

Coordination des parafoudres

Principes et valeurs pour le calcul de la distance minimale permettant la coordination avec les parafoudres **FUSADEE**

Les principes de coordination entre les parafoudres sont exprimés de différentes manières suivant les textes de normes et les quelques publications scientifiques sur le sujet ont conclu qu'il était difficile de garantir une coordination parfaite car celle-ci dépend notamment de la forme d'onde des surtensions qui est un paramètre impossible à maîtriser en situation réelle.

Néanmoins, sur la base des textes normatifs récents, le présent document indique les associations de parafoudres présentant une coordination effective suivant les éléments de calculs issus des normes d'installation et des caractéristiques des parafoudres.

La technologie **FUSADEE** présente des spécificités (tension de protection, réactivité), qui ont une influence sur les conditions de coordination des parafoudres.

Éléments normatifs et techniques :

Les principes généraux de la coordination de parafoudres sont décrits dans plusieurs documents dont notamment :

- NFEN61643-12 (2008)
- NFEN62305-4 (2006)
- UTE C15-443 (2004)

D'autres textes citent également ces principes (UTE C15-712, UTE C61740-52, ...)

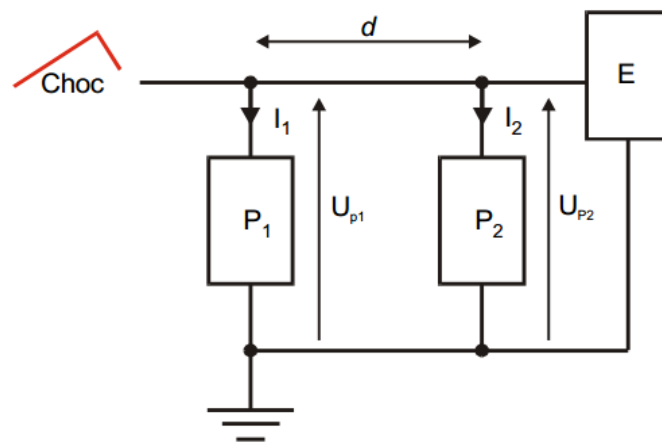


Schéma de base des calculs de coordination

P1 est le parafoudre amont, P2 est le parafoudre aval, d est la longueur de câble séparant les deux parafoudres.

Calculs :

Suivant NFEN61643-12, La coordination entre des parafoudres à varistance est effective si la condition suivante est respectée :

$$U_{res1}(I_{n2}) < U_{res2}(I_{n2})$$

Où $U_{res1}(I_{n2})$ est la tension de limitation du parafoudre amont au courant nominal du parafoudre aval et $U_{res2}(I_{n2})$ est la tension de limitation du parafoudre aval à son courant nominal. Cette méthode de coordination est valable sans considération de la distance entre

les parafoudres mais ne permet pas nécessairement une garantie que la coordination énergétique est effective donc ne garantit pas l'absence totale de fusion de cartouche **FUSADEE** placée en aval d'un autre parafoudre conventionnel en cas de coup de foudre direct mais la technologie **FUSADEE** Garantit la tension de protection même en cas de fusion de cartouche.

Les aspect dynamiques jouent également sur la coordination, ainsi pour des formes d'ondes lentes (cas le plus défavorable pour la coordination) d'une pente de durée 100µs jusqu'à l'amplitude considérée, soit 10 fois plus lent que les formes d'ondes normalisées, la coordination ne pourra pas être totalement effective, on peut néanmoins prendre en compte l'effet des longueurs de câblages en considérant un effet purement inductif à raison de 1µH / m de câble avec la formule suivante :

$$U_{res1} (I_{n2}) < U_{res2} (I_{n2}) + L \times di/dt$$

U en kV.

L étant la longueur en m

di/dt étant le rapport de l'amplitude de référence I_{n2} en kA sur le temps de montée de l'onde en µs.

Cependant en fonction des valeurs de courant de chocs les plus probables figurant dans l'annexe E de la norme NFEN62305-1 (tableau E.2), il semble que les valeurs de courant nominal des parafoudres à varistance sont bien souvent très supérieures à ces valeurs car leur surdimensionnement vient du besoin de retarder l'usure graduelle des varistances (ceci est clairement énoncé dans l'annexe D de NFEN61643-12, dans UTE C15-443 §7.2, dans UTE C15-712-1 §13.3.2.1) et repousse les considérations concernant la tenue à l'usure des parafoudres en cas de coordination défini simplement sur la base de la tension résiduelle.

Tableau E.2 – Surintensités de foudre susceptibles d'apparaître lors des impacts de foudre

	Réseaux de puissance BT			Réseaux de communication		
	Impacts directs sur le service	Impacts près du service	Près ou sur la structure	Impacts directs sur le service	Impacts près du service	Près ou sur la structure
NPF	Source de dommage S3 (impact direct) Forme d'onde: 10/350 µs (kA)	Source de dommage S4 (impact indirect) Forme d'onde: 8/20 µs (kA)	Source de dommage S1 ou S2 (courant induit seulement pour S1) Forme d'onde: 8/20 µs (kA)	Source de dommage S3 (impact direct) Forme d'onde: 10/350 µs (kA)	Source de dommage S4 (impact indirect) mesuré: 5/300 µs (estimé:8/20 µs) (kA)	Source de dommage S2 (courant induit) Forme d'onde: 8/20 µs (kA)
III-IV	5	2,5	0,1	1	0,01 (0,05)	0,05
I-II	10	5	0,2	2	0,02 (0,1)	0,1

Tableau E.2 de NFEN62305-1 (2006)

Ainsi pour l'établissement de la coordination en considérant une valeur de courant de référence correspondant au seuil de fusion des cartouches **FUSADEE**, la coordination est effective suivant la méthode simplifiée de la norme NFEN61643-12 si la longueur de câble est supérieure à une longueur minimale. Cette coordination effective permet de justifier que la fusion de cartouches **FUSADEE** sera quasi inexistante (uniquement en cas de coup de foudre direct).

Ce calcul est basé sur la courbe tension/courant des varistances les plus courantes du marché car cette valeur n'est pas indiquée par les fabricants de parafoudre.

La coordination est ainsi obtenue si la longueur de câble entre le pointe de connexion du parafoudre amont et le point de connexion du parafoudre FUSADEE est supérieur à I_{min} correspondant à l'expression suivante :

$$I_{min} = (U_{res1}(I_{n2}) - U_{res2}(I_{n2})) \frac{dt}{di}$$

Exemple : pour un parafoudre de tête ayant $I_n = 5kA(8/20\mu s)$, un niveau de protection de 1.1kV et une tension résiduelle à 1kA de 850V avec un FUSADEE en aval (U_p 0.8kV et I_n 1kA) cette valeur sera :

$$(0.85 - 0.8)[kV] \frac{8[\mu s]}{1[kA]} = 4[\mu H] \text{ soit 4 mètres}$$

Il est important de signaler qu'en raison de la valeur de courant nominal I_n des parafoudres **FUSADEE** qui est inférieure à celle des varistances dans la plupart des cas, la valeur de $U_{res1}(I_{n2})$ est bien souvent inférieure à la valeur U_p des parafoudres **FUSADEE** ce qui donne un résultat de coordination assurée dès 0m.

Cependant les varistances ont une usure graduelle et sont dégradées par les surtensions de faible amplitude mais plus fréquentes (notamment en environnement industriel), une varistance installée à côté d'un **FUSADEE** pourra en fonction des surtensions quotidiennes, s'user plus rapidement que des cartouches **FUSADEE**.

En cas de surtension de foudre, si la coordination est assurée suivant la formule proposée par la norme il subsiste une probabilité que les cartouches **FUSADEE** fusionnent, cela indique que la tension aux bornes de la varistance a dépassé la valeur U_p des **FUSADEE**.

Dans le cas de parafoudres utilisant des éclateurs la formule ci-dessus reste valable mais la coordination énergétique peut être établie en utilisant la tension d'amorçage comme valeur de tension de référence pour le parafoudre amont. Dans ce cas, si la coordination énergétique est assurée aucune longueur de câble minimale n'est nécessaire pour assurer cette coordination.

La cartouche FUSADEE doit tenir le temps que l'éclateur amorçe. Ce temps d'amorçage peut varier de 100ns à 1µs en fonction du type d'éclateur (présence de trigger ou non) et de la rapidité du front de montée de l'onde. La rapidité du front de montée de l'onde est notamment liée à l'amplitude de celle-ci mais la présence de parafoudre FUSADEE en parallèle d'un éclateur limite l'amplitude de la tension aux bornes de l'éclateur et le temps d'amorçage à considérer est le temps d'amorçage maximum qui est habituellement de 1µs.

Ainsi les cartouches FUSADEE pourront être coordonnées énergétiquement si la part d'énergie de la surtension écrêtée par les cartouche pendant le temps d'amorçage correspond à l'énergie du courant d'écoulement du parafoudre.

L'énergie équivalente à l'onde de courant que l'éclateur laisse transiter avant qu'il ne s'amorce est égale à

$$E = \int_{t_{\text{amorçage}}} VI dt = U \times I_{\text{crête}} \times t_a$$

U est la tension aux bornes du parafoudre à coordonner énergétiquement (0.8kV pour le FUSADEE)

I crête est le courant qui transite par le parafoudre à coordonner avant que l'éclateur ne s'amorce (en tenant compte du temps de montée des ondes normalisées et du courant d'écoulement maximum de l'éclateur soit $I_{\text{imp}}/10$ pour un parafoudre de type 1).

t_a est le temps d'amorçage maximum de l'éclateur.

Dans le cas d'un parafoudre de type 1 avec le courant I_{imp} maximum qui peut être demandé par la norme NFEN62305 ($I_{\text{imp}} = 50\text{kA}$) : une cartouche FUSADEE ayant une puissance impulsionnelle admissible de 45kW pour des ondes 10/1000 (soit une forme d'onde équivalente en terme d'énergie à un signal carré de durée 1ms) correspondant à une énergie de admissible de 45 joules. Cette cartouche sera coordonnée énergétiquement avec un éclateur ayant un I_{imp} de 50kA et un temps d'amorçage de 1µs car $E = 50000 \times 800 \times 10^{-6} = 40\text{J}$.

Ce calcul est valable pour les éclateur ayant une tension d'amorçage statique inférieure à la tension d'amorçage des cartouches FUSADEE. Une comparaison des valeurs U_c permet de déterminer si c'est le cas.

Ainsi les cartouches FUSADEE R15/15 et R25/15 permettent une coordination énergétique directe avec les parafoudres à éclateur ayant un $U_c < 275\text{Vac}$.

Les R15/22, R15/22A et R30/22 permettent une coordination énergétique directe avec les parafoudres à éclateur ayant un $U_c < 440\text{V}$.

Résultats :

Les résultats des calculs présentés plus hauts précisant en fonction des types de parafoudre amont et du type de **FUSADEE**, la distance minimale recommandée pour une coordination effective est présentée dans le tableau ci-après :

Parafoudre amont (P1)				Parafoudre aval (FUSADEE)			Distance mini pour coordination
Type de parafoudre amont	I_{n1} I_{imp}	U_P	$U_{res1}(I_{n2})^*$	cartouche FUSADEE	I_{n2}	U_p	
Eclateur Type 1	25-50kA	2.5kV	2.5kV	R30/22 ou 1,2 ou 4x R15/22A	$\geq 1kA$	0.8kV	0m**
				R15/22	0.5kA	0.8kV	0m**
Eclateur Type 1 (U _C 255V)	25-50kA	1.5kV	1.5kV	1,2 ou 4x R15/22A R25/15, R15/22	$\geq 1kA$	0.8kV	0m**
				R15/15	0.5kA	0.8kV	0m**
				R5/15	0.25kA	0.8kV	22.4m
Varistance Type 1	25kA 15kA	1.5kV	0.98kV	R25/15 ou 1,2 ou 4x R15/22A	$\geq 1kA$	0.8kV	1.5m
			0.89kV	R15/22, R15/15	0.5kA	0.8kV	1m
			0,83kV	R5/15	0.25kA	0.8kV	0.2m
Varistance Type 2 275V	20kA	1.2kV	0.77kV	R25/15 ou 1,2 ou 4x R15/22A	$\geq 1kA$	0.8kV	0m
			0.73kV	R15/22, R15/15	0.5kA	0.8kV	0m
			0,7kV	R5/15	0.25kA	0.8kV	0m
Varistance Type 2 440V	20kA	2.0kV	1.3kV	R25/15 ou 1,2 ou 4x R15/22A	$\geq 1kA$	0.8kV	4m
			1.2kV	R15/22, R15/15	0.5kA	0.8kV	6.4m
			1.1kV	R5/15	0.25kA	0.8kV	9.6m
Varistance Type 2 275V	5kA	1.1 kV	0.85kV	R25/15 ou 1,2 ou 4x R15/22A	$\geq 1kA$	0.8kV	2.4m
			0.77kV	R15/22, R15/15	0.5kA	0.8kV	0m
			0.73kV	R5/15	0.25kA	0.8kV	0m

* Pour les varistances voir courbes tension/courant pour des varistances In 20kA et In 5kA en annexe.

** Coordination énergétique éclateur/FUSADEE.

NB : Dans le cas où un parafoudre à varistance ou éclateur est installé en aval d'un FUSADEE la coordination est toujours assurée, le parafoudre aval assurera la protection contre les éventuels effets induits internes ou d'oscillation.

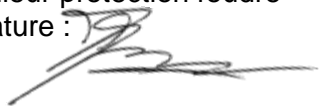
Le tableau de résultat présenté ici peut être utilisé pour valider la coordination des parafoudres avec les types parafoudres amont conventionnels.

Fait à Pont de Pany le 7 novembre 2014

Signataire autorisé : Jérôme MARCUZ

Ingénieur protection foudre

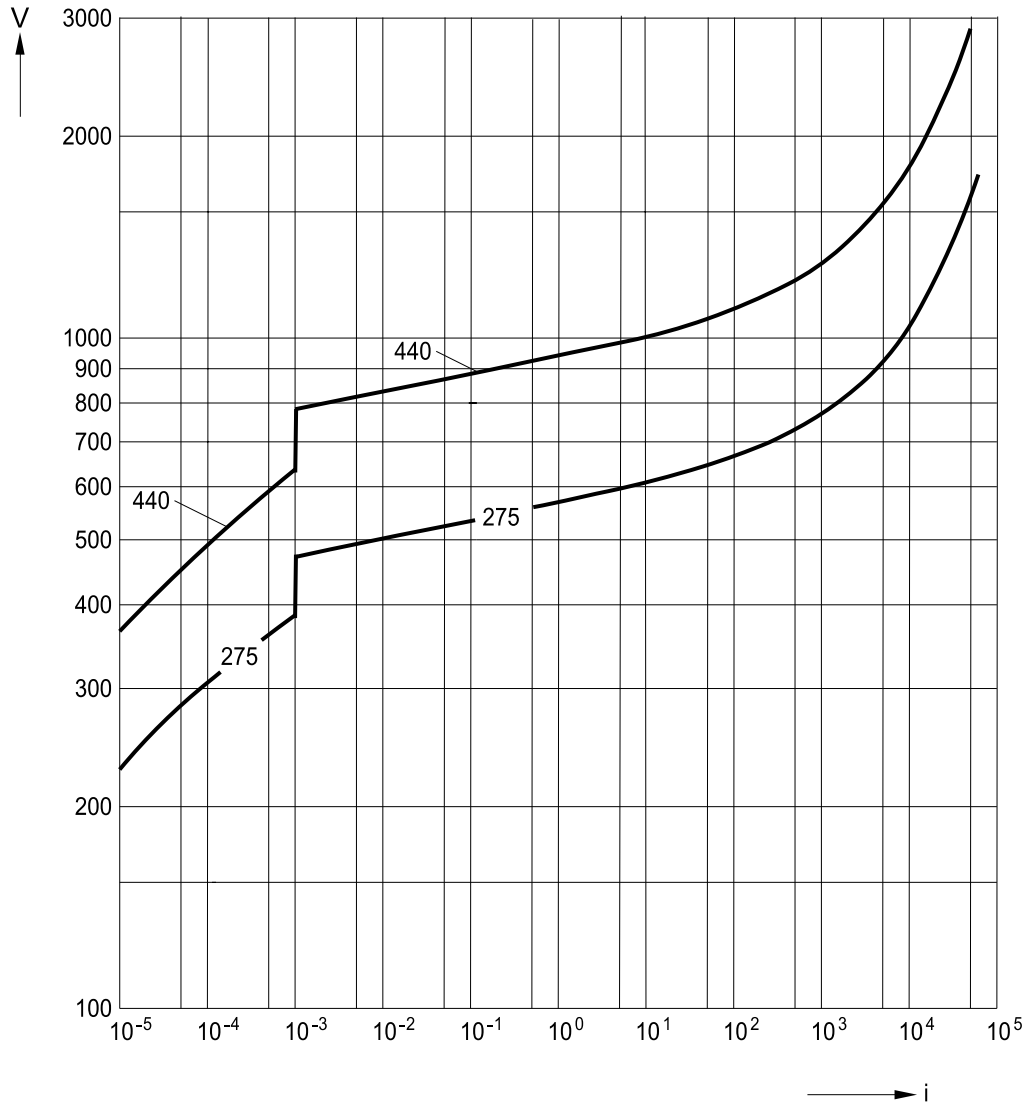
Signature :



ADEE electronic
 300 rue des Arts et Métiers
 21410 PONT DE PANY
 Tel. 03 80 49 76 75 Fax 03 80 49 76 31

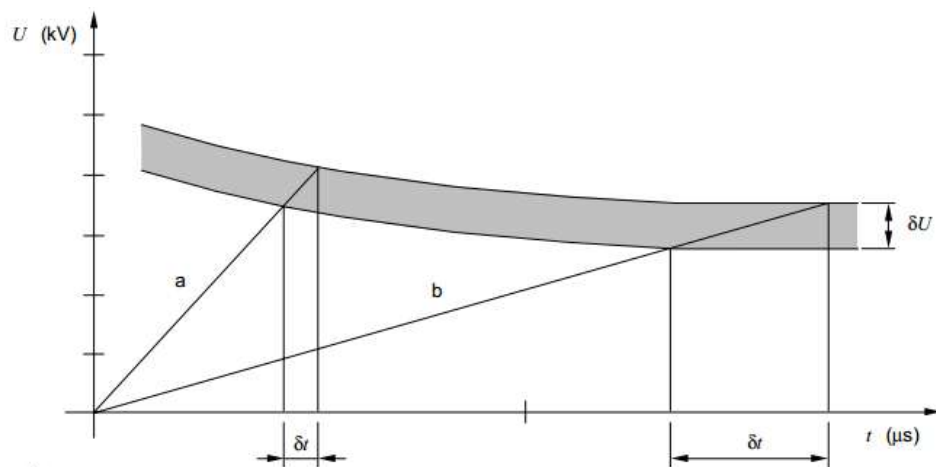
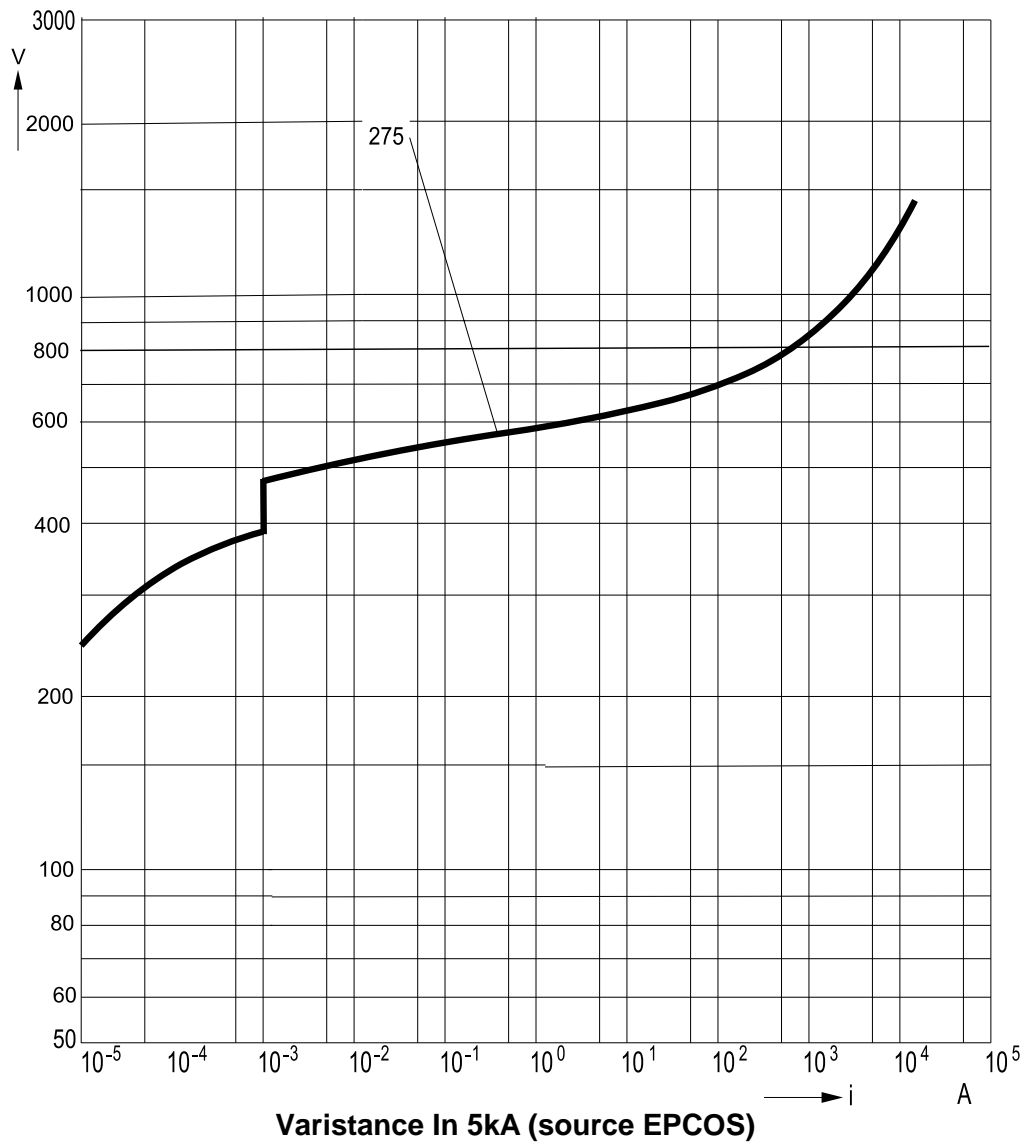
Annexes

Courbes V/i pour une varistance In 20kA / I_{max} 40kA en tension de service U_c 275Vac et 440Vac



Varistance In 20kA (source EPCOS)

Courbes V/I pour une varistance In 5kA / I_{max} 15kA en tension de service U_c 275Vac



Légende

- a Taux supérieur de montée – 10 kV/μs
- b Taux inférieur de montée – 1 kV/μs
- δt Dispersion dans le temps de l'amorçage
- δU Dispersion en tension de l'amorçage

Relation tension d'amorçage / temps de montée pour un éclateur