

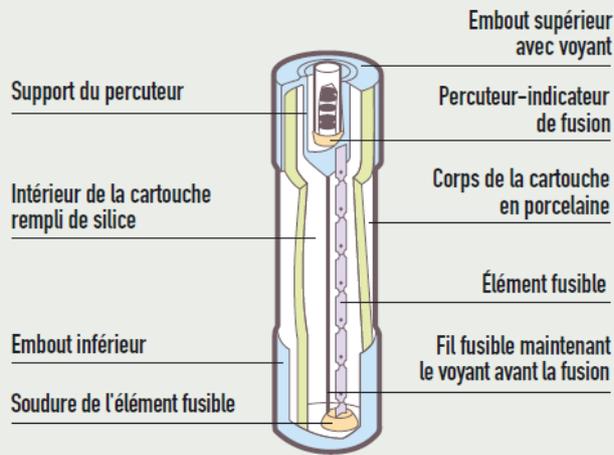
# S8 – CONSTRUCTION ELECTRIQUE

## Appareils de protection électrique



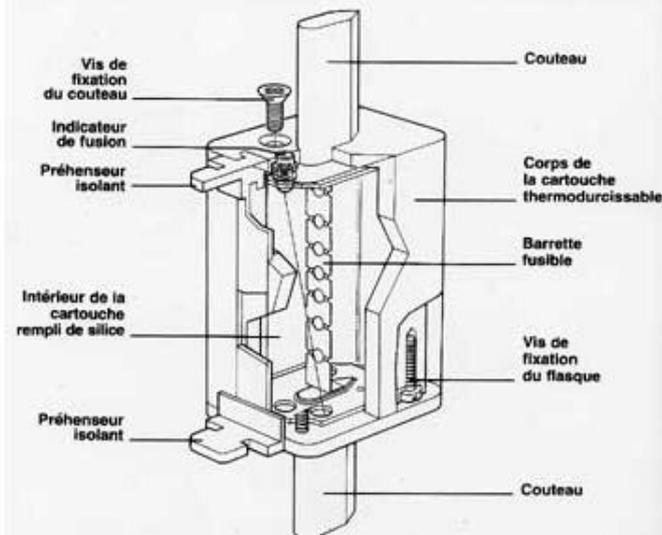
## 1) Les cartouches fusibles

### Structure interne d'un fusible



Taille	Gamme du calibre	Type
8,5 x 31,5	1 - 16 A	gG
10 x 38	0,5 - 25 A	
14 x 51	2 - 50 A	
22 x 58	4 - 125 A	
8,5 x 31,5	1 - 10 A	aM
10 x 38	0,25 - 25 A	
14 x 51	2 - 50 A	
22 x 58	16 - 125 A	
00	25 - 160 A	A couteau gG
0	63 - 200 A	
1	125 - 250 A	
2	200 - 400 A	
3	500 - 630 A	
4	630 - 1250 A	A couteau aM
00	25 - 125 A	
0	63 - 160 A	
1	125 - 250 A	
2	200 - 400 A	
3	500 - 630 A	
4	630 - 1000 A	

### cartouche à couteaux



Les **cartouches gG** (usage général) protègent les circuits contre les faibles et fortes surcharges et, bien sûr, contre les courts-circuits.

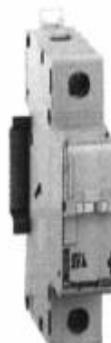
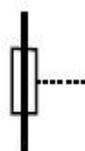
Les **cartouches aM** (accompagnement moteur) protègent contre les fortes surcharges et les courts-circuits, elles sont calculées pour résister à certaines surcharges temporaires (démarrage d'un moteur). Ces cartouches doivent donc être obligatoirement associées à un dispositif de protection thermique contre les faibles surcharges.

Les cartouches **gG** sont marquées en noir, les cartouches **aM** sont marquées en vert. Les cartouches fusibles répondent à la norme CEI 60269-1. Elles existent en plusieurs dimensions.

Il existe également des fusibles à usage domestique, code gF, adaptés aux sections des lignes utilisées dans le cadre de la norme NF C 15-100. Ils sont soumis à la norme NF EN 60127. Le tableau ci-dessous présente les différents types de fusibles :

Taille	Calibre
6,3 x 23	2 - 4 - 6 A
8,5 x 23	2 - 4 - 6 - 10 A
10,3 x 25,8	6 - 10 - 16 A
8,5 x 31,5	0,5 - 20 A
10,3 x 31,5	16 - 20 - 25 A
10,3 x 38	32 A

Symboles :



*Cartouche fusible  
cylindrique*

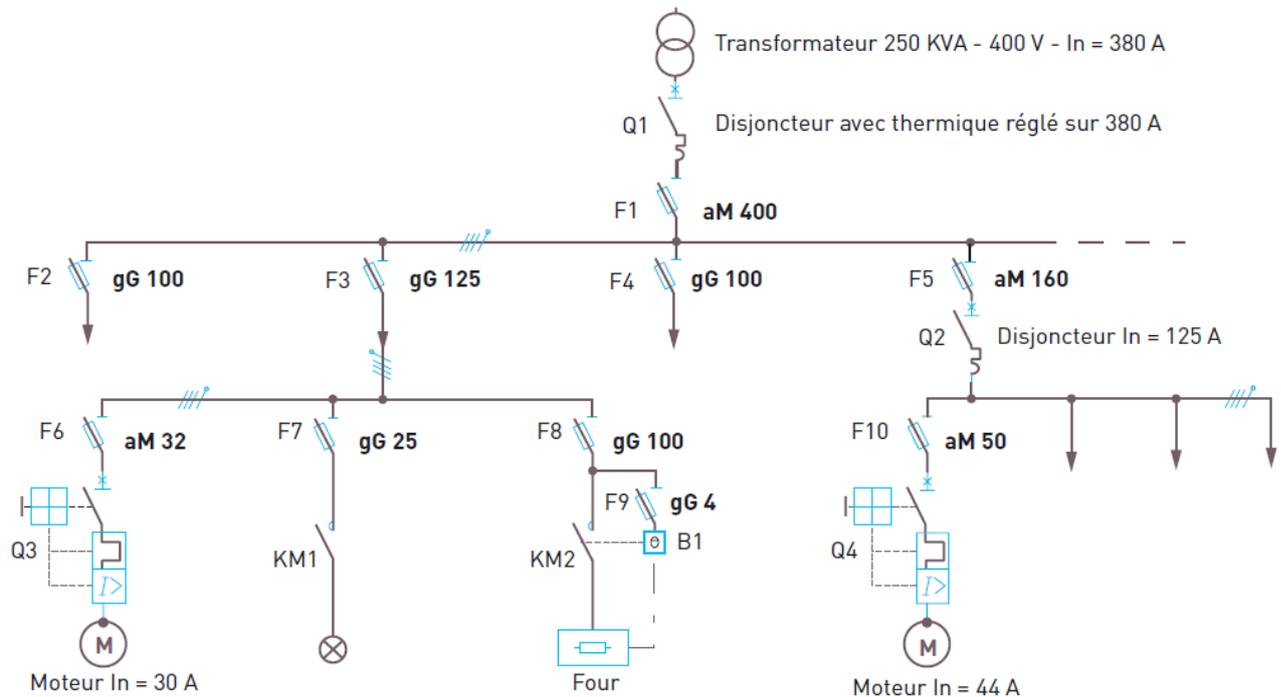
*Cartouche fusible  
cylindrique à  
percuteur*

*Coupe circuit  
domestique  
unipolaire*

*Coupe circuit  
domestique unipolaire +  
neutre*

Le coupe circuit fusible s'installe toujours sur la phase (neutre éventuellement) et ne doit en aucun cas être placé sur le conducteur de protection (Terre)

### EXEMPLE de la protection par cartouche gG et aM



**F 1. :** cartouche aM 400 à la sortie du transformateur,

**F 2.3.4 :** cartouches gG 100 et 125 en protection divisionnaire,

**F 5 :** cartouche aM 160 pour compléter en pouvoir de coupure un disjoncteur divisionnaire,

**F 6 :** cartouche aM 32 associée à un disjoncteur (protection thermique et surcharge) pour alimentation d'un moteur de 15 kW,

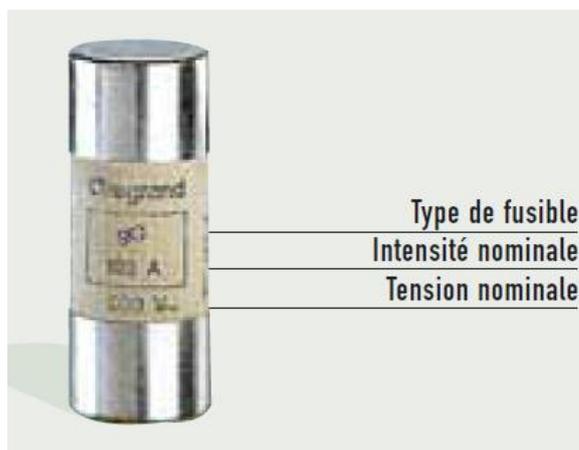
**F 7 :** cartouche gG 25 pour ligne d'éclairage,

**F 8 :** cartouche gG 100 pour alimentation d'un four électrique de 30 kW,

**F 10 :** cartouche aM 50 associée à un disjoncteur (protection thermique et surcharge) pour alimentation d'un moteur de 22 kW.

### Intensités et tensions assignées (nominales) :

L'intensité assignée peut traverser indéfiniment un fusible sans provoquer ni fusion, ni échauffement excessif, la tension assignée est la tension sous laquelle ce fusible peut être utilisé.

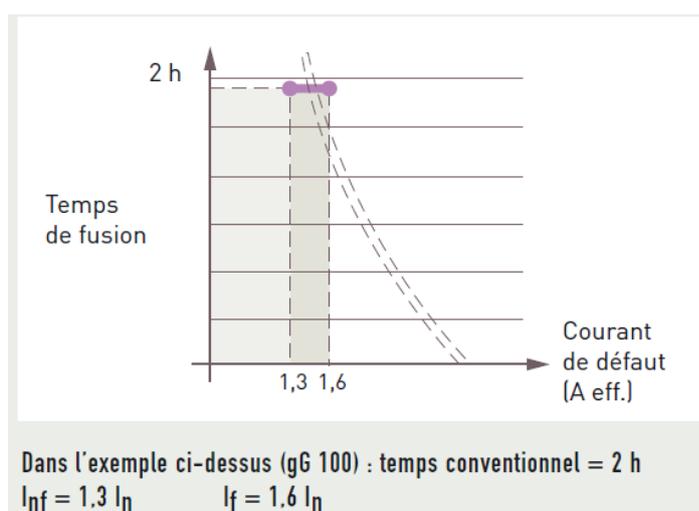


### Courants conventionnels de non-fusion et de fusion :

**Courant conventionnel de non-fusion ( $I_{nf}$ ) :** "valeur du courant qui peut être supportée par la cartouche fusible pendant un temps conventionnel sans fondre".

**Courant conventionnel de fusion ( $I_f$ ) :** "courant qui provoque la fusion de la cartouche fusible avant l'expiration du temps conventionnel"

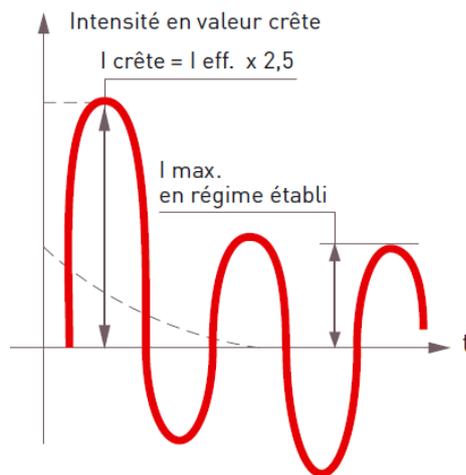
Calibres en A	$I_{nf}$ intensité de non fusion	$I_f$ intensité de fusion	t = temps conventionnel
$I_n \leq 4$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
$4 < I_n \leq 10$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$10 < I_n \leq 25$	$1,4 I_n$	$1,75 I_n$	1 h
$25 < I_n \leq 63$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	1 h
$63 < I_n \leq 100$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$100 < I_n \leq 160$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$160 < I_n \leq 400$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	3 h
$400 < I_n$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	4 h



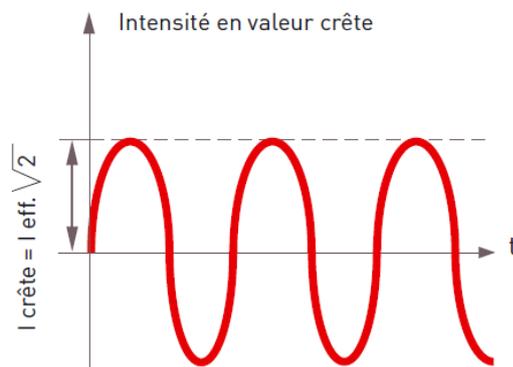
### Courant de court-circuit présumé :

C'est l'intensité efficace qui s'établirait en cas de court-circuit en l'absence de toute protection.

Sa valeur de crête est d'autant plus élevée que le  $\cos \varphi$  de l'installation est faible (court-circuit asymétrique).



Développement d'un court-circuit asymétrique

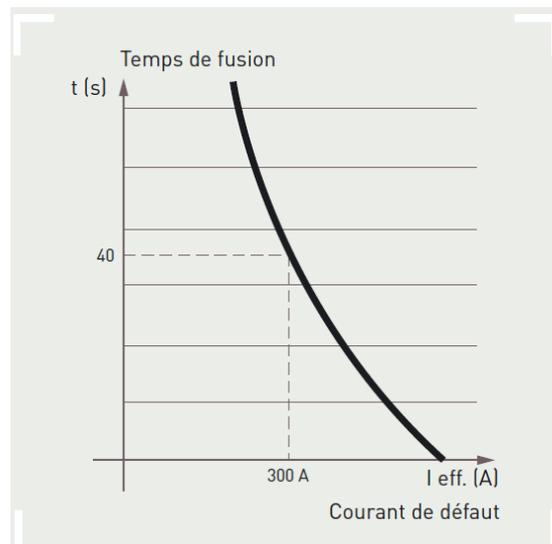


Développement d'un court-circuit symétrique

### Zone de fonctionnement :

La zone de fonctionnement définie par les normes, permet de déterminer la durée de fonctionnement du fusible en fonction du courant le traversant.

Il est important de connaître ces caractéristiques de fonctionnement pour calculer la sélectivité des différentes protections installées en série.



Pour une cartouche 22 x 58 gG 100 A, une surcharge de 300 A fera fondre la cartouche en 40 secondes.

### L'importance du pouvoir de coupure :

Le pouvoir de coupure doit être au moins égal au courant de court-circuit présumé susceptible de se produire au point où il est installé. Plus le pouvoir de coupure est important, plus le fusible est apte à protéger l'installation contre des courts circuits d'intensité élevée. Les fusibles HPC (Haut Pouvoir de Coupure) limitent des courts-circuits qui pourraient atteindre plus de 100 000 A efficaces.

### L'importance du pouvoir de limitation :

Un court-circuit est dangereux tant par ses effets électrodynamiques que par ses effets thermiques :

- les effets **destructeurs électrodynamiques** dépendent du carré crête atteint lors du court-circuit et induisent des destructions mécaniques de l'isolant des conducteurs.
- les effets **destructeurs thermiques** dépendent de l'énergie thermique dissipée pendant ce même court-circuit et brûlent les isolants des conducteurs.

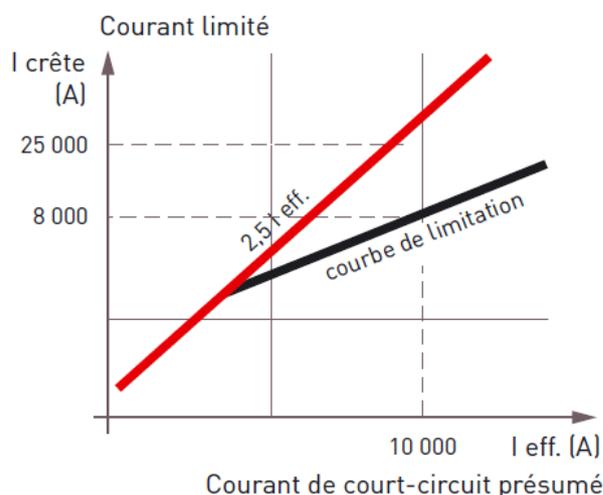
Les cartouches fusibles limitent au maximum ces deux effets

### Courbe de limitation :

La limitation du courant peut varier suivant les conditions du court-circuit (intensité,  $\cos \varphi$ , angle  $\psi$  de début de court-circuit). Les courbes de limitation des cartouches représentent les valeurs maximales des courants limités pouvant être atteintes dans les conditions les plus défavorables.

Pour un court-circuit présumé de 10 000 A eff. (ou 10 kA eff.), compte tenu de l'asymétrie maximale du courant, ce dernier pourrait atteindre une valeur maximale de  $2,5 \times I_{\text{eff.}}$ , soit 25 kA crête.

La cartouche cylindrique gG 100 a limité la première onde de courant à 8 000 A crête, soit environ le tiers de la valeur maximale présumée. Les effets destructeurs électrodynamiques sont donc réduits dans le rapport de 1 à 10  $(8\,000/25\,000)^2$  de la valeur maximale.



Ce rapport de limitation sera d'autant plus élevé que le courant présumé de court-circuit sera important.

**EXEMPLE :**

Court-circuit 100 000 A eff., soit 250 000 A crête.

La cartouche gG 100 cylindrique limite ce courant à 15 000 A crête

- soit une limitation à 6 % du courant maximum présumé,
- soit une limitation à 0,36 % des effets électrodynamiques maximum présumés.

Contrainte thermique :

C'est une grandeur conventionnelle qui dépend de l'énergie thermique limitée par la cartouche lors de la coupure. Effectivement, un court-circuit dégage une énergie considérable. Cette contrainte thermique s'exprime en :  $\text{Ampère}^2 \times \text{seconde}$  ( $\text{A}^2 \cdot \text{s}$ ).

Pourquoi faut-il limiter la contrainte thermique ?

L'énergie dégagée par le court-circuit, s'il n'est pas limité, peut entraîner rapidement la destruction de toute ou partie de l'installation.

Deux paramètres principaux régissent la contrainte thermique :

- le **cos  $\varphi$**  : plus il est faible, plus l'énergie est élevée,
- la **tension** : plus elle est importante, plus l'énergie est élevée.

Les cartouches fusibles limitent considérablement cette énergie. Par exemple, un court-circuit asymétrique de 10 kA eff. en 230 V,  $\cos \varphi = 0,1$  se développerait en l'absence de cartouche, sur plusieurs ondes de courant.

Pour la seule première onde, la contrainte thermique pouvait s'élever à 4 000 000  $\text{A}^2 \text{ seconde}$ . Dans ces mêmes conditions de défaut, une cartouche gG 100 limitera la contrainte thermique à 78 000  $\text{A}^2 \text{ seconde}$ , soit 1,95 % de la valeur sur la seule première onde du courant présumé.

Différence entre contraintes thermiques de pré-arc et d'arc :

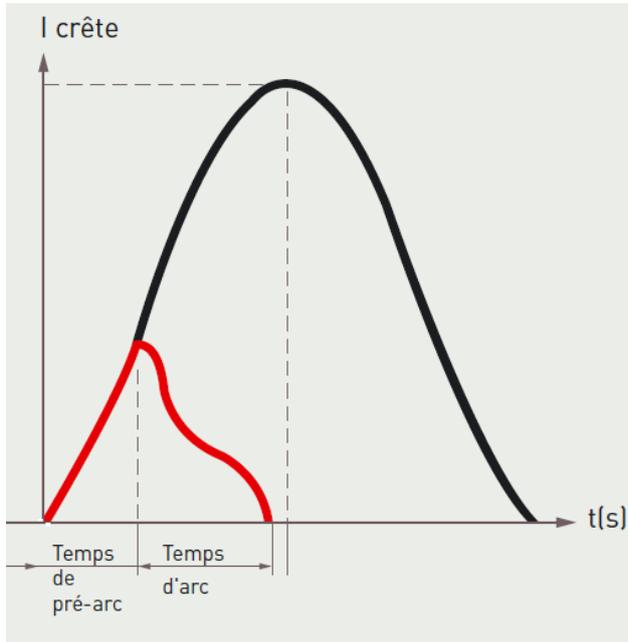
Un fusible coupe un court-circuit en deux temps : le pré-arc, puis l'arc.

La contrainte thermique de pré-arc correspond à l'énergie minimale nécessaire pour que l'élément fusible de la cartouche commence à fondre.

Il est important de connaître cette contrainte thermique pour déterminer la sélectivité sur un court-circuit entre plusieurs systèmes de protection en série.

La contrainte thermique d'arc correspond à l'énergie limitée entre la fin du pré-arc et la coupure totale.

Les contraintes thermiques de pré-arc et d'arc sont liées à la forme de ces courbes :

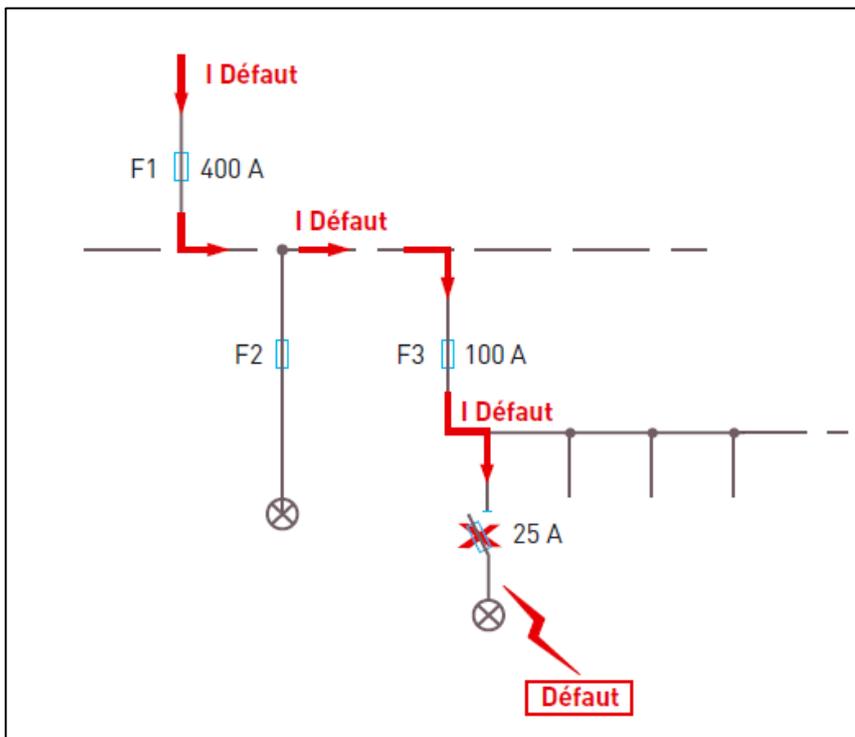


La somme des contraintes thermiques d'arc et de pré-arc donne la contrainte thermique totale.

### La sélectivité

Un courant traverse généralement plusieurs appareils de protection en série. Ces appareils sont calculés et répartis en fonction des différents circuits à protéger.

Il y a sélectivité lorsque seul l'appareil protégeant le circuit en défaut fonctionne.

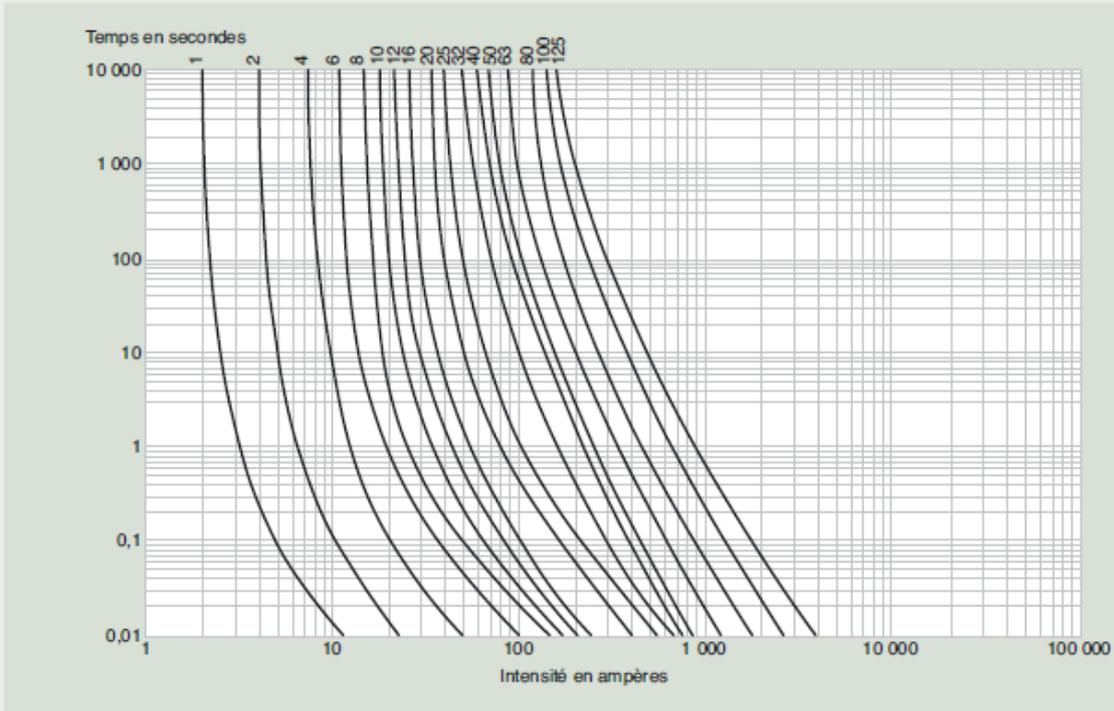


Seule la cartouche 25 A a fonctionné sur un défaut se produisant sur la ligne qu'elle protège.

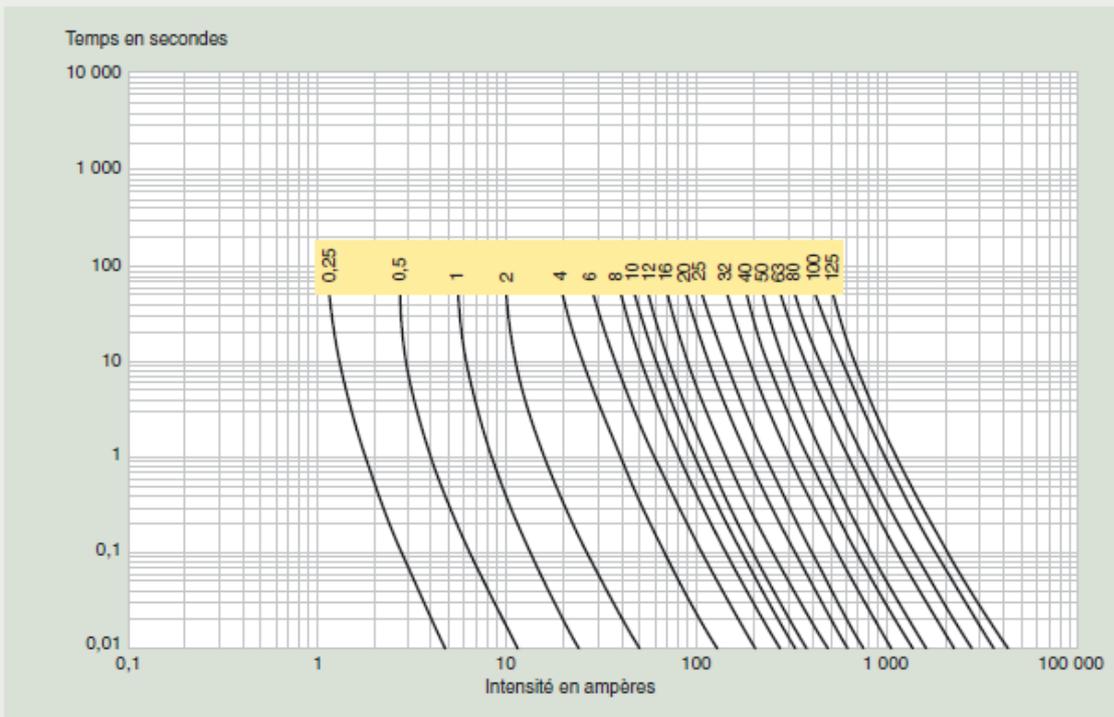
Si la cartouche 100 A ou même 400 A avait également fonctionné (mauvaise sélectivité), l'ensemble de l'installation serait en panne.

### Courbes de fusion

#### ■ Type gG

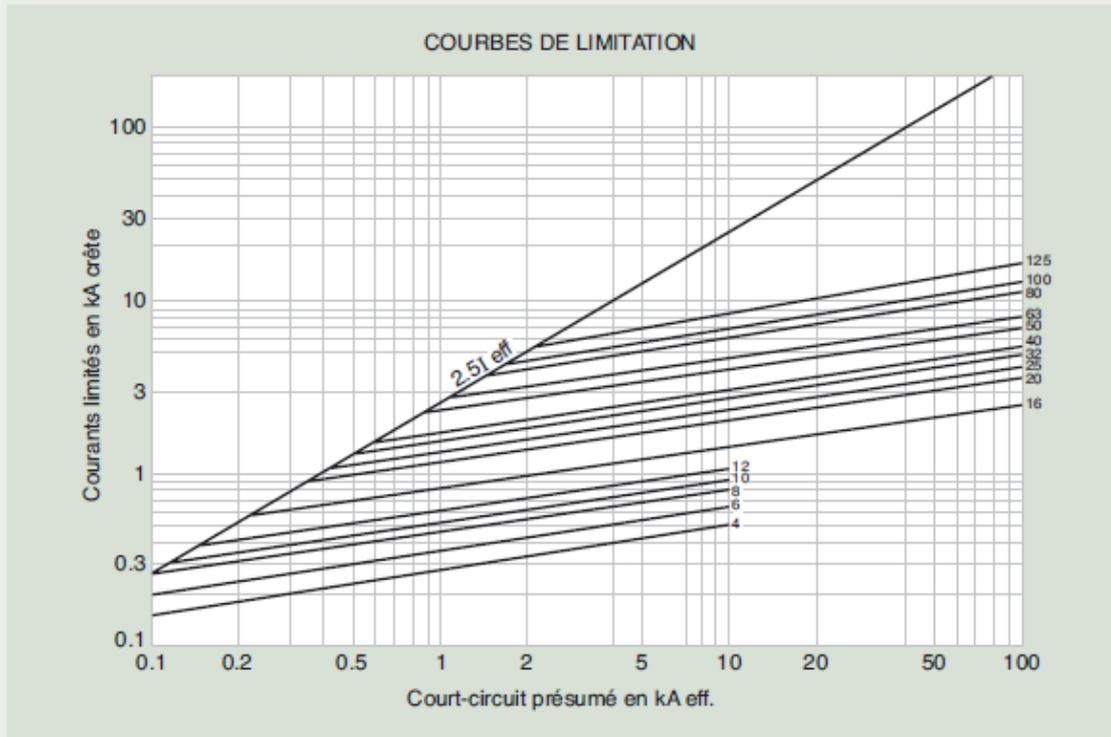


#### ■ Type aM

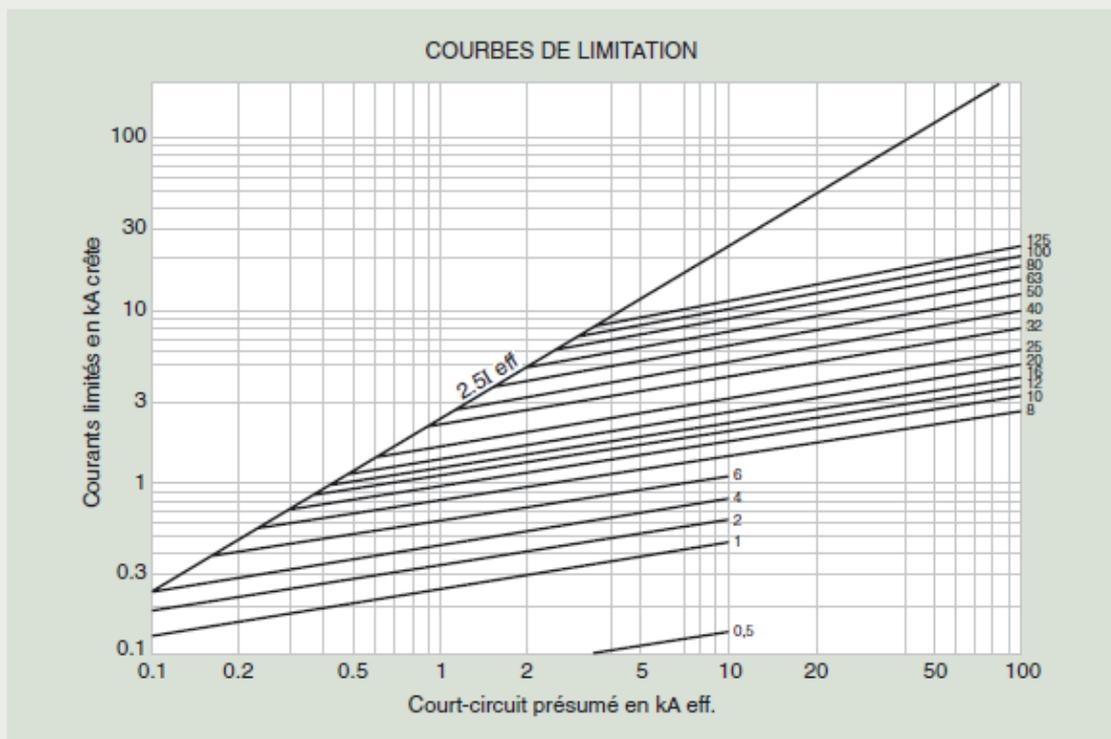


## Courbes de limitation

### ■ Type gG

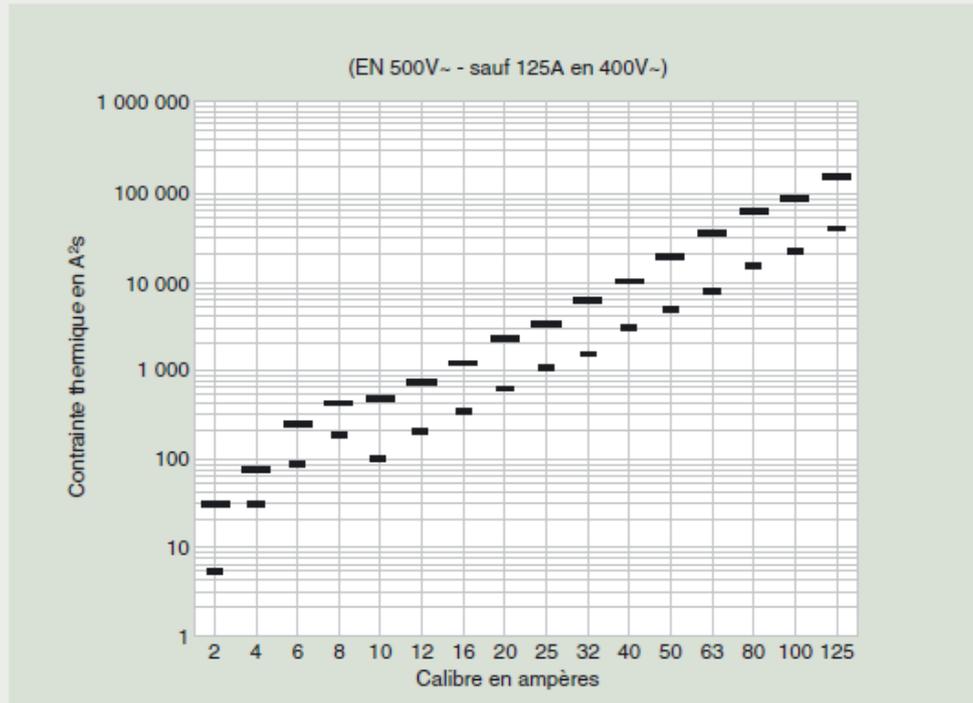


### ■ Type aM



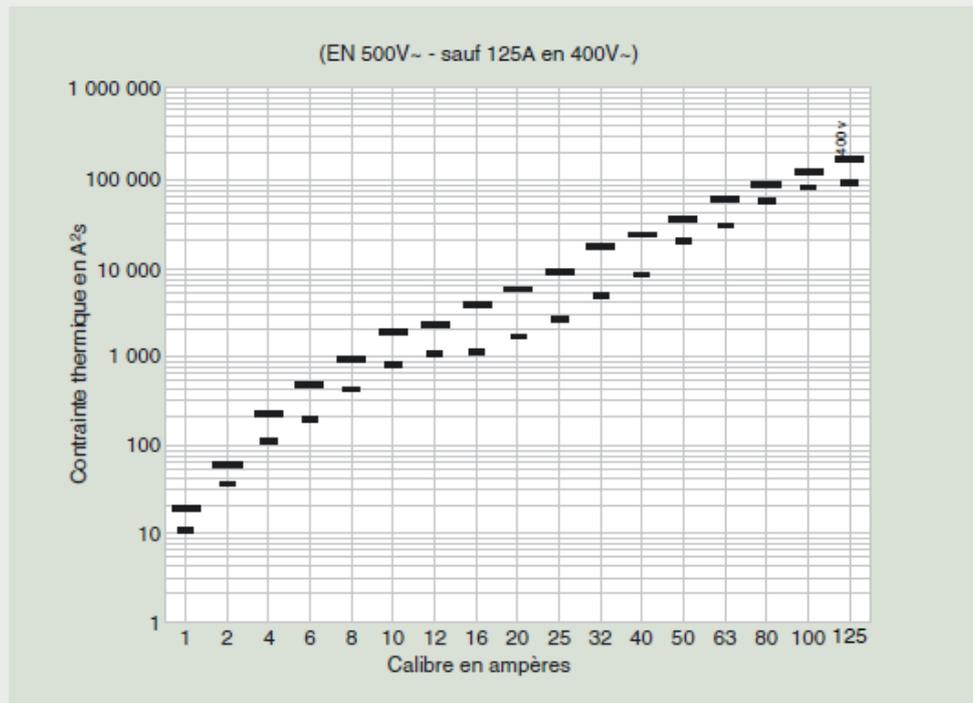
## Contraintes thermiques

### ■ Type gG



- Contrainte thermique totale maximale pour le courant critique
- Contrainte thermique de pré-arc pour le courant critique

### ■ Type aM



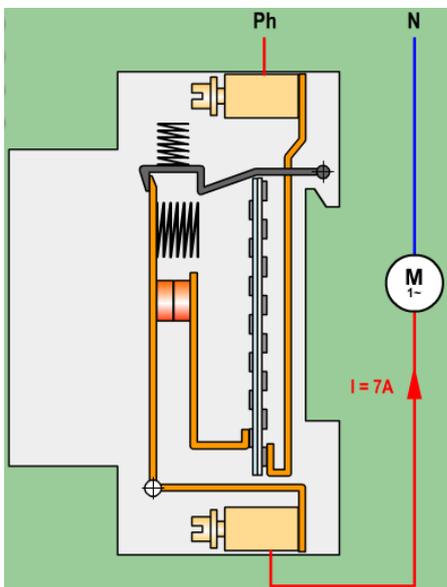
- Contrainte thermique totale maximale pour le courant critique
- Contrainte thermique de pré-arc pour le courant critique

## 2) Les disjoncteurs magnétothermiques

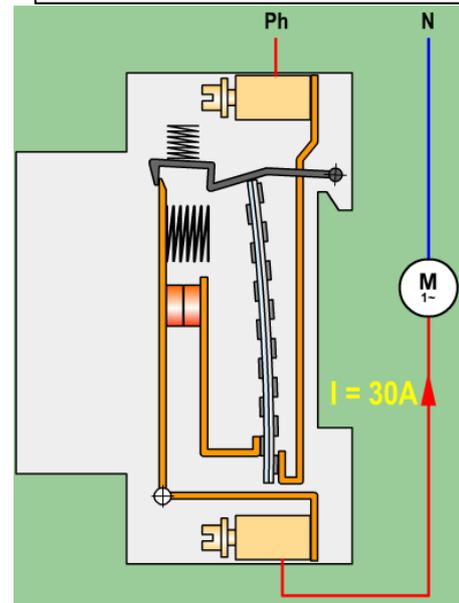
Ils assurent la protection d'une installation contre les surcharges, les court-circuits, les défauts d'isolement, par ouverture rapide du circuit en défaut. Il remplit aussi la fonction de sectionnement (isolement d'un circuit).

- Rappel du fonctionnement du déclenchement thermique : il y a protection contre les surcharges ; on utilise la déformation d'un bilame sous l'effet de la chaleur (effet joule) pour couper le circuit :

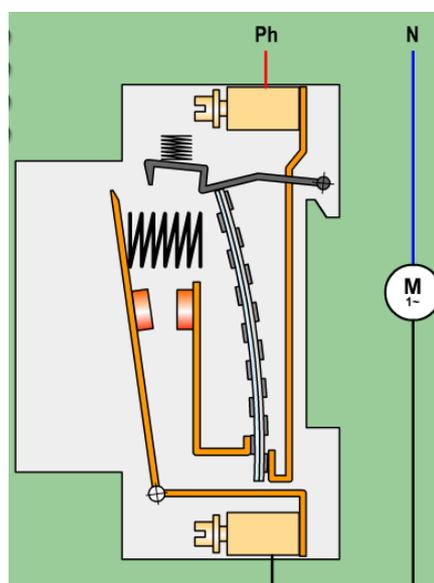
**Phase 1 :** fonctionnement normal. Le moteur consomme un courant nominale de 7 A



**Phase 2 :** il y a surcharge au niveau du moteur (couple résistan). L'intensité augmente considérablement. Le bilame commence à se déformer en raison de la chaleur (effet Joule)

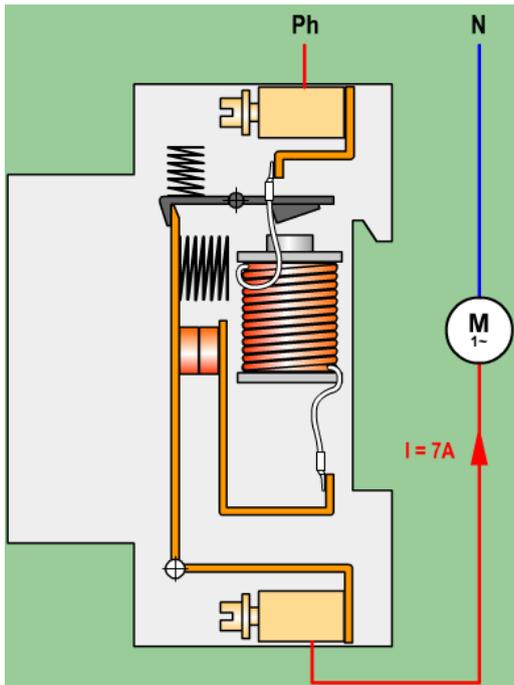


**Phase 3 :** le bilame est complètement déformé et a ouvert le circuit. Il faudra éliminer le problème de surcharge, attendre que le bilame refroidisse et retrouve sa forme initiale et réenclencher le disjoncteur

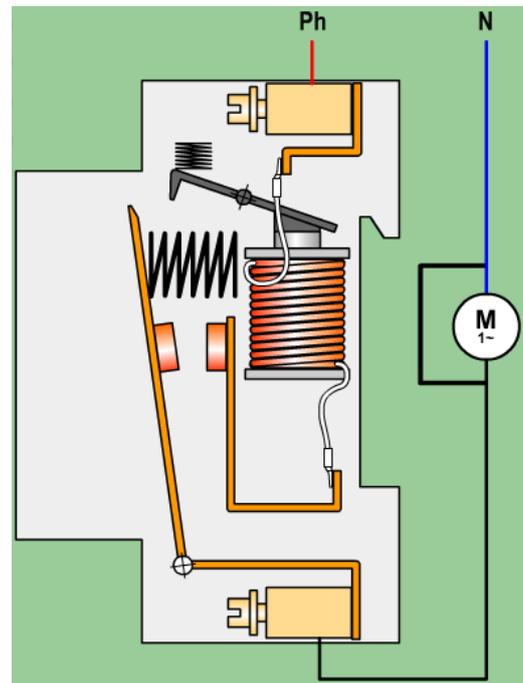


- Rappel du fonctionnement du déclenchement magnétique : il y a protection contre les court-circuits ; il utilise une bobine qui va réagir rapidement pour couper le circuit.

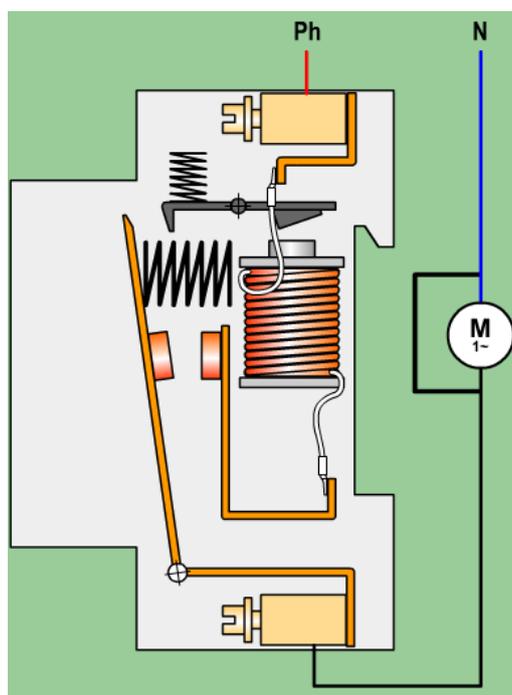
**Phase 1 :** fonctionnement normal. Le moteur consomme un courant nominale de 7 A



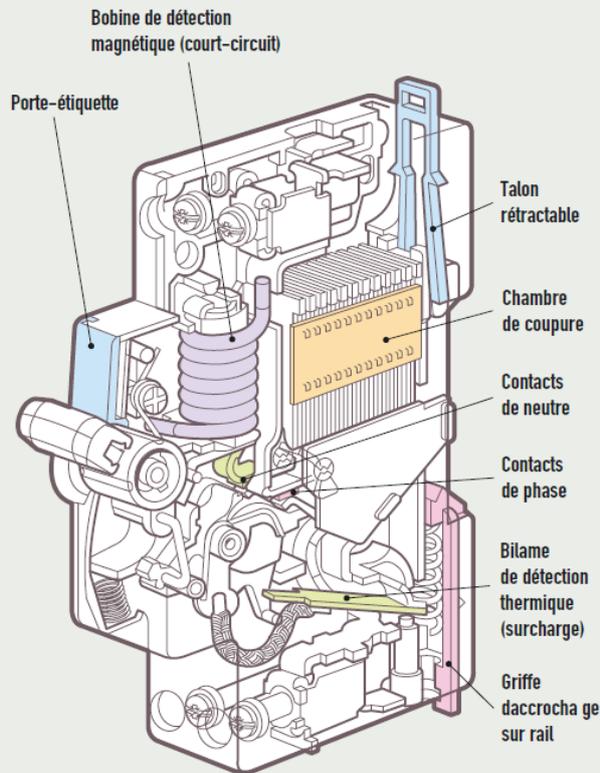
**Phase 2 :** un défaut d'isolement survient. L'élévation de courant brutal provoque un champ magnétique dans la bobine qui va rapidement couper le circuit (10 à 20 ms)



**Phase 3 :** il faut éliminer le défaut puis réarmer le disjoncteur pour retrouver le fonctionnement normal

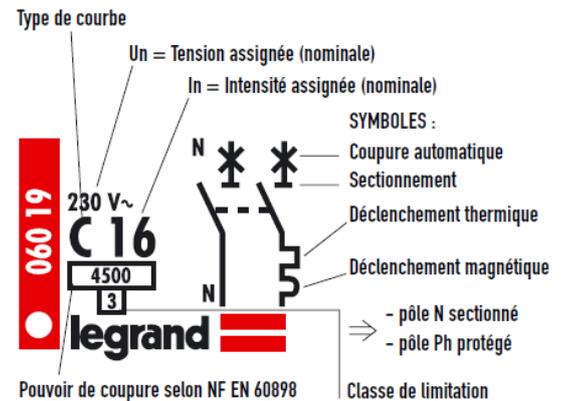


## Structure interne des disjoncteurs magnéto-thermiques modulaires



## Marquage d'un disjoncteur

Exemple d'un disjoncteur Uni + N (1 Ph + N)



- **Intensité assignée** : c'est la valeur de courant que le disjoncteur peut supporter indéfiniment sans déclencher dans certaines conditions.
- **Polarité** : Uni + neutre, bipolaire, tripolaire ou tétrapolaire.

- **Type de courbe** : les normes internationales et françaises définissent différentes plages de déclenchement magnétique
- **Tension assignée** : tension sous laquelle le disjoncteur peut être utilisé. Cette tension est au niveau de l'Europe de 230 V / 400 V.
- **Classe de limitation** : c'est l'aptitude d'un disjoncteur à ne laisser passer sur court-circuit, qu'une faible partie du courant de défaut présumé.

### Différentes polarités de disjoncteurs

Les dispositifs de protection peuvent être unipolaires, uni + neutre, bipolaires, tripolaires, et tétrapolaires.

La norme NF C 15-100 impose que, dans toute installation électrique, tous les conducteurs actifs (phase et neutre) soient protégés, commandés et sectionnés.

Dans les systèmes de distribution TT (réseau public) et TN (mise au neutre des masses), le conducteur neutre, lorsqu'il est de même section que les phases, est automatiquement protégé par les protections des phases.

Il suffit donc d'adjoindre, aux pôles de phase, un pôle de neutre qui assure uniquement les fonctions commande et sectionnement. C'est ce qui est réalisé dans les appareils phase + neutre.

Dans le système de distribution IT (neutre impédant ou neutre isolé) ou lorsque la section du neutre est différente de celle des phases (ex : N/2), la protection du neutre est obligatoire. Il faut donc utiliser des disjoncteurs multipolaires, les phases + neutre étant pratiquement interdits.

### Courbe de fonctionnement d'un disjoncteur :

Elle définit la zone de déclenchement du magnétique par rapport au thermique. Elle est caractérisée par une zone de détection thermique et une zone de détection magnétique.

En effet, deux types de défauts font réagir un disjoncteur :

- **Cas de surcharge zone A** ou d'échauffement, une bilame s'infléchit et provoque l'ouverture du disjoncteur. Le temps de réaction du disjoncteur est inversement proportionnel au courant qui le traverse.

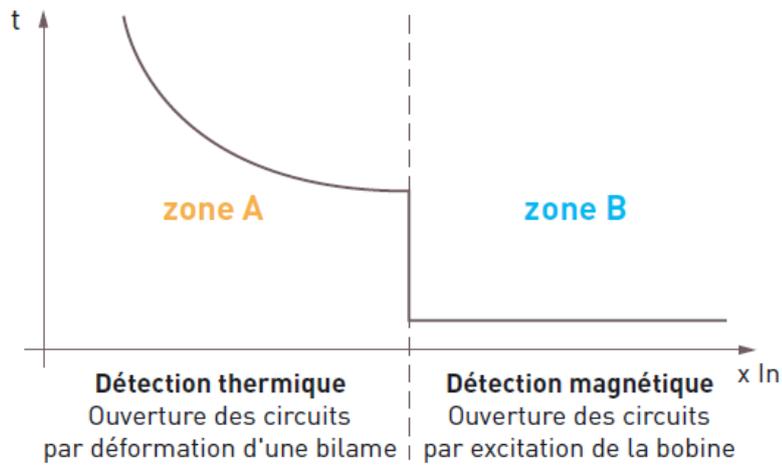
$$W = R I^2 t$$

W : Énergie (en joules)  
R : Résistance de la bilame (en ohms)  
I : Intensité (en ampères)  
t : Temps (en secondes)

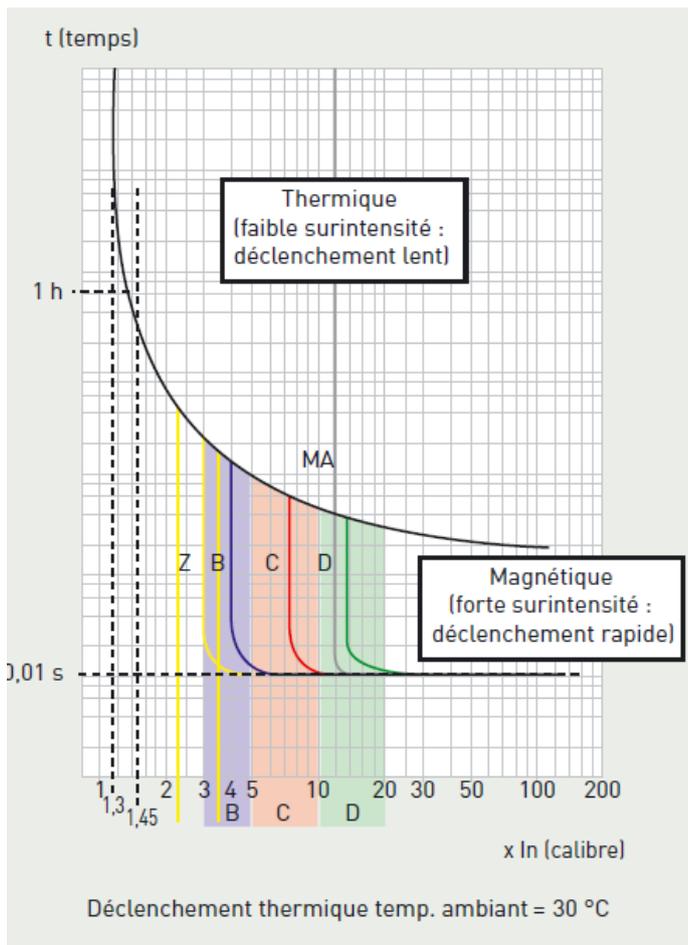
En cas de faible surcharge, la bilame s'échauffe lentement, d'où un temps de réaction long.

En cas de forte surcharge, la bilame s'échauffe rapidement, d'où réaction rapide. À intensité assignée identique, le temps de déclenchement thermique est identique quel que soit le type de courbe.

- **Cas de court-circuit zone B**, un dispositif électromagnétique ouvre le disjoncteur en un temps très court, de l'ordre de quelques millièmes de secondes. La courbe de fonctionnement du disjoncteur est située dans une zone définie par la norme.



Courbes de déclenchement :



Courbes	Réglage seuils magnétiques
Z	2,4 à 3,6 In
B	3 à 5 In
C	5 à 10 In
D	10 à 20 In*
MA	12 à 14 In

### Disjoncteur de type B, C, D, Z ou MA

- **Type B** : son magnétique très bas permet d'éliminer les courts-circuits de très faible valeur. (Exemple : lorsque la ligne qu'il protège est très longue, limitant alors le court-circuit en bout de ligne à une valeur faible).
- **Type C** : c'est le plus usuel, celui qui correspond aux installations normales. Il couvre une très grande majorité des besoins.
- **Type D** : il est à utiliser pour la protection des circuits où il y a de très fortes pointes de courant à la mise sous tension. (Exemple : transformateurs dont les points d'intensité peuvent atteindre 20 In, ballast électronique...).
- **Type Z** : application spécifique sur circuits sensibles ayant un microprocesseur.
- **Type MA** : lignes dédiées aux baies de désenfumage avec précautions d'utilisation et de choix du câble. Ce dernier doit pouvoir supporter une surchauffe car le désenfumage doit se faire malgré tout.

### Pouvoir de coupure :

C'est la plus grande intensité de court-circuit que peut interrompre le disjoncteur dans les conditions déterminées par les normes (tension,  $\cos \varphi$ , court-circuit présumé...). Il doit être capable, après ces coupures, de fonctionner normalement et de répondre encore aux exigences des normes.

### **Un disjoncteur doit répondre aux conditions suivantes :**

- Son pouvoir de coupure doit être au moins égal au courant de court-circuit présumé ( $I_{cc}$ ) au point où ce dispositif est installé.

Le courant de court-circuit dépend essentiellement :

- de la puissance du transformateur
  - de la longueur des lignes en amont du disjoncteur
  - de la section de ces lignes
  - de la nature du conducteur (aluminium, cuivre)
- Ses performances de limitation et de coupure doivent être coordonnées avec le conducteur ou câble qu'il protège.

Cette association est définie par la NF C 15-100.

Cette vérification n'est généralement pas nécessaire dans le cas d'utilisation de disjoncteurs non temporisés.

Valeurs courantes de besoins en pouvoir de coupure sur les disjoncteurs divisionnaires :

- **tarif bleu** : puissance du contrat  $\leq 36$  kVA,
- **tarif jaune** : puissance du contrat  $\leq 250$  kVA,
- **tarif vert** : puissance du contrat  $\leq 250$  kVA.