

FERRAZ SHAWMUT IS NOW

**merseN**

# INTRODUCTION A LA PROTECTION PAR FUSIBLES

# SOMMAIRE

## 1. LES PROTECTION CONTRE LES SURINTENSITES SONT INDISPENSABLES

- 1.1. Surcharge
- 1.2. Court circuit
- 1.3. Conséquences des surintensités
- 1.4. Cconvergence mondiale des considérations juridiques
- 1.5. Impact des considérations juridiques
- 1.6.

## 2. AVANTAGES DU FUSIBLE

- 2.1. Sécurité
- 2.2. Vitesse
- 2.3. Pouvoir de coupure
- 2.4. Maintenance avant un court-circuit
- 2.5. Maintenance après un court-circuit
- 2.6. Sélectivité
- 2.7. Future extension des installations
- 2.8. Faible consommation d'énergie
- 2.9. Fiabilité
- 2.10. Universel
- 2.11. Prix

## 3. CONSTRUCTION D'UN FUSIBLE

## 4. INTERRUPTION DES SURINTENSITES

- 4.1. Interruption des courts - circuits
- 4.2. Interruption des surcharges

## 5. INTRODUCTION A LA NORME CEI 60269

- 5.1. La CEI 60269 a quatre sections principales
- 5.2. Il y a deux grandes familles de fusibles

## 6. SCHEMA ELECTRIQUE GENERAL D'UNE GRANDE PRODUCTION (ciment, papier, laminoir etc.)

## 7. CHOIX DE LA TENSION NOMINALE $U_N$

## 8. PROTECTION DES CABLES

## 9. PROTECTION DES CIRCUITS MOTEURS

## 10. PROTECTION DE L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

- 10.1. Critères principaux
- 10.2. Pont triphasé
- 10.3. Variateur de vitesse courant continu régénérateur
- 10.4. Démarreurs progressifs et relais statiques
- 10.5. Onduleurs
- 10.6. Systèmes multi - onduleurs

## 11. FONCTIONNEMENT DU FUSIBLE SOUS UNE TENSION CONTINUE

- 11.1. Commentaire sur la tension nominale du fusible – valeurs pratiques de L / R
- 11.2. Exemple de possibilités en courant continu d'une gamme de fusibles de tension alternative
- 11.3. Définition d'un fusible pour la protection d'un circuit courant continu

## 12. CONCLUSION

# 1. LES PROTECTIONS CONTRE LES SURINTENSITES SONT INDISPENSABLES

Il y a 2 types de surintensités:

- La surcharge
- Le court circuit

## 1.1. La surcharge

### 1.1.1. Définition

Le terme “surcharge” est utilisé pour un courant excessif circulant dans un circuit en bon état électriquement. Les surcharges de courant ne sont pas beaucoup plus élevée que le courant maximum permanent d’une installation, mais si elles se maintiennent trop longtemps elles peuvent faire des dégâts. Les surcharges sont en général inférieures à 8 à 10 fois le courant nominal du circuit.

Les dégâts dans les installations, plus particulièrement dans les matières isolantes en contact avec les conducteurs de courant, sont la conséquence de l’effet thermique du courant.

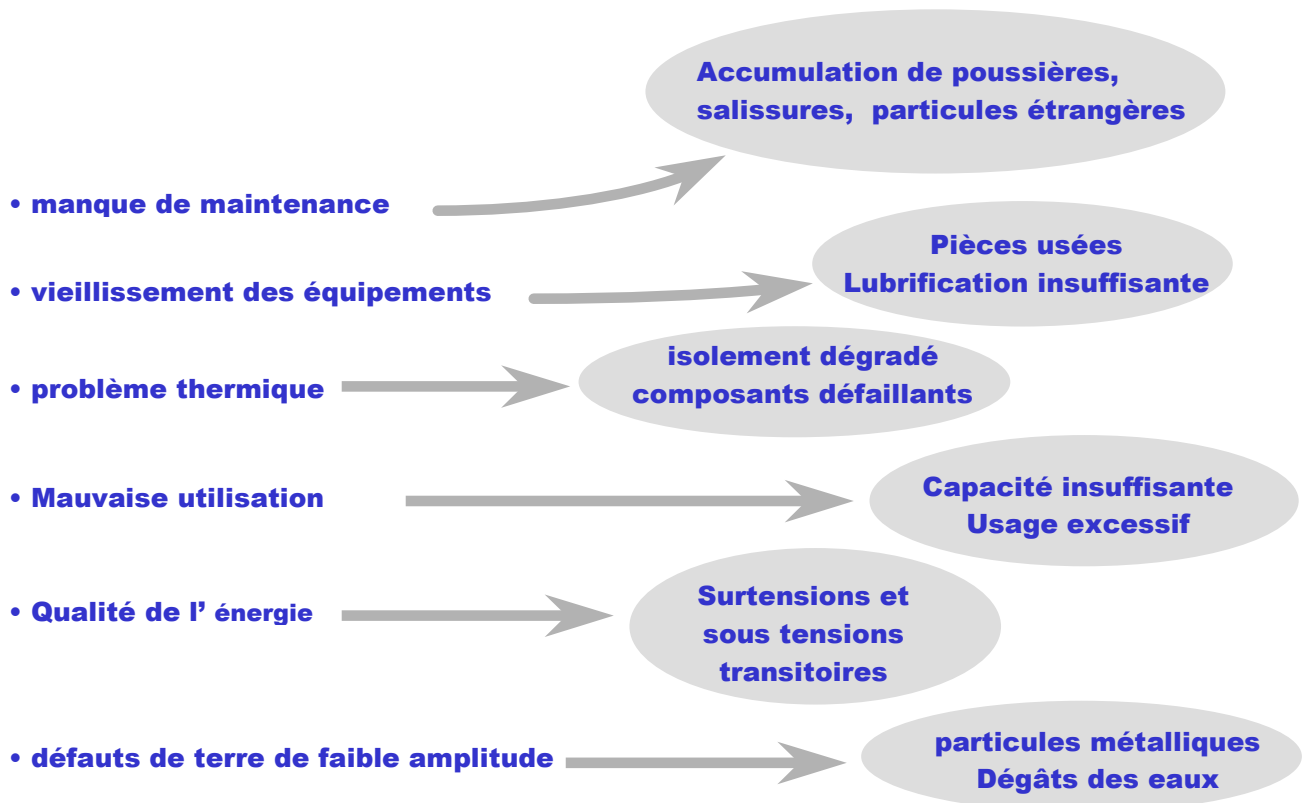
La durée de cet effet thermique est relativement longue (de quelques secondes à quelques heures), et la surcharge peut donc être caractérisée par la valeur efficace du courant.

\* **La valeur efficace d’un courant alternatif est la valeur du courant continu qui produirait les mêmes échauffements dans une résistance pure.**

La protection contre une surcharge est réalisée par un dispositif de protection capable de diminuer la durée de la surcharge.

Certaines gammes de fusibles sont conçues pour ce type de protection.

### 1.1.2. Causes habituelles des surcharges



## 1.2. Le court - circuit

### 1.2.1. Définition

Le court circuit est souvent dû à une défaillance électrique importante comme la rupture d'un isolant, la chute d'un objet métallique sur des barres ou la défaillance d'un semi-conducteur. Il en résulte un courant de défaut dont la valeur efficace est très élevée, typiquement supérieure à 10 fois la valeur du courant nominal de l'installation.

L'effet thermique est tellement rapide que les dégâts dans l'installation se produisent en quelques millisecondes. Cet effet thermique extrêmement rapide ne peut pas être caractérisé par la valeur efficace du courant présumé de défaut comme c'est le cas dans les surcharges, car il dépend de la forme de l'onde de courant.

Dans ce cas la protection doit limiter l'énergie associée au défaut ; cette énergie est lié à la grandeur suivante:

$$i^2t$$

où  $i$  est la valeur instantanée du courant.

Cependant la protection contre les court circuits impose souvent une condition supplémentaire qui est la **limitation du courant crête** autorisé dans l'installation.

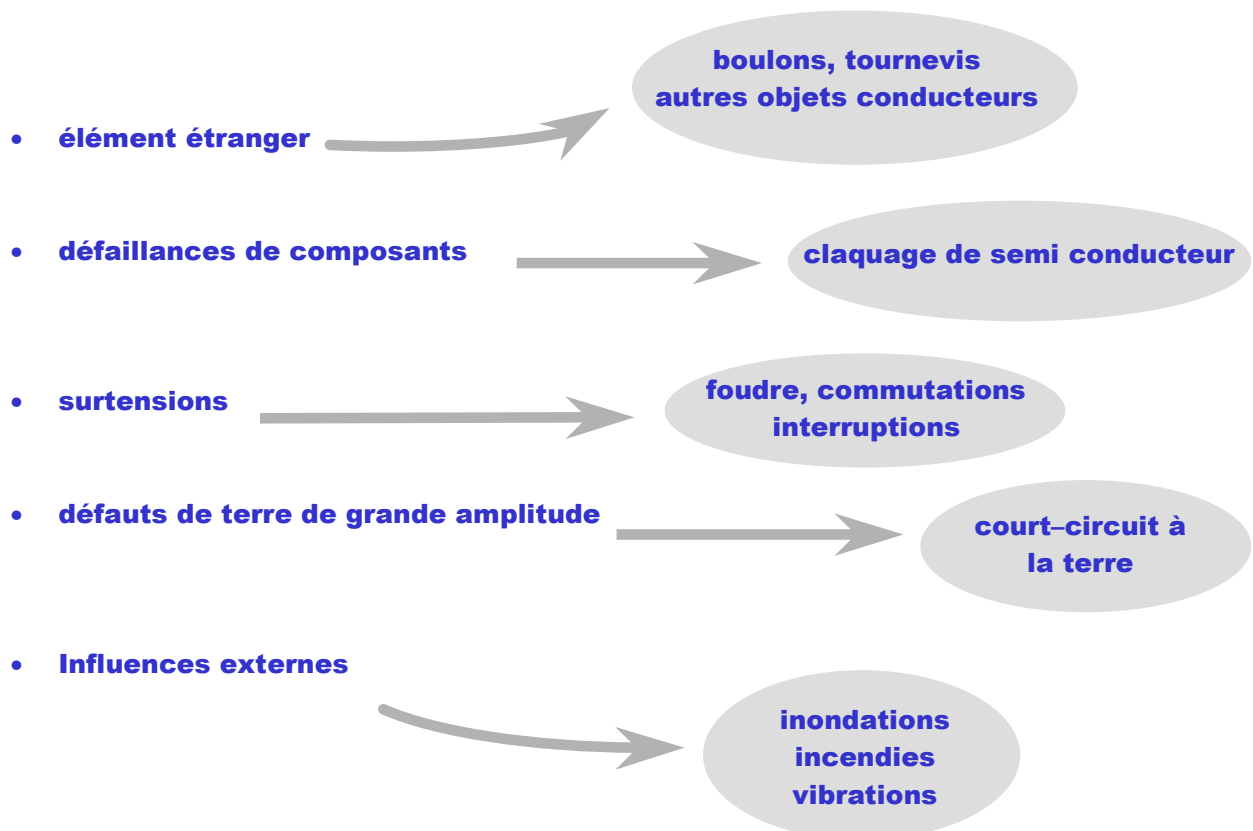
En effet les **forces électromagnétiques** sont proportionnelles au carré de la valeur instantanée du courant et peuvent produire des dégâts mécaniques aux équipements si les courants de court circuit ne sont pas « limités » très rapidement.

Les contacts de sectionneurs, contacteurs et même de disjoncteurs peuvent se souder si le courant crête passant dans le circuit de défaut n'est pas limité à une valeur suffisamment basse.

Si la fusion de certains conducteurs et de certaines parties de composants se produit, un arc entre les particules fondues peut s'amorcer, déclencher des incendies et créer des situations dangereuses pour le personnel. Une installation électrique peut même être complètement détruite.

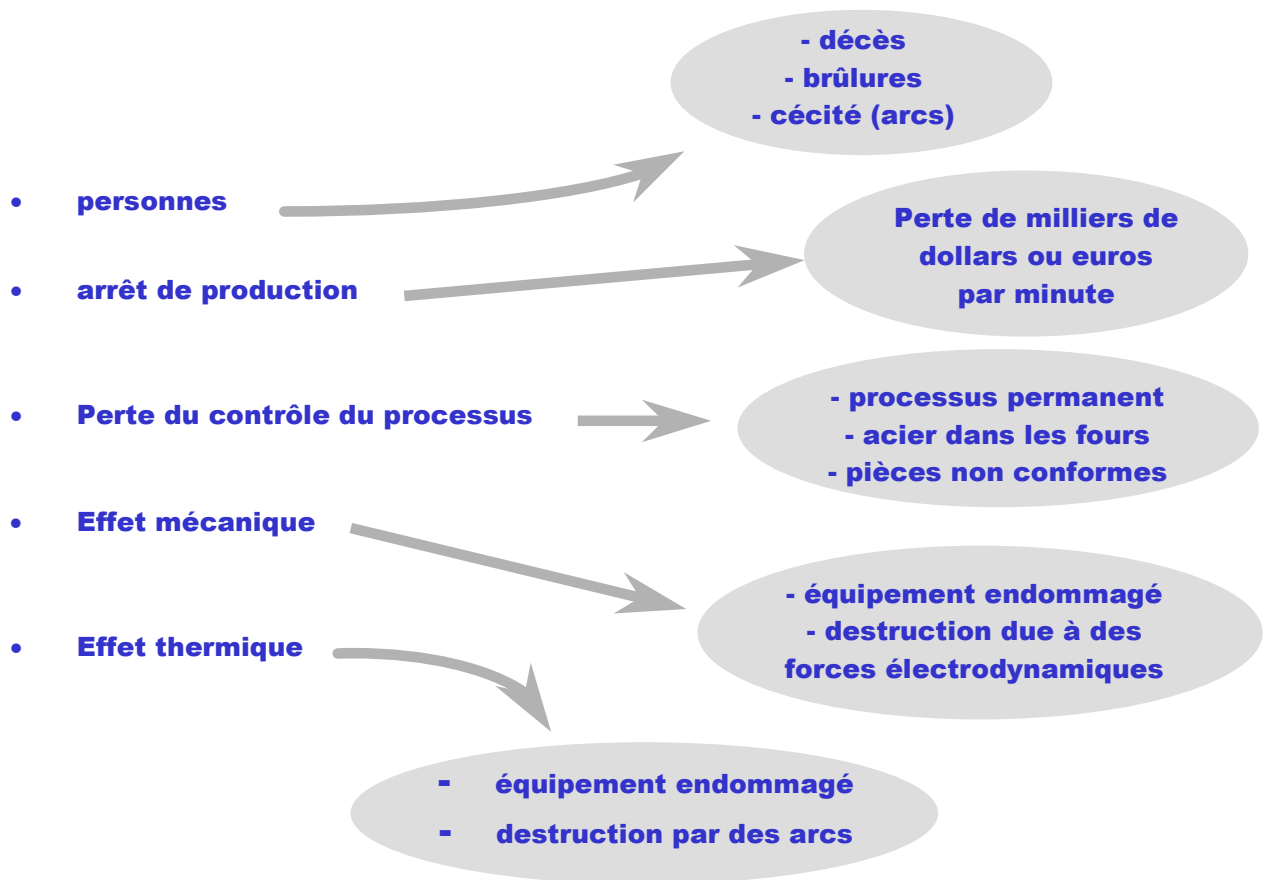
Les fusibles fournissent la meilleure protection en cas de court circuit.

### 1.2.2. Causes habituelles des courts-circuits



### 1.3. Conséquences des surintensités

C'est en général une combinaison des résultats ci dessous!



### 1.4. Convergence mondiale des considérations juridiques

- Impact sur les normes : harmonisation... CEI, UL, NEC...
- Responsabilité et obligation de performance des produits (les précédents juridiques ont un impact mondial)
- La loi française (98-388) rend les fabricants responsables des risques pour le personnel & les matériels si la performance d'un produit est «inférieure à celle prévue»... Les dénégations sont nulles et annulées à l'avantage des utilisateurs!

### 1.5. Impact des considérations juridiques

- Les fabricants sont responsables de leurs composants
- Les constructeurs sont entièrement responsables de leurs assemblages / équipement
- «La responsabilité limitée» est du domaine du passé
- Les coûts des transactions juridiques augmentent de façon astronomique! (dommages corporels et matériels, arrêts de production, traumatismes psychologiques, dommages très sévères .....)



Figure 1 : danger de l'énergie d'un arc électrique

## 2. FUSE ADVANTAGES

### 2.1. Sécurité

ceci est un point clé lors du design ou de la remise à niveau d'une installation. Le fusible est toujours la meilleure solution car :

- Les éléments métalliques à l'intérieur du fusible fondent directement sous l'effet du courant de défaut sans aucun mécanisme intermédiaire, détecteurs etc.
- L'extinction de l'arc est totalement enfermée ce qui empêche l'émission de gaz ionisés, la projection de flammes et de particules en fusion.
- FERRAZ SHAWMUT a effectué de très nombreux essais démontrant que l'énergie d'un arc électrique est considérablement diminuée quand la valeur crête du courant est limitée par un fusible.

**limitation optimisée de l'énergie = blessures et dégâts minimisés**

### 2.2. Rapidité / courant crête

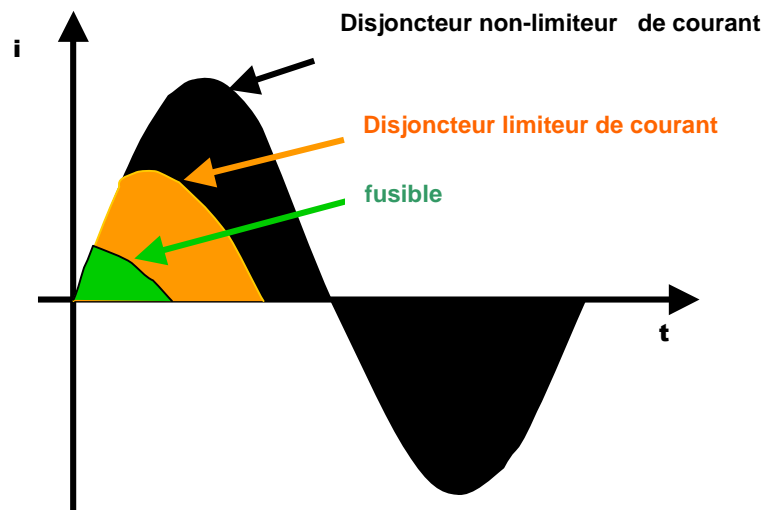


Figure 2: comparaison de plusieurs dispositifs de protection

En cas de grand courant de court-circuit aucun système de protection n'est plus rapide que le fusible. Pour cette raison le courant crête est limité à de faibles valeurs par le fusible.

Les fusibles conviennent donc particulièrement à la protection des circuits sans altération des composants impliqués dans le circuit de défaut.

La Figure 2 démontre clairement la plus grande rapidité du fusible.

**fusible = limitation de l'énergie et sécurité de fonctionnement**

### 2.3. Pouvoir de coupure

C'est le plus grand courant que le fusible peut interrompre. Le fusible peut couper 100 000 A, 200 000 A et même 300 000 A.

### 2.4. Maintenance avant un court-circuit

une maintenance n'est pas nécessaire car les caractéristiques du fusible ne changent pas.

### 2.5. Maintenance après un court-circuit

après la coupure d'un courant de défaut il est nécessaire de remplacer le fusible qui a fondu par un nouveau fusible. Cependant cette opération est réalisée très rapidement et donne l'assurance que les équipements sont toujours protégés avec exactement la même efficacité.

## 2.6. Sélectivité (ou discrimination)

Cette condition est très facilement obtenue avec les fusibles. La figure 3 montre que seul le fusible F1 intervient alors que les autres fusibles ne fondent pas. Les autres fusibles sont même toujours aussi bons qu'avant le court circuit. Avec la CEI la sélectivité entre fusibles du type gG est obtenue si le courant nominal du fusible F2 est 1.6 fois le courant nominal de F1. La même règle s'applique entre les fusibles F2 et F3.

**Fusible = interruption minimisée des circuits, pas de « black out ».**

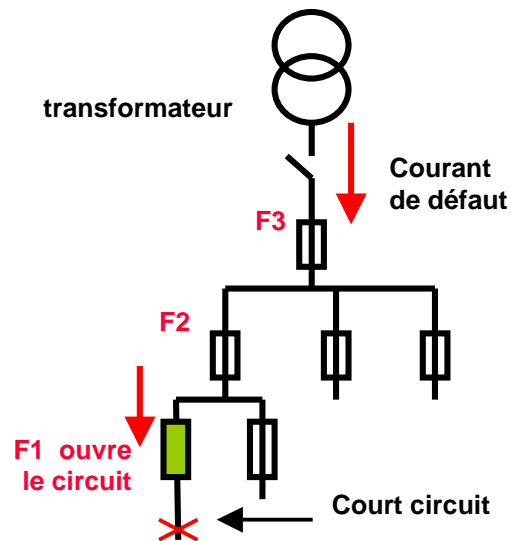


Figure 3: sélectivité

## 2.7. Future extension des installations

Dans de nombreuses usines la puissance totale nécessaire augmente avec le temps. Par conséquent le courant de court circuit total augmente également. Dans le cas de l'extension d'une installation les pouvoirs de coupure de tous les dispositifs de protection doivent être vérifiés car certains d'entre eux peuvent être devenus insuffisants. Généralement les fusibles conviennent encore car ils ont à l'origine un grand pouvoir de coupure. En outre en ajoutant des fusibles à un système existant on augmente le pouvoir de coupure du système de protection.

## 2.8. Faible consommation d'énergie

Les fusibles consomment peu d'énergie et même parfois moins que les disjoncteurs. Par exemple les puissances dissipées de quelques fusibles FERRAZ SHAWMUT sont :

- 3 W pour un 32 A gG ou aM taille 10x38 dans notre appareillage "MODULOSTAR" (3.2 W pour un disjoncteur)
- 5 W pour un 50 A gG ou aM taille 14x51 dans notre appareillage "MODULOSTAR" (idem pour un disjoncteur)
- 9.5 W pour un 125 A aM taille 22x58 dans notre appareillage "MODULOSTAR" (14 W pour un disjoncteur)

## 2.9. Fiabilité

La simplicité du concept du fusible fournit une protection très fiable et à l'évidence bien meilleure que d'autres concepts.

## 2.10. Universel

Les fusibles peuvent protéger des câbles, transformateurs, circuits avec moteurs, condensateurs, contacteurs, vieux disjoncteurs et des équipements d'électronique de puissance. Ils protègent les circuits moyenne tension aussi bien que les circuits basse tension.

FERRAZ SHAWMUT fournit :

- tous les types de fusible de la CEI 60269
- tous les types de fusibles américains conformes à la norme UL 248 (classes J,L, H,CC,T,RK1, RK5 etc....)
- les fusibles moyenne tension selon la CEI 282, la DIN43625 et la norme américaine ANSI C37.46
- des fusibles conçus pour le courant continu
- le plus large catalogue de fusibles pour la protection des semi-conducteurs.

## 2.11. Prix

Les fusibles restent la protection la plus économique. Ceci est encore plus évident si le coût des maintenances et des réparations sur plusieurs années de service est pris en compte.

### 3. CONSTRUCTION D'UN FUSIBLE

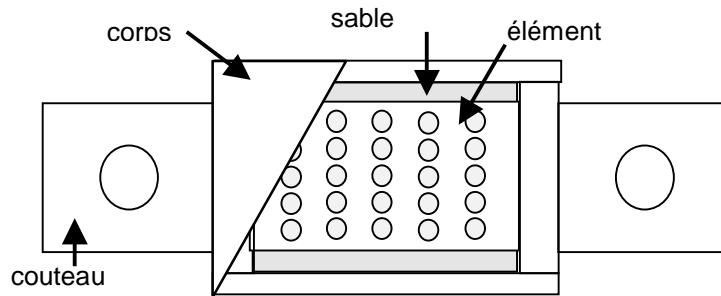


Figure 4: construction d'un fusible

La Figure 4 décrit la construction d'un fusible typique. Les éléments fusibles sont habituellement fabriqués dans des rubans en argent pur ou en cuivre, avec des régions où la surface de la section est réduite (souvent appelées rangées de bras de sections réduites). Il y a généralement plusieurs rubans en parallèle, en fonction du courant nominal du fusible. Ils sont enfermés dans un tube isolant ou dans un corps en céramique, rempli avec du sable de quartz. A chaque extrémité il y a des pièces de connexion de forme variée permettant l'installation dans un porte fusible ou la fixation sur des barres.

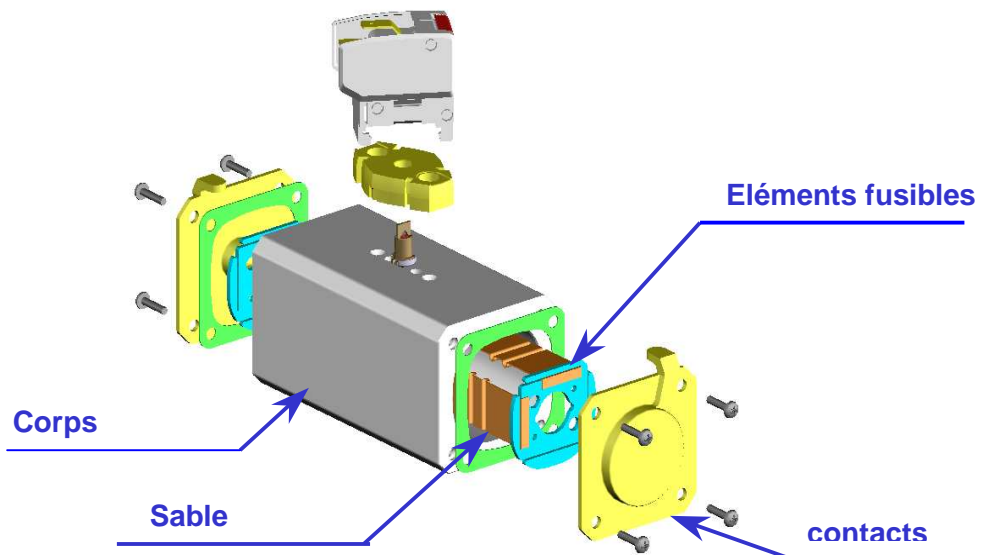
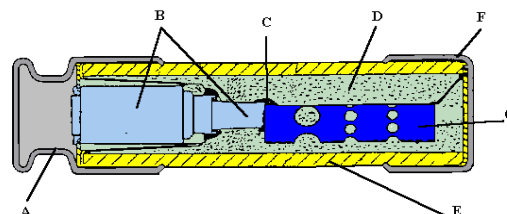
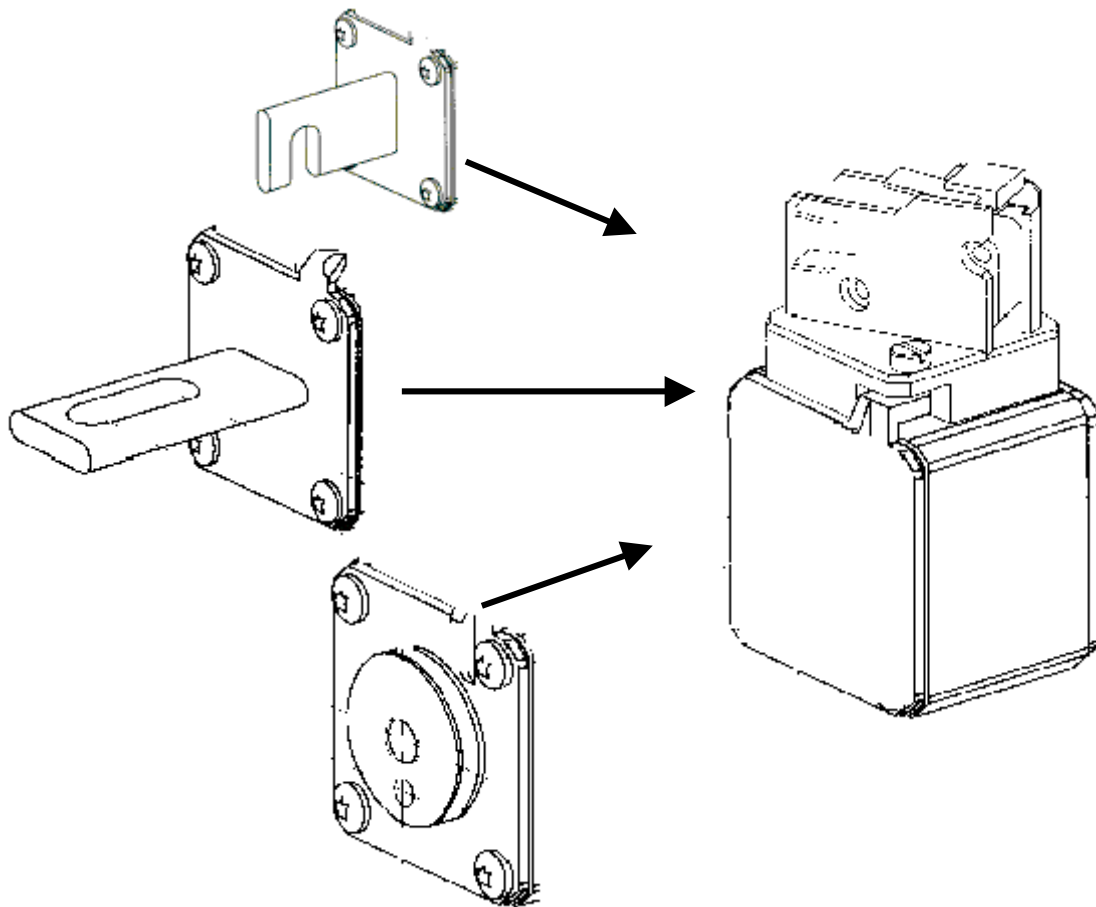
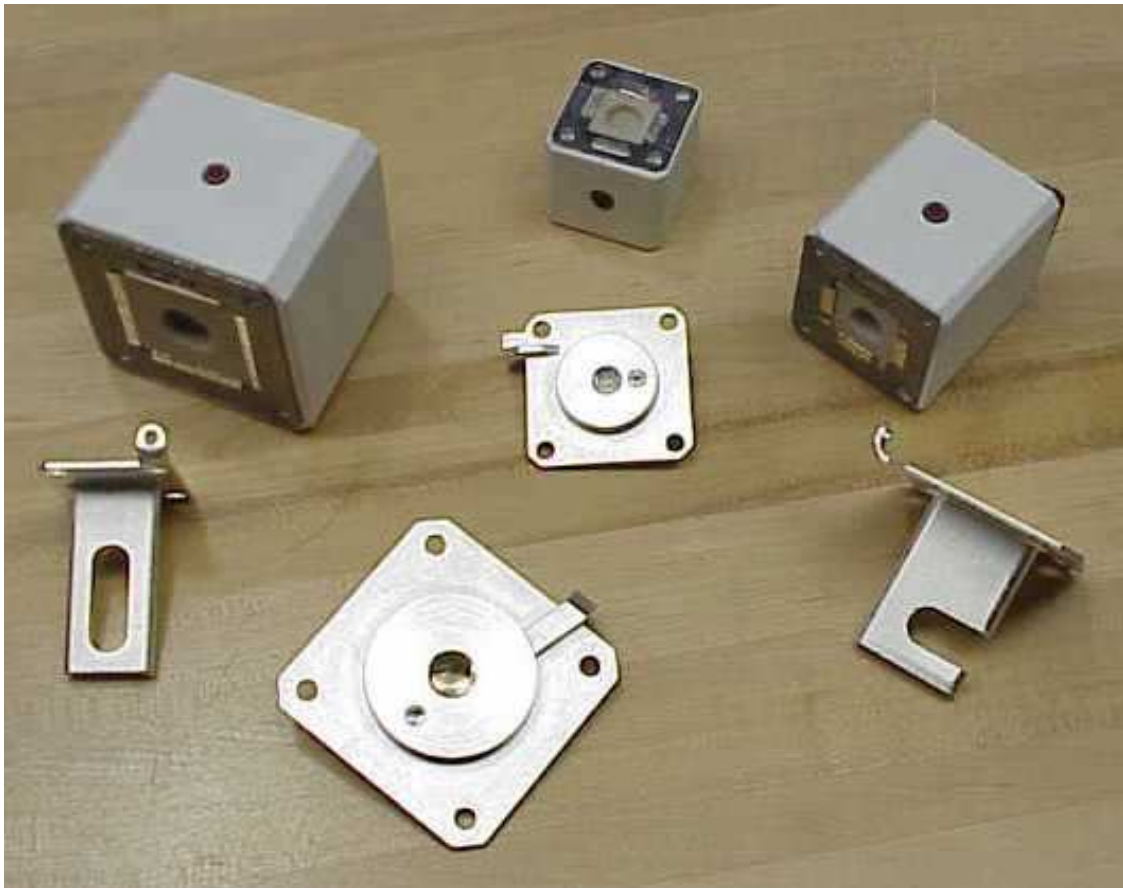


Figure 5: fusible pour la protection de semi-conducteurs (PSC)



- A. Capsule pour système de réjection
- B. Élément fusible pour surcharge
- C. Soudure avec eutectique
- D. Sable
- E. Corps
- F. Capsule standard
- G. Élément fusible pour court-circuit

Figure 6 : fusible américain Time Delay avec "dual élément" pour la protection de circuit moteur



## 4. INTERRUPTION DES COURANTS DE DEFAUT (SURINTENSITES)

### 4.1. Interruption des courants de court circuit

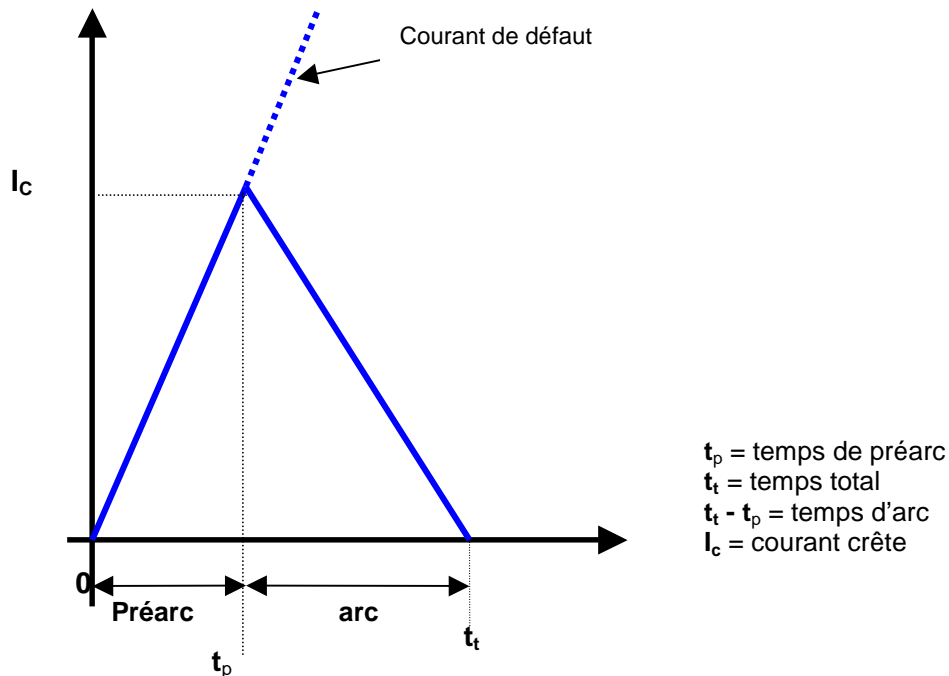


Figure 7: interruption d'un courant de court circuit

La figure 7 montre comment le fusible interrompt un courant de court circuit. Il y a toujours deux étapes:

- **Préarc:** pendant cette étape le courant chauffe les sections réduites. Toutes les sections réduites fondent lorsque la température de fusion du métal est atteinte sur chaque section réduite (960°C pour l'argent). A la fin du temps de préarc le courant est limité à la valeur  $I_c$  (figure 7).
- **Arc:** dès que les sections réduites ont fondu des arcs s'amorcent. (figure 8)

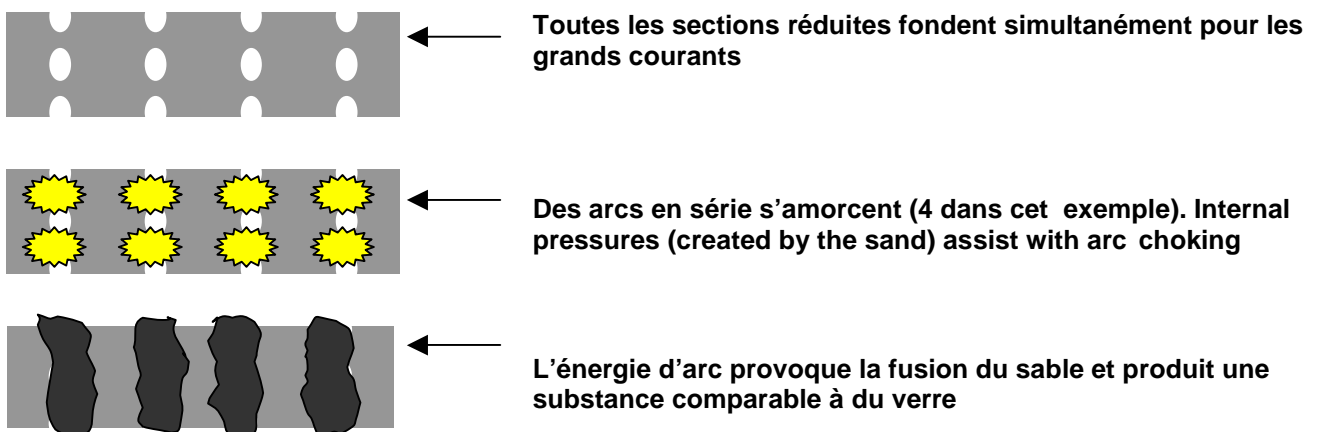


Figure 8

Le sable est indispensable pour obtenir:  
le temps d'arc le plus court, la meilleure limitation du courant, moins d'énergie et de  $I^2t$



Figure 9: élément fusible après l'interruption d'un court circuit

#### 4.2. Interruption des surcharges

Comme pour un court circuit le fonctionnement du fusible commence par la phase de prearc suivie par la phase d'arc, mais le temps de prearc est beaucoup plus long (figure 10).

Certains fusibles ne sont pas conçus pour interrompre des petites surcharges, ils sont alors associés à d'autres systèmes de protection.

D'autres fusibles sont conçus pour interrompre des surcharges égales à 160 % du courant nominal du fusible dans la norme CEI ou 135 % dans les normes UL.

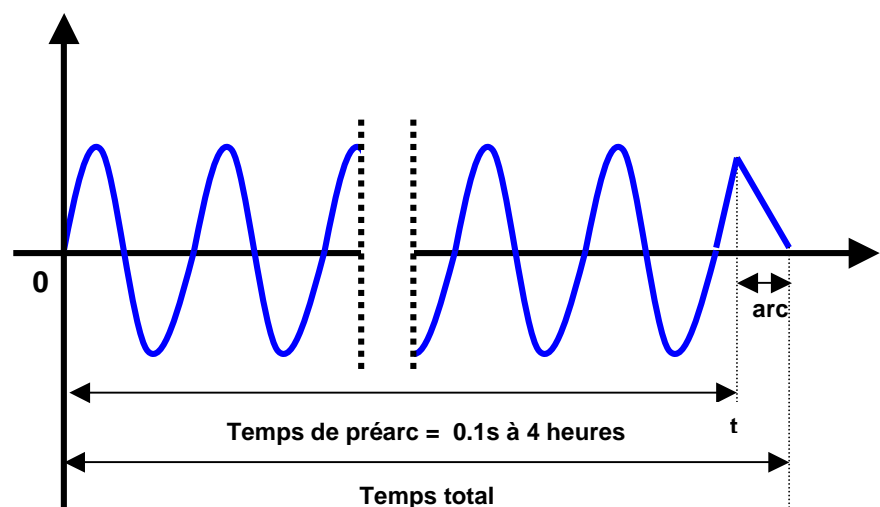
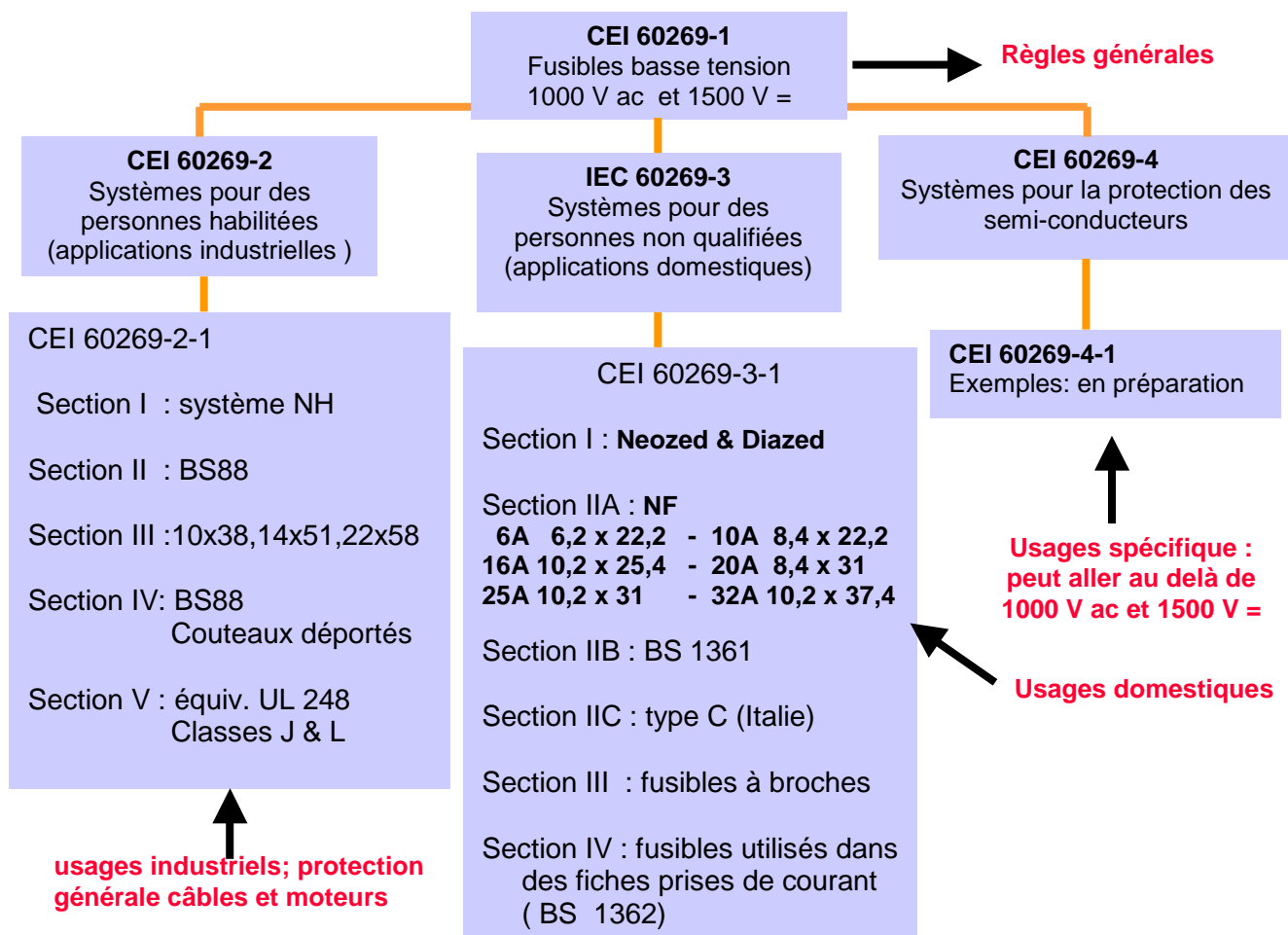


Figure 10

Lorsqu'un fusible n'est pas conçu pour interrompre des surcharges le corps peut être endommagé par les échauffements excessifs atteints à l'intérieur du fusible avant la fusion des éléments fusibles.

## 5. INTRODUCTION A LA NORME CEI 60269

### 5.1. LA CEI 60269 A QUATRE SECTIONS PRINCIPALES



### 5.2. Il y a deux grandes familles de fusibles:

Les fusibles type " a " : conçus pour interrompre les court circuits seulement, ils ne peuvent pas interrompre les faibles surcharges. Ils ont un fonctionnement classé "grands courants" .

Les fusibles type " g " : conçus pour interrompre les court circuits et les surcharges. Ils ont un fonctionnement classé "toute surintensité"

FUSE TYPE	TYPICAL INDUSTRIAL APPLICATIONS	ZONE DE COUPURE
<b>aM</b>	Protection des circuits moteurs contre les court circuits	<b>Grands courants</b>
<b>aR</b>	CEI 60269 – 4 Protection des semi conducteurs	
<b>gG</b>	Usage général pour la protection des conducteurs	<b>Toute surintensité</b>
<b>gM</b>	Protection des circuits moteurs	
<b>gN</b>	Usage général américain pour la protection des conducteurs ( par exemple fusibles classe J et classe L)	
<b>gD</b>	Usage général américain pour la protection des conducteurs et des circuits moteur ( par exemple: fusibles "Time Delay" classes AJT, RK5 et A4BQ)	
<b>gR, gS</b>	CEI 60269 – 4 Protection des semi conducteurs et des conducteurs	
<b>gTr</b>	Protection des transformateurs	
<b>gL, gF, gl, glI</b>	Fusibles anciens d' usage général remplacé par gG	

### 5.3. Typical IEC curves

Full range and partial range operation are illustrated in figure 11

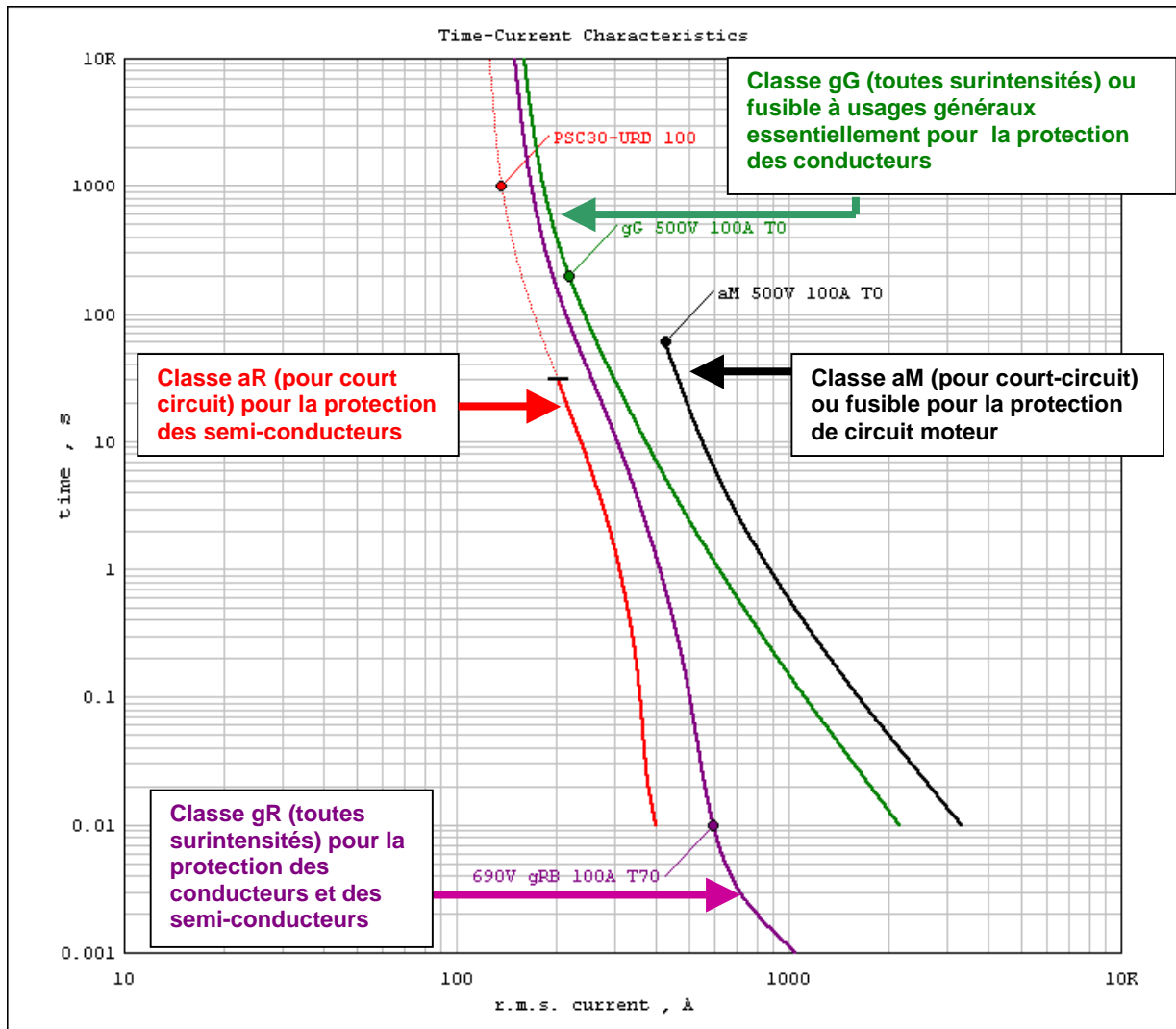


Figure 11: Comparaison des courbes temps courant de 4 types de fusibles CEI



Temperature rise test station rated 4000 A

6. SCHEMA ELECTRIQUE GENERAL D'UNE GRANDE UNITE DE PRODUCTION (ciment, papier, laminoir etc.)

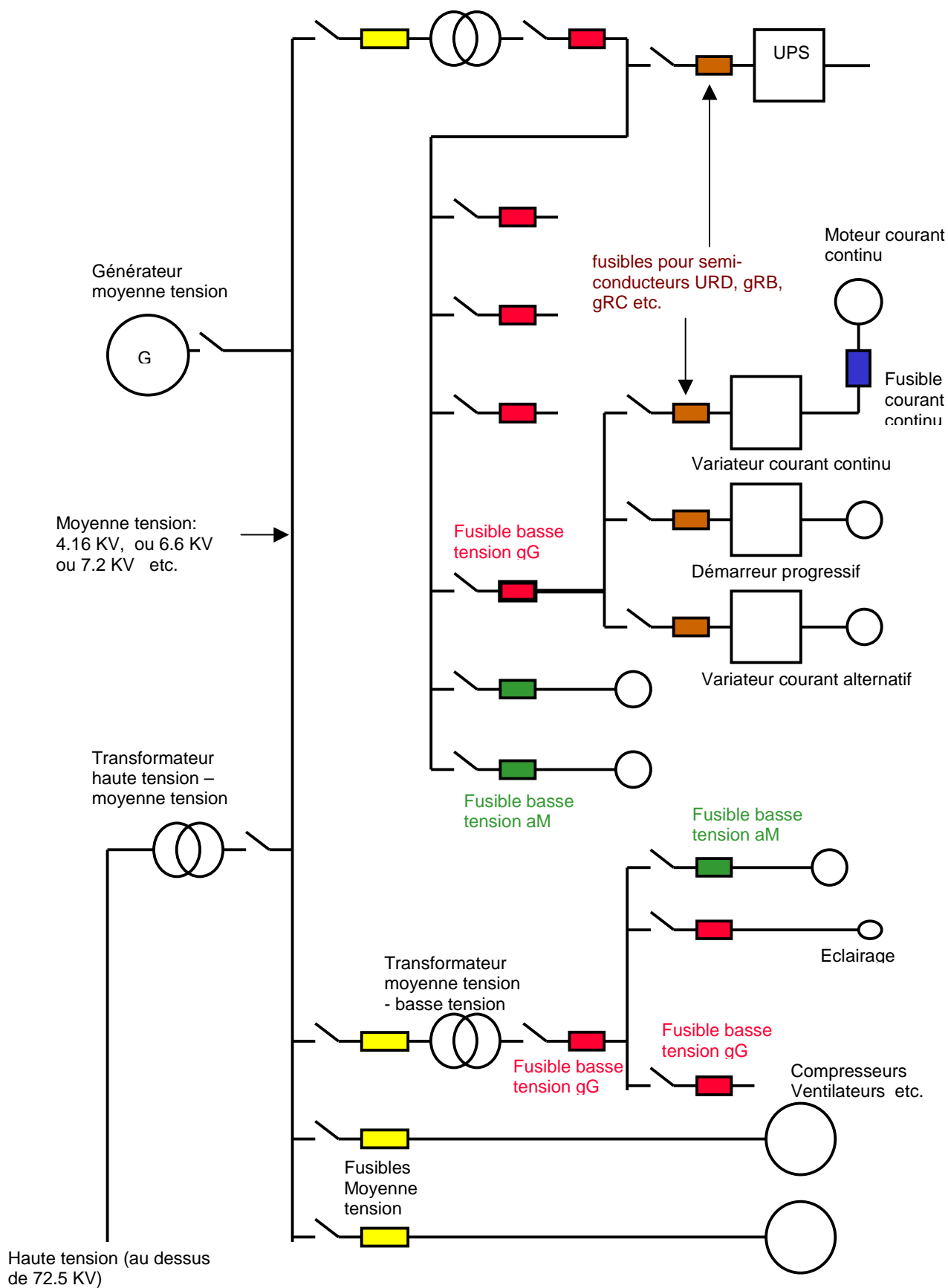


Figure 12

## 7. SELECTION DE LA TENSION NOMINALE $U_N$ DU FUSIBLE

La selection d'un fusible nécessite la prise en compte d'informations sur l'équipement à protéger et les paramètres de la source de puissance qu'il faudra interrompre.

Les paramètres essentiels de la source de puissance sont:

- La tension maximum du système:  $V_{\text{CIRCUIT MAX}}$
- Fréquence: normalement 50 ou 60 hertz
- Courants présumé de défaut: à comparer au pouvoir de coupure du fusible et au courant minimum de coupure.

La tension est le paramètre le plus critique. Toute sélection de fusible doit commencer par le choix de la tension nominale  $U_N$  du fusible.

La tension maximum du circuit  $V_{\text{CIRCUIT MAX}}$  (tension nominale + variation) doit être plus petite que la tension maximale d'emploi  $U_{\text{FUSE MAX}}$  du fusible donnée dans le tableau.

$$U_{\text{FUSE MAX}} > V_{\text{CIRCUIT MAX}}$$

FUSE TYPE	TENSION NOMINALE $U_N$ (V)	TENSION MAXIMUM D'EMPLOI $U_{\text{FUSE MAX}}$ (V)
gG, gM, aM, aR <sup>(1)</sup> , gR <sup>(1)</sup> , gS <sup>(1)</sup>	230	253
	400	440
	500	550
	690	725
gN, gD (gammas américaines)	600	600

(1) Cependant lorsque des fusibles pour semi conducteurs protègent des équipements d'électronique de puissance il est nécessaire de calculer la tension du défaut car elle peut être supérieure à la tension entre phases et prendre en compte le fait que la forme de l'onde de tension n'est pas toujours une onde sinusoïdale à 50 Hz ou 60 Hz. Dans d'autre cas elle pourra être une décharge de condensateur sous tension continue.

Exemple 1: un circuit est défini à 400 V ± 15%

donc  $V_{\text{CIRCUIT MAX}} = 460$  V et par conséquent le fusible de tension nominale 500 V doit être utilisé

Exemple 2: un circuit est défini à 400 V ± 10%

donc  $V_{\text{CIRCUIT MAX}} = 440$  V et par conséquent le fusible de tension nominale 400 V peut être utilisé

## 8. PROTECTION DES CABLES

Après avoir sélectionné la tension nominale selon les règles exposées dans le § 7, la protection d'un câble est vérifiée avec les paramètres suivants:

- $I_B$  : courant circulant dans le câble (courant d'emploi du circuit)
- $I_Z$  : courant permanent admissible du câble
- $I_N$  : courant nominal du fusible
- $I_F$  : courant conventionnel de fusion du fusible

Le câble est protégé quand les 2 conditions suivantes sont vérifiées:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_F \leq 1.45 I_Z$$

Le choix du fusible est effectué après:

- Calcul du courant acceptable dans les conducteurs
- détermination du nombre de conducteurs selon la méthode d'installation
- correction lorsque la température à l'intérieure de l'armoire est supérieure à 40°C (déclassement du fusible)
- correction lorsqu'il y a une ventilation forcée (car cela aide le fusible à supporter plus de courant)

Les fusibles doivent être installés à l'entrée du circuit à protéger.

## 9. PROTECTION D'UN CIRCUIT MOTEUR

Les fusibles aM doivent être associés à d'autres organes de protection car ils ne peuvent pas interrompre des surintensités si le temps de préarc est supérieur à 60 secondes

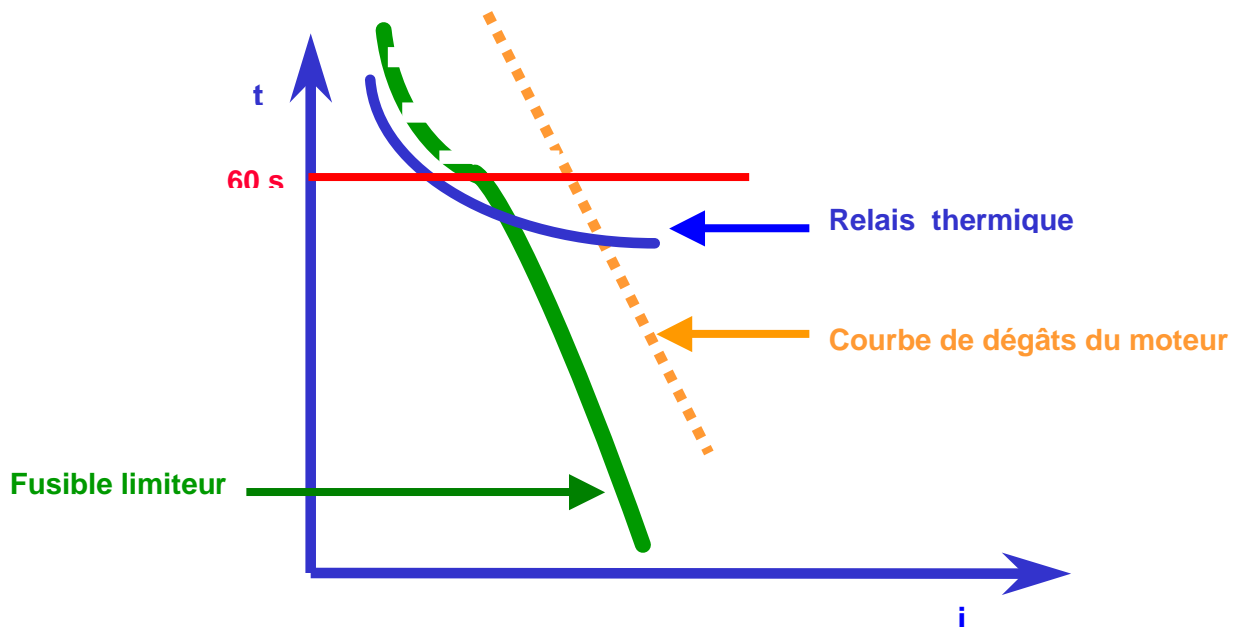


Figure 13

Des tableaux donnent les fusibles à utiliser. Les tableaux de la page suivante sont valides seulement pour des moteurs asynchrones à 1500 tours. Il existe d'autres tableaux donnant un coefficient correcteur en fonction de la vitesse de rotation et de la puissance nominale. En outre il est nécessaire de vérifier:

- correction lorsque la température à l'intérieure de l'armoire est supérieure à 40°C (déclassement du fusible)
- correction lorsqu'il y a une ventilation forcée (car cela aide le fusible à supporter plus de courant)

Moteurs asynchrones triphasés 1500 trs / mn									Fusibles sélectionnés: classe, tension et calibre																			
220 V			380 V			660 V			380 V		250 V à 500 V		400 V à 690 V		400 V à 690 V		400 V à 500 V		500 V à 690 V						440 V à 660 V			
									8 x 32		10 x 38		14 x 51		22 x 58		T 00		T 0		T 1		T 2		T 3			
kW	Ch	I <sub>N</sub> (A)	kW	Ch	I <sub>N</sub> (A)	kW	Ch	I <sub>N</sub> (A)	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM
						0,10	0,14	0,18					0,25	0,25														
0,05	0,068	0,39	0,10	0,135	0,30	0,20	0,27	0,35			1		1	0,5	1	0,5												
0,10	0,135	0,53	0,18	0,25	0,55	0,37	0,50	0,60	2	1	2	1	2	1	2	1												
0,18	0,25	0,94	0,37	0,5	1,1	0,55	0,75	1	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2										
			0,55	0,75	1,6	1,1	1,5	1,5	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2										
0,37	0,5	1,9	0,75	1	2	1,5	2	2	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4										
0,55	0,75	2,8	1,1	1,5	2,6	2,2	3	2,9	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4										
0,75	1	3,5	1,5	2	3,5	2,8	3,8	3,5	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4										
1,1	1,5	4,4	2,2	3	5	4	4,5	4,8	12	6	12	6	12	6	12	6	12	6										
1,5	2	6	3	4	6,6	5	7,5	6,6	16	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16									
2,2	3	8,7	4	5,5	8,5	7,5	10	8,8	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20									
3	4	11,5	5,5	7,5	11,5	10	13,5	11,5			25	12	25	12	25	12	25	12	25	25								
4	5,5	14,5	7,5	10	15,5						32	16	32	16	32	16	32	16	32	16	32							
						15	20	17					20	40	20	40	20	40	20	40								
5,5	7,5	20	10	13,5	20	18,5	25	21					25	50	25	50	25	50	25	50	25	50						
7,5	10	27	15	20	30	26	35	29																				
10	18,5	35	18,5	25	37	30	40	34																				

Moteurs asynchrones triphasés 1500 trs / mn									Fusibles sélectionnés: classe, tension et calibre																				
220 V			380 V			660 V			380 V		250 V à 500 V		400 V à 690 V		400 V à 690 V		400 V à 500 V		500 V à 690 V						440 V à 660 V				
									8 x 32		10 x 38		14 x 51		22 x 58		T 00		T 0		T 1		T 2		T 3				
kW	Ch	I <sub>N</sub> (A)	kW	Ch	I <sub>N</sub> (A)	kW	Ch	I <sub>N</sub> (A)	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	gl	aM	
10	18,5	35	18,5	25	37	30	40	34						63	40	63	40	63	40	63	40	63							
11	15	39	22	30	44	37	50	41						80	50	80	50	80	50	80	50	80	50						
15	20	52	25	34	51	50	68	55						100	63	100	63	100	63	100	63	100	63						
18,5	25	64	30	40	60	55	75	60						125	80	125	80	125	80	125	80	125	80	125					
22	30	75	37	50	73									125	80	125	80	125	80	125	80	125	80	125					
25	34	85	45	60	85	75	100	78						100	160	100	160	100	160	100	160	100	160						
30	40	103	55	75	105	90	125	96						125		125		125	200	125	200	125							
45	60	147	75	100	138	132	175	140										160	250	160	250	160							
55	75	182	90	125	170	160	220	175																					
75	100	239	110	150	205	220	300	236																					
			132	175	245	250	350	271																					
90	125	295	160	220	300	275	375	300																					
110	150	356	200	270	370	330	450	350																					
132	175	425	250	350	475	400	550	430																					
160	220	520	300	400	560	550	750	577																					
220	300	705	400	550	750	736	1000	778																					
300	400	970	500	700	950																								
365	500	1150	600	800	1090																								

## 10. PROTECTION DE L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

### 10.1. Critères principaux

PARAMETRES DU FUSIBLE	REQUIREMENTS
Tension nominale	$V_{FUSIBLE} > V_{ENTRE PHASES}$ et $V_{FUSIBLE} > V_{DEFAULT}$ Dans un variateur de vitesse courant continu régénérateur $V_{DEFAULT}$ est plus grand que $V_{ENTRE PHASES}$ Les défauts ne se produisent pas toujours avec une tension alternative (onduleurs & variateur de vitesse courant continu régénérateur )
Courant nominal	$I_{FUSIBLE} > I_{RMS}$ le calcul du courant nominal du fusible nécessite l'utilisation de coefficients correcteurs prenant en compte les effets de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• température ambiante à l'intérieur de l'armoire</li> <li>• refroidissement</li> <li>• dimensions des câbles ou des barres de cuivre connectées au fusible</li> <li>• variations du courant (diminuent la durée de vie du fusible)</li> </ul> La coordination avec un disjoncteur exige une valeur suffisante du courant de fusion à 15 ms Une telle coordination peut imposer un courant nominal du fusible plus grand que celui calculé à partir de la valeur efficace du courant du circuit.
I <sup>2</sup> t total	$I^2t \text{ total du fusible} < I^2t \text{ de la jonction du semi conducteur}$ ou / et $I^2t \text{ total du fusible} < I^2t \text{ d'explosion du boîtier du semi conducteur}$
Pouvoir de coupure	$\text{Pouvoir de coupure du fusible} > \text{valeur efficace la plus élevée du courant de court circuit } I_{DEFAULT}$
Pouvoir de coupure minimum	$\text{Pouvoir de coupure minimum du fusible} > \text{courant de défaut minimum}$
Tension d'arc	$\text{Tension d'arc du fusible} < \text{tension inverse du semi conducteur}$

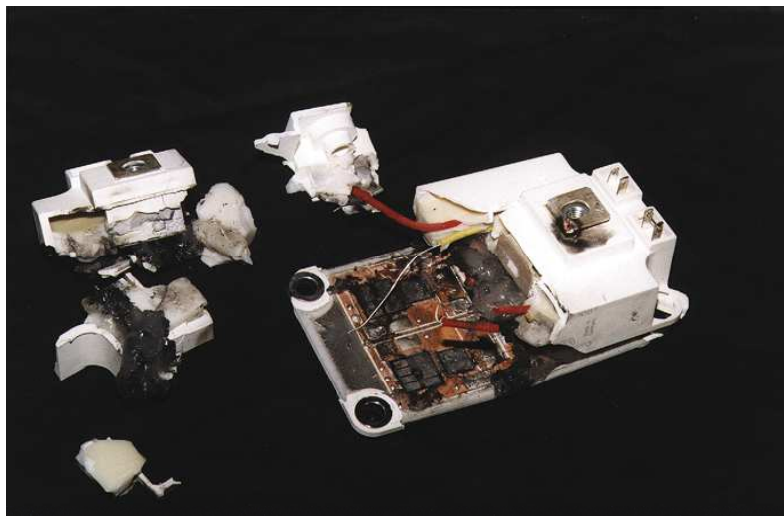


Figure 14: IGBT après explosion du boîtier due à un courant de défaut très élevé

## 10.2. Pont triphasé (pont de Graëtz)

Dans tous les exemples qui vont suivre  $V_{AC\ MAX}$  est la valeur maximum de la tension efficace entre phases, par conséquent elle inclut la variation de la tension:  $V_{AC\ MAX} = \text{tension nominale} + \text{variation possible}$  (habituellement entre + 5% et 10%)

### 10.2.1. Pont triphasé, non régénérateur, avec 1 semi-conducteur par bras

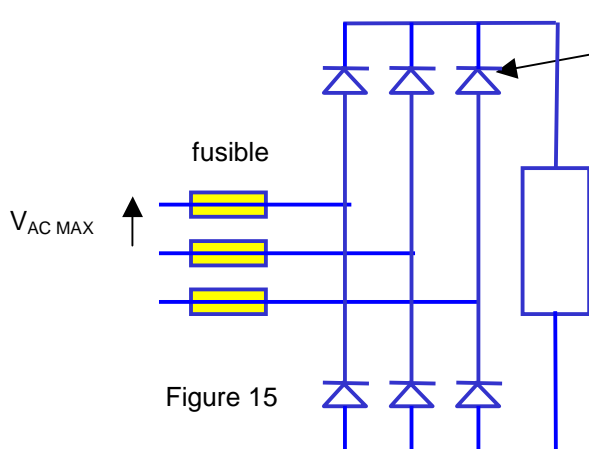


Figure 15

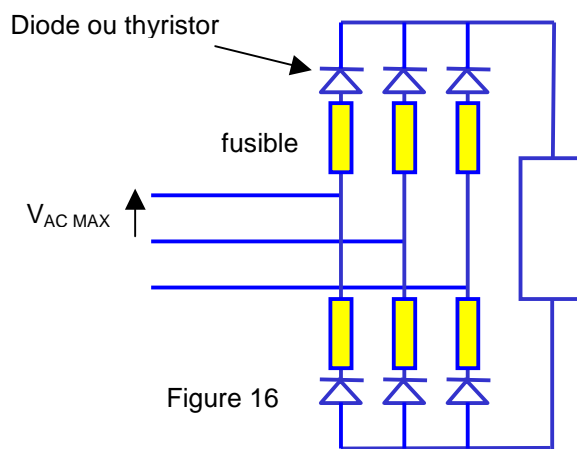


Figure 16

- **Emplacement du fusible:** les fusibles peuvent être installés dans les phases (figure 15) ou dans chaque bras en série avec chaque semi-conducteur (figure 16). Le courant nominal des fusibles dans les bras du pont est  $\sqrt{2}$  fois plus petit que le courant nominal des fusibles dans les phases.
- **Tension nominale  $U_N$  des fusibles:**

Fusibles conformes à la CEI 60269	Pour la majorité des calibres	$V_{AC\ MAX} \leq 1.06 U_N$
	Pour certains calibres	$V_{AC\ MAX} \leq 1.10 U_N$
	Pour certains fusibles 690 V	$V_{AC\ MAX} \leq 1.05 U_N$
Fuses conformes à UL 248 seulement		$V_{AC\ MAX} \leq U_N$

### 10.2.2. Pont triphasé non régénérateur avec plusieurs semi-conducteurs en parallèle par bras

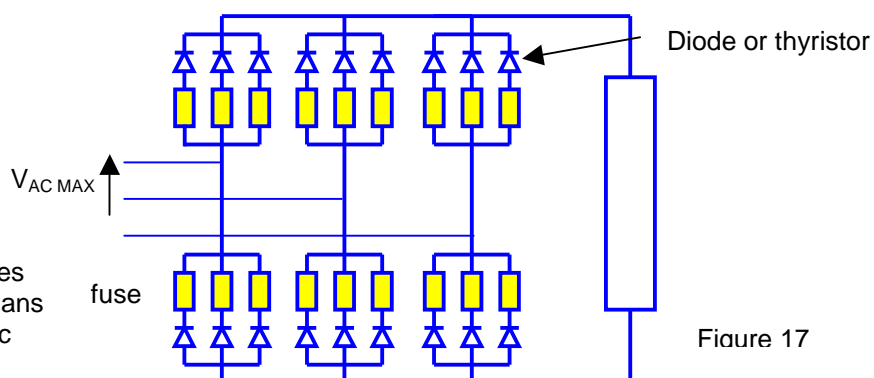


Figure 17

- **Emplacement des fusibles:** les fusibles doivent être installés dans les bras (figure 3) en série avec chaque semi-conducteur.
- **Coordination avec le disjoncteur côté alternatif:** souvent exigée en cas de court circuit côté continu.
- **Tension nominale  $U_N$  du fusible:**

Fusibles conformes à la CEI 60269	Pour la majorité des calibres	$V_{AC\ MAX} \leq 1.06 U_N$
	Pour certains calibres	$V_{AC\ MAX} \leq 1.10 U_N$
	Pour certains fusibles 690 V	$V_{AC\ MAX} \leq 1.05 U_N$
Fuses conformes à UL 248 seulement		$V_{AC\ MAX} \leq U_N$

### 10.3. Variateur de vitesse courant continu régénérateur

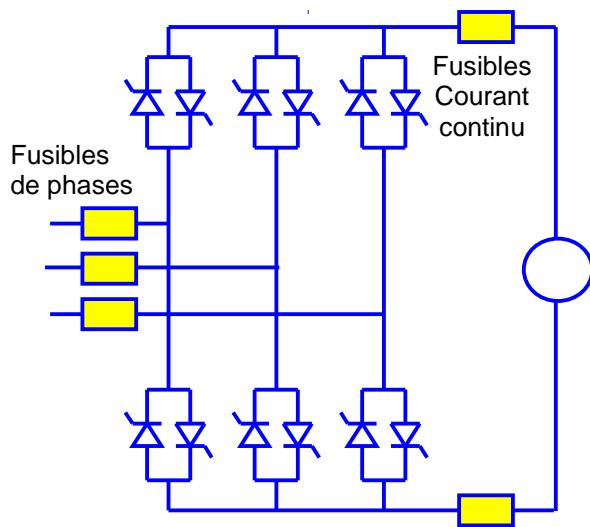


Figure 18

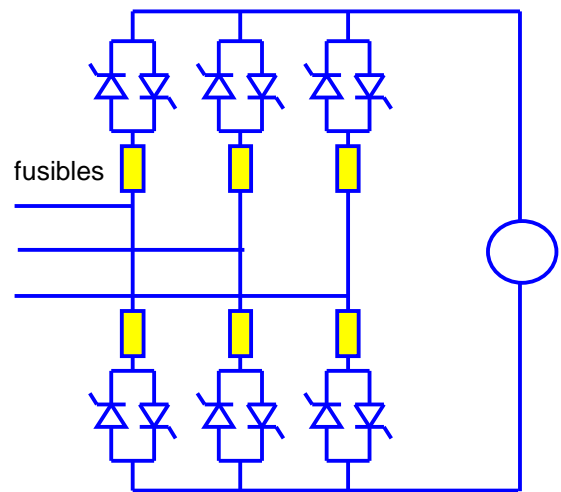


Figure 19

- **Emplacement des fusibles:**

Il y a deux possibilités

- Solution 1: les fusibles doivent être installés dans les phases et dans la sortie courant continu (figure 18). Les fusibles dans la sortie courant continu sont indispensables à cause du court circuit continu décrit dans la figure 20. Ce défaut se produit lorsque la machine fonctionne en générateur produisant de l'énergie. Ce défaut est dû par exemple au déclenchement intempestif des thyristors provoquant un court circuit de la machine. Il est donc évident que les fusibles dans les phases ne peuvent pas interrompre ce défaut.
- Solution 2: dans les bras du pont, en série avec les semi-conducteurs (figure 19). Dans ce cas les fusibles sont impliqués dans tous les cas de défaut (figure 21). Le courant nominal des fusibles dans les bras du pont est  $\sqrt{2}$  fois plus petit que le courant nominal des fusibles dans les phases.

- **Fuse voltage rating  $U_N$**

Due to a commutation fault where the AC and DC voltages are in series the AC fuses and DC fuses (figure 18) and arm fuses (figure 19) must have a rated voltage  $U_N$  as follows:

$$U_N = K_{AC} V_{AC MAX} \quad \text{with} \quad 1.25 \leq K_{AC} \leq 1.70$$

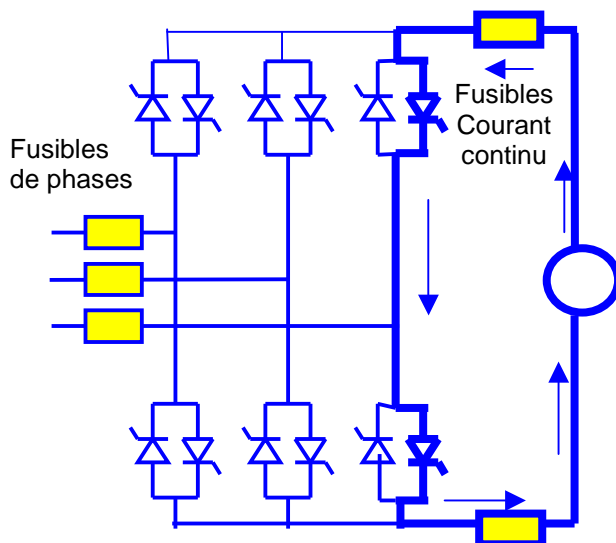


Figure 20 : Court circuitage du générateur

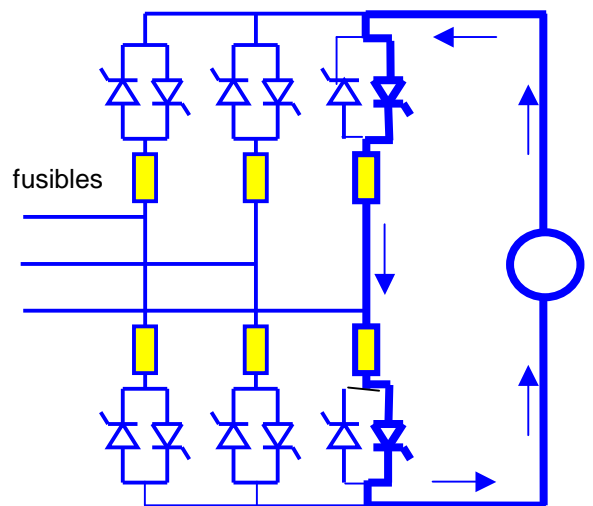


Figure 21 : Court circuitage du générateur

### 10.4. Démarreurs progressifs et relais statiques

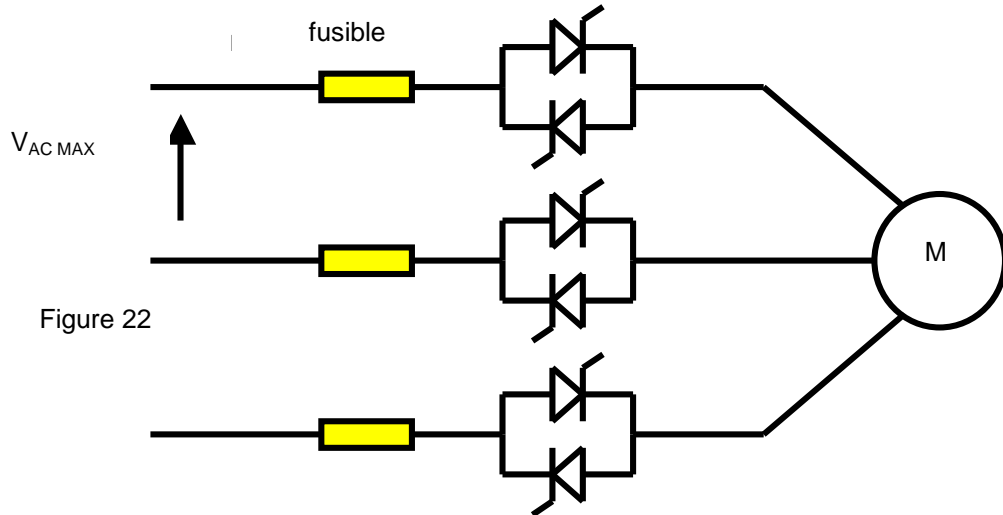


Figure 22

- **Fuse location:** les fusibles doivent être installés dans chaque phase en série avec chaque paire semi-conducteurs (figure 22). Cependant dans quelques cas particuliers (courants nominaux très élevés) il est nécessaire d'installer les fusibles en série avec chaque semi-conducteur.
- **Tension nominale  $U_N$  du fusible:**

Fusibles conformes à la CEI 60269	Pour la majorité des calibres	$V_{AC\ MAX} \leq 1.06 U_N$
	Pour certains calibres	$V_{AC\ MAX} \leq 1.10 U_N$
	Pour certains fusibles 690 V	$V_{AC\ MAX} \leq 1.05 U_N$
Fuses conformes à UL 248 seulement		$V_{AC\ MAX} \leq U_N$

### 10.5. Onduleurs

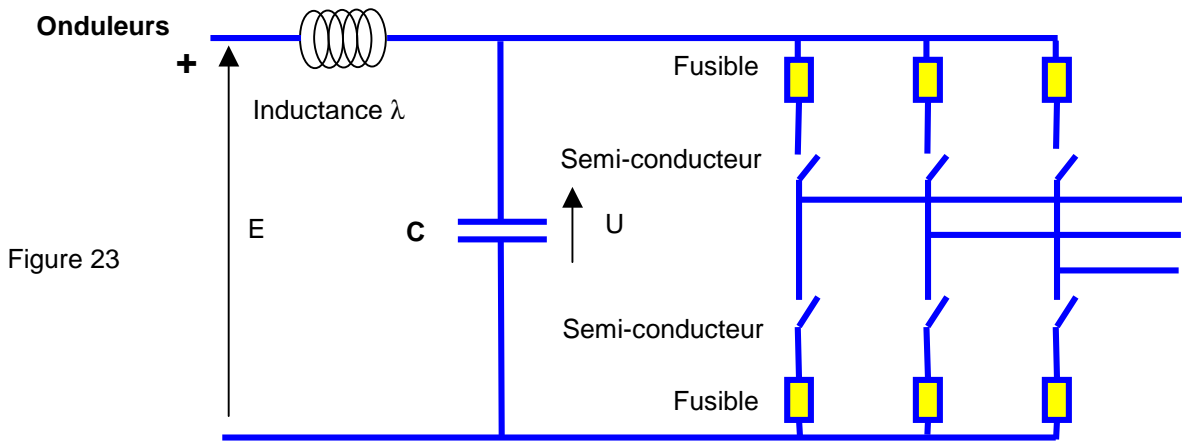


Figure 23

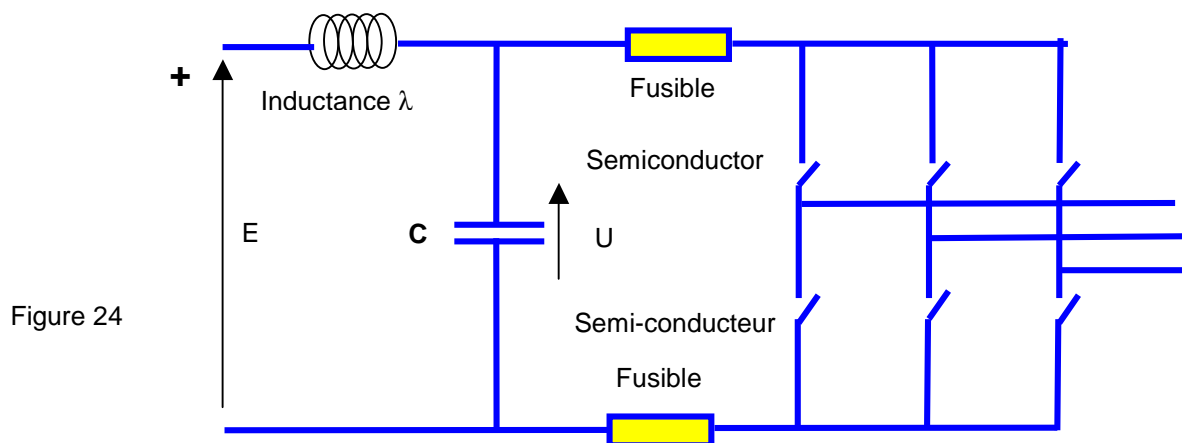


Figure 24

- **Emplacement des fusibles:**

2 possibilités :

- fusibles dans les bras de l'onduleur (figure 23)
- fusibles dans la boucle continue de l'onduleur (figure 24): mais dans ce cas le courant nominal du fusible est 1.7 fois le courant nominal du fusible dans les bras.

- **Tension nominale  $U_N$  du fusible:**

le fusible devra interrompre la décharge du condensateur générée par le court circuit crée par la défaillance ou le déclenchement erroné des semi-conducteurs (figures 25 & 26). La sélection du fusible est basée sur la connaissance de sa tension continue maximum de fonctionnement pour des constantes de temps inférieures à 1 ms ( $L/R < 1$  milliseconde).

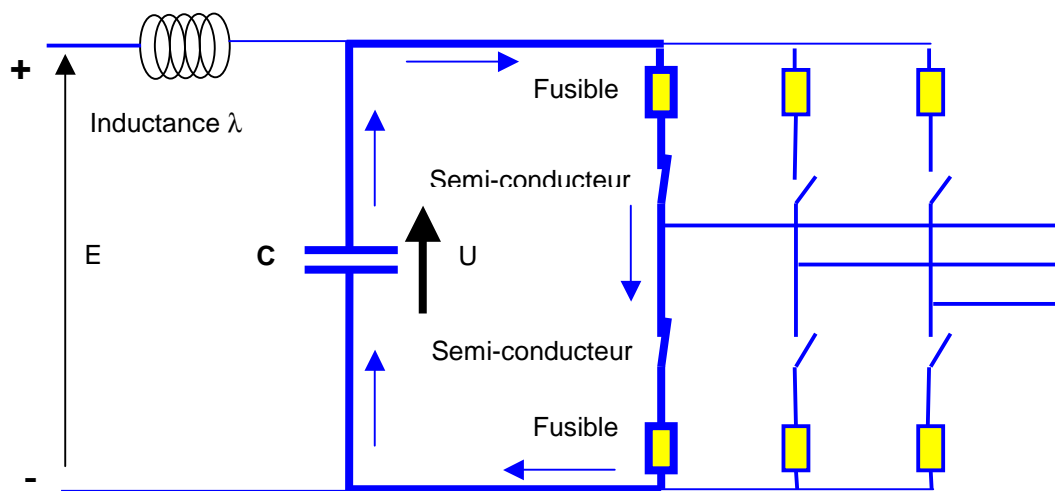


Figure 25

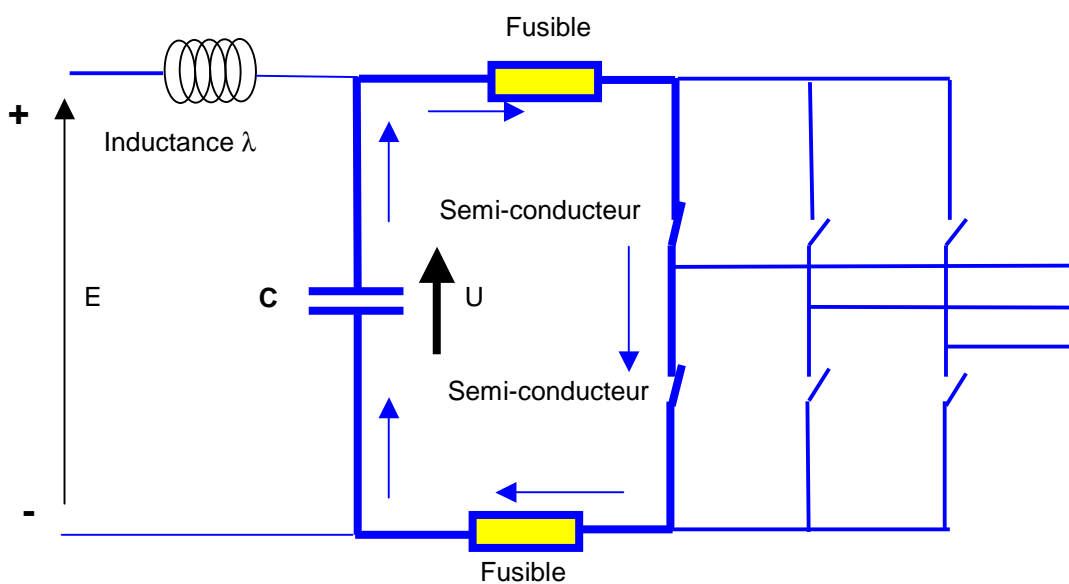


Figure 26

## 10.6. Systèmes multi-onduleurs

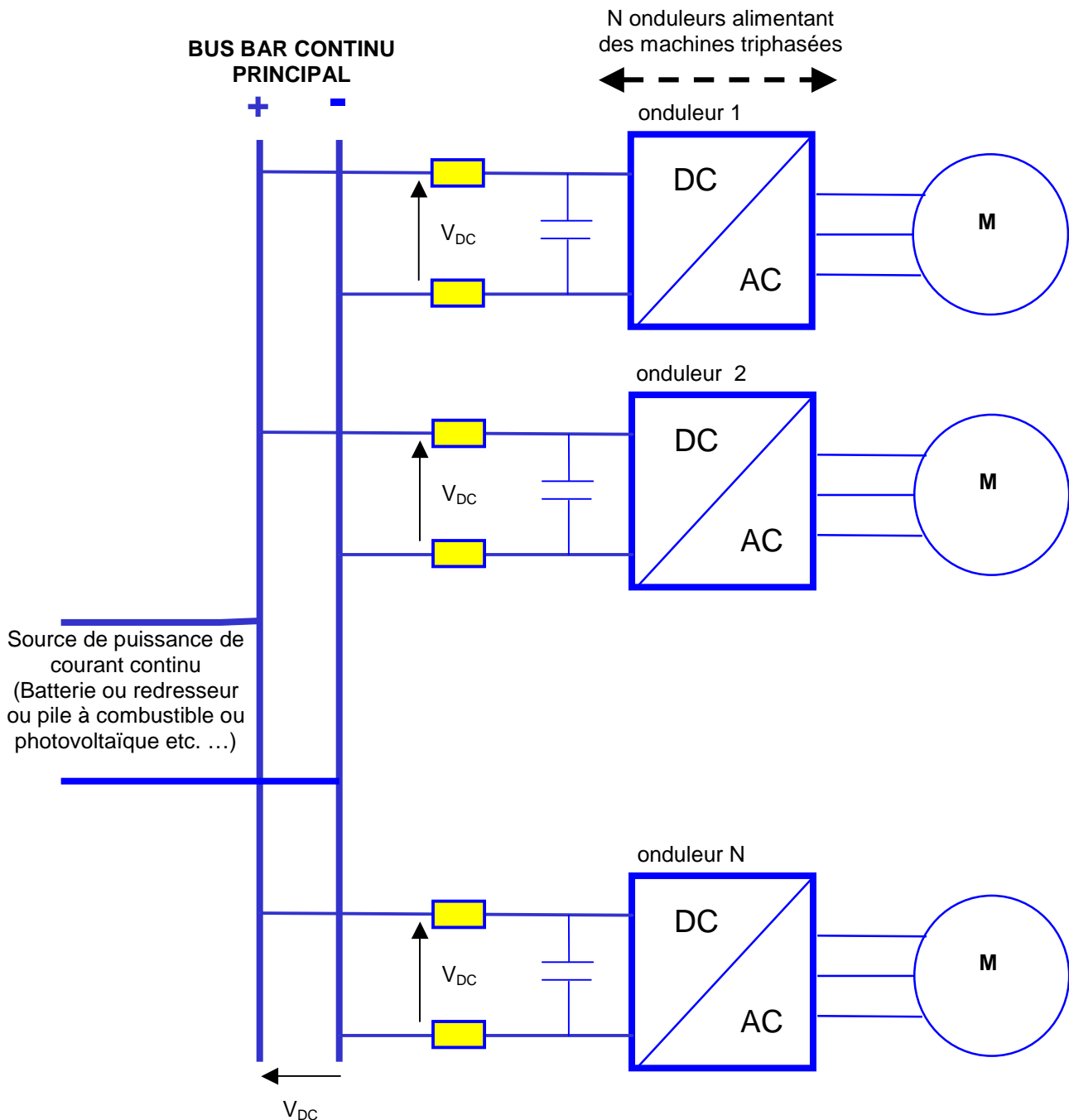


Figure 27

- **Emplacement des fusibles:**
  - fuses in the feeder of each inverter (figure 27)
- **Tension nominale  $U_N$  du fusible:**

le fusible devra interrompre les courants de décharge de tous les condensateur dans les autres départs (ils sont en parallèle) et le courant fourni par la source de puissance de courant continu. La sélection du fusible est basée sur la connaissance de sa tension continue maximum de fonctionnement pour des constantes de temps inférieures à 1 ms ( $L/R < 1$  milliseconde).

## 11. FONCTIONNEMENT DES FUSIBLES EN COURANT CONTINU

FERRAZ SHAWMUT possède un très gros catalogue de fusibles courant continu mais tous les fusibles peuvent fonctionner sous une tension continue.

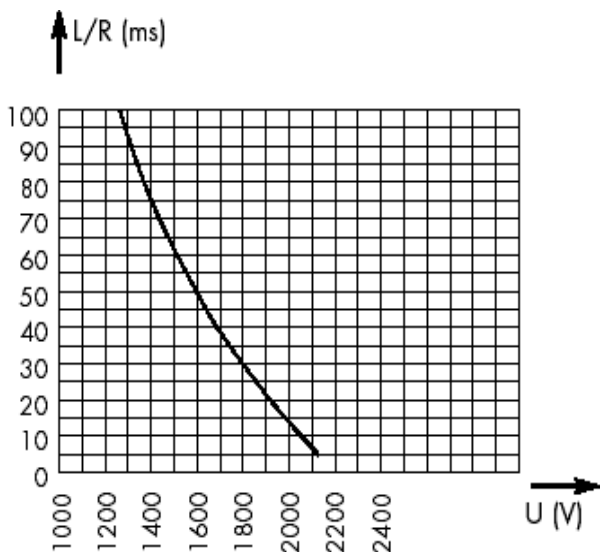
L'absence de zéro naturel de la tension rends l'interruption des défauts en continu plus difficiles que l'interruption des défauts en courant alternatif car seul l'arc dans le fusible forcera la descente du courant vers la valeur zéro. En outre lorsque la constante de temps L/R du circuit est grande l'interruption d'une surintensité est beaucoup plus difficile. L'interruption d'une faible surcharge est une autre condition de fonctionnement particulièrement difficile.

Dans les trains alimentés par une tension continue (métros et chemins de fer) il y a une gamme étendue de valeurs de L/R et de niveaux de surcharges. Par conséquent des fusibles spéciaux avec une tension nominale en continu et un fonctionnement totalement enfermé sont utilisés pour assurer la sécurité des personnes et des équipements.

FERRAZ SHAWMUT a développé et conçu de tels fusibles avec des tension nominales jusqu'à 4000 V continus (comme l'exigent les chemins de fer italiens et belges), car les autres fusibles existants ne convenaient pas. Les fusibles dimensionnés pour le continu doivent passer des essais spécifiques afin de pouvoir publier toutes les informations nécessaires sur les possibilités en continu du fusible. Des informations spécifiques sont essentielles pour utiliser des fusibles dans les circuits en continu en toute sécurité.

Il existe cependant des applications plus faciles qui ne nécessitent pas des fusibles avec une conception spéciale pour interrompre du continu. Dans de tels cas des fusibles pour le courant alternatif peuvent être utilisés si le fabricant de fusibles publie les possibilités en courant continu du fusible.

### 11.1. Comment on the fuse rated voltage – practical values of L / R



La courbe de la figure 28 montre qu'il n'est pas possible de sélectionner la tension nominale continue du fusible seulement à partir de la valeur de la tension.

Il est nécessaire de tracer la courbe  $L/R = f(U)$

Cette courbe est tracée à partir des résultats des essais donnant l'énergie d'arc maximum. Des valeurs plus élevées de L / R sont acceptables lorsque le temps de préarc est plus petit que L / R.

Il faut toujours associer une valeur de L / R à la tension et il faut connaître les différentes valeurs possibles des courants de défaut.

Figure 28:  $L / R = f(U)$  des fusibles 2000 V continu type SRD

Il est souvent difficile en pratique d'obtenir une valeur précise de **L/R**. En l'absence d'une meilleure information le tableau suivant donne quelque valeurs typiques :

Equipement	L / R en ms
Banc de condensateurs	< 1
Batterie	< 10
Sortie d'un pont triphasé alimentant un bus bar continu principal	< 25
Moteur courant continu	20 - 60
Traction en courant continu	40 - 100
Excitation continue des machines	1000

### 11.2. Exemple de possibilités en continu d'une gamme de fusibles pour courant alternatif

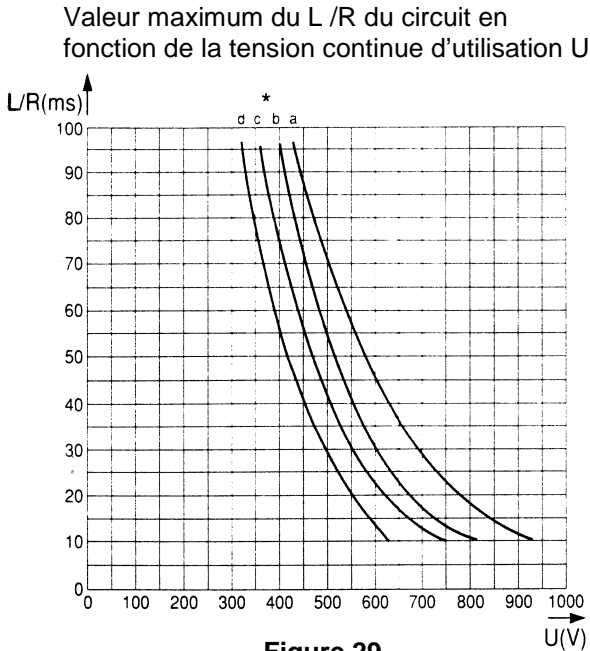


Figure 29

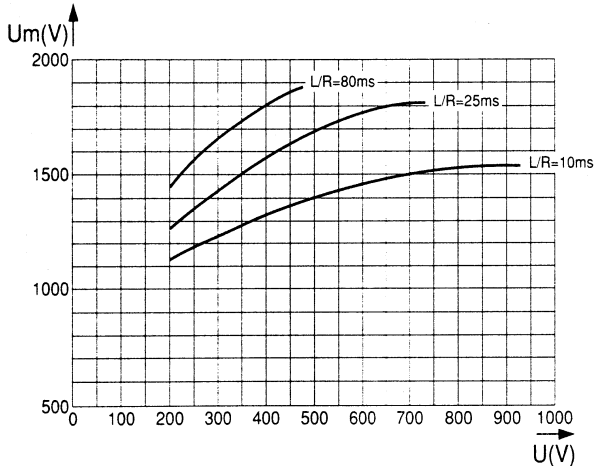


Figure 31: tension d'arc  $U_m$  du fusible en fonction de la tension d'utilisation continue U pour trois valeurs de la constante de temps L / R

Les lettres a , b, c et d indiquent la courbe L / R à utiliser dans la figure 7.  $I_{pm}$  est le courant minimum de coupure de chaque fusible

taille	taille					
	70 * $I_{pm}$ (A)	71 * $I_{pm}$ (A)	72 * $I_{pm}$ (A)	73 * $I_{pm}$ (A)	2x72 * $I_{pm}$ (A)	2x73 * $I_{pm}$ (A)
63	a 270					
80	a 400					
100	a 520					
125	a 700					
160	a 950	a 950				
200	a 1300	a 1300				
250	a 1800	a 1800				
280	b 2200	a 2000	a 1800			
315	b 2600	a 2300	a 2200	a 2000		
350	c 3000	a 2700	a 2600	a 2400		
400		b 3500	a 3200	a 3000		
450		b 4000	a 3800	a 3500		
500		c 4800	a 4600	a 3900		
550		c 5200	b 5000	a 4400		
630		c 6400	b 6200	a 5300	a 4400	
700			c 6800	a 6000	a 5200	
800			c 8000	b 8000	a 6400	a 6000
900				b 9000	a 7600	a 7000
1000				c 11000	a 9200	a 7800
1100				c 12000	b 10000	a 8800
1250				c 13500	b 12400	a 10600
1400				c 15000	c 13600	a 12000
1600					c 16000	b 16000
1800						b 18000
2000						c 22000
2200						c 24000
2500						d 27000
2800						d 30000

Figure 30

### 11.3. Définition du fusible pour la protection d'un circuit courant continu

Pour toutes les applications en courant continu il est indispensable de définir le fusible avec:

- La tension
- La constante de temps du circuit
- Les courants de défaut

Il est également indispensable d'obtenir toutes les informations nécessaires sur le courant nominal passant dans le fusible ainsi que les cycles de charge et surcharges à supporter de façon à pouvoir calculer le courant nominal du fusible qui aura une durée de vie conforme à celle de l'équipement à protéger.

## 12. CONCLUSION

Que le fusible soit seul ou associé à d'autres dispositifs de protection pour une protection optimisée le fusible est la solution idéale pour protéger et assurer la sécurité dans :

- Les circuits de distribution basse tension
- Les circuits de distribution moyenne tension
- Les équipements électroniques de puissance
- Les circuits basse tension et moyenne tension alimentés en courant continu

**F** Fidélité du fonctionnement, **F**usion enfermée

**U** Universel (toutes applications)

**S** Sécurité, **S**électivité, **S**implicité

**I** Idéal pour la protection générale

**B** Bonne tenue des surcharges

**L** Limiteur

**E** Economique, **E**xcellente protection

**Tout simplement parfait !**