 (m I2) = 0.15 (U'/U)^2 I_d$, on a alors :

$$I'd / I_d = 1.15 (U' / U)^2$$

■ **Caractéristique:**



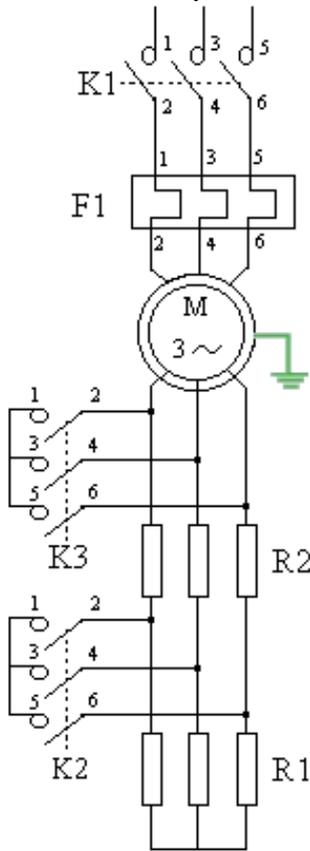
■ **Circuit de commande:**



5- Démarrage rotorique:

Ce démarrage nécessite un moteur à bagues. Il consiste à insérer des blocs de résistances en série avec les enroulements rotoriques du moteur.

■ Circuit de puissance:



C'est un démarrage en 3 temps:

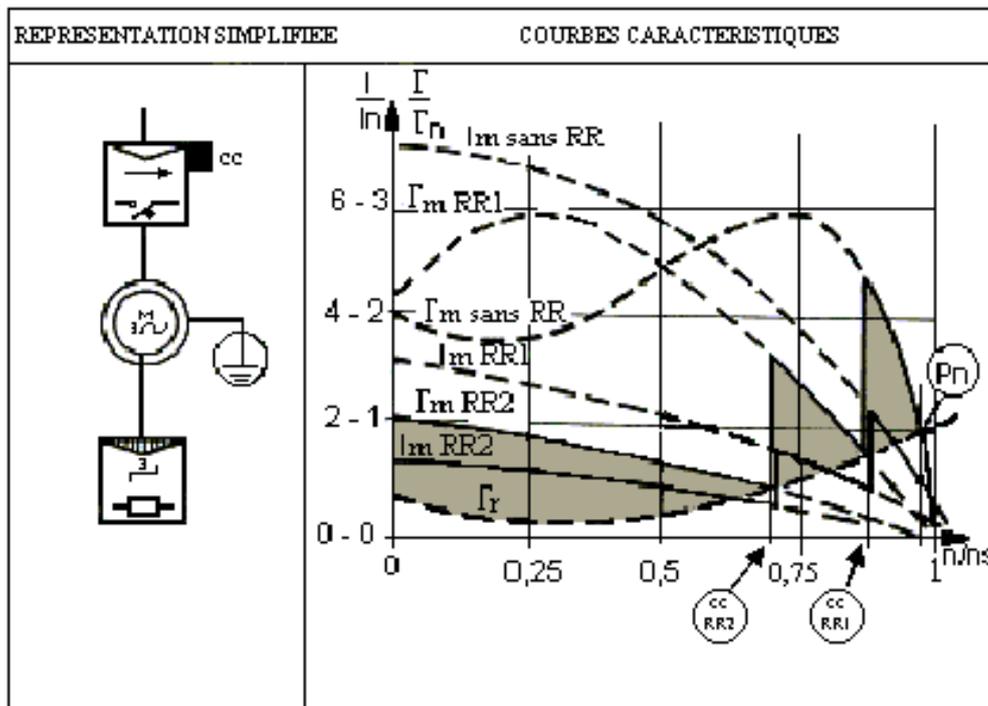
1er temps: enclenchement de K1: le stator est couplé sous la pleine tension, le rotor est en série avec les deux blocs de résistances R1 et R2.

2ème temps: enclenchement de K2: élimination du bloc R1. Le rotor est en série uniquement avec R2.

3ème temps: enclenchement de K3: élimination de R2, le rotor est court-circuité et le moteur rejoint ses caractéristiques nominales.

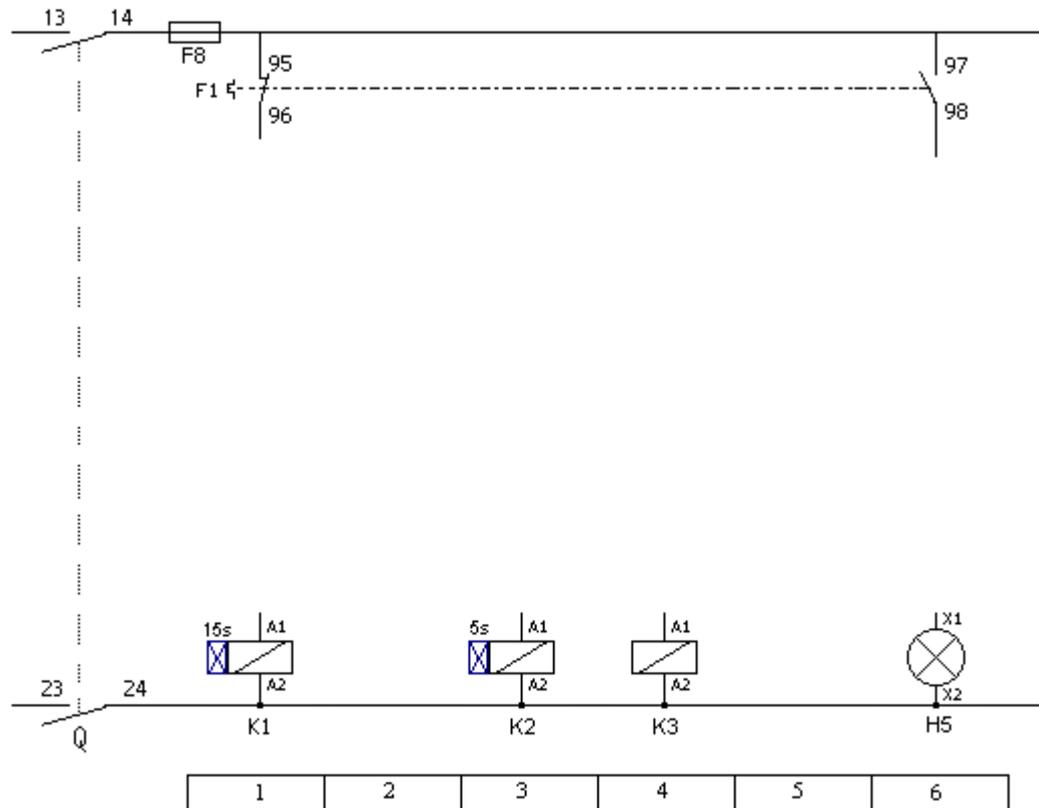
Le couple fourni est proportionnel au courant absorbé.

■ Caractéristique:



$$\begin{aligned} RR1 &= R2 \\ RR2 &= R1 + R2 \end{aligned}$$

■ Circuit de commande:



6- Vérification des démarrages:

Etant donné :

- les caractéristiques du moteur: I_n , Γ_n , I_d et Γ_d données par le constructeur,
- les caractéristiques du réseau: tension U et courant de pointe (ou courant admissible) I_p ,
- les caractéristiques de la charge à entraîner (couple résistant de la charge) : Γ_r .

On dit qu'un tel démarrage est possible si et seulement si les deux conditions suivantes

sont simultanément vérifiées :
$$\begin{cases} I'd < I_p \\ \Gamma'd > 1,5 \Gamma_r \end{cases}$$

→ **Démarrage direct:** est possible si $I_d < I_p$. Autrement dit si le réseau peut fournir la pointe de démarrage sans qu'il y ait des chutes de tension importantes.

→ Démarrage étoile - triangle: est possible si $I'd < I_p$ et $\Gamma'd > 1,5 \Gamma_r \Rightarrow$ ce qui revient à vérifier :
$$\begin{cases} I_d < 3 I_p \\ \Gamma_d > 4,5 \Gamma_r \end{cases}$$

Généralement ceci n'est possible que pour des Γ_r faibles.

→ **Démarrage statorique:** est possible si $I'd < I_p$ et $\Gamma'd > 1,5 \Gamma_r \Rightarrow$ ce qui revient à

$$\text{vérifier: } \begin{cases} \frac{U'}{U} Id < I_p \\ \left(\frac{U'}{U}\right)^2 \Gamma d > 1,5 \Gamma r \end{cases}$$

On pose $k = U'/U$ et on cherche un réel k tel que $k < I_p / Id$ et $k^2 > 1,5 \Gamma_r / \Gamma d$.

Ce type de démarrage permet l'adaptation de $\Gamma'd$ et $I'd$ selon les besoins de l'utilisateur.

→ **Démarrage par autotransformateur:** est possible si $I'd < I_p$ et $\Gamma'd > 1,5 \Gamma_r \Rightarrow$ ce qui

$$\text{revient à vérifier: } \begin{cases} 1,15 Id \left(\frac{U'}{U}\right)^2 < I_p \\ \Gamma d \left(\frac{U'}{U}\right)^2 > 1,5 \Gamma r \end{cases}$$

De même on pose $k = U'/U$ et on cherche un réel k tel que $k^2 < I_p / 1,15 Id$ et $k^2 > 1,5 \Gamma_r / \Gamma d$.

Ce type de démarrage permet aussi l'adaptation de $\Gamma'd$ et $I'd$ selon les besoins de l'utilisateur.

→ **Démarrage rotorique:** est possible si on dispose d'un moteur à bague (à rotor bobiné) et si la condition suivante est vérifiée : $1,5 \Gamma_r / \Gamma_n < I_p / I_n$.

Ce type de démarrage permet aussi l'adaptation de $\Gamma'd$ et $I'd$ selon les besoins de l'utilisateur.

Tableau comparatif des différents démarrages

Mode de démarrage	Couple au démarrage $\Gamma'd$	Courant au démarrage $I'd$	Nombre d'étape N_e	Nombre de contacteurs	td maxi	Adaptation de $\Gamma'd$ et $I'd$
Direct	Γd	$I d$	1	1	8s	Non
Etoile-triangle	$\Gamma d/3$	$I d/3$	2	3	8s	Non
Résistances statoriques	$k^2 \Gamma d$	$k \cdot I d$	ne	ne	15s	Oui
Autotransformateur	$k^2 \Gamma d$	$1,15 \cdot k^2 I d$	3	3	15s	Oui
Résistances rotoriques	$\Gamma'd \leq \Gamma_{max}$	$\frac{\Gamma' d}{\Gamma_n} I_n$	ne	ne	25s	Oui

N.B : le dernier mode de démarrage (résistances rotoriques) nécessite un moteur à bagues.

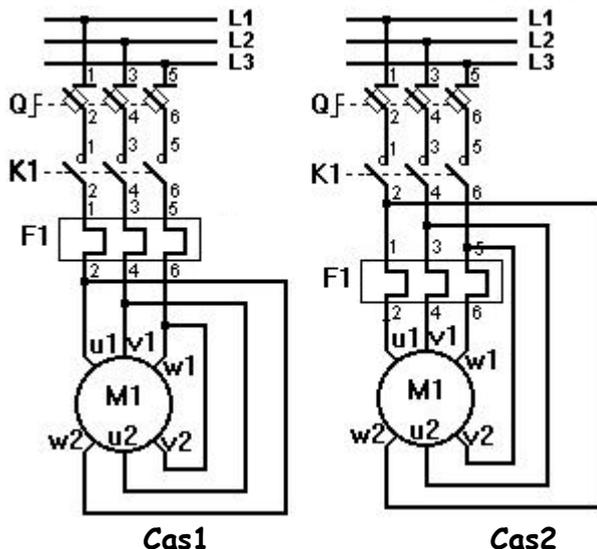
TRAVAUX DIRIGES DE CONSTRUCTION ELECTRIQUE

Exercice 1: On désire commander de deux façons le démarrage d'un moteur asynchrone :

- Marche par à-coups réalisée par S2.
- Marche normale réalisée par S0 et S1.

Etablir le circuit de commande dans le cas où l'appui simultané sur S1 et S2 provoque l'arrêt du moteur.

Exercice 2: On considère les deux schémas suivants:



Calculer le courant de réglage du relais thermique F1 dans les deux cas 1 et 2. On donne les caractéristiques du moteur M1: 380/660V, 22kW, $\cos\varphi = 0.88$, rendement $\eta = 0.91$. Réseau : 220 / 380 V.

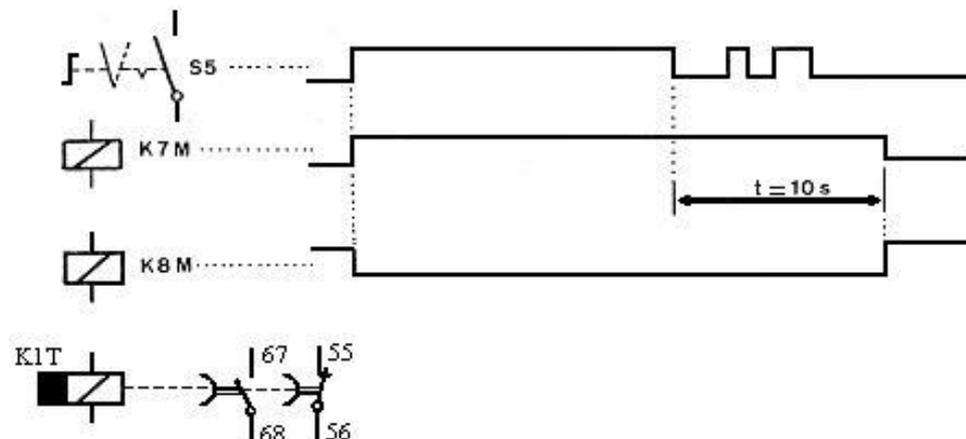
Exercice 3:

La fermeture du commutateur S5 provoque l'enclenchement instantané du contacteur K7M et le déclenchement instantané de K8M.

A l'ouverture du commutateur :

- K7M reste enclenché pendant 10 secondes
- K8M reste déclenché pendant 10 secondes

Si le commutateur se referme avant l'écoulement des 10 secondes, K7M reste enclenché et K8M reste déclenché.



On demande d'établir le circuit de commande.

Exercice 4 : commande de trois lampes

On désire commander alternativement trois lampes H1, H2 et H3 respectivement par trois contacteurs auxiliaires temporisés K1, K2 et K3. Le relais K1 règle le temps d'allumage de H1, le relais K2 règle celui de H2 et K3 celui de H3.

A la fermeture du contact permanent S1, la lampe H1 s'allume, après t1 réglé par K1, H2 s'allume et H1 s'éteint, et après t2 réglé par K2, H3 s'allume et H2 s'éteint (H1 reste éteinte), et après t3 réglé par K3, H1 s'allume et H3 s'éteint et le cycle se poursuit indéfiniment. L'arrêt du cycle s'effectue par l'ouverture de S1.

Etablir le circuit de commande.

Exercice 5 :

Réalisez le circuit de puissance d'un moteur triphasé (démarrage direct) en schéma unifilaire. Le moteur est alimenté à travers un sectionneur sans fusibles et protégé par un relais thermique (F1) contre les surcharges et par des fusibles aM (F2) contre les courts circuits.

Etablir le circuit de commande en utilisant une commande par boutons poussoir à partir de deux endroits différents :

1^{er} endroit : S0 (bouton d'arrêt), S1 (bouton Marche) réalisant la commande à marche prédominante.

2^{ème} endroit : S2 (bouton d'arrêt), S3 (bouton Marche) réalisant la commande à arrêt prédominant.

Exercice 6 :

On désire commander un moteur M1 triphasé à partir de deux endroits différents : 1^{er} endroit : (S0 et S1) marche-arrêt dans le sens avant à marche prédominante. 2^{ème} endroit : (S2) marche du moteur dans le sens arrière pendant 30 secondes, puis s'arrête automatiquement (S0 n'aura aucun effet).

1- Etablir le circuit de puissance en schéma triphasé sachant que le moteur est alimenté à travers un disjoncteur sectionneur Q1 et protégé contre les surcharges par un relais thermique F1 dans les deux sens de rotation.

2- Etablir le circuit de commande selon la normalisation en vigueur. (ajoutez les signalisations suivantes : (Arrêt H0, marche avant H1 et marche arrière H2).

N.B : L'inversion de sens de rotation ne doit se faire qu'en passant obligatoirement par S0.

Exercice 7:

Etablir le circuit de puissance en schéma triphasé et le circuit de commande d'un moteur M1 de petite puissance utilisé en démarrage étoile triangle avec 2 sens de rotation et protégé par un relais thermique F1. Avec les notations suivantes :

- | | |
|---|--|
| - Q sectionneur porte fusible | - K3 contacteur étoile |
| - F1 relais thermique | - K4 contacteur triangle |
| - K1, K2 contacteurs de ligne | - Bornes de M1 : U1, V1, W1, U2, V2 et W2. |
| - KT relais temporisé 10s pour les deux sens de rotation. | - S0, S1 et S2 : Bouton d'arrêt, bouton marche sens 1 et bouton marche sens 2. |

N.B : On veut avoir une inversion en passant obligatoirement par S0.

Exercice 8 :

Deux moteurs M1 et M2 de faible puissance sont utilisés en asservissement dans un processus industriel. M1 est à démarrage direct et M2 est démarrage étoile triangle. Le moteur M1 est protégé, contre les surcharges et les courts-circuits, par un disjoncteur magnétothermique Q2 équipé d'un contact auxiliaire à fermeture. Le moteur M2 est protégé par des fusibles F1 contre les courts circuits et par un relais thermique F2 contre les surcharges. Les deux moteurs sont alimentés à travers un même sectionneur Q1 équipé d'un contact auxiliaire à fermeture.

Fonctionnement :

Par appui sur le BP S1, le moteur M2 démarre et 8 secondes, après la fermeture du dernier contacteur (contacteur triangle), le moteur M1 démarre à son tour.

Et par appui sur le BP S0, le moteur M1 s'arrête instantanément et le moteur M2 s'arrête 10 secondes plus tard.

Lors d'une surcharge sur le moteur M1 c'est comme on appuie sur S0 et lors d'une surcharge sur le moteur M2, les deux moteurs s'arrêtent instantanément.

1- Etablir le circuit de puissance en schéma unifilaire

2- Etablir le circuit de commande répondant à l'ensemble des instructions décrites ci-dessus selon la normalisation en vigueur.

Exercice 9

On veut entraîner une charge présentant un couple résistant $\Gamma_r = 60 \text{ Nm}$. La charge est accouplée à un moteur asynchrone à cage ayant les caractéristiques suivantes : 50HZ ; 380/660V ; 11 kW ; $\cos\varphi = 0,83$; $\eta = 89,9\%$; 1450 tr/min, $\Gamma_d = 2\Gamma_n$ (Γ_n est le couple nominal du moteur), $I_{dd} = 6,7I_n$ (I_n est le courant nominal du moteur). On veut réaliser un démarrage doux et le réseau admet une pointe maximale admissible $I_p = 160\text{A}$, et une tension composée de 380V.

On dit qu'un tel démarrage est doux si la condition suivante est vérifiée : $\Gamma_r < \Gamma_d < \Gamma_r + 10\%\Gamma_r$.

Etudier les différents démarrages (direct ; étoile-triangle ; statorique ; par autotransformateur avec I_μ égale 15% du courant primaire et le démarrage rotorique), et déduire ce qui vous convient pour entraîner cette charge.

Exercice 10

Soit M un moteur asynchrone ayant les caractéristiques suivantes: 37 kW, 380/660V, 1480tr/min, $\eta = 93\%$, $\cos\varphi = 0,85$; $\Gamma_d = 2,7 \Gamma_n$ et $\Gamma_{\max} = 3\Gamma_n$. Ce moteur est alimenté par un réseau 220/380V et protégé contre les fortes surintensités par des fusibles de calibre 80A. On admet que le courant de démarrage direct $I_{dd} = 6,8 I_n$ (I_n : étant le courant nominal du moteur M). Ce moteur est utilisé pour entraîner une charge ayant un couple résistant constant $\Gamma_r = 238 \text{ Nm}$.

Dire, en justifiant votre réponse, si les démarrages suivants sont possibles sachant qu'un fusible type aM de calibre I_c fusionnera lorsqu'il est traversé par $4.I_c$:

- 1- démarrage direct.
- 2- démarrage étoile-triangle
- 3- démarrage statorique.
- 4- démarrage par autotransformateur (sachant $I_{\text{mag}} = 15\% I_{\text{primaire}}$).
- 5- démarrage rotorique. Donner dans ce cas les limites du rapport $I'd/I_n$. $I'd$ étant le nouveau courant de démarrage.

Exercice 11 :

On veut utiliser un moteur asynchrone à cage dont les caractéristiques: 15 kW, $\cos\varphi = 0,84$; rendement $\eta = 90,6\%$; 380/660V ; 1445 tr/min ; $I_d = 6,8 I_n$; $\Gamma_d = 2,8 \Gamma_n$; pour entraîner une charge ayant un couple résistant Γ_r . Réseau: 220/380V, courant admissible $I_p = 120\text{A}$.

1- Quelle est la valeur maximale Γ_{rmax} de Γ_r pour réaliser un démarrage:

- a- étoile-triangle,
- b- statorique,
- c- par autotransformateur ($I_{\text{mag}} = 15\% I_{\text{primaire}}$).

2- Conclure pour ces 3 démarrages.