

1. Définition

Un fusible est un appareil qui, par la fusion d'un ou plusieurs de ses éléments, conçus et calibrés à cet effet, ouvre le circuit dans lequel il est installé en interrompant le courant lorsque celui-ci dépasse pendant un temps spécifié une valeur donnée.

2. Normes

- NFC 61-201 : concerne les fusibles pour usages domestiques et analogues (Cartouches HPC de type gG cylindriques)
- NFC 63-210 et NFC 60-200 : concernent les fusibles HPC pour usages industriels (Cylindriques ou à couteaux). Ces fusibles sont caractérisés par 2 types distincts :
 - gG (marquage noir) sont destinés à assurer la protection contre les surcharges et les courts-circuits.
 - aM (marquage vert) sont destinés à assurer la protection contre les courts-circuits. Ils ne sont jamais utilisés seuls, ils doivent toujours être associés à un relais thermique.
- HN 63S20 : concerne les fusibles HPC réservés à EDF Type aD Accompagnement Disjoncteur (Cylindriques). Ces fusibles d'un type particulier se rapprochent du type aM, ils sont destinés à être associés aux disjoncteurs de branchement. Ils se distinguent par leur marquage rouge. Ils ne sont pas autorisés dans les installations industrielles.
- NFC EN 60-127 décomposée en 6 parties NFC 60-431 à NFC 60-436 : concerne les fusibles miniatures et subminiatures.
- NFC 63-220 : concerne les fusibles pour semi-conducteurs.
- NFC 64-200 à 64-204 et NFC 64-210 : concernent les fusibles pour la haute tension.

Remarque N°1 : Les fusibles HPC à usage domestique ont un pouvoir de coupure compris entre 6kA et 20kA, leur tension nominale est de 250V ou 400V. Leur usage est déconseillé dans les installations industrielles.

Remarque N°2 : Les fusibles HPC de dimension 10,3x38 existent dans les deux catégories, dans la version domestique leur pouvoir de coupure est limité à 20kA. Il convient donc dans les réseaux dont la puissance de court-circuit est élevée de bien s'assurer du type de fusibles auquel on a faire.

3. Constitution

Un fusible comprend :

- Un socle : Partie fixe du fusible munies de bornes de raccordement et éventuellement d'une enveloppe.
- Un porte fusible : Partie mobile du fusible destinée à recevoir l'élément de remplacement.
- Un élément de remplacement : Partie destinée à être remplacée après fonctionnement. L'élément de remplacement est la partie active du fusible dont les caractéristiques déterminent ses conditions de fonctionnement.

4. Constitution de l'élément de remplacement (Voir figures 1 et 2)

L'élément de remplacement ou cartouche est constitué :

- D'un fil ou d'une lamelle fusible en cuivre ou en argent. La lame fusible comporte dans une zone précise une réduction de section constituée par des strictions ou par des trous calibrés. Cette zone de réduction de section à pour but de localiser la zone de fusion. De façon à améliorer le temps de réponse du fusible à une surcharge les portions de faible section sont nombreuses et rapprochées.

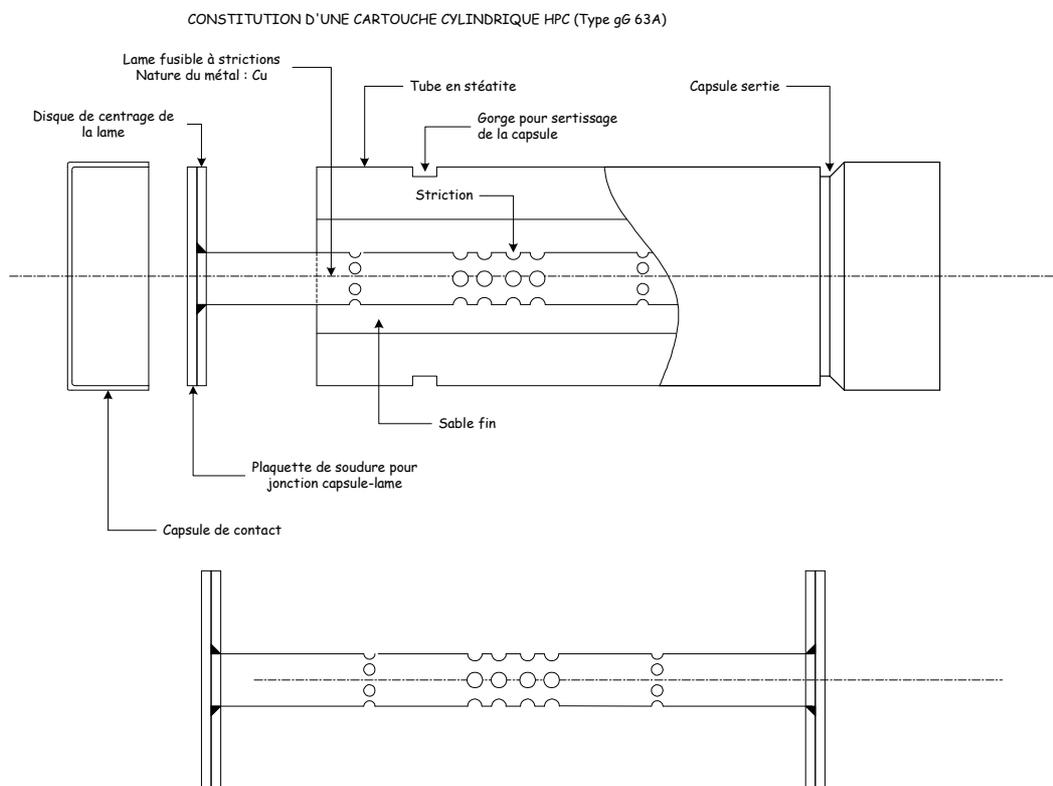


Figure 1

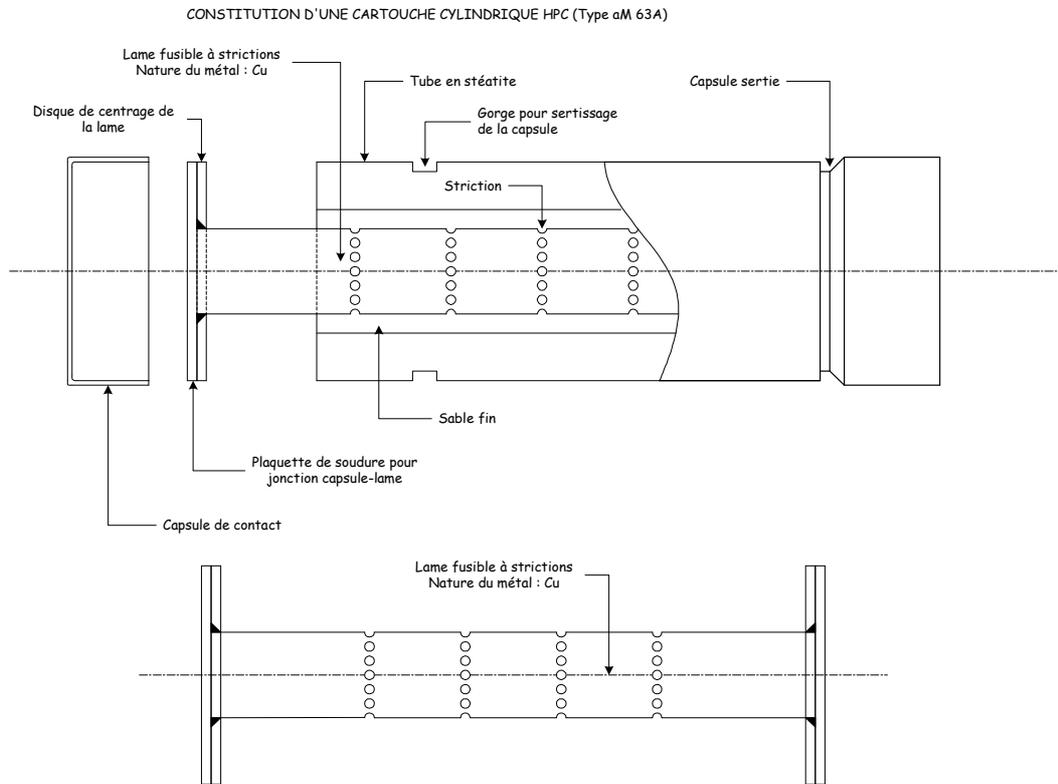


Figure 2

- D'une enveloppe isolante capable de supporter sans détérioration les contraintes thermiques et mécaniques dues à la fusion. La matière généralement employée est de la stéatite.
- Du sable fin (oxyde de silicium) dont la granulométrie précise est disposé dans l'espace laissé dans l'enveloppe. Ce sable sert d'agent réfrigérant et participe à l'extinction de l'arc électrique.
- Deux éléments de contact (Capsule cylindrique ou couteaux) assurant la continuité électrique.

5. Généralités sur le fonctionnement d'un élément fusible

Un fil fusible, lorsqu'il est parcouru par un courant s'échauffe :

- En fonctionnement normal, c'est à dire en l'absence de surintensité (surchage ou court-circuit), le courant qui circule dans le fusible produit un échauffement qui résulte de la loi de joule dans la résistance du fusible. La dissipation de l'énergie calorifique à travers les éléments constitutifs du fusible est suffisante pour assurer l'équilibre thermique.
- En cas de surintensité, le courant augmente de façon importante, la quantité de chaleur produite par le passage du courant devient supérieure à celle dissipée jusqu'au moment où la température atteinte par l'élément fusible provoque sa fusion. Un arc électrique s'établit mais est étouffé par la matière de remplissage de l'élément de remplacement.

En réalité le phénomène décrit ci-dessus est très complexe. la fusion du fusible est influencé par :

- La rapidité d'augmentation du courant.
- La nature, la longueur, la forme et la section de l'élément fusible.
- La masse des plots de fixation.
- La réalisation de la jonction.
- La nature de l'enveloppe et de la matière de remplissage.
- Les conditions d'installation (température ambiante en particulier).

6. Fonctionnement

La fusion d'un fusible est rapide sur court-circuit et le temps de défaut n'a pas le temps d'atteindre la valeur maximale qui s'établirait en l'absence de fusible. Le fusible « limite » le courant de défaut à une valeur inférieure à celle qui pourrait apparaître (I_{cc} présumé)

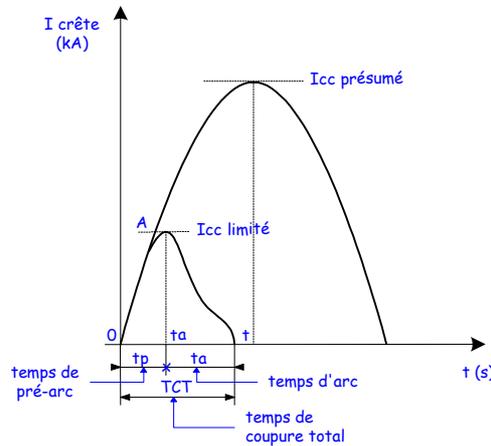


Figure 3

Le temps de coupure total est divisé en deux parties distinctes comprenant :

- Le temps de pré-arc qui correspond au temps de fusion et de volatilisation de l'élément fusible.
- Le temps d'arc qui correspond au temps entre l'amorçage et l'extinction totale.

L'arc résistant crée une chute de tension qui limite la valeur du courant.

Adoptons les hypothèses suivantes :

- t_0 : Instant du début du court-circuit.
- t_a : Instant du début de la fusion, c'est à dire du début de l'arc.
- t : Instant de la fin de coupure c'est à dire d'annulation définitive du courant de court-circuit.
- I_{ccpeff} : Valeur efficace du courant de court-circuit présumé I_{ccp} à l'instant t_a qui est de la forme :

$$I_{ccpeff} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{cc}}$$

Formule dans laquelle U représente la tension entre phases et Z_{cc} l'impédance de la boucle de court-circuit.

Pour simplifier, considérons le schéma monophasé de la figure 4 suivant la 2^{ème} loi de KIRCHOFF, (loi des mailles), nous savons que $\Sigma E = \Sigma Zi$, c'est à dire que l'on a :

$$Ri + L \frac{di}{dt} = u = U_m \sin(\omega t + \varphi + \psi)$$

Dans cette formule : φ est le déphasage entre i et u (propre à la boucle en court-circuit)
 ψ angle de phase de i à l'instant du court-circuit

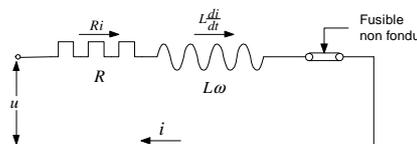


Figure 4

Revenons à la figure 3. Il y a lieu de remarquer que dans le fonctionnement d'un fusible on distingue 2 phases principales :

Phase 1 : Durée de pré-arc, C'est le temps qui s'écoule à partir du moment où commence à circuler un courant suffisamment important pour faire fondre le fusible, jusqu'à l'instant où un arc commence à se former. Nous représenterons par T_p la durée de pré-arc et par t_a l'instant où l'arc commence à se former. Le pré-arc un phénomène purement thermique (Effet Joule). Pratiquement le moment où l'arc commence à se former s'observe par une élévation brusque de la tension aux bornes du coupe-circuit.

Phase 2 : Durée d'arc, C'est le temps T_a qui s'écoule à partir du moment où l'arc commence à se former jusqu'à l'instant t où le circuit est coupé et le courant nul (passage à 0)

La durée de fonctionnement total est égal à la somme de la durée de pré-arc et la durée d'arc :

$$TCT = T_p + T_a$$

Considérons l'origine du court-circuit à l'instant t_0 . Nous suivons l'écoulement du courant jusqu'à l'instant t_a qui correspond à l'introduction brutale d'un arc électrique. Grâce à la résistance importante de cet arc, une chute de tension d'arc U_a qui équilibre instantanément la tension du réseau, limitant ainsi la valeur du courant de court-circuit présumé (I_{ccp}) à la valeur I_{ccL} et l'on a l'équation :

$$Ri + L \frac{di}{dt} + U_a = u = U_m \sin(\omega t + \phi + \psi)$$

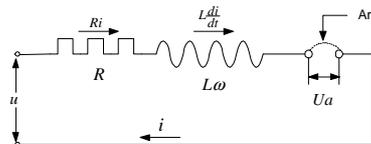


Figure 5

Les documents techniques des constructeurs donnent pour chaque type de coupe-circuit les courbes de limitation.

Durée virtuelle de pré-arc

La durée virtuelle de pré-arc est égale à :

$$T_{vp} = \frac{\int_{t_0}^{t_a} i^2 dt}{I_{ccp}^2}$$

Durée virtuelle de coupure totale

La durée virtuelle de coupure totale est égale à :

$$T_{vTCT} = \frac{\int_{t_0}^{t} i^2 dt}{I_{ccp}^2}$$

Propriété des fusibles HPC

La propriété de limitation de courant des fusibles HPC présente l'avantage de soulager le transformateur d'alimentation et le réseau lors de fortes contraintes dues aux efforts électrodynamiques et thermiques engendrées par des courts-circuits importants.

7 Courbes de fusion des fusibles HPC

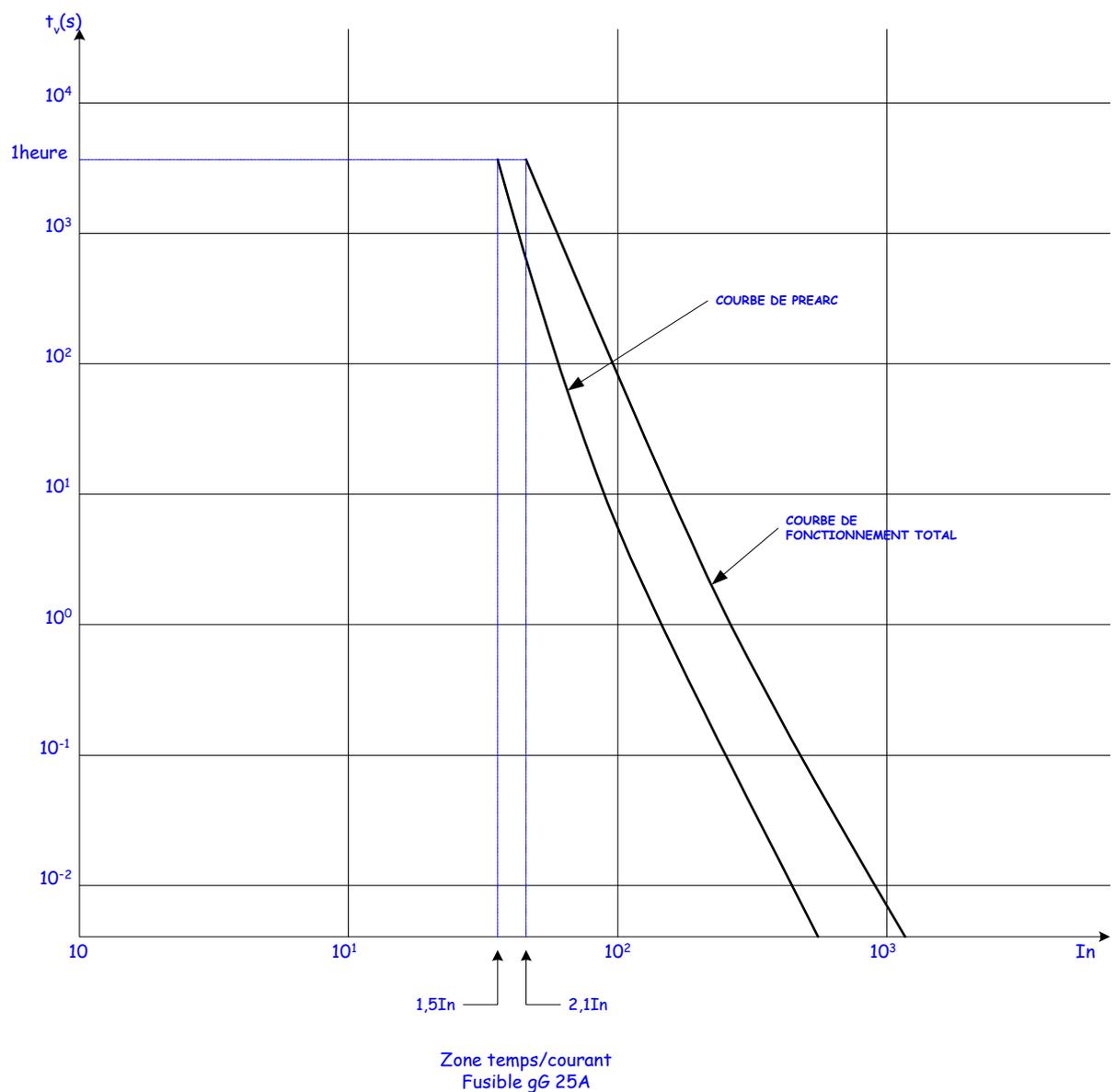
7.1 Fusibles gG (figure 6)

La norme NFC 63210 définit avec précision pour chaque classe de coupe-circuit une zone de dispersion des durées de fonctionnement en fonction du courant. Elle définit :

- Un courant conventionnel de non fusion qui varie $1,2$ à $1,5I_n$ que peut supporter le fusible sans fondre pendant le temps conventionnel (1 à 3 heures).
- Un courant de fusion qui varie de $1,6$ à $2,1I_n$ qui provoque le fonctionnement du fusible à l'expiration du temps conventionnel (1 à 3 heures).

7.2 Fusible aM (figure 7)

Courbe de fonctionnement des fusibles type gG



D'après NFC 63-210

Figure 6

Courbe de fonctionnement des fusibles type aM

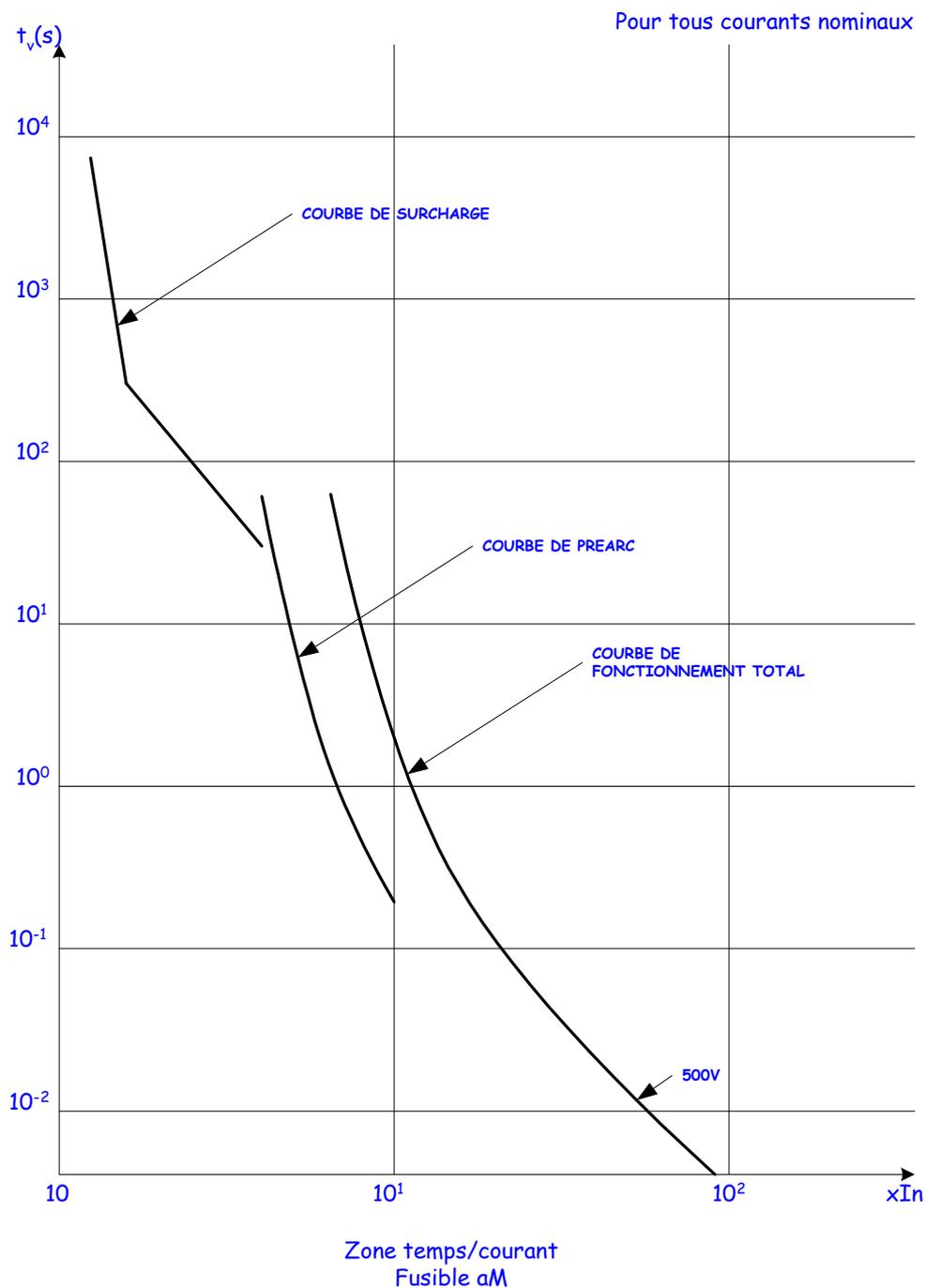


Figure 7

8 Caractéristique des fusibles HPC sur court-circuit

La caractéristique de fusion d'un fusible peut généralement s'exprimer par la formule de la forme :

$$I^{n \times t} = C \text{ avec :}$$

- n = 4 pour les fusibles de type gG
 4,55 pour les fusibles de type aM
- C = I⁴ pour le temps de fusion du fusible en 1 s

Le tableau A4 du guide pratique UTE C 15-500 (édition de juillet 2003) donne la valeur du courant de fonctionnement en 1 seconde pour les fusibles gG de courant nominal assigné 2 à 1250A. En ce qui concerne les fusibles aM la valeur du courant de fonctionnement en 1 seconde relevé sur la courbe normalisée (NFC 63-210) donne 11xIn pour tous les calibres.

Cette formule permet de calculer le temps de fusion d'un fusible.

Exemple de calcul

$$\begin{aligned} \text{Fusible gG} &\rightarrow I_{(0,4s)} = \frac{I_{(1s)}}{0,725} \\ \text{Fusible aM} &\rightarrow I_{(0,4s)} = \frac{11 \times I_n}{0,817} \end{aligned}$$

Extrait de mon document : Calcul des installations électriques - Aide mémoire - Formulaire.

30 Temps de fonctionnement des dispositifs de protection contre les courts-circuits (Formules utilisées dans les logiciels de calcul)

Fusibles gG/gL		Fusibles aM	
Caractéristique	Courant de fonctionnement	Caractéristique	Courant de fonctionnement
$I^4 \times t = Cte$	$I_{f(ts)} = \frac{I_{f(1s)}}{t^{0,25}}$	$I^{4,55} \times t = Cte$	$I_{f(ts)} = \frac{I_{f(1s)}}{t^{0,279}}$

Le temps de fonctionnement 1 seconde des fusibles HPC du type « gG/gL » est indiqué dans le tableau A4 du guide pratique UTE C 15-500.

Le temps de fonctionnement 1 seconde des fusibles HPC du type « aM » est égal à 11In (Relevé sur la courbe normalisée de la NFC 63-210.)

Tableau A4 - Détermination du courant de fusion en 1s pour les fusibles gG

In (A)	If(1s)
2	13
4	26
6	38
10	67
16	90
20	120
25	150
32	220
40	260
50	380
63	440
80	660
100	860
125	1180
160	1400
200	2000
250	2300
315	3300
400	4300
500	5700
630	7400
800	10300
1000	13000
1250	19400

I_n courant assigné du fusible gG

I_1 Temps de fusion 1s (NF C 63-213)