

3.6

## Sécurité électrique

# 3.6 Sécurité électrique

## Classification des risques électriques

30 % des incendies seraient d'origine électrique.

Les accidents d'origine électrique sont dix fois plus souvent mortels que les accidents ordinaires.

90 morts par an en France, et plusieurs milliers de blessés (électrocution 15 % / électrisation 36 % / brûlures 49 %).

	Installations	Personnes
Risques	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les surintensités</li><li>• Les court-circuits</li><li>• Les surtensions</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les contacts directs avec des conducteurs sous tension</li><li>• Les contacts indirects dus à un défaut d'isolation</li></ul>
Conséquences	<ul style="list-style-type: none"><li>• Détérioration des équipements et des locaux</li><li>• Incendies</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Blessures,</li><li>• Brûlures</li><li>• Électrisation</li><li>• Électrocution</li></ul>

3.7

## Protection des personnes

# 3.7 Protection des personnes

## Risques électriques aux quels sont soumis les personnes

Définition

### Contact direct

Contact avec des conducteurs ou des parties conductrices sous tension.

- Contact Phase / Phase
- Contact Phase / Terre



### Contact indirect

Contact avec une partie métallique d'un appareil présentant un défaut d'isolement.

- Contact Phase / Terre



Protection physique

Isolation Classe II



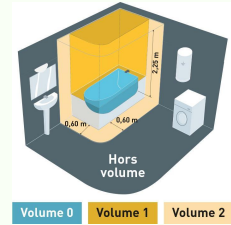
Ecrans / Obstacles



Isolation Classe II



Volume de protection



Protection électrique

disjoncteur différentiel

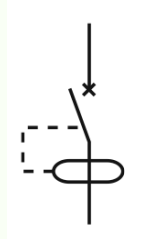
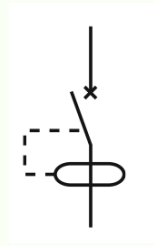


Schéma de liaison à la terre  
Très Basse Tension de Sécurité  
Disjoncteur différentiel



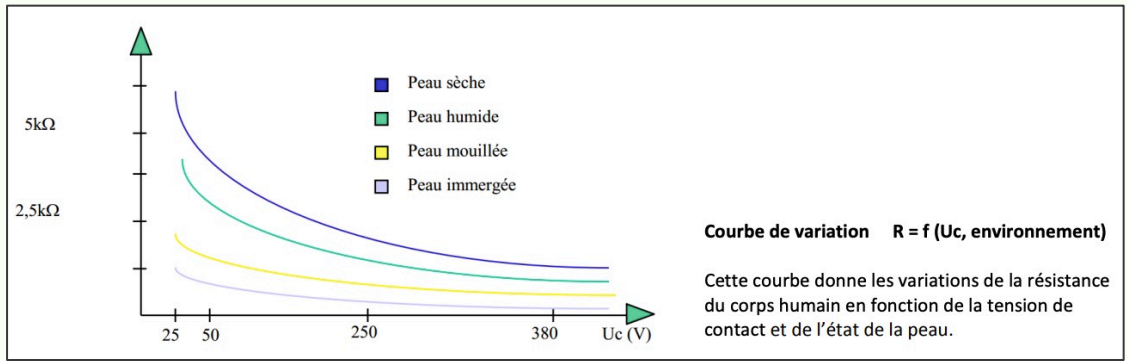
# 3.7 Protection des personnes

## Effets du passage du courant sur le corps humain

Le courant électrique agit sur le corps humain. Lorsqu'il est soumis à une tension, celui-ci réagit comme un récepteur classique possédant une résistance interne donnée.

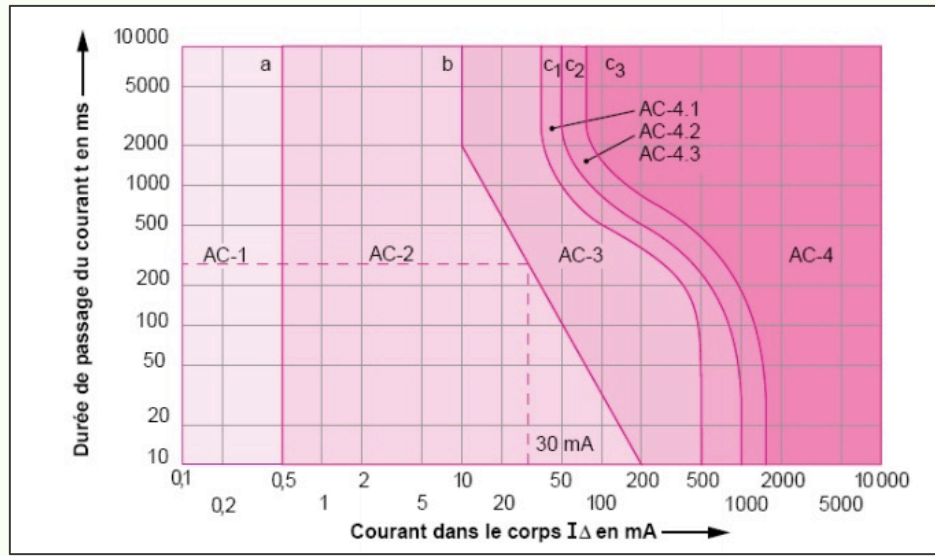
Le courant électrique qui le parcourt engendre alors trois risques graves :

- **Le blocage musculaire.** C'est la tétanisation : le courant maintient contractés les muscles traversés. Au niveau de la cage thoracique, le phénomène peut entraîner un blocage respiratoire.
- **La fibrillation ventriculaire.** L'action du courant désorganise complètement le rythme cardiaque.
- **Les effets thermiques.** Ils provoquent des lésions tissulaires plus ou moins graves, jusqu'à des brûlures profondes en fonction de l'importance du courant.



Ces risques dépendent de deux facteurs

- Le temps de passage du courant à travers le corps.
- L'intensité du courant.



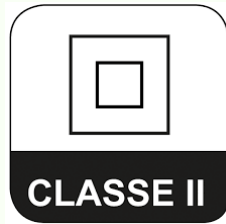
Zone	Effet physiologique
AC-1	Habituellement aucune réaction
AC-2	Habituellement aucun effet physiologique dangereux
AC-3	Habituellement aucun dommage organique. Contractions musculaires Perturbations réversibles du cœur, arrêt temporaires
AC-4	Effets physiologiques irréversibles Arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves.

# 3.7 Protection des personnes

## Moyens de protections – contact direct

Empêcher le contact entre une partie du corps ou un outil et des pièces sous tension

### Isolation



L'appareil possède une double enveloppe isolante : tout défaut entre les parties actives et les parties accessibles étant rendu impossible.

### Ecrans



### Mesures d'éloignement



# 3.7 Protection des personnes

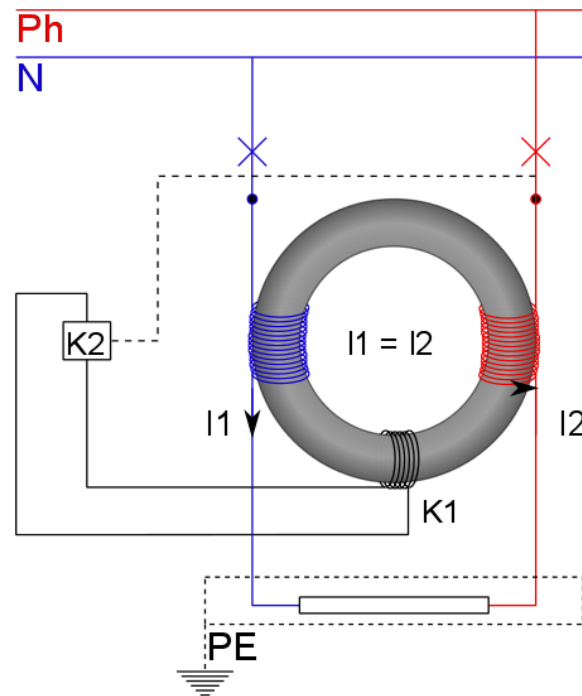
## Moyens de protections – contact indirect

### Le déclencheur différentiel

Deux bobines identiques mais enroulées en sens contraire sont traversées par le courant qui alimente le récepteur. Une troisième bobine (K2) est raccordée à un déclencheur magnétique.

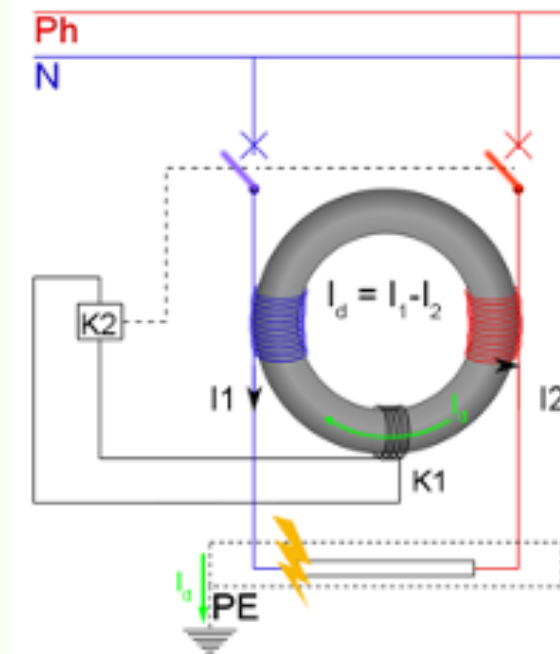
#### Absence de défaut

Les courants  $I_1$  et  $I_2$  sont identiques. Ils induisent des flux égaux mais de sens contraires dans le noyau magnétique. Il n'y a pas d'induction et la bobine K1 n'est traversée par aucun courant.



#### Défaut d'isolement

En cas de contact avec un défaut d'isolement, un courant  $I_d$  traverse le récepteur pour aller à la terre. Les courants  $I_1$  et  $I_2$  sont donc différents ( $I_2 = I_1 - I_d$ ). Il en résulte un flux magnétique proportionnel à  $I_d$  qui traverse K1 et actionne le déclencheur K2 qui ouvre le disjoncteur.



DDR  
Disjoncteur  
à déclencheur  
différentiel  
Sensibilité 30 mA

# 3.7 Protection des personnes

## Moyens de protections – contact indirect

### Les schémas de liaison à la terre (SLT)

Dans une installation électrique, pour éviter que deux équipements puissent se trouver à des potentiels différents et présentent potentiellement un risque de contact indirect, il est nécessaire d'avoir un potentiel de référence auquel sont connectées toutes les **masses** métalliques.

Ce potentiel de référence est en général celui du sol, communément appelé **prise de terre**.

Il existe plusieurs façons de connecter les équipement à cette prise de terre par **le conducteur PE** (Protection électrique –vert-jaune-).

Chaque mode de raccordement caractérise un **Schéma de Liaison à la Terre** ou **SLT** codifié de la façon suivant

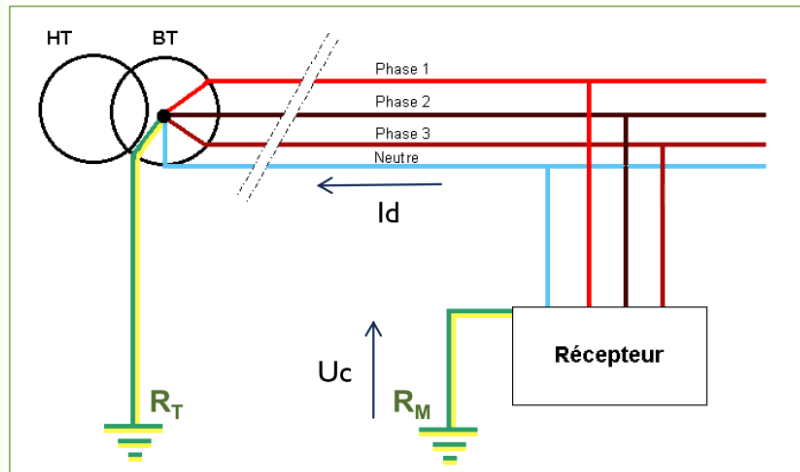
1 <sup>ère</sup> Lettre : Neutre du Transformateur		2 <sup>ème</sup> Lettre : masse des appareil		SLT
Raccordé à la terre	T	Raccordé à la terre	T	TT
Raccordé à la terre	T	Raccordé au neutre	N	TN
Isolé de la terre	I	Raccordé à la terre	T	IT



# 3.7 Protection des personnes

## Moyens de protections – contact indirect

### Schéma TT



Le schéma se caractérise par le fait que le neutre du transformateur et la masse du récepteur sont mis à la terre en deux points différents.

La résistance de la terre en ces deux points n'est pas la même ( $R_T$  et  $R_M$ ).

En cas de défaut d'isolement, il en résulte un courant de défaut et une tension de défaut au niveau de l'appareil :

- $I_D = U / (R_T + R_M)$
- $U_C = R_M \times I_D$

#### Exemple :

$$R_T = 1.5 \Omega / R_M = 10 \Omega / U = 230 \text{ V}$$

$$\Rightarrow I_D = 20 \text{ A}$$

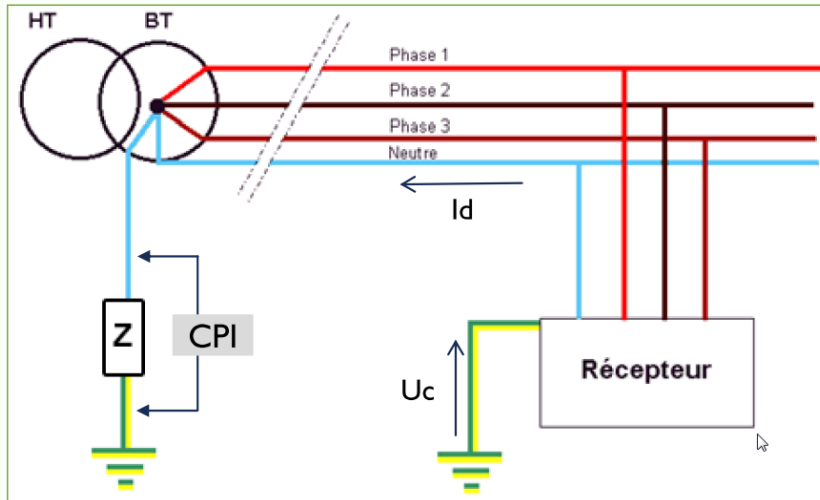
$\Rightarrow$  Tension de contact  $U_C = 200 \text{ V}$  (doit être éliminé en moins de 200 ms pour rester dans la zone 3)

Un disjoncteur magnétothermique standard ne peut pas éliminer un défaut d'aussi faible intensité dans un temps aussi bref : le recours aux disjoncteurs différentiels est obligatoire

# 3.7 Protection des personnes

## Moyens de protections – contact indirect

### Schéma IT



Le schéma se caractérise par le fait que le neutre du transformateur est mis à la terre au travers d'une résistance élevée ( $> 1000 \Omega$ ) par rapport à la résistance de la terre.

En cas de défaut d'isolement, il en résulte un courant de défaut et une tension de défaut au niveau de l'appareil :

- $I_D = U / Z$
- $U_C = R_p$  (résistance du défaut côté récepteur)  $\times I_D$

Exemple :

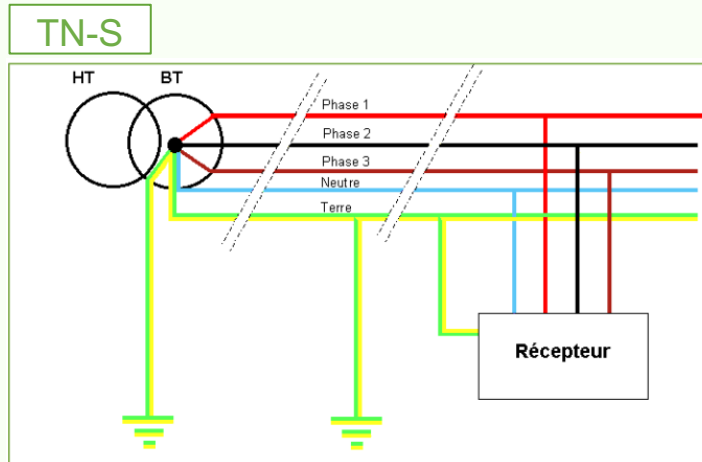
- ⇒  $Z = 3.500 \Omega / R_p = 30 \Omega / U = 230 V$
- ⇒  $I_D = U / (Z + R_p) = 230 / (3500 + 30) = 65 \text{ mA}$
- ⇒  $U_C \approx 2 V$  ( $\ll 50 V$ )
- ⇒ La tension de contact ne présente pas de danger et il n'est pas nécessaire de déclencher.
- ⇒ L'utilisation de différentiels n'est pas impérative

Du fait que le régime IT permette d'éviter un déclenchement au premier défaut d'isolement ce qui permet de continuer à faire fonctionner l'équipement concerné, il est particulièrement adapté aux installations dont la continuité de service est vitale (salles d'opération par exemple). Il requiert en contre partie de surveiller en permanence l'isolation des installation et de traiter les défaut au plus vite.

# 3.7 Protection des personnes

## Moyens de protections – contact indirect

### Schéma TN



Dans ce schéma, un défaut d'isolement se boucle au travers du conducteur de protection (PE) de résistance  $R_{PE}$  et d'un conducteur de phase (PH) de résistance  $R_{PH}$  (on suppose  $R_{PH} = R_{PE}$ ) et s'assimile à un court-circuit phase-neutre.

En cas de défaut d'isolement, il en résulte un courant de défaut et une tension de défaut au niveau de l'appareil :

$$I_D = 0.8 \times U / (R_{PE} + R_{PH})$$

(On considère qu'un court circuit provoque une chute de tension de 20%)

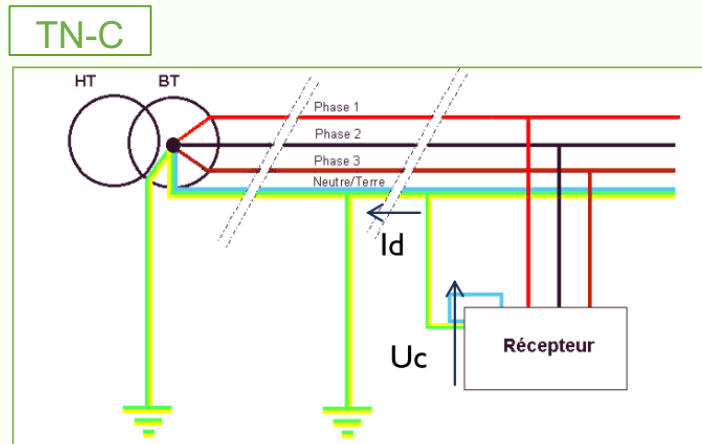
$$U_C = R_{PE} \times I_D = 0.8 \times U \times R_{PE} / (R_{PE} + R_{PH}) = 0.8 \times U / 2$$

Exemple :

$$U = 230 \text{ V} \Rightarrow U_C = 92 \text{ V} (> 50 \text{ V donc dangereuse} \Rightarrow \text{coupure obligatoire})$$

$$I_D \approx \text{quelques kA} (R_{PE} / R_{PH} \text{ sont très faibles})$$

En théorie, l'élimination des défauts d'isolement peut se faire par un disjoncteur magnétique standard sous réserve qu'en tout point de l'installation,  $I_D$  soit supérieur au courant de déclenchement du disjoncteur ce qui n'est jamais garanti. L'utilisation de DDR est conseillée



# 3.7 Protection des personnes

## Moyens de protections – contact indirect

### Choix du SLT et mise en œuvre des protections

Le choix du SLT dépend principalement

- Des conditions d'exploitation
- De la qualification de l'équipe de maintenance (régime IT)
- D'enjeux économiques (recours aux DDR entre autres)

Il peut également être imposé par la réglementation

- TT pour les branchements BT au réseau public (particuliers, petits commerces)
- IT (Applications médicale régies par la norme C15-211)

Plusieurs régimes de neutre peuvent coexister sur une même installation.

La continuité de service est-elle impérative ?	
Oui	Non
IT	TN / TT
Installations de sécurité Process industriel Applications médicales	Choix en fonction de l'installation

Type d'installation	Schéma SLT	
	Conseillé	Possible
Réseau étendu avec mauvaise prise de terre	TT	TN-S
Réseau soumis à des risques de foudroiement	TN	TT
Réseau de distribution aérien	TT	TN
Locaux à risque d'incendie	IT / TT	TN-S
Chantiers / Installations provisoires	TT	TN-S
Machines Outils / Equipements Electroniques	TN-S	TN-C

3.8

## Protections des installations

# 3.8 Protections des installations

## Classification des risques électriques

	Surintensités	Surtensions	Court-circuits
Origines	<p>Élévation prolongée du courant électrique dans une installation.</p> <p>Trop de consommateurs sur un même circuit (prises multiples en cascade par exemple).</p>	<p>Élévation brutale de la tension dans un circuit électrique.</p> <p>Phénomènes de foudre, tempêtes solaires (EMC) ou défauts de type court-circuit.</p>	<p>Contact entre deux conducteurs sous tension ou entre un conducteur et une masse selon le schéma de liaison à la terre.</p>
effets	<p>Échauffement excessif dans les conducteurs.</p> <p>Vieillessement prématuré des isolants.</p> <p>Risques d'incendie.</p> <p>Fatigue prématurée des composants.</p>	<p>Pics d'intensités qui détériorent les lignes électriques ou les transformateurs entraînant parfois des coupures des réseaux de distribution.</p> <p>Dégâts (claquage) importants dans les semi-conducteurs (transistors) des appareils électroniques.</p>	<p>Élévation immédiate et très importante de l'intensité avec une libération importante d'énergie et de chaleur (explosions).</p>
Protections	<p>disjoncteur thermique, fusible</p>	<p>paratonnerres, Para-surtenseurs</p>	<p>Disjoncteur magnétique</p>

# 3.8 Protections des installations

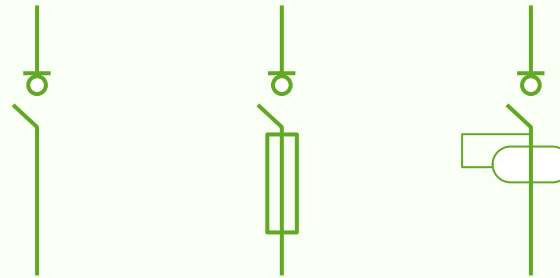
## Les différents équipements de protection

### Fusible



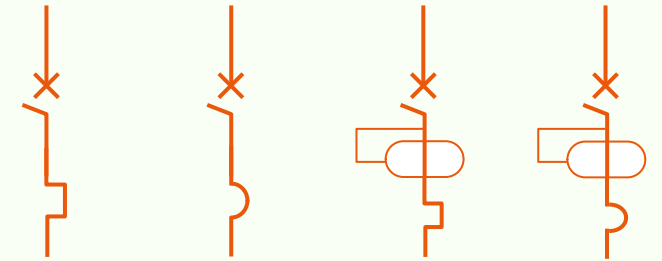
Fonction	:	Eliminer les défaut de type surintensité ou court-circuit
Usage principal	:	Réseaux HT
Avantages	:	Coût Temps de réaction Pouvoir de coupure élevé
Inconvénients	:	Usage unique

### Interrupteur



Fonction	:	Ouvrir un circuit en charge Organe de coupure / Consignation
Usage principal	:	Tous domaines de tension
Avantages	:	Peut éliminer les défauts d'isolement (interrupteur différentiel) à courant nominal.
Inconvénients	:	Pouvoir de coupure limité à son intensité nominale

### Disjoncteur



Disjoncteur Thermique    Disjoncteur Magnétique    Disjoncteur Thermique    Disjoncteur Magnétique

Disjoncteurs simples                      Disjoncteurs différentiels

Fonction	:	Eliminer tous types de défauts
Usage principal	:	Tous domaines de tension
Avantages	:	Polyvalence Réutilisable après élimination du défaut
Inconvénients	:	Coût

# 3.8 Protections des installations

## Le disjoncteur - Généralités

### Caractéristiques principales

Calibre	Valeur de la surintensité admissible	10 - 6000 A
Pouvoir de coupure	Courant de court-circuit maximal admissible	5 - 150 kA
Courbe	Temps d'ouverture sur surintensité	B, C, D



# 3.8 Protections des installations

## Le disjoncteur - Fonctionnement

Le disjoncteur est un appareil de protection qui doit éliminer des défauts électriques caractérisés par une élévation anormale de l'intensité courant circulant dans un circuit.

Il doit disposer de :

1. Un équipement qui mesure le courant
2. Un équipement qui provoque l'ouverture lorsque que le seuil d'intensité est atteint
3. Un mécanisme d'ouverture capable d'interrompre le courant de défaut

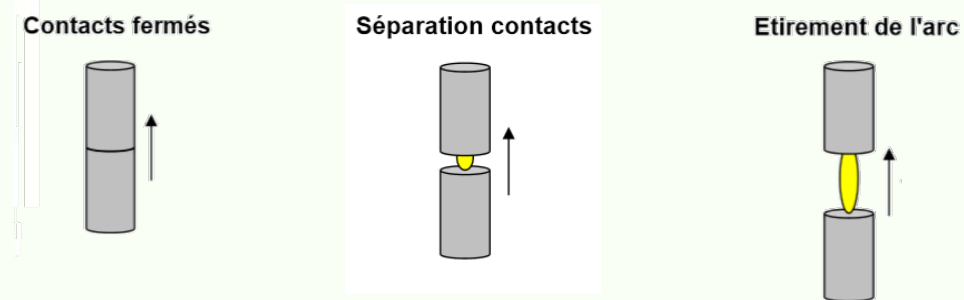


# 3.8 Protections des installations

## Le disjoncteur - Fonctionnement

### Extinction de l'arc électrique :

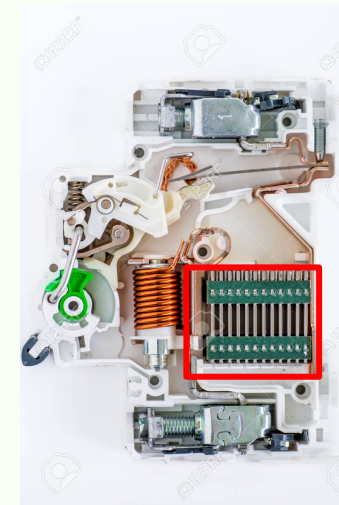
- Lorsque que l'on ouvre un circuit électrique sous tension, il se forme un arc électrique dont l'intensité dépend du courant à interrompre



- S'il n'est pas éliminé rapidement, l'arc électrique :
  - ⇒ Prolonge la circuit du courant de défaut
  - ⇒ Provoque des échauffements qui peuvent endommager le disjoncteur et rendre sa réutilisation impossible

### Il en résulte que :

1. Eteindre rapidement l'arc électrique est la fonction essentielle du disjoncteur
2. Le mécanisme d'ouverture doit être suffisamment puissant pour séparer rapidement les contacts
3. Il est nécessaire de compléter ce mécanisme par une "chambre d'extinction" destinée à accélérer l'extinction de l'arc.






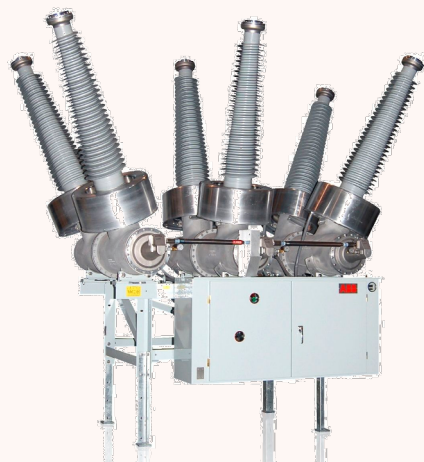
Disjoncteur domestique 16A



Disjoncteur HTB 90 kV

# 3.8 Protections des installations

## Le disjoncteur - Exemples

Caractéristiques	Basse tension		Haute Tension HTA	Haute Tension HTB
	Domestique	Industriel		
Calibre	10 - 63 A	125 - 6300 A	400 A	2500 - 5000 A
Pouvoir de coupure	10 - 15 kA	40 - 150 kA	25 kA	30 - 60 kA
Dimensions	5 x 10 cm	35 cm x 45 cm	L = 1 m x H = 2 m	3 à 5 m
Mesure Déclenchement	Analogique Intégrée	Numérique Relai intégré	Numérique Relai intégré	Numérique Relai extérieur
Exemple				

# 3.8 Protections des installations

## Le disjoncteur - Différents types

Type	Usage	
Thermique	Surintensité	Fonctions combinées
Magnétique	Court-Circuit	
Différentiel	Défaut d'isolement	Module auxiliaire



Dans chaque disjoncteur on trouve :

- Une fonction mesure
- Une fonction déclenchement
- Un mécanisme d'ouverture

Eventuellement complétés par :

- Motorisation
- Contacts de position

# 3.8 Protections des installations

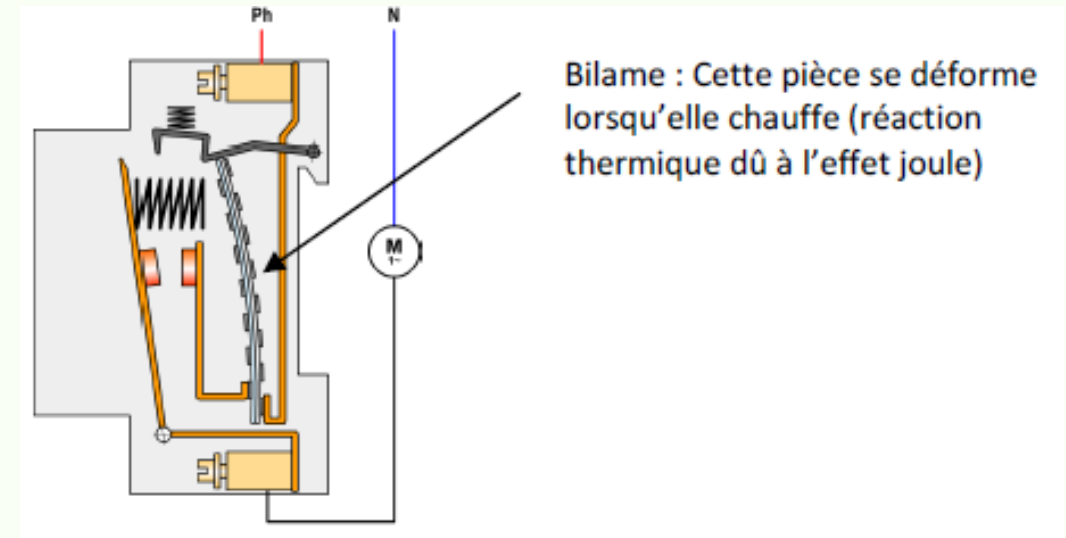
## Le disjoncteur thermique

Fonction :

- ⇒ Eliminer les défauts électriques de type surintensité
- ⇒ Rappel :
  - Intensité modérée (5 à 10 fois l'intensité nominale)
  - Temps d'élimination : quelques secondes

Principe

- ⇒ Utilise la déformation d'un mécanisme sous l'effet de la chaleur produite par le courant



# 3.8 Protections des installations

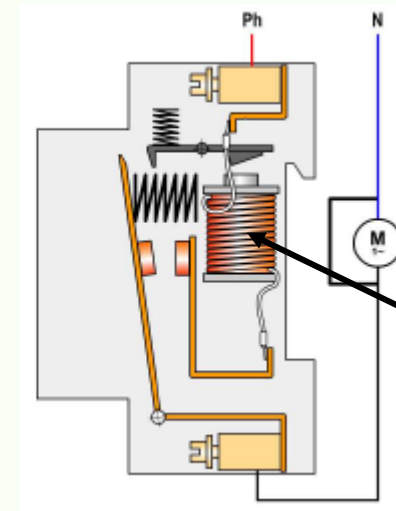
## Le disjoncteur magnétique

Fonction :

- ⇒ Eliminer les défauts électriques de type court-circuit
- ⇒ Rappel :
  - Intensité élevée : plusieurs dizaines de kA
  - Temps d'élimination : quelques millisecondes

Principe

- ⇒ Utilise la variation rapide du courant pour actionner un dispositif déclencheur

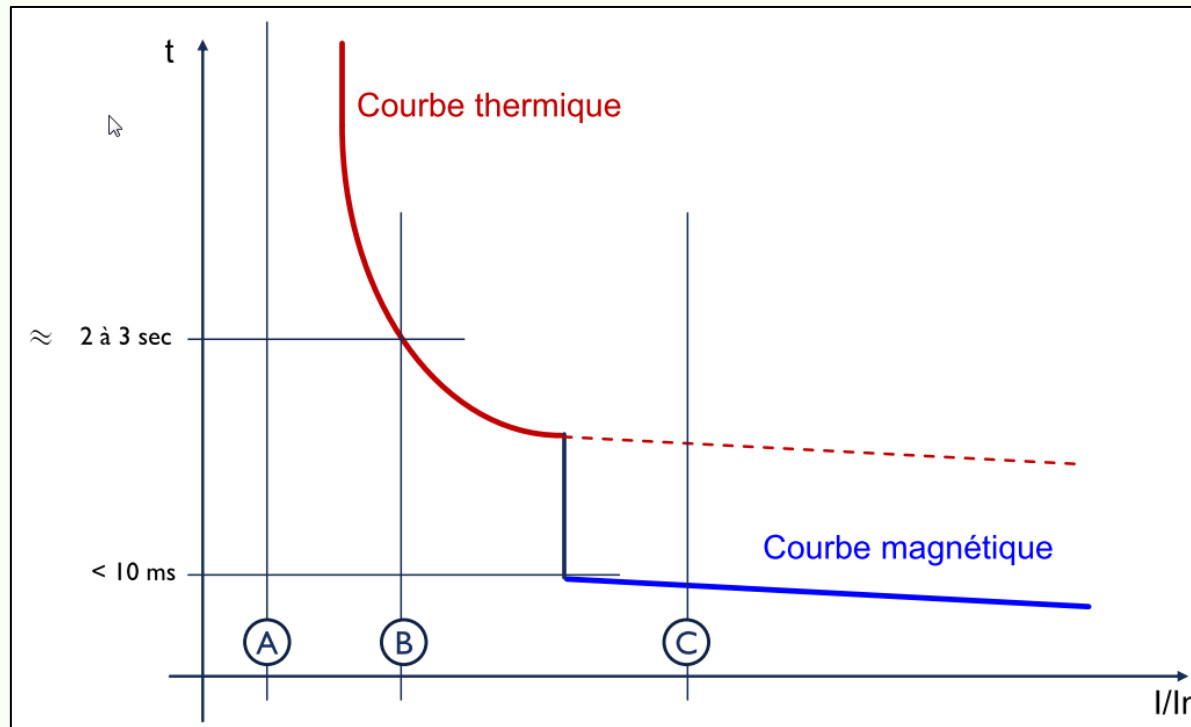


La variation rapide du courant dans la bobine de déclenchement crée un champ magnétique qui actionne le mécanisme d'ouverture

# 3.8 Protections des installations

## Le disjoncteur magnétothermique

### Courbe de déclenchement



- A.  $I/I_n$  est proche de 1 :  
C'est la plage de fonctionnement normale. Le temps d'ouverture est infini : le disjoncteurs reste fermé.
- B.  $I/I_n$  est de l'ordre de 3 à 5  
Cas d'une surintensité : le temps d'ouverture est de quelques secondes.
- C.  $I/I_n$  est supérieur à 10  
Cas d'un court-circuit : le temps d'ouverture est de quelques millisecondes

# 3.8 Protections des installations

## Choix des disjoncteurs

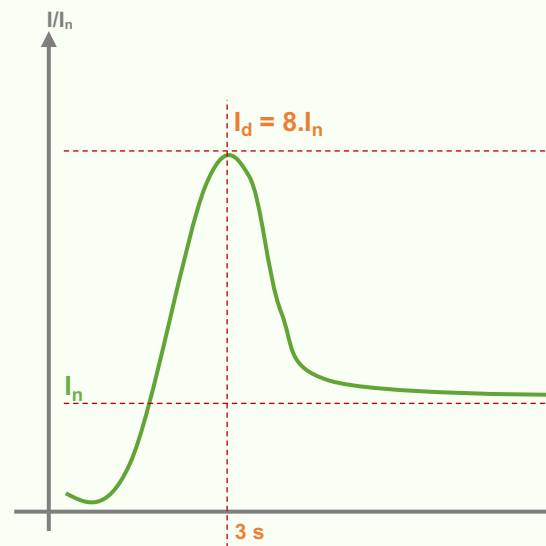
### Sélection de la courbe

#### Contexte :

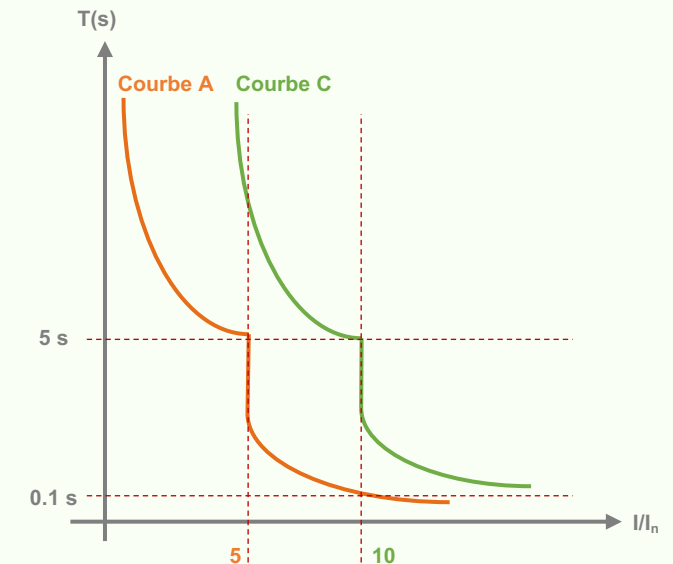
Certains équipements, notamment les moteurs en phase de démarrage, peuvent absorber sur de courtes durées (quelques secondes) des intensités 5 à 10 fois supérieures à l'intensité nominale.

Il faut donc veiller à ce que le disjoncteur ne déclenche pas lors de cette phase qui correspond à une situation normale.

Il existe donc des disjoncteurs qui supportent ce type de surintensités. Le choix se fait par la courbe de déclenchement.



Variation du courant lors du démarrage moteur



Choix du type de disjoncteur (courbe C)



# 3.8 Protections des installations

## Choix des disjoncteurs

### Association de disjoncteurs - Sélectivité

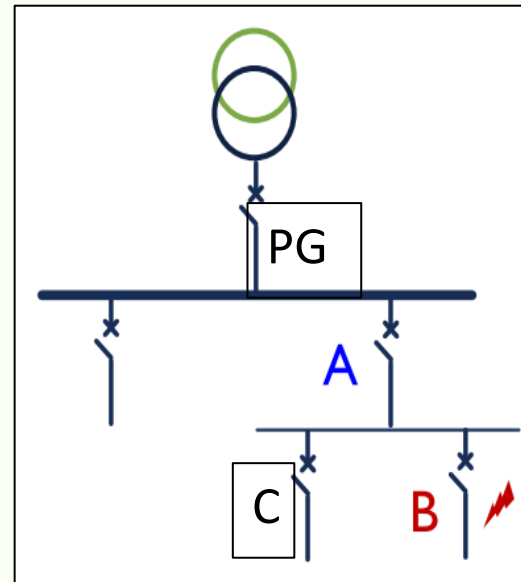
Contexte :

Dans la plupart des installations, les protections sont installées en cascade. Entre le transformateur (source des courants de court-circuit) et l'équipement on peut avoir 2, 3 (voire plus) disjoncteurs successifs.

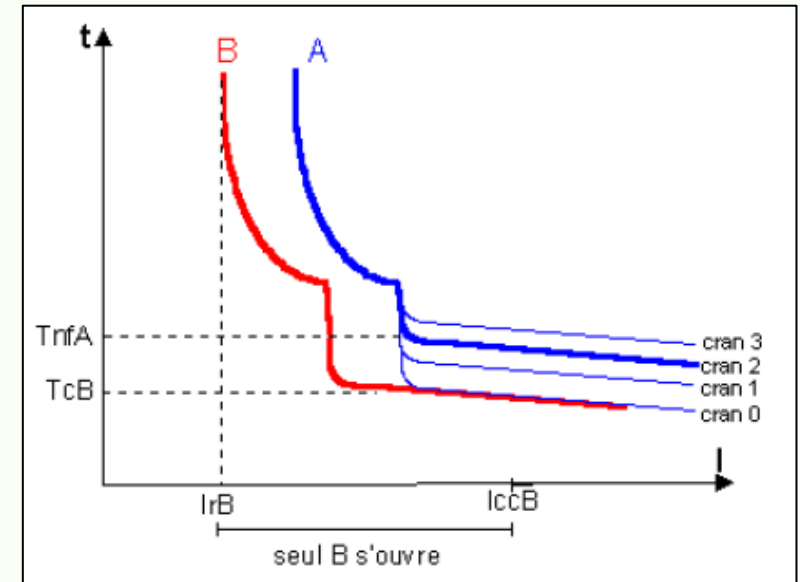
Il faut donc veiller à ce qu'en cas de défaut, seul le disjoncteur situé au plus près du défaut s'ouvre de façon à éviter des coupures de services non concernés par le défaut.

Les fabricants proposent des gammes de disjoncteurs

Il faut également s'assurer que le pouvoir de coupure de B soit suffisant afin de ne pas laisser le défaut remonter sur A



Le défaut en aval de B ne doit pas provoquer l'ouverture du disjoncteur A qui entraînerait une coupure pour C qui n'est pas en défaut



Il existe une plage de valeurs de  $I_{cc}$  dans laquelle seul B s'ouvre. Au-delà d'une valeur seuil les deux disjoncteurs s'ouvrent