

PLAN DE LA LEÇON N°4

TITRE DE LA LEÇON :

Matériaux et appareillage électrique

OBJECTIFS :

A la fin de la séance l'étudiant doit être capable de :

- Reconnaître et classifier les matériaux à usage équipements industriels ;
- Identifier l'appareillage électrique d'une installation industrielle ;
- Savoir les dispositifs de protection d'une installation industrielle ;
- Reconnaître les différents paramètres de choix d'un dispositif de protection ;
- Choisir l'appareillage adéquat à la fonction de protection.

PRE-REQUIS :

- Lois d'électricité.
- Appareils de mesure.

MATERIAUX ET APPAREILLAGE ELECTRIQUE

OBJECTIF GENERAL :

Identifier et choisir un appareillage de protection des installations industrielles.

| OBJECTIFS SPECIFIQUES | ELEMENTS DE CONTENU | METHODOLOGIE ET MOYEN | EVALUATION | DUREE |
|--|---|--|--|--------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconnaître et classer les matériaux à usage équipements industriels. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Les matériaux conducteurs. 2. Les matériaux isolants. 3. Les matériaux magnétiques. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Exposé informel. ▪ Notes de cours. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Formative. | 60 mn |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifier l'appareillage électrique d'une installation industrielle. ▪ Reconnaître les différents paramètres de choix d'un dispositif de protection. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Fusible. <ul style="list-style-type: none"> - Classification. - Sélectivité. 2. Sectionneur porte fusible. 3. Relais. <ul style="list-style-type: none"> - Thermique. - Magnétique. 4. Disjoncteurs. 5. Contacteurs. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Exposé informel. ▪ Notes de cours. ▪ Exemples. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Formative. | 120 mn |

MATÉRIAUX ET APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

I. Classification des matériaux

A propos des installations électriques, les matériaux utilisés sont les suivants :

- Les matériaux isolants ;
- Les matériaux conducteurs ;
- Les matériaux magnétiques.

I.1 Matériaux isolants

La résistance des matériaux dépend de la propriété suivante :

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

où

ρ : La résistivité du matériau en $[\Omega m]$;

R : La résistance du matériau en $[\Omega]$;

L : La longueur du matériau en $[m]$;

S : La section du matériau en $[m^2]$.

Généralement la résistance des matériaux isolants est très élevée, elle est de l'ordre de $10^6 [\Omega cm]$.

On distingue trois états d'isolation :

- Isolation gazeuse ;
- Isolation liquide ;
- Isolation solide.

I.1.1. Les isolants solides

Trois différents isolants solides qui se présentent :

- Isolants minéraux : comme le fibre de verre, le porcelaine et le mica...;
- Isolants organiques : comme le papier, le bois et le coton...;
- Isolants synthétique : comme le bakélite, le thermoplastique et le thermodurcissable...

I.1.2. Les isolants liquides

On distingue deux sortes d'huiles :

- L'huile minérale qui présente le risque d'oxydation incendie ;
- L'huile lourde (synthétique) employé dans les transformateurs et les disjoncteurs de puissance.

I.1.3. Les isolants gazeux

Généralement les isolants gazeux sont utilisés dans les chambres de coupure de haute puissance. Les plus utilisés sont :

- L'air est le plus simple isolant gazeux ;
- L'hexafluorure de soufre (SF6) : c'est un gaz lourd et non toxique. Il est utilisé dans les disjoncteurs de haute tension.

I.2. Matériaux conducteurs

La résistance des matériaux est exprimée par la même relation que le paragraphe précédent :

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

Ils sont caractérisés par sa faible résistivité, qui dépend du métal utilisé et qui est de l'ordre de $10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$.

Le cuivre et l'aluminium sont les plus employés pour la fabrication des câbles et des appareils électriques. L'argent présente une bonne conductivité, il est moins utilisé est plus coûteux, généralement il est utilisé pour revêtement de certains contacts afin d'éviter toutes sortes d'oxydation.

I.2.1. Le cuivre et ses alliages

Le cuivre est caractérisé par sa faible résistivité $\rho = 1,72 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$, il est classé parmi les bons conducteurs électriques utilisés pour les câbles et les conducteurs de faible perte fer.

On distingue les alliages suivants :

- Cuivre (Cu) pur : utilisation : câbles, barres, bobinages et collecteurs ...;
- Le laiton est un alliage de cuivre (Cu) et de zinc (Zn), sa résistivité $\rho = 6,4 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$
- Le bronze est un alliage de cuivre (Cu), d'aluminium (Al) et de plomb (Pb), sa résistivité $\rho = 15 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$.

I.2.2. Aluminium et ses alliages

L'aluminium est compté parmi les bons conducteurs $\rho = 2,8 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$, mais il est caractérisé par sa souplesse et sa flexibilité. C'est pour cette raison qu'on cherche à le durcir par un traitement thermique.

On distingue les alliages suivants :

- Aluminium (Al) pur : il est conçu pour la fabrication des cages de moteurs asynchrones à rotor en court-circuit, et appareillages... ;
- Aluminium (Al) plus cuivre (Cu) : ils servent à la fabrication des enroulements des machines tournantes, ainsi pour les câbles nus... ;
- Aluminium (Al) plus Magnésium (Mg) et Silicium (Si) : On les utilise pour la fabrication des disjoncteurs et des carcasses des moteurs.

I.2.3. Argent et ses alliages

- Argent pur $\rho = 1,59 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{ cm}]$: utilisé pour les contacts inoxydables ;
- Argent (Ag) plus Cadmium (Cd) : présente une faible résistance de contact.

I.2.4. Matériaux pour fusibles

Pour assurer la sécurité des personnes, on utilise des matériaux de faible résistivité et présente une faible température de fusion.

- L'argent (Ag) pour les fusibles à haute tension ;
- L'argent (Ag) plus le plomb (Pb) pour les fusibles basse tension ;
- L'aluminium (Al) pour les fusibles basse tension et faible calibre.

I.3. Matériaux magnétiques

Les matériaux magnétiques sont très employés dans les circuits magnétiques des machines, qui assurent une transformation de l'énergie électrique ou mécanique.

Ces matériaux possèdent une courbe d'aimantation de l'induction magnétique (B) en fonction du champ magnétique (H), suivant la relation : $B = \mu_a H$

Où $\mu_a = \mu_0 \mu_r$: la perméabilité absolue des matériaux

μ_0 : la perméabilité à vide $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$

μ_r : la perméabilité relative dépend du matériau

I.3.1. Matériaux pour champ à induction constante

On utilise fer dur pour la fabrication des pôles inducteurs et des électro-aimants à courant continu dont la perméabilité relative est de $\mu_r = 10^4$.

I.3.2. Matériaux pour champ à induction variable

Les transformateurs, ce sont des machines de transformation d'énergie en une énergie électrique conservatrice de puissance, ce qui nécessite un matériau de faible perte fer :

- pour les fréquences de 50 Hz; on utilise les alliages de fer (Fe) et de silicium (Si).
- pour les hautes fréquences $f \gg 50\text{Hz}$; on utilise les alliages métalliques comme le fer (Fe), le Nickel (Ni) et le molybdène (Mo) ou le céramique (Mn Fe₂ O₃)

I.3.3. Matériaux pour aimants permanents

On utilise des matériaux durs et indéformables pour les hauts parleurs en aluminium (Al), le Nickel (Ni) et le cobalt (Co); et pour les moteurs d'horlogerie le platine (Pt) et le cobalt (Co).

II. Appareillage électrique industriel

Un appareillage électrique est un ensemble de dispositifs de commande, de protection et de sécurité, capable de contrôler l'énergie électrique mise à la disposition des industriels ou des particuliers.

Le choix approprié lors de l'implantation d'un appareil est déterminé selon :

- La nature de courant ;
- La fonction d'un appareil électrique ;
- La tension de réseau : c'est la tension maximale d'utilisation ;
- Le courant nominal : c'est le calibre de l'appareil qui correspond au courant permanent maximal d'utilisation ;
- Le pouvoir de coupure : valeur du courant de court-circuit qu'un appareil est capable d'interrompre.

L'appareillage électrique est classé selon les fonctions à assurer.

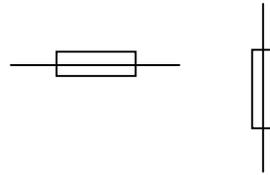
II.1. Les fusibles

II.1.1. Définition

Le principe de la protection par fusible consiste à introduire dans le circuit à protéger un conducteur calibré qui en cas de surcharge, s'échauffera par effet Joule jusqu'à atteindre sa température de fusion.

II.1.2. Symbole

Fig.4.1. Symbole d'un fusible

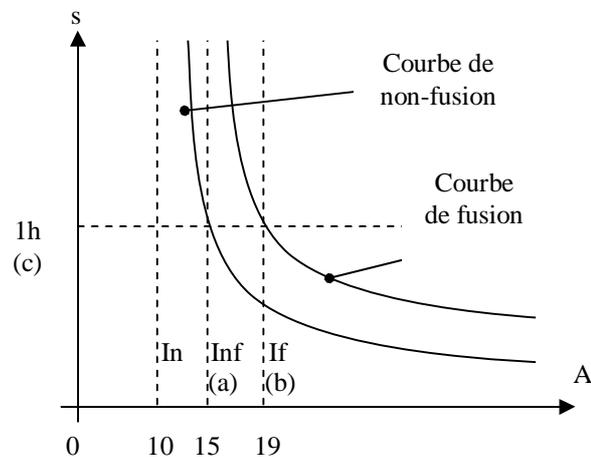


II.1.3. Caractéristiques des fusibles

Ils sont caractérisés par :

- L'intensité nominale (I_n) : c'est le passage du courant à travers sans provoquer la fusion du conducteur fusible ;
- La tension nominale (U_n) : c'est la tension maximale d'utilisation du fusible, généralement 250V ou 500V ;
- Pouvoir de coupure (P_{dc}) : c'est le courant de court-circuit maximal qui peut le supporter sans danger. Exemple : le type HPC (haut pouvoir de coupure), $HPC > 10\text{KA}$;
- Courant de non fusion (I_{nf}) : c'est la valeur spécifiée du courant qui peut être supportée par le fusible sans fondre pendant le temps spécifié (a) ;
- Courant de fusion (I_f) : c'est la valeur spécifiée du courant qui provoque la fusion avant la fin du temps spécifié (b).

Fig.4.2. Courbes de temps-courant



II.1.4. Classification

On distingue quatre classes de fusibles selon le récepteur associé :

- Classe gG (gL – gI) et gF : Ce sont des fusibles associés à des récepteurs à caractère résistif, tel que le calibre choisi $I < 1,1 I_n$;
- Classe gT : ils ont les mêmes caractéristiques que celui de la classe gF, mais plus rapide ;

- c. Classe aM (accompagnement moteur) : Ils sont utilisés pour protéger des moteurs dont le courant de démarrage est de six fois plus que le courant nominal, le calibre choisi $I < 6 I_n$.

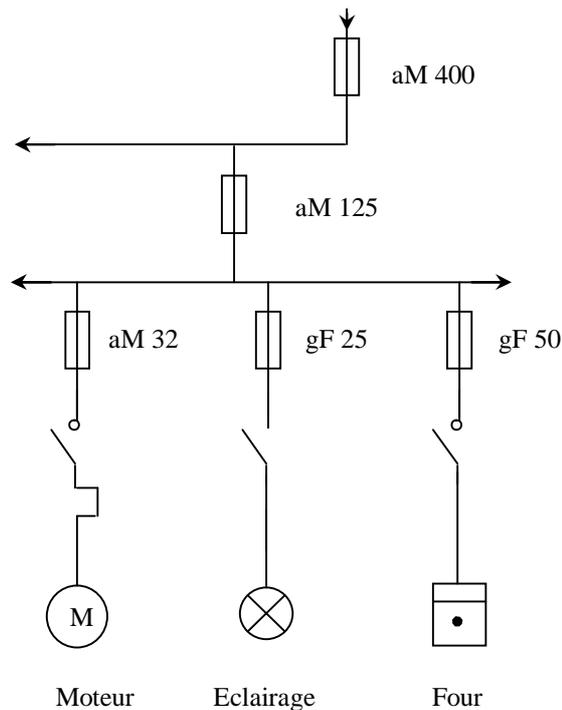
II.1.5. Sélectivité

La sélectivité consiste à choisir le type du calibre du dispositif de protection pour assurer la protection de la partie du circuit en défaut.

La sélectivité entre les fusibles s'obtiendra en tenant compte :

- du type d'appareil électrique à protéger : moteur, four, éclairage...;
- des caractéristiques I_n , I_{nf} , I_f et t ;
- de la série du fusible aM, gF ou gG ;
- de l'emplacement en amont ou en aval des fusibles dans le circuit.

Fig.4.3. Sélectivité ampèremétrique



II.2. Les sectionneurs

II.2.1. Définition

Ils sont destinés à établir ou à interrompre la continuité d'un circuit électrique à vide ou à l'isoler d'autres circuits. Alors, les sectionneurs ne possèdent aucun pouvoir de coupure, ils ne sont capables de couper que des courants très faibles.

Pour assurer la protection contre les coupes circuits, on utilise des cartouches fusibles.

II.2.2. Symbole

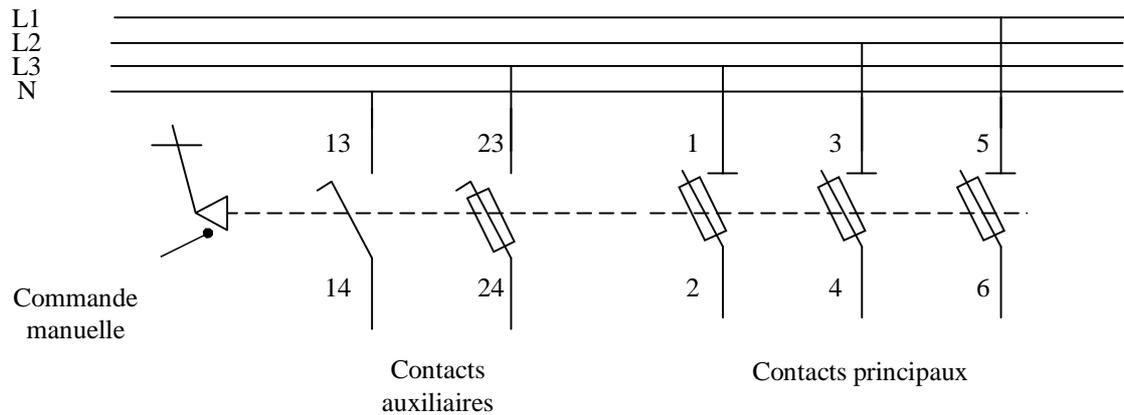


Fig.4.4. Sectionneur porte fusible à trois pôles

II.2.3. Caractéristiques des sectionneurs

Ils sont caractérisés par :

- a. l'intensité nominale (I_n) : c'est le calibre du courant maximal d'utilisation ;
- b. la tension nominale (U_n) : c'est la tension d'utilisation maximale ;
- c. la commande : les courants manœuvrés par les sectionneurs sont très importants, d'où l'utilité d'un verrouilleur manuel pour éviter un ouverture accidentel du sectionneur.

II.3. Les contacteurs

II.3.1. Définition

Ce sont des appareils de commande, doués d'un pouvoir de coupure, qui permettent d'établir ou d'interrompre un circuit en charge.

Par un bouton poussoir ou par télécommande, qu'on peut fonctionner ou interrompre un fonctionnement d'une installation industrielle.

II.3.2. Symbole

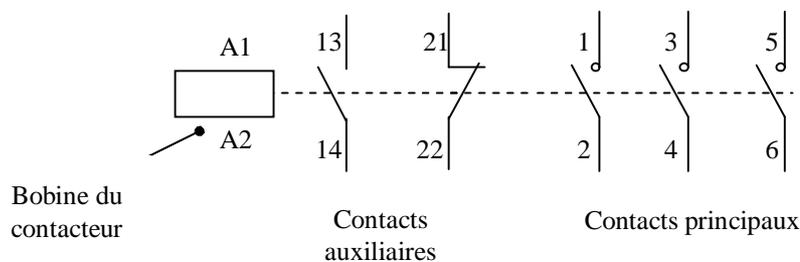


Fig.4.5. Symbole d'un contacteur

II.3.3. Caractéristiques des contacteurs

Ils sont caractérisés par :

- a. la tension nominale (U_n) : c'est la tension maximale d'utilisation ;
- b. l'intensité nominale (I_n) : c'est le calibre de l'appareil qui correspond au courant maximal d'utilisation ;
- c. le pouvoir de coupure (P_{dc}): c'est la valeur du courant maximal qui peut le couper ;
- d. la durée de vie : c'est le nombre de manœuvres maximale assuré ;
- e. le nombre de pôles : selon le type d'installation et le régime de neutre ;
- f. la catégorie d'emploi : chauffage, distribution tripolaire, machines à outils... (les contacteurs, telle que la télémechanique, classe les catégories d'emploi par des symboles :
AC1 : récepteurs résistifs ;
AC2 : moteurs à bagues ;
AC3 : moteurs à cage ;
AC4 : moteurs à freinage par contre courant.
- g. la nature du circuit de commande et la fréquence du réseau de distribution.

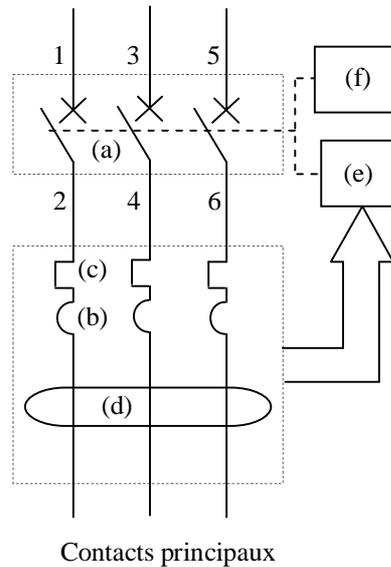
II.4. Les disjoncteurs

II.4.1. Définition

Ce sont des appareils qui coupent le circuit lorsque le courant dépasse largement le courant nominal, ils sont doués d'un pouvoir de coupure.

II.4.2. Symboles et constitution

Fig.4.6. Disjoncteur tripolaire



- (a) : Organes d'établissement et d'interruption du courant
- (b) : Dispositif de contrôle magnétique I_{rm}
- (c) : Dispositif de contrôle thermique I_{rth}
- (d) : Dispositif de contrôle du courant de défaut ΔI
- (e) : Dispositif de commande automatique asservi directement
- (f) : Dispositif de commande manuelle directe

II.4.3. Caractéristiques

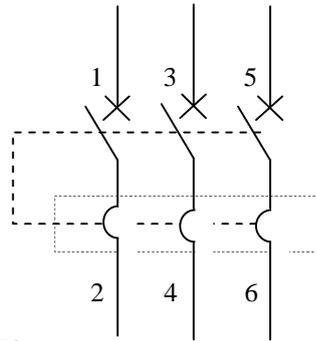
Ils sont caractérisés par :

- a.** la tension nominale (U_n) : c'est la tension maximale d'utilisation ;
- b.** l'intensité nominale (I_n) : c'est le calibre de courant maximal d'utilisation ;
- c.** le pouvoir de coupure (P_{dc}) : c'est la valeur du courant de court circuit maximal qui peut le couper ;
- d.** le nombre de pôles : selon le type d'installation et le régime de neutre, on choisit un disjoncteur unipolaire, bipolaire ou tripolaire ;
- e.** les types de protection à assurer : on distingue trois types de déclenchement selon le courant de court circuit (I_{rm}), le courant de surcharge (I_{rth}) et le courant de défaut (ΔI).

II.4.3.1. Disjoncteur à déclenchement magnétique (I_{rm})

II.4.3.1.1. Symbole

Fig.4.7. Disjoncteur magnétique



II.4.3.1.2. Réglage magnétique

Le disjoncteur magnétique admet un dispositif de déclenchement contre les courants de surcharge et jusqu'à les intensités de court circuit.

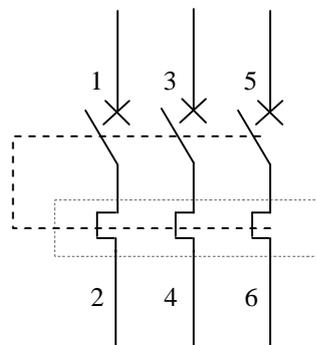
Le courant de réglage magnétique varie de 5 à 10 fois le courant nominal du récepteur,
 $5I_n < I_{rm} < 10 I_n$.

Le temps de déclenchement varie de $1ms < t_d < 5ms$.

II.4.3.2. Disjoncteur à déclenchement thermique (I_{rth})

II.4.3.2.1. Symbole

Fig.4.8. Disjoncteur thermique



II.4.3.2.2. Réglage thermique

Le disjoncteur est doté d'un dispositif de contrôle des faibles surcharges, réglable de 0,7 à 1 fois le courant nominal.

Alors, un déclencheur magnétothermique est l'association des deux organes "thermique et magnétique", assurant à la fois un contrôle de faible et forte surcharge jusqu'à le courant court circuit,

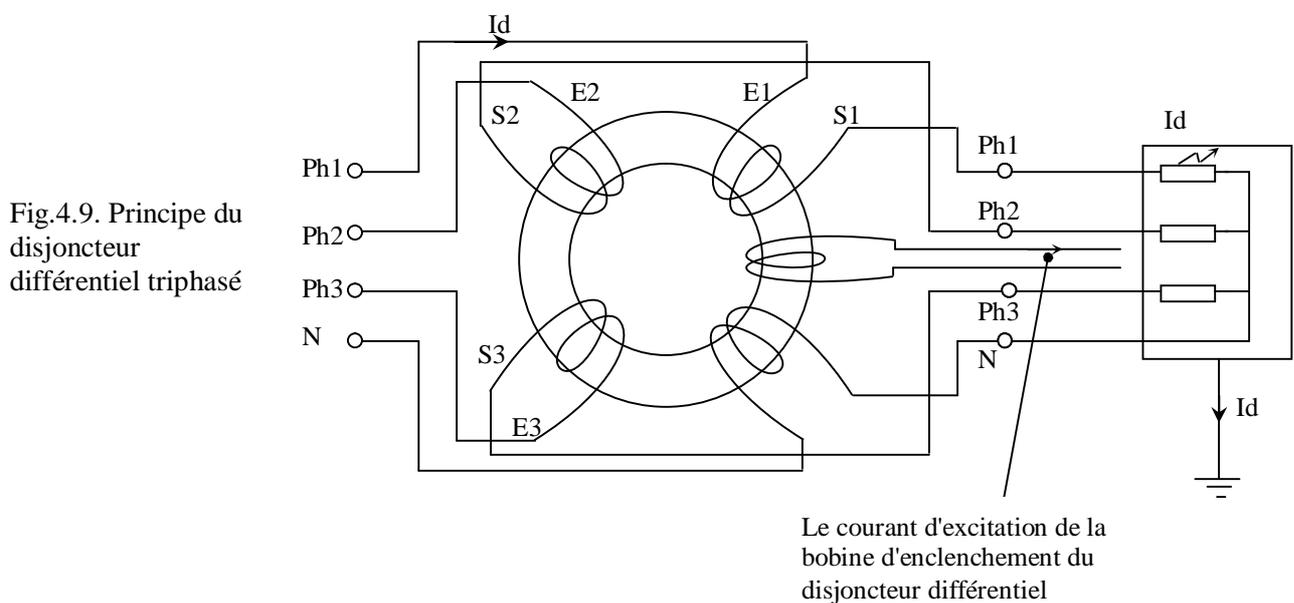
$$\text{où } 5I_n < I_{rm} < 10 I_n \text{ et } 0,7I_n < I_{rth} < 1 I_n \Rightarrow 6I_{rth} < I_{rm} < 12 I_{rth}$$

II.4.3.3. Disjoncteur différentiel (ΔI)

II.4.3.3.1. Fonctionnement

Il se comporte d'un circuit magnétique en forme de tore supporte des bobines traversées par les courants dans chaque phase. En fonctionnement normal, l'intensité est identique dans chaque conducteur : les flux produits par les bobines s'annulent.

Si un courant de fuite apparaît, il y a différence d'intensité dans les phases et un flux magnétique prend naissance dans ce tore. Ce flux crée un courant induit dans la bobine du relais qui agit sur un organe de coupure voir (fig.4.9).



II.4.3.3.2. Caractéristiques d'un disjoncteur différentiel

Un disjoncteur différentiel est essentiellement caractérisé par sa sensibilité, qui dépend du lieu d'utilisation "domestique, industriel...", et de nombre des pôles "mono polaire, bipolaire ou tripolaire".

Les classes les plus courants sont :

- haute sensibilité : 6, 12,30 mA à usage domestique ;
- moyenne sensibilité : 100, 300, 500 mA à usage industriel ;

On doit tenir compte aussi des paramètres suivants :

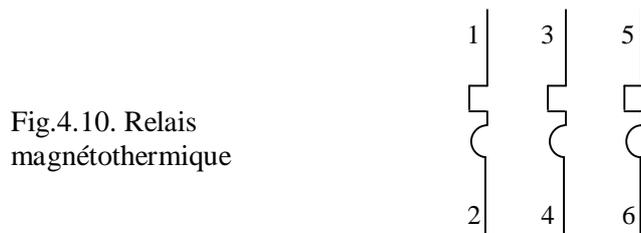
- a. tension nominale (U_n) : c'est la tension maximale d'utilisation ;
- b. intensité nominale (I_n) : c'est le calibre de courant maximal d'utilisation ;
- c. pouvoir de coupure (P_{dc}) : c'est la valeur du courant de court circuit maximal qui peut le couper ;

II.5. Les relais

II.5.1. Définition

Les relais sont des appareils qui contrôlent la valeur d'un paramètre électrique. Ils provoquent l'ouverture ou la fermeture du circuit de puissance et de commande lorsque le courant dépasse la limite affectée.

II.5.2. Symbole



II.5.3. Relais thermique

Il est basé sur le principe de dilatation d'un bilame de métaux de coefficient de dilatation différente.

Ce type de relais est utilisé pour la protection contre les faibles surcharges, tel que le courant de réglage thermique est de $0,7I_n < I_{th} < 1I_n$.

II.5.4. Relais magnétique

Ce type de relais est utilisé pour la protection contre les courts-circuits, tel que le courant de réglage magnétique de $6I_n < I_m < 10I_n$.