

Dr.-Ing. Herbert Bessei



MANUEL SUR LES FUSIBLES

FUSIBLES DE PUISSANCE

Le manuel des utilisateurs
de fusibles pour la basse
tension et la haute tension



NH/HH-Recycling



UM
WELT
PAKT
BAYERN



MANUEL SUR LES FUSIBLES

Fusibles de puissance

Le manuel des utilisateurs de fusibles
pour la basse tension (BT)
et la haute tension (HT)

Auteur :

fuseXpert Dr.-Ing. Herbert Bessei

Éditeur :

NH/HH-Recycling e.V.

Éditeur :



Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling
von abgeschalteten NH- und HH-Sicherungseinsätzen e. V.

Die Deutschen Hersteller von NH/HH-Sicherungseinsätzen

Tél. : +49 9466 910375

Courriel : info@nh-hh-recycling.de

4e édition actualisée 2011

© 2011 Kerschensteiner Verlag, 93138 Lappersdorf

Printed in Germany

ISBN : 978-3-931954-24-6

Sous réserve de tous droits. La reproduction de ce manuel ou de parties de ce manuel par photocopie ou moyen électronique est interdite sans autorisation écrite de l'auteur.

Traduction française réalisée par Jean-Claude Luquain.

Jean-Claude Luquain a développé des fusibles et nouvelles applications fusibles pour MERSEN (anciennement FERRAZ SHAWMUT) durant toute sa carrière. Il a ajouté quelques notes relatives aux spécificités et modèles français de fusibles.

Préface du président de l'association « NH/HH-Recycling e. V. »

Ce manuel sur les fusibles a pour but de vous offrir un aperçu simple et compréhensible du monde des fusibles.

Le principe de fonctionnement et les avantages procurés par ces dispositifs de protection si simples mais extrêmement efficaces sont décrits dans ce manuel qui retrace l'histoire des fusibles puis leurs applications et enfin les différents systèmes fusibles et les normes correspondantes.

C'est à l'initiative des fabricants allemands de fusibles qu'a été fondée en 1995 l'**association NH/HH de recyclage** offrant pour la première fois en Allemagne la possibilité de reprise des déchets électriques sur une base volontaire. L'objectif était de créer un système de recyclage écologique et volontaire de système de fusibles NH et HT, un système simple et gratuit pour les centres de collecte y participant et ne requérant aucun soutien financier.

Aujourd'hui, nous pouvons faire la rétrospective de plus de 15 années de travail volontaire. L'année dernière, nos centres de collecte ont pu rassembler 232 tonnes de fusibles hors service et récupérer pour réutilisation jusqu'à ce jour **450 tonnes de cuivre et 6,8 tonnes d'argent**. Nous pouvons être fiers de ce résultat.

En notre qualité d'association d'utilité publique, nous ne visons aucun bénéfice économique. Si la vente du cuivre et de l'argent récupéré nous permet de disposer toutefois d'excédents, ceux-ci sont mis à la disposition des différents projets de formation et de recherche dans le domaine des fusibles. Nous sommes heureux de pouvoir ainsi soutenir et encourager tant la protection de l'environnement que les activités scientifiques liées à la technologie des fusibles.

En finançant et en publiant ce petit manuel, nous souhaitons, chers lecteurs, vous offrir la possibilité de vous informer rapidement et de manière ciblée sur les principaux aspects relevant des fusibles, sans devoir pour cela consulter plusieurs ouvrages de normalisation complexes. Grâce à ses nombreuses recherches précises et s'étendant au-delà des entreprises, l'auteur est parvenu à mettre en évidence l'importance et les avantages de l'utilisation des fusibles et à expliquer ces derniers de manière compréhensible.

Nous espérons que ce manuel vous intéressera et qu'il vous accompagnera dans le cadre de votre travail quotidien. Nous espérons également que notre concept de recyclage s'étendra car, en Allemagne, tous les fusibles hors service sont encore loin d'être recyclés. Nous vous remercions de l'intérêt que vous prêtez à notre ouvrage et vous souhaitons une bonne lecture.



Volker Seefeld

Président de l'association NH/HH-Recycling-Verein

Avant-propos de l'auteur

Les fusibles à fusion enfermée sont omniprésents dans notre vie, même si nous ne nous en rendons généralement pas compte. Étant donné que leur présence est la plupart du temps associée à des perturbations désagréables de notre quotidien, leur réputation n'est pas spécialement bonne. Nous ne devenons attentifs aux fusibles que lorsque des appareils électriques ou électroniques ne fonctionnent plus comme il se doit. Le profane incrimine toujours le fusible qui a « claqué » et le tient responsable du dérangement ; seul le spécialiste réalise et apprécie son fonctionnement fiable qui a permis d'éviter un bien plus grand désastre.

Pour qu'ils puissent toutefois faire preuve de leur fiabilité légendaire comme organes protecteurs pour toutes sortes d'appareils et installations électriques, les fusibles doivent avoir été fabriqués avec soin et sélectionnés correctement pour la tâche de protection qu'ils doivent assumer.

Une production soignée est indispensable car par nature il n'est pas possible de tester le bon fonctionnement des fusibles avant leur utilisation. Un choix correct exige une connaissance de base sur le fonctionnement technique, sur le marquage et les données techniques des fusibles.

Il est évident que les normes et les consignes d'utilisation correspondantes renseignent beaucoup sur ce thème, ce que les traités scientifiques font encore davantage. L'étude de ces documents ne saurait être imposée aux utilisateurs occasionnels de fusibles puisqu'ils sont difficiles à comprendre et que leur étude prend énormément de temps. Ce manuel regroupe donc les thèmes les plus importants pour les utilisateurs de fusibles et comporte un répertoire de mots clés qui permet au lecteur pressé de consulter directement l'information souhaitée.

Il est possible et même impératif de demander conseil auprès des fabricants de fusibles. Mais, pour cela, l'utilisateur devrait être suffisamment informé pour qu'il puisse identifier la nature de ses besoins.

Ce manuel sur les fusibles n'a pas la prétention d'être complet et de contribuer à trouver le fusible adapté à toutes les applications. Il renseigne davantage sur ce qu'il convient d'observer lors de la sélection du fusible recherché, permet de reconnaître les applications non standardisées et problématiques et d'adresser au fabricant les bonnes questions.

Ce manuel aborde également les thèmes qui ne sont pas traités par les normes ainsi que ceux qui sont difficiles à trouver. Certaines données de base dont l'utilisateur de fusibles devrait disposer sont regroupées dans des tableaux.

Par ailleurs, il est question de fusibles pour des applications allemandes spécifiques qui ne sont pas évoquées dans les normes internationales, bien qu'elles aient de l'importance pour les utilisateurs.

Je tiens à remercier tous les spécialistes des fusibles d'avoir bien voulu me prêter leur précieux soutien ainsi que pour les photos et les documents techniques qui m'ont été remis.

Hormis quelques corrections, l'aperçu des normes du tableau 2.1 a été mis à jour pour cette nouvelle édition. D'autre part, les exemples d'application ont été complétés par le nouveau sous-chapitre 10.9 « Protection des modules photovoltaïques ». Ce sous-chapitre traite du niveau actuel des discussions entre les experts et les comités de normalisation. Il n'est pas exclu que les fusibles dédiés à la protection des modules PV n'évoluent pas au fur et à mesure des progrès accomplis.

Bad Kreuznach, en mai 2010

A handwritten signature in blue ink, reading "H. Besse". The signature is written in a cursive style with a prominent initial "H".

Sommaire

1	Les fusibles – Toujours d'actualité pour la protection en courant des circuits	8
2	Les normes de fusibles – Elles s'imposent!	9
3	Les fusibles – Comment sont ils définis	11
3.1	Système de fusibles D (fusibles à visser)	11
	Note : Système de fusibles cylindriques NF	13
3.2	Système de fusibles NH	15
3.3	Fusibles HT	17
4	Fusibles de forte puissance – Comment sont-ils construits	19
4.1	Élément de remplacement de système de fusibles NH	19
4.2	Élément de remplacement de fusibles HT	20
5	Les fusibles – Comment ils fonctionnent	25
5.1	Coupure des surcharges, fusibles à zone de coupure intégrale (« full range »)	25
5.2	Coupure de court-circuit avec limitation du courant	26
5.3	Fusible HT à zone de coupure partielle	27
6	Caractéristiques – Du sur mesure pour chaque application	29
6.1	Caractéristiques temps/courant	29
6.2	Caractéristiques de courant coupé limité	30
6.3	Durées virtuelles et le mystérieux I^2t	31
7	Sélectivité – Pour accroître la sécurité de l'alimentation	33
7.1	Sélectivité entre les fusibles	33
7.2	Sélectivité entre les fusibles et les disjoncteurs	34
7.3	Sélectivité dans le domaine des installations résidentielles	36
7.4	Sélectivité dans les réseaux maillés	37
8	Marquage – Pour informer l'utilisateur	39
9	Couleurs de marquage – Pour réduire le risque de confusion	41
10	Choix de fusibles basse tension – le fusible adapté à chaque application	42
10.1	Critères de choix pour les fusibles basse tension	42
10.2	Protection des câbles et lignes	44
10.3	Protection des transformateurs avec des systèmes de fusibles NH	45
10.4	Protection des circuits moteurs	46
10.5	Protection des semi-conducteurs – Il n'y a pas plus rapide	48
10.6	Protection de circuits à courant continu	51
10.7	Protection de batteries dans les installations ASI	54
10.8	Protection des condensateurs de correction du facteur de puissance	56
10.9	Protection des modules photovoltaïques (PV)	59

11	Choix des fusibles HT – Des informations pour les spécialistes	66
11.1	Critères de choix généraux	66
11.2	Protection des transformateurs selon VDE 0670 partie 4 et partie 402	67
11.3	Protection des transformateurs selon VDE 0671 partie 105	69
11.4	Déclencheurs thermiques	72
11.5	Protection des circuits moteurs à haute tension	73
12	Manipulation en charge des éléments de remplacement de fusibles BT	
	– Interdit aux personnes non autorisées!	75
13	Manipulation en charge de systèmes de fusibles D	
	– Autorisé dans certaines limites	77
14	Les combiné-fusibles – Une bonne combinaison	78
14.1	Fusibles-interrupteurs-sectionneurs des systèmes de fusibles NH	80
14.2	Réglettes à fusibles pour éléments de remplacement à couteaux NH (sectionnables et à coupure en charge)	81
14.3	Interrupteurs-sectionneurs à fusibles	83
15	Combinés interrupteurs-fusibles haute tension pour courant alternatif	85
16	Fusibles sécurisés pour la protection des travailleurs –	
	Pour minimiser les risques	88
17	Montage de fusibles en parallèle	
	– Pour accroître la plage de courant nominal	89
18	Montage de fusibles en série – La plupart du temps sans utilité	91
19	Conditions environnantes – Lorsque les conditions ne sont pas normales	91
19.1	Températures ambiantes > 40 °C	91
19.2	Températures ambiantes < 5 °C	93
19.3	Fusibles HT en puits-fusibles (boîtiers unipolaires)	93
19.4	Système de fusibles NH en boîtiers	93
19.5	Humidité et pollution	95
19.6	Atmosphères corrosives (contacts nickelés)	95
19.7	Vibrations et chocs inhabituels	96
20	Puissance dissipée – Plein de préjugés	97
21	Qualité intrinsèque – Visible de l'extérieur	98
22	Systèmes de fusibles intelligents – Les fusibles peuvent aussi communiquer ..	100
23	Recyclage des fusibles – Egalement utile même hors service	103
24	Annexe	106
25	Répertoire de mots-clés (Index)	110

1 Les fusibles – Toujours d'actualité pour la protection en courant des circuits

Les fusibles figurent parmi les premiers éléments de l'histoire de l'énergie électrique. Le développement du fusible part d'un simple fil en platine, déjà utilisé vers le milieu du 19^e siècle pour protéger les câbles télégraphiques sous-marins, pour atteindre le niveau des fusibles modernes et de hautes performances. Sans les fusibles, jamais l'utilisation du courant comme source d'énergie n'aurait été possible car elle présenterait un trop grand risque. Compte tenu de leur construction simple et de leur fonctionnement fiable répondant à des lois physiques inéluctables, les fusibles sont devenus un composant de sécurité dans les circuits électriques.

Depuis 1890 lorsque W. M. Mordey déposa la demande de brevet d'un fusible sur lequel l'élément fusible était encapsulé dans un boîtier hermétique rempli d'une matière granulaire d'extinction jusqu'à nos jours, le principe des fusibles hautes performances n'a pas changé (figure 1.1).

C'est au début du 20^e siècle que des fusibles à visser ont été mis au point en Allemagne par les frères Siemens et commercialisés dans le monde entier sous la marque « Diazed » (figure 1.2).

Le principe de construction particulièrement simple et peu coûteux, permettant cependant des pouvoirs de coupure maximaux et des caractéristiques de fusion précises, s'avéra apte à être adapté et développé au point que les fusibles ont désormais, et encore de nos jours, leur place attirée dans les installations électriques, même si nombre d'autres éléments de protection basés sur des principes physiques différents sont devenus entre temps disponibles. Hormis un rapport prix/performances extrêmement favorable et un faible encombrement, la fiabilité légendaire des fusibles que l'on qualifie de « dernière ligne de défense » est le facteur décisif pour leur utilisation en croissance permanente.

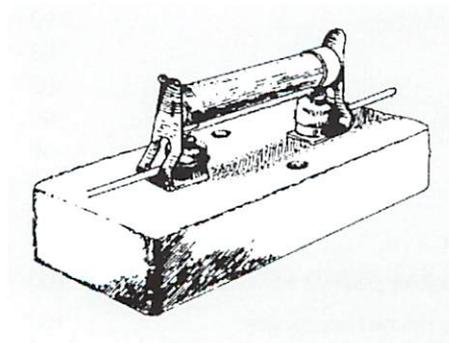


Fig. 1.1 Fusible rempli de matériel d'extinction d'arc de W. M. Mordey vers 1890

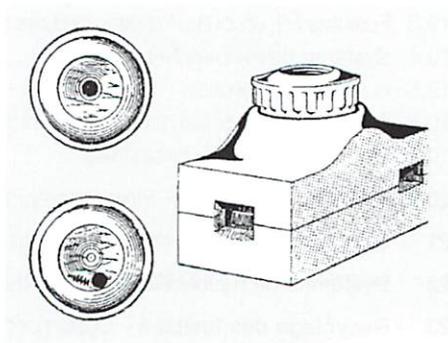


Fig. 1.2 Fusible Diazed® des frères Siemens vers 1906

2 Les normes de fusibles – Elles s'imposent!

À l'origine, les normes sur les fusibles étaient essentiellement des normes dimensionnelles qui avaient pour but de simplifier le remplacement des fusibles et d'éviter des confusions. Les puissances de court-circuit et l'extension croissante des réseaux électriques ont alors requis des définitions et essais supplémentaires portant sur les propriétés électriques importantes telles que les caractéristiques temps/courant, le pouvoir de coupure et la puissance dissipée. L'engagement intense des exploitants de réseaux allemands et la concurrence acerbe entre les fabricants ont contribué au rôle de pionnier joué par les Allemands et à un niveau technique élevé dans le monde en matière de normalisation internationale des fusibles.

Les principales caractéristiques électriques des fusibles de puissance sont aujourd'hui largement standardisées dans les normes internationales CEI 60269 (fusibles basse tension) et CEI 60282 (fusibles haute tension) utilisées dans le monde entier. Le choix conforme à chaque protection spécifique et le remplacement des fusibles s'en trouvent de ce fait facilités. Les normes européennes (EN) sont en règle générale identiques aux normes CEI mais peuvent toutefois comporter des petites divergences qui sont applicables à tous les pays européens. À quelques exceptions près, les normes allemandes (DIN EN, VDE) ou françaises (NF EN, NF C) sont les traductions des normes internationales. Il existe une réglementation spéciale pour les fusibles basse tension. Tous les systèmes de fusibles de la norme internationale ont été repris dans un document d'harmonisation européen (HD). Il est possible de rechercher dans ce document des systèmes de fusibles individuels pour les intégrer dans les normes nationales. C'est pour éviter d'éventuelles confusions dangereuses que seul le système de fusibles NH et le système fusible D/D0 ont été repris dans la norme allemande DIN VDE 0636. De même, pour des raisons historiques le système de fusibles NH et le système de fusibles à capsules cylindriques ont été repris dans la norme française NF C 60-200-2.

Par ailleurs, il existe quelques dispositions VDE sans correspondance internationale (tableau 2.1). Ceci concerne

- les fusibles NH et HH pour la protection des transformateurs,
- les fusibles NH utilisés dans le secteur minier,
- les fusibles 1000 V pour la protection des circuits moteurs,
- les fusibles D à filetage E 16 jusqu'à 25 A,
- les fusibles D jusqu'à 750 V pour le ferroviaire électrique,
- les fusibles D jusqu'à 500 V pour le secteur minier,
- les fusibles D0 690 V,
- les interrupteurs à fusibles D0.

Certains fusibles plus anciens selon VDE 0660 sont uniquement fabriqués à la demande.

Le système de fusible DL, qui est fabriqué sur la base d'une norme d'usine datant de l'ancienne RDA, n'est plus conforme à la norme en vigueur mais est encore et toujours d'un certain intérêt pour l'utilisateur. Il s'agit de fusibles de la taille E 16 qui ne sont pas compatibles avec le système E 16 selon VDE 0635.

Fusibles basse tension

CEI	VDE	NF	Contenu des normes (1)
60269-1	0636 Partie 1	NF EN 60269-1	Exigences générales
60269-2	0636 Partie 2	NF C 60- 200-2	Fusibles destinés à être utilisés par des personnes habilitées (fusibles pour usage essentiellement industriels) <ul style="list-style-type: none"> Exemples pour systèmes de fusibles normalisés (par ex. système de fusibles NH, système de fusible à capsules cylindriques)
	0636 Partie 2011		Complément national 1 : protection d'installations électriques spéciales (gTr, gB et aM 1.000 V a.c.)
60269-3	0636 Partie 3	NF C 60- 200-3	Fusibles destinés à être utilisés par des personnes non qualifiées (fusibles pour usages essentiellement domestiques et analogues) <ul style="list-style-type: none"> Exemples pour systèmes de fusibles normalisés (par ex. système de fusibles à capsules cylindriques)
	0636 Partie 3011		Complément national 1 : U = 690 V a.c. et U = 600 V d.c.
60269-4	0636 Partie 4	NF EN 60269-4	Fusibles pour la protection des dispositifs à semiconducteurs
TR 60269-5	(0636 Partie 5)	NF EN 60269-4	Ligne directrices pour l'application des fusibles basse tension
60269-6	(0636 Partie 6)	NF EN 60269-6	Protection de systèmes d'énergie solaire photovoltaïque
	0635		Fusibles D E16 jusqu'à 25 A, 500 V ; fusibles D jusqu'à 100 A, 750 V ; 500 V
	0638		Interrupteurs à fusibles ; système D0
60947-3	0660 Partie 107	NF EN 60947-3	Interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs, interrupteurs à fusibles et autres combinés-fusibles

(1) Soit la version est spécifique à chaque pays qui retient 1 ou 2 systèmes fusible préférentiel(nommée NFC 60- xxx en France). Soit les versions NF et VDE sont des reprises intégrales de la norme CEI correspondante (nommées NF EN en France, NF D ou VDE en Allemagne). Soit seule la norme VDE existe (uniquement la colonne VDE est renseignée).

Fusibles haute tension

CEI	VDE	NF	Contenu des normes (voir (1) ci avant)
60282-1	0670 Partie 4	NF EN 60282-1	Fusibles haute tension – Fusibles limiteurs de courant
60644	0670 Partie 401	NF EN 60644	Spécification relative aux fusibles à haute tension destinés à des circuits comprenant des moteurs
60549		NF EN 60549	Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection des condensateurs de puissance en dérivation.
60787	0670 Partie 402	NF EN 60787	Guide d'application pour le choix des fusibles de fusibles à haute tension destinés à être utilisés dans des circuits comprenant des transformateurs
62271-105	0671 Partie 105	NF EN 62271-105	Appareillage haute tension - Combinés interrupteurs à fusibles pour courant alternatif
62271-107	0671 Partie 107	NF EN 62271-107	Circuits-switchers fusibles pour courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus

Tableau 2.1 Liste des normes des fusibles

3 Les fusibles

– Comment sont-ils définis

En pratique nous employons le terme « fusible » lorsque l'on veut parler du coupe-circuit à fusible et d'élément de remplacement (pouvant être remplacé). Ce terme fusible est généralement utilisé ici pour faciliter la lecture. D'après la norme, un « fusible » comprend cependant « tous les éléments qui forment l'appareillage complet » ; cela veut dire qu'un fusible est un système qui se compose :

- de l'ensemble porteur (socle ou porte-fusibles),
- de l'élément de remplacement
- du système de manipulation (poignée, capuchon vissé, dispositif basculant),
- de la bague de calibrage (anneau, vis, douille de calibrage) dans certains cas,
- du cache de protection contre le toucher fortuit et de cloisons de séparation (dans le cas d'un dispositif multipolaire) (figure 3.1)

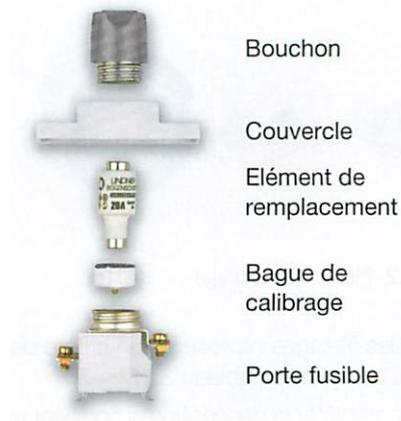


Fig. 3.1 Système de fusible D

3.1 Système de fusibles D (fusibles à visser)

La protection contre les contacts électriques et l'impossibilité d'une confusion en matière de courant assigné (calibre) sont les caractéristiques distinctives des systèmes de fusibles D. Autrement dit, dans un socle de système de fusible D, il est impossible de remplacer par inadvertance une cartouche fusible dont le courant assigné (calibre) dépasse la valeur assignée définie pour le socle. Cette exigence s'applique aux courants assignés ≥ 10 A et est remplie par des bagues de calibrage placées à l'intérieur du socle. Les fusibles D se montent uniquement dans des socles à bagues de calibrage dont l'intensité nominale est égale ou supérieure à celle du fusible et conviennent donc à une utilisation par des personnes non qualifiées (figure 3.2). Les bagues de calibrage ne peuvent être mises en place et retirées qu'avec des outils spéciaux dont ne disposent généralement pas les personnes non habilitées.

Les systèmes de fusibles D ont été mis au point au début du 20e siècle par les frères Siemens et distribués dans le monde entier sous la marque « Diazed ». La tension assignée standardisée de 500 V a.c. et 500V d.c. ainsi que le pouvoir de coupure élevé de 50 kA a.c. et de 8 kA d.c. permettent d'utiliser les systèmes de fusibles D aussi bien pour les installations domestiques que pour les applications industrielles. À la fin des années 60, les sociétés Lindner et Siemens ont lancé un nouveau système de fusible D sur le marché sous le nom de « Neozed » caractérisé par des tensions nominales de 400 V a.c.



Fig. 3.2 Pièces de calibrage

taille des filetages représente un critère de différenciation des différents systèmes de fusibles (tableau 3.1).

Pour compléter la description, il convient encore d'évoquer les fusibles à visser de la taille E 16 encore fréquemment rencontrés sur les anciennes installations et dont la fabrication est encore assurée pour couvrir les besoins de remplacement. Le type NDz a été développé dès les années 50 comme variante peu encombrante destinée aux circuits de contrôle et de mesure de courant et repris dans la norme VDE 0635. Ces fusibles sont proposés avec une caractéristique de fusion rapide et retardée (TNDz). La norme VDE 0635 ne contient plus que la version à action retardée reconnaissable au marquage avec un « escargot ».

Type	Filetage	Courant assigné (intensités nominales)	Tensions assignées (tensions nominales)	Pouvoir de coupure	Norme
D 01	E 14	2 A à 16 A	400 V a.c. 250 V d.c.	50 kA a.c. 8 kA d.c.	VDE 0636
D 02	E 18	20 A à 63 A			
D 03	M 30x2	80 A et 100 A			
D II	E 27	2 A à 25 A	500 V a.c. 500 V d.c.	50 kA a.c. 8 kA d.c.	VDE 0636
D III	E 33	35 A à 63 A			
D IV	G 1¼	80 A et 100 A			
NDz	E 16	2 A à 25 A	500 V a.c. 500 V d.c.	4 kA a.c. 1,6 kA d.c.	VDE 0635
DL	E 16	2 A à 20 A				380 V a.c.	20 kA a.c.	WN

Tableau 3.1 Aperçu des systèmes de fusibles à visser

Il n'y a pratiquement aucune possibilité de confusion entre le système D et le système DL encore largement répandu dans les nouveaux Länder. Le système mis au point en RDA comme alternative au système de fusible DO est utilisé avant tout dans le bâtiment. Les fusibles DL ont été fabriqués selon la norme d'usine et ne correspondent à aucune norme en vigueur. Leur utilisation est encore autorisée sur les installations en service à titre de remplacement. Les cartouches fusibles aujourd'hui fabriquées remplissent les exigences électriques de la norme VDE 0636 partie 3, comportant un voyant indicateur de fusion qui n'était pas requis sur la version initiale et d'une tension assignée de 400 V, donc plus élevée que celle de 380 V à l'origine. Les deux systèmes E 16 se différencient par leur longueur qui est de 36 mm pour les fusibles DL et de 50 mm pour les fusibles NDz.

Note : Système de fusibles cylindrique NF

En France, Italie, Espagne, Afrique du Nord, ..., le système de fusibles D est supplanté par le système de fusibles cylindrique NF.

Il est caractérisés par :

- des tensions nominales s'étendant de 230V a.c. à 690V a.c.
- des pouvoirs de coupure élevés de 6 kA a.c. - 20 kA a.c. et 100 kA a.c.
- des dimensions compactes dans 7 différentes tailles
- et les catégories d'emploi gG et aM (présentées et décrites dans le tableau 10.2).

a) une gamme de fusibles cylindriques qualifiée pour les installations industrielles est présentée dans la norme CEI 60269 Partie 2 : Exigences supplémentaires pour les fusibles destinés à être utilisés par des personnes habilitées (fusibles pour usages essentiellement industriels)

Système de fusible F - Fusibles avec éléments de remplacement à capsules cylindriques.

Le tableau ci après récapitule les différentes caractéristiques.

Taille	Catégorie d'emploi	Courant assigné (intensités nominales)	Tensions assignées (tensions nominales)	Pouvoir de coupure
8 x 32	gG	25A	400V a.c.	20 kA a.c.
	aM	12A	400V a.c.	20 kA a.c.
10 x 38	gG	32A	400V a.c.	100 kA a.c.
		25A	500V a.c.	100 kA a.c.
		16A	690V a.c.	50 kA a.c.
	aM	32A	400V a.c.	100 kA a.c.
		20A	500V a.c.	100 kA a.c.
		12A	690V a.c.	50 kA a.c.
14 x 51	gG	50A avec & sans percuteur	500V a.c.	100 kA a.c.
		50A avec & sans percuteur	690V a.c.	50 kA a.c.
	aM	50A avec & sans percuteur	500V a.c.	100 kA a.c.
		16A avec percuteur	690V a.c.	50 kA a.c.
		40A sans percuteur	690V a.c.	50 kA a.c.
		100A avec & sans percuteur	500V a.c.	100 kA a.c.
22 x 58	gG	80A avec & sans percuteur	690V a.c.	50 kA a.c.
		100A avec & sans percuteur	500V a.c.	100 kA a.c.
	aM	80A avec & sans percuteur	690V a.c.	50 kA a.c.

Les fusibles de tailles 14x51 et 22x58 existent sans et avec indicateur percuteur, ainsi que quelques modèles 10x38 de fabricants.

Les éléments de remplacement du système de fusibles cylindriques ne présentent pas de système de détrompage (« rejection ») entre les courants assignés comme c'est le cas du système de fusibles D. Par contre chacune des 4 différentes tailles des éléments de remplacement interdit l'utilisation de courant assigné supérieur à la valeur admissible par le socle.

b) Une autre gamme de fusibles cylindriques qualifiée pour les installations domestiques résidentielles est présentée dans la norme CEI 60269 Partie 3 : Exigences supplémen-

taires pour les fusibles destinés à être utilisés par des personnes non qualifiées (fusibles pour usages essentiellement domestiques et analogues)

Système de fusible B - Fusibles cylindriques (système de fusibles cylindriques NF)

Le tableau ci après récapitule les différentes caractéristiques.

Taille (an mm)	Courant assigné (intensité nominale)	Tensions assignées (tensions nominales)	Pouvoir de coupure
6,3 x 23	6 A	230 V a.c.	6 kA a.c.
8,3 x 23	10 A	230 V a.c.	6 kA a.c.
10,3 x 25,8	16 A	230 V a.c.	6 kA a.c.
8,5 x 31,5	20 A	400 V a.c.	20 kA a.c.
10,3 x 31,5	25 A	400 V a.c.	20 kA a.c.
10 x 38	32 A	400 V a.c.	20 kA a.c.
16,7 x 35	63 A	400 V a.c.	20 kA a.c.

Ces éléments de remplacement peuvent avoir des indicateurs de fusion.

Un seul calibre nominal existe par taille de fusible, ce qui permet un détrompage (« rejection ») complet du système fusible. Les fusibles-sectionneurs disponibles permettent le rechange des éléments de remplacement par des personnes non habilitées dans certaines conditions (voir chapitre 12).

3.2 Système de fusibles NH

« Fusibles avec éléments de remplacement à couteaux », tel est le nom plutôt embarrassant attribué par la norme internationale au système de fusibles NH. Ces systèmes à Haut Pouvoir de Coupure (HPC) désignés à juste titre car ce dernier est généralement supérieur à 100 kA et couvre ainsi tous les courants de court-circuit rencontrés dans le réseau à basse tension.

Pour l'utilisateur, ceci signifie qu'il peut renoncer aux calculs complexes du courant de court-circuit lorsqu'il utilise des systèmes de fusibles NH comme éléments de protection.

Le fusible NH est un système de fusibles destiné à être utilisé par des personnes autorisées. Ces personnes doivent être des électriciens habilités ou des personnes qui ont reçu une formation électrotechnique. C'est pourquoi aucune protection contre les contacts et aucun détrompeur n'est exigé. Dans la pratique, une protection contre un contact accidentel s'est malgré tout imposée.

Le système de fusibles NH (figure 3.3) se compose

- de **l'ensemble porteur** (socle ou porte-fusibles) avec des contacts à mâchoires et à ressorts externes pour les contacts des couteaux (figure 3.4),
- des **éléments de remplacement** comme éléments clés
- du **système de manipulation** (poignée, dispositif basculant).

Le système de manipulation est normalisé dans la norme VDE 0636 partie 2 du point de vue dimensionnel et de son adaptation sur les éléments de remplacement respectifs. Les systèmes de manipulation qui sont utilisés pour une manipulation sous tension doivent être équipés d'un protège-bras et entrent alors dans le domaine de validité de la norme VDE 0680, partie 4.

Lorsque le système de manipulation est mécaniquement logé sur le socle, on parle alors d'un **dispositif basculant** (figure 3.5). Sur les systèmes de fusibles NH de la taille 4a, un dispositif basculant à verrouillage est impératif.

Le système de fusibles NH se compose de socles de différentes tailles et des éléments de remplacement correspondants. Les courants assignés maximaux et les puissances dissipées maximales (puissances

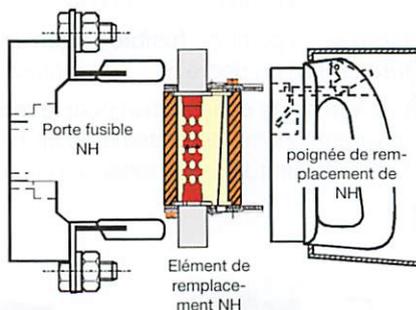


Fig. 3.3 Le système de fusibles NH



Fig. 3.4 Contact de socle NH

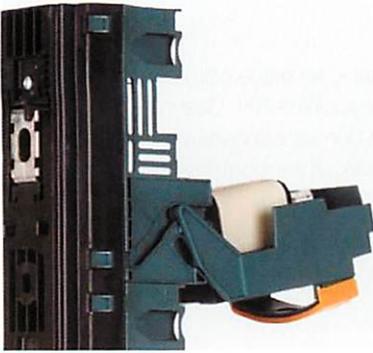


Fig. 3.5 Dispositif basculant

tées aux porte-fusibles de la taille 00. L'avantage de dimensions plus compactes dans le cadre de la norme ne peut toutefois pas être exploité. Des portes-fusibles, des appareils fusibles-sectionneurs et des sectionneurs à fusibles sont proposés en dehors de la norme, lesquels exploitent pleinement les possibilités d'une construction plus compacte avec de plus petits courants assignés.

En Allemagne, les éléments de base du fusible NH ont été perfectionnés en deux directions pour donner des produits performants qui soutiennent toujours l'utilisation du système de fusible dans le monde entier.

- La mise au point de **fusibles-interrupteurs-sectionneurs** a conféré au système de fusibles NH un degré élevé de protection de l'utilisateur (v. point 14).
- Les formes de construction pour **le montage direct sur jeux de barres** (barrettes et cavaliers) ont fait du système de fusibles NH des composants précieux pour la distribution électrique basse tension à coûts avantageux.

dissipées assignées) sont définis pour chaque taille (tableau 3.2 en annexe). La taille NH 4 de ce système constitue une exception (d'origine française) car elle possède des contacts à visser. Elle a été largement remplacée par la taille NH 4a à contacts à couteaux. La taille NH 0 a uniquement le droit d'être utilisée pour couvrir les besoins de remplacement. Les fusibles NH 0 à percuteur qui sont encore autorisés dans les installations neuves constituent une exception.

Il n'existe pas de socle normalisé spécifique pour la taille NH 000 (anciennement NH 00C). Ces cartouches fusibles sont adaptées

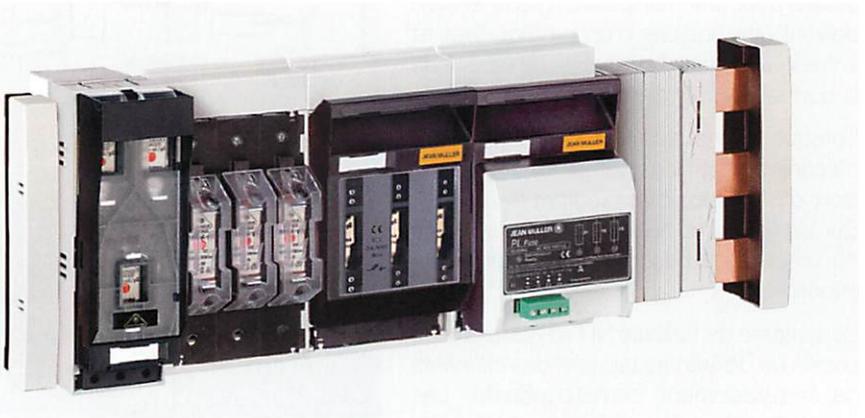


Fig. 3.6 Porte-fusibles et combinés-fusibles pour montage type «busbar»

Les réglottes à fusibles NH des tailles NH 00 à NH 3 pour le système de jeu de barres d'entraxe 185 mm et de la taille NH 00 pour le système 100 mm figurent dans la norme internationale. Les socles pour montage sur jeu de barres et les socles associés en tandem pour le système de jeu de barres 40 mm utilisé dans les armoires de compteurs sont également présentés dans la norme internationale.

3.3 Fusibles HT

Les fusibles HT à fusion enfermée limiteurs de courant sont des fusibles à haut pouvoir de coupure et haute tension destinés à des tensions alternatives > 1 kV. Le terme « élément de remplacement à fusion enfermée » signifie que cet élément de remplacement est constitué d'un corps fermé et que la coupure des courants élevés de court-circuit est obtenue avec limitation du courant et sans éjection de flamme. Les autres types de fusibles HT dénommés à expulsion ne sont pas limiteurs de courant, et leur déclenchement s'accompagne de l'éjection bruyante de gaz chauds ; ils sont également répandus dans le monde entier mais ne sont pas utilisés sur les réseaux de distribution de courant importants et à exigences élevées en matière de disponibilité, comme c'est le cas en Allemagne et dans la plupart des pays Européens. Les fusibles HT à fusion enfermée dont il est question ici se composent d'un élément de remplacement, d'un socle et, le cas échéant, du système de manipulation (figure 3.7).

Les socles existent en version pour utilisation intérieure (figure 3.7) et en version pour utilisation extérieure (figure 3.9) avec des contacts à ressorts. Dans le cas d'installation en cellule fermée, les cartouches fusibles sont utilisées dans des puits-fusibles (figure 3.8).

La norme VDE 0670 partie 4 cite des tensions assignées allant jusqu'à 72,5 kV et des courants assignés allant jusqu'à 1.000 A. Les fusibles couramment utilisés en Allemagne et dans de nombreux pays européens (v. point 4.2) possèdent des contacts cylindriques de 45 mm de diamètre dans les dimensions maximales normalisées correspondantes



Fig. 3.7 Système de fusible HT



Fig. 3.8 Puit-fusible (fourreau) HT



Fig. 3.9 Fusibles pour utilisation extérieure

Tension assignée	Courants assignés	Pouvoir de coupure
7,2 kV	≤ 250 A	63 – 80 kA
12 kV	≤ 200 A	40 – 63 kA
17,5 kV	≤ 200 A	40 – 63 kA
24 kV	≤ 125 A	31,5 – 63 kA
36 kV	≤ 63 A	31,5 – 40 kA

Tableau 3.2 Gamme de fusibles HT

aux courants assignés maximaux cités dans le tableau 3.2.

Les courants assignés du socle varient entre 200 A et 250 A. Les éléments de remplacement en exécutions spéciales (plus grandes longueurs) sont aussi proposés avec des courants assignés allant jusqu'à 500 A. Des coefficients de déclassement du courant d'emploi doivent toutefois être pris en considération du point de vue ces fusibles.

Par comparaison à d'autres dispositifs de protection contre les courts-circuits, les pouvoirs de coupure des fusibles HT de plusieurs 1.000 MVA sont inégaux en termes d'encombrement et de coûts.

Les fusibles HT peuvent devenir très chauds lors du passage du courant d'emploi et en particulier lors de la coupure du circuit. L'utilisation d'outils appropriés est donc vivement recommandée pour les remplacer (figure 3.7).

En France, une gamme de fusible HT

- à utilisation intérieure,
- à coupure partielle (de type « backup » ou à associer),
- de tension assignée 12 et 24 kV,
- de courants assignés 6,3 à 63A

existe pour la protection des transformateurs HT/BT utilisés dans les réseaux de distribution électrique.

Ces fusibles de diamètre 55 mm et longueur 520 mm hors tout sont présentés avec et sans indicateur percuteur à effort moyen (voir tableau 4.1 et figure 4.4) en conformité avec les normes françaises UTE C 64110, UTE C 64200 et UTE C 64203.

De par leur structure à base de matériau synthétique, ces fusibles répondent parfaitement aux contraintes de mise en œuvre dans les cellules HTA et les puits-fusibles.

4 Fusibles de forte puissance – Comment sont-ils construits

4.1 Élément de remplacement de système de fusibles NH

La construction typique d'un élément de remplacement NH est représentée sur la figure 4.1. Il est constitué d'un élément fusible soudé entre les contacts à couteaux de forme caractéristique et enrobé d'un corps isolant de forme ovale ou rectangulaire. Les couteaux sont logés dans des couvercles de fermeture présentant des pattes d'accrochage en saillie pour le système de manipulation. Un indicateur, situé en tant qu'indicateur rabattable sur la face avant ou en tant qu'indicateur central sur la face frontale du corps du fusible, est libéré lors de la fusion de l'élément fusible.

Aussi simple que la construction puisse paraître, les propriétés des différents composants n'en sont pas moins importantes pour obtenir un fonctionnement correct et fiable des fusibles.

- **L'élément fusible** détermine la caractéristique temps/courant et est responsable de l'échauffement. Il représente le « cœur du fusible » et est fabriqué avec une très grande précision à partir d'une bande de cuivre ou d'argent. L'épaisseur régulière de la bande, la bonne conductibilité et la précision de la découpe garantissent la précision et la fidélité de la caractéristique temps/courant et une faible puissance dissipée. Le nombre de rangées de sections réduites en série dépend du niveau de la tension de rétablissement (tension du circuit). Une rangée de sections réduites est nécessaire pour 100 V environ.
- **Le corps isolant** empêche l'échappement des gaz chauds et du métal liquide. Il est constitué de céramique technique haut de gamme telle que stéatite ou alumine (Al_2O_3) et doit supporter des températures et des pressions intérieures très élevées lors de la coupure.
- **Les couvercles** possèdent **des pattes d'accrochage** pour la manipulation de l'élément de remplacement avec le système de manipulation NH normalisé. Avec le corps céramique, elles forment un ensemble résistant à la pression de l'arc.
- **Le sable** est important pour assurer la limitation du courant. Il s'agit généralement de sable quartzueux cristallin à grande pureté chimique et minéralogique (teneur en $SiO_2 > 99,5 \%$). Son séchage à la flamme nue le rend exempt d'eau de cristallisation. Une granulométrie définie et un compactage optimal sont essentiels pour l'extinction de l'arc.

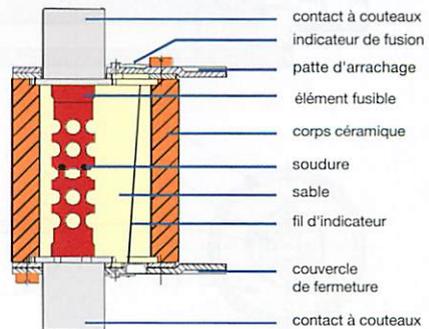


Fig. 4.1 Élément de remplacement de système de fusible NH

L'indicateur de fusion (voyant) permet de retrouver rapidement les fusibles fondus. Avec un effort de ressort accru il peut servir de percuteur pour l'actionnement de microcontacts ou d'interrupteurs.

- **Le dépôt de soudure** (thermoprotection) décale la caractéristique de fusion vers de plus petits courants de fusion. Elle est adaptée au matériau de l'élément fusible et doit être déposée en bonne quantité et au bon endroit.
- **Les couteaux** assurent électriquement et mécaniquement le contact du fusible avec le socle. Ils sont en cuivre ou en alliage de cuivre et possèdent une surface argentée. Des couteaux étamés ou nickelés sont aussi utilisés dans le cas d'une atmosphère particulièrement corrosive.

4.2 Élément de remplacement de fusibles HT

L'élément de remplacement de fusibles HT le plus répandu en Europe est le type de fusible à associer (à zone de coupure partielle ou de type « backup »). Il se compose essentiellement des mêmes constituants que l'élément de remplacement des fusibles NH (figure 4.2). Les fusibles HT sont conçus pour des calibres (courants assignés) moins élevés et des tensions (tensions assignées) plus élevées que les fusibles NH du fait de leur utilisation dans le réseau de distribution électrique HT. Ils sont équipés d'éléments fusibles beaucoup plus fins mais plus longs et sont donc plus fragiles.

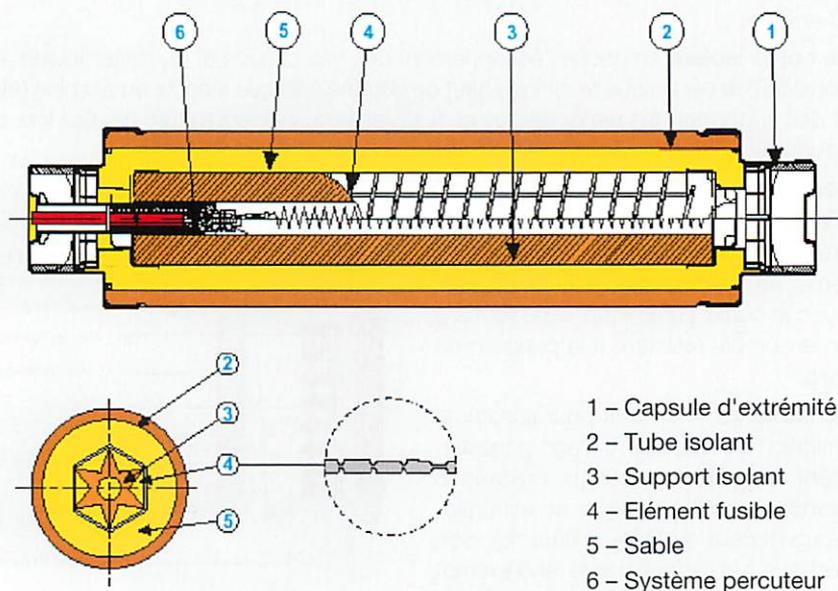


Fig. 4.2 Élément de remplacement de fusible HT à associer (ou de type « backup »)

Comme déjà évoqué, le nombre de sections réduites en série dépend de la tension d'emploi ou de la tension de rétablissement. Plus la tension est élevée, plus l'élément fusible est long. Un fusible de 20 kV requiert un élément fusible d'env. 1,20 m. Celui-ci ne peut naturellement pas être installé droit, c'est la raison pour laquelle il est enroulé autour d'un noyau isolant (corps d'enroulement) afin qu'il prenne moins de place. La construction interne des fusibles HT est donc beaucoup plus complexe et le montage plus compliqué que celui des fusibles NH :



Fig. 4.3 Élément de remplacement de fusible HT

- **L'élément fusible** se compose de fines bandes d'argent fin d'une épaisseur allant de < 0,03 mm à env. 0,2 mm. Le cuivre présente une plus grande tendance à des réamorçages et n'est donc utilisé que pour les faibles courants assignés. (Dans les anciens pays à économie planifiée par l'état, les tentatives de fabriquer des éléments fusibles à partir de matériaux communs comme l'aluminium se sont avérées vaines). Les éléments fusibles sont enroulés sur un support d'enroulement en raison de la longueur nécessaire (figure 4.2). Cette technique de montage limite l'intensité des éléments fusibles. Plusieurs éléments fusibles identiques sont généralement mis en place en parallèle dans le cas de courants assignés supérieurs à 10 A environ.
- **Le support d'enroulement** est creux et présente une section en forme d'étoile (figure 4.2 en bas). Il supporte les éléments fusibles sur quelques points d'appui afin qu'ils soient le plus possible complètement plongés dans le sable. Le fil d'alimentation du système percuteur passe par l'intérieur du support d'enroulement.
- **Les capsules d'extrémités** sont les éléments de contact cylindriques dont le diamètre de 45 mm est normalisé. Elles assurent la liaison électrique et mécanique avec le socle du système fusible. Elles ferment le corps de l'élément de remplacement de manière étanche à la pression et à l'eau. Les contacts HT constitués en cuivre ou en alliage de cuivre sont argentés ou nickelés.
- **Le corps isolant** constitue avec les capsules un système de fermeture (encapsulation) résistant à la pression (jusqu'à 100 bars environ). Il se compose généralement de porcelaine émaillée de couleur marron et quelquefois de matériaux composites étanche pour les applications électriques extérieures. Les corps de porcelaine blanche ou les corps non émaillés des anciens fusibles HT ne sont pas étanches à l'eau et ne devraient donc pas être employés dans les applications extérieures.
- **Le sable** remplit la même fonction et il est de même qualité que celui utilisé dans les fusibles NH. Le remplissage complet de l'intérieur du fusible et un bon compactage sont garants d'un fonctionnement sûr.
- **Le système percuteur** sert à indiquer la fusion des fusibles et à actionner les dé-

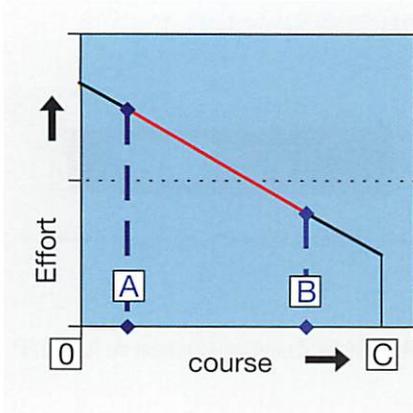


Fig. 4.4 Diagramme de fonctionnement du perceuteur

clencheurs. Aujourd'hui, les fusibles HT sont presque toutes équipés de perceuteurs qui fournissent suffisamment d'énergie pour déclencher l'ouverture d'interrupteurs à coupure en charge. Les perceuteurs remplissent une fonction très importante dans les combinés interrupteurs à fusibles à coupure en charge (v. point 15). La norme en matière de fusibles fait la différence entre trois types de perceuteur selon l'effort délivré (tableau 4.1 en relation avec la figure 4.4). Le type « faible » ne présente pas d'effort défini et il est utilisable uniquement en tant qu'indicateur. Un marquage spécifique identifie l'extrémité du fusible qui comporte le perceuteur.

Remarque : Dans les applications extérieures, le perceuteur doit toujours être dirigé - vers le bas pour éviter l'infiltration d'eau dans le système perceuteur en cas d'endommagement du film d'étanchéité. Dans le cas des applications intérieures, la position du perceuteur s'oriente du côté du dispositif déclencheur installé.

- Les distances entre les contacts (figure 4.3) sont définies dans les normes de manière progressive selon les tensions assignées et évitent le risque de confusion (tableau 4.2).
- Le diamètre extérieur des corps est limité à 88 mm, maximal utilisable pratiquement pour le plus grand courant assigné correspondant à chaque niveau de tension.

Type	Énergie Nm	Course libre O-A	Course d'effort A-B	Course totale O-C	Effort minimal acceptable N
Faible	$0,3 \pm 0,25$	2 mm	8 mm	30 mm	n. a.
Moyen	$1 \pm 0,5$	4 mm	16 mm	40 mm	20
Fort	2 ± 1	4 mm	6 mm	16 mm	40

Tableau 4.1 Caractéristiques mécaniques des perceuteurs

Formes de construction spéciales avec d'autres longueurs entre contacts :

Des fusibles HT présentant des distances réduites d'un à deux niveaux par rapport à la norme sont également proposés. Leur utilisation requiert un soin tout particulier.

En Allemagne et en Europe, on utilise principalement des fusibles à zone de coupure partielle HT (type backup). D'autre part, des petites quantités de fusibles à zone de coupure intégrale (Full Range) et à zone de coupures multiples (à usage général) HT sont aussi employées.

Tension assignée kV	Distance entre contact mm
7,2 kV	192
12 kV	292
17,5 kV	367
24 kV	442
36 kV	537

Tableau 4.2 Distance entre contacts des fusibles HT

Remarque : les fusibles raccourcis s'échauffent davantage en raison de la faible dissipation de chaleur possible sur une plus petite surface. Les fusibles courts peuvent être accidentellement utilisés sur des installations à tension d'emploi trop élevée et ne pas atteindre l'effet escompté lors de leur fonctionnement.



Fig. 4.5 Fusible à zone de coupure intégrale (dit « full range ») en haut : neuf / en bas : déclenché



Fig. 4.6 Fusible à zone de coupures multiples (dit « à usage général »)

Les fusibles à zone de coupure intégrale (en anglais : « full-range fuses ») sont capables d'interrompre de façon sûre et fiable tous les courants qui provoquent leur fusion jusqu'à leur pouvoir de coupure assigné. Les fusibles à zone de coupure intégrale requièrent une plus grande technicité et un plus grand volume que les fusibles à associer (à zone de coupure partielle). La plage des calibres (courants assignés) est donc davantage limitée. La figure 4.5 montre une construction intéressante des fusibles « full range ». Lors de faibles intensités, une tige sous pression est déclenchée par un élément fusible auxiliaire qui cisaille l'élément fusible principal en des endroits définis et déclenche ainsi une coupure contrôlée.

Les fusibles à zone de coupures multiples (en anglais : « general purpose fuses », en français « fusibles à usage général ») sont capables d'interrompre de façon fiable tous les courants qui provoquent leur fusion en l'espace d'une heure jusqu'à leur pouvoir de coupure assigné. Comparés aux fusibles à zone de coupure partielle (à associer), ces fusibles « general purpose » possèdent une zone de coupure élargie vers les courants de faible intensité, laquelle est obtenue par une construction d'élément fusible plus complexe. Une zone de l'élément fusible à bas point de fusion déclenche la coupure en présence de faibles surintensités. En série avec l'élément fusible traditionnel est disposée une autre zone élément fusible à point de fusion plus bas et totalement apte à assurer la fusion, comme représenté sur la figure 4.6.

Le cas échéant, cette zone à dissipation de chaleur réduite (« zone chaude ») peut être disposée au centre de l'élément fusible. La coupure d'intensités plus élevées se produit de la même façon que pour les fusibles à zone de coupure partielle.

Remarque : les termes comme « fusible à zone de coupure entière » ou « protection intégrale » ou bien entendu « full range » sont des désignations utilisées par les fabricants.

Compte tenu de leurs coûts relativement élevés, les fusibles HT « full range » (à zone de coupure intégrale) et « general purpose » (à zone de coupure multiple) ne sont utilisés que pour assurer une protection spéciale, par exemple pour la protection de circuit de branchement de réseaux à faible puissance de court-circuit et dans des ensembles interrupteurs-fusibles sans commande à ouverture commandable par le percuteur des fusibles. Ces derniers sont encore courants sur les installations de distribution plus anciennes. Une protection par fusible plus performant peut constituer une alternative tout à fait rentable au remplacement d'appareillage dans l'installation de distribution.

Les fusibles HT étanches pour immersion dans l'huile en tant que dispositif de protection contre les courts-circuits, intégrés aux transformateurs offrent des avantages de place et de coûts considérables. Cette technique très répandue sur les petits transformateurs de distribution aux États-Unis est de plus en plus fréquemment utilisée en Europe sur les transformateurs des éoliennes et sur les transformateurs dits « pad-mounted », et généralisée sur les transformateurs de distribution intrinsèquement sûrs d'EDF.

Manipulation : les fusibles HT sont relativement lourds et dégagent une impression de très grande robustesse. Pourtant, la structure filigrane de leurs éléments fusibles les rend très fragiles aux chocs. C'est pourquoi les fusibles HT doivent être retirés de leur emballage protecteur, uniquement au moment de leur montage et traités avec le même soin que les relais ou les instruments de mesure. Si des endommagements externes sont constatés sur les capsules d'extrémités ou sur le corps isolant, les fusibles ne doivent plus être utilisés mais remis à un point de collecte en vue de leur recyclage.

5 Les fusibles – Comment ils fonctionnent

Le fusible, ou plus exactement, les sections réduites de l'élément fusible, représentent les points les plus faibles de passage du courant. Ces sections chauffent donc plus rapidement et plus fortement que toutes les autres parties de l'élément fusible (voir image de chaleur, figure 5.1).

À titre d'explication : la section réduite (somme de toutes les sections réduites en parallèle) d'un fusible BT pour la protection des câbles et réseaux ne représente que environ 1 à 2 % de la section des éléments fusibles raccordés et devant assurer la protection. Dans le cas des fusibles destinés à la protection des semi-conducteurs, cette section est même sensiblement inférieure à 1 %.

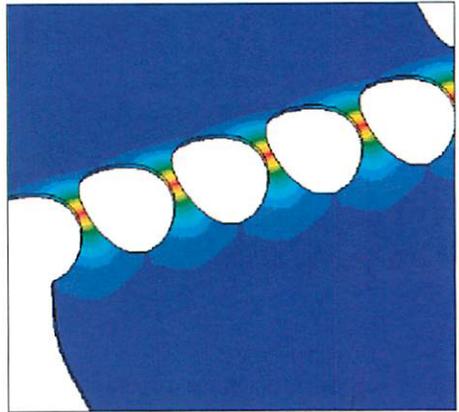


Fig. 5.1 Sections réduites d'un élément fusible

Dès lors qu'une surintensité excessive circule suffisamment longtemps pour provoquer la fusion des sections réduites, le processus de coupure est déclenché par la formation de l'arc. Les éléments fusibles en cuivre ou en argent purs ont des températures de fusion respectives de 1 080° C et 960° C. Ils ne conviennent donc qu'à la coupure de surintensités élevées pour lesquelles la température de fusion est très rapidement atteinte. Les surintensités faibles et de longue durée pour lesquelles les températures de fusion ne sont pas complètement atteintes ou bien lentement atteintes échauffent l'élément de remplacement à tel point que ses contacts de raccordement peuvent être calcinés, sous risques de destruction des composants voisins de l'installation. Ces courants ne sont donc pas autorisés. Les éléments fusibles en argent ou en cuivre purs sans additifs de point de fusion bas ont toujours ce que l'on appelle une plage de surintensité « interdite » et ne peuvent donc être utilisés que comme fusibles à zone de coupure partielle pour la protection contre les courts-circuits uniquement ou bien sont « à associer ».

5.1 Coupure des surcharges, fusibles à zone de coupure intégrale (« full range »)

En vue de la déconnexion de plus petites surintensités (surcharges), une « soudure » à faible point de fusion, généralement de l'étain ou des alliages à l'étain, est déposée à proximité ou sur la section réduite la plus chaude au centre de l'élément fusible (figure 5.2 a). (Les matériaux soudure à teneur en plomb et en cadmium autrefois fréquemment utilisées sont aujourd'hui remplacés par des alliages ne contenant pas de produits dangereux pour l'environnement et désormais interdits.) Dès que la partie soudure fond, elle dissout (effet thermoprotection) la section réduite voisine et un arc se forme. L'arc continue

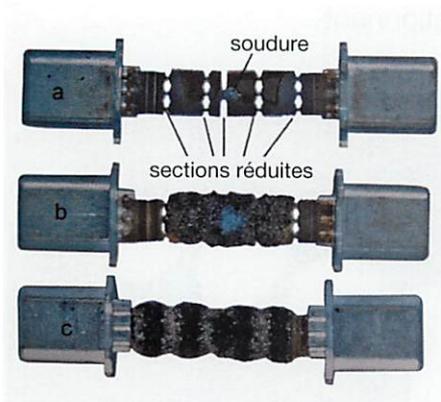


Fig. 5.2 Élément fusible BT
 a) neuf, b) après une coupure en surcharge, c) après une coupure de court-circuit

de s'allonger dans les deux sens jusqu'à ce qu'il s'éteigne de lui-même lors d'un passage à zéro du courant périodique.

Le refroidissement intensif de l'arc par le sable quartzé fondue empêche efficacement le nouvel allumage de l'arc lors du rétablissement de la tension. A l'intérieur de l'élément de remplacement un corps fritté non conducteur, issu du métal de l'élément fusible et du quartz, se forme dans la zone d'influence de l'arc ; ce corps doit son nom de « fulgurite » à sa forme (figure 5.2 b).

À l'observation de la forme de la fulgurite, l'expert peut définir avec précision l'intensité du courant qui a provoqué la fusion. En cas de très fortes intensités, toutes les sections réduites fondent pratiquement en même temps, à la suite de quoi plusieurs

arcs partiels se forment selon le nombre de sections réduites ainsi qu'une fulgurite régulière sur toute la longueur de l'élément fusible, typique de fusion sur court-circuit (figure 5.2 c).

5.2 Coupure de court-circuit avec limitation du courant

Dans le cas d'intensités très élevées telles qu'elles se produisent dans le cas d'un court-circuit, toutes les sections réduites chauffent et fondent en même temps de manière très rapide (figure 5.3) jusqu'à ce qu'elles s'évaporent sous forme d'une explosion. La vapeur métallique est comprimée avec une pression élevée dans les interstices entre les grains de sable et se refroidit intensément sur leur surface. La pression à l'intérieur du fusible est de ce fait limitée. La granulométrie du sable et le facteur de remplissage jouent ici un rôle déterminant pour le succès de la coupure.

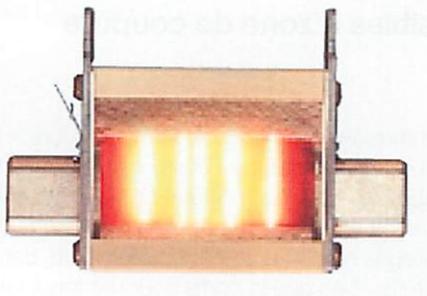


Fig. 5.3 Coupure de courant de court-circuit

Si le sable est trop dense (en raison d'une part élevée de poussière), une pression extrêmement élevée se forme et peut provoquer l'explosion du corps du fusible. S'il y a trop d'interstices entre les grains de sable, l'arc peut se propager jusqu'à la surface céramique ou aux couvercles de raccordement et les détruire. Une granulométrie correcte et une préparation soignée du sable permettent, de par sa ca-

capacité à absorber de l'énergie, de refroidir efficacement l'arc. Le résultat est tel que la tension d'arc dépasse la tension d'alimentation et que le courant s'éteint avant le passage à zéro naturel d'un courant alternatif de 50 Hz. La valeur de crête du courant de court-circuit présumé (sans protection par fusibles) n'est pas même atteinte (figure 5.4).

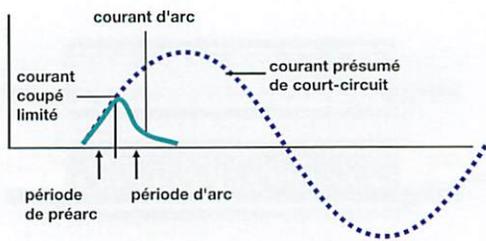


Fig. 5.4 Limitation du courant de court-circuit

Cet effet limiteur de courant est assurément une des propriétés les plus importantes des fusibles

car, du point de vue limitation de courant, les fusibles dépassent de loin tous les autres dispositifs de protection contre les surintensités. En général, les courants de court-circuit possèdent une première valeur de crête très élevée, que l'on appelle le courant maximal asymétrique de court-circuit. Son effort électromagnétique conduit à des sollicitations extrêmes des conducteurs de courant, de leurs supports et des isolants. L'utilisation des fusibles limiteurs de courant permet de limiter et maîtriser les forces électromagnétiques à un faible niveau.

Les fusibles limiteurs de courant contribuent à réduire sensiblement non seulement le courant maximal, mais aussi de limiter l'énergie exprimée en I^2t . Ceci concerne par ex. l'énergie destructrice libérée à l'endroit du défaut dans le cas d'un amorçage. La limitation de courant équivaut donc à une réduction des dommages et à une réduction du risque encouru par les personnes qui effectuent des travaux sous tension (v. point 16).

5.3 Fusible HT à zone de coupure partielle

En présence de fortes intensités, les fusibles HT à zone de coupure partielle fonctionnent de la même manière que les fusibles BT NH. En relation avec la tension de rétablissement élevée, beaucoup plus de sections réduites sont nécessaires en série. La fulgurite suit l'élément fusible et s'enroule autour du support d'enroulement (figure 5.5). Plus la durée de l'arc est longue, plus la fulgurite est épaisse. C'est pourquoi des espaces suffisants doivent être prévus entre les spires de l'élément fusible afin que l'arc suive les spires et ne se propage pas en sens longitudinal par le chemin le plus court.

D'autre part, la distance par rapport au corps du fusible doit être suffisante pour que la fulgurite ne touche pas la paroi intérieure et que le corps n'éclate pas en raison de l'écart de température élevé.

Pour obtenir une limitation de courant efficace, une tension de coupure suffisamment élevée se forme sous l'interaction d'une pression élevée et d'un refroidissement in-

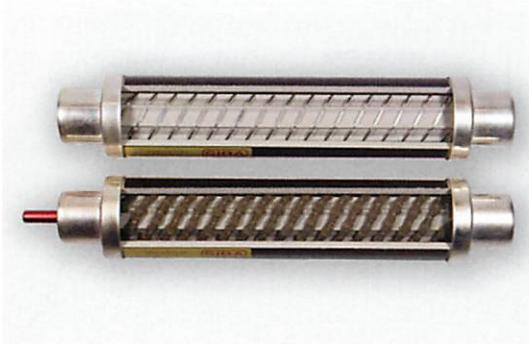


Fig. 5.5 Fusibles HT avant (en haut) et après fonctionnement (en bas)

nécessaire pour des conditions de coupure favorables est atteinte dans le fusible uniquement à partir d'un courant de coupure minimal. Dans le cas de courants plus faibles, les fusibles HT à zone de coupure partielle ne maîtrisent pas la coupure. Si les sections réduites fondent en dessous de ce courant, l'arc dure très longtemps, jusqu'à ce que le sable fonde mais aussi jusqu'à ce que le corps du fusible soit détruit. Les conséquences peuvent être graves selon les conditions de montage.

Le **courant minimal de coupure I_3** est indiqué sur le fusible en tant que valeur assignée importante. Dans la plage de courant inférieure à I_3 , dite « plage de fonctionnement interdite », les caractéristiques temps/courant sont représentées de manière discontinue (en pointillé), pour signaler que dans cette plage les éléments fusibles fondent mais que le fusible n'est pas en mesure de couper le courant. Si, selon l'emplacement d'un fusible HT à zone de coupure partielle, des courants de défauts peuvent se produire dans la zone pointillée de la caractéristique, des dispositifs de protection supplémentaires doivent être prévus pour assurer la coupure de ces courants, par ex. des combinés interrupteurs à fusibles à coupure en charge (v. point 15).

tense du sable qui fond. Des courants de court-circuit importants génèrent une pression élevée à l'intérieur de l'élément de remplacement (jusqu'à 100 bars environ) et favorisent la coupure. Le pouvoir de coupure est uniquement limité par la résistance à la pression du corps du fusible.

Le **courant maximal de coupure assigné I_1** est indiqué sur le fusible et doit être supérieur au courant de court-circuit maximal attendu à l'emplacement du fusible dans l'installation. La pression

6 Caractéristiques – Du sur mesure pour chaque application

6.1 Caractéristiques temps/courant

Le temps qui s'écoule entre le début de surcharge et la fusion des sections réduites de l'élément fusible (durée de préarc) dépend de l'importance de la surintensité. Pour chaque courant assigné de fusible une durée de préarc correspond à chaque valeur de surintensité du courant. Le rapport qui existe entre la durée de préarc et le courant de déclenchement (fusion) est appelé caractéristique, il est représentée par les caractéristiques temps/courant (figure 6.1). Ces courbes sont des critères essentiels pour caractériser les fusibles.

C'est pour pouvoir mieux comparer les caractéristiques temps/courant que les doubles échelles logarithmiques des courbes sont normalisées de manière internationale.

Dans le cas de fusibles à zone de coupure partielle, la « plage interdite » à laquelle la température de fusion est certes atteinte mais ne permet pas au fusible de fonctionner correctement est représentée sous la forme d'une ligne pointillée (figure 6.1) ou par une ligne horizontale correspondante à une durée.

Les caractéristiques temps/courant sont des documents importants pour déterminer la protection et la coordination (sélectivité) des fusibles avec d'autres dispositifs de protection. La différence est faite entre

- **les caractéristiques temps/courant de préarc** et
- **les caractéristiques durée totale de fonctionnement** qui comprennent la durée de l'arc (figure 5.4).

Pour les durées supérieures à 100 ms, la durée de préarc et la durée de fonctionnement total sont pratiquement identiques. Le temps d'extinction de l'arc doit uniquement être pris en considération lors de durées de fonctionnement très courtes de l'ordre de quelques millisecondes. Les fabricants fournissent en règle générale des caractéristiques moyennes pour lesquelles des écarts maximaux de $\pm 20\%$ pour les fusibles HT et $\pm 10\%$ pour les fusibles BT et D sont tolérés sur l'axe du courant. Dans des conditions de production spécialement contrôlées, des plages de tolérances plus étroites de $\pm 10\%$ pour les fusibles HT et de $\pm 7\%$ pour les fusibles BT sont respectées. Pour certaines applications, par ex. lors d'utilisation d'interrupteur à fusibles HT à coupure en charge selon VDE 0671 partie 105, ces tolérances plus étroites sont requises. Les tolérances des caractéristiques temps/courant spécifiées dans la norme VDE 0636 pour les fusibles à basse tension doivent être observées dans tout les cas.

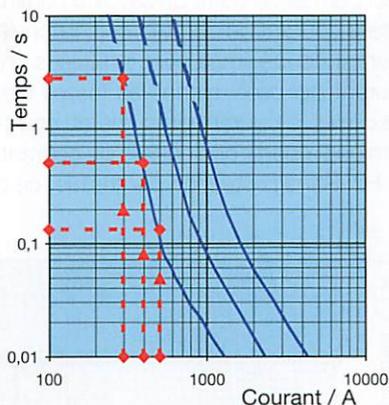


Fig. 6.1 Caractéristiques temps/courant

6.2 Caractéristique de courant coupé limité

Les valeurs maximales instantanées atteintes par un courant de court-circuit limité par des fusibles sont représentées sous la forme de caractéristiques de courant coupé limité et tenues à disposition par les fabricants de fusibles (figure 6.2).

Ceci permet en outre de savoir à partir de quelle valeur de courant présumé, un fusible limite le courant de court-circuit. Il convient de noter que sur les ordonnées, les valeurs de courant coupé limité sont indiquées en valeurs instantanées, c'est-à-dire les valeurs de courant qui déterminent les forces électromagnétiques entre les conducteurs. Sur les abscisses le courant présumé de court-circuit correspond à la valeur efficace (r.m.s) déterminée à partir des calculs du courant de court-circuit présumé du courant alternatif de 50 Hz. Sans protection par fusible, ce courant présumé ne serait pas limité.

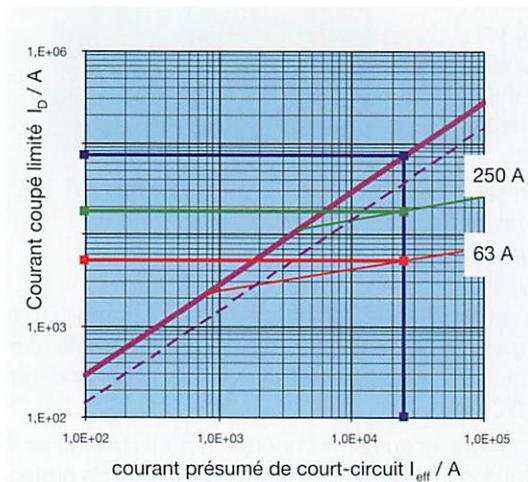


Fig. 6.2 Caractéristiques de courant coupé limité

La figure 6.2 montre à titre d'exemple que, dans le cas d'un courant alternatif présumé de court-circuit de 25 kA (valeur efficace) à proximité du générateur, un courant maximal asymétrique de court-circuit pouvant atteindre jusqu'à 70 kA (ligne de limitation supérieure) pourrait se produire. Dans le cas d'un court-circuit à distance du générateur (ligne de limitation en dessous), la valeur de crête maximale du courant serait de 35 kA. Un fusible gG de 250 A limiterait ce courant à sa valeur de courant coupé limité instantané $I_D = 17$ kA et un fusible de 63 A laisserait passer un courant instantané de seulement 5 kA.

6.3 Durées virtuelles et le mystérieux I^2t

Les caractéristiques temps/courant publiées par les fabricants sont des documents indispensables pour la sélection correcte des fusibles. Elles sont utilisées pour les durées de préarc supérieures à 100 ms, tant pour la coordination des fusibles entre eux que pour la coordination avec des appareils de commutation. Dans le cas de durées de préarc supérieures à 100 ms, les valeurs des caractéristiques correspondent aux durées de fonctionnement total réelles. Pour les durées inférieures à 100 ms, les caractéristiques représentent les durées de fonctionnement virtuelles qui sont déterminées uniquement par calcul à partir de l'intégrale de courant de fusion I^2t mesurée. En variante, **des caractéristiques I^2t** peuvent aussi être établies. Ces valeurs de I^2t sont représentatives de l'effet de chaleur du courant causé par le fonctionnement du fusible (d'où le nom **d'intégrale de Joule**).

Les valeurs I^2t sont des données de fusibles purement physiques qui ne dépendent que de leur construction, tandis que la durée de préarc dépend, pour les courtes durées, uniquement de l'évolution du courant dans le temps.

La progression du courant de court-circuit en fonction du temps est déterminée par l'angle de commutation (déphasage entre la tension et le courant) et l'impédance du circuit. Pour définir le comportement de fusion du fusible, des durées virtuelles de préarc sont calculées pour l'établissement des caractéristiques de temps/courant.

La **durée de préarc virtuelle t_v** est déterminée en intégrant la surface sous la courbe de courant élevé au carré et multiplié par la durée de fusion et en convertissant cette surface en un rectangle de surface identique dont la hauteur est le carré de la valeur efficace du courant de court-circuit (figure 6.3). La durée de fusion virtuelle t_v est calculée selon la formule $I_{\text{eff}}^2 t_v = \int i^2 dt$ à partir de l'intégrale de fusion $\int i^2 dt$ déterminée à l'aide de l'oscillogramme et de la valeur efficace du courant alternatif de court-circuit (I_{eff}).

Lors de la définition de la durée de fusion virtuelle, on part donc du principe que le courant, au début du court-circuit, passe immédiatement à la valeur efficace du courant alternatif et qu'il reste ainsi comme un courant continu pendant toute la durée de préarc jusqu'à ce que les sections réduites fondent. Bien entendu, de gros écarts apparaissent entre les durées de fusion réelles et virtuelles, notamment à des courants de court-circuit élevés et avec asymétrie maximale (figure 6.3). Les écarts entre les durées réelles et virtuelles diminuent lors de durées de fusion plus longues et ils sont négligeables à partir de 100 ms.

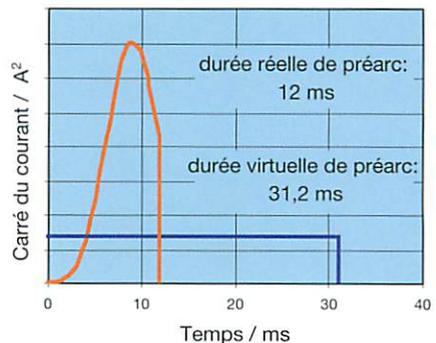


Fig. 6.3 Durées réelles et virtuelles

Il est facile de voir que, dans la plage des durées courtes, les durées virtuelles de fusion publiées pour les fusibles ne sont pas comparables avec les temps d'ouverture réels des interrupteurs mécaniques ou avec les temps d'actionnement des déclencheurs.

Les durées virtuelles résultant des caractéristiques des fusibles n'ont donc pas le droit d'être utilisées, dans la plage de temps inférieure à 100 ms, pour la coordination des fusibles avec des appareils de commutation. Dans cette plage, ce sont les valeurs de I^2t qui doivent être prises en considération comme base de comparaison.

Ceci est également valable pour les fusibles utilisés dans différents circuits, par ex. dans les différentes phases d'un réseau de courant triphasé lorsque celles-ci sont traversées par différents courants.

7 Sélectivité – Pour accroître la sécurité de l'alimentation

La sélectivité des dispositifs de protection est une condition importante pour la sécurité et la fiabilité de l'alimentation dans les réseaux électriques. La protection sélective accroît la disponibilité du courant électrique et limite les dommages en cas de défaut. Il est très facile d'assurer la sélectivité entre fusible, mais la sélectivité est également possible avec d'autres dispositifs de protection, tels que par ex. des disjoncteurs.

La sélectivité signifie que seule la partie du circuit présentant un défaut est mise hors service tandis que tous les autres circuits raccordés en parallèle restent en fonctionnement.

Cela signifie qu'un courant de défaut doit toujours être mis hors service uniquement et seulement par l'élément de protection qui lui est directement affecté. Tous les autres dispositifs de protection ne doivent pas se déclencher et doivent rester intacts et opérationnels.

On parle de

- **sélectivité totale** lorsqu'elle est valable pour toutes les intensités de courant de défaut
- **sélectivité partielle** lorsqu'elle n'est possible que pour une plage de courant de défaut.

Les cas les plus fréquents de sélectivité sont expliqués par les exemples suivants.

7.1 Sélectivité entre les fusibles

La sélectivité est simple à atteindre avec les fusibles car leurs caractéristiques de temps/courant sont pratiquement parallèles et parce qu'il n'y a pas de croisement entre elles sur toute la plage des courants de fusion (figure 7.1).

Dans un réseau électrique, la sélectivité peut être obtenue de la manière la plus simple avec des fusibles gG normalisés.

Les fusibles gG avec des intensités assignées (calibres) de 16 A à 1 250 A sont toujours sélectifs entre eux lorsque le rapport de 1 : 1,6 (deux niveaux de courant assigné) est respecté entre les calibres, et ce sur toute la plage de courant de défaut.

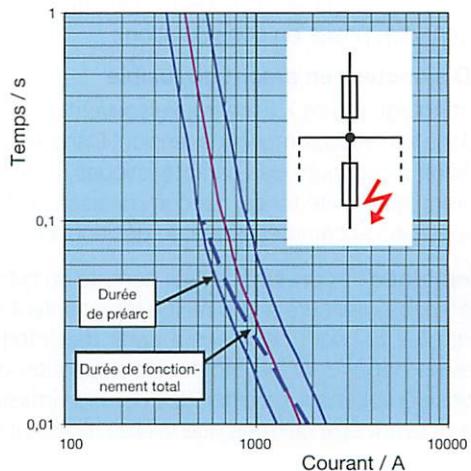


Fig. 7.1 Protection sélective dans un réseau électrique

Pour tous les autres fusibles, y compris les fusibles HT, la sélectivité est déterminée, pour la plage des surcharges, à l'aide des caractéristiques temps/courant publiées par les fabricants. Dans le cas de coupures de court-circuit (durées de fusion inférieures à 100 ms), les durée de fonctionnement total (durée de préarc + durée d'arc) doivent être prises en considération (figure 7.1).

La sélectivité entre les fusibles raccordés en série est obtenue lorsque la durée de préarc du fusible amont est supérieure à la durée de fonctionnement total du fusible situé au plus près du défaut.

Les intégrales de Joule correspondantes (valeurs I^2t) peuvent aussi être utilisées en lieu et place des caractéristiques temps/courant.

7.2 Sélectivité entre les fusibles et les disjoncteurs

Les disjoncteurs se déclenchent comme les fusibles en un temps fonction du courant, cette durée dépend de l'amplitude du courant. Cette relation est représentée dans des caractéristiques temps/courant et permet de prendre en compte la sélectivité avec des fusibles (figure 7.2). La courbe de déclenchement d'un disjoncteur se compose d'une branche verticale pour le courant de déclenchement et d'une branche horizontale correspondant à un temps de déclenchement constant. La caractéristique du fusible est pratiquement diagonale puisqu'elle diminue constamment, même pour des courants très élevés, correspondant à une intégrale de fusion constante. Selon la position des caractéristiques entre elles, des points d'intersection peuvent se présenter et marquer les limites de la sélectivité (figure 7.3).

Lors du montage en série de fusibles et de disjoncteurs, deux dispositions différentes doivent être prises en considération :

a) Disjoncteur en amont du fusible

Ce montage (figure 7.2) se trouve souvent dans les distributions principales basse tension et dans les réseaux moyenne tension. Dans le cas d'une coordination correcte, autrement dit sans croisement des caractéristiques, la sélectivité est obtenue sur toute la plage de courant (sélectivité totale). La comparaison porte sur la caractéristique temps/courant du fusible avec la caractéristique de déclenchement du disjoncteur.

Remarque : Il convient de tenir compte du fait que les caractéristiques dans une plage de temps inférieure à 100 ms ne représentent pas des durées réelles mais des durées virtuelles qui sont calculées à partir des intégrales de Joule (valeurs I^2t). Les durées réelles dépendent du moment d'apparition du courant de court-circuit et peuvent considérablement diverger des durées virtuelles. C'est pourquoi les caractéristiques ne peuvent être utilisées que si elles reposent sur des valeurs I^2t (v. aussi point 6.3).

b) Fusible en amont du disjoncteur

Ce montage (figure 7.3) est typique des installations domestiques et se trouve sur les colonnes de distribution avec interrupteur principal côté basse tension. Le caractère différent des caractéristiques donne toujours un point d'intersection des caractéristiques qui marque le courant coupé limité I_D pour la sélectivité (partielle). Dans le cas de courants de défaut inférieurs à I_D , le disjoncteur se charge seul de l'interruption du courant avant que le fusible ne fonde. Dans le cas de courants plus élevés, le fusible est plus rapide. Les deux éléments se déclenchent à proximité du courant I_D . La combinaison de protection n'est alors plus sélective. Cet effet peut toutefois être souhaité, lorsque le pouvoir de coupure du disjoncteur ne dépasse pas largement la valeur I_D ; dans ce cas le fusible sert de protection backup pour le disjoncteur. Il ne s'agit toutefois pas d'un cas de sélectivité.

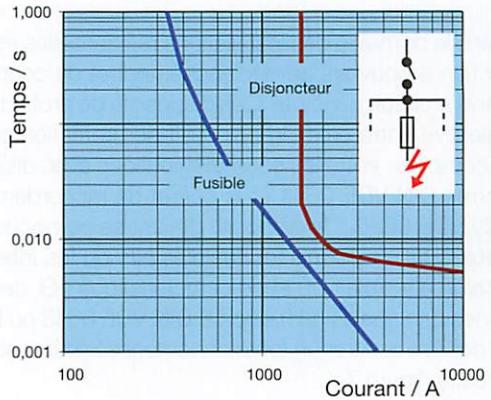


Fig. 7.2 Disjoncteur en amont du fusible

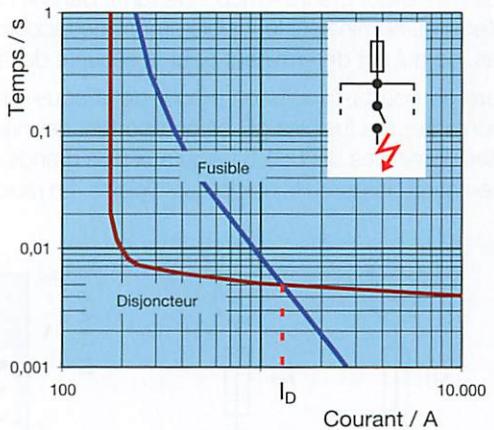


Fig. 7.3 Fusible en amont du disjoncteur

7.3 Sélectivité dans le domaine des installations résidentielles

Dans le domaine des installations résidentielles et/ou domestiques, des appareils de protection à pouvoirs de déclenchement et de coupure très différents sont utilisés en série dans le circuit principal. Ces dispositifs de protection doivent être coordonnés de manière sélective entre eux. Un dispositif de protection contre les surintensités est installé avant le compteur entre les sous-distributions avec disjoncteur de protection du circuit selon la norme DIN VDE 0641 et le coffret de raccordement privé à fusibles NH selon la norme DIN VDE 0636. Ce dispositif devant se comporter de manière sélective par rapport aux deux autres. Hormis les fusibles NH ou les interrupteurs sectionneurs de coupure en charge à fusibles D0 et de caractéristique gG, des disjoncteurs sélectifs de protection de lignes principales (SH) selon E DIN VDE 0643 ou E DIN VDE 0645 sont également utilisés et doivent assurer un fonctionnement sélectif avec les mini-disjoncteurs de protection des circuits (figure 7.4).

Dans le cas d'un court-circuit en aval du mini-disjoncteur « mcb » de protection de ligne (court-circuit à la prise), la solution à fusibles NH ou D0 n'offre qu'une sélectivité partielle jusqu'à des courants de défaut < I_D (figure 7.3). Lors de courants de défaut plus importants, les fusibles installés avant le compteur peuvent également fonctionner. Les disjoncteurs SH se comportent dans ce cas de manière sélective jusqu'au pouvoir de coupure des mini-disjoncteurs « mcb » de ligne. Dans le cas d'emploi de rapport correct entre les intensités nominales, le fusible amont de raccordement privé reste intact dans les deux cas, ce qui est déterminant pour la sécurité de l'alimentation des logements voisins.

Lors de courts-circuits en amont de la sous-distribution (court-circuit dans la colonne montante), les fusibles gG se comportent de manière sélective lors d'un rapport d'intensités nominales de 1 : 1,6 jusqu'aux plus grands courants de défaut et maintiennent l'alimentation des circuits compteurs voisins. En raison de leur temps d'ouverture mécanique

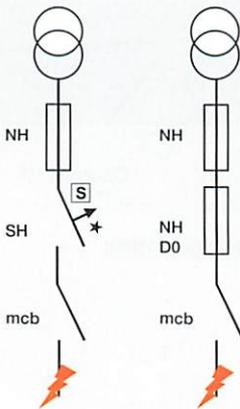


Fig. 7.4 Protection sélective dans le raccordement privé

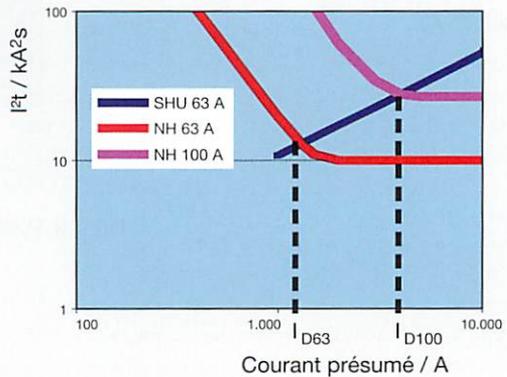


Fig. 7.5 Limites de sélectivité

inévitables, les disjoncteurs SH ne sont dans ce cas sélectifs que jusqu'à la limite de sélectivité I_D . Le courant limite de sélectivité I_D peut être déterminé à l'appui des caractéristiques I^2t à partir des documents du fabricant (figure 7.5).

La sélectivité dans la plage de surcharge peut être facilement déterminée à l'appui des caractéristiques temps/courant ou par comparaison des courants déclencheurs et non déclencheurs des dispositifs de protection (tableau 7.3). Alors que les fusibles et les mini-disjoncteurs « mcb » sont adaptés pour la protection des câbles, le disjoncteur SH est plutôt utilisé pour la limitation des surcharges.

Dispositif de protection contre les surintensités	Caractéristique	Courant de non-déclenchement	Courant de déclenchement
Fusible	gG	1,25 I_N	1,45 I_N *)
Disjoncteur SH	E	1,05 I_N	1,20 I_N
Mini-disjoncteur mcb	B	1,13 I_N	1,45 I_N

*) Courant de fusion selon VDE 0636, essai spécial pour la protection contre les surcharges des câbles

Tableau 7.3 Comportement de déclenchement

7.4 Sélectivité dans les réseaux maillés

En tant que réseaux de distribution basse tension, les réseaux maillés offrent un degré élevé de sécurité d'alimentation car chaque nœud est alimenté des deux côtés. En raison de la complexité de leur association, les réseaux maillés fonctionnent de plus en plus fréquemment en boucle ouverte, c'est-à-dire qu'ils sont exploités en tant que réseaux à structure radiale avec une protection clairement définie. Les considérations suivantes se réfèrent uniquement aux réseaux pleinement maillés pour lesquels des fusibles gG avec un même courant assigné sont utilisés sur toutes les ramifications. Une surintensité dans une branche est donc toujours alimentée via un nœud par deux courants partiels (figure 7.6). Tout se passe comme si deux fusibles parallèles étaient installés en amont de chaque fusible de branche. Lorsqu'une surintensité se répartit de manière approximativement régulière sur les deux fusibles de puissance, le fusible de la branche présentant une surcharge ou un défaut assure une coupure de manière sélective par rapport aux fusibles installés en amont malgré des intensités similaires. Le rapport entre le plus grand courant partiel et le courant total jusqu'auquel les fusibles assurent une coupure sélective est appelé « rapport de sélectivité ». Les fusibles gG normalisés ont un rapport de sélectivité de 0,63 dans les réseaux maillés, c'est-à-dire que lorsqu'aucun des

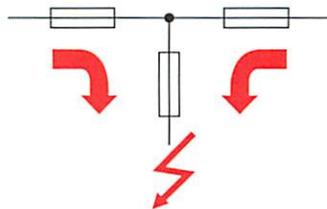


Fig. 7.6 Nœuds dans le réseau maillé

courants partiels ne dépasse pas 63 % du courant total, la surcharge est mise hors circuit de manière sélective.

Un rapport de sélectivité supérieur ou égal à 0,8 peut être atteint lorsque des fusibles de calibres identiques provenant d'un même fabricant sont utilisés, mais il est préférable d'employer des fusibles spécifiques pour la protection des réseaux maillés. Ces fusibles ont des voyants indicateurs à très faibles tensions de fonctionnement de quelques volts pour tenir compte de la faible tension rétablie apparaissant lors de coupures de surcharge.

Contrairement au réseau à structure radiale, le fonctionnement de certains fusibles sous une surcharge provisoire ne se produit pas obligatoirement dans le réseau maillé car l'alimentation par des branches parallèles reste maintenue. Toutefois un contrôle régulier des fusibles s'impose afin que la sécurité de l'alimentation ne soit pas réduite de manière sournoise.

8 Marquage – Pour informer l'utilisateur

Le marquage **des éléments de remplacement des fusibles** comporte une multitude d'informations (figure 8.1). Hormis le nom du fabricant et la référence du produit, dont il n'est pas question de parler ici pour des raisons de neutralité, les valeurs suivantes sont indiquées (figure 8.1 de haut en bas) :

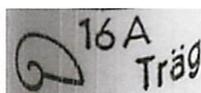
- Taille (NH 00)
- Catégorie d'emploi (gL / gG)
- Tension alternative assignée (~ 500 V)
- Pouvoir de coupure assigné (120 kA)
- Courant assigné (100 A)
- Symbole « patte d'accrochage isolée »
- Label VDE ou NF ¹⁾ (non obligatoire)
- Normes concernées (VDE, CEI)
- Pays d'origine (Germany)
- Symbole de conformité de l'UE ²⁾ (CE)
- Symbole NH-Recycling
- Un code date est habituellement marqué et permet toute la traçabilité jusqu'à la date de fabrication.



Fig. 8.1 Marquage d'élément de remplacement de système de fusible NH

Les éléments de remplacement des systèmes de fusibles D font souvent encore apparaître le symbole d'un escargot qui indique qu'il s'agit d'un fusible « à action retardée (temporisée) ».

Les éléments de remplacement de fusibles à zone de coupures multiples utilisés pour la protection des semi-conducteurs comportent le marquage complémentaire ci-contre constitué du symbole d'un fusible et d'une diode.



¹⁾ Le label VDE est un label de qualité. Il est attribué par l'institut de contrôle et de certification VDE et caractérise la conformité avec les dispositions du VDE. Il est accompagné de contrôles de produits et d'une surveillance régulière de la production.

²⁾ Le symbole CE est un label d'homologation sur le marché Européen. Avec le symbole CE, le fabricant atteste que le produit remplit certaines exigences minimales en matière de sécurité. Le symbole CE n'est pas un label de qualité.

Les voyants indicateurs de fusion sont obligatoires sur les fusibles NH. Ils sont situés soit à l'avant au centre, soit sur la partie frontale en haut. La figure 8.1 montre les deux variantes d'indicateurs intégrés dit « indicateur combiné ».



Fig. 8.2 Marquage d'un élément de remplacement de système de fusible D

La catégorie d'emploi gL ou gI, bien que remplacée par gG, figure toujours sur certains marquages car sa popularité est encore très importante (v. tableau 10.2). Il en est de même pour le symbole de l'escargot sur les fusibles à visser (figure 8.2). Selon la norme, il est uniquement prévu pour les fusibles TNDz dans la VDE 0635. Les porte-fusibles et socles doivent comporter le nom du fabricant et un numéro

type en vue de leur identification claire. Les indications du courant assigné correspondant à leur capacité thermique et de tension assignée pour l'isolation sont importantes pour l'utilisateur. Les porte-fusibles conviennent généralement aussi bien en tension continue qu'en tension alternative. Il n'y a donc pas de différenciation entre ces 2 tensions au niveau du marquage.

Remarque : les courants assignés des socles de fusibles et des porte-fusibles se réfèrent aux éléments de remplacement de la catégorie d'emploi gG.

La puissance dissipée correspond à la plus grande puissance dissipée (puissance dissipée assignée) d'un fusible gG de la taille respective (tableau 3.2 et 8.1 en annexe). Si des éléments de remplacement d'autres catégories d'emploi, tels que gR, gS, aR sont utilisés, des coefficients de réduction de leur courant d'utilisation doivent alors éventuellement être pris en considération. Ceci s'applique aussi aux éléments de remplacement des systèmes de fusibles D qui sont normalisés uniquement en catégorie d'emploi gG, mais également aux fusibles de catégorie d'emploi aR, gR ou gS à puissances dissipées sensiblement plus élevées. Les fusibles de catégorie d'emploi aM ne sont pas concernés car en général ils ont des puissances dissipées plus faibles que ceux de la catégorie d'emploi gG.

9 Couleurs de marquage – Pour réduire le risque de confusion

Les confusions commises lors du remplacement de fusibles peuvent aboutir à des mauvais fonctionnements, surchauffe et même défaillance de fonctionnement. C'est pour une meilleure distinction entre les éléments de remplacement des fusibles BT que les normes correspondantes prescrivent des couleurs de marquage en plus des données imprimées sur les fusibles. Elles concernent

- les catégories d'emploi et les tensions assignées pour les fusibles BT (NH, D, DO, capsules cylindriques) et
- les courants assignés pour les fusibles à visser.

Dans le cas d'élément de remplacement de système de fusibles BT, la tension assignée de 500 V est appliquée comme impression normale dans la couleur prévue et les tensions assignées de 400 V et 690 V comme impression avec caractères inversés dans une bande de couleur correspondante ; les fusibles gTr sont imprimés en marron et les fusibles gB en rouge (tableau 9.1).

Les fusibles gG de 400 V peuvent avoir en alternative une bande de couleur bleue ou noire. Dans le cas des fusibles D, les voyants indicateurs (figure 9.1) et les bagues de calibrage sont marqués dans les couleurs de l'intensité nominale de l'élément de remplacement ou du socle (tableau 9.2).

gG	aM	gTr	gB
400 V *)	400 V	400 V	
500 V	500 V		500 V
690 V	690 V		690 V
1000 V	1000 V		1000 V

*) noir en option

Tableau 9.1 Couleur de marquage des fusibles BT



Fig. 9.1 Voyant indicateur de fusibles D

I_N / A	2	4	6	10	13	16	20	25	35	50	63	80	100
Couleur	rose	marron	vert	rouge	noir	gris	bleu	jaune	noir	blanc	cuivre	argent	rouge

Tableau 9.2 Couleur de marquage des systèmes de fusibles D

10 Choix des fusibles basse tension

– Le fusible adapté à chaque application

10.1 Critères de choix des fusibles basse tension

Le choix du bon fusible dépend

- des données du **circuit d'alimentation** qui, en cas de défaut, doit être interrompu et
- du **rôle de la protection**, ou des équipements qui doivent être protégés.

Pour le circuit d'alimentation, il convient de tenir compte des critères suivants :

- la **tension maximale autorisée d'emploi** du fusible doit être supérieure à la tension maximale du circuit (tableau 10.1).

Remarque : Contrairement aux fusibles HT il n'y a pas de tension minimum à observer pour les fusibles BT. Toutefois, dans le cas de tensions de rétablissement très basses, il est possible que les voyants indicateurs ou les percuteurs ne réagissent pas.

- Le fusible doit être adapté au **type de courant et à la fréquence du secteur**. L'utilisation en courant continu et en courant alternatif doit être indiquée séparément. Sans indications plus précises, des fréquences comprises entre 45 Hz et 62 Hz sont autorisées.
- Le **pouvoir de coupure** du fusible doit être supérieur au courant de court-circuit présumé à l'endroit de son montage.

Tension assignée du fusible	Tension maximale du circuit
230 V	253 V
400 V	440 V
500 V	550 V
690 V	725 V

Tableau 10.1 Tensions d'emploi autorisées

Remarque : les fusibles miniatures ne conviennent pas à la protection d'appareils électroniques raccordés sur les jeux de barres dont le pouvoir en court-circuit est élevé, même lorsque la tension d'emploi ne dépasse pas 250 V. Des systèmes de limitation de courant supplémentaires sont nécessaires, par ex. des résistances en série pour supporter la tension de service.

Des fusibles à caractéristiques appropriées ont été développés pour la protection d'équipements fréquemment utilisés. Des caractéristiques de fusibles pour les lignes, les circuits moteurs et les éléments à semi-conducteurs ont été normalisés à l'échelle internationale. En Allemagne, il existe des normes supplémentaires pour les fusibles de protection de transformateurs et du secteur minier. Les éléments de remplacement portent des abréviations correspondant aux catégories d'emploi ou aux applications respectives. La première lettre, minuscule, désigne la zone de coupure du fusible.

- « **g** » représente un fusible à zone de coupure intégrale (« **full range** ») et signifie que le fusible peut couper toutes les surintensités, du plus petit courant de fusion jusqu'au pouvoir de coupure. Les fusibles à zone de coupure intégrale peuvent être utilisés seuls, comme éléments de protection.

Catégorie d'emploi	Domaine d'utilisation et applications types
gG	Fusible à zone de coupure intégrale (full range) pour couper tous les courants dans les applications générales, principalement pour la protection des câbles et des lignes
aM	Fusible à zone de coupure partielle (à associer) pour couper les courants de court-circuit dans la protection des circuits de moteur
gR	Fusible à usage général zone de coupure intégrale (full range) pour couper tous les courants dans la protection d'éléments à semi-conducteurs (à action plus rapide que gS)
gS	Fusible à usage général zone de coupure intégrale (full range) pour couper tous les courants dans la protection d'éléments à semi-conducteurs, pour une utilisation intense
aR	Fusible à zone de coupure partielle (à associer) pour couper les courants de court-circuit dans la protection contre les courts-circuits d'éléments de semi-conducteurs
gB	Fusible à usage général zone de coupure intégrale (full range) pour couper tous les courants dans la protection des installations du secteur minier
gTr	Fusible à usage général zone de coupure intégrale (full range) pour couper tous les courants dans la protection de transformateurs, assignation en puissance apparente du transformateur (kVA) plutôt qu'en intensité nominale (A)
gPV	Fusible à usage général zone de coupure intégrale (full range) pour couper tous les courants dans la protection des systèmes d'énergie solaire photovoltaïques

Anciens fusibles et fusibles moins courants en Europe continentale

Catégorie d'emploi	Domaine d'utilisation et applications types
gM	Fusible à zone de coupure intégrale (full range) pour la protection de circuits de courant moteur avec deux courants assignés (répandu en Grande-Bretagne)
gN	Fusible nord-américain à zone de coupure intégrale (full range) pour des applications générales, principalement pour la protection des câbles et des lignes
gD	Fusible nord-américain à zone de coupure intégrale (full range) avec une caractéristique « time delay » (à action retardée ou temporisée) pour des applications générales et pour la protection des moteurs
gl	Catégorie d'emploi CEI obsolète (action retardée), remplacée par gG
gll	Catégorie d'emploi CEI obsolète (action rapide), remplacée par gG
gL	Catégorie d'emploi obsolète, remplacée par gG
gRL	Désignation d'entreprise, entre-temps normalisée comme gS
gGR	Désignation d'entreprise, entre-temps normalisée comme gS
gT	Catégorie d'emploi VDE obsolète (action retardée), remplacée par gG
gF	Catégorie d'emploi VDE obsolète (action rapide), remplacée par gG
gTF	Catégorie d'emploi VDE obsolète (action semi-retardée), remplacée par gB

Tableau 10.2 Catégories d'emploi des fusibles BT, domaines d'utilisation et applications correspondantes

- « **a** » représente un fusible à zone de coupure partielle (**à associer**) et signifie que le fusible ne peut couper que de grands courants à partir d'un multiple de son intensité nominale. Les fusibles à zone de coupure partielle sont uniquement appropriés à la protection contre les courts-circuits et sont donc combinés avec d'autres équipements pour la protection contre les surcharges. Ils sont aussi fréquemment utilisés comme protection backup pour d'autres appareils de connexion à plus faible pouvoir de coupure, par ex. pour les contacteurs ou disjoncteurs.

La deuxième lettre, majuscule, désigne la **caractéristique**. Le tableau 10.2 regroupe les catégories d'emploi des fusibles BT et pour chacune d'elles les domaines d'utilisation et les applications principales correspondantes.

Étant donné que les fusibles sont des produits à longue durée de vie, l'utilisateur trouve encore et toujours des produits portant des inscriptions qui ne sont plus utilisées dans les normes en vigueur. C'est pourquoi certaines désignations autrefois utilisées sont indiquées également dans le tableau 10.2. Par ailleurs, le tableau contient quelques types de fusibles qui sont certes repris dans les normes internationales mais qui ne sont pas utilisés en Allemagne et Europe continentale ainsi que des désignations spécifiques à certaines entreprises avant la mise en place de la normalisation.

10.2 Protection des câbles et lignes

La protection de câbles et de lignes avec des fusibles de la catégorie d'emploi gG est l'application la plus répandue en matière d'utilisation des fusibles. Les caractéristiques temps/courant de ces fusibles sont adaptées à la capacité de surcharge des conducteurs isolés. L'affectation du courant assigné du fusible par rapport à la capacité de surcharge du câble se fait tout simplement selon la formule

$$I_b \leq I_n \leq I_z \text{ avec}$$

I_b = courant d'emploi du circuit

I_n = courant assigné de l'élément de remplacement

I_z = courant permanent admissible du conducteur (voir la CEI 60364-5-52 ou v. VDE 0100 partie 430)

Étant donné que les câbles peuvent être exposés à des surcharges allant jusqu'à 45 %, le dispositif de protection contre les surintensités devrait se déclencher à $1,45 I_n$. Cette condition est remplie pour les systèmes de fusibles D avec des courants assignés $> 10 \text{ A}$ et sur les fusibles NH et cylindriques avec des courants assignés $> 16 \text{ A}$.

Remarque : le « courant conventionnel de fusion » s'élève par tradition à $1,6 I_N$ pour les fusibles gG et est comparé, pas tout à fait à juste titre, au courant de déclenchement d'autres dispositifs de protection comme les disjoncteurs par ex. Cette comparaison n'est toutefois pas correcte du point de vue physique car elle repose sur des conditions d'essais différentes. Les montages d'essais proches de la pratique tels que ceux repris entre-temps dans les normes de sécurité révèlent que, le comportement de déclenchement des fusibles gG correspond à la capacité de surcharge des câbles à protéger.

10.3 Protection des transformateurs avec des systèmes de fusibles NH

Le côté basse tension des transformateurs de puissance allant jusqu'à 1 000 kVA utilisés par les réseaux de distribution sont protégés par des fusibles contre les surcharges et les courts-circuits de jeux de barres. À cette fin, on utilise des fusibles-interrupteurs-sectionneurs ou des fusibles interrupteurs à réglette, équipés d'éléments de remplacement de systèmes de fusibles NH de catégories d'emploi gG ou gTr. Ces appareils avec une fonction sectionneur conviennent également à la déconnexion du transformateur et du circuit de distribution basse tension.

La protection contre les défauts interne des transformateurs, y compris le court-circuit au niveau des bornes basse tension, est assurée par les fusibles HT situés côté haute tension (v. point 11.2). Les conducteurs situés entre les bornes des transformateurs et les interrupteurs d'alimentation côté basse tension ne sont théoriquement pas protégés et sont donc installés et isolés de manière particulièrement sûre.

Étant donné que les valeurs de courant assigné des éléments de remplacement ne correspondent pas aux intensités nominales des transformateurs (les transformateurs sont mesurés en kVA en fonction de leur puissance apparente, ce qui donne des intensités nominales « bizarres »), les systèmes de fusibles NH de la catégorie d'emploi « gTr » ont été développés en Allemagne et normalisés. Ces fusibles sont adaptés à la capacité thermique des transformateurs. Les courants assignés des éléments de remplacement des fusibles gTr ne sont pas mesurés en ampère mais en kVA selon la puissance apparente des transformateurs, et permettent ainsi une exploitation optimale des transformateurs de réseaux de distribution dont la tension secondaire est 400 V. Ils peuvent supporter 1,3 fois leur courant assigné pendant 10 heures et fonctionnent en deux heures sous 1,5 fois leur courant assigné. La figure 10.1 montre à titre d'exemple les caractéristiques temps/courant d'un fusible de 250 kVA (courant assigné 361 A) par comparaison avec les fusibles gG de 315 A et 250 A. La différence essentielle se situe au niveau de la courbe qui est plus verticale (décalée à droite) pour des grandes durées de fusion. Pour les grands courants, les caractéristiques sont similaires.

Il y a sélectivité entre les fusibles gTr et les fusibles de protection des conducteurs situés en aval dans la distribution lorsque les valeurs numériques des fusibles remplissent la condition suivante :

$$X \text{ [kVA]} \geq Y \text{ [A]}$$

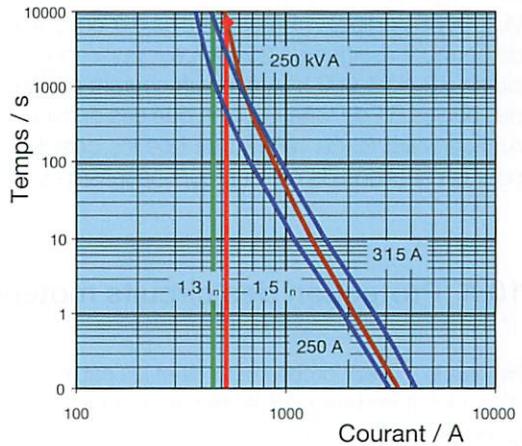


Fig. 10.1 Protection de transformateur optimale avec des fusibles gTr

Cela signifie qu'un fusible gTr avec $X = 250 \text{ kVA}$ ou plus se comporte de manière sélective par rapport au fusible gG situé en aval avec $Y = 250 \text{ A}$ (figure 11.1). La sélectivité par rapport au côté haute tension est définie dans la norme VDE 0670 partie 402 (v. point 11.2). Les exigences techniques imposées aux fusibles gTr sont déterminées dans la norme VDE 0636 partie 2011. Les fusibles gTr ont une tension assignée de 400 V et un pouvoir de coupure assigné de 25 kA . Leur puissance dissipée est faible, à tel point que des fusibles gTr de $1\,000 \text{ kVA}$ avec un courant assigné de $1\,443 \text{ A}$ peuvent être utilisés dans des socles BT de taille 4a, bien que ces derniers ne soient dimensionnés que pour $1\,250 \text{ A}$. Il convient ici de veiller à ce que les possibilités de raccordement soient suffisantes pour les sections de conducteurs nécessaires à ce courant !

10.4 Protection des circuits moteurs

Hormis le moteur proprement dit et les câbles d'alimentation, les principaux composants d'un circuit moteur sont le démarreur et le dispositif de protection contre les courts-circuits. La figure 10.2 montre le schéma d'un circuit de courant moteur typique. (Lors d'un dimensionnement correct, les câbles sont automatiquement protégés en même temps.) Le démarreur a pour fonctions d'amener le moteur à son régime nominal, d'assurer son fonctionnement normal et de protéger le moteur et tous les composants correspondants contre une surcharge. Le démarreur du moteur et/ou les contacteurs du moteur selon VDE 0660 partie 102 ne conviennent normalement pas pour interrompre les courants de courts-circuits, mais ils doivent être protégés contre les courts-circuits par des dispositifs adéquats. Ces éléments de protection ne font pas obligatoirement partie du démarreur du moteur.

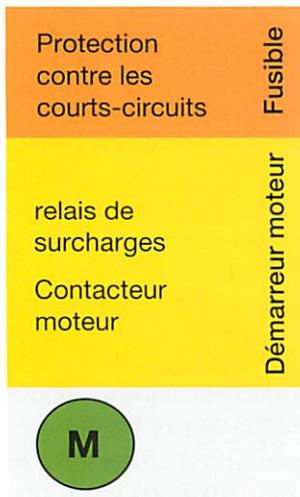


Fig. 10.2 Schéma d'un circuit moteur

Les fusibles ont fait leurs preuves comme dispositifs de protection contre les courts-circuits économiques et fiables dans les circuits moteurs. Comparés à d'autres éléments de protection, les fusibles ont des courants coupés limités et des valeurs I^2t beaucoup plus basses. Il n'y a donc pas meilleure méthode pour atteindre une protection contre les courts-circuits du type « 2 » selon CEI 60947-4-1 ou VDE 0660 partie 102.

La coordination de type « 2 » signifie que

- le courant de court-circuit est interrompu correctement,
- ni l'installation, ni les hommes, ne sont exposés à un risque et que
- le démarreur peut être remis en marche après contrôle. Un faible collage des contacts du contacteur est autorisé.

En revanche, la coordination plus basse de type « 1 » signifie que le démarreur ou ses composants doivent être remplacés après un court-circuit.

Pour les processus de production qui requièrent une plus grande disponibilité des installations, les fusibles constituent une alternative avantageuse aux démarreurs de moteurs surdimensionnés.

La bonne sélectivité entre les fusibles et les démarreurs requiert les conditions suivantes :

- Le moteur et le démarreur devraient être protégés contre les effets des courts-circuits. À cette fin, le courant coupé limité maximal et l'énergie maximale (I^2t) du fusible devraient être inférieurs aux valeurs correspondantes supportables par le contacteur. Toutes les indications à ce sujet peuvent être consultées dans les documents du fabricant.

Par ailleurs, le courant de défaut I_C , pour lequel le fusible assure la protection du relais de surcharge, doit être inférieur au pouvoir de coupure du contacteur moteur (figure 10.3).

- Les pannes dues à des fusions non fondées des fusibles devraient être évitées.

À cette fin, la caractéristique temps/courant du fusible doit supporter correctement et avec sécurité l'impulsion de courant de démarrage du moteur. Lors d'une mise en marche directe, un courant de 6 fois le courant nominal du moteur peut circuler pendant 10 s (figure 10.3).

Selon les conditions de fonctionnement du moteur et la catégorie d'emploi du fusible, les courants assignés du fusible et du moteur ne correspondent pas obligatoirement mais peuvent être considérablement plus élevés. En Allemagne et en Europe continentale, seuls les fusibles gG et aM sont utilisés pour la protection des circuits moteurs. Nous ne nous pencherons pas davantage sur les types gD et gM également normalisés pour cette application.

La grande disponibilité et les faibles coûts parlent en faveur des fusibles gG. Tous les utilisateurs qui attachent de l'importance à un faible encombrement et à une faible puissance dissipée portent leur choix sur les fusibles aM spécialement conçus pour la protection des circuits moteurs.

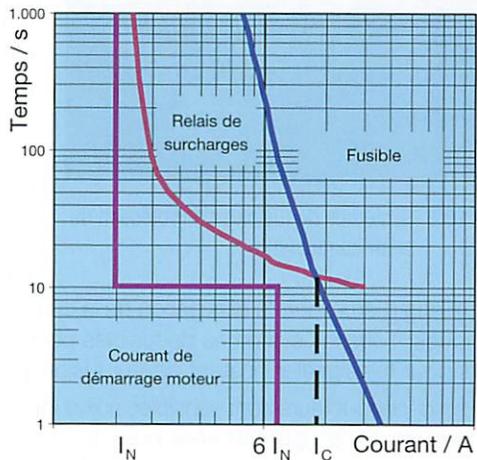


Fig. 10.3 Choix de fusibles pour la protection des moteurs

10.5 Protection des semi-conducteurs – Il n'y a pas plus rapide

L'apparition des premières diodes de puissance à semi-conducteurs vers les années 1950 a entraîné la nécessité d'offrir une protection efficace à ces éléments fragiles du point de vue thermique. Compte tenu de l'état de l'art à l'époque uniquement des fusibles étaient envisageables. La nouveauté consistait à adapter la caractéristique de fusion d'un

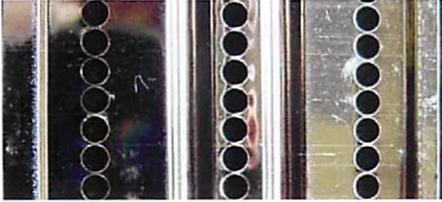


Fig. 10.4 Élément fusible d'un fusible de protection de semi-conducteurs

élément fusible à la capacité de surcharge thermique d'un semi-conducteur. Les semi-conducteurs n'ont qu'une faible capacité thermique et une limite supérieure stricte de la température de la jonction d'env. 125 °C, autorisant une faible marge entre leur température d'emploi et la température limite. En conséquence une protection efficace doit donc éliminer très rapidement les surintensités.

Les fusibles ultra-rapides, constitués de sections réduites extrêmement faibles ont donc été développés à cette fin (figure 10.4). Pour réaliser les éléments fusibles, en raison des températures d'emploi élevées, le seul matériau approprié résistant à l'oxydation est l'argent fin. Le corps du fusible est également fabriqué à partir de céramique contenant de l'alumine, et donc résistant aux chocs thermiques.



Fig. 10.5 Systèmes de fusibles de protection de semi-conducteurs

En plus de la construction avec des contacts à couteaux, des systèmes de fusibles plus compacts avec des contacts à visser pour un montage direct sur des barres en cuivre ont été développés (photo

10.5). Afin d'améliorer la dissipation de la chaleur, le sable est solidifié par des liants inorganiques. Tous les systèmes de fusibles peuvent également être équipés de microcontacts pour télésignaler l'instant de leur fusion (photo 10.5).

Les semi-conducteurs sont sensibles aux surtensions ; les fusibles en revanche ont besoin de tensions de coupure élevées pour assurer une coupure rapide. Les concepteurs de fusibles se voient donc confrontés à une tâche d'optimisation difficile. Les exigences sont les suivantes :

- une caractéristique de fusion très rapide,
- une faible intégrale de coupure (I^2t),
- une intensité maximale admissible,
- une faible puissance dissipée et
- une tension de coupure modérée

Elles sont assurées au mieux par les fusibles à zone de coupure partielle de la catégorie d'emploi aR. Les fusibles aR coupent tous les courants qui les font fondre en général en moins de 30 s jusqu'à leur courant de coupure assigné. Lorsque des surintensités inférieures à la zone de coupure des fusibles aR peuvent se produire, des dispositifs de protection supplémentaires sont nécessaires pour interrompre ou limiter ces courants.

Selon l'emplacement du fusible dans les circuits des dispositifs à semi-conducteurs (figure 10.6), différentes catégories d'emploi sont utilisées puisque des exigences différentes doivent être considérées.

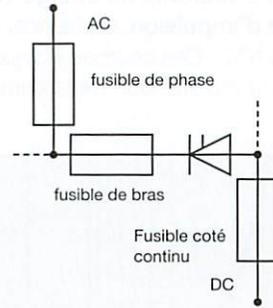


Fig. 10.6 Protection de dispositifs à semi-conducteurs, diagrammes de circuits

- Des fusibles aR sont utilisés pour la protection lorsqu'ils sont disposés dans les phases d'alimentation du convertisseur ou en série avec les semi-conducteurs.
- Des fusibles aR ou gR sont utilisés pour la protection lorsqu'ils sont disposés dans les bras du convertisseur.
- Côté courant continu, des fusibles gR ou gG sont employés comme protection contre les surcharges. La sélectivité par rapport aux fusibles situés dans le redresseur ne peut pas être obtenue en cas de court-circuit.
- Dans les tableaux de distribution, des fusibles à zone de coupure intégrale, de la catégorie d'emploi gR ou gS sont employés, lesquels protègent également le câble d'alimentation. Les fusibles gR sont optimisés en matière de faibles valeurs de I^2t et les fusibles gS en matière de faible puissance dissipée pour une utilisation dans des supports, des fusibles-interrupteurs-sectionneurs et des interrupteurs à fusibles normalisés. Les deux catégories d'emploi gR et gS remplissent les exigences en matière de protection contre les surcharges de câbles.

La sélection des fusibles pour la protection des semi-conducteurs se fait à l'appui des valeurs limites des éléments à semi-conducteurs à protéger, des courants d'utilisation et des courants de défaut attendus dans l'installation. Les points suivants doivent entre autres être pris en considération:

- Les fusibles doivent être capables de supporter sans dommage thermique les **courants de fonctionnement permanent**, et les surcharges admissibles de l'installation. Le courant de fonctionnement des circuits à semi-conducteurs n'est souvent pas sinusoïdal. C'est pourquoi la valeur efficace (r.m.s.) du courant doit être calculée pour déterminer la charge thermique que doivent supporter les fusibles.
- La **puissance dissipée** du fusible au courant d'emploi doit être inférieure à la puissance absorbée admissible du porte-fusible. Elle est déterminée à partir de la valeur efficace et des caractéristiques publiées par le fabricant. Les fabricants tiennent à disposition des valeurs de puissance dissipée correspondant à des valeurs comprises entre 50 % à 100 % du courant assigné du fusible.

- Pour les **courants de charge variable (courants cycliques)** et les **courants à forte valeur d'impulsion**, les fabricants déterminent des courbes de surcharge acceptables (figure 10.7). Ces courbes indiquent le niveau des impulsions de courant qui n'entraînent pas une modification de la caractéristique du fusible dans la plage de temps correspondante.

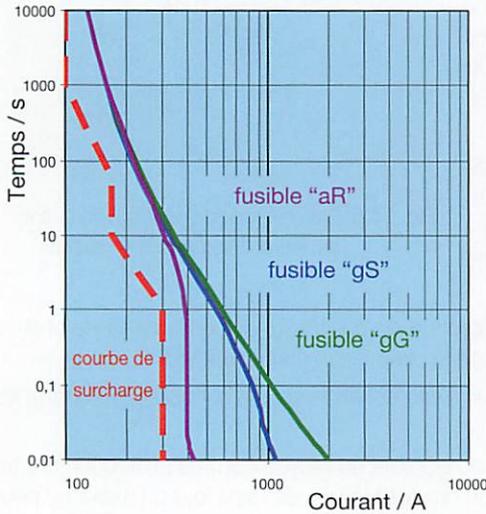


Fig. 10.7 Caractéristiques gG, gS et aR avec courbe de surcharge acceptable

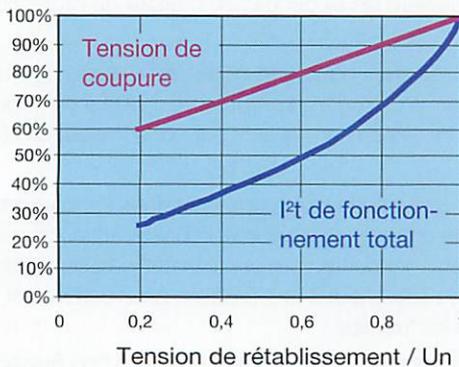


Fig. 10.8 Coefficient de correction du I^2t et de tension de coupure des fusibles en fonction de la tension de rétablissement

pondante. Les courants variables et impulsions requièrent la construction d'éléments fusibles spéciaux avec une grande élasticité (figure 10.4). Celle-ci réduit les sollicitations de l'élément fusible par rétrécissement et allongement dûs à de fortes alternances de températures des sections réduites. Sans de telles précautions, des ruptures par fatigue et une coupure prématurée risqueraient de se produire.

- En cas de **défaut dans l'installation**, le courant de défaut doit être interrompu avant la destruction des semi-conducteurs. À cette fin, le courant coupé limité et l'intégrale de coupure I^2t doivent être inférieurs aux valeurs limites du semi-conducteur à protéger. L'intégrale de coupure se compose des valeurs I^2t pendant la durée de préarc et pendant la durée de l'arc (figure 5.4) et dépend de la tension de rétablissement. Les fabricants de fusibles mettent des courbes correspondantes à disposition (figure 10.8).
- La **tension de coupure** qui se produit lors d'une coupure de courant par le fusible ne doit pas dépasser la tension admissible par la jonction du semi-conducteur. Conformément aux indications du fabricant la tension de coupure est également réduite pour les tensions de rétablissement inférieures à la tension assignée du fusible (figure 10.8).

Le courant d'emploi au même titre que des éventuels courants de défaut ainsi que les tensions de rétablissement dépendent de l'emplacement du fusible à l'intérieur du circuit convertisseur et de son type de fonctionnement. Les possibilités d'utilisation des fusibles de protection de semi-conducteurs sont tellement variées que seules des consignes générales peuvent être fournies ici. Dans la plupart des cas, il est recommandé à l'utilisateur de contacter le support technique d'un fabricant de fusibles.

Remarque : le guide d'application CEI 60146-6 « Guide d'application pour la protection par fusibles des convertisseurs contre les surintensités » contient d'autres informations pour la protection par fusibles des convertisseurs.

10.6 Protection de circuits à courant continu

Les applications à courant continu sont généralement rencontrées dans le secteur électronique et dans les applications automobile avec des circuits basse tension et de relativement faibles puissances de court-circuit. Toutefois les fusibles de puissance pour utilisation sous courant continu sont encore utilisés sur des marchés de niches tels que, les moteurs de traction, les auxiliaires de traction électrique (trains, tramways, métros, ..), les circuits de mesure et de commande sur les installations de très forte puissance, les électro-aimants et les véhicules à batterie comme les chariots de levage. Ces dernières années, ces applications à courant continu devenues presque sporadiques ont été complétées par des applications modernes telles que les alimentations de secours non interruptibles (ASI) secourues par batterie utilisées dans les stations de téléphonie mobile ainsi que dans les équipements d'ordinateurs, par des applications dans la production d'énergie alternative telles que les piles à combustibles, les équipements à cellules photovoltaïques, les éoliennes ainsi que les véhicules électriques/hybrides. Ceci laisse supposer à l'avenir des besoins croissants en fusibles à courant continu de puissance.

Les fusibles limiteurs de courant sont conçus aussi bien pour les applications à courant alternatif qu'à courant continu. Toutefois, les caractéristiques en tension alternative ne peuvent pas être converties simplement en caractéristiques en tension continue, mais les données suivantes doivent être définies et prises en compte et doivent être déterminées par des essais.

- La **tension continue assignée** est en général plus basse que la tension alternative assignée. Les deux valeurs assignées doivent être indiquées séparément. Si aucune tension continue assignée n'est indiquée, elle peut être demandée auprès des fabricants de fusibles. En règle générale, pour les fusibles gG, la tension assignée continue est supposée être au moins égale à la moitié de la tension assignée alternative. Les socles de fusibles qui sont désignés pour la tension alternative peuvent aussi être utilisés pour la même tension continue.
- Le **courant assigné continu** est une grandeur assignée purement thermique et est identique au courant assigné alternatif. Il n'est donc pas indiqué séparément.

- Le **pouvoir de coupure assigné continu** n'est pas une valeur constante pour le fusible mais doit toujours être considéré en rapport avec la constante de temps du circuit. Les grandes constantes de temps diminuent le pouvoir de coupure tandis que les petites constantes de temps l'augmentent.
- Le **courant coupé limité** ne peut pas être extrait des caractéristiques du courant alternatif puisqu'il dépend des constantes de temps du circuit. Pour le déterminer, des documents spécifiques doivent être demandés au fabricant.

Application	Constante de temps
Commandes et contrôles industriels	≤ 10 ms
Circuits de batteries	≤ 5 ms
Moteurs et entraînements	20 à 40 ms
Électro-aimants	jusqu'à 1.000 ms

Tableau 10.3 Constantes de temps typiques

une constante de temps de 15 ms. Ceci permet de couvrir la plupart des circuits de commande et de contrôle des applications industrielles. Les fusibles conçus et utilisés pour protéger les circuits de batterie avec de faibles constantes de temps ont un pouvoir de coupure considérablement plus élevé, tandis que ceux conçus et utilisés pour les bobines et fortes inductances ont un pouvoir de coupure considérablement plus faible. Le processus de l'interruption de courant continu doit tout d'abord être expliqué pour une meilleure compréhension du comportement des fusibles dans les applications à courant continu (d.c.).

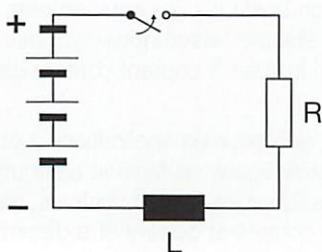


Fig. 10.9 - Circuit à courant continu

Plus la constante de temps est élevée, plus l'énergie emmagasinée dans le circuit et qui doit être absorbée pendant le régime d'arc est grande. Étant donné que la capacité d'absorption d'énergie d'un élément de remplacement est limitée, le pouvoir de coupure en courant continu est limité par la constante de temps du circuit en défaut. L'établissement du courant de défaut, et donc également la durée de préarc et d'arc du fusible, sont déterminés par la constante de temps du circuit en défaut.

Principe : l'énergie inductive emmagasinée dans le circuit en défaut détermine les limites de l'application du fusible pour le courant continu.

Quelques constantes de temps typiques pour des applications fréquentes sont indiquées dans le tableau 10.3. Dans le cas des fusibles BT, le pouvoir de coupure selon CEI 60269-1 (ou VDE 0636) s'élève au moins à 25 kA pour une constante de temps de 15 ms.

Pour les systèmes de fusibles D le pouvoir de coupure est au minimum de 8 kA pour

Tandis que pour les circuits à courant alternatif, le facteur de puissance influence le pouvoir de coupure des appareils de connexion, dans le cas de circuits à courant continu c'est la constante de temps $T = L / R$ (figure 10.9) qui est une grandeur déterminante. Elle influence non seulement le pouvoir de coupure mais aussi la caractéristique temps/courant et le courant coupé limité.

Plus la constante de temps est élevée, plus l'énergie emmagasinée dans le circuit et qui

La **coupe des courants de court-circuit à tension continue** se comporte de manière similaire à celle des circuits à tension alternative (voir figure 5.4). Une tension d'arc élevée est générée à l'intérieur du fusible, qui dépasse la tension de rétablissement et contraint le courant à s'annuler (figure 10.10). L'établissement du courant est déterminé par la constante de temps du circuit en défaut, et non pas par le facteur de puissance et l'instant d'apparition du défaut.

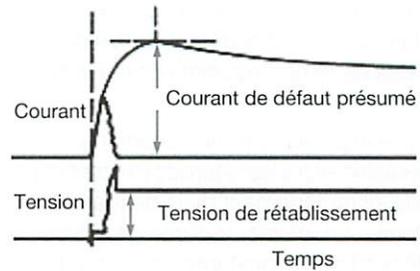


Fig. 10.10 Coupe de court-circuit sous tension continue.

La **coupe de surcharges pour lesquelles le courant continu** est interrompu uniquement après le dépassement de sa valeur maximale se déroule de manière complètement différente de ce qui se passe dans le cas du courant alternatif (figure 10.11). Dans le cas du courant continu, il n'y a pas de passage à zéro périodique de la tension et donc pas d'instant sans énergie dans le circuit favorisant des conditions favorables pour l'extinction de l'arc. L'arc s'éteint uniquement lorsque la tension de l'arc dépasse la tension de la source et contraint le courant à s'annuler. L'énergie magnétique emmagasinée dans le circuit de courant doit être absorbée par l'arc. Dans ce cas de fonctionnement la sollicitation thermique du fusible est donc incomparablement plus élevée que dans le cas de coupe d'une surcharge en courant alternatif. Ceci explique pourquoi le pouvoir de coupe des fusibles en courant continu est plus faible que dans le cas de courant alternatif et explique aussi pourquoi les données en courant continu dépendent fortement de la constante de temps du circuit de défaut.

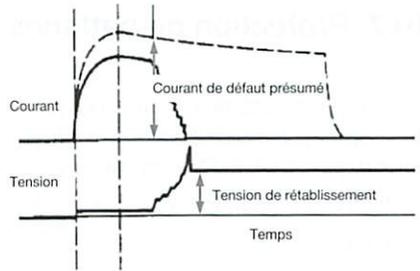


Fig. 10.11 Coupe de surcharge sous tension continue.

Les **caractéristiques temps/courant** publiées par les fabricants indiquent les durées virtuelles de préarc. Cela signifie qu'on suppose que le courant, au moment où se produit le court-circuit, atteint très rapide-

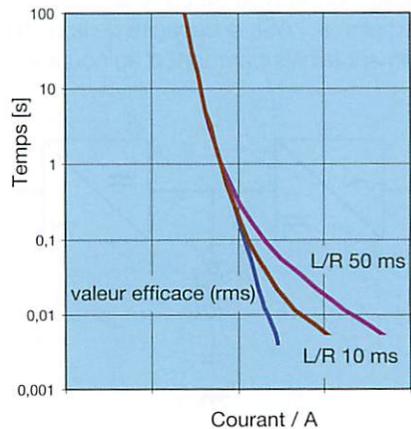


Fig. 10.12 Caractéristiques temps/courant en courant continu

ment la valeur efficace et qu'il est maintenu durant toute la durée de préarc du fusible. Dans de telles conditions (durée de préarc > 20 fois la constante de temps), les caractéristiques temps/courant obtenues sont identiques aux caractéristiques en courant alternatif.

Dans la plage de temps courts ($t < 20$ fois la constante de temps), des différences considérables entre les courbes existent cependant puisque le courant continu ne s'établit non pas instantanément mais de manière progressive en fonction de la constante de temps. Dans ce domaine, la durée de préarc n'est pas une grandeur intrinsèque du fusible mais dépend de la constante de temps du circuit de défaut (figure 10.12). Les caractéristiques temps/courant en courant continu peuvent être déterminées à partir des caractéristiques virtuelles publiées par les fabricants au moyen d'une méthode de calcul itératif.

10.7 Protection de batteries dans les installations ASI

Les batteries installées en rack ou, pour les plus grandes tailles en armoires, sont raccordées au circuit intermédiaire à courant continu par des fusibles-interrupteurs BT unipolaires (figure 10.13). Ces derniers servent

- d'interface entre la batterie et les ASI,
- à déconnecter la batterie lors de travaux d'entretien et
- à protéger la batterie contre la destruction de ses électrodes et des câbles de raccordement contre une surchauffe.

La protection des batteries dans les ASI doit être considérée comme une application spéciale en courant continu. Le courant de court-circuit présumé dépend de la capacité de la batterie, du type de batterie et de son état de vieillissement. Lors de courtes durées d'emploi de l'ASI, la capacité de la batterie et donc le courant de court-circuit sont relativement faibles par rapport au courant d'emploi.

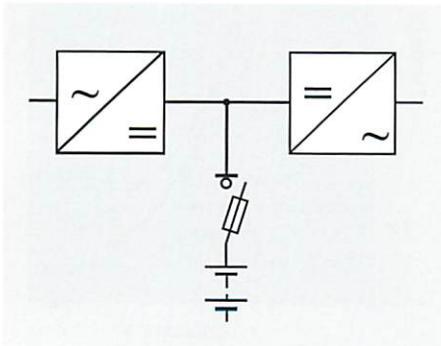


Fig. 10.13 Schéma de câblage d'une installation ASI

Une protection efficace requiert donc des caractéristiques temps/courant de fusibles très rapides et ne peut généralement être réalisée qu'avec des fusibles de protection de semi-conducteurs (figure 10.14). Étant donné que la protection est d'autant plus efficace que le point de fonctionnement se rapproche de la durée de préarc du fusible, la connaissance exacte des tolérances de cette caractéristique est importante. Il est recommandé de demander cette précision au fabricant.

La durée d'utilisation de l'ASI est aussi un critère de choix important. Pour le même

courant assigné, la protection optimale des courtes durées d'utilisation de l'ASI requiert des calibres de fusibles plus faibles, et des durées d'utilisation plus longues des calibres fusibles plus importants. Les points suivants doivent être pris en considération pour le choix des fusibles (les valeurs numériques sont des valeurs approximatives dans le cas où aucune donnée plus précise ne serait disponible) :

- Le **point de fonctionnement** (t_e / I_B) doit se trouver à une distance suffisante avant la caractéristique temps/courant de préarc afin que le fusible ne fonde pas pendant le fonctionnement normal (figure 10.14).

Le courant d'emploi maximal I_B de la batterie est calculé à partir de la puissance active P_W de l'ASI et de la tension de décharge U_E : $I_B = P_W / U_E$. (Vers la fin du temps de fonctionnement, la tension de charge de la batterie descend à approximativement 85 % de sa tension nominale selon sa conception.

- Le point de court-circuit (I_K / t) doit se trouver au-dessus de la plage de tolérances de la caractéristique temps/courant du fusible.

Le **courant de court-circuit** I_K , calculé à partir de la capacité de la batterie doit être coupé le plus rapidement possible (< 10 s). Si l'on considère le vieillissement de la batterie et une chute rapide du courant de court-circuit initial, 5 fois la capacité K de la batterie peut être une valeur type pour calculer le courant de court-circuit avec la formule suivante : $I_K [A] = 5 K [Ah]$.

Remarque importante : cette valeur est uniquement valable pour le choix de la caractéristique temps/courant du fusible. Son pouvoir de coupure nécessaire doit au moins correspondre à 20 fois la capacité de la batterie : $I_1 [A] \geq 20 K [Ah]$. À l'exception de très petites batteries, des fusibles à haut pouvoir de coupure sont donc nécessaires même lorsque les tensions continues sont inférieures à 80 V.

Les interrupteurs de batterie doivent pouvoir absorber la puissance dissipée des fusibles. Étant donné que l'échauffement final n'est pas atteint lors de courtes durées d'utilisation, la puissance dissipée assignée plus élevée des fusibles de protection des semi-conducteurs n'est généralement pas critique.

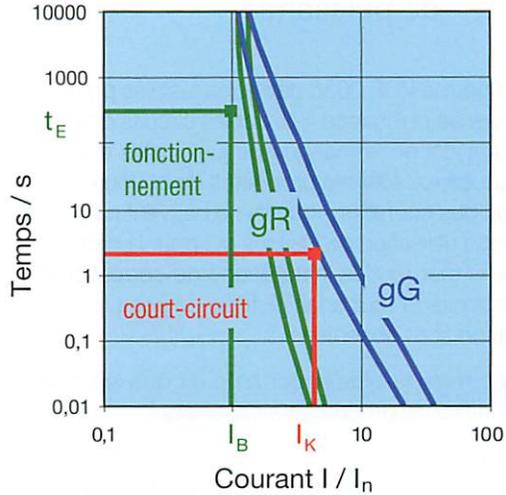


Fig. 10.14 Choix d'un fusible de protection batterie utilisée dans les ASI

10.8 Protection des condensateurs de correction du facteur de puissance

La norme VDE 0636 définit les fusibles pour l'interruption des courants inductifs. Les facteurs de puissance $< 0,1$ et les circuits de courant capacitifs ne sont pas pris en compte. Étant donné le manque de justificatifs de contrôle reconnus, on peut partir du principe que les excellentes propriétés de coupure dont font preuve les fusibles lors de l'interruption des courants inductifs ne peuvent pas être appliquées aux courants capacitifs. Pourtant, l'utilisation de fusibles gG pour la protection des circuits comportant des condensateurs (par ex. les installations de correction du facteur de puissance) est une pratique courante et tout à fait justifiée du point de vue technique lorsque certaines règles d'utilisation sont observées.

La règle la plus importante dit que les fusibles ne doivent jamais fonctionner sous l'influence de courants capacitifs !

La protection contre les surcharges des condensateurs est assurée par des fusibles intégrés à ceux-ci et qui fonctionnent en cas de surpression.

Les fusibles de puissance, objet de ce livre, sont uniquement utilisés pour la protection contre les courts-circuits internes et les défauts externes des condensateurs ou des batteries de condensateurs. Ils supportent les courants de défauts inductifs conformément à leur spécification. La non-observation de cette règle conduit toujours à des incidents indésirables spécialement sur les installations de correction du facteur de puissance (figure 10.15).

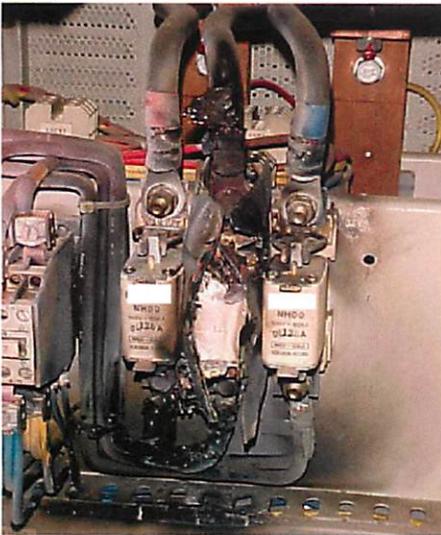


Fig. 10.15 Mauvaise coupure d'un circuit oscillant

De tels événements peuvent tout à fait être évités par une meilleure compréhension des opérations qui se produisent dans les circuits de courant à condensateurs et lors de la sélection de fusibles appropriés. Des consignes importantes sur les exigences en matière de fonctionnement des condensateurs doivent être également observées lors du choix des fusibles. Elles sont fournies dans la norme VDE 0560 partie 46 « Condensateurs autoréparables de puissance en parallèle ». Les règles suivantes sont en général valables pour le choix des fusibles destinés à protéger les condensateurs en parallèle :

- Les fusibles doivent être capables de supporter en permanence le courant **maximal d'emploi** des condensateurs de $1,5 I_N$ (VDE 0560 partie 46).

Un courant assigné de fusible égal à au moins 1,6 à 1,8 fois le courant nominal du condensateur est donc recommandé.

- Les fusibles doivent supporter, sans subir de dommages, les **courants d'établissement dans le condensateur**.

Lors de la mise en fonctionnement de condensateurs et de bancs de condensateurs, des courants d'établissement très élevés apparaissent pouvant atteindre 100 fois le courant nominal du condensateur (figure 10.16). Ces pointes de courant

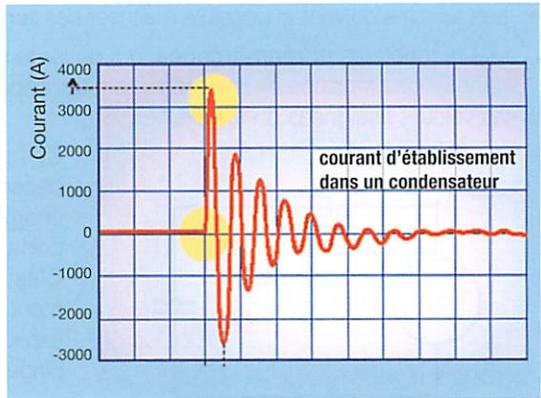


Fig. 10.16 Courant d'établissement dans un condensateur

élevées peuvent endommager les sections réduites des éléments fusibles et réduire progressivement leur capacité de supporter le courant. Une surchauffe et un déclenchement spontané du fusible peuvent se produire sous ces conditions non maîtrisées. Ces effets peuvent être atténués avec des fusibles suffisamment dimensionnés (au moins 1,6 fois à 1,8 fois le courant nominal du condensateur), d'utilisation de contacteur de condensateur insérant une résistance de limitation du courant dans le circuit ou des interrupteurs à thyristor qui assurent la mise en marche « en douceur » lors du passage à zéro de la tension.

- Les fusibles et les condensateurs ne doivent pas être exagérément sollicités par des contraintes causées par des **courants harmoniques** ou des **résonances**.

À la fréquence secteur, les condensateurs ont une impédance définie qui exclut pratiquement les surcharges. Les charges non linéaires, notamment les appareils de commande et de contrôle à semi-conducteurs de puissance, génèrent des ondes harmoniques qui ajoutent des sollicitations supplémentaires aux condensateurs et aux fusibles. Dans les réseaux industriels, les courants harmoniques peuvent facilement doubler la valeur efficace du courant nominal du condensateur. Une surchauffe et un dysfonctionnement des fusibles ayant un courant assigné trop faible (figure 10.15) sont des conséquences possibles (photo 10.15). Dans le cas d'application avec des courants harmoniques très élevés, seulement l'ajout d'inductances en série constitue une solution pour protéger les condensateurs contre une surcharge inadmissible.

- Le choix des fusibles doit tenir compte des **courants de compensation** entre les bancs de condensateurs voisins.

Dans le cas de commande séparée des condensateurs de bancs ou lors de défaut sur des condensateurs individuels, des courants de compensation circulent entre les bancs de condensateurs voisins. Sur de tels montages, les fusibles des unités de condensateurs doivent être choisis d'un à deux calibres au dessus du courant de fonctionnement et les courants assignés des fusibles de groupe doivent être au moins de 2,5 fois ceux des fusibles individuels.

- Les fusibles doivent si possible maîtriser des **tensions de rétablissement** élevées.

Les résonances et **réamorçages** lors de la déconnexion de condensateurs peuvent générer des tensions de rétablissement qui dépassent la tension du système et donc les valeurs assignées du fusible.

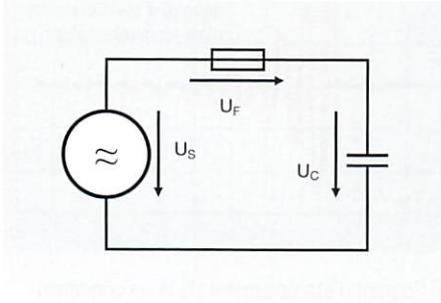


Fig. 10.17 Diagramme de circuit

Ces phénomènes sont comparables à la déconnexion de lignes à haute tension non chargées pendant longtemps et sont importants à considérer en basse tension. C'est pourquoi l'opération de fonctionnement (déconnexion) est ici succinctement expliquée à l'appui d'un schéma de câblage simple (figure 10.17) :

Lors du passage à zéro du courant, la tension secteur U_S tout comme la tension du condensateur U_C atteignent leur valeur crête. Lorsque l'arc s'éteint au passage à zéro du courant, la tension du condensateur

reste maintenue tandis que la tension secteur atteint la valeur crête opposée (figure 10.18). La tension rétablie U_F aux bornes du fusible atteint en l'espace de 5 ms le double de la valeur crête et même 2,5 fois la valeur crête dans les systèmes triphasés, ce qui explique pourquoi des réamorçages peuvent se produire. Dans ce cas, le condensateur est soudainement rechargé sur la polarité inverse et la tension de rétablissement continue d'augmenter jusqu'à la destruction du fusible et des composants voisins de l'installation. Le risque que les fusibles ne puissent pas maîtriser la coupure en raison de tensions de rétablissement trop élevées est atténué par le choix d'une tension assignée

de fusibles plus élevée par rapport à la tension d'emploi et par l'utilisation de corps de fusibles plus longs (plus grandes tailles).

Le tableau 10.4 en annexe donne un aperçu des courants assignés des éléments de remplacement des fusibles BT de la catégorie d'emploi gG recommandés par les fabricants de fusibles pour les puissances et les tensions d'utilisation courantes des condensateurs de correction de facteur de puissance. L'utilisation des fusibles recommandés et la prise en compte des critères indiqués ci-dessus minimisent le risque de mauvaise protection et de fonctionnement indésirable.

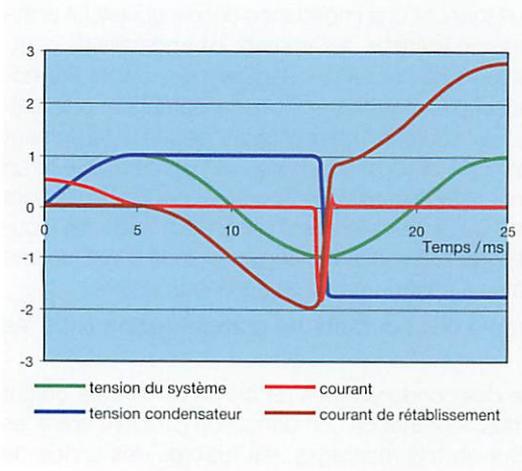


Fig. 10.18 Oscillogramme de coupure de circuit avec des condensateurs

Dans les installations avec condensateurs, le courant assigné des fusibles peut être déterminé avec la formule empirique suivante où le facteur k dépend de la tension d'emploi:

$$I_N / A \geq k \times Q_N / kvar$$

Dans des cas particuliers d'installations avec la connaissance exacte des conditions de fonctionnement du secteur (après une analyse préalable du secteur), des fusibles de courant assigné plus faibles peuvent être utilisés.

10.9 Protection des modules photovoltaïques (PV)

Du point de vue courants d'emploi et courants de court-circuit, les générateurs photovoltaïques (PV) (figure 10.19) se comportent de manière complètement différente des générateurs de courant habituels. Les règles connues pour le choix des fusibles ne peuvent donc pas être appliquées.

Les modules PV sont des composants limiteurs de courant qui peuvent supporter tous les courants de charge jusqu'à leur courant de court-circuit assigné I_{SC_STC} et les surintensités occasionnelles dues au rayonnement au-delà de la valeur normalisée. En vérité, un rayonnement amplifié peut accroître le courant d'emploi à des valeurs allant jusqu'à 1,4 ou 1,6 I_{SC_STC} .¹⁾

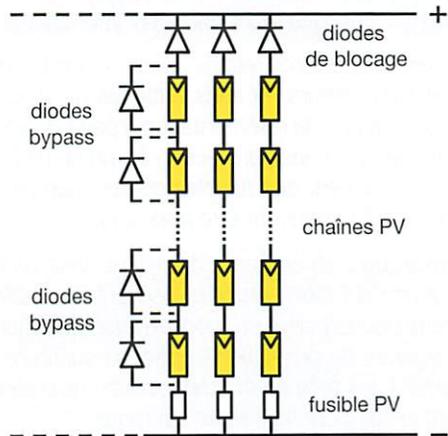


Fig. 10.19 Dispositifs de protection dans les chaînes de générateurs PV

Des générateurs PV soigneusement dimensionnés pour toutes les conditions de fonctionnement ne nécessiteraient aucune protection contre les surintensités s'il n'y avait pas d'autre défaut possible.

En cas de défaut, les modules PV peuvent cependant être endommagés par des courants inverses $I_{MOD_REVERSE}$ lorsque ceux-ci dépassent la valeur maximale supportable du module selon l'indication du fabricant. Les effets de tels courants vont de dommages irréversibles sur les modules PV, avec une atténuation correspondante de la puissance, jusqu'à des ruptures de conducteurs résultant de la formation d'arc et des déclenchements d'incendie.

1) STC (standard test conditions) conditions d'essais normalisés : température de cellules : 25 °C, rayonnement : 1.000 W/m², indice de masse d'air relatif : AM 1,5

Remarque : l'utilisation de diodes de blocage destinées à exclure les courants inverses (figure 10.19) n'est pas considérée comme une solution alternative aux fusibles de chaîne pour la protection contre les courants inverses (v. ci-dessous).

Les câbles de liaison à l'intérieur d'un générateur PV sont généralement dimensionnés pour minimiser la chute de tension et peuvent donc pratiquement toujours permettre l'établissement d'un courant interne suffisamment élevé.

La tâche principale des fusibles de chaînes est donc d'assurer la protection des précieux modules PV contre les dommages thermiques dus à des courants inverses en cas de défaut.

Les courants de défaut dangereux proviennent toujours de sources extérieures, c'est-à-dire de modules ou de chaînes raccordés en parallèle de la chaîne présentant un défaut, ou de batteries de stockage d'énergie du système PV ou par rétroalimentation d'un convertisseur couplé au réseau.

Les fusibles de chaînes PV correctement dimensionnés protègent les modules et les chaînes ainsi que leurs câblages internes contre des courants inverses dangereux.

Les conseils suivants relatifs au choix des fusibles de chaînes PV concernent en premier lieu les générateurs PV sans batteries de stockage d'énergie ou avec des onduleurs qui n'autorisent pas de réalimentation à partir du secteur. Les batteries requièrent des fusibles spécifiques pour leur protection (v. point 10.7). Dans les installations PV de puissances plus importantes, des fusibles complémentaires (fusibles de groupes PV ou fusibles de générateur PV) peuvent être appropriés.

Remarque : les courants de défaut dans les générateurs PV dépendent fortement du rayonnement momentané et peuvent être nettement inférieurs à I_{SC_STC} . Des arcs dangereux peuvent ainsi se produire avec des intensités de courant qui ne déclenchent pas d'organes de protection contre les surintensités. Contrairement aux arcs en courant alternatif, les arcs en courant continu ne s'éteignent pas d'eux-mêmes, et c'est également le cas pour les faibles courants.

L'obscurcissement partiel de cellules dans une chaîne PV peut aboutir à une surchauffe locale (hotspots) et endommager sérieusement les modules PV. Étant donné que ces dommages se produisent sous l'effet d'une tension élevée lors de courants de fonctionnement normaux, les fusibles ne sont pas capables de protéger contre les hotspots. Ces derniers peuvent être évités en utilisant des diodes Bypass (figure 10.19).

Sélection des fusibles (élément de remplacement) de chaîne PV

a) Le nombre de chaînes PV connectées en parallèle détermine si des fusibles sont nécessaires ou pas.

Le choix des fusibles de chaîne PV dépend de la capacité de résistance au courant inverse des modules $I_{MOD_REVERSE}$ et de leur câblage. Les fabricants de modules désignent les valeurs correspondantes clairement ou en multiples de I_{SC_STC} ou indiquent un courant assigné maximal de fusible de protection. (Lorsque les indications sur le type de fusible manquent, il est vivement conseillé de prendre en compte le $I_{MOD_REVERSE}$ des modules ou de contacter le fabricant de modules ou de fusibles !)

Dans les installations PV avec seulement une ou deux chaînes connectées en parallèle, aucune protection n'est nécessaire car les courants de défaut ne peuvent pas dépasser la capacité de tenue du courant inverse des modules. Dans les installations avec un plus grand nombre de chaînes en parallèle, l'utilisation de fusibles de chaînes en fonction de la résistance au courant inverse des modules $I_{MOD_REVERSE}$ est recommandée (figure 10.20).

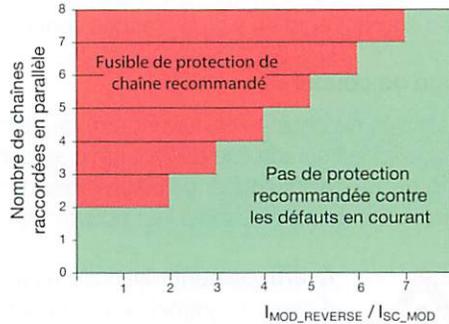


Fig. 10.20 Utilisation de fusibles de chaîne PV

b) N'utiliser que des fusibles « gPV » spéciaux

L'utilisation de fusibles inappropriés peuvent provoquer des dommages plutôt que de les éviter !



Symbol IEC 60417-5016 (2002-10)

Seuls des fusibles expressément prévus pour cette application par le fabricant doivent être utilisés. La norme CEI 60269-6 prévoit leur marquage « gPV » qui est une combinaison des symboles pour un fusible et une cellule PV (figure 10.21).



Fig. 10.21 Fusible de chaîne PV

c) Protection par fusible nécessaire sur les deux polarités

Dans le cas des systèmes PV flottants (non mis à la terre) tel que c'est le cas habituel en Europe, une protection contre les surintensités et des dispositifs de sectionnement sont généralement nécessaires sur les deux polarités des chaînes PV. Si des fusibles de chaîne PV sont nécessaires pour la protection contre les courants inverses, l'utilisation de fusibles-sectionneurs (combinés fusibles, voir point 14) est recommandée, lesquels permettent de remplacer un fusible sans danger.

d) Pouvoir de coupure assigné

Les fusibles de chaîne PV doivent avoir un pouvoir de coupure en courant continu (d.c.)! Celui-ci doit être supérieur ou égal au plus grand courant de défaut attendu dans le système PV. La norme ci-dessus prévoit une valeur minimale de 10 kA. Des valeurs plus élevées peuvent être nécessaires dans le cas d'utilisation de batteries de stockage d'énergie et de réalimentation possible par le réseau. La constante de temps du circuit de courant est supposée à 1 ms - 3 ms (en général < 1 ms), c'est-à-dire que les fusibles

dans les systèmes PV peuvent avoir un plus grand pouvoir de coupure que dans les systèmes à courant continu à plus grandes constantes de temps.

e) Plage de coupure

Les fusibles de chaîne PV doivent être des fusibles à zone de coupure intégrale (full range); ceci est caractérisé par la lettre g au début de la catégorie d'emploi gPV ! Cela signifie qu'ils doivent couper de façon fiable tous les courants compris depuis leur courant de fusion minimal jusqu'à leur pouvoir de coupure assigné.



Avertissement : les fusibles à zone de coupure partielle (la catégorie d'emploi commence par la lettre a, par ex. aR) ne doivent en aucun cas être utilisés car ils peuvent générer des arcs dangereux lorsqu'ils fonctionnent en dessous de leur courant de coupure minimal.

f) Tension assignée

La tension assignée U_n du fusible doit au moins être identique à la plus grande tension à vide U_{OC} du générateur PV :

$$U_n \geq 1,2 U_{OC_STC}$$

(Le facteur 1,2 tient compte de la tension à vide lors de basses températures allant jusqu'à - 25 °C. Dans les régions climatiques plus froides, un facteur plus grand peut être nécessaire.)

g) Courant assigné minimum des fusibles de protection de chaînes gPV

Dans des conditions de fonctionnement normales, le fusible ne doit pas se déclencher, et ses propriétés ne doivent pas se détériorer afin d'éviter des interruptions de fonctionnement indésirables. Étant donné que l'aptitude du fusible à supporter un courant permanent dépend directement de la température de l'élément fusible, les courants d'emploi au-dessus du courant assigné du fusible doivent être évités. Cette règle doit être notamment strictement respectée car les fusibles de protection de PV sont souvent soumis à des variations de charges en raison du rayonnement changeant en permanence du soleil.

Le courant assigné I_n de fusibles de chaînes PV doit donc être supérieur au plus grand courant d'emploi de la chaîne. Selon les conditions climatiques locales, y compris une majoration pour rayonnement accru, celui-ci se situe entre $1,25 I_{SC_MOD}$ et $1,6 I_{SC_MOD}$. La règle d'affectation suivante paraît donc appropriée dans la plupart des cas :

$$I_n \geq 1,4 I_{SC_MOD}$$

Remarque : il doit également être tenu compte des coefficients de réduction possibles des fabricants de fusibles pour des conditions de fonctionnement particulières, par ex. températures ambiantes élevées, grandes quantités de fusibles dans des boîtiers de jonction dont la dissipation de chaleur est réduite et variations de charge fréquentes (voir ci-dessous).

h) Courant assigné maximal des fusibles de protection de chaînes gPV

Le courant conventionnel de fusion $I_f = 1,45 I_n$ pour une durée maximale de 1 heure de l'élément de remplacement fusible gPV doit être inférieur ou égal à la capacité de tenue en charge du courant inverse des modules à protéger. Ceux-ci sont contrôlés avec $1,35 I_{MOD_REVERSE}$ pendant 2 heures. Il en résulte l'affectation suivante pour les fusibles gPV :

$$I_n \leq I_{MOD_REVERSE}$$

Remarque : les courants assignés maximaux des fusibles indiqués par les fabricants de modules doivent toujours être respectés.

Dans le cas de valeurs élevées pour $I_{MOD_REVERSE} / I_{SC_MOD}$ et d'un grand nombre de chaînes en parallèle, il convient de contrôler également si la protection des câbles de chaîne est assurée.

i) Puissance dissipée et température ambiante

Les éléments de remplacement (fusibles) PV ont une puissance dissipée très faible par comparaison aux autres dispositifs de protection contre les surintensités ou les diodes de blocage. Toutefois les boîtiers de jonction des chaînes PV peuvent être exposés à des températures ambiantes élevées et contenir un grand nombre de fusibles et autres composants, par ex. diodes de blocage, qui provoquent au total une augmentation significative de la température dans le coffret. Contrairement aux coffrets de distribution répondant à la norme CEI 60439-1, aucun facteur de charge < 1 ne doit être pris en compte même lors d'un plus grand nombre de circuits de courant. Les calculs et les contrôles d'échauffement doivent être basés sur le courant d'emploi maximal de fonctionnement simultanément dans tous les circuits. Les facteurs correctifs indiqués par les fabricants de fusibles pour des températures élevées doivent être respectés.

j) Charge fluctuante

Les fusibles PV sont souvent soumis à de fréquentes fluctuations du courant et leurs propriétés ne doivent donc pas s'altérer sous l'influence de variation permanente de température. Des coefficients de déclassement du courant d'emploi doivent être appliqués aux fusibles, selon les feuilles de données et les directives du fabricant.

k) Surveillance des fusibles

La fusion d'un fusible de chaîne dans un groupe ou un générateur PV comportant beaucoup de chaînes ne se remarque pas obligatoirement tout de suite. Pour cette raison, la surveillance électronique des fusibles est donc recommandée pour signaler un tel événement et pour engager le contrôle immédiat et l'élimination du défaut afin de minimiser la perte de production d'énergie.

Sélectivité

La protection contre les surintensités dans une installation PV doit être telle qu'en cas de défaut, l'élément de protection situé au plus près du défaut, soit au plus bas niveau du générateur PV (chaîne < groupe < générateur) assurant ainsi en premier lieu l'élimination de ce défaut. La sélectivité des fusibles situés dans les différents niveaux de l'installation PV doit être déterminée à l'appui des caractéristiques temps/courant disponibles auprès des fabricants de fusibles.

Types de fusibles non utilisables

Pour la protection des chaînes PV, des groupes et des générateurs PV, seuls des fusibles ayant un pouvoir de coupure en courant continu satisfaisant doivent être utilisés. Malheureusement, la plupart des fusibles proposés sur le marché doivent être considérés comme inadaptés même s'ils semblent avoir les mêmes dimensions ou les mêmes tensions et intensités assignées que les fusibles gPV adéquats. Une précaution toute particulière s'impose pour les types de fusibles suivants probablement inadaptés en raison de leur pouvoir de coupure insuffisant :

- fusibles miniatures
- fusibles pour véhicules électriques
- fusibles domestiques pour applications résidentielles

Les fusibles destinés à être utilisés par des profanes selon CEI 60269-3 (fusibles pour usages essentiellement domestiques et analogues) sont généralement des fusibles à courant alternatif et ne conviennent pas aux applications PV.

Fusibles ou diodes de blocage ?

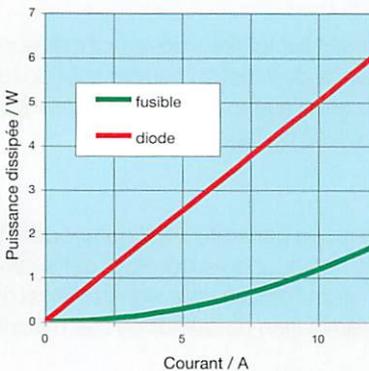


Fig. 10.22 Puissance dissipée des diodes de blocage par rapport à celle des fusibles gPV de chaînes.

Sur certaines installations, les câbles de chaînes PV sont raccordés aux jeux de barres par l'intermédiaire de diodes de blocage (figure 10.19). Celles-ci peuvent éviter une partie des courants inverses mais pas tous. **Les diodes de blocage ne peuvent pas se substituer aux fusibles de chaînes PV.** Elles peuvent toutefois être nécessaires dans les installations comportant des batteries de stockage d'énergie pour éviter un déchargement nocturne. Leur utilisation devrait être limitée à ce cas et doit être évitée dans les autres cas.

Les diodes de blocage ne représentent pas une protection fiable contre des courants inverses trop importants car elles ont elles-mêmes tendance à présenter des défauts en cas de court-circuit et de surtension. D'autre part, elles présentent des dissipations de puissance plus importantes que les fusibles (figure 10.22), à la suite de quoi elles peuvent réduire significativement le rendement des installations PV et contribuer au réchauffement des boîtiers de jonction.

11 Choix des fusibles HT

– Des informations pour les spécialistes

11.1 Critères de choix généraux

Aucune caractéristique temps/courant n'est définie pour les fusibles HT dans la norme internationale CEI 60282-1 ou la norme allemande harmonisée VDE 0670 partie 4. Les courants assignés sont uniquement définis par l'échauffement admissible des éléments constituant les contacts. Les courants assignés des fusibles HT provenant de différents fabricants ne peuvent donc pas être directement comparés. Le choix de ces fusibles se fait exclusivement à l'appui des documents du fabricant. (La norme allemande VDE 0670 partie 402, v. point 11.2. plus favorable à l'utilisateur constitue une exception.)

Le **courant assigné** des fusibles HT est en principe significativement plus élevé que leur courant d'emploi ; il correspond généralement à au moins la double valeur du courant d'utilisation. La sélection des fusibles HT s'effectue en considérant les points suivants :

- le courant d'utilisation normal,
- les courants de surcharge possibles, y compris les harmoniques présents en permanence,
- les circuits de compensation du courant qui correspondent à la commutation de transformateurs, de moteurs et de condensateurs,
- la coordination avec d'autres éléments de protection et
- le courant minimal de coupure qui doit être dépassé obligatoirement durant la fusion du fusible.

La **tension assignée** des fusibles HT est la tension de service maximale admissible et devrait être considérée comme suit :

- être au moins égale à la tension composée (tension entre phase) maximale du réseau, lors de l'utilisation dans un réseau triphasé à neutre directement relié à la terre, ou neutre impédant, ou neutre raccordé à la terre par l'intermédiaire d'une résistance,
- être au moins égale à 115 % de la tension maximale de ce réseau lors de l'utilisation dans le réseau monophasé, et
- 115 % de la tension composée maximale du réseau lors de l'utilisation dans un réseau triphasé à point neutre isolé, ou à compensation du point neutre, lorsqu'un double défaut à la terre avec un défaut du côté de l'alimentation et un défaut sur le côté charge d'une autre phase équipée du fusible apparaît.

Deux valeurs de tensions assignées, dont l'une est la tension la plus élevée, sont généralement imprimées sur les fusibles HT. La plus petite valeur de tension représent

la tension minimale de fonctionnement. Celle-ci résulte de la tension de coupure du fusible qui doit être inférieure au niveau d'isolement du réseau dans lequel le fusible peut être utilisé. La tension du réseau doit se trouver entre les deux valeurs de tensions imprimées sur le fusible.

Le **pouvoir de coupure** du fusible (valeur assignée, courant de coupure maximal I_1) doit être supérieur au plus grand courant de défaut attendu au lieu de montage du fusible. Le pouvoir de coupure est indiqué en tant que valeur efficace du courant.

Le **courant de coupure minimal I_3** des fusibles à zone de coupure partielle doit être inférieur au plus faible courant de défaut attendu au lieu de montage du fusible.



Avertissement : Des fonctionnements de fusibles HT sous des courants inférieurs à I_3 se produisent souvent suite à la réutilisation de fusibles provenant de circuits en défaut. Après une coupure de courant de défaut dans un système triphasé, les trois fusibles HT devraient toujours être remplacés et remis à un point de collecte pour recyclage même si, sur l'un d'entre eux, le perceur ne s'est pas déclenché et s'il n'a donc pas fondu. Il est fort probable que les éléments fusibles soient défectueux et qu'ils n'aient plus la capacité à supporter le courant. Le prochain défaut avec des conséquences graves est donc programmé d'avance !

11.2 Protection de transformateur selon VDE 0670 partie 4 et partie 402

La protection de transformateurs pour les réseaux de distribution est de loin l'application principale des fusibles HT. À quelques exceptions près, les fusibles à zone de coupure partielle (back-up) sont utilisés pour la protection contre les courts-circuits. Une surcharge, dans la mesure où elle n'est pas exclue côté secteur, est protégée par les fusibles situés du côté basse tension (v. point 9.3). Avec des fusibles il est facile d'obtenir la sélectivité des protections entre le

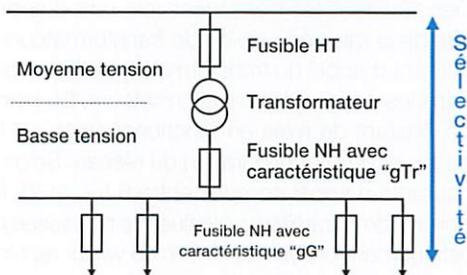


Fig. 11.1 Protection de transformateur

côté moyenne tension jusqu'aux sorties des câbles de distribution côté basse tension (figure 11.1). Les fusibles HT côté haute tension ne protègent pas le transformateur lui-même contre des endommagements mais l'environnement contre les répercussions de courts-circuits intérieurs. À cette fin, deux conditions spécifiques aux transformateurs doivent être remplies :

- **Les fusibles HT doivent couper le courant de court-circuit au niveau des bornes de raccordement côté secondaire en moins de deux secondes.**

Les dispositifs de protection des transformateurs doivent couper le courant de court-circuit interne minimal de manière très rapide afin que l'éclatement du noyau du transformateur soit évité par l'augmentation de la pression interne. Selon la VDE 0532-76-

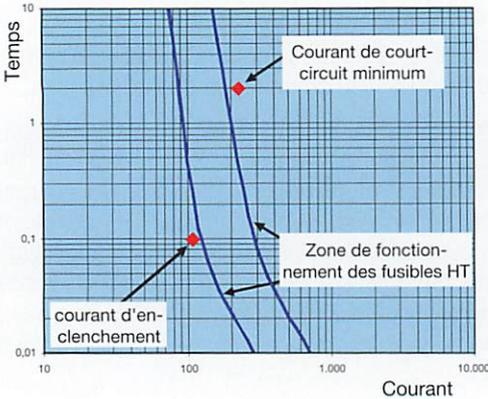


Fig. 11.2 Protection de transformateur selon VDE 0670 partie 4

5, le noyau du transformateur doit résister à un court-circuit interne durant deux secondes. Le fusible doit interrompre le courant de court-circuit aux bornes côté secondaire pendant ce temps, c'est-à-dire que la caractéristique temps/courant du fusible HT doit se situer au dessous du point de court-circuit (figure 11.2). Le courant de court-circuit sur bornes I_{SC} se calcule à partir du courant assigné du transformateur I_{NTr} divisé par la tension de court-circuit relative u_k : $I_{SC} = I_{NTr} / u_k$.

Pour une tension de court-circuit de 4 %, le courant de court-circuit minimal s'élève à $25 I_{NTr}$, et pour une tension de court-circuit de 6 % à $16,7 I_{NTr}$.

- **Les fusibles HT ne doivent pas fondre sur le courant d'enclenchement (magnétisant) du transformateur.**

Des surintensités transitoires (courant d'appel ou courant magnétisant) apparaissent lors de la mise en service de transformateurs fonctionnant à vide ou peu chargés. Le courant d'appel du transformateur est une conséquence de la rémanence magnétique dans les noyaux des transformateurs. Du point de vue intensité, il dépend entre autres de l'instant de mise en fonctionnement, du type de transformateur, de la qualité du noyau et de la configuration du réseau. Selon la taille et le type de transformateur, des courants d'appel compris entre $6 I_{NTr}$ et $25 I_{NTr}$ peuvent se produire. Le nombre important de paramètres d'influence n'autorise par nature que l'indication de valeurs statistiquement probables. À titre de valeur représentative, une valeur de 12 fois le courant assigné du transformateur a été déterminée pour une durée de 100 ms et reprise comme valeur de référence dans la norme. La caractéristique temps/courant du fusible HT doit se trouver au-dessus de ce point pour minimiser la probabilité d'interruption de l'élément fusible par les courants magnétisants apparaissant lors de la mise en fonctionnement des transformateurs (figure 11.2).

Sans tenir compte des fusibles principaux situés côté secondaire des transformateurs HAT/BT, les fusibles HT sont choisis à l'appui des caractéristiques temps/courant des fabricants de manière qu'elles passent entre les balises formées par les deux valeurs de référence. Selon le fabricant, quatre à cinq intensités de courant assignées différentes

peuvent remplir ces exigences. Le choix définitif se fait ensuite selon des critères supplémentaires de sélectivité par rapport aux disjoncteurs situés en amont et par rapport aux dispositifs de protection situés côté basse tension. Dans des installations à enceinte fermée où des problèmes thermiques peuvent se produire, le fusible dont la caractéristique temps/courant se trouve dans la plage la plus grande devrait être choisi (v. point 19.3).

Le choix de fusibles à partir de leurs caractéristiques est assez difficile pour l'utilisateur. C'est pourquoi le sous-comité allemand a ajouté des avenants nationaux dans la norme VDE 0670 partie 402, à la directive d'utilisation internationale CEI 60787 pour le choix de fusibles limiteurs de courant de protection des transformateurs. Cette édition allemande définit les valeurs limites supplémentaires pour les caractéristiques temps/courant

- qui permettent la sélectivité entre les fusibles haute tension entre eux pour un rapport de courant assigné de 1 : 2 et
- qui établissent la sélectivité avec les fusibles BT situés côté basse tension de la catégorie d'emploi gTr.

À l'échelle internationale, les spécificités de la norme VDE 0670 partie 402 ne sont pas toujours applicables. Elles permettent toutefois à l'utilisateur de la norme allemande la sélection simple des fusibles HT par leurs courants assignés (tableau 11.1 en annexe). Un ou au plus deux courants assignés de fusibles HT sont affectés à chaque puissance apparente de transformateur. Les fusibles HT conformes à la norme VDE 0670 partie 402, provenant de différentes marques et possédant le même courant assigné, sont échangeables entre eux.

11.3 Protection de transformateur selon VDE 0671 partie 105

Remarque : ce point doit être lu en relation avec le point 15. Vous pouvez le lire ou vous adresser à votre fabricant de fusibles, chose que vous ferez très probablement !

À l'origine, les percuteurs des fusibles HT étaient prévus comme des indicateurs pour permettre de reconnaître de loin les fusibles fondus sur les pôles des lignes aériennes. Aujourd'hui, en Allemagne et en Europe, les percuteurs sont principalement utilisés dans les sous stations intérieures pour actionner un mécanisme à déclenchement libre de l'interrupteur du transformateur dans le but d'assurer

- une déconnexion de tous les pôles après le déclenchement d'un fusible et
- la protection des puits-fusibles contre une surchauffe (v. point 11.4).

Bien que ces applications n'aient que peu à voir avec les objectifs définis dans la VDE 0671 partie 105 et les objectifs requis, la fonction constituée de l'interrupteur et des fusibles fait partie du domaine d'application de cette norme.

La VDE 0671 partie 105 est une norme d'appareillage de connexion mais contient aussi, en plus des exigences techniques imposées aux interrupteurs à fusibles, une information essentielle sur le choix de fusibles HT pour la protection des transformateurs.

Cette information se résume pratiquement à une seule phrase, à savoir l'exigence comme

quoi, en cas de court-circuit côté secondaire d'un transformateur HT/BT, tous les pôles doivent être déconnectés par l'interrupteur déclenché en premier lieu et uniquement par le percuteur du fusible. Ceci a pour but d'éviter que l'interrupteur assure une fonction qu'il ne maîtrise éventuellement pas. Ceci est un critère de choix important des fusibles HT de protection de transformateur qui s'ajoute à ceux indiqués aux points 11.2.

Le temps d'ouverture de l'interrupteur T_0 détermine le choix des fusibles !

À la place des deux secondes qui sont exigées par les règles de protection du transformateur, le courant de court-circuit minimal doit être interrompu entre 20 ms et 80 ms selon le type d'interrupteur. Cela signifie que le choix des fusibles est plus compliqué que jamais et qu'il n'est maîtrisé que par quelques rares experts parmi les fabricants de fusibles et d'interrupteurs. L'utilisateur qui doit remplacer un fusible doit effectuer des recherches dans les listes établies par les fabricants d'interrupteurs qui contiennent de propres tableaux de protection pour chaque type d'interrupteur et chaque marque de fusible. À cela vient s'ajouter le fait que différents fusibles doivent être utilisés pour la même taille de transformateur selon l'interrupteur affecté.

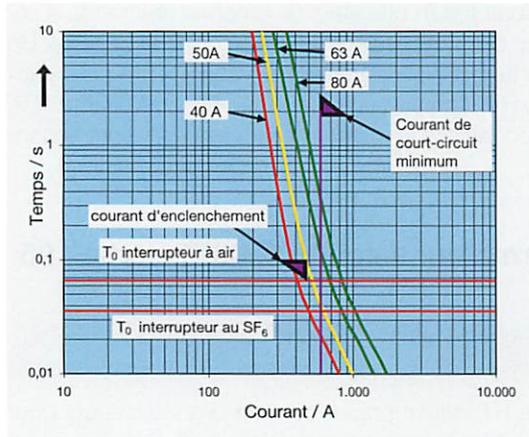


Fig. 11.3 Sélection de fusible selon VDE 0671 partie 105

Les répercussions concrètes qui en résultent sont expliquées à l'exemple de la figure 11.3 pour un transformateur de 10 kV avec une puissance apparente de 630 kVA et une tension de court-circuit de 6 %.

La norme VDE 0670 partie 402 prévoit pour la protection de ce transformateur un fusible de courant assigné de 80 A. Sa caractéristique temps/courant passe environ au centre des balises situées entre le courant le courant magnétisant et le point de court-circuit aux bornes avec suffisamment de sécurité des deux côtés.

En cas d'association avec un interrupteur isolé à l'air avec un temps d'ouverture de T_0 de 65 ms, le fusible devrait couper le courant de court-circuit en l'espace de cette durée. Pour simplifier le choix, on dessine alors une « intersection » constituée d'une ligne verticale correspondant à la valeur du courant du court-circuit et d'une ligne horizontale correspondant à la valeur du temps d'ouverture de l'interrupteur. Seules les caractéristiques temps/courant de fusibles qui passent au dessous (à gauche) du point d'intersection des 2 lignes remplissent les conditions de la norme VDE 0671 partie 105 ; dans l'exemple, ce sont seulement les fusibles avec $I_N \leq 50$ A (l'intersection entre les 2 lignes est : 6 000A - 65 ms). Les fusibles avec des caractéristiques temps/courant situées à droite de l'intersection ($I_N \geq 63$ A) ne respectent pas les conditions.

Le problème s'avère encore plus compliqué avec les interrupteurs SF₆ ayant des durées d'ouverture courtes dues à leur compacité, s'élevant à 35 ms dans l'exemple. Pour cette association, il est pratiquement impossible de respecter les deux normes. Un fusible de 40 A assure certes la coupure avant l'ouverture de l'interrupteur mais il est exposé à un risque en raison des courants d'enclenchement du transformateur.

Le problème :

Au final, le choix d'un fusible selon la norme VDE 0671 partie 105 est non seulement compliqué et déroutant pour l'utilisateur, mais dans la plupart des cas il aboutit à des courants assignés de fusibles inférieurs à ce qui est exigé par la norme VDE 0670 partie 402 (tableau 11.2 en annexe) avec une tendance à

- un échauffement plus élevé,
- une sensibilité plus élevée au courant d'enclenchement du transformateur et
- une perte de sélectivité par rapport au fusible gTr.

Comme le tableau 11.2 en annexe le montre, le problème s'aggrave lors

- de durées d'ouverture d'interrupteurs plus courtes (interrupteurs SF₆),
- des puissances de transformateurs égales ou supérieures à 630 kVA,
- d'une tension de court-circuit relativement élevée (6 %) et
- d'une faible tension primaire (10 kV et moins).

Autrefois, la contradiction entre les deux normes ne gênait pas puisque, dans l'avant-propos de l'édition allemande de la norme internationale pour les combinés interrupteurs à fusibles, le point critique était pratiquement exclu avec la mention de la bonne pratique allemande et de bonnes expériences. De tels écarts internationaux ne sont toutefois plus autorisés et ce sujet n'est réapparu que dans le cadre de l'harmonisation européenne.

La solution :

Etant donné qu'il s'agit d'un problème de pratique nationale et de normalisation, les sous-comités DKE compétents recommandent, d'ici la révision des normes qui devrait avoir lieu, de respecter les deux normes VDE 0670 partie 402 et VDE 0671 partie 105 à chaque fois que cela est possible. Dans les cas limites, toutefois la section 8.101.2 de la norme VDE 0671 partie 105 peut ne pas être prise en considération.

La pratique actuelle de la protection par fusible selon la norme VDE 0670 partie 402 a fait ses preuves confirmées par une expérience positive de longue date et ne laisse apparaître aucun risque supplémentaire.

11.4 Déclencheurs thermiques

Pour leur utilisation dans les combinés interrupteurs à fusibles, les fusibles HT sont souvent équipés de déclencheurs thermiques. Ceci a pour but d'éviter des dommages thermiques sur les puits-fusibles et autres composants voisins, notamment sur les interrupteurs isolés au SF₆ dont la dissipation de température est limitée. Les déclencheurs thermiques sont des systèmes de percuteurs spéciaux qui, en cas de surchauffe menaçante, déclenchent l'interrupteur à coupure en charge et isolent le transformateur du réseau.

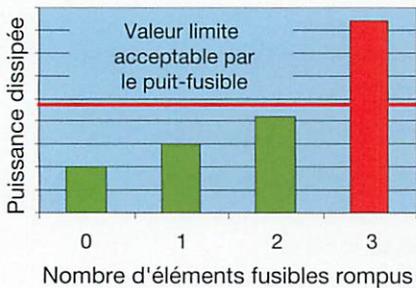


Fig. 11.4 Influence thermique d'éléments fusibles défectueux

Dans le cas d'affectation correcte du fusible, des températures dangereuses ne sont pas à craindre, même lors d'une surcharge admissible du transformateur ou d'une fusion pour une valeur de courant inférieure à I_3 . Les déclencheurs thermiques sont principalement nécessaires pour éviter toute surchauffe due à des fusibles pré-endommagés, lorsque, en cas de rupture (coupure) de certains des éléments fusibles raccordés en parallèle, la puissance dissipée atteint des valeurs inadmissibles (figure 11.4).

Le pré-endommagement de fusibles par rupture d'éléments fusibles individuels ne se fait pas remarquer immédiatement comme un courant de défaut car le courant continue de circuler dans les autres éléments fusibles. Toutefois le fusible devient de plus en plus sensible aux crêtes de courants et aux courants magnétisants et sa capacité à supporter le courant diminue, à la suite de quoi son endommagement progresse graduellement.

La figure 11.4 montre à titre d'exemple comment s'accroît la puissance dissipée d'un fusible à quatre éléments fusibles à chaque interruption d'un élément fusible, jusqu'à ce que la puissance dissipée admissible du puits-fusible soit dépassée. Les fusibles pré-endommagés provenant des circuits de défaut sont souvent réutilisés par manque de connaissances ou par mesure d'économie mal évaluée. Le fait que le percuteur du fusible qui assure en dernier lieu la coupure, ne se déclenche généralement pas lors d'une coupure sur court-circuit dans un réseau de courant triphasé à neutre isolé ou neutre compensé, est ignoré par les utilisateurs. Le remplacement de tous les fusibles sur les trois phases d'un circuit de défaut tel que recommandé par les fabricants n'est donc pas un argument susceptible d'encourager la vente mais une mesure de précaution impérative.

Remarque : le meilleur déclencheur thermique ne peut pas être efficace lorsque le percuteur est dirigé dans la mauvaise direction ! Le côté du percuteur est donc marqué sur le fusible.

11.5 Protection des circuits moteurs à haute tension

Les fusibles HT sont fréquemment employés pour la protection de moteurs haute tension dans la plage de puissances allant jusqu'à 2 MW et à des tensions maximales de 12 kV. Les critères de choix correspondent largement à ceux des fusibles basse tension (v. point 10.4). Dans le cas de moteurs à démarrage direct (en anglais « direct-on-line » ou D.O.L.), la résistance aux courants élevés de démarrage moteur est le critère le plus important pour le choix d'un fusible. Lors de cette sollicitation, les fusibles ne doivent ni fonctionner, ni être endommagés.

Remarque : Si un fusible est mal choisi, des courants de démarrage élevés peuvent interrompre un des différents éléments fusibles associés en parallèle dans l'élément de remplacement HT à zone de coupure partielle et, en cas de répétition fréquente, faire fonctionner le fusible au-dessous de son courant de coupure minimal. Étant donné que dans cette plage de courant, l'opération de coupure n'est pas maîtrisée, ceci peut provoquer des dommages considérables.

Le courant nominal du fusible, basé sur un échauffement lorsqu'il est soumis à un courant de charge permanent, n'a en revanche aucune signification lors du choix de fusibles HT pour des moteurs à démarrage direct. Les fusibles qui sont intégrés au démarreur représentent une exception. Dans ce cas, un contrôle de l'échauffement jusqu'à une température maximale ne peut pas endommager les fusibles.

Comme pour les fusibles BT, les courants assignés des fusibles HT sont sensiblement supérieurs au courant moteur à pleine charge. Néanmoins pour des raisons physiques dues à leur faible capacité thermique et la grande longueur des éléments fusibles, les fusibles HT sont plus sensibles aux démarrages répétés des moteurs que les fusibles BT. C'est pourquoi non seulement l'amplitude et la durée du courant de démarrage mais également la fréquence de répétition des opérations de démarrage doivent être prises en considération.

La sélection du fusible est généralement basée sur les conditions suivantes de fonctionnement du moteur :

- Courant de démarrage 6 fois le courant nominal du moteur
- Durée du démarrage 10 s
- Nombre de démarrages consécutifs 2
- Fréquence de démarrages 6 à l'heure

Des différences avec ces conditions, par ex. fonctionnement inversé, peuvent exiger d'autres calibres de fusibles et requièrent en général une prise de contact avec le fabricant des fusibles.

D'une manière générale, tous les types de fusibles HT peuvent être utilisés pour la protection d'un moteur s'ils sont définis correctement. Dans le cas de moteurs à démarrage direct, il est néanmoins recommandé d'utiliser des fusibles HT définis selon la norme VDE 0670 partie 401. Les fusibles définis selon cette norme sont étudiés spécialement pour supporter les courants d'appels des moteurs à démarrage direct.

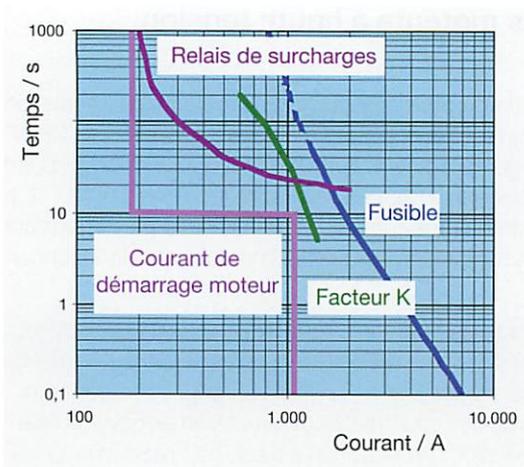


Fig. 11.5 Protection moteur par fusible HT

La norme VDE 0670 partie 401 spécifie des courants minimaux de fusion élevés pour une durée de 10 s afin d'éviter un déclenchement pendant le démarrage, et des valeurs maximales de courant de fusion à 0,1 s pour la protection maximale contre les courts-circuits de l'appareillage, des lignes, des moteurs et des boîtes à bornes dans le circuit du moteur. Elle contient également des exigences d'essais aussi bien en cas de démarrages normaux que pour des successions de démarrages anormaux, ces derniers se produisant lors de la première mise en marche.

Le fabricant prescrit un facteur K ($K < 1$) pour ces fusibles en vue de la détermination de la caractéristique de surcharge (figure 11.5). En multipliant les valeurs de courant de préarc de la caractéristique temps/courant par le facteur K, l'utilisateur peut déterminer la caractéristique de surcharge pour un nombre donné de démarrages moteurs par heure.

Dans le cas de moteurs à cycles très élevés de fonctionnement, des contacteurs à vide sont souvent utilisés avec les fusibles HT en tant que protection backup. Les fusibles doivent en plus assurer la protection des appareils de commutation. La coordination se fait à l'aide des caractéristiques temps/courant selon les critères décrits au point 11.4.

Les moteurs à démarrage doux (lors d'un démarrage indirect) peuvent être protégés par des fusibles de calibres considérablement plus bas. Il convient cependant de faire notamment attention à l'échauffement lors d'un fonctionnement à pleine charge et de la possibilité de dissipation de chaleur limitée lorsque les fusibles sont installés dans le boîtier du démarreur.

12 Manipulation en charge des éléments de remplacement de fusibles BT – Interdit aux personnes non autorisées !

La manipulation (remplacement et préhension) en charge d'éléments de remplacement de fusibles BT n'est pas prise en considération dans la norme des fusibles. Les essais adéquats font donc défaut. Pourtant, le système de fusibles NH convient généralement pour établir ou couper des circuits en charge. Des spécifications normatives sont indiquées dans la prescription allemande de prévention des accidents BGV A 3 (anciennement VBG 4) « Elektrische Anlagen und Betriebsmittel » (en français « Installations électriques et moyens d'exploitation »), dans la VDE 0105 partie 100 « Betrieb von elektrischen Anlagen » (en français « Exploitation d'installations électriques ») et la VDE 0680 partie 4 « NH-Aufsteckgriffe » (en français « système de manipulation de fusibles NH »). En ce qui concerne la manipulation d'éléments de remplacement sous tension ou en charge, la différence est très stricte entre les personnes non qualifiées et les personnes autorisées (habilitées).



Fig. 12.1 Manipulation d'éléments de remplacement de système de fusibles NH en charge

Photo BGFE

Les personnes autorisées sont

- **les électriciens habilités** : personnes qui, en raison de leur formation, de leurs connaissances, de leur expérience et de leur connaissance des règlements correspondant à l'usage de l'électricité sont en mesure d'évaluer les travaux confiés et de reconnaître les risques éventuels. En règle générale, les électriciens habilités ont bénéficié d'une formation technique menée avec succès.
- **les personnes initiées sur le plan électrotechnique** : personnes qui sont initiées à certaines tâches et surveillées par des spécialistes habilités (personnel de service et d'entretien) pour pouvoir reconnaître et éviter les risques liés à l'utilisation de courant électrique.

La manipulation d'éléments de remplacement de système de fusibles NH sous tension est uniquement autorisée à des personnes habilitées à la condition expresse d'utiliser un système de manipulation normalisé et le moyen de protection corporel requis (figure 12.1). Les poignées de manipulation prescrites avec une protection obligatoire de l'avant-bras portent un symbole d'isolation (figure 12.2). Les labels de contrôle (VDE, GS) des organes de contrôle neutres ne

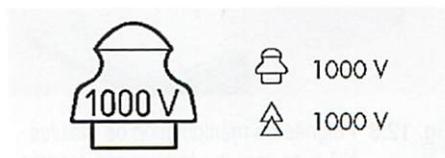


Fig. 12.2 Symboles d'isolation

sont certes pas obligatoires mais cependant requis dans les normes de protection des travailleurs.

Remarque : les poignées de manipulation d'éléments de remplacement de système de fusibles NH avec protection de l'avant-bras (avec manche fermement intégrée) doivent être contrôlées avant chaque utilisation par l'utilisateur pour constater d'éventuelles détériorations et défauts visibles.

L'utilisation d'éléments de remplacement de système de fusible NH pour établir ou pour couper des circuits en charge peut être considérée comme un excellent critère de compétitivité par rapport à d'autres systèmes de fusibles. En Allemagne, la manipulation d'éléments de remplacement de système de fusible NH sous tension et en charge est une pratique de longue date. Ceci facilite considérablement le fonctionnement des systèmes électriques, et plus spécialement la connexion ou la déconnexion de câbles dans des réseaux maillés.

Les socles et les poignées de manipulation remplissent les exigences des distances de sectionnement lorsque l'élément de remplacement du système fusible est retiré.

Les réglementations de sécurité allemande BGV A3 considèrent les travaux sous tension comme autorisés lorsque les dangers provenant du passage de courant à travers le corps humain et provenant de la formation d'arc sont exclus. Cette condition est considérée comme étant remplie lorsque la poignée de manipulation de fusibles NH à manche fermement intégrée et un masque de protection du visage sont utilisés (figure 12.3).

Les électriciens expérimentés ou les personnes habilitées sur le plan électrotechnique peuvent, avec des éléments de remplacement de fusibles NH, dans des conditions de fonctionnement normales du réseau de distribution, interrompre des circuits jusqu'au courant assigné du fusible en extrayant ceux-ci de leur support.

L'enclenchement accidentel sur un court-circuit reste également sans conséquence grave pour une personne expérimentée lorsqu'elle utilise une poignée de manipulation de fusibles NH à manche fermement intégrée et un masque de protection du visage (figure 12.1). Pour la coupure occasionnelle de surintensités et lors de grandes puissances de court-circuit, les éléments de remplacement de fusibles BT peuvent être utilisés dans des fusibles-interrupteurs-sectionneurs selon la norme VDE 0660 partie 107 « combinés-fusibles ».



Fig. 12.3 Poignée de manipulation de fusibles NH avec manche fermement intégrée et masque de protection du visage

Les éléments de remplacement de systèmes de fusibles NH destinés à établir et couper des circuits en charge avec une poignée de manipulation en tant qu'élément de commutation dans les combinés-fusibles doivent posséder des contacts massifs adéquats en cuivre ou alliage de cuivre. Les contacts creux et ceux en aluminium se sont avérés inappropriés car ils peuvent être rapidement détruits sous l'influence de l'arc.

13 Manipulation en charge de systèmes de fusibles D

– Autorisé dans certaines limites

Contrairement au système de fusible NH, le système de fusible D peut être manipulé par des personnes non qualifiées. Ceci n'est cependant valable que pour les plages de tension et d'intensité disponibles dans les installations domestiques. Dans le cas d'applications industrielles avec des tensions alternatives supérieures à 400 V et des tensions continues supérieures à 25 V, le démontage et la mise en place de fusibles type D sous tension sont également liés à des restrictions pour les personnes habilitées.

Type	Rated voltage	Personnes non qualifiées	Personnes habilitées
D, D0	≤ 400 V a.c.	≤ 63 A	≤ 63 A
D	> 400 V a.c.	Non	≤ 16 A
D, D0	≤ 25 VA d.c.	Oui	Oui
D0	25 à 60 V d.c.	Non	≤ 6 A
	> 60 à 120 V d.c.	Non	≤ 2 A
	> 120 V d.c.	Non	Non
D	> 25 à 60 V d.c.	Non	≤ 16 A
	> 60 à 120 V d.c.	Non	≤ 5 A
	> 120 à 750 V d.c.	Non	≤ 1 A
	> 750 V d.c.	Non	Non

Tableau 13.1 Remplacement de fusibles type D en charge

Dans ses notes explicatives associées à la VDE 0105 partie 100, le comité allemand de normalisation K 224 a défini les limites selon le tableau 13.1 à l'appui d'essais pratiques. (En ce qui concerne les valeurs dans le tableau 13.1, il s'agit de courants assignés des fusibles.) En fonction de cela, des fusibles D et D0 allant jusqu'à un courant assigné de 63 A dans un réseau de distribution à basse tension peuvent être remplacés sans danger par des personnes non qualifiées.

Dans des réseaux industriels avec des tensions dépassant 400 V a.c., ceci est uniquement autorisé pour des personnes habilitées avec des intensités de courant assignées allant jusqu'à 16 A.

Dans le cas de courant continu, le remplacement de fusibles sans danger est uniquement possible jusqu'à 25 V d.c.. Lors de tensions continues plus élevées, les personnes non qualifiées n'ont pas le droit de remplacer des fusibles dans des circuits en charge. Des limites de courant nominal sont également imposées aux personnes habilitées, limites au-delà desquelles il est autorisé d'intervenir seulement après la coupure du courant (tableau 13.1). Les courants continus supérieurs à 16 A sous des tensions d'emploi supérieures à 25 V d.c. sont également « hors limites » pour les personnes habilitées.

Note du traducteur : Le système de fusible cylindrique NF installé dans les installations domestiques françaises peut être manipulé par des personnes non qualifiées à conditions que la tension ne dépasse pas 230V a.c. pour des raisons de sécurité.

14 Les combinés-fusibles – Une bonne combinaison

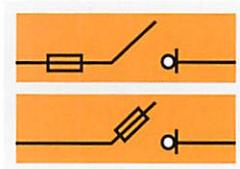
Les dérivations de circuits électriques dans des branches requièrent généralement des dispositifs de coupure et de protection. C'est pour des raisons de gain de place et de coûts que des appareils combinés-fusibles ont été développés très tôt, lesquels réunissent une fonction de coupure et une fonction de protection dans un seul ensemble. Ces ensembles sont appelés « combinés-fusibles » dans la norme fusibles à basse tension CEI 60947-3 (VDE 0660 partie 107) et, « Combinés interrupteurs-fusibles à haute tension pour courant alternatif » dans la norme à haute tension CEI 62271-105 (VDE 0671 partie 105) (v. point 15).

Pour une même fonction électrique, la différence est faite pour les combinés-fusibles à basse tension selon le type de commande manuelle :

- **commande dépendante de l'opérateur**, lorsque la vitesse et la force d'actionnement dépendent exclusivement de l'opérateur,
- **commande indépendante de l'opérateur**, lorsque l'énergie est emmagasinée (dans un ressort), et que l'opération de coupure se déroule indépendamment de l'opérateur.

Par ailleurs, la différence est faite entre :

- **les Interrupteurs-sectionneurs à fusibles** lorsque le fusible se trouve en série avec l'interrupteur et
- **les fusibles-interrupteurs-sectionneurs** lorsque l'élément de remplacement du fusible est actionné par la partie mobile de l'interrupteur.



Les combinés-fusibles basse tension sont désignés selon leur application avec les catégories d'emploi (tableau 14.1).

La catégorie d'emploi portant la lettre « B » est valable pour les fusibles-interrupteurs et pour les appareils qui sont manœuvrés occasionnellement, par ex. pour des travaux d'entretien.

Les appareils avec la catégorie d'emploi portant la lettre « A » conviennent à une commande fonctionnelle. Ils sont contrôlés avec un nombre de cycles de manœuvres plus élevé dans le cadre d'essais d'endurance mécanique.

La catégorie d'emploi AC 23 inclut la coupure occasionnelle de moteurs individuels mais toutefois pas la commande fonctionnelle de moteurs (démarrage, accélération, arrêt) qui en est exclue.

La coupure de condensateurs, de lampes à incandescence et de circuits photovoltaïques n'est pas traitée dans la norme CEI 60947-3 (VDE 0660 partie 107) relative aux interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles, et doit être convenue entre le fabricant et l'utilisateur.

Tous les combinés-fusibles ont également un pouvoir de fermeture sur court-circuit qui, à ses limites, évite qu'une fermeture se produisant accidentellement sur un court-circuit devienne dangereuse pour l'opérateur ou l'installation.

Catégorie A Manœuvres fréquentes	Catégorie B Manœuvres occasionnelles	Applications types
AC 20 A DC 20 A	AC 20 B DC 20 B	Fermeture et ouverture sans charge
AC 21 A DC 21 A	AC 21 B DC 21 B	Commutation de charge ohmique, y compris légère surcharge
AC 22 A	AC 22 B	Commutation de charge faiblement inductive, par ex. moteurs ($\cos \phi > 0,65$), y compris légère surcharge
AC 23 A	AC 23 B	Commutation de charge très inductive, par ex. moteurs ($\cos \phi > 0,35$)
DC 22 A	DC 22 B	Commutation de charge faiblement inductive ($L/R < 2,5 \text{ ms}$), y compris faible surcharge
DC 23 A	DC 23 B	Commutation de charge très inductive, par ex. moteurs-série ($L/R < 15 \text{ ms}$)

Tableau 14.1 Catégories d'emploi des combinés-fusibles

Le pouvoir de fermeture et d'ouverture en court-circuit des combinés-fusibles est indiqué en tant que « courant assigné de court-circuit conditionnel ». Celui-ci comprend la valeur maximale du courant présumé de l'appareil protégé par un fusible et son pouvoir de fermeture en court-circuit correspondant. Les valeurs doivent toujours être considérées en relation avec le courant coupé limité par les fusibles associés.

Remarque : le courant assigné de court-circuit conditionnel d'un combiné-fusible indique la valeur efficace du courant présumé lors d'un défaut en courant alternatif. Tandis que pour les autres cas d'appareillage (sans fusible), le «pouvoir assigné de fermeture en court-circuit (I_{cm})» représente la valeur crête maximale du courant présumé de court-circuit. À titre d'exemple, une valeur assignée de court-circuit conditionnel de 50 kA pour un combiné-fusible correspond à plus du double du pouvoir assigné de fermeture en court-circuit d'un disjoncteur.

Les appareils à manoeuvre manuelle dépendante de l'opérateur doivent être actionnés (ouverts ou fermés) rapidement pour remplir leur fonction telle que prévue. Les fusibles-interrupteurs et les réglettes sectionnables à coupure en charge du système de fusibles NH sont protégés contre les chocs électriques et peuvent être manoeuvrés sans équipement de protection corporelle.

14.1 Fusibles-interrupteurs-sectionneurs des systèmes de fusibles NH

Les éléments de remplacement à contacts à couteaux conviennent particulièrement bien comme contacts de commutation mobiles et permettent la conception d'appareils combinés très économiques comprenant les fonctions de commande et de protection. Il n'est donc pas étonnant qu'en Allemagne, des fusibles-interrupteurs-sectionneurs de système de fusibles NH sont principalement fabriqués et utilisés en tant que combinés-fusibles. Les fusibles-interrupteurs-sectionneurs tripolaires existent en versions dénommées « sectionneurs », à fusibles juxtaposés (figure 14.1) et dénommées « réglettes », à fusibles superposés pour un montage direct sur les jeux de barres (figure 14.2).

Au départ, avant que les poignées actuelles n'aient été normalisées, les systèmes de manipulation (dispositif basculant) fixés par charnières ou les « couvercles des sectionneurs » étaient conçus uniquement en « poignées fusibles tripolaires » qui devaient éviter l'utilisation abusive et risquée de pinces pour extraire les éléments de remplacement de système de fusibles NH. Ces systèmes tripolaires existent toujours.

Ces appareils convenaient notamment à la coupure des circuits électriques, ce qui leur a valu la désignation de « sectionneur » pour la forme de construction avec trois fusibles juxtaposés. L'ajout de tôles d'extinction d'arc au cours d'une étape suivante du développement a permis d'atteindre des propriétés de coupure en charge et d'accroître encore davantage la sécurité de l'opérateur. Le terme « fusible-sectionneur NH » a été conservé dans le jargon pour désigner également ces appareils. Les fusibles-sectionneurs NH existent en version un à quatre pôles pour un montage sur des surfaces planes et en version à cavaliers pour un montage direct sur les jeux de barres, avec des distances de 40 mm et 60 mm entre les phases. Aujourd'hui, les fusibles-sectionneurs BT offrent un



Fig. 14.1 Sectionneur NH

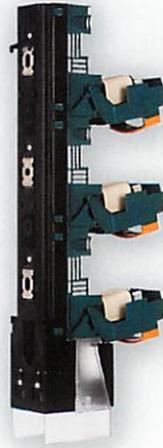


Fig. 14.2 Réglette à fusible sectionnable à coupure en charge NH

degré élevé de protection contre les chocs électriques et contre les influences d'arcs. Ils représentent d'autre part la réalisation de fusibles-interrupteurs-sectionneurs de système de fusibles NH la moins chère. switches Ce type de construction du fusible-sectionneur NH est principalement utilisé dans les applications individuelles ou comme interrupteurs principaux pour l'alimentation de systèmes de jeux de barres (figure 14.3).

14.2 Réglettes à fusibles pour éléments de remplacement à couteaux NH (sectionnables et à coupure en charge)

Les réglettes à fusibles pour éléments de remplacement à couteaux NH ont été développées vers le milieu du 20e siècle comme sectionneur tripolaire pour le montage et raccordement direct sur le jeu de barres. Depuis elles ont marqué, de manière décisive, la construction des installations de distribution (figures 14.3 et 14.4). Les réglettes à fusibles des tailles NH 00 à NH 3 ont été normalisées pour un entraxe de jeu de barres de 185 mm. La taille NH 00 existe également avec un entraxe de



Fig. 14.3 Tableau de distribution équipés de combinés-fusibles NH



Fig. 14.4 Tableau de distribution basse tension équipé de fusibles-interrupteurs-sectionneurs à réglettes pour système de fusible NH

100 mm. Durant les années 1970, cette forme de construction a été perfectionnée pour devenir un appareil de coupure en charge. Dans les réseaux publics de distribution d'électricité, on utilise principalement des appareils à un pôle (figure 14.2) alors que les appareils tripolaires dominent pour les applications industrielles.

Les fusibles-interrupteurs-sectionneurs à réglottes actuelles utilisent l'espace du jeu de barres de manière très efficace et sont donc utilisés dans les tableaux de distribution importants comportant beaucoup de départs (consommateurs). Leur largeur est de 50 mm pour NH 00 et de 100 mm pour NH 1 à NH 3. Les fusibles-interrupteurs-sectionneurs à réglottes pour système de fusible NH permettent de réaliser des distributions à basse tension particulièrement compactes, claires et économiques (figure 14.4).

La flexibilité du système de fusibles NH devient plus spécialement intéressante dans la construction des installations avec interrupteurs. La possibilité d'échanger les calibres des fusibles et les catégories d'emploi permet un large domaine d'applications à partir de la structure de base de l'installation. L'adaptation à différents consommateurs se fait aussi simplement sur les installations existantes par l'utilisation du fusible adapté. Il existe un grand nombre de différents éléments de remplacement à fusibles pour chaque taille (tableau 14.2 en annexe).

Remarque : il convient de remarquer que la puissance dissipée acceptable par les appareils ne doit pas être dépassée lorsque des fusibles autres que les fusibles gG sont utilisés. Si des éléments de remplacement de système de fusibles NH avec une puissance dissipée assignée P_v supérieure à celle indiquée sur les fusibles-interrupteurs-sectionneurs (par ex. fusibles gG 690 V, fusibles de protection de semi-conducteurs, etc.) sont employés, le courant thermique assigné I_{th} doit être réduit selon les indications du fabricant.

Au-delà des utilisations indiquées dans le tableau 14.2, les fusibles-interrupteurs-sectionneurs de système de fusible NH sont employés dans d'autres applications spéciales telles que mise à la terre et court-circuitage, raccordement de groupes électrogènes de secours, activités sous tension (v. point 16) ou pour la mesure et la surveillance (v. point 22). Ces avantages inestimables pour l'utilisateur font passer à l'arrière-plan le design, aujourd'hui démodé par rapport aux tendances actuelles, des éléments de remplacement de système de fusibles NH et des appareils à commande manuelle dépendante de l'opérateur, source de méfiance dans certains pays.

14.3 Interrupteurs-sectionneurs à fusibles

Ce type d'appareil est utilisé lorsque le système de fusible ne possède pas de contacts adaptés à la manœuvre (fusibles D, fusibles à capsules cylindriques, fusibles à pattes à visser, fusibles à platine,...) ou lorsque la manipulation doit être effectuée par des personnes non qualifiées ou des personnes moins habituées. Sur ces appareils, un **interrupteur à commande manuelle indépendante de l'opérateur** se charge de l'interruption du courant. Les fusibles sont montés en série avec l'interrupteur et sont uniquement accessibles hors charge ou entièrement hors tension. Les domaines d'utilisation typiques des Interrupteurs-sectionneurs à fusibles sont les installations de bâtiment et les distributions de courant sur les chantiers.

En Allemagne, l'interrupteur sectionneur à fusible D0 est le système le plus répandu ; il a été spécialement mis au point pour la protection avant le compteur dans les applications domestiques et a été normalisé dans la VDE 0638 (figure 14.5).

Les Interrupteurs-sectionneurs à fusibles sont d'autre part répandus dans les pays à systèmes de fusibles sans contacts à couteaux (fusibles à visser ou fusibles à capsules cylindriques). Pour la commande par des personnes non qualifiées, ils existent aussi avec des systèmes de fusibles NH (figure 14.6) et des systèmes de fusibles cylindriques.

Les Interrupteurs-sectionneurs à fusibles sont également fréquemment utilisés comme commutateurs entre deux sources d'alimentation (secteur et générateur de secours), et avec un entraînement à moteur comme commutateur de charge automatique. Ces appareils gagnent en importance lors du raccordement au secteur avec des dispositifs secondaires d'alimentation.

Dans les distributions de courant de plus grands complexes et d'installations industrielles, les interrupteurs sectionneurs à système de fusibles NH sont aussi utilisés sous la forme de barrette (figures 14.7 et 14.8). Les appareils sont disposés à l'horizontale, en tiroirs connectés à des jeux de barres

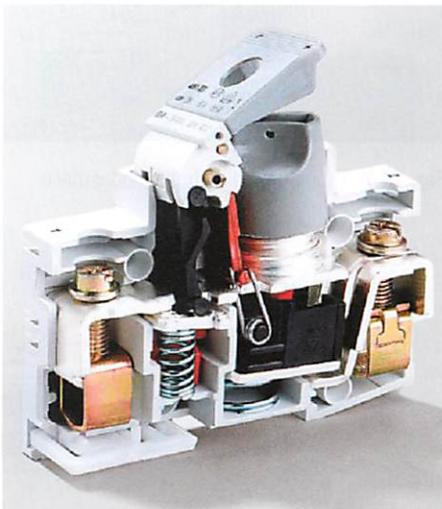


Fig. 14.5 Interrupteur sectionneur à fusible D0

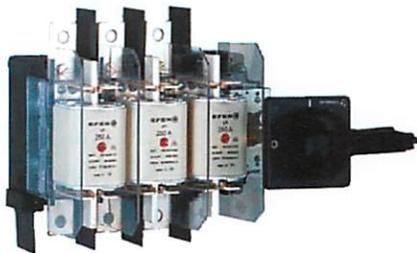


Fig. 14.6 Interrupteur sectionneur à fusible NH



Fig. 14.7 Tableau de distribution industrielle

verticaux, permettant ainsi une bien meilleure exploitation de la place qu'avec un montage vertical de réglettes à fusibles verticalement. Ils peuvent être actionnés par des personnes non habilitées ou automatiquement par un moteur et sont équipés de différents dispositifs de mesure et de surveillance.

Les principales caractéristiques du système sont la construction modulaire et le raccordement par connexion aux jeux de barres qui permettent le remplacement sans danger des différentes barrettes sans déconnecter les jeux de barres. La densité de concentration des appareils limitant le flux d'air vertical requiert cependant une attention particulière à l'échauffement des composants critiques (v. point 19.4).

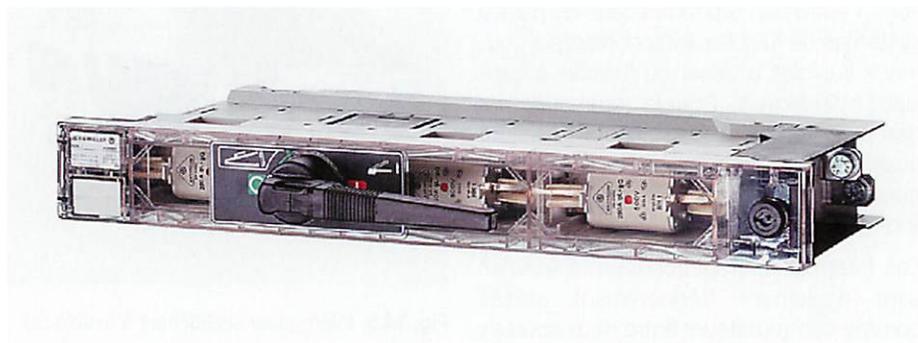


Fig. 14.8 Barrettes interrupteurs-sectionneurs (à coupure en charge) à fusibles NH

15 Combinés interrupteurs-fusibles haute tension pour courant alternatif

La norme CEI 62271-105 (allemande VDE 0671 partie 105) pour les combinés interrupteurs-fusibles HT pour courant alternatif est valable pour tous les ensembles fonctionnels constitués d'interrupteurs sectionneurs et de fusibles limiteurs de courant qui sont associés par le système de perceuteur.

Jusqu'en 1994, le comité national allemand compétent s'opposait à l'harmonisation de la norme internationale car elle ne correspondait pas à la pratique allemande et s'y opposait même. Rien n'a changé jusqu'à ce jour, sauf que, entre-temps, l'édition CEI a dû être reprise sans restrictions par rapport à l'ouvrage de prescriptions VDE. Même si les exigences principales de cette norme en matière de combinaisons ne jouent pour ainsi dire aucun rôle dans la pratique allemande, il faut en tenir compte ici, car il s'agit d'une norme allemande en vigueur qui laisse toujours et sans cesse planer le doute pour l'utilisateur.

La combinaison d'interrupteurs-fusibles pour courant alternatif avec des fusibles HT a fait ses preuves depuis de nombreuses années comme protection contre les courts-circuits et pour la déconnexion des transformateurs de distribution ; elle est donc largement répandue (figure 15.1). La norme VDE 0671 partie 105 définit maintenant ces associations comme un « appareil de coupure intégrale (full range) » qui doit pouvoir assurer la coupure tant des courants de surcharge que des courants de court-circuit jusqu'au pouvoir de coupure assigné des fusibles (figure 15.2).

Pour pouvoir remplir correctement ces exigences, la norme VDE 0671 partie 105 mise sur des tolérances de caractéristiques étroites qui ne peuvent être respectées qu'avec des fusibles provenant du

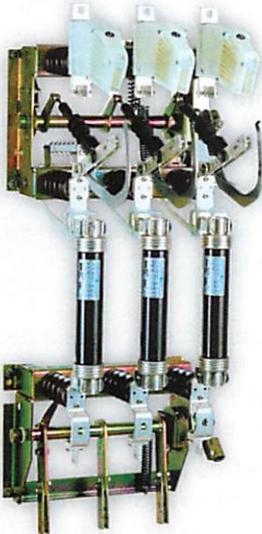


Fig. 15.1 Combinés interrupteurs-fusibles HT pour courant alternatif

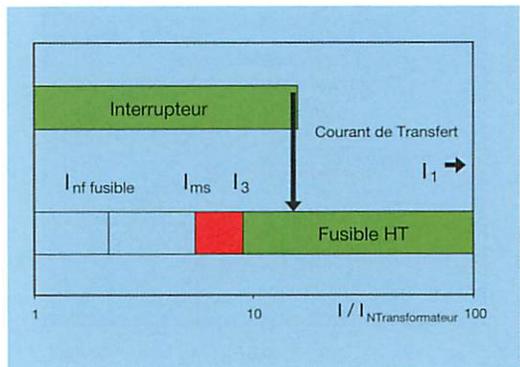


Fig. 15.2 Domaines de coupure de l'association interrupteurs-fusibles

même fabricant et du même type, installés dans les trois phases. Même lors d'un remplacement de fusible, seuls les types de fusibles référencés dans les listes des fabricants d'appareils de coupure peuvent être utilisés.

Il en résulte en plus des contrôles très complexes et des exigences posées aux fusibles qui ne seraient pas nécessaires lors d'une pure protection contre les courts-circuits, telle qu'elle est habituelle dans les réseaux allemands de distribution.

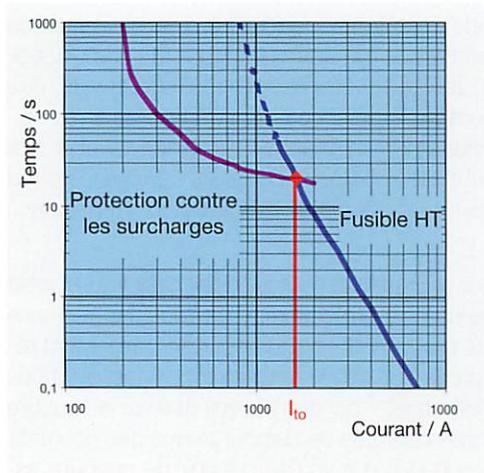


Fig. 15.3 Courant d'intersection

a) Courant d'intersection (take-over current)

Dans le cas d'interrupteurs à déclencheur à maximal de courant, les fusibles se chargent de la protection backup de l'interrupteur. La fonction coupure est assurée par l'interrupteur jusqu'au courant d'intersection I_{to} , puis par les fusibles au delà de ce courant correspondant au point d'intersection des deux caractéristiques (figure 15.3).

Le courant d'intersection I_{to} de l'association interrupteur-fusible doit être inférieur au pouvoir de coupure de l'interrupteur.

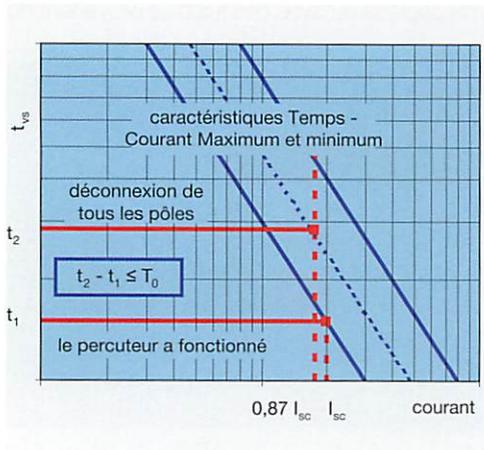


Fig. 15.4 Détermination du courant de transfert

b) Courant de transfert (transfer current)

Le courant de transfert de l'association interrupteur-fusible doit être inférieur au pouvoir de coupure de l'interrupteur.

Dans le cas d'interrupteurs à déclenchement libre, la fonction coupure passe de l'interrupteur aux fusibles au courant de transfert $I_{transfer}$.

Le transfert de la fonction coupure a lieu selon les tolérances des caractéristiques temps/courant. Dans un circuit triphasé, dès que le plus rapide des trois fusibles a déclenché l'ouverture de l'interrupteur par le fonctionnement

du perceuteur, la fonction coupure pour les deux phases restantes est transférée à l'interrupteur ou au prochain fusible, selon que celui-ci fond plus rapidement ou que l'interrupteur ouvre plus rapidement. La détermination du courant de transfert se fait dans le cadre d'une méthode simplifiée selon la figure 15.4.

- Le courant de court-circuit triphasé I_{SC} fait fondre le fusible et déclenche le perceuteur de la phase la plus rapide (tolérance minimale de la caractéristique temps/courant) au point t_1 .
- Le courant de défaut s'établit entre deux phases avec une intensité de $0,87 I_{SC}$.
- Le deuxième fusible le plus rapide (caractéristique moyenne temps/courant) coupe le court-circuit sur toutes les phases au temps t_2 .
- La différence de temps $t_2 - t_1$ entre le déclenchement du perceuteur et la déconnexion de toutes les phases doit être inférieure au temps d'ouverture de l'interrupteur T_0 .

Basé sur différentes suppositions simplifiées, le courant de transfert se calcule comme courant qui fait fondre le fusible le plus rapide au point $0,9 T_0$:

$$I_{\text{transfer}} = I_{(0,9 T_0)} \text{ (tolérance minimale de la caractéristique de temps/courant)}$$

En règle général, les fabricants de fusibles n'indiquent pas les tolérances minimales et maximales de la caractéristique temps/courant, mais la caractéristique moyenne. Cette formule n'est donc pas utilisable pour l'utilisateur. L'auteur estime donc qu'une autre simplification sur la base de la caractéristique temps/courant est autorisée, laquelle est considérablement plus simple à utiliser :

$$I_{\text{transfer}} = I_{(T_0)} \text{ (caractéristique moyenne temps/courant)}$$

c) Durée d'arc admissible

Ce terme et les essais correspondants figurent depuis peu dans la norme VDE 0670 partie 4 relative aux fusibles HT du point de vue de l'utilisation dans des combinés interrupteurs-fusibles et pour la coordination avec la norme VDE 0671 partie 105. Il se réfère à la fusion des fusibles pour des courants inférieurs à leur zone de coupure. Le fusible doit pouvoir résister à un arc intérieur avec une intensité approximative de I_3 , pendant 100 ms sans dommage externe.

Le fusible doit être capable de supporter l'arc sans être endommagé pendant une durée maximale qui doit être supérieure au temps d'ouverture de l'interrupteur à partir du fonctionnement du perceuteur.

Ce justificatif n'est pas nécessaire ni dans le cas d'associations d'interrupteurs avec des fusibles à zone de coupure intégrale (full range) ou des fusibles à zone de coupures multiples (general purpose) ni dans le cas de fusibles à zone de coupure partielle (backup) lorsqu'ils sont équipés de déclencheur thermique.

16 Fusibles sécurisés pour la protection des travailleurs - Pour minimiser les risques

Les travaux sous tension sont autorisés et réglementés par des prescriptions sévères (BGV A3, § 8) et sont une pratique quotidienne pour beaucoup d'exploitants de réseaux,

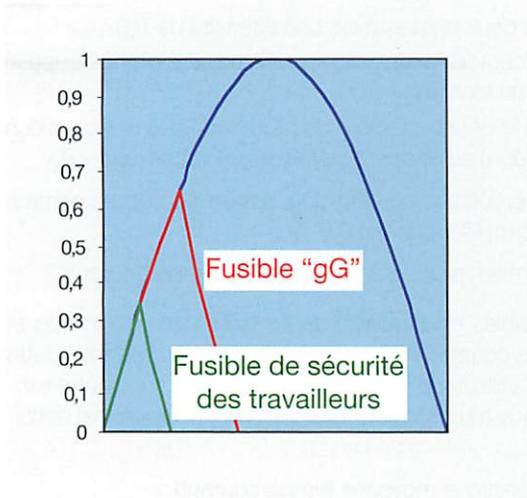


Fig. 16.1 Limitation de courant

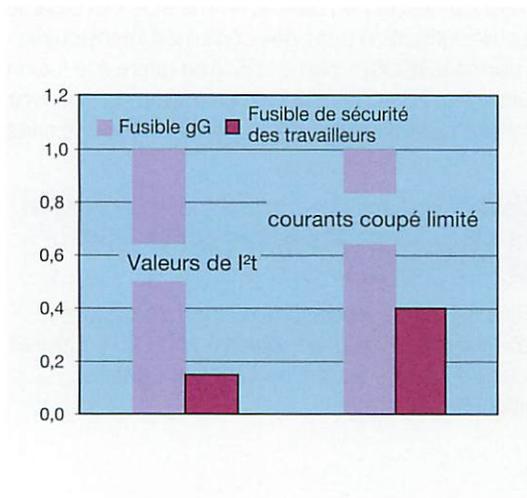


Fig. 16.2 Valeurs de courant coupé limité

notamment sur le réseau basse tension. Une protection suffisante contre les chocs électriques, ou contre la formation d'un arc est assurée par des mesures de sécurité techniques, organisationnelles et personnelles. Les risques encourus par les personnes en cas d'accident électrique peuvent être encore minimisés par l'utilisation de ce que l'on appelle des fusibles sécurisés pour la protection des travailleurs. Les fusibles de protection des travailleurs sont des fusibles ultra-rapides, de catégories d'emploi aR, gR ou gS ; ils sont utilisés pendant la durée des travaux sous tension à la place des fusibles de protection de ligne de la catégorie d'emploi gG. En cas de défaut, ils limitent le courant de défaut maximal (courant coupé limité) à moins de sa moitié (figure 16.1) et l'énergie de l'arc à environ un dixième des valeurs obtenues avec des fusibles gG de protection de lignes (figure 16.2).

Les fusibles pour la protection des travailleurs ont une puissance dissipée d'environ le double de celle des fusibles gG et conviennent donc uniquement à une utilisation temporaire. Ils peuvent bien sûr être réutilisés plusieurs fois aussi longtemps qu'ils n'ont pas fondus ou été endommagés d'une manière quelconque. Compte tenu des transports fréquents dans les véhicules de maintenance, il est

préférable de choisir une exécution robuste avec des vis de fermeture et fixation des raccordements qui résistent aux secousses et vibrations.

Les travaux sous tension doivent éviter des interruptions de courant. C'est pourquoi les fusibles pour la protection des travailleurs doivent aussi être remplacés par des fusibles gG de protection de lignes sans interruption du circuit électrique. Il convient d'utiliser pour cela des appareils bypass (figure 16.3) avec des broches à contact à ressort qui sont mises en place sur les raccords ou sur les contacts du socle du fusible installé.

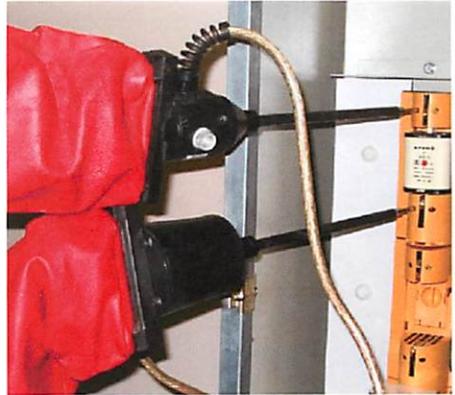


Fig. 16.3 Maintenance avec appareil bypass

Le fusible monté dans le bypass peut supporter le courant d'emploi pendant env. 30 s à deux minutes. Le remplacement du fusible doit être effectué à nouveau pendant ce laps de temps.

17 Montage de fusibles en parallèle

– Pour accroître la plage de courant nominal

Le montage en parallèle de fusibles BT ou HT est une pratique courante pour étendre la plage de courant assigné d'un type de fusible. Un tableau de distribution basse tension peut par ex. être conçu de manière plus compacte lorsque deux réglettes NH 3 sont utilisées en parallèle (« réglettes jumelées ») à la place d'une barrette NH 4a (figure 17.1). Sur les éoliennes, il est également pratique courante de monter en parallèle plusieurs réglettes de système de fusibles NH côté basse tension. Le montage de fusibles HT en parallèle sur les circuits de courant moteur est également une pratique habituelle. Si les porte-fusibles adéquats ne sont pas achetés complètement assemblés par le fabricant, certaines règles et remarques importantes doivent être observées pour le raccordement en parallèle des systèmes de fusibles :

- Les éléments de remplacement doivent être du même type, de la même taille, avoir les mêmes données assignées et être de préférence totalement identiques.
- Les câbles d'alimentation amont et aval doivent assurer une répartition de courant uniforme. Dans le cas de câbles plus



Fig. 17.1 Barrette jumelée

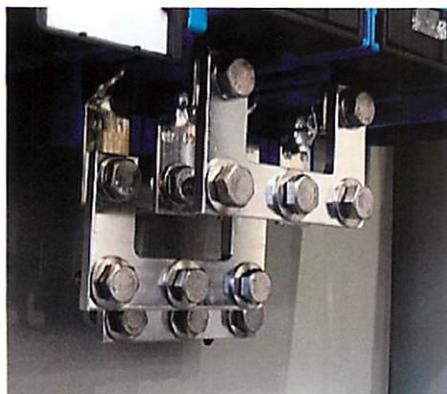


Fig. 17.2 Plaque de raccordement de câbles

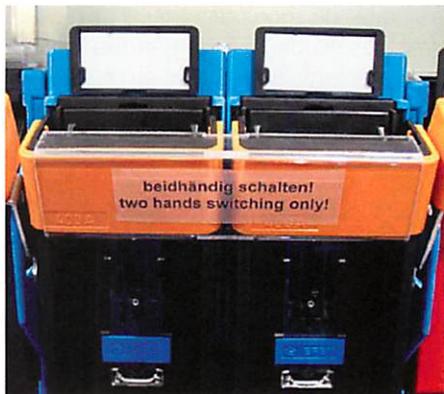


Fig. 17.3 Poignées couplées

longs, il est recommandé de procéder à d'autres mesures. En alternative, les raccordements des câbles des réglettes sont interconnectés (figure 17.2). Néanmoins dans ce cas, les câbles raccordés ne sont cependant pas protégés individuellement mais seulement ensemble.

- Les fusibles-interrupteurs-sectionneurs à système de fusibles NH raccordés en parallèle devraient avoir des poignées de commande couplées mécaniquement et pouvoir être actionnés sans effort excessif (figure 17.3).
- Le courant assigné de n éléments de remplacement en parallèle est, en raison d'une répartition de courant irrégulière, toujours inférieur au total des courants assignés $n \times I_n$.
- L'intégrale de fusion de n éléments de remplacement en parallèle s'élève à environ $n^2 \times I^2 t$ des fusibles individuels.
- Le courant coupé limité de n éléments de remplacement en parallèle s'élève à environ $n \times I_c$ des éléments de remplacement individuels lors d'un courant de court-circuit présumé I_p / n .
- Le pouvoir de coupure de l'association de n éléments de remplacement en parallèle ne peut pas être supérieur à I_1 d'un seul fusible.
- Dans le cas des fusibles HT à zone de coupure partielle (backup), le courant minimal de coupure n'est pas inférieur à $n \times I_3$. Pour les fusibles BT à zone de coupure partielle (backup) ou multiple (general purpose), le courant minimal de coupure n'est pas inférieur à $n \times k_2 I_n$.
- Pour déterminer l'échauffement, il faut considérer le courant d'emploi total circulant dans les n appareils en parallèle car il ne s'agit que d'un seul circuit de charge.

Remarque : des facteurs de charge plus faibles pour le contrôle de l'échauffement, tels que prévus par ex. par la norme VDE 0660 partie 500 des combinés-fusibles basse tension ne sont pas applicables (v. point 19.4).

18 Montage de fusibles en série

– La plupart du temps sans utilité

Contrairement au montage en parallèle, le domaine des applications, et plus spécialement la tension assignée nominale des fusibles, ne peut pas être augmentée par leur montage en série. En raison des inévitables tolérances des produits, il faut toujours partir du principe que, lors du montage en série des mêmes fusibles, chaque fusible individuel doit maîtriser l'interruption du courant sous la pleine tension de rétablissement. Le domaine de fonctionnement des fusibles ne peut donc pas être étendu par leur montage en série.

Dans le cas de sélection des fusibles de protection des semi-conducteurs, les fabricants acceptent l'augmentation de la tension assignée par un montage en série lorsqu'ils sont certains que le courant présumé de court-circuit aboutit à des durées de fusion très courtes (par ex. < 10 ms). Il est recommandé de prendre contact avec le fabricant pour obtenir son autorisation.

19 Conditions environnantes

– Lorsque les conditions ne sont pas normales

Les normes relatives aux fusibles définissent les conditions environnantes normales sous lesquelles le fusible doit fonctionner correctement. Ceci comprend la température ambiante et les autres conditions atmosphériques. Bien que les fusibles soient tolérants envers les écarts des conditions normales, il est recommandé de tenir compte des points suivants et, en cas de conditions d'exploitation très différentes, de se renseigner auprès du fabricant. Nous présentons ici quelques différences se produisant fréquemment :

19.1 Températures ambiantes > 40 °C

Elles ne représentent aucune entrave importante pour le fonctionnement des fusibles à zone de coupure partielle (à associer). Leur comportement reste pratiquement inchangé lors de la coupure (fusibles HT de la figure 19.2). Pour des températures de fusion des éléments fusibles de 960 °C (argent) ou 1 080 °C (cuivre), les différences de températures ambiantes sont négligeables pour le comportement de fusion des fusibles. Il faut cependant tenir compte des températures limites respectives des contacts et des raccordements qui peuvent limiter les courants d'emploi admissibles. La figure 19.1 représente les courbes de réduction du courant pour différentes températures de contacts et d'air ambiant de fusibles HT :

- Contacts élastiques:
 - surface étamée (95 °C),
 - surface nickelée (105 °C).

- Contacts boulonnés:
surface argentée ou nickelée (115 °C).

D'autres valeurs limites de température sont valables pour les contacts graissés ou avec d'autres traitements de surface. Les courbes de réduction du courant se présentent de manière similaire.

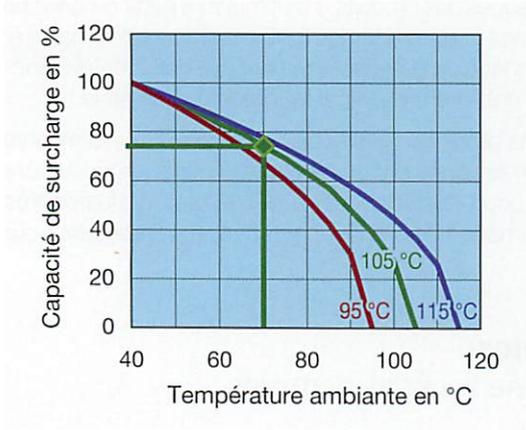


Fig. 19.1 Déclassement du courant d'emploi des fusibles HT

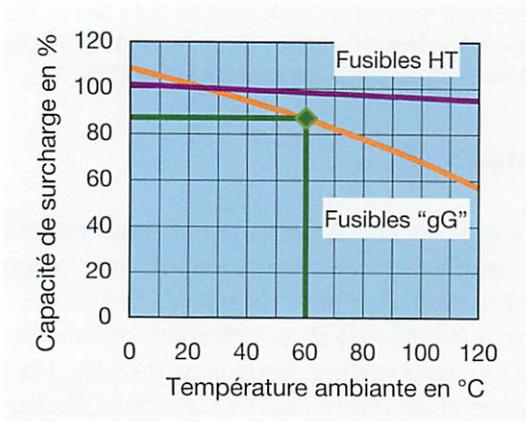


Fig. 19.2 Déclassement du courant d'emploi de fusibles de puissance

Remarque : Bien que le déclassement du courant semble très important à des températures environnantes élevées, ce n'est pas aussi important que cela le semble à première vue. Si l'on tient compte que les fusibles HT sont généralement utilisés à la moitié de leur courant assigné, les facteurs de réduction ne doivent être que rarement appliqués.

Dans le cas de fusibles à zone de coupure intégrale (par ex. fusibles gG) avec des températures de fusion de l'élément fusible inférieures à 200 °C, on obtient un décalage des caractéristiques temps/courant vers les plus faibles courants de fusion et donc une possibilité de courant d'emploi sensiblement plus faible à des températures plus élevées. Les courbes de déclassement du courant d'emploi de la figure 19.2 sont valables pour les fusibles lors d'une convection libre de l'air ambiant autour de l'élément de remplacement. Il faut considérer les cas de façons différents selon que la convection est restreinte ou que la ventilation est forcée dans des petits boîtiers (v. points 19.3 et 19.4).

19.2 Températures ambiantes < 5 °C

Elles sont moins critiques pour les fusibles. Les durées de fusion des fusibles à zone de coupure intégrale augmentent légèrement ; dans le cas de fusibles à zone de coupure partielle, l'effet est négligeable.

Les éléments en matière plastique peuvent devenir fragiles et peuvent se rompre plus facilement lors d'un choc (préhenseurs de fusibles et pattes d'accrochage !).

Les températures ambiantes basses ont des répercussions généralement positives sur le courant acceptable dans les fusibles et les combinés-fusibles.

19.3 Fusible HT en puit-fusible (boîtier unipolaire)

Le courant acceptable des fusibles HT dans des petits boîtiers et des fourreaux ne peut être déterminé que par des mesures de l'échauffement. Le courant est théoriquement limité par la température de contact maximale admissible. Dans la pratique, la plus grande partie de la chaleur des fusibles installés dans les puits-fusibles est dissipée par rayonnement sur les parois du puit dont la capacité thermique limite le courant d'emploi du fusible. Les fabricants d'appareillage isolé au SF₆ indiquent donc des puissances maximales acceptables par les puits-fusibles, qui ne doivent pas être dépassées lors d'un fonctionnement normal.

Les endommagements thermiques des puits-fusibles pouvant être provoqués par des fusibles pré-endommagés avec des éléments fusibles individuels rompus peuvent être évités avec des systèmes de percuteurs spéciaux à déclenchement thermique en combinaison avec le déclenchement libre d'un interrupteur sectionneur associé (v. point 11.4).

19.4 Système de fusibles NH en boîtiers

Lors d'une accumulation de fusibles et d'autres appareils dissipant de la chaleur dans un boîtier, la taille du boîtier et le type de refroidissement limitent le courant d'emploi. L'essai d'échauffement selon la VDE 0660 partie 500 « combinés-fusibles basse tension », tient compte de ce que tous les circuits ne sont généralement pas pleinement sollicités simultanément. En fonction du nombre de circuits un facteur de charge < 1 est appliqué lors des tests d'échauffement (tableau 19.1). Ce facteur s'applique lorsque le fabricant de l'installation ne fournit aucune autre valeur.

Nombre de circuits	Facteur de charge
1	1
2 - 3	0,9
4 - 5	0,8
6 - 9	0,7
≥ 10	0,6

Tableau 19.1 Facteurs de charge dans les tableaux et coffrets de distributions

Remarque : dans le cas des stations d'alimentation, par ex. d'éoliennes et de systèmes photovoltaïques dans lesquels plusieurs circuits en parallèle sont soumis à la même valeur de courant et en même temps, l'application d'un facteur de charge < 1 n'est pas autorisée pour réaliser l'essai d'échauffement !

Le courant de charge des systèmes de fusibles NH dans des boîtiers à grande concentration d'appareils et à dissipation de chaleur réduite ne peut également être déterminée que par des mesures de l'échauffement. Les limites d'échauffement spécifiées dans les normes correspondantes ne sont généralement pas utilisables. Ni la température maximale admissible de l'air (40 °C) mesurée à une distance d'un mètre, ni l'échauffement limite des raccordements des conducteurs (65 K) déterminé par l'utilisation de conducteurs isolés avec du PVC ne conviennent pour déterminer le courant de charge des fusibles.

Sur certains types de réglettes et socles, notamment sur ceux destinés à un montage direct sur jeu de barres (CEI 60269-2, systèmes de fusibles C et D), les bornes de raccordement des conducteurs sont pour ainsi dire découplées thermiquement des fusibles par des alimentations de barres longues. La température de raccordement des conducteurs ne permet naturellement pas de définir le courant de charge des éléments de remplacement.

Remarque : la norme VDE 0636 avait défini au niveau national une température limite de 55 °C pour l'air qui entoure directement les fusibles gG installés dans un boîtier, température à laquelle les fusibles ne doivent pas fonctionner. Cette valeur ne figure pas dans la norme internationale et a de ce fait disparu de la norme VDE 0636.

Étant donné qu'il n'existe pas de règle générale de calcul du courant de charge dans les systèmes de fusibles NH dans des applications réelles, la directive CEI DTR 60269-5 (projet VDE 0636 partie 5) a été créée par le sous-comité CEI SC 32 B. Dans cette directive, la température des couteaux des systèmes de fusibles NH de la catégorie d'emploi gG est proposée comme critère d'appréciation et fondée comme suit :

- le courant de charge maximal des systèmes de fusibles NH en service est déterminé par la température de l'élément fusible,
- les couteaux des fusibles sont les points se trouvant au plus près des éléments fusibles et bien accessibles pour une mesure de la température,
- les contacts des couteaux massifs sont étroitement couplés avec les éléments fusibles sur le plan thermique et permettent une détermination fiable de la température,
- cette méthode est applicable pour toutes les formes de fusibles et conditions de montage,
- les systèmes de fusibles NH de la catégorie d'emploi gG sont si étroitement définis dans la norme qu'ils se comportent de manière pratiquement similaire, indépendamment du fabricant.

Le groupe de travail propose pour les fusibles gG une **température limite de 130 °C** (les discussions ont également porté sur une valeur plus faible de 120 °C.) qui ne doit pas être dépassée pendant le contrôle de l'échauffement sous le courant d'emploi assigné conformément à la norme applicable pour l'installation.

L'opinion commune est que le fonctionnement permanent à ces températures peut contribuer à diminuer la durée de vie attendue des fusibles et entraîner leur fonctionnement prématuré. S'il faut s'attendre à ce que le courant permanent en service ne dure pas seulement quelques heures mais pendant **plus longtemps, une température limite de 100 °C devrait être respectée.**

Dans le cas d'autres types de fusibles, notamment ceux à contacts à visser et ceux à capsules cylindriques, d'autres températures limites peuvent être appliquées et elles doivent être clarifiées avec le fabricant.

19.5 Humidité et pollution

Elles n'altèrent pas le fonctionnement des fusibles. De fortes salissures et de l'humidité peuvent toutefois réduire les distances d'isolement et accélérer la formation de rouille.

Dans le cas ou des éléments de remplacement de systèmes de fusibles NH doivent être utilisés avec un degré de pollution ≥ 3 (VDE 0110 partie 1), par ex. les câbles de distribution dans les armoires soumises au sel d'épandage, des essais plus sévères de tenue à la corrosion peuvent être envisagés selon la norme VDE 0636 partie 201.

19.6 Atmosphères corrosives (contacts nickelés)

Les atmosphères à forte teneur en soufre ou en ammoniac dans les entreprises chimiques ou dans les élevages d'animaux menacent les contacts argentés par une corrosion accrue. Sous de telles conditions, des contacts étamés ou nickelés sont mieux appropriés. L'étamage est choisi pour les contacts à visser tandis que le nickelage est adapté aux contacts glissants. Il convient toutefois de respecter des températures limites plus faibles pour ces surfaces de contact. Elles requièrent généralement un facteur de réduction qui exclut pratiquement la plus forte intensité de courant assigné de chaque taille de fusible. Cependant, seule la protection backup constitue une exception, par ex. dans les installations de correction du facteur de puissance. Comparés à des surfaces de contact argentées, les contacts nickelés dans les socles BT ou dans l'appareillage requièrent une pression de contact accrue.

Remarque 1 : les installations de compensation du facteur de puissance dans les entreprises à atmosphère corrosive se sont avérées particulièrement critiques car la capacité thermique plus basse des contacts nickelés est confrontée à une sollicitation de courant supplémentaire par les harmoniques supérieures. Dans de telles installations, un courant assigné de fusible si possible élevé devrait être choisi (v. aussi points 10.8 et 20).

Remarque 2 : la température limite pour les contacts nickelés n'est pas clairement définie dans la norme VDE 0636. D'une part, l'échauffement limite de 70 K est indiqué, d'autre part, elle est supprimée dans une note en bas de page et remplacée par la mention : « uniquement limité par la prescription qu'aucun dommage ne soit causé aux éléments voisins ». Les contacts nickelés devraient ainsi être considérés comme similaires aux contacts argentés du point de vue de l'échauffement. L'expérience malheureuse faite par de nombreux fabricants et utilisateurs se répercute dans la norme VDE 0636 partie 3 des systèmes de fusibles D qui n'autorise les contacts nickelés que pour de faibles courants assignés. À partir d'un courant assigné de 63 A, les contacts argentés sont prescrits en raison des températures plus élevées attendues en fonctionnement.



Fig. 19.3 Contact de fusible HT verrouillé

19.7 Vibrations et chocs inhabituels

Si une sécurité particulière est requise contre la chute des éléments de remplacement de leurs supports, par ex. en raison de vibrations, des éléments de remplacement à contacts à vis ou bloqués dans les supports (contacts verrouillés figure 19.3) ou encore des préhenseurs sont utilisés. De telles conditions particulières peuvent être rencontrées dans des régions exposées à un risque sismique, sur des bateaux et dans des véhicules sur rails. Des exigences particulières et des contrôles spéciaux doivent être convenus entre les fabricants de fusibles et les exploitants de l'installation.

20 Puissance dissipée

– Plein de préjugés

Les fusibles sont supposés engendrer, par erreur, des valeurs importantes de « puissance dissipée ». Ceci est peut-être dû au fait que les profanes mais aussi des spécialistes se sont déjà brûlé les doigts au moment du remplacement inattentionné de fusibles et que cet incident est mis sur le compte du fusible plutôt que sur celui de l'homme. Les fusibles fonctionnent bien sûr sur le principe de l'échauffement d'éléments et ont besoin de puissance électrique pour atteindre la température nécessaire à leur fusion. Comparés aux dispositifs de protection électromécaniques ou électroniques, les fusibles sont cependant identiques du point de vue de la puissance dissipée et sont même parfois plus avantageux. La figure 20.1 dresse la comparaison des puissances dissipées d'une sélection de disjoncteurs principaux (disjoncteurs SH) et de système de fusibles NH.

En vérité, aucune remarque sur la puissance dissipée par les appareils en service ne figure parmi les critères caractéristiques de la norme sur l'appareillage basse tension VDE 0660 partie 100, bien que les concepteurs d'installation en aient en général besoin pour les calculs thermiques. En ce qui concerne les fusibles, l'indication de la puissance dissipée est obligatoire et les valeurs maximales sont définies dans les normes correspondantes. Dans la pratique, les valeurs réelles publiées par les fabricants sont significativement en dessous des valeurs de la norme.

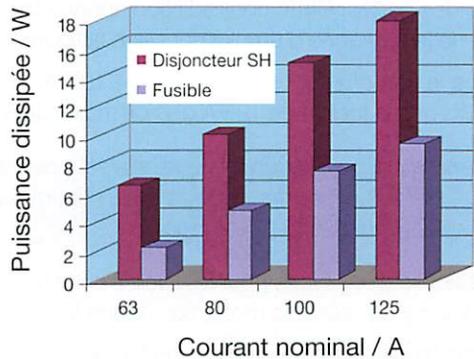


Fig. 20.1 Puissance dissipée

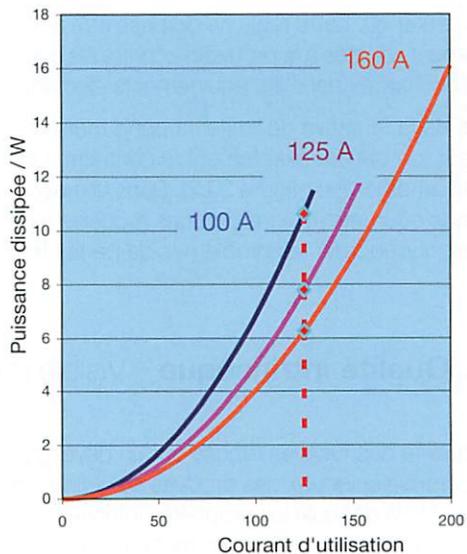


Fig. 20.2 Puissance dissipée de différentes intensités nominales de fusibles NH

Les dommages thermiques sur les fusibles ou les éléments voisins se produisent de temps à autres et sont rarement dûs au mauvais fonctionnement du fusible mais plutôt à une fausse compréhension de la signification de la « puissance dissipée assignée » des éléments de remplacement. Une valeur de puissance dissipée assignée plus élevée ne signifie pas obligatoirement un échauffement plus élevé en fonctionnement. C'est exactement le contraire qui se produit lorsqu'il s'agit de fusibles avec différents courants assignés. Pour un même courant d'emploi dans une installation, le fusible avec le plus petit courant assigné (et donc la plus petite puissance dissipée assignée) génère les plus grandes pertes. Cette contradiction apparente est présentée dans l'exemple de fusibles NH de la catégorie d'emploi gG selon la figure 20.2 :

Dans le cas d'un courant assigné de 125 A, un fusible de 100 A dissipe plus de 10 W tandis que le fusible de 125 A dissipe moins de 8 W et le fusible de 160 A seulement 6 W.

Remarque : à chaque fois que cela est possible, la préférence doit donc être donnée aux fusibles présentant le plus grand courant assigné pour les installations dans lesquelles l'échauffement est crucial.

Les applications types pour lesquelles cette règle s'applique concernent tous les circuits, pour lesquels, seule la protection contre les courts-circuits est requise, par ex.

- fusibles HT dans les enceintes fermées,
- fusibles de protection de condensateurs dans des réseaux à courants harmoniques,
- fusibles de protection de circuits moteurs et
- agglomeration of fuses in enclosures in general.

Bien entendu, cette règle ne doit pas être appliquée lorsque les fusibles ne sont pas uniquement affectés à la protection contre les courts-circuits mais aussi à la protection contre les surcharges dans les équipements électriques, par ex. la protection des câbles.

Lors de la tentative de limiter la perte thermique par l'utilisation de fusibles de calibre inférieur, on obtient exactement le contraire. Les problèmes d'échauffement sont uniquement amplifiés (voir figure 20.2). Dans la mesure où cela est possible, des fusibles de plus grands courants assignés ou des modèles à pertes moins importantes représentent une aide pour aborder les problèmes de pertes thermiques.

21 Qualité intrinsèque – Visible de l'extérieur

La qualité des fusibles repose sur un développement de produit performant, un choix et un contrôle soigneux des produits semi-finis utilisés et des opérations d'assemblage précises. De là découle les propriétés intrinsèques et la qualité qui sont invisibles et inaccessibles à l'utilisateur. Contrairement aux autres appareils techniques un contrôle du fonctionnement des fusibles est naturellement exclu. C'est pourquoi tout utilisateur responsable devrait prendre en compte la connaissance de l'aptitude à la qualité et la fiabilité du fabricant avant la considération du prix.

L'ouverture des éléments de remplacement des systèmes de fusibles D, cylindriques et HT n'est absolument pas possible sans les détruire ; seule l'ouverture des systèmes de fusibles avec embouts vissés tels que NH semble possible. En réalité, une perte de sable et des endommagements invisibles sur les éléments fusibles et le système indicateur peuvent se produire avec des conséquences très dangereuses sur le fonctionnement du fusible. Si un utilisateur dévisse un élément de remplacement de système de fusible par curiosité ou pour contrôler sa qualité, celui-ci ne doit ensuite en aucun cas être utilisé ou jeté à la poubelle mais remis à une collecte !

Les utilisateurs de fusibles peuvent toutefois trouver des indices importants sur la qualité du produit et le soin apporté à sa fabrication, basés sur de petits critères extérieurs, sans utiliser un appareil de radiographie X et sans démontage. Vous ne devriez donc pas hésiter à effectuer un contrôle de l'élément de remplacement du fusible avant de l'utiliser.

- **Le contrôle par agitation :** les fusibles ne sont pas des hochets ! Si, en cas de légères secousses, des mouvements de sable peuvent être entendus ou perçus à l'intérieur du fusible, celui-ci est alors inutilisable. Un amas de sable dans l'emballage signifie que le fusible comporte des fuites inacceptables.
- **Le contrôle par écoulement :** les fusibles ne sont pas des sabliers ! Si du sable s'échappe par les ouvertures de l'indicateur ou d'autres endroits, le fusible est alors inutilisable.
- **Le contrôle par effleurement :** Si l'on se pique en passant le doigt sur le corps isolant, sur des extrémités de fil dépassant ou si l'on reste accroché sur des couvercles de fermeture ou sur les contacts des capsules d'embouts, des doutes peuvent être émis quant au soin apporté au montage et donc au bon fonctionnement. Les extrémités de fil dépassant peuvent considérablement réduire les distances d'isolement et favoriser les courts-circuits entre phases. Les arêtes vives en haut ou en bas des contacts des couteaux ne sont pas acceptables. Elles endommagent les contacts du support lors de la mise en place de l'élément de remplacement et peuvent arracher les traitements de surface des contacts lors de son extraction.
- **Le contrôle par essuyage :** si l'impression est partiellement effacée et si elle se laisse facilement effacer par frottement (humide), cela signifie que le fabricant n'a pas apporté le soin nécessaire.
- **Le contrôle de la rouille :** des vis rouillées ou même desserrées peuvent signifier un stockage inapproprié et une vie antérieure éventuellement « agitée » – Il est préférable de ne pas utiliser de tels fusibles !

Les contacts argentés ternis par oxydation ne représentent par contre aucun risque du point de vue technique même s'ils ne sont pas esthétiques. Cet aspect se produit lors d'un stockage non protégé dans une atmosphère industrielle ou dans des emballages en carton à teneur en soufre.

22 Systèmes de fusibles intelligents

– Les fusibles peuvent aussi communiquer

L'automatisation progressive des installations électriques s'accompagne d'exigences croissantes de communication pour les dispositifs de commande et de protection, c'est-à-dire d'envoyer et même de recevoir et de traiter des informations sur de plus longues distances. On ne peut pas attendre des fusibles l'intelligence d'un microprocesseur mais des moyens de communication de nombreux systèmes de fusibles ont été développés au fil du temps. Comme la figure 1.2 permet de le constater, la signalisation de l'état de fonctionnement était déjà une caractéristique essentielle dès le tout début des fusibles. Le voyant indicateur a été, dès le départ, un composant indissociable des systèmes de fusibles de puissance, depuis les fusibles domestiques jusqu'aux fusibles à haute tension.

Étant donné que le fusible ne peut avoir que deux états de fonctionnement, le voyant indicateur fournit donc une information suffisante. L'inconvénient est que l'utilisateur doit aller chercher l'information sur place, ce qui ne suffit plus aux exigences des systèmes de surveillance et de pilotage (monitoring) modernes.

Que fallait-il prévoir de plus sinon que d'offrir un peu plus d'énergie aux voyants indicateurs pour actionner un microcontact pour une télésignalisation à distance ou pour commander automatiquement d'autres opérations de coupure (figure 22.1) ? Le microcontact monté sur l'élément de remplacement des fusibles avec contacts à visser qui n'ont pas besoin de pattes d'accrochage. Une patte d'accrochage sur le côté du voyant indicateur sert de support au microcontact qui est actionné par le voyant indicateur.

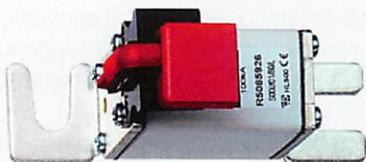


Fig. 22.1 Montage de microcontact



Fig. 22.2 Fusible NH avec indicateur percuteur

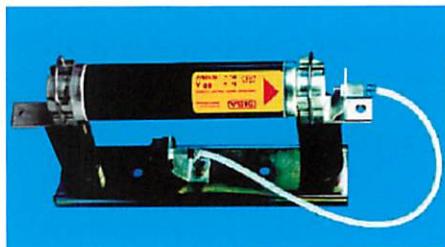


Fig. 22.3 Fusible HT avec dispositif de télésignalisation

être installés ultérieurement dans les tableaux de distribution ouverts. Les éléments de remplacement des systèmes de fusibles BT à percuteurs intégrés (figure 22.2) sont maintenant considérés dans la norme CEI 60269 (VDE 0636). Ceci facilite le positionnement des microcontacts montés sur les socles ainsi que l'approvisionnement en pièces de rechange. Des contacts de télé-signalisation à potentiel libre (haut niveau d'isolement) sont également disponibles pour les fusibles HT (figure 22.3).

L'appareillage fusible compact peut être également équipé de microcontacts quoique que ce soit difficile. C'est pourquoi des dispositifs électroniques de surveillance de fusibles sont utilisés de manière croissante sur les fusibles-interrupteurs-sectionneurs BT et les fusibles-interrupteurs-sectionneurs à réglettes BT. Ils comparent les tensions côté aval et côté amont des fusibles et signalent les interruptions par des LED et des contacts de relais.

Dans le cas des fusibles-interrupteurs-sectionneurs à réglettes BT, ils sont montés à leur extrémité supérieure ou à l'extérieur sur un rail chapeau. Les prises de tension se font sur les contacts de socles fusibles.

Remarque : les fils d'alimentation entre les prises de tension et le système de surveillance électronique des fusibles doivent être à haut niveau d'isolement et résister aux courts-circuits !

Sur les fusibles-interrupteurs-sectionneurs BT, les dispositifs de surveillance électroniques des fusibles sont montés sur le couvercle préhenseur (support de l'élément de remplacement). Les tensions sont prises sur les pattes d'accrochage (figure 22.4). Les installations existantes peuvent en être facilement équipées en remplaçant le couvercle préhenseur du fusible-interrupteur-sectionneurfusible-interrupteur-sectionneur.

Remarque : le fonctionnement de ce dispositif de surveillance de fusible est uniquement garanti pour des pattes d'accrochage conductrices de tension et à contact direct avec les parties actives des éléments de remplacement. Selon la norme VDE 0636 des fusibles, les pattes d'accrochage insuffisamment isolées sont considérées comme « sous tension ». Pour éviter des mauvais fonctionnements, le fabricant de fusibles doit être interrogé sur la possibilité d'utilisation des pattes d'accrochage des éléments de remplacement pour la prise de tension.



Fig. 22.4 Dispositif de surveillance électronique de fusible

Les fusibles-interrupteurs-sectionneurs BT et les fusibles-interrupteurs-sectionneurs à réglottes BT offrent généralement aussi la possibilité d'un affichage de leur état (ouvert ou fermé) par l'intermédiaire de microcontacts judicieusement installés.

Remarque : les microcontacts destinés à être intégrés dans des circuits électroniques ou des « bus de données » ont besoin de contacts spéciaux (généralement dorés avec très faible niveau de courant et de tension lors de leur basculement) avec une très faible résistance pour fonctionner correctement.

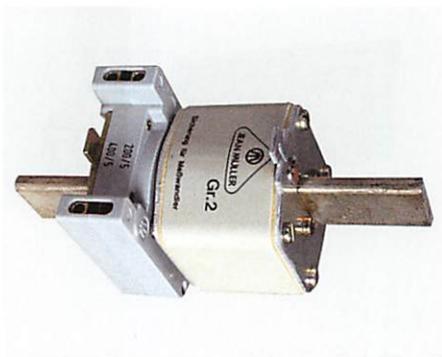


Fig. 22.5 Fusible de mesure

Pour la mesure et la surveillance de circuits, des fusibles-interrupteurs-sectionneurs à réglottes BT peuvent être équipés de transformateurs de courant (TI) montés sur les jeux de barres ou les câbles. L'utilisation d'un « fusible de mesure » (figure 22.5) est un moyen astucieux et élégant pour équiper des socles fusibles et des combinés-fusibles BT ou pour effectuer temporairement des mesures. Il combine un élément de remplacement et un transformateur de courant dans les dimensions d'un corps (élément de remplacement) de fusible NH et peut être utilisé de manière universelle à la place de fusibles normaux. Le transformateur de courant possède des connecteurs femelles pour le raccordement des fils de mesure ou pour la mise en place directe d'un ampèremètre. Ces transformateurs de courant spéciaux peuvent être utilisés de manière ouverte sans charge.

Les fusibles-interrupteurs BT équipés de mesure de tension et les fusibles de mesure sont des capteurs idéaux et peu encombrants pour la saisie des données du circuit.

23 Recyclage des fusibles – Egalement utile même hors service

Les éléments de remplacement des systèmes de fusibles NH et HT à fusion enfermée contiennent donc, même après leur fusion, tous les matériaux à partir desquels ils ont été fabriqués. En raison de leur teneur en argent et en cuivre (figure 23.1), les systèmes de fusibles NH et HT hors service ont toujours été plus ou moins professionnellement démontés pour séparer les éléments métalliques, donc en général les contacts. Cette méthode présente plusieurs inconvénients :

- Le recyclage n'est pas systématique et ne couvre pas l'ensemble du territoire.
- Le métal contenu dans la fulgurite n'est généralement pas pris en considération.
- L'ouverture des corps des éléments de remplacement prend du temps et n'est pas sans poser des problèmes à cause de la poussière de sable et, sur les produits plus anciens, (production allemande datant d'avant 1985 et française d'avant 1984), l'utilisation de fibres d'amiante.

Les fabricants de fusibles allemands réunis sous l'organisation ZVEI (Association of the German Electrical and Electronics Industry) ont mis au point un système de recyclage qui exclut ces inconvénients. Le système est mis en pratique en Allemagne depuis des années avec grand succès et a été entre-temps repris par d'autres pays.

Sur tout le territoire, les fusibles usagés sont collectés dans des palettes à caisses métalliques (figure 23.2). Les petites quantités peuvent être remises aux distributeurs de matériel électrique, aux fournisseurs d'électricité et à d'autres points de collecte. Les fusibles mécaniquement endommagés sont emballés dans des sacs en matière plastique appropriés. Cette collecte est gratuite pour l'utilisateur de fusibles.

Les palettes à caisses métalliques pleines sont enlevées des points de collecte, par un transporteur sur un simple appel par fax, qui les di-

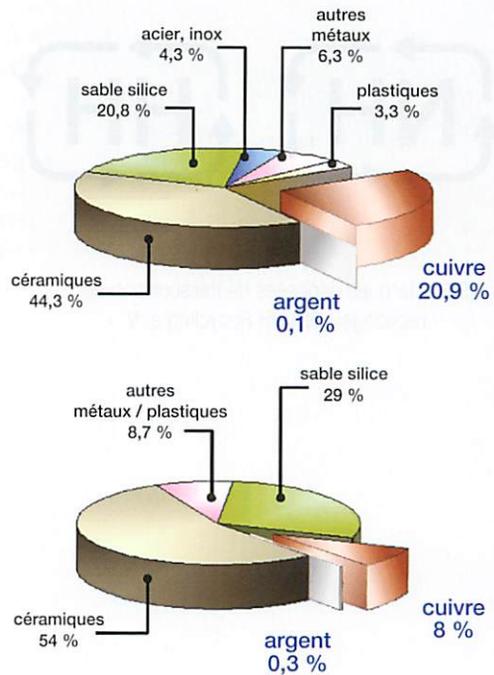


Fig. 23.1 Composants constituant un élément de remplacement de fusible
en haut : élément de remplacement NH
en bas : élément de remplacement HT



Fig. 23.2 Protection de l'environnement mise en pratique

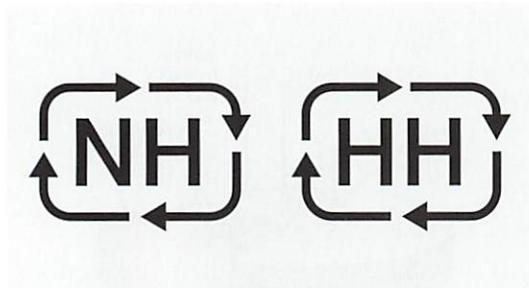


Fig. 23.3 Marques déposées de l'association de recyclage « NH/HH Recycling e. V. »

riges vers une usine de traitement du cuivre où les éléments en cuivre et en argent sont refondus dans un four.

Les scories sont utilisées dans la construction des routes et des digues. Les revenus issus des métaux fondus servent à couvrir les frais de transport et les sommes restantes sont versées à des organismes d'utilité publique selon les statuts de l'association.

Les substances problématiques sont intégrées aux scories et donc rendues non dangereuses. Avec ce procédé (figure 23.4), presque tous les composants des fusibles sont recyclés de façon économique et non dangereuse. Les utilisateurs de fusibles soucieux de préserver l'environnement devraient donc faire attention au symbole NH/HH-Recycling qui figure sur les cartouches fusibles (figure 23.3).

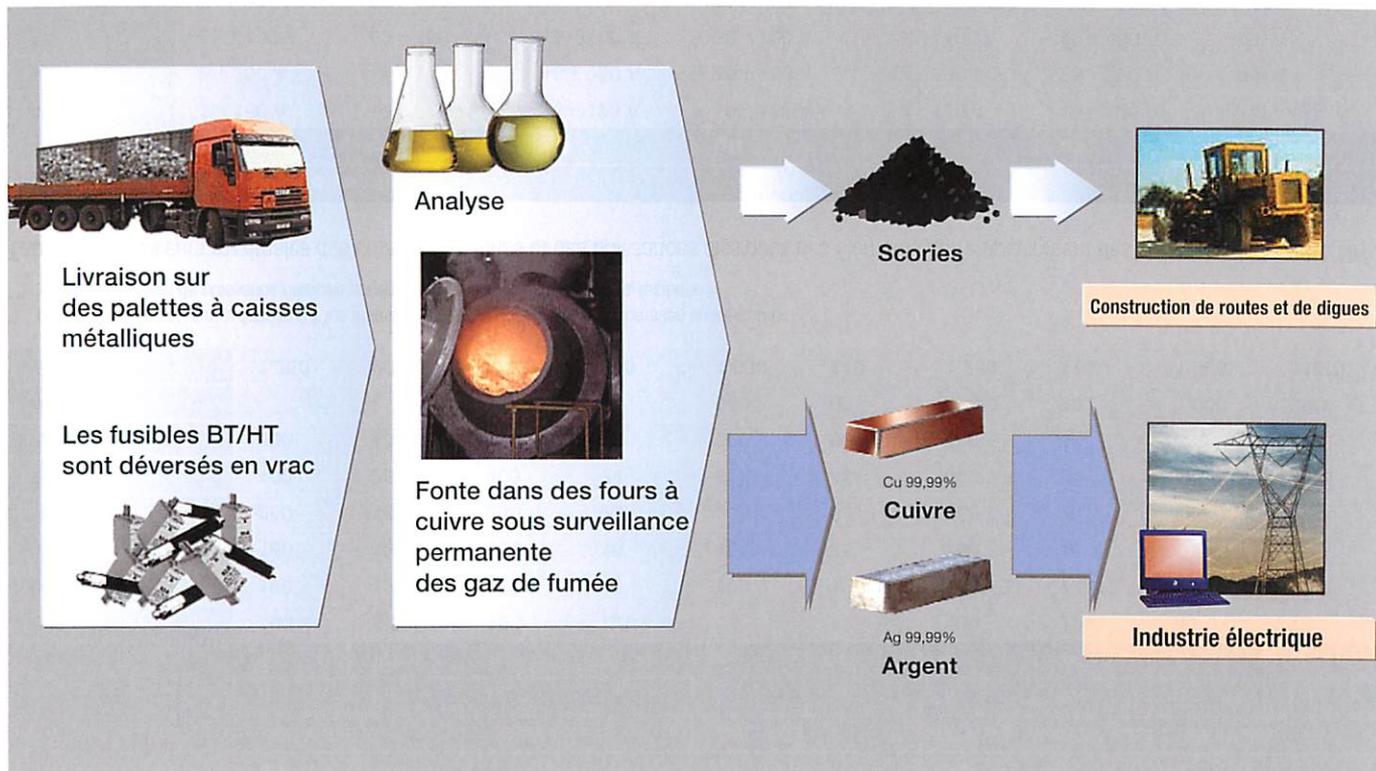


Fig. 23.4 Recyclage de fusibles NH /HT

24 Annexe

Taille	gG						aM			
	400 V a.c.		500 V a.c.		690 V a.c.		400 V a.c. et 500 V a.c.		690 V a.c.	
	I _n	P _n	I _n	P _n	I _n	P _n	I _n	P _n	I _n	P _n
	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W
000	100	5,5	100	7,5	63	12	100	7,5	80	12
00	160	12	160	12	100	12	100/160	7,5/12	160	12**)
0*)	160	12	160	16	100	25	160	16	100	25**)
1	250	18	250	23	200	32	250	23	250	32**)
2	400	28	400	34	315	45	400	34	400	45**)
3	630	40	630	48	500	60	630	48	630	60**)
4	-	-	1.000	90	800	90	1.000	90	1.000	90**)
4a	1.250	90	1.250	110	1.000	110	1.250	110	1.250	110**)

*) La taille NH 0 n'est plus autorisée sur les installations neuves, sauf en exécution avec un perceuteur

**) Valeurs assignées de puissance dissipée acceptable par les socles et les porte-fusibles

Tableau 3.2 Valeurs maximales des courants assignés et des puissances dissipées des éléments de remplacement des systèmes de fusibles NH

Taille	Catégorie d'emploi						
	gG	gTr	gB	gR	aR	aM	Couteaux
00	2 – 160 A	- / -	16 – 125 A	16 – 160 A	80 – 160 A	16 – 100 A	250 A
1	6 – 250 A	- / -	16 – 250 A	35 – 250 A	32 – 250 A	25 – 250 A	400 A
2	25 – 400 A	50 – 250 kVA	16 – 400 A	80 – 400 A	160 – 400 A	80 – 400 A	630 A
3	315 – 630 A	50 – 400 kVA	- / -	315 – 630 A	315 – 630 A	125 – 630 A	1.000 A

Tableau 14.2 Domaines d'utilisation des fusibles NH

Taille	D01	D02	D03	D II	D III	D IV
Courant assigné	16 A	63 A	100 A	25 A	63 A	100 A
Puissance dissipée admissible	2,5 W	5,5 W	7,0 W	4,0 W	7,0 W	9,0 W

Tableau 8.1 Puissance dissipée admissible dans les socles des systèmes de fusibles D

Tension de service	S _N kVA	SN Puissance apparente du transformateur / puissance apparente assignée fusible gTr										
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.000
	uz [%]	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4/6*)	5/6*)
0,4 kV	Courant assigné Fusible NH [A]	144	180	321	289	361	455	577	722	909	1155	1443
	Courant assigné Transformateur [A]	9,6	12	15,4	19,2	24,1	30,3	38,5	48,1	60,6	77,1	96,3
6 kV	Courant assigné Fusible HT [A]	20 25	25 31,5	31,5 40	40 50	50 63	63 80	80 100	100 125	125 160	160 200	160 200
	Courant assigné Transformateur [A]	5,8	7,2	9,2	11,5	14,4	18,2	23,1	28,9	36,4	46,2	57,7
10 kV	Courant assigné Fusible HT [A]	16	16	20 25	25 31,5	31,5 40	40 50	50 63	63 80	80 100	100 125	125 160
	Courant assigné Transformateur [A]	2,9	3,6	4,6	5,8	7,2	9,1	11,5	14,4	18,2	23,1	28,9
20 kV	Courant assigné Fusible HT [A]	10	10	16	16	16	25	25	31,5	40	63	63
	Courant assigné Transformateur [A]	1,9	2,4	3,1	3,8	4,8	6,1	7,7	9,6	12,1	15,4	19,3
30 kV	Courant assigné Fusible HT [A]	6,3	10	10	16	16	20 25	25	25	31,5	40	40
	Courant assigné Transformateur [A]	1,9	2,4	3,1	3,8	4,8	6,1	7,7	9,6	12,1	15,4	19,3

*) Nouvelles valeurs normalisées pour transformateurs, ne figurant pas encore dans la norme VDE 0670 partie 402.

Tableau 11.1 Protection des transformateurs avec sélectivité entre les fusibles NH et HT

Installation de correction de facteur de puissance	Tension assignée (système triphasé 50 Hz)		
	400 V (k = 2,5)	525 V (k = 2)	690 V (k = 1,5)
Élément de remplacement pour fusible	500 V	690 V	1.000 V *)
Taille du condensateur Q_N / kvar	Courant assigné I_N du fusible		
≤ 5	16 A		
≤ 7,5	20 A		
≤ 12,5	32 A (35 A)	32 A (35 A)	
≤ 20	50 A		32 A (35 A)
≤ 25	63 A	50 A	
≤ 30	80 A	63 A	50 A
≤ 40	100 A	80 A	63 A
≤ 50	125 A	100 A	80 A
≤ 60	160 A	125 A	100 A
≤ 80	200 A	160 A	125 A
≤ 100	250 A	200 A	160 A
≤ 125	315 A	250 A	200 A
≤ 160	400 A	315 A	250 A
≤ 200	500 A	400 A	315 A
≤ 250	630 A	500 A	400 A

*) 690 V possibles avec l'autorisation du fabricant de fusibles

Tableau 10.4 Choix de fusible pour la protection des condensateurs de correction de facteur de puissance

Transformateur			Courant assigné du fusible selon		
Haute Tension [kV]	Puissance apparente [kVA]	Tension de court-circuit	VDE 0670 partie 402 [A]	VDE 0670 partie 105 [A] *)	
				Interrupteur à air	Interrupteur au SF ₆
10	400	4%	50 - 63	50	40
	500	4%	63 - 80	63	50
	630	4%	80 - 100	80	63
	630	6%	80 - 100	50	50
	800	6%	100 - 125	63	63
	1.000	6%	125 - 160	80	80
20	400	4%	25 - 31,5	31,5	25
	500	4%	31,3 - 40	40	31,5
	630	4%	40 - 50	50	40
	630	6%	40 - 50	31,5	25
	800	6%	63 A	40	31,5
	1.000	6%	63 - 80	50	40

*) Affectation selon les caractéristiques temps/courant des fabricants allemands; des différences ponctuelles sont possibles

Tableau 11.2 Affectation des différents courants assignés des fusibles utilisés dans les combinés-fusibles selon VDE 0671 partie 105

25 Répertoire de mots clés (Index)

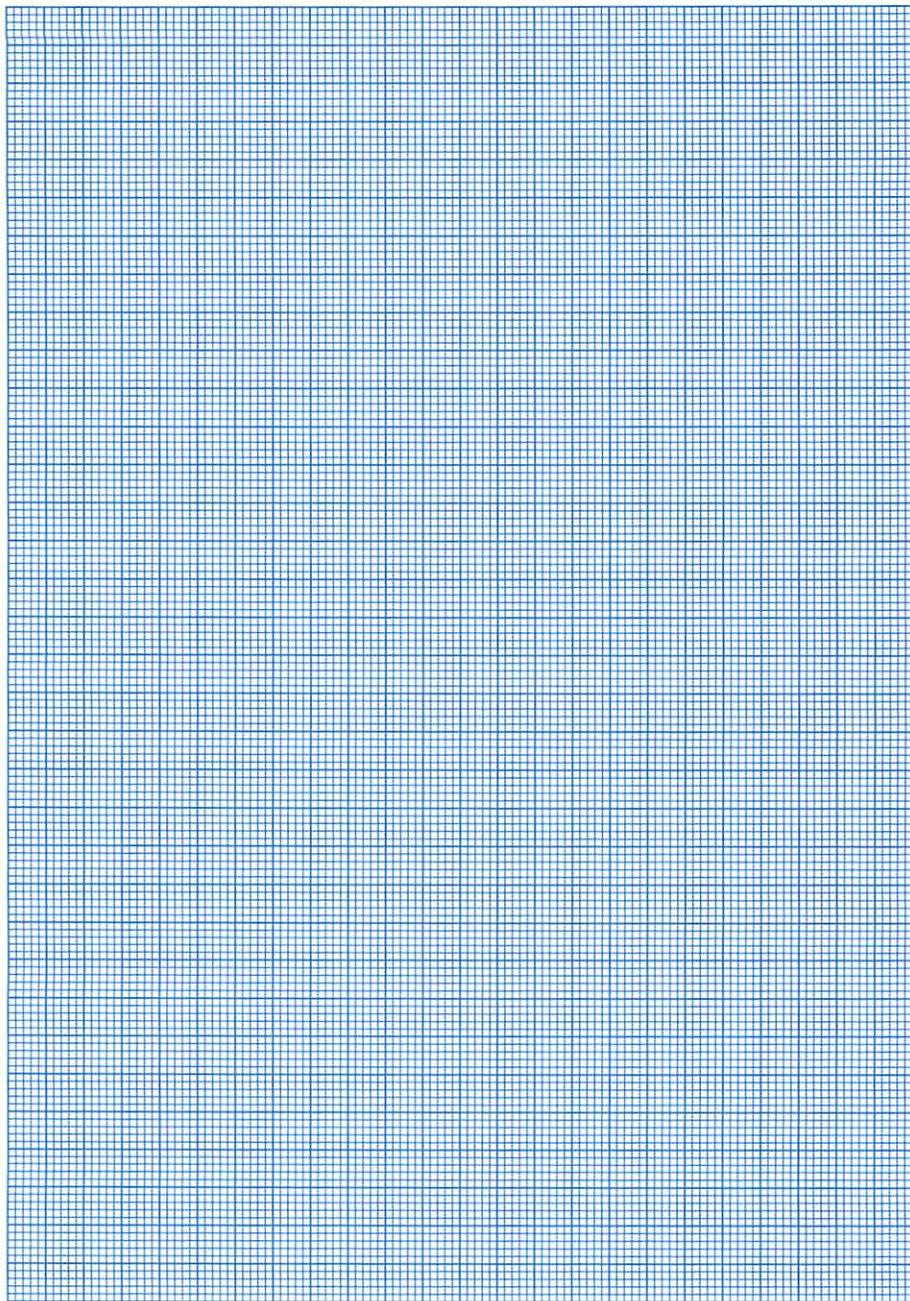
- Appareil bypass 89
- Bague de calibrage 11
- Capacité - Condensateur 56 pp., 66,
..... 78, 98, 108
- Capuchon vissé 11
- Capsules cylindriques – capsules .. 9 p., 13,
..... 21, 24, 41, 83, 95
- Caractéristiques de courant coupé limité .. 30
- Caractéristique de surcharge 74
- Caractéristique temps/courant .. 19, 34, 47
..... 52, 55, 66, 68 pp., 74, 87
- Caractéristique temps/courant de préarc .. 55
- Catégorie d'emploi ... 13, 39 p., 43 pp., 47,
..... 49, 58, 62, 69, 78,
..... 88, 94, 98, 106
- Circuit à courant continu 52, 79 p.
- Combinés-fusibles 10, 16, 76, 78 pp.,
..... 90, 93, 102, 109
- Combinés interrupteurs à fusibles ... 10, 22,
..... 28, 71 p.
- Commande dépendante 78
- Commande indépendante 78
- Coordination - voir également sélectivité .. 29
- Corps isolant 19, 21, 24
- Correction du facteur de puissance .. 56, 95
- Courant assigné (calibre) 11 pp., 22, 29,
..... 33, 37, 39 p., 44 pp.,
..... 49, 51, 55, 57, 59 p., 62 p.,
..... 66, 68 pp., 76 p., 79, 89 p.,
..... 92, 95 p., 98, 107 pp.
- Courant continu 31, 42, 49, 51 pp.,
..... 60 pp., 64, 72, 77
- Courant conventionnel de fusion ... 44, 63
- Courant coupé limité 27, 30, 35,
..... 47, 50, 52, 79, 88, 90
- Courant de charge 73, 94
- Courant de coupure minimal .. 28, 62, 67, 73
- Courant de court-circuit .. 15, 26 pp., 30 p.,
..... 34, 42, 46, 54 p.,
..... 59, 68, 70, 87, 90
- Courant de court-circuit présumé ... 27, 30,
..... 42, 54, 90
- Courant d'emploi - courant d'utilisation
..... 18, 44, 48, 62 p., 66, 89 p., 90
- Courant d'enclenchement
(du transformateur) 68, 70 p.
- Courant d'établissement 57
- Courant de transfert 85 pp.
- Courant d'intersection 86
- Courant(s) harmonique(s) 57, 98
- Courant inverse (des modules PV) 60 p.,
..... 63
- Courant(s) magnétisant(s) 68, 72
- Courant maximal de coupure 28
- Courant minimal de coupure 28, 66, 90
- Couteaux 15 p., 19 p., 48, 80,
..... 81, 83, 94, 98, 100, 106
- Couvercles de fermeture 19, 99
- D**éclencheur à maximal de courant 86
- Déclencheur thermique 72, 87
- Déconnexion 25, 45, 58, 69,
..... 76, 85 pp.
- Dépôt de soudure (thermoprotection)
..... 20, 25
- Diagramme de fonctionnement
du perceur 22
- Diodes de blocage 59, 60, 63 pp.
- Disjoncteur 33 pp., 43 p.,
..... 69, 79, 97
- Disjoncteur SH 36 p., 97
- Dispositif basculant 11, 15 p., 80

Distribution - distribution électrique	Fusible(s) cylindrique(s) .....13 p., 77, 83, 99
- distribution basse tension .....16 p., 20,	Fusible(s) D .....9 pp., 39 pp., 44,
.....24, 34 pp., 45, 49,	.....52, 77, 83, 96, 99, 107
.....63, 67, 76 p., 81 pp.,	Fusible de mesure .....102
.....89, 93, 95, 101	Fusibles de puissance .....9, 37, 51,
Document d'harmonisation (HD) .....9	.....56, 92, 100
Durée d'arc .....34, 87	Fusibles Diazed .....8, 11 p.
Durée de fusion .....31	Fusible(s) D0 .....9, 12, 36, 83
Durée de préarc ...29, 31, 33 p., 50, 52, 54	Fusible(s) DL .....9, 12
Durées virtuelles .....31 p., 34, 53	Fusible E 16 - taille E 16 .....9, 12
E chauffement .....19, 55, 63, 65 p., 71,	Fusible(s)-interrupteur(s)-sectionneur(s)
.....73 p., 84, 90, 93 p., 96 pp.	.....16, 45, 49, 76, 78,
Elément de remplacement .....11, 15, 17,	.....80 pp., 90, 101 p.
.....19 pp., 25 p., 28, 39 pp.,	Fusible(s)-interrupteur(s) à réglette .....45
.....44, 52, 60, 63, 73,	Fusible(s) gD .....43, 47
.....76, 78, 92, 99 pp.	Fusible(s) gG .....13, 30, 33, 36 p., 39 pp.,
Élément fusible .....8, 19 pp., 23 pp., 29,	.....39 pp., 43 pp., 49 pp., 56,
.....48, 50, 62, 68, 72, 92, 94	.....58, 82, 88 p., 92, 94, 98
Endommagement ...22, 24, 67, 72, 93, 99	Fusible(s) gGR .....43
Énergie maximale (I ² t) .....47	Fusible(s) gI .....40, 43
Ensemble porteur .....11, 15	Fusible(s) gII .....43
Escargot .....12, 39 p.	Fusible(s) gL .....39 p., 43
Expulsion .....17	Fusible(s) gM .....43, 47
F acteur de charge .....63, 93 p.	Fusible(s) gN .....43
Facteur de réduction .....95	Fusible(s) gPV .....43, 61 pp.
Facteur K .....59, 74	Fusible(s) gR .....40, 43, 49
Fréquence .....42, 57, 73	Fusible(s) gRL .....43
Fulgurite .....26 p., 103	Fusible(s) gS .....40, 43, 49, 88
Fusible à associer .....20	Fusible(s) gTF .....43
Fusible aM .....43, 47	Fusible(s) gTr .....10, 41, 43, pp.,
Fusible aR .....43, 50	.....67, 69, 71, 106 p.
Fusible(s) à zone de coupure intégrale	Fusibles hors service .....3
(full range) .....22 p., 25, 42,	Fusible(s) HT .....3, 17, 18, 20 pp.,
.....49, 62, 87, 92 p.	.....27 pp., 34, 42, 45, 66 pp.,
Fusible(s) à zone de coupure multiple .....	.....72 pp., 85 p., 89 pp., 96,
.....23 p., 39, 87	.....98, 100 p., 103, 105, 107
Fusible(s) à zone de coupure partielle	Fusible(s) NDz .....12
(general purpose) .....22 pp., 29, 43, 49,	Fusible(s) Neozed .....11 p.
.....62, 67, 73, 87, 91, 93	Fusibles pour utilisation
	extérieure - intérieure .....18
	Fusible(s) rapide(s) .12, 35, 43, 48, 54, 87 p.

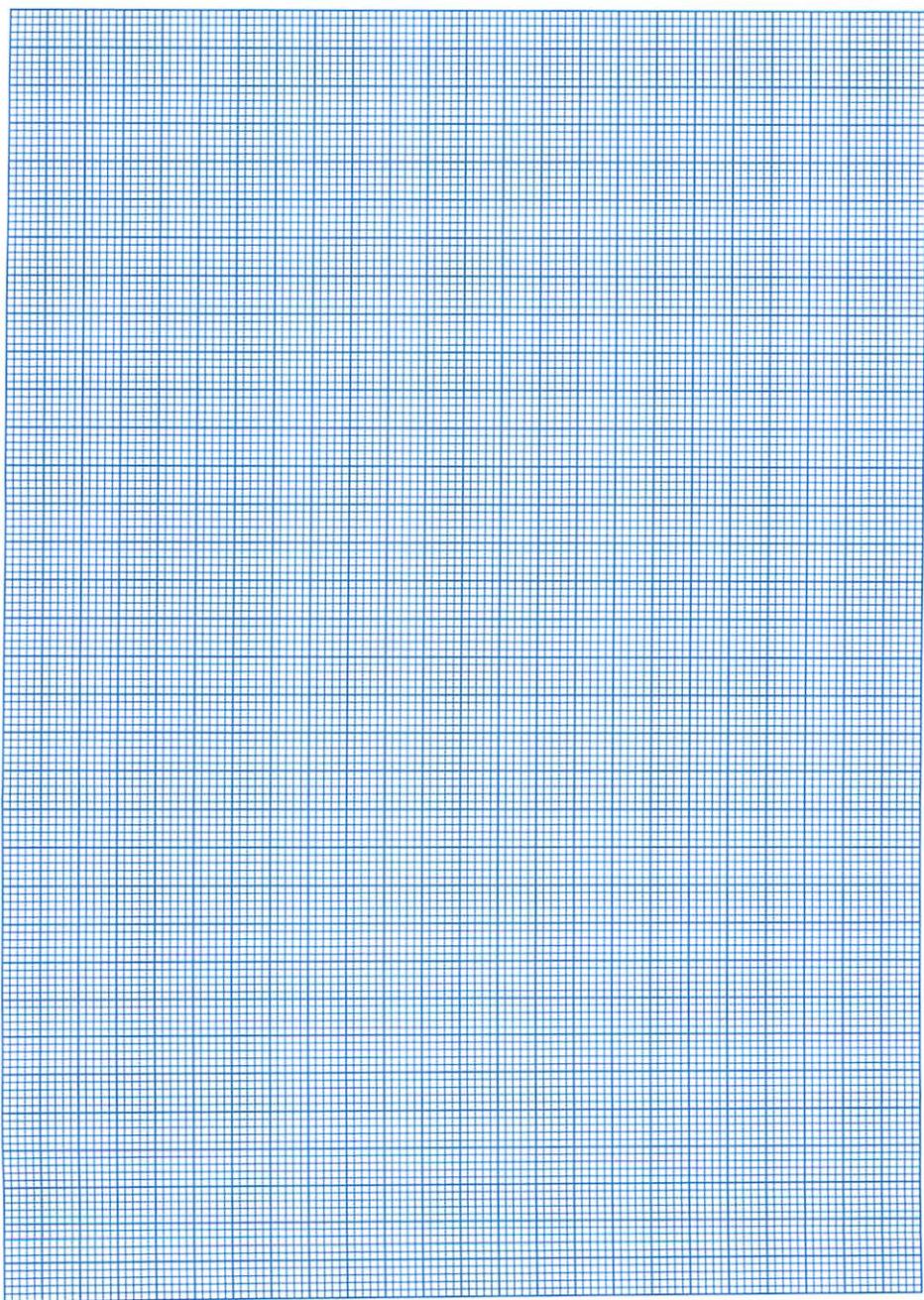
Fusible(s) secteur minier	9, 42 p.	NH 3	17, 81 p., 89
Fusible(s) sectionneur(s)	80 p.	NH 4a – NH4	16, 89
Fusibles TNDz	40	Pattes d'accrochage	19, 93, 100 p.
Fusion enfermée	4, 17, 103	Perceur	13, 16, 18, 20 pp.,
Générateur PV (photovoltaïque) ..	60, 62 pp.	.....	24, 42, 67, 69 p., 72, 85,
Haut pouvoir de coupure (HPC) ..	15, 17, 55	.....	87, 93, 100 p., 106
Indicateur de fusion	12, 19 p.	Personnes autorisées- habilitées	15, 75
Indicateur combiné	40	Personnes non habilitées	
Installation ASI	54 p.	– non qualifiées	11, 14, 75, 77, 83 p.
Installations résidentielles (domestiques)	13, 36	Photovoltaïque	5, 10, 43, 51, 59, 78, 94
Intégrale I ² t	48	Poignée (de manipulation)	11, 15,
I ² t	27, 31 p., 34, 36 p., 46 pp.	.....	75 p., 80, 90
Interrupteur à coupure en charge	22, 72	Poignées couplées	90
Interrupteur(s) à fusibles	9 p., 22,	Point de fonctionnement	54 p.
.....	28 p., 49, 69, 71	Porte-fusibles	11, 15 p., 40, 106
Interrupteur(s)-sectionneur(s) à fusibles	78, 83	Pouvoir assigné de fermeture	79
Limitation (limiteur) de courant	10, 17,	Pouvoir de coupure	9, 11 pp., 17 p.,
.....	26 p., 42, 51, 57,	.....	23, 28, 35 p., 39, 42 p.,
.....	59, 68 p., 85, 88	.....	46 p., 52 p., 55, 61 p.,
Limite de sélectivité	37	.....	64, 67, 85 p., 90
Marquage	4, 12, 22, 39 pp., 61	Protection backup	35, 43, 74, 86, 95
Microcontact	20, 48, 100 pp.	Protection contre les courts-circuits	18,
Mini-disjoncteur « mcb »	36 p.	.....	24 p., 43, 46, 56, 67, 85 p., 98
Modules PV	59 pp., 63	Protection contre les surcharges	37, 43,
Montage de fusibles en parallèle	89	.....	43, 49, 56, 98
Montage de fusibles en série	91	Protection de l'avant-bras	76
Montage - racoordement sur jeux		Protection de l'environnement	3, 104
de barres	16 p., 48, 80 p., 94	Protection de ligne	36, 88 p.
Moteurs à démarrage direct	73	Protection de transformateur	42 p., 45,
NH 0	16 p., 106	.....	67 pp., 107
NH 00	17, 39, 81 p.	Protection des câbles et lignes	25, 37,
NH 00C – NH000	16	.....	43 p., 49, 63, 98
NH 1	82	Protection de batterie	54
		Protection de condensateur	98
		Protection de semi-conducteur	48, 51
		.....	54, 82
		Protection des travailleurs	76, 88 p.
		Protection (des) moteur(s)	43, 47, 73 p.
		Puissance dissipée	9, 12, 19, 40,
		.....	46 pp., 55, 63 p., 72,
		.....	82, 88, 97 p., 106 p.

Puits-fusible(s) -fourreau	17 p., 69, 72, 93	Système de fusible NH	19, 39, 76 p., 81 p.
Rapport de sélectivité	37 p.	Système de manipulation	11, 15, 17, 19, 75
Recyclage	3, 24, 67, 103	Température limite	48, 94 pp.
Recyclage de fusible	103, 105	Tension(s) assignée(s)	10 pp., 18, 20, 22 p., 40 pp., 46, 50 p., 58, 62, 66, 91, 108
Réglette à fusibles	17, 80 p., 84, 89, 102	Tension d'arc	27
Réglettes jumelées	89	Tension d'emploi	21, 23, 42, 58 p.
Réglette sectionnable		Tension de rétablissement	19, 21, 27, 50, 53, 58, 91
à coupure en charge BT	79 pp.	Tension maximale du circuit	42
Réseaux maillés	37 p., 76	Tension minimale de fonctionnement	67
Résistance au courant inverse	60 p.	Thermoprotection	20, 25
Sable	19 pp., 26, 28, 48, 99, 103	Travaux sous tension	27, 76, 88 p.
Sections réduites	19, 21, 25 pp., 31, 48, 50, 57	Valeur crête du courant	
Sélectivité	29, 33 pp., 45 pp., 49, 64, 67, 69, 71, 107	de court-circuit présumé	27
Sélectivité partielle	33, 36	Verrouillage	15
Sélectivité totale	33, 34	Voyant indicateur	12, 41, 100
Socle – socle BT – socle NH	11, 13, 15 pp., 20 p., 40 p., 46, 51, 76, 89, 94 p., 101 p., 106 p.	Zone de coupure intégrale (full range)	22 pp., 42 p., 49, 62, 87, 92 p.
Signalisation à distance		Zone de coupures multiples	
- Télésignalisation	100 p.	(à usage général)	22 p., 39, 43, 87
Système de fusible cylindrique	10, 13 p., 77, 83	Zone de coupure partielle (back up)	20 22 pp., 27 pp., 43, 49, 62, 67, 73, 87, 90 p., 93
Surveillance des fusibles	63		
Système de fusible D	11p., 40, 77		
Système de fusible D0	12		
Système de fusible DL	9		
Système de fusible HT	17		

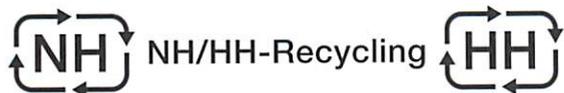
Notes



Notes



Éditeur :



Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling
von abgeschalteten NH- und HH-Sicherungseinsätzen e. V.

Die Deutschen Hersteller von NH/HH-Sicherungseinsätzen
Les fabricants allemands de systèmes de fusibles NH /HT

Tél. : +49 9466 910375

Courriel : info@nh-hh-recycling.de

ISBN : 978-3-931954-24-6

Recyclage écologique des éléments de remplacement des systèmes de fusibles NH et HT ...



www.nh-hh-recycling.de