

MT Partenaire.....

Un client vous demande de justifier le choix des fusibles livrés...

Le document ci-joint devrait vous aider.

Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

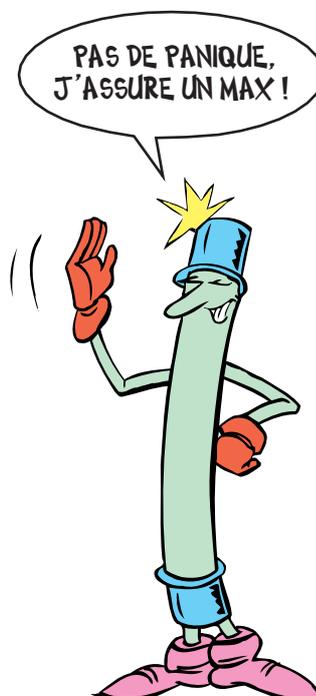
CE QU'IL FAUT RETENIR

Généralement, il suffit de respecter les tableaux de choix.

Dans le cas hors tableaux de choix, nous devons avoir à notre disposition les caractéristiques :

- du transformateur,
- de l'appareil de coupure,
- et des fusibles envisagés.

En application, nous traitons le cas du SM6.



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

Les fusibles moyenne tension utilisés dans les postes MT/BT sont coordonnés avec la puissance du transformateur.

Leur caractéristique temps/courant est déterminée de façon à protéger les réseaux de distribution moyenne tension contre les avaries survenant au transformateur et contre les défauts basse tension situés en amont de la protection BT.

Les fusibles peuvent être simplement associés à l'interrupteur-sectionneur ou bien équipés de percuteurs pour assurer après le fonctionnement du fusible, l'ouverture automatique de l'interrupteur et empêchant ainsi la marche en biphasé ou monophasé.

Dans la cellule "protection transformateur", la combinaison interrupteur-fusibles peut être éventuellement remplacée par un disjoncteur.

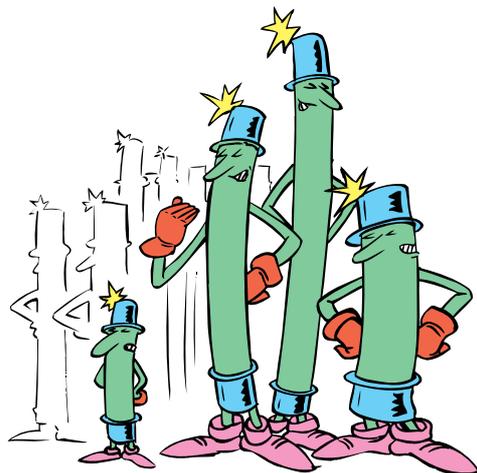
1 - RÈGLES DE CHOIX DES FUSIBLES

Pour choisir les fusibles, il suffit généralement de respecter les tableaux de choix de la cellule (exemple du SM6 page 11).

Le calibre des fusibles est déterminé pour une température ambiante qui ne dépasse pas 40 °C en valeur maximale et 35 °C en valeur moyenne journalière.

Si ces valeurs sont dépassées, le fusible doit être surcalibré pour éviter un échauffement pouvant entraîner sa destruction.

Dans le cas hors tableau de choix standard, les règles ou critères établis doivent être respectés pour le choix du calibre du fusible suivant le type du transformateur à protéger et de l'environnement du fusible (combinaison interrupteur-fusibles).



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

2 - RAPPEL DE QUELQUES DÉFINITIONS



CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU

Tension assignée U_r

C'est la tension entre phases (en kV) la plus élevée du réseau, sur laquelle est installé le fusible

Courant de court-circuit I_k

C'est le courant maximal en cas de court-circuit triphasé sur le réseau

LE TRANSFORMATEUR EST DÉFINI PAR :

- puissance P en kVA,
- tension de court-circuit U_{CC} %,
- tension de service U_s en kV,
- fonctionnement avec ou sans surcharge.

Nous noterons :

I_{rt} le courant assigné en service continu (courant nominal)

$$I_{rt} = \frac{P}{U_s \cdot \sqrt{3}}$$

$U_k(\%)$ la tension de court-circuit

C'est la tension d'alimentation sous laquelle le courant de court-circuit est égal à I_{rt} , exprimée en % de la tension assignée.

I_k le courant de court-circuit

Le courant correspondant à un court-circuit franc aux bornes secondaires du transformateur.

$$I_k = \frac{I_{rt} \times 100}{U_k \%}$$

I_e le courant d'enclenchement

I_e = valeur de crête du courant en régime transitoire de courant magnétisant à la mise sous tension du transformateur.

X le rapport I_e/I_{rt}

t_0 la constante de temps

C'est la constante de temps d'amortissement du régime transitoire à la mise sous tension.



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

2 - RAPPEL DE QUELQUES DÉFINITIONS (suite)



LE FUSIBLE EST DÉFINI PAR :

■ le courant assigné I_{rf}

C'est la valeur du courant que le fusible peut supporter en permanence sans échauffement anormal.

■ le courant minimal de coupure I_3

C'est la valeur minimale du courant qui provoque la fusion et la coupure du fusible.

I_3 est la limite inférieure de la zone de courant dans laquelle le fusible est capable de couper. Les valeurs de I_3 sont généralement comprises entre 3 et 6 I_{rf} (4,5 I_{rf} selon la norme UTE 64-210).

☞ **Remarque :** *il ne suffit pas pour un fusible moyenne tension, de fondre pour interrompre le passage du courant. Pour des valeurs de courant inférieures à I_3 , le fusible fond, mais peut ne pas couper. L'arc reste maintenu, détruisant le fusible et son environnement.*

*Il est donc **impératif** d'éviter la sollicitation d'un fusible dans la zone comprise entre I_{rf} et I_3 .*

■ les caractéristiques temps/courant de la gamme de fusibles utilisés

Suivant documentation fournisseur (voir exemple gamme Fusarc CF Merlin Gerin page 12).

■ le pouvoir de coupure en court-circuit I_1

C'est le courant présumé maximal que le fusible peut interrompre. C'est la valeur maximale d'essai du fusible.

Ce courant est très élevé : de 20 kA à 63 kA.

■ la résistance à froid du fusible R_f

Fournie par le constructeur du fusible.



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

3 - CHOIX DES FUSIBLES POUR LA PROTECTION DES TRANSFORMATEURS

LA DÉTERMINATION DU FUSIBLE SE FERA EN RESPECTANT LES CONDITIONS SUIVANTES :

La tension assignée du fusible U_{rf} (en kV) doit être supérieure ou égale à la tension du réseau.

$$U_{rf} > U_r$$

Elle doit respecter les limites de tension de service données par le constructeur du fusible (un fusible de tension assignée trop élevée donnera en cas de fusion des surtensions excessives sur le réseau).

Le pouvoir de coupure en court-circuit du fusible I_1 (en kA) doit être supérieur ou égal au courant de court-circuit I_{kr} du réseau.

$$I_1 \geq I_{kr}$$

Le courant de défaut au secondaire du transformateur à interrompre doit être supérieur ou égal à I_3 .

$$I_k \geq I_3$$

La résistance à froid du fusible doit être affectée d'un coefficient pour tenir compte de son installation en cellule.

Pour tenir compte de l'augmentation de la résistance du fusible lorsqu'il chauffe et de l'installation des fusibles en cellule SM6 (température de l'air plus élevée), la résistance à froid du fusible est affectée d'un coefficient prenant en compte les caractéristiques de la cellule (volume,...).

$$P = 1,9 R_f \times I_{rt}^2$$

R_f = résistance à froid du fusible.

1,9 = coefficient obtenu après essais.

Puissance maximale à ne pas dépasser par le fusible :

100 W, si la température ambiante $< 40^\circ\text{C}$

80 W, si la température ambiante $40^\circ\text{C} < \theta < 55^\circ\text{C}$

Les conditions d'exploitation doivent être prises en compte.

■ les surcharges brèves

Pour tenir compte des surcharges de brève durée du transformateur, on affecte le courant nominal du transformateur d'un coefficient.

$$I_{rf} \geq 1,4 I_{rt}$$

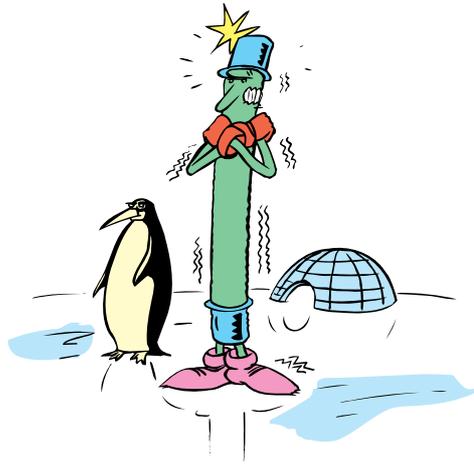
■ les surcharges permanentes

En cas de surcharge permanente, la valeur du calibre du fusible doit être majorée.

Si le transformateur est prévu pour fonctionner avec une surcharge permanente, c'est-à-dire, pendant plusieurs heures, la valeur du calibre du fusible doit être supérieure ou égale à $1,3 I_{\text{surchage}}$

On choisit :

$$I_{rf} \geq 1,3 I_{\text{surchage}}$$



3 - CHOIX DES FUSIBLES POUR LA PROTECTION DES TRANSFORMATEURS (suite)



■ le courant transitoire d'enclenchement

La mise sous tension d'un transformateur se traduit toujours par un régime transitoire plus ou moins important suivant l'instant d'application de la tension et l'induction rémanente du circuit magnétique.

L'asymétrie et la valeur du courant sont maximales lorsque l'établissement a lieu à un zéro de tension et lorsque l'induction rémanente sur la phase est maximale.

Il est donc nécessaire pour le choix du fusible de connaître la valeur efficace du courant d'appel et sa durée.

En pratique, il existe une règle simple tenant compte de ces contraintes et permettant d'éviter le vieillissement prématuré des fusibles.

Cette règle consiste à vérifier sur la courbe de fusion-fusible que le courant maximal qui fait fondre le fusible pour un temps T correspondant à la constante de temps du transformateur est toujours supérieur au courant d'enclenchement du transformateur.

$$I_{\text{min. fusion-fusible}} > X \times I_{rt}$$

$$X = \frac{I_e}{I_{rt}}$$

- X et T sont donnés dans le tableau des caractéristiques du transformateur fourni par le fabricant.

- Si on ne connaît pas la caractéristique transitoire du transformateur, une règle empirique consiste à vérifier que le courant de fusion à 0,15 s est supérieur à $X \times I_r$ avec :

X = 12 pour les transformateurs de faible puissance.

X = 10 pour les transformateurs puissance > 1000 kVA

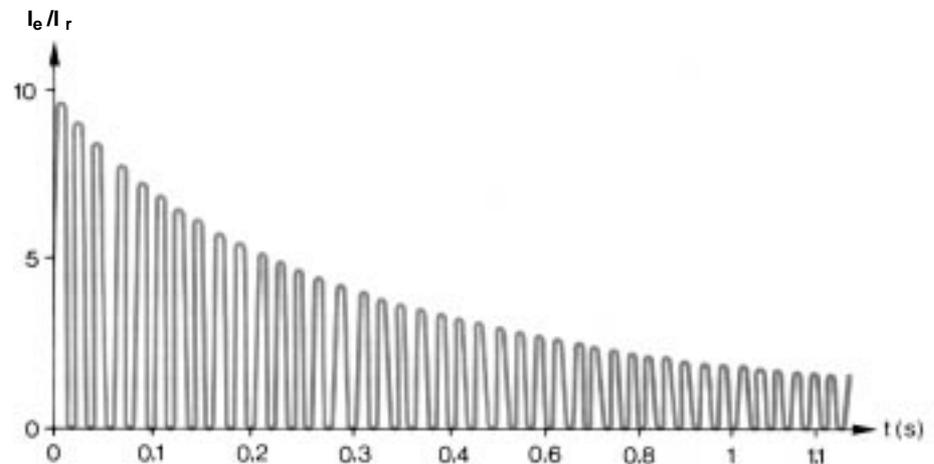
Exemple d'après la documentation France Transfo :

T constante de temps des transformateurs

$$X = I_{\text{enclenchement}} / I_{rt}$$

et U_{cc} % d'un transformateur en fonction de sa puissance P.

P	25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
T	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2	0,22	0,22	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,35	0,35	0,4	0,45	0,45
X	15	14	14	12	12	12	12	12	12	11	11	10	10	9	9	8	8
U_{cc} %	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6



courant d'appel d'un transformateur de 1 000 kVA



4 - CARACTÉRISTIQUES DES FUSIBLES SUIVANT LE TYPE DE CELLULE



INTERRUPTEUR + FUSIBLES ASSOCIÉS SONT EN SÉRIE ET AGISSENT INDÉPENDAMMENT (EX. CELLULE PM)

L'interrupteur coupe son courant nominal dans les conditions normales d'exploitation (100 coupures à $\text{Cos } \varphi = 0,7$).

Les fusibles protègent contre le court-circuit.

Les fusibles ne sont pas équipés de percuteur, il n'y a donc pas de déclenchement de l'interrupteur sur fusion fusible.

COMBINÉS INTERRUPTEUR + FUSIBLES (EX. CELLULES QM, QMB, QMC)

Les actions de l'interrupteur et des fusibles sont liées.

La fusion des fusibles équipés de percuteur provoque l'ouverture de l'interrupteur du combiné interdisant la marche en monophasé ou en biphasé.

L'interrupteur possède un pouvoir de coupure sur courant de défaut. Il peut être sollicité par des bobines d'ouverture sur défauts internes du transformateur (relais DGPT, Bucholz...) ou par des relais indirects alimentés par des transformateurs de courant ou des tores pour la protection contre les surcharges (cellule QMC). Le choix du calibre des fusibles doit répondre aux exigences des normes CEI 60 282-1 et CEI 62 271-105

Types de fusibles : Fusarc CF ou Soléfuse avec percuteur ou d'autres marques.

Percuteur de type "moyen" : énergie minimum de déclenchement fusion fusible = 0,5 J.

Le choix des fusibles dans les combinés interrupteur-fusibles dépend du courant de transition I_{40} et du courant de c/c vu du primaire.

La norme CEI 62 271-105 définit les conditions qui permettent de garantir la coordination des performances du fusible et de l'interrupteur du combiné.

■ **le courant de transition d'un combiné dépend à la fois de la caractéristique temps/courant des fusibles et de la durée d'ouverture de l'interrupteur.**

Cette ouverture est provoquée par les fusibles près du point de transition lors d'un défaut triphasé. Le fusible le plus rapide fond, coupant ainsi la première phase, puis son percuteur donne l'ordre d'ouverture à l'interrupteur. Les deux autres phases voient alors un courant réduit (87 %) qui sera interrompu, soit par l'interrupteur soit par les deux derniers fusibles. Le point de transition est obtenu lorsque l'ouverture de l'interrupteur et la fusion de ces deux derniers fusibles se produisent simultanément. C'est ici que l'interrupteur prend la relève des fusibles, ce qui définit son pouvoir de coupure minimal nécessaire.



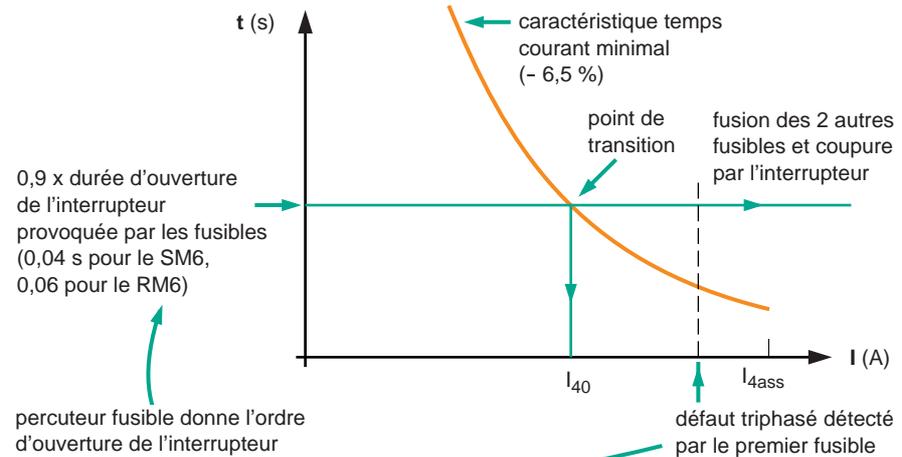
Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

4 - CARACTÉRISTIQUES DES FUSIBLES SUIVANT LE TYPE DE CELLULE

(suite)



D'un point de vue pratique, le courant de transition est déterminé en portant sur la caractéristique minimale temps/courant (sur la base d'une tolérance sur le courant de - 6,5 %) du fusible, un temps égal à 0,9 fois la durée d'ouverture de l'interrupteur provoquée par les fusibles.



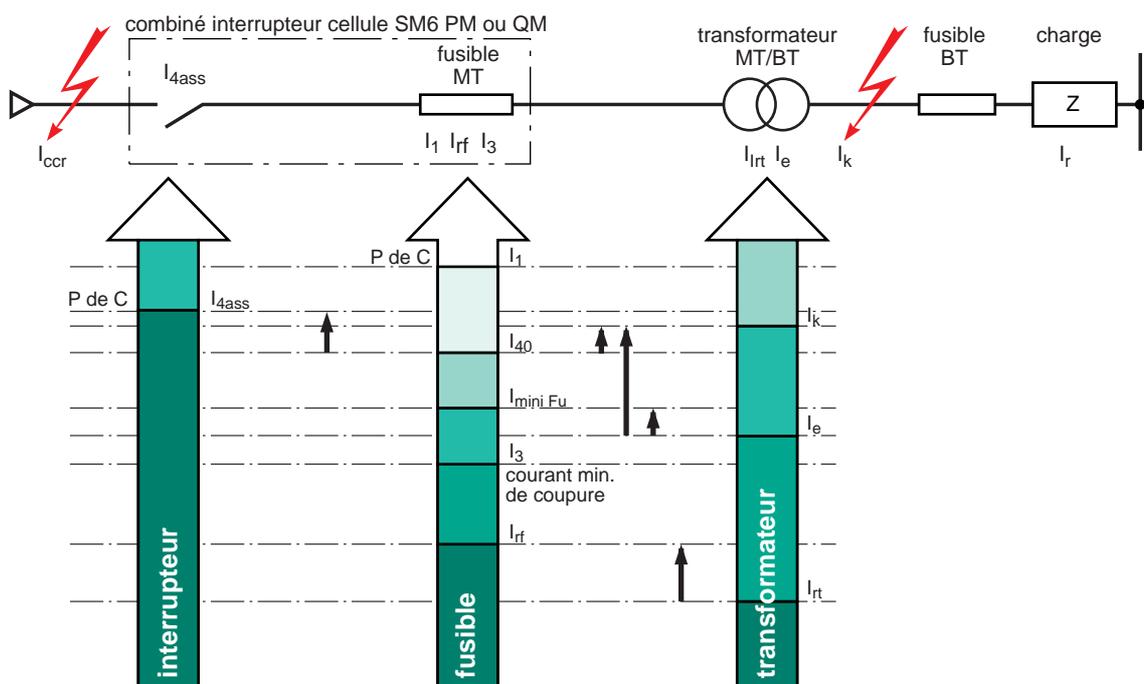
Le courant associé au point de transition est le courant triphasé de transition (I_{40})

Ce courant ne doit pas être supérieur au **courant de transition assigné** qui est le courant triphasé annoncé par le constructeur du combiné et vérifié lors de la série d'essais 4.

$$I_{40} < I_{4ass}$$

Le courant de transition assigné (I_{4ass}) correspond au pouvoir de coupure (P de C) de l'interrupteur (voir page 9).

EN RÉSUMÉ, LES COURANTS SE RÉPARTISSENT DE LA FAÇON SUIVANTE DANS LES DIFFÉRENTS COMPOSANTS DE L'INSTALLATION :



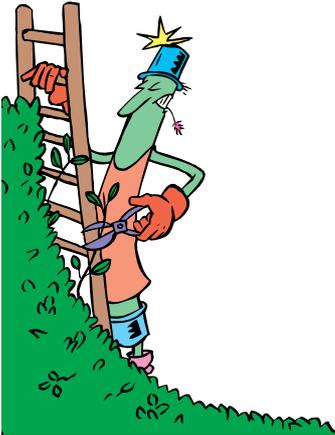
Remarque : les valeurs des courants sont données en efficace sauf pour le courant I_e dont la valeur est donnée en crête.



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

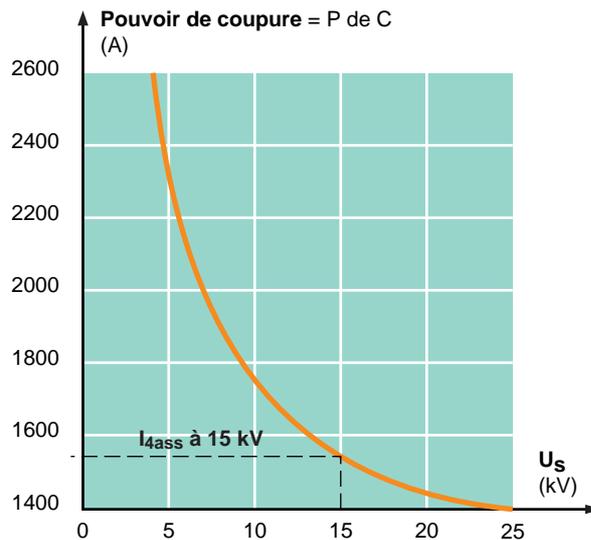
4 - CARACTÉRISTIQUES DES FUSIBLES SUIVANT LE TYPE DE CELLULE

(suite)



POUVOIR DE COUPURE DE L'INTERRUPTEUR DU SM6 EN FONCTION DE LA TENSION DE SERVICE (dans les conditions du courant de transition).

$$I_{4\text{ass}} = P \text{ de C}$$



COURANT DE TRANSITION DU COMBINÉ I_{40}

Le courant de transition du combiné doit être inférieur au défaut vu du primaire lors d'un court-circuit franc aux bornes secondaires d'un transformateur.

Lors d'un court-circuit franc aux bornes secondaires d'un transformateur, le défaut entraîne des valeurs de Tension Transitoire de Rétablissement élevées vis-à-vis desquelles l'interrupteur pourrait ne pas être capable de faire face.

Les fusibles, de ce fait, doivent être choisis de telle sorte qu'ils éliminent seuls un tel défaut sans faire intervenir l'interrupteur.

En pratique, cette condition oblige à s'assurer que le courant de transition du combiné, déterminé selon la méthode de calcul du courant de transition (CEI 62 271-105 paragraphe 8.102-3 est inférieur au courant vu du primaire.

$$I_{40} < I_k$$



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

5 - EXEMPLES D'APPLICATION

VÉRIFIONS QUE LE FUSIBLE 31,5 A CONVIENT POUR LA PROTECTION D'UN TRANSFORMATEUR 20 KV/630 KVA

■ détermination des caractéristiques du transformateur

$$I_{rt} = 18 \text{ A} \quad I_e = 198 \text{ A} \quad I_k = 450 \text{ A}$$

■ détermination des caractéristiques du fusible

$I_{rf} > 1,4 I_{rt}$ (voir page 5) donc $I_{rf} > 18 \times 1,4 = 25,2 \text{ A}$ donc I_{nf} retenu est 31,5 A

Page 6, nous trouvons que pour un transformateur de 630 kVA, $T = 0,3 \text{ s}$

Sur la courbe de fusion (voir page 12), pour 0,3 s sur la courbe 31,5 A, nous trouvons $I_{\infty} = 160 \text{ A} < I_e$, donc ce fusible ne convient pas.

Prenons $I_{rf} = 40 \text{ A}$, $I_{\infty} = 210 \text{ A} > I_e$, donc le fusible 40 A convient.

I_{40} est déterminé sur la courbe page 12 pour 0,036 s ($0,9 \times$ temps de coupure de l'interrupteur ; 0,04 pour SM6 ; 0,06 pour RM6).

$$I_{40} = 360 \text{ A} \quad I_3 = 135 \text{ A} \quad I_1 = 40 \text{ kA}$$



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

5 - EXEMPLES D'APPLICATION (suite)

Nous voyons sur le tableau ci-dessous que ces valeurs se positionnent correctement.

transfo	I_{rt}	I_{rf}	I_3	I_e	$I_{minifutu}$	I_{40}	I_k	I_1	
fusible									
interrupteur								I_{40ass}	
315 kVA	Fusarc CF	9 A	25 A	41 A	108 A	130 A	210 A	230 A	40 kA
630 kVA	Fusarc CF	18 A	31,5 A	101 A	198 A	160 A	N O N	C O N F O R M E	
630 kVA	Fusarc CF	18 A	40 A	135 A	198 A	210 A	360 A	450 A	40 kA

$$\frac{630}{\sqrt{3} \cdot 20}$$

$$I_e = X \cdot I_{rt}$$

$$X = 11 \text{ (voir page 6)}$$

$$\frac{I_{rt} \cdot 100}{4}$$
 Voir pages 8 et 11 (voir page 3) Voir doc fusibles

Nous trouvons page 8 de la fiche technique AC0479 sur les fusibles pour $I_{rf} = 40 \text{ A}$ et $L = 442 \text{ mm}$ } $I_3 = 135$

Tableau de choix pour le SM6

Calibre en A. Utilisation sans surcharge à $-5^\circ\text{C} < \theta < 40^\circ\text{C}$

En cas de surcharge ou au-delà de 40°C , nous consulter.

type de fusible	tension de service (kV)	puissance du transformateur (kVA)										tension assignée (kV)							
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500		630	800	1000	1250	1600	2000	2500
normes UTE NFC : 13.100, 64.210																			
Soléfuse																			
5,5	6,3	16	31,5	31,5	63	63	63	63	63	63									7,2
10	6,3	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	63								24
15	6,3	6,3	16	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63						
20	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	43	43	43	43	63					
cas général, norme UTE NFC : 13.200																			
Soléfuse																			
3,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	100	100										7,2
5,5	6,3	16	16	31,5	31,5	63	63	63	80	80	100	125							
6,6	6,3	16	16	16	31,5	31,5	43	43	63	80	100	125	125						
10	6,3	6,3	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80	80	100					12
13,8	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	63	63	80					17,5
15	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80					
20	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63					24
22	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	63	63				
Fusarc CF																			
3,3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	125	200	200							7,2
5,5	10	16	31,5	31,5	40	50	50	63	80	100	125	125	160	160					
6,6	10	16	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160					
10	6,3	10	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	100	125	200			12
13,8	6,3	10	16	16	20	25	31,5	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	17,5	
15	6,3	10	10	16	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125		
20	6,3	6,3	10	10	16	16	25	25	31,5	40	40	50	50	63	80	100	125	24	
22	6,3	6,3	10	10	10	16	20	25	25	31,5	40	40	50	50	80	80	100		

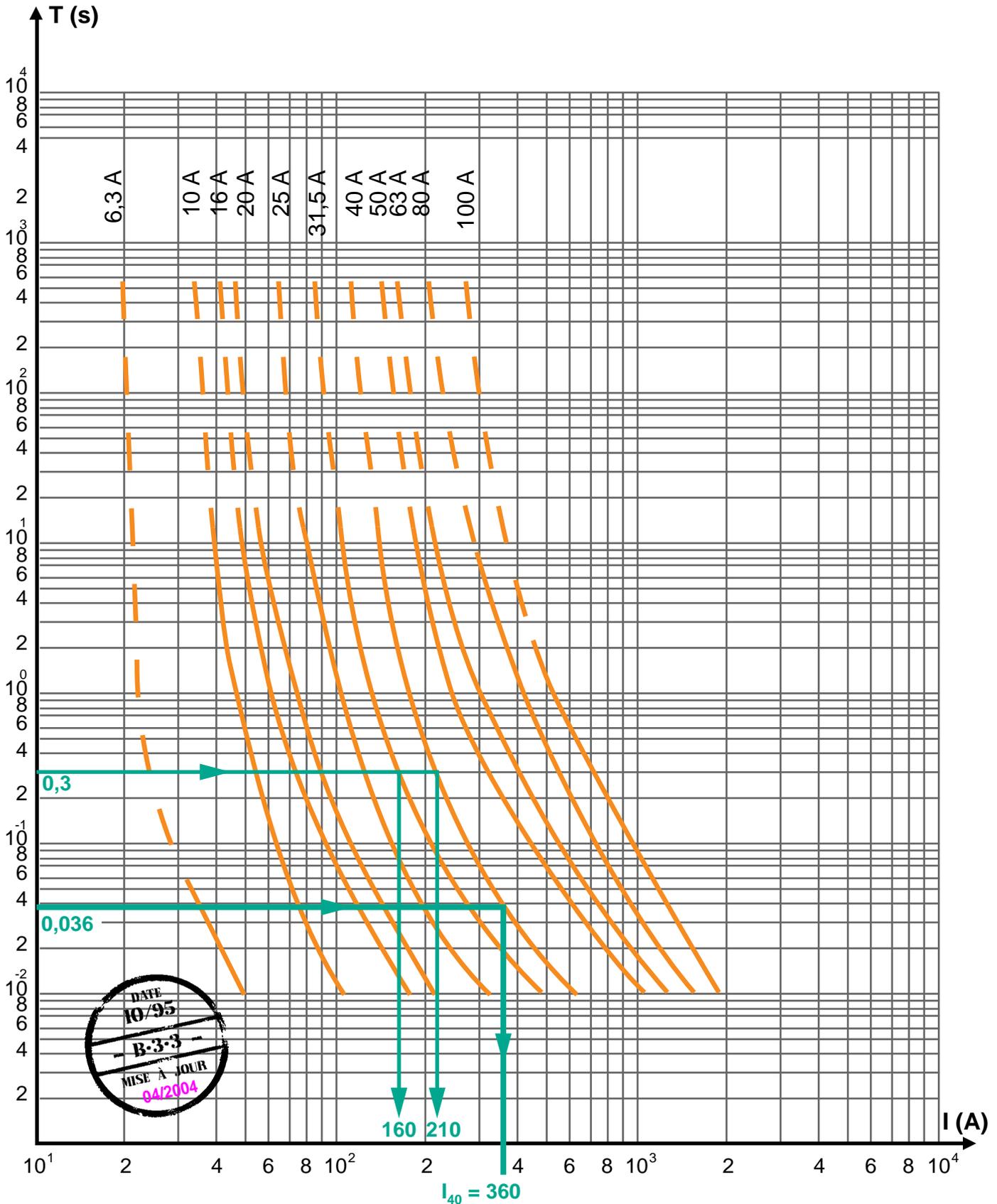
en gras fusibles fabriqués par SIBA



Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

5 - EXEMPLES D'APPLICATION (suite)

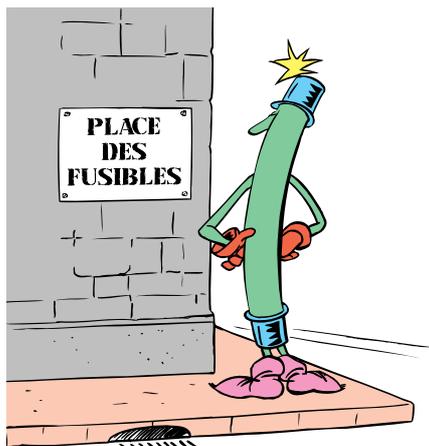
Caractéristique temps/courant d'un fusible de la gamme Fusarc CF (Merlin Gerin)



Ce sont des courbes moyennes, la tolérance sur le courant I est de $\pm 10\%$

Choix des fusibles pour la protection des transformateurs

6 - PLAQUE INDICATRICE



PLAQUE SIGNALÉTIQUE FUSIBLES EN FACE AVANT DE LA CELLULE (QM)

En référence à la norme CEI 62 271-105, il doit être indiqué sur la plaque de caractéristiques :

- la marque,
- le type de fusible,
- le courant nominal maximal,
- le type de percuteur,
- la référence à la norme.

Fusibles	} paramètres figés
voir tableau de choix	
IEC 62 271-105 :2002	} paramètre évolutif
92 39 002 u	

☞ **Remarque :** si un client n'utilise pas les fusibles préconisés dans les tableaux de choix établis par le service technique, celui-ci devra s'assurer que les fusibles installés sont compatibles avec les exigences de la CEI 62 271-105, les performances de l'interrupteur SM6 et l'environnement de la cellule (puissance dissipée).

7 - CONSIGNES DE SÉCURITÉ

CONSIGNES DE SÉCURITÉ EN CAS DE REMPLACEMENT DE FUSIBLES SUR SITE

Dans le cas de défaut en aval de l'interrupteur, on constate en général que 1 ou 2 fusibles "fondent", le troisième étant apparemment intact.

Les caractéristiques de ce fusible sont modifiées au cours du défaut car il a pu subir un courant suffisant pour le dégrader sans faire fondre la totalité des rubans (la partie active du fusible est constituée de plusieurs rubans en parallèle).

Il est donc nécessaire, en cas de défaut aval éliminé par la cellule protection, de changer les trois fusibles et de les détruire immédiatement pour éviter toute utilisation ultérieure.

SI VOUS AVEZ UN DOUTE...

Demandez conseil au Service Technique du DAS MT.



8 - BIBLIOGRAPHIE



NORMES

- UTE C64-210 (Mai 1994)
Appareillage à haute tension pour courant alternatif.
Fusibles à haute tension pour postes de transformation public de type intérieur.
- UTE C13-100 (Avril 2001)
Postes de livraison établis à l'intérieur d'un bâtiment et alimentés par un réseau de distribution publique de deuxième catégorie.
- UTE C13-200 (Avril 1987)
Installations électriques à haute tension : règles
- CEI 60 288-1 (Janvier 2002)
Fusibles limiteurs de courant.
- CEI 62 271-105 (Août 2002)
Combinés interrupteurs-fusibles à haute tension pour courant alternatif.
- CEI 60 787 (1983)
Guide d'application pour le choix des éléments de remplacement de fusibles à haute tension destinés à être utilisés dans des circuits comprenant des transformateurs.

PUBLICATIONS

- Cahier technique Merlin Gerin n° 155
"Les réseaux de distribution publique MT dans le monde" de Christian Puret (ENSERG).
- Cahier technique Merlin Gerin n° 128
"Conception et utilisation de fusibles limiteurs MT" d'Olivier Bouilliez (Centrale Lyon).
- Cahier technique Merlin Gerin n° 70
"Guide d'utilisation des transformateurs de distribution" de Guy Bournerie (ENSIEG).
- Catalogue Merlin Gerin
"Distribution HTA ensembles préfabriqués gamme SM6".
- Catalogue Merlin Gerin
"MV distribution switchgear fuses Fusarc Soléfuse".
- Brochures fusibles MT
Driescher, Wickmann, Siba, Mesa, Siemens, Alstom.
- Revue générale d'électricité (Juin 88 p. 3-11)
"Des condensateurs pour tenir la tension et réduire les pertes dans les réseaux EDF".
- Asea Revue 1984 n° 3 p. 14-19
"Coupe-circuit intérieur pour une plus grande protection".
- IEEE power apparat. & syst. (trans.) Juillet 82 p. 2056-60
"Characteristics of high-voltage current-limiting fuses for distribution systems".
- Journal des électriciens (Juillet/Août 90 p. 28-30)
"Départs moteurs".
- Exploitation cellules VM6 (J. Lescure).
- Manuel technique SM6 7897118

