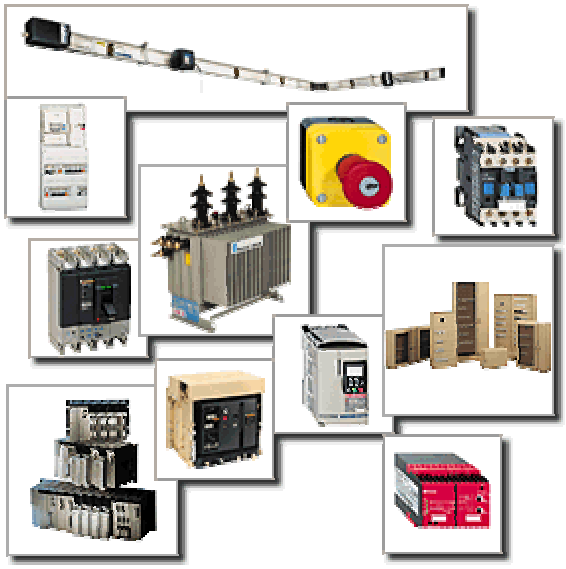
Frédéric BONNARDOT

R O A N N E

Cours TD :
Technologie EEA



Avertissement

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent ouvrage, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en oeuvre des informations et schémas contenus dans cet ouvrage.

Ce document a été élaboré à l'aide de livres d'électricité, de catalogues, ainsi que d'un ancien cours (sans avoir accès directement aux coûteuses normes). Le livre le plus récent (pour les schémas date de 1995), or les normes ont évoluées depuis. Dès lors, ***la conformité aux normes n'est pas garantie****. Le lecteur soucieux de respecter les normes devra les consulter. De plus,* ***en matière de normalisation, seul fait fois l'édition la plus récente de la norme****. Il est possible de se procurer ces normes par le biais du site de l'afnor (http://www.afnor.fr). Les normes concernant les symboles graphiques, par exemple, sont constituées par un ensemble de 13 documents coûtant généralement plus de 40 € pièce !*

La présente version du manuscrit risque de contenir quelques erreurs, omissions ou coquilles.

1. Distribution électrique

1.1 L'ouverture du réseau

Depuis le 8 avril 1946 et jusqu'en 2000 EDF a eu le monopole (sauf à Grenoble) en matière de production, de distribution et de commercialisation électrique. Actuellement, le marché électrique français est en train de s'ouvrir progressivement à la concurrence (directive européenne de 1996). Il est prévu que le tiers du marché européen soit libéralisé en 2006. L'ouverture du marché permet à EDF de poursuivre sa politique d'implantation sur le marché étranger. Cette ouverture offre des perspectives intéressantes (développement de réseaux électriques locaux, réduction des prix due à la concurrence, …).

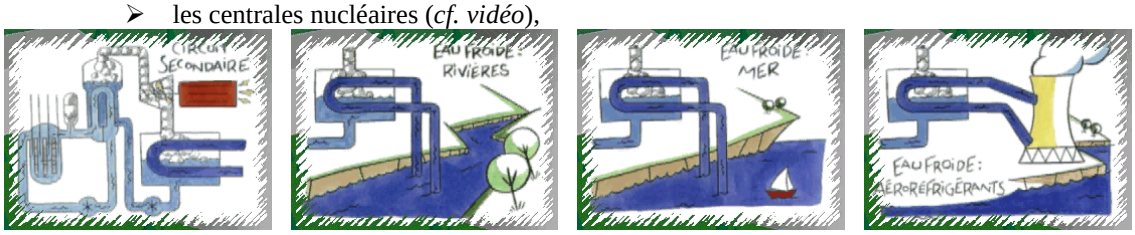
Le réseau public Haute Tension et Très Haute Tension français (« autoroute de l'électricité ») est maintenant géré par le Gestionnaire du Réseau de Transport d'Électricité (RTE). Le RTE met ce réseau au service (moyennant finance) des Gestionnaires de Réseau de Distribution (EDF, …). Le RTE est une entité indépendante faisant partie du groupe EDF.

Les gestionnaires de réseaux de transports européens se réunissent au sein d'une association basée a Bruxelles : l'European Transmission System Operators (ETSO).

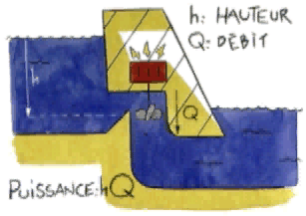
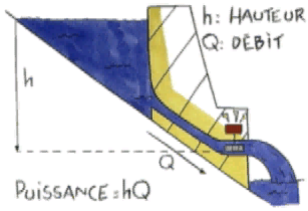
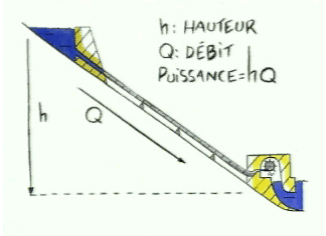
1.2 Production de l'électricité

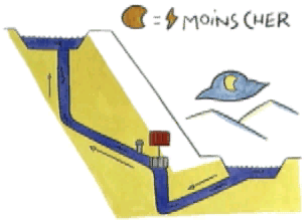
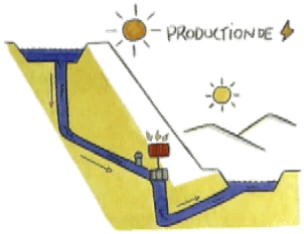
Il existe 4 sources d'énergie électrique :

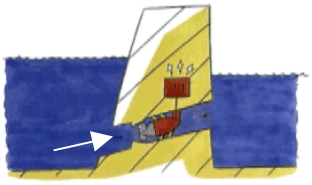
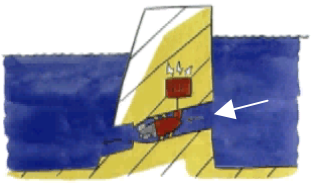
- les centrales nucléaires (*cf. vidéo*),



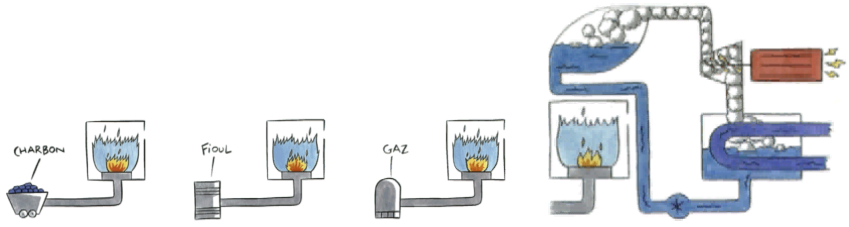
- les centrales hydrauliques (*cf. vidéo*),

		
Centrale de basse chute Reliefs plats. h : quelques mètres. Débit important.	Centrale de moyenne chute Vallées. h<quelque dizaine de mètre. Plus haut débit.	Centrale de haute chute Montagne h quelques centaines de mètres.

	
Station de Remplissage la nuit.	pompage Production de l'électricité le jour.

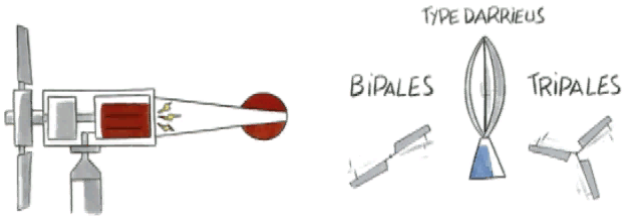
	
Usine Marrée haute : remplissage et production électrique	marémotrice Marée basse : vidage et production électrique

- les centrales thermiques (*cf. vidéo*),



- les énergies renouvelables (*cf. vidéo*).

Eolienne :



Les énergies renouvelables (éolienne, solaire, …) sont en cours de développement (programme EOLE 2005 : implantation de 1000 éoliennes pour produire entre 250 et 500 MW). Elles sont très intéressantes pour les zones isolées (montagne, îles, …).

La *figure n°1* montre l'énergie produite par ces différentes sources en 2000 et indique la puissance qu'elles sont capables de fournir. Les énergies renouvelables n'apparaissent pas étant donné leur très faible contribution.

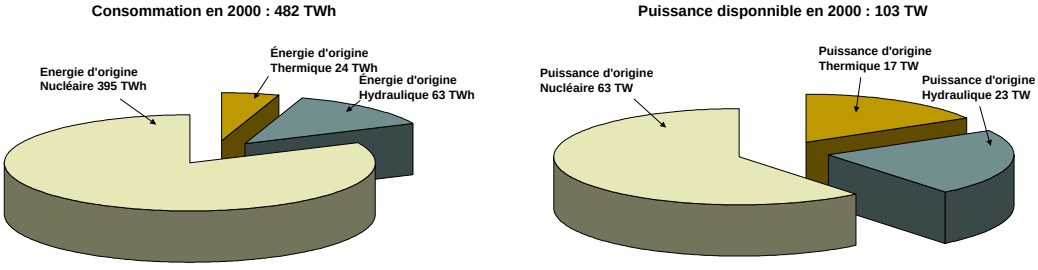


Figure n°1 : Énergie produite et puissance disponible en 2000

Cette figure montre l'importance de l'énergie nucléaire en France. Chaque source d'énergie ayant ses propres avantages et inconvénients (*cf. figure n°2*), elles coexistent.

Source énergétique	Coût de production	Modulation
Hydraulique	Très faible	Grande
Nucléaire	Faible	Très très faible
Turbine à gaz	Élevé	Grande

Figure n°2 : Caractéristique de différents moyens de production d'électricité

1.3 Ajustement production – consommation

Comme le montre la *figure n°3*, il est nécessaire d'ajuster en permanence la production d'énergie électrique pour qu'elle corresponde à la demande. Une surproduction ou une sous-production peut conduire à un effondrement du système électrique et donc à une absence d'énergie électrique.

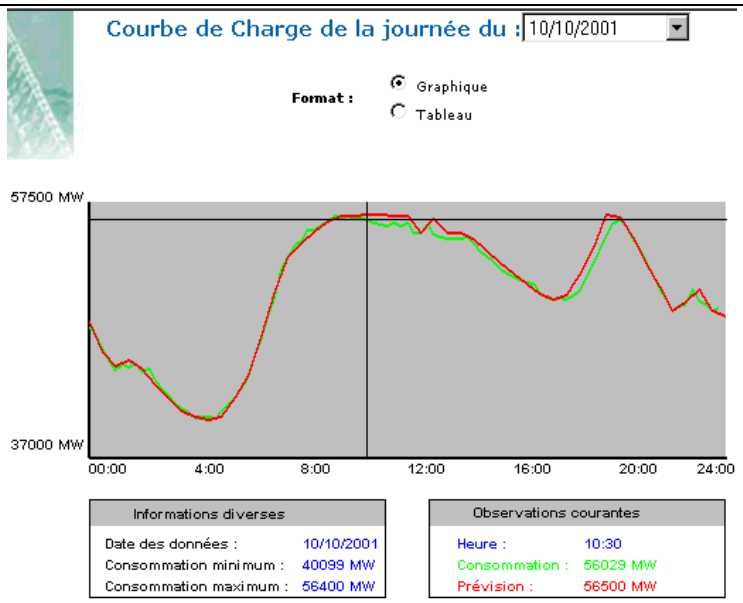


Figure n°3 : Courbe de charge et statistiques du Mercredi 10 Octobre 2001 (disponible sur le site du RTE http://www.rte-france.com)

Étant donné les diverses propriétés de ses sources d'énergie (*cf. figure n°2*) elles sont interconnectées. Le nucléaire ayant un faible coût mais une faible possibilité de modulation (variation rapide de la puissance fournie), il sera utilisé pour fournir une puissance correspondant à la puissance moyenne demandée sur le réseau électrique. Les centrales hydrauliques et thermiques permettront d'ajuster plus finement la puissance disponible sur le réseau pour qu'elle corresponde à la demande des consommateurs. La gestion des ressources électriques et du réseau électrique s'appellent le dispatching.

C'est le Centre National d'Exploitation du Système (CNES) ainsi que les 7 centres régionaux d'exploitation du système électrique (SE) qui sont chargés d'ajuster la production électrique à la demande. Pour cela il se base sur des prévisions de la consommation (*cf. figure n°3*). De minuit à 4 heures du matin la population dort comme l'indique la courbe de charge : la consommation est plus faible. La consommation électrique en hiver est supérieure à la consommation estivale à cause du chauffage, …

L'Europe a été interconnectée en 1950. L'interconnexion permet alors de moyenner la demande en électricité sur toute l'Europe et donc d'éviter de forts pics de consommation dans la demande d'électricité (passage jour-nuit, …). Elle garantit également la continuité de l'alimentation.

Un autre outil a également été développé pour réduire les variations de demande d'énergie : la tarification heure creuse-heure pleine.

L'interconnexion montre l'importance du réseau électrique au niveau national et international.

1.4 Transport

1.4.1 Quelles tensions sur le réseau ?

L'électricité est transportée sur de très longues distances (>10 000 kms) aussi, on ne peut pas négliger l'impédance des fils. L'exemple suivant met en évidence ce problème.

Exemple :

On possède un chauffage de 2,3 kW assimilable à une résistance, ce chauffage peut être alimenté avec U=230 V ou U=2,3 kV (en utilisant un transformateur).

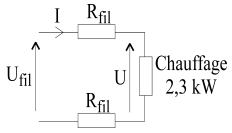
Ce chauffage relié à une source d'énergie électrique (éolienne) situé à 1 km par le biais de fil de cuivre de section 1,5 mm². L'éolienne est capable de fournir la tension que l'on veut (en utilisant un transformateur).

On considérera le fil comme une simple résistance (en réalité, c'est une impédance).

 © Frédéric BONNARDOT 2001-2003

On désire savoir s'il est plus avantageux d'alimenter le chauffage avec U=230 V ou avec U=2,3 kV ?

❶ L'installation est modélisée par le schéma suivant :



❷ Comme la ligne est une résistance, elle va dissiper une puissance $P_{fil}=2.R_{fil}.I^2$ sous forme de chaleur. Cette puissance sera perdue dans la nature et donc le terme **avantageux** de la question **signifie trouver U qui permet d'avoir le plus petit P_{fil}.**

❸ Il faut tout d'abord calculer la valeur de R_{fil} :

$R_{fil}=r.\frac{\ell}{s}$ (avec ρ la résistivité du fil, ℓ la longueur du fil, s la section du fil). Pour un fil de cuivre ($\rho=18.10^{-9}$ Ω.m) de section de 1,5 mm² et de longueur ℓ =1 km on aura $\mathbf{R_{fil}=12,0}$ W.

❹ Pour calculer P_{fil}, on doit également connaître I

On a $I=\frac{P_{chauffage}}{U}$ soit **I=10 A pour U=230 V** et **I=1 A pour U=2,3 kV**.

❺ On peut donc calculer $P_{fil}=2.R_{fil}.I^2$
On a $\mathbf{P_{fil}=2,40\ kW}$ **pour U=230 V** et $\mathbf{P_{fil}=24,0\ W}$ **pour U=2,3 kV**.

❻ Par curiosité, on peut calculer la tension U_{fil} que fournira le transformateur de l'éolienne :
On a $U_{fil}=U+2.R_{fil}.I$ soit $\mathbf{U_{fil}=490\ V}$ **pour U=230V** et $\mathbf{U_{fil}=2,32\ kV}$ **pour U=2,30 kV**.

On constate donc qu'il est plus avantageux d'alimenter la résistance en 2,3 kV.

Cet exemple montre que pour de longues distances, il nécessaire d'utiliser des tensions élevées afin de limiter les pertes dans les fils. Les tensions utilisées ont été classifiées selon leur valeur.

Pour le réseau français les appellations usuelles étaient :

- BT : 230/400 V (Basse Tension)
- MT : 20 kV (Moyenne Tension)
- HT : 90 kV ou 63 kV (Haute Tension)
- THT : 400 ou 225 kV (Très Haute Tension)

Des tensions plus élevées sont utilisées pour les USA et le Canada (1 000 kV et 1 500 kV) à cause des plus grandes distances. En France, les pertes liées au transport représentent environ 2% de l'énergie produite.

La classification des installations électriques a évolué au cours du temps, le décret du 14-11-1998 impose les appellations suivantes pour les **tensions alternatives (U : tension entre phases)** :

- TBT : U≤50 V (Très Basse Tension)
- BTA : 50 V <U≤500 V (Basse Tension de classe A)
- BTB : 500V <U≤1 kV (Basse Tension de classe B)
- HTA : 1 kV <U≤ 50 kV (Haute Tension de classe A)
- HTB : 50kV <U (Haute Tension de classe B)

Pour les **tensions continues** on a :

- TBT : U≤120 V (Très Basse Tension)
- BTA : 120 V <U≤750 V (Basse Tension de classe A)
- BTB : 750V <U≤1,5 kV (Basse Tension de classe B)
- HTA : 1,5 kV <U≤ 75 kV (Haute Tension de classe A)
- HTB : 75kV <U (Haute Tension de classe B)

Les tensions continues sont très peu utilisées (Tramway, Ligne électrique France-Angleterre, …).

 © Frédéric BONNARDOT 2001-2003

1.4.2 Le réseau français (*vidéo*)

La *figure n°4* présente l'organisation du réseau électrique français :

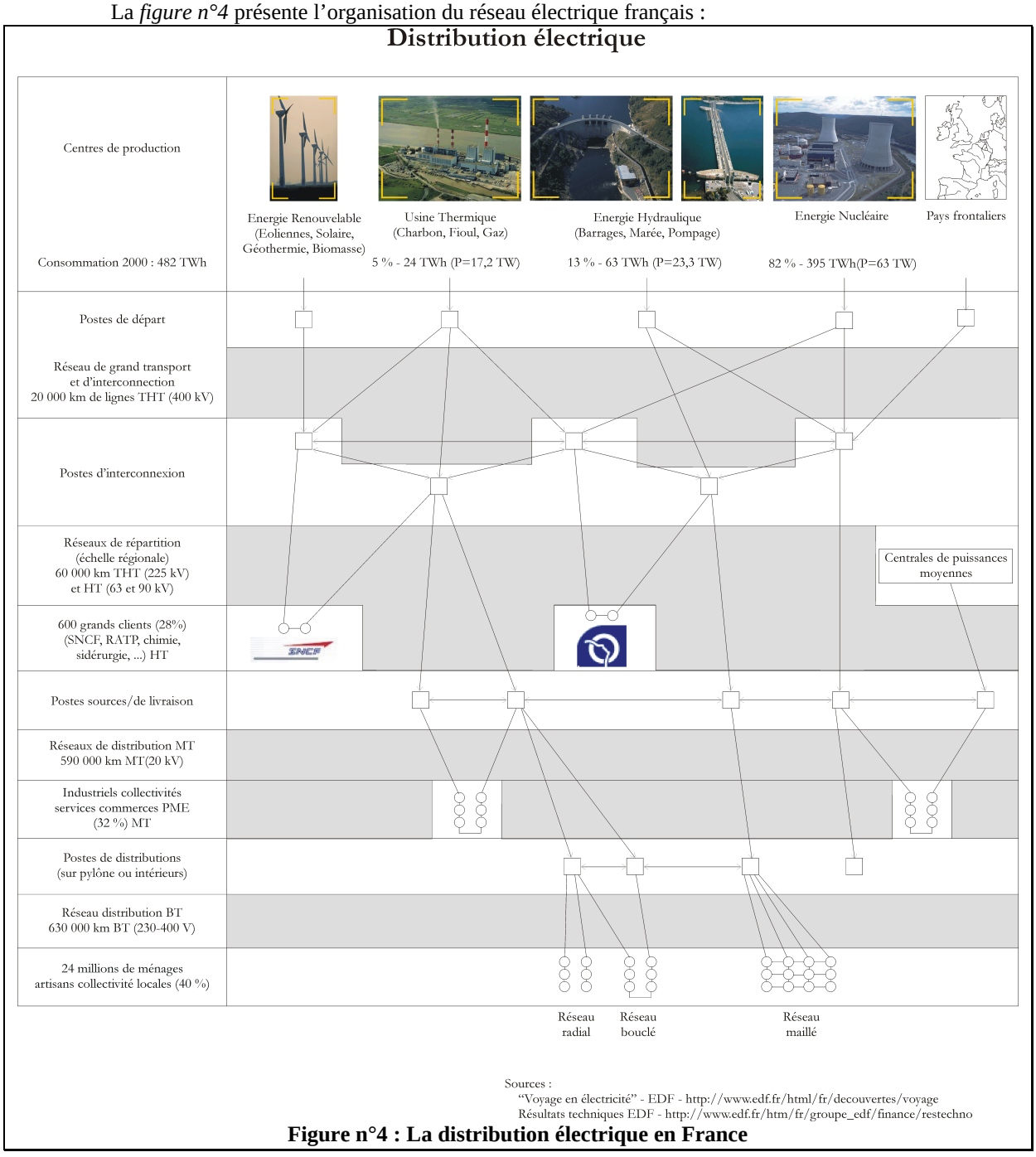


Figure n°4 : La distribution électrique en France

La figure n°4 met tout d'abord en évidence la subdivision du réseau électrique en plusieurs réseaux (transport régionaux, distribution MT, …).

A la sortie des centres de production des transformateurs sont utilisés afin de fournir une tension de 400 kV. Les centres de production sont alors reliés au réseau de grand transport et d'interconnexion. Les pays frontaliers sont également connectés sur ce réseau permettant les importations et exportations d'électricité. Ce réseau a une structure maillée, ainsi, en cas de défaut d'une ligne, l'énergie peut être transmise par un autre chemin.

Cette « autoroute de l'électricité » achemine l'électricité dans les réseaux de transport régionaux qui desservent à leur tour le réseau de distribution. A chaque changement de réseau, la tension est abaissée à l'aide d'un transformateur.

Selon l'importance des clients, ils sont connectés à un réseau plus ou moins important :

- HT à partir de 250 kVA de puissance souscrite,
- MT de 36 à 250 kVA de puissance souscrite,
- BT pour les autres clients.

Pour la fourniture en MT et HT les réseaux sont bouclés ce qui garantit la continuité de l'alimentation en cas de défaillance d'un fil. Dans les villes, généralement, un réseau maillé est utilisé, le réseau radial de moins bonne qualité est réservé à la campagne.

Références bibliographiques :

Site Web EDF : http://www.edf.fr, Rubrique Énergie, « Voyage en Électricité ».

Médiathèque EDF : Elektron, magicien d'un système,
Électricité de France, le CD-ROM,
Découvrir les centrales hydrauliques,
Découvrir les centrales thermiques classiques,
Chooz B palier N4,
Courant Solaire.

Site Web RTE : http://www.rte-france.com.

P. Lagonotte, « Les installations électriques », Hermès Science, 2000.
1.4 L'évolution historique des classifications

 © Frédéric BONNARDOT 2001-2003

2. Schémas

2.1 Quelques définitions d'après la norme NF C 03-151

Schéma :

Le schéma d'électricité est une ***représentation symbolique*** et conventionnelle des installations électriques.

Il ***représente*** les différentes ***liaisons*** entre les éléments d'une installation, d'un ensemble d'appareils ou d'un appareil.

Diagramme :

Le diagramme ***aide la compréhension*** d'un schéma en donnant des informations complémentaires.

Il facilite l'***analyse d'actions successives*** en précisant, le cas échant, la valeur des intervalles de temps entre celles-ci.

Tableau :

Un tableau ***complète ou remplace un schéma***. Il permet de préciser :

- l'***emplacement*** des parties d'une installation,
- le ***raccordement électrique*** entre les différents éléments ou parties d'une installation.

2.2 Exemple de réalisation de schéma

On veut éclairer un couloir. L'éclairage se fera à l'aide de 3 ampoules. Etant donné la longueur du couloir, on prévoit 4 interrupteurs pour commander les ampoules.

Comme on utilise plus de 2 interrupteurs, on ne pourra pas utiliser un système de « va et vient », on utilisera donc un télérupteur.

Un télérupteur est un dispositif permettant de fermer ou d'ouvrir un contact *(pour laisser passer ou non le courant dans les lampes)* à l'aide d'une commande à distance par impulsion *(appui sur un des boutons poussoir)*. L'état du contact est maintenu *(lampe allumée ou éteinte)* jusqu'à la prochaine impulsion *(appui sur le bouton poussoir)*.

Le matériel nécessaire sera :

- 3 lampes : E1, E2, E3,
- 4 boutons poussoirs : S1, S2, S3, S4,
- 1 télérupteur,
- 1 fusible (associé au porte fusible) pour protéger le télérupteur et les lampes.

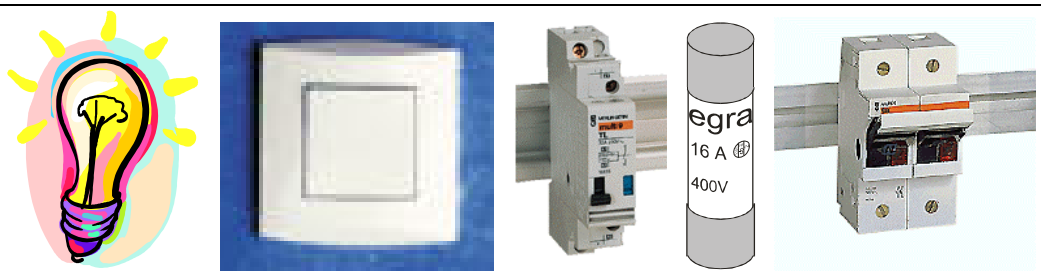


Figure n°5 : Le matériel

Le schéma étant une représentation symbolique, un symbole va être associé a chacun des éléments (cf. *figure n°6*).

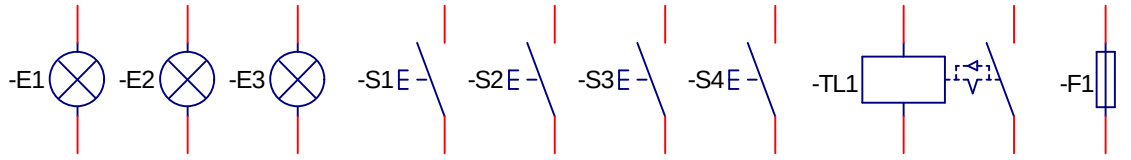


Figure n°6 : Symboles

Comme cette représentation est conventionnelle, elle est normalisée (normes NF C03-201 à 213).

Il ne manque plus qu'a représenter les liaisons électriques pour obtenir un schéma (*cf. figure 7*).

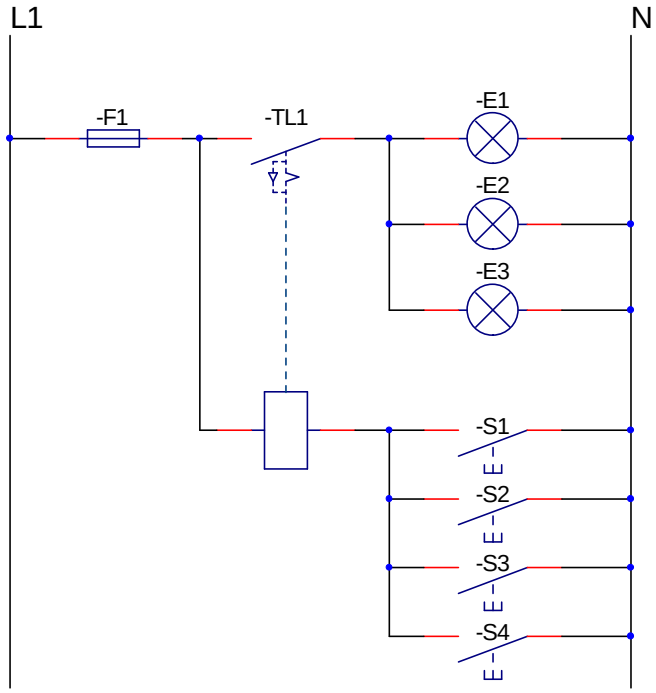
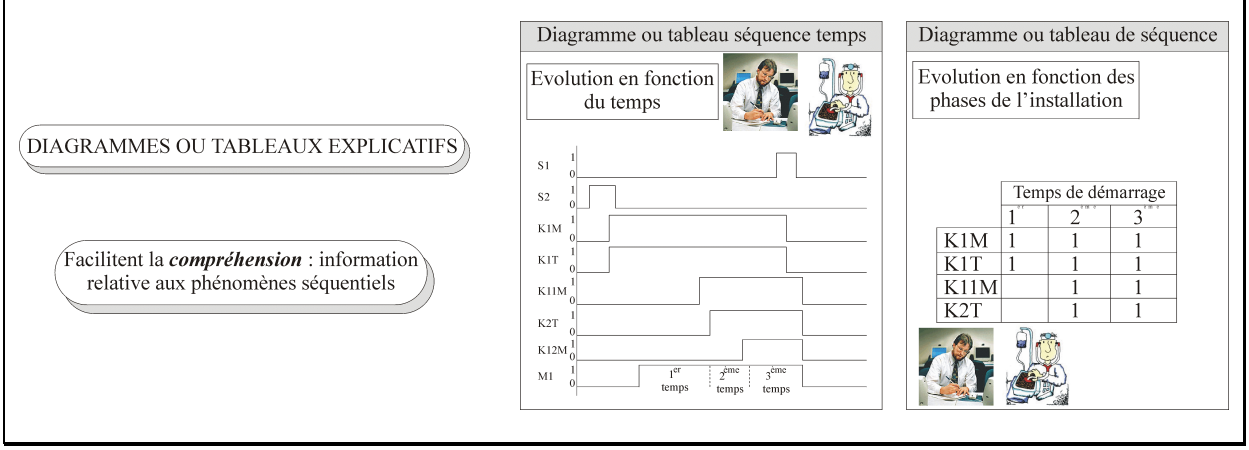


Figure n°7 : Schéma électrique de l'éclairage du couloir

2.3 Les différents types de schémas électriques

La *figure n°8* illustre les différents types de schémas :



SCHÉMAS EXPLICATIFS

Facilitent l'***étude*** et la ***compréhension du fonctionnement*** d'une installation ou d'une partie d'installation.

Schéma fonctionnel

Simple, fonctions et leurs liens

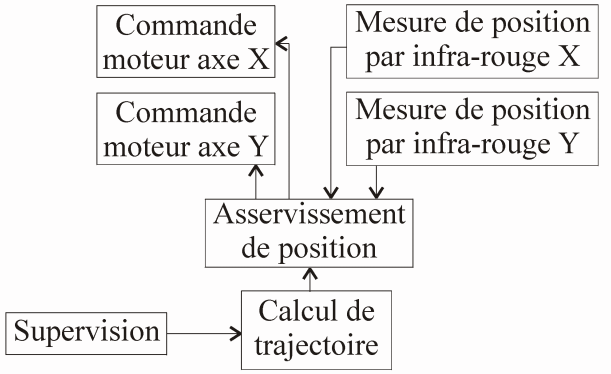


Schéma des circuits ou Schéma de principe

Détaillé, connexions électriques

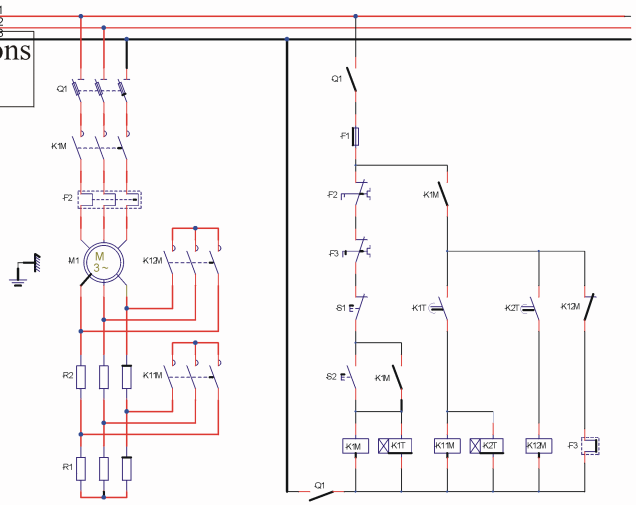
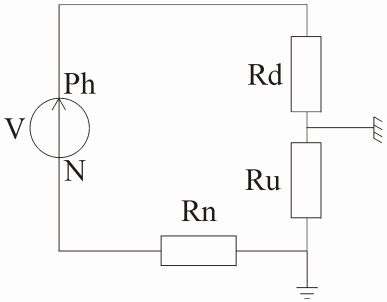


Schéma d'équivalence

Pour analyse et calcul des caractéristiques



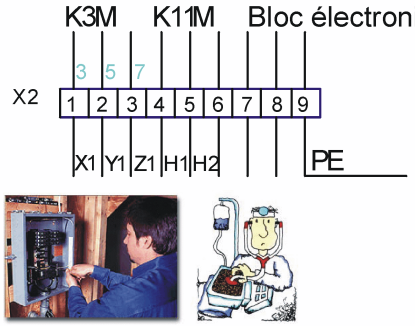
 © Frédéric BONNARDOT 2001-2003

SCHÉMA DE RÉALISATION OU TABLEAU DES CONNEXIONS

Guide pour la ***réalisation*** d'une installation d'un équipement

Schéma des bornes

Bornes et conducteurs raccordés



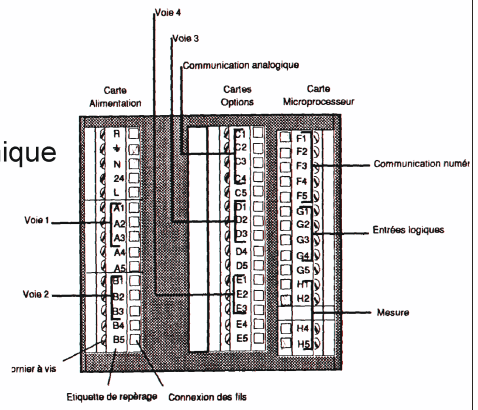


Schéma des connexions intérieures

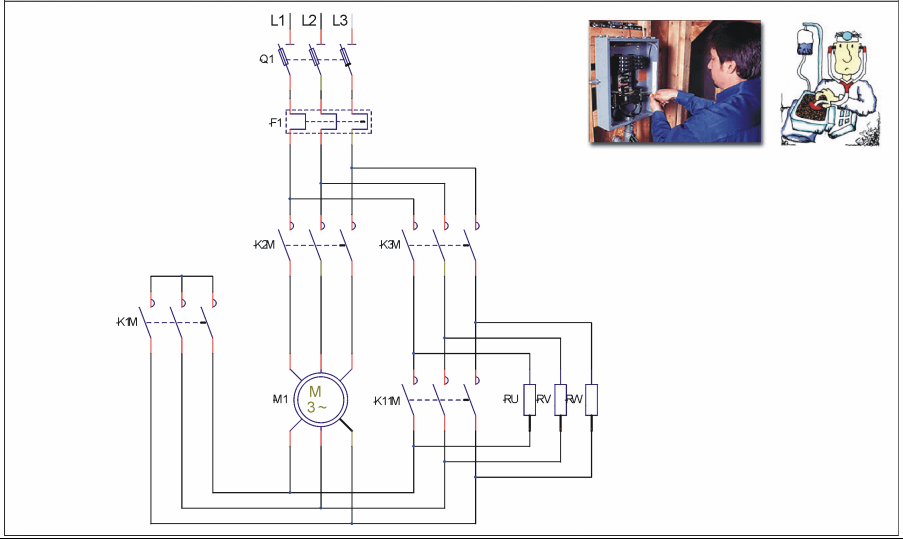
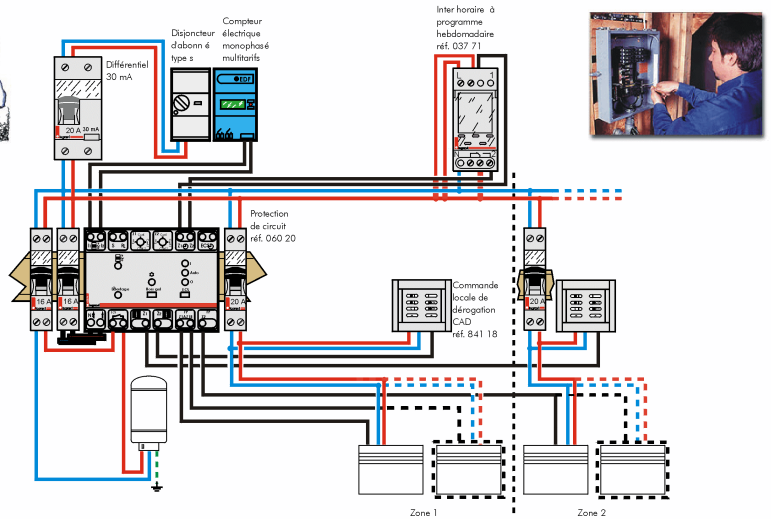


Schéma des connexions extérieures



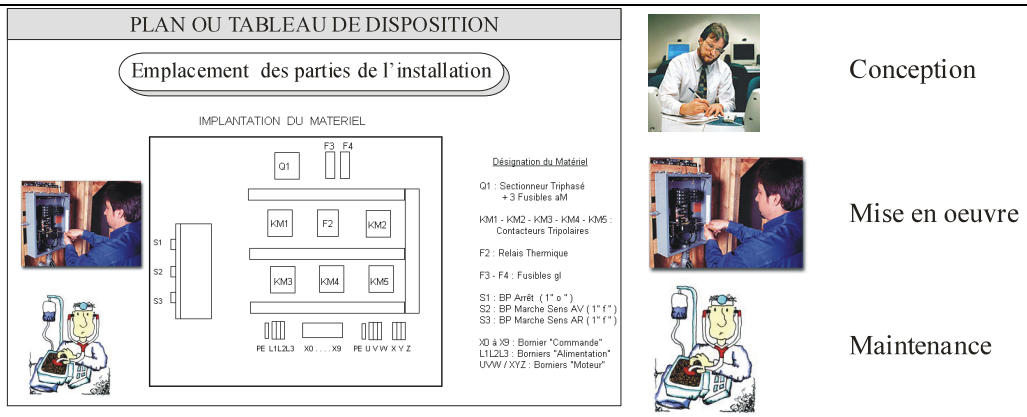


Figure n°8 : Les différents types de schémas

Il existe également différents types de représentation.

2.4 Les différents types de représentation

2.4.1 Suivant le nombre de conducteurs

Il existe deux types de représentation : multifilaire et unifilaire (*cf. figure 9*).

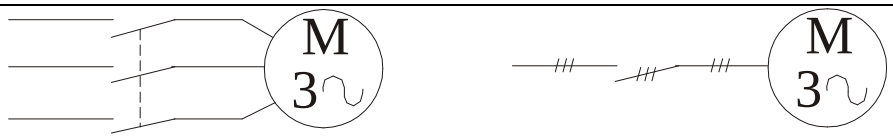


Figure n°9 : Représentation multifilaire (à gauche) et unifilaire (à droite)

La représentation unifilaire permet d'alléger les schémas, elle ne doit pas faire apparaître d'ambiguïté. Une barre représente une phase, pour le neutre, il faut ajouter un rond en dessous, et, pour le conducteur de protection un trait vertical. La *figure n°10* présente des équivalences entre la représentation unifilaire et multifilaire. Pour les phases, il est également possible de mettre une seule barre et d'indiquer le nombre de phases.

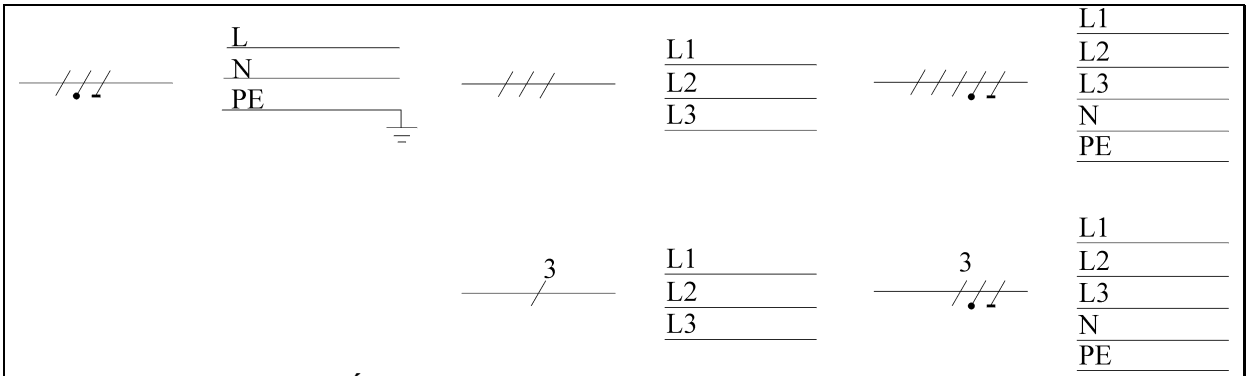


Figure n°10 : Équivalences entre les représentations unifilaire et multifilaire

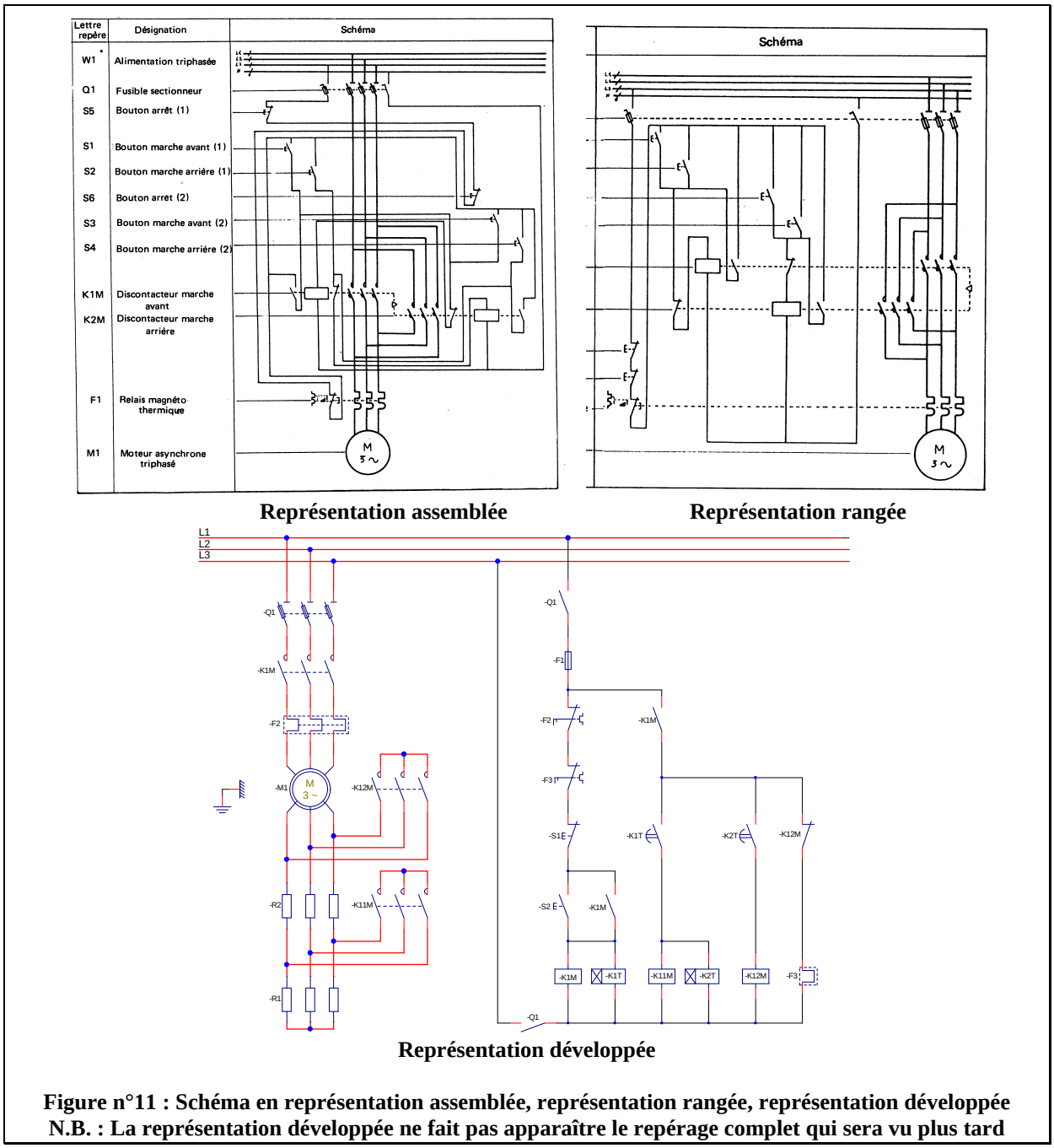
2.4.2 Selon l'emplacement des symboles

Il existe différentes manières de positionner les symboles dans un schéma :

- **représentation assemblée** : juxtaposition des symboles associés aux ***éléments d'un même appareil*** (ou équipement),
- **représentation rangée** : les symboles sont placés de façon à faire apparaître les ***liaisons mécaniques*** qui doivent être rectilignes (dans la mesure du possible),
- **représentation développée** : les symboles sont disposés pour ***faciliter le suivi du tracé*** de chaque circuit. Chaque ***symbole*** doit être ***repéré*** et doit indiquer l'emplacement des autres éléments de l'appareil auquel il est associé.

Certaines représentations comme la représentation assemblée ne sont pas adaptées pour les schémas complexes (les schémas deviennent illisibles).

La *figure n°11* montre des exemples d'utilisation de ces représentations.



Représentation assemblée **Représentation rangée**

Représentation développée

Figure n°11 : Schéma en représentation assemblée, représentation rangée, représentation développée
N.B. : La représentation développée ne fait pas apparaître le repérage complet qui sera vu plus tard

2.4.3 Représentation topographique

Dans une représentation topographique, la disposition des symboles correspond à leur emplacement géographique. Cette représentation est utilisée pour :

- les schémas de réalisation,
- les schémas architecturaux,
- les schémas de réseau.

La *figure n°12* montre des exemples de représentation topographique :

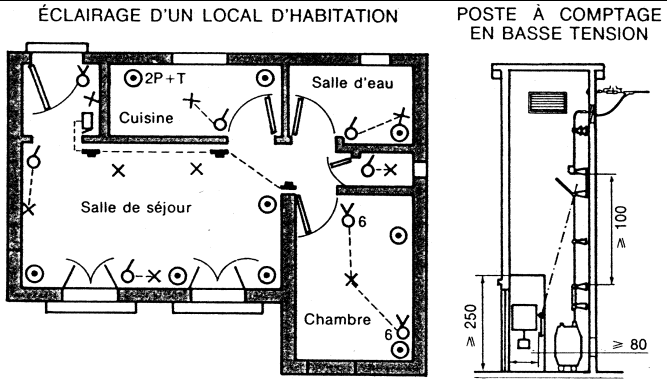


Figure n°12 : exemple de représentations topographiques

2.5 Appareillage de base

Le nombre de symboles normalisés étant assez important, seuls les principaux seront décrits. Les autres symboles sont disponibles dans les normes NF C03-201 à 213. Les appareils ont été classés dans ce chapitre suivant 5 catégories : isoler, protéger, commander la puissance, convertir l'énergie, communiquer.

2.5.1 Fonction isoler

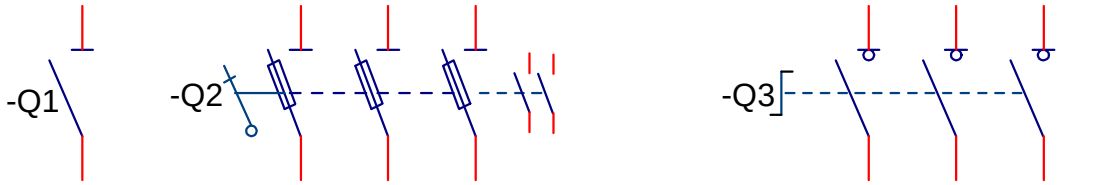
Une armoire électrique, l'installation d'un particulier, … doit pouvoir être isolée du réseau électrique afin de pouvoir la modifier ou la réparer. Pour ce faire, on utilise un sectionneur qui va ***supprimer tout lien entre le circuit électrique et le réseau électrique.***

Le rôle d'un sectionneur est de séparer et non d'arrêter l'installation, il doit être manipulé une fois l'installation arrêtée. Dans le cas contraire un arc électrique se produira et il y aura un risque de soudure des pôles du sectionneur. On dit que le sectionneur a un faible pouvoir de coupure (capacité à interrompre un courant).

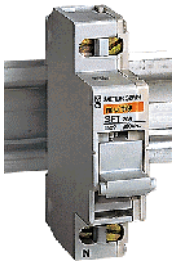
Il existe des variantes plus ou moins évoluées du sectionneur :

- **sectionneur avec contact de précoupure :** un contact auxiliaire s'ouvre avant et se ferme après les pôles du sectionneur et sera utilisé dans le circuit de commande pour stopper le moteur lors d'une ouverture ***accidentelle*** du contacteur,
- **sectionneur porte fusibles :** on peut placer des fusibles dans le sectionneur,
- **interrupteur sectionneur :** grâce à l'interrupteur il est possible d'ouvrir le circuit quand il fonctionne (le moteur tourne, …).

La *figure n°13* montre des photos et des schémas du sectionneur et de ses variantes.



Sectionneur | **Sectionneur triphasé avec contact de précoupure** | **Interrupteur sectionneur**



sectionneur fusible SF

Sectionneurs porte fusible tripolaires LS1 GK1

Interrupteur sectionneur NG125NA

Figure n°13 : Sectionneurs : schémas et photos

Il est possible d'ajouter sur certains sectionneurs des blocs additifs permettant par exemple d'indiquer à un automate l'état du sectionneur.

Sur les schémas les appareils sont toujours représentés en position de repos. En position de repos le contact Q2 est ouvert, ***lorsque l'on agira sur le sectionneur, il sera fermé***, on appelle donc se type de contact, ***contact à fermeture*** ou contact Normalement Ouvert/Normaly Closed (NO/NC chez les anglophones).

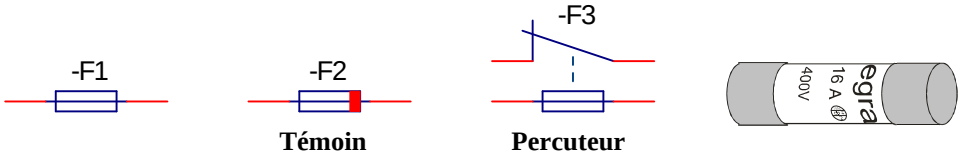
2.5.2 Fonction « protéger »

Les circuits électriques doivent être protégés contre les court-circuits (contact entre deux phases ou entre phase et neutre I>10.In), les surcharges et les calages de moteur (provoquant une consommation de courant excessive pendant un temps non négligeable In<I<10.In). Pour les moteurs, il est également intéressant d'avoir une protection contre l'absence ou le déséquilibre de phases.

Lorsque l'on utilise des moteurs (fournissant un couple constant pendant une longue période), leur consommation de courant pendant la phase de démarrage est importante puis elle se stabilise en fonctionnement normal (pic de courant). Dès lors, les protections ne doivent pas intervenir en cas de pic de courant dû au démarrage d'un moteur. On doit ainsi prendre en compte l'information intensité-durée pour décider de la coupure ou non du circuit électrique. A l'opposé des sectionneur, les disjoncteur on un fort pouvoir de coupure

2.5.2.1 Coupe circuit fusible

Le fusible est constitué d'un fil conducteur qui fond quand le courant le traversant dépasse le calibre du fusible. Il sert donc de ***protection contre les court-circuits (et peut être utilisé pour la protection des surcharge dans un circuit sans pointe de courant).*** Un fusible fondu n'est pas réutilisable et doit être changé. Il existe des fusibles avec un témoin lumineux (F2) et avec un percuteur (F3) indiquant l'état du fusible comme le montre la *figure n°14*. Dans le cas d'un réseau triphasé, le neutre ne doit pas être protégé.



Témoin | **Percuteur**

Figure n°14 : Symboles associés aux fusibles et photo

Dans une installation triphasée commandant un moteur, si un fusible fond, le moteur sera toujours alimenté par deux autres phases ce qui risque de le détériorer. Ceci montre l'intérêt des fusibles à percuteur permettant d'informer le circuit de commande qui stoppera le moteur. Pour les moteur on utilisera des protections supplémentaires (relais thermique, …).

Le contact du fusible percuteur F3 est un contact à ouverture ou Normalement Fermé/Normaly Closed (NO/NC) pour les anglophones.

Les fusibles véhiculant de très forts courants (dans les postes de livraisons par exemple) sont conçus pour fondre au bout de plusieurs minutes. Ainsi, lors d'un accident (court circuit, …), il ne faut pas présumer de l'état des fusibles ! Il faudra donc couper le courant avant tout secours.

Un fusible est conçu pour protéger une installation et n'est pas destiné à protéger une personne imprudente.

Il existe différents types de fusibles dont :

- Fusibles « distribution » **gG** qui protègent contre les court-circuits et les surcharges mais qui ne supportent pas les pointes de courant (démarrage moteur, …),
- Fusibles « moteur » **aM** qui « laissent passer » les surintensités de type pointes de courants mais qui ne protègent pas contre les surcharges.

2.5.2.2 Le relais magnétique

Le relais magnétique comprend :

- un circuit magnétique où circule le courant à contrôler placé en série dans le circuit,
- un mécanisme de déclenchement associé à des contacts (à ouverture ou fermeture).

Si le courant dépasse la valeur de réglage, les contacts changent d'état (le contact à ouverture s'ouvre et le contact à fermeture se ferme).

Le rôle du relais magnétique se limite à ***indiquer un dépassement de courant***, c'est au circuit de commande de prendre les mesures nécessaires (coupure de courant, …).

La *figure n°15* montre les deux symboles du relais magnétique :

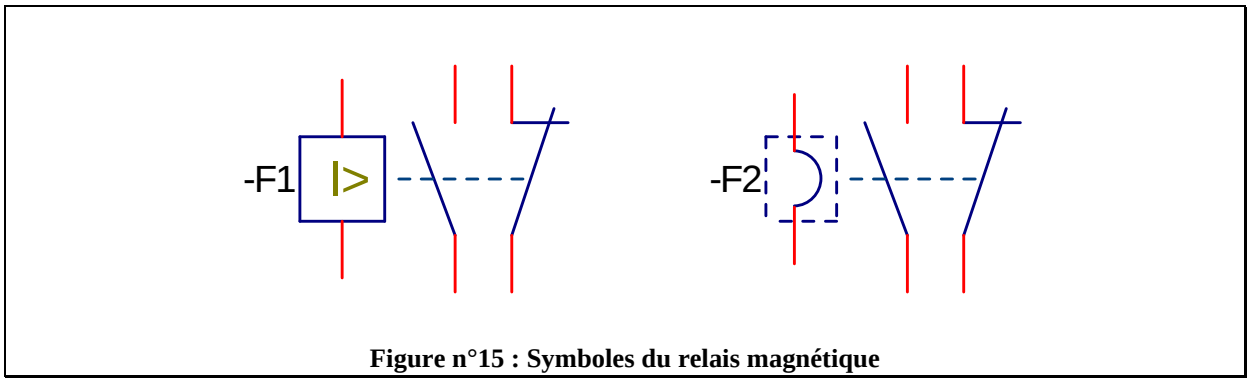


Figure n°15 : Symboles du relais magnétique

Il existe des relais magnétiques avec soit des contacts à accrochage (bistable) soit des contacts monostables.

2.5.2.3 Le relais thermique et les autres protections thermiques

Le but du relais thermique est d'***indiquer un échauffement anormal d'une machine*** (moteur, …) qui représente 44 % des défaillances d'une machine. Cet échauffement est causé par une augmentation du courant consommé par le moteur (surcharge). Une surcharge réduit la durée de vie des machines, néanmoins, son effet n'est pas immédiat. Il faudra donc soit supprimer la cause de la surcharge (continuité du fonctionnement) soit arrêter la machine.

Le relais thermique comporte :

- 3 enroulements chauffant de type bilame (un par phase à surveiller) placé en série dans le circuit,
- un mécanisme de déclenchement.

L'échauffement des enroulements dû à une surcharge provoque une déformation des bilames. Lorsque la déformation est suffisante, les bilames libèrent la butée de maintien et ouvrent le contact du relais. Le contact du relais est un contact à accrochage.

Généralement, les relais thermiques sont également sensibles a une perte de phase (ce qui évite d'alimenter un moteur avec 2 phases au lieu 3 quand un fusible fond par exemple).

Le temps de réaction est plus élevé que pour les relais magnétiques (utilisation d'un effet thermique). Ainsi, le relais thermique ne sera pas sensible aux pointes de courant et pourra être réglé avec des seuils inférieurs aux relais magnétiques. Les deux méthodes (magnétique et thermique) sont complémentaires.

Le réarmement du relais thermique peut être manuel ou automatique (suivant le modèle).

Comme pour le relais magnétique, le relais thermique donne par le biais d'un contact une « information anomalie » qu'il faudra prendre en compte lors de la conception du schéma.

La *figure n°16* montre le symbole et une photo d'un relais magnétique.

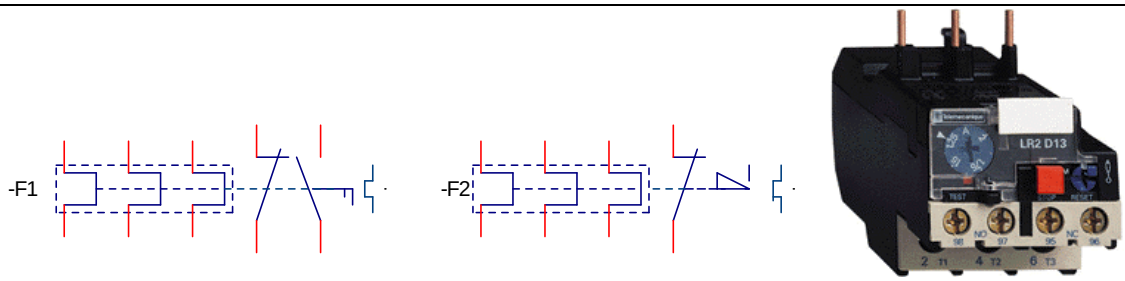


Figure n°16 : Symbole et photo d'un relais thermique

Les enroulements chauffants du relais thermique ne fournissent pas une image précise de l'état thermique du moteur (température). Ainsi, il peut arriver dans certains cas que le redémarrage du moteur soit autorisé alors que sa température est trop élevée. Dans ce cas il faudra utiliser des relais à sondes PTC qui offrent une meilleure protection thermique. Le relais se compose d'une sonde PTC placé au cœur de la zone sensible de la machine qui est reliée au dispositif de déclenchement. Pour une meilleure protection, il faudra utiliser un relais multifonction.

relais à sonde PTC LT3

sondes PTC

relais de protection multifonction

Figure n°17 : Autres solution pour la protection thermique

Le tableau ci-dessous montre les points forts de ces différents relais.

Type de relais Causes d'échauffement	relais thermiques LR.	relais à sonde PTC LT3	Relais Multifonction LT6
Surcharge faible	☺	☺	☺
Blocage rotor	☺	=	☺
Sous-charge	☠	☠	☺
Défaut de phase d'alimentation	☺	=	☺
Défaut de ventilation	☠	☺	☺ (avec sondes PTC)
Accroissement anormal de température ambiante	=	☺	☺ (avec sondes PTC)
Grippage d'un palier d'arbre	=	☺	☺ (avec sondes PTC)
Défaut d'isolation	☠	☠	☺
Démarrage trop long	☺	=	☺
Service sévère	☠	☺	☺ (avec sondes PTC)

☺ Parfaitement adapté **= Solution possible** **☠ Totalement inadapté (pas de protection)**

2.5.2.4 Le disjoncteur

Il existe différents types de disjoncteur offrant un niveau de protection plus ou moins élaboré. On choisira le modèle en fonction de l'application.

- ***le disjoncteur magnétique qui protège contre les court-circuits,***
- ***le disjoncteur magnétothermique qui protége contre les court-circuits et les surcharges,***
- ***le disjoncteur différentiel qui protège les personnes (version 30 mA), les installations électriques contre le risque d'incendie et les défauts d'isolement en plus de la protection contre les court-circuits et les surcharges.***

La *figure n°18* montre les symboles ainsi que des photos des différents types de disjoncteurs.

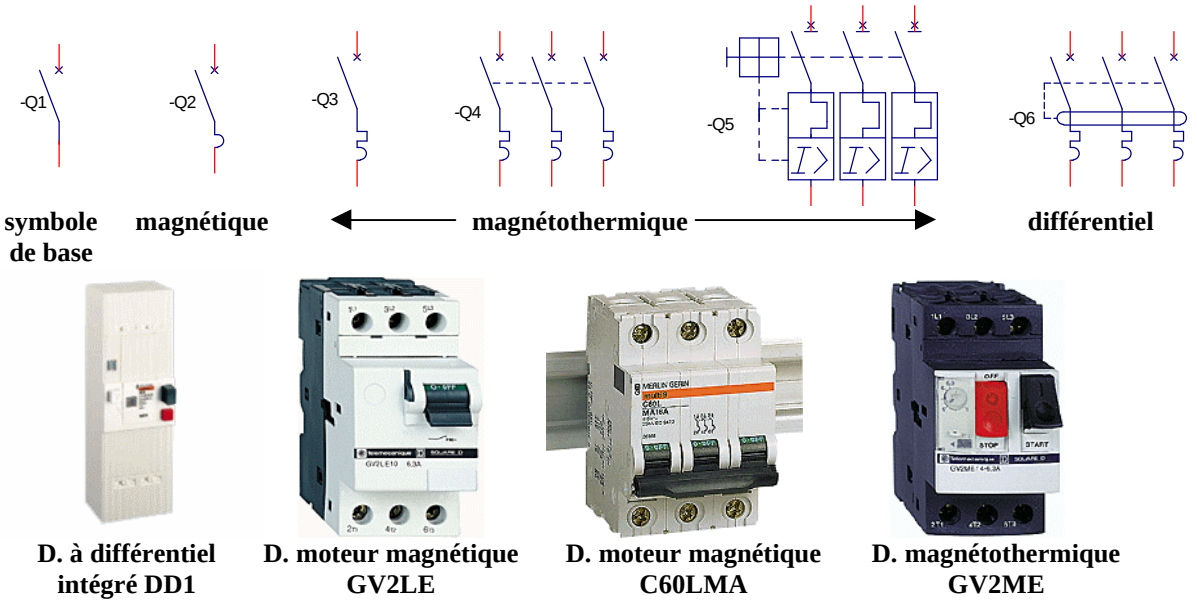


Figure n°18 : Les différents types de disjoncteur

Sur certains schémas, on voit superposé à la croix (symbole du disjoncteur) le trait symbolisant le sectionneur, cela signifie que le disjoncteur est apte au sectionnement. ***Ainsi, les disjoncteurs n'étant pas aptes au sectionnement ne devront en aucun cas servir à isoler le circuit du réseau.***

Pour identifier le type de disjoncteur il faut se fier à son schéma s'il est présent sur son boîtier ou sa référence mais jamais à son apparence !!!

Certains disjoncteurs comportent des réglages.

Attention, il ne faut pas confondre les disjoncteurs différentiels avec les interrupteurs différentiels qui n'intègrent pas la protection contre les court-circuits et les surcharges.

Certains constructeurs fournissent la protection différentielle sous forme d'un bloc que l'on adjoint au disjoncteur magnétothermique. Il est également possible d'adjoindre des auxiliaires électriques sur certains modèles (pour permettre un déclenchement et signalisation à distance, …). La *figure n°19* montre un additif qui vient se placer à gauche du disjoncteur.

Figure n°19 : Un additif et un disjoncteur

2.5.3 Fonction commander la puissance

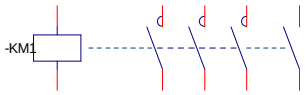
Une fois le circuit électrique protégé, il faut pouvoir ***commander les machines électriques*** (moteurs, …). On utilisera pour cela des ***contacteurs***.

Le contacteur est constitué :

- d'une bobine permettant de commander l'ouverture ou la fermeture des contacts,
- des pôles (contacts de puissance) capables d'établir ou d'interrompre l'alimentation des récepteurs (plusieurs ampères),
- des contacts auxiliaires utilisés pour le circuit de commande (faible courant).

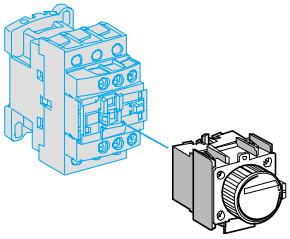
Il est possible d'adjoindre des blocs additifs sur le contacteur (contacts auxiliaires supplémentaires, contacts temporisés, …).

La *figure n°20* montre le schéma et des photos de contacteurs :

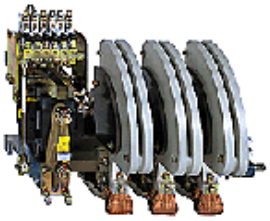


Schéma

contacteur LC1-D (25 à 200A)



bloc contact auxiliaire temporisation

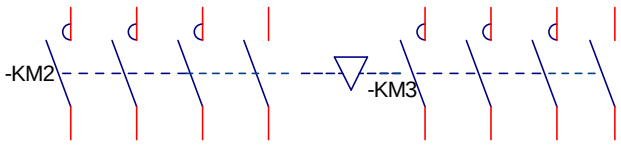


Contacteur sur barreau (750 à 1800 A)

Figure n°20 : Schéma et photos de contacteurs

Sur le schéma, la bobine pour commander le contacteur est à gauche, les 3 pôles (contacts de puissance) sont au milieu et le contact auxiliaire à droite. Lorsque les contacts de puissance sont à ouverture, on ne parle plus de contacteur mais de rupteur.

Dans certaines applications impliquant l'utilisation de deux contacteurs, il est nécessaire d'empêcher que les 2 contacteurs fonctionnent en même temps (risque de court-circuit, …). Dans ce cas, il existe des ***contacteurs-inverseurs*** (2 contacteurs dans la même « boîte ») possédant un ***verrouillage mécanique empêchant la commande simultanée*** des deux contacteurs. Ce verrouillage mécanique ne dispense pas de la réalisation d'un « verrouillage électrique » (circuit de commande). La *figure n°21* montre une photo et le symbole du contacteur inverseur.



Schéma

Contacteur inverseur K

Figure n°21 : Schéma et photo d'un contacteur inverseur

Un contacteur est capable de réaliser un grand nombre de cycles de manœuvres à une cadence élevée mais il n'est pas capable d'interrompre un courant de court-circuit.

2.5.4 Contacteur-disjoncteur Intégral

Le contacteur-disjoncteur intégral rassemble les avantages du contacteur (cadence élevée) et du disjoncteur (possibilité d'interrompre un court circuit, protection). Il peut constituer à lui seul un départ-moteur complet commandable à distance. Il existe même des modèles permettant de choisir le sens de rotation du moteur. La *figure n°22* montre le schéma et une photo de cet appareil.

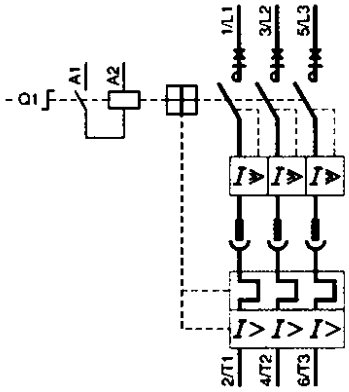
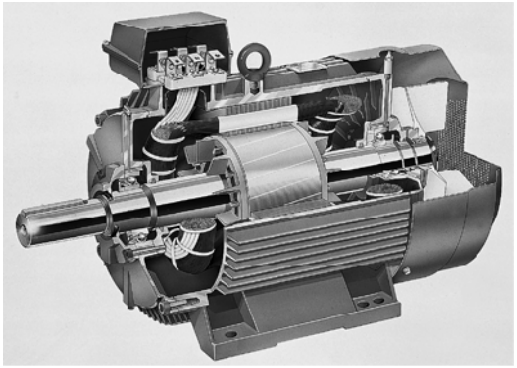


Schéma (1 sens de marche) **Contacteur Disjoncteur Intégral 18 – 1 sens de marche**

Figure n°22 : Schéma et photo du contacteur disjoncteur intégral

2.5.5 Fonction convertir l'énergie



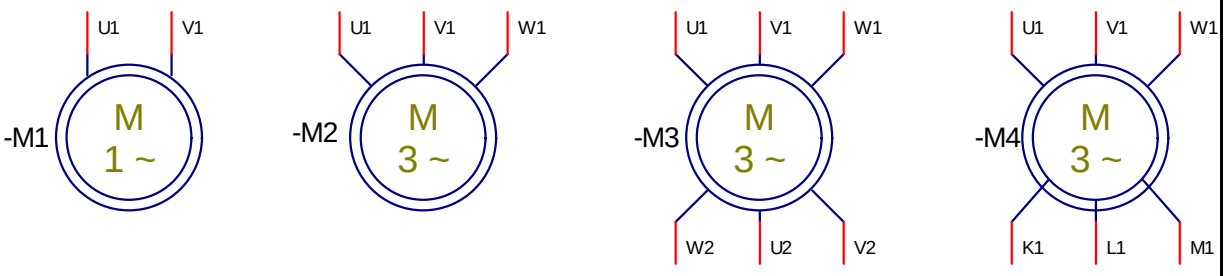
Les moteurs permettent de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Il existe différents types de moteurs :

- machines à courant continu,
- moteur asynchrone (à gauche),
- moteur synchrone.

Pour plus d'informations sur les moteurs, se reporter au cours d'électrotechnique.

La *figure n°23* montre les différents schémas relatifs aux moteurs asynchrones et aux moteurs à courant continus.

Moteurs asynchrones …



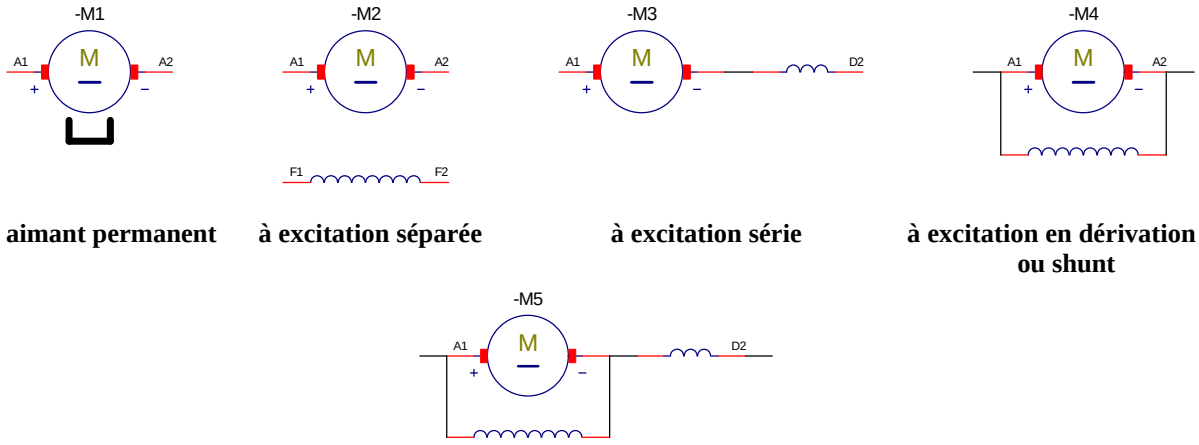
monophasé

rotor en court-circuit ou à cage d'écureuil 6 bornes avec couplage effectué

à 6 bornes couplage non effectué

rotor à bagues ou rotor bobiné

Machines à courant continu …



à aimant permanent | **à excitation séparée** | **à excitation série** | **à excitation en dérivation ou shunt**

à excitation composée

Figure n°23 : Schéma des moteurs

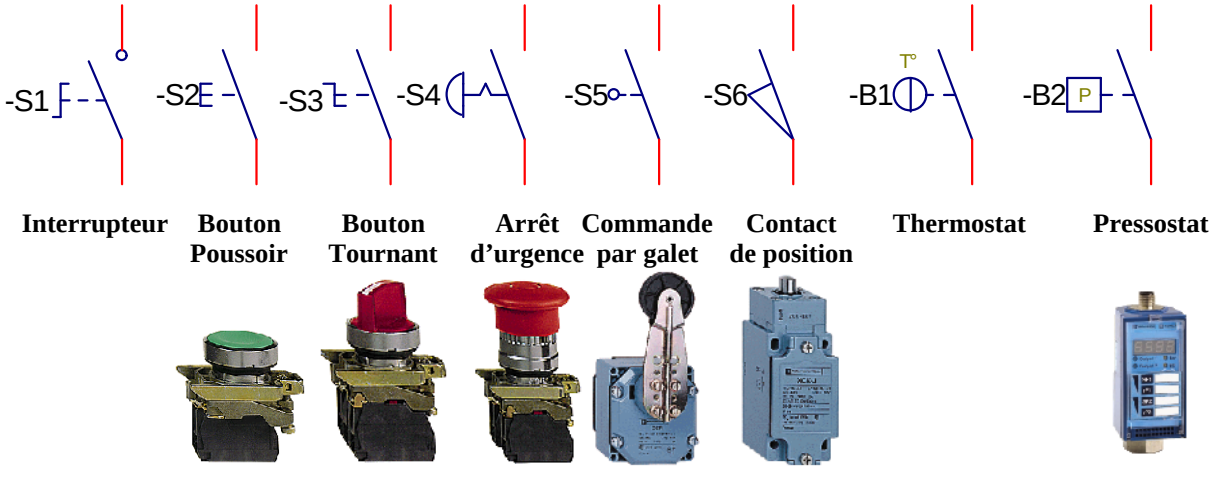
Etant donné leur importance, les moteurs feront l'objet d'un chapitre entier.

2.5.6 Interaction

Il y a 2 type d'interaction :

- interactions avec l'utilisateur (bouton poussoir, interrupteurs, voyants, …),
- interaction avec les machines (capteur de position, thermostat, …).

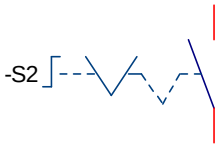
Les schémas sont donné avec des contacts à fermeture le schéma avec des contacts à ouverture se déduisant assez facilement. La *figure n°24* montre un échantillon des symboles de contacts :



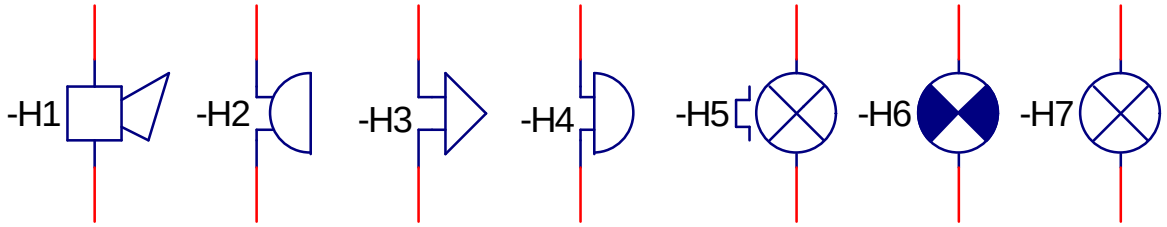
Interrupteur | **Bouton Poussoir** | **Bouton Tournant** | **Arrêt d'urgence** | **Commande par galet** | **Contact de position** | **Thermostat** | **Pressostat**

Figure n°24 : Contacts

Il existe un autre symbole pour le bouton tournant :



La *figure n°25* montre des dispositifs de signalisation :



Avertisseur sonores | **Ronfleur** | **Sirène** | **Sonnerie** | **Clignotant** | **Flash** | **Lampe ou voyant**

Figure n°25 : Dispositifs de signalisation

La *figure n°26* montre le schéma et une photo des capteurs de proximité :

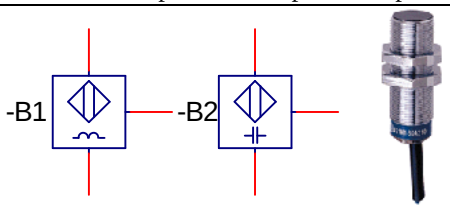


Figure n°26 : Capteurs de proximité inductifs et capacitifs

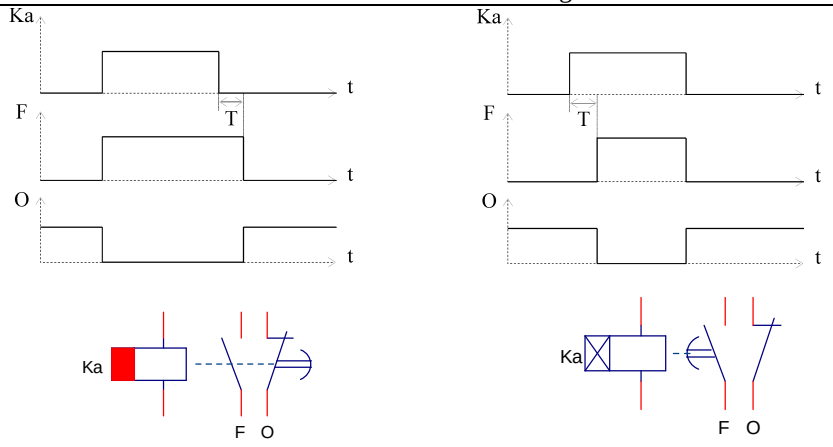
Il existe des versions avec 2, 3 ou 4 fils de ses capteurs de proximité.

2.5.7 Relais temporisés

Les relais temporisés possèdent des contacts ne changent pas d'état instantanément mais après un temps programmable. Il existe deux types de relais temporisés :

- **relais temporisé au travail** : lorsque la bobine du relais est alimentée, le contact changera d'état après un temps fixé,
- **relais temporisé au repos** : lorsque la bobine du relais n'est plus alimentée, le contact ne changera pas d'état immédiatement mais après un temps fixé.

La *figure n°27* illustre le fonctionnement à l'aide de chronogrammes :



temporisé au repos | **temporisé au travail**

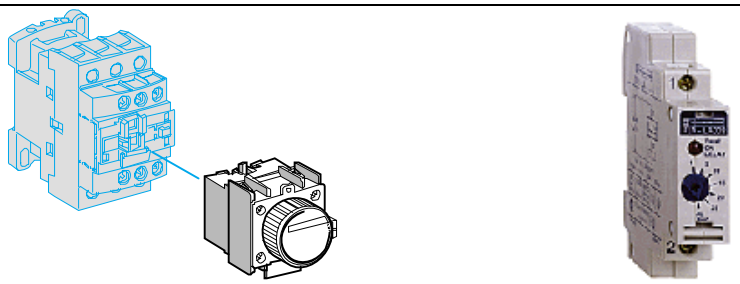


Figure n°27 : Chronogrammes, schéma et photo des relais temporisés

Les relais temporisés se trouvent sous 2 formes :

- blocs additifs qui se positionnent sur un contacteur (cf. 2.5.3), dans ce cas la bobine est celle du contacteur (à gauche),
- bobine+contact dans un même bloc (à droite).

Il existe deux technologies pour la temporisation : mécanique et électronique.

2.6 Repérage dans un schéma développé

Dans un schéma développé, le repérage suit certaines règles.

2.6.1 Repérage des bornes de raccordement des appareils

La *figure n°28* montre comment repérer les différents appareils d'un schéma (les … doivent être remplacés par le numéro d'ordre de l'appareil qui permet de dissocier les contacts entre eux) :

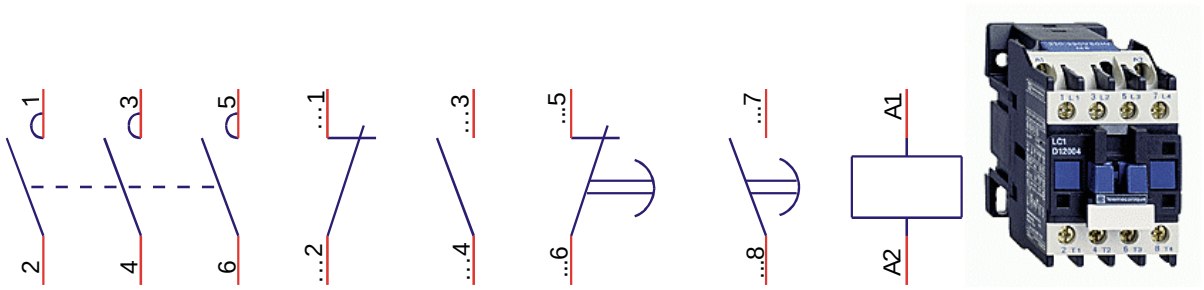


Figure n°28 : Repérage des bornes de raccordements

Le repérage du schéma doit correspondre au repérage de l'appareil afin de permettre un câblage correspondant strictement au schéma.

Pour les ***contacts principaux*** on utilise les numéros 1 à 6 en tripolaire et 1 à 8 en tétrapolaire.

Pour les ***contacts auxiliaires*** le chiffre des dizaines correspond au numéro d'ordre (« … » sur les schémas) et le chiffre des unités dépend du type de contact auxiliaire :

- contact à ouverture 1 et 2,
- contact à fermeture : 3 et 4,
- contact bidirectionnel : 1 à la borne commune, 2 au contact à ouverture et 4 au contact à fermeture,
- contact temporisé à ouverture : 5 et 6,
- contact temporisé à fermeture : 7 et 8.

Pour les appareils de protection le numéro d'ordre (chiffre des dizaines) sera toujours 9 (ou 0 si nécessaire).

Pour les ***bobines*** ont utilise A1 et A2, et, si la bobine possède 2 enroulements A1 A2 B1 et B2.

2.6.2 Repérage des appareils

Pour repérer un appareil, on utiliser 4 blocs :

- subdivision (Armoire 1 *=A1*),
- emplacement (tiroir numéro 5, ligne F, colonne 1 *+5F1*)
- repère du symbole (contacteur temporisé n°2 *–K2T*),
- borne (borne n°5 *:5*).

Le repérage est de la forme **=**1er bloc**+**2ème bloc-3ème bloc **:**4ème bloc par exemple : =A1+5F1-K2T :5.

Généralement, seul le 3ème bloc (K2T) est utilisé dans les schémas. La signification des 2 lettres est indiqué ci-dessous :

Signification de la 1ère lettre :

Lettre repère	Sorte d'élément	Exemple de matériels
A	Ensembles, sous-ensembles fonctionnels (de série)	Amplificateur, régulateur, automate
B	Transducteurs d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique ou vice-versa	Thermocouple, pressostat, détecteur photo-électrique
C	Condensateurs	
D	Opérateurs binaires, dispositifs de temporisation, de mise en mémoire	Bascule RS, enregistreur
E	Matériel divers	Eclairage, chauffage
F	Dispositifs de protection	Coupe-circuit fusible, parafoudre
G	Générateurs – Dispositifs d'alimentations	Génératrice, batterie, oscillateur à quartz
H	Dispositifs de signalisation	Voyant lumineux, avertisseurs sonores
K	Relais d'automatisme et contacteurs	
L	Inductances	
M	Moteurs	
N	Sous-ensemble	
P	Instruments de mesure et d'essais	Voltmètre, compteur, …
Q	Appareils mécaniques de connexion pour circuits de puissance	Disjoncteur, Sectionneurs
R	Résistances	Resistances, shunt, rheostat, thermistance
S	Appareils mécaniques de connexion pour circuits de puissance	Bouton poussoir, interrupteur fin de course
T	Transformateurs	Transformateur de tension, de courant
U	Modulateurs, convertisseurs	Onduleur autonome, convertisseur de fréquence
V	Tubes électroniques, semi-conducteurs	Tube à gaz, diode
W	Voies de transmission, guide d'onde, antennes	Câble, jeu de barre
X	Bornes, fiches, socles	Fiche et prise de connexion, planchette à bornes, fiche d'essai
Y	Appareils mécaniques actionnés électriquement	Frein, embrayage, électrovalve, électroaimant
Z	Charge correctives, transformateurs différentiels, filtres, correcteurs, limiteurs	Equilibreur, correcteur, filtre

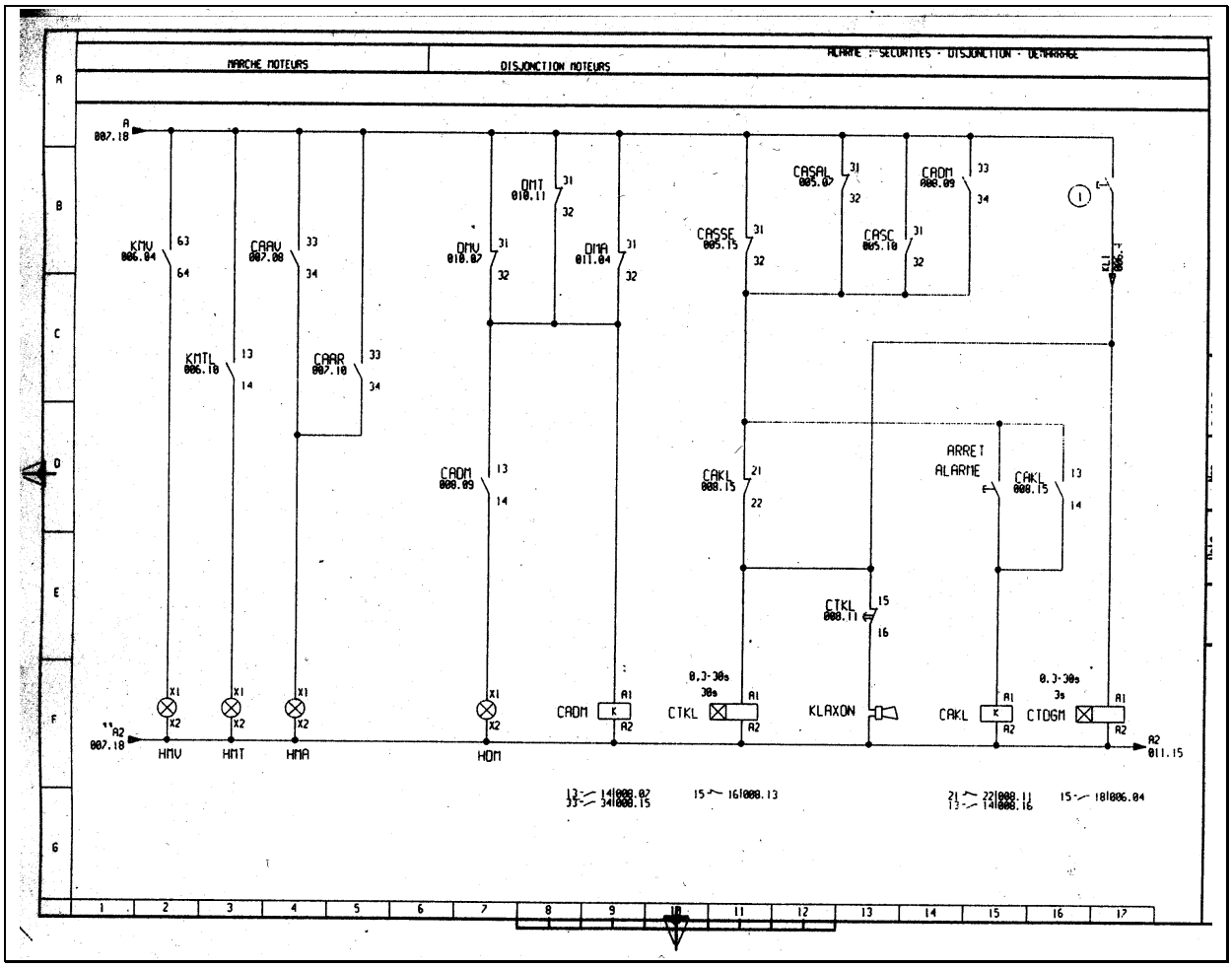
 © Frédéric BONNARDOT 2001-2003

Signification de la dernière lettre :

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

 © Frédéric BONNARDOT 2001-2003

2.7 Etude d'un « vrai » schéma



On peut voir en bas des schémas deux colonnes avec :

- à gauche un récapitulatif des numéros de contact (sur certains schémas, le dessin du contact est repris),
- à droite un renvoi du style a.b, où a est un numéro de folio et b la colonne. Ce numéro indique où trouver les autres contacts et la commande d'un même appareil (assez pratique pour la maintenance quand les schémas électriques font plus de 50 pages).

La dénomination ne suit pas strictement la norme (KM2 au lieu de K2M, …). Dans d'autres schémas les boutons poussoirs ne sont plus désignés par S3,… mais ont un nom plus évocateur (CTDA, AVANT, …).

Références bibliographiques :

H. Largeaud, « Le schéma électrique », Eyrolles, 1991.
J. Barry, J. Y. Kersulec, « Schémas d'électricité et d'automatique industrielle », Eyrolles, 1996.
Schneider, Catalogue distribution basse tension sur CD-ROM, 2000.
Schneider, Catalogue Automatismes Industriels sur CD-ROM, 2001.
Collection Technique Télémécanique, Schémathèque – Technologie du contrôle industriel, CITEF, 1994.

 © Frédéric BONNARDOT 2001-2003

Faire le point

❶ Résumez le rôle de chacun des composants ci-dessous (feuilleter le cours) :

Sectionneur : _____

Coupe circuit fusible : _____

Relais thermique : _____

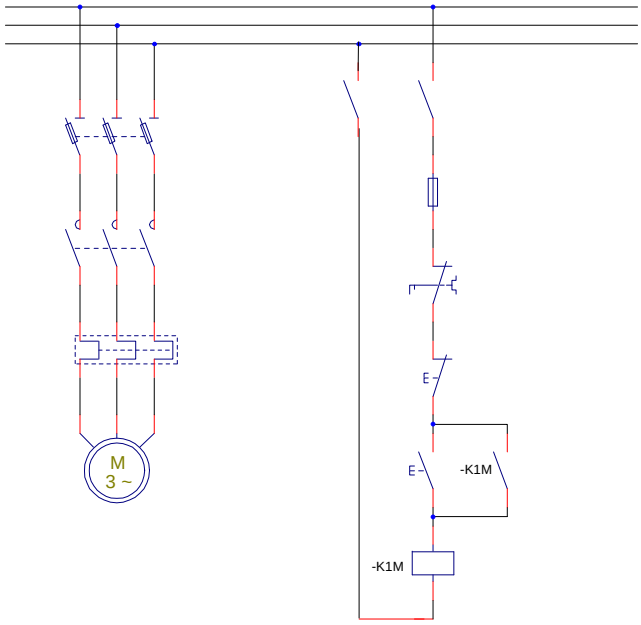
Disjoncteur magnétique : _____

Disjoncteur différentiel : _____

Disjoncteur magnétothermique : _____

Contacteur : _____

❷ Sur le schéma ci-dessous identifier pour les différents appareils leur type (contacteur, fusible, …), faites le repérage (s'inspirer du 2.8 Etude d'un « vrai » schéma).



❸ Faire un chronogramme (tableau séquence temps) pour mettre en évidence le rôle des 2 boutons poussoirs.