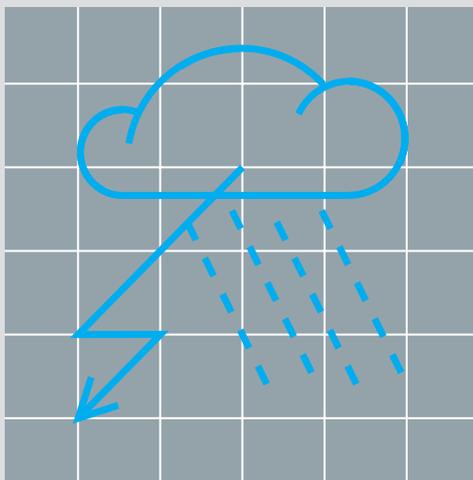


La protection du matériel électrique et électronique contre les effets indirects de la foudre

Comment choisir et mettre en oeuvre les parafoudres afin de garantir une protection maximale de l'installation électrique



Introduction

Chaque année, la foudre provoque en France la mort de dix à vingt personnes et de milliers de bêtes. Elle cause également d'importants dommages qui se chiffrent en plusieurs milliards de francs. Certains sites (églises, fermes isolées) ainsi que certaines structures (lignes aériennes, antennes) sont particulièrement soumis à des coups de foudre.

Le développement des équipements électroniques et informatiques particulièrement sensibles aux surtensions a aggravé l'importance des dommages causés par la foudre.

Environ 2000 orages existent en permanence dans le monde ; en France, le nombre de coups de foudre qui frappent le sol est de l'ordre de 1,1 million par an.



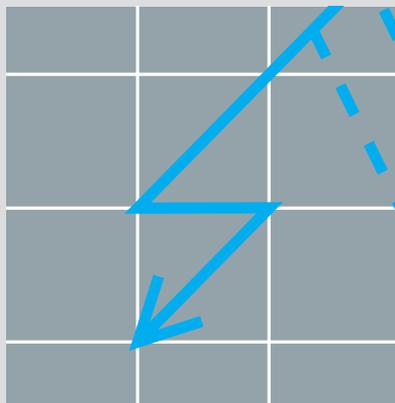
Il existe aujourd'hui des moyens pour assurer une bonne protection contre la foudre. Ce document a pour but d'approfondir les connaissances des professionnels au niveau :

- De la connaissance du phénomène et du matériel de protection
page 7
Pour bien protéger une installation des effets de la foudre, il est nécessaire de comprendre la formation et la propagation de ce phénomène ainsi que le fonctionnement du matériel de protection.

- Du choix de la bonne protection
page 25
Cette partie regroupe tous les éléments qui influent sur le choix des références de parafoudres à installer.

- De la mise en œuvre et des cas pratiques
page 33
Cette partie commente et illustre par des schémas d'application les différents textes normatifs (NF C 15-100 ; UTE C 15-443) qui se réfèrent au choix et aux règles de mise en œuvre des parafoudres. Elle présente également quelques exemples d'installations.

Connaissance du phénomène et du matériel de protection



1. La foudre	9
1.1. Le phénomène foudre	9
1.2. Les effets de la foudre	10
- les effets directs	
- les effets indirects	
1.3. La modélisation de la foudre	13
2. Le parafoudre	14
2.1. Son rôle	14
2.2. Sa technologie	15
2.3. Ses caractéristiques	16
- fonctionnement normal	16
- surtension	16
2.4. La norme produit	17
3. Les parafoudres modulaires Hager	18
3.1. Les parafoudres débrochables	18
3.2. Deux versions de parafoudres de tête	18
3.3. Protection en mode commun et différentiel	20
3.4. Parafoudre en parallèle ou en série	21
3.5. Caractéristiques électriques	22

1. La foudre

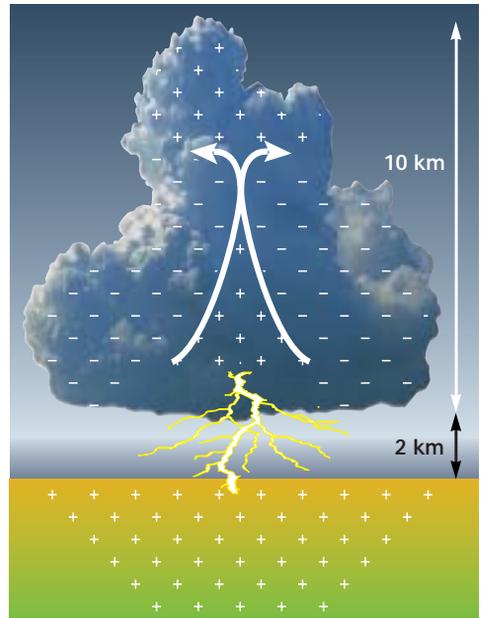
1.1. Le phénomène foudre

Pendant les journées d'été, l'humidité de l'air ainsi que l'échauffement du sol provoquent la formation d'un important nuage : le cumulo-nimbus.

Un vent violent au sein de ce nuage sépare les charges électriques ; le nuage se voit alors chargé positivement à son sommet et négativement à sa base.

A la surface du sol, en-dessous du nuage, se concentrent des charges positives. Une différence de potentiel de plusieurs millions de volts apparaît entre sol et nuage ; lorsque l'équilibre électrostatique se rompt, une décharge électrique de plusieurs milliers d'Ampères traverse l'air pendant quelques millièmes de secondes : c'est **la foudre**.

Le tonnerre n'est autre que l'onde de choc sonore qui accompagne cette décharge.

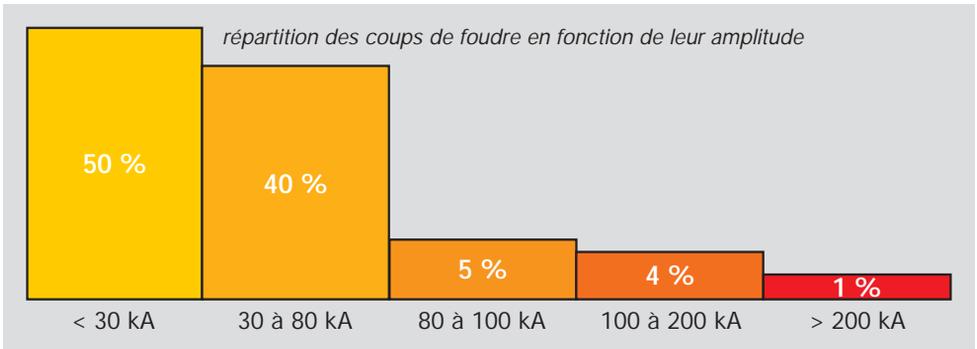


1.2. Les effets de la foudre

les effets directs



- Ils se produisent au point d'impact de la foudre,
- Ils sont dus à l'écoulement du courant de foudre de très forte intensité dans les éléments plus ou moins conducteurs.



Le passage du courant de foudre peut avoir pour conséquence : l'électrocution de personnes ou d'animaux, des incendies et la destruction de matériels par fusion ou déformation.

Contre ces effets directs, on assure une bonne protection par la mise en place de **paratonnerres** à tige, à cage ou à fil, selon le type de structure à protéger.

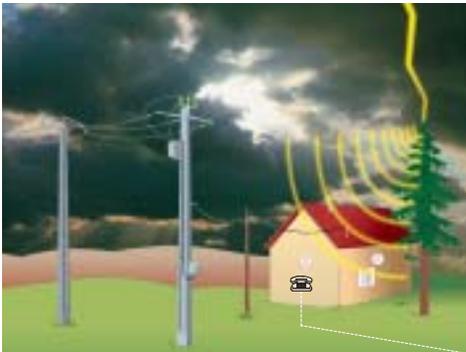
les effets indirects

- ils sont issus des effets directs et transmis entre autres à l'installation électrique par :
 - conduction
 - rayonnement ou induction
 - montée en potentiel du réseau de terre



la surtension peut être générée par conduction :

lorsque la foudre tombe sur une ligne HTA ou basse tension, la surtension créée atteint une dizaine de milliers de Volts et peut engendrer un courant de quelques milliers d'Ampères.



la surtension peut être générée par rayonnement :

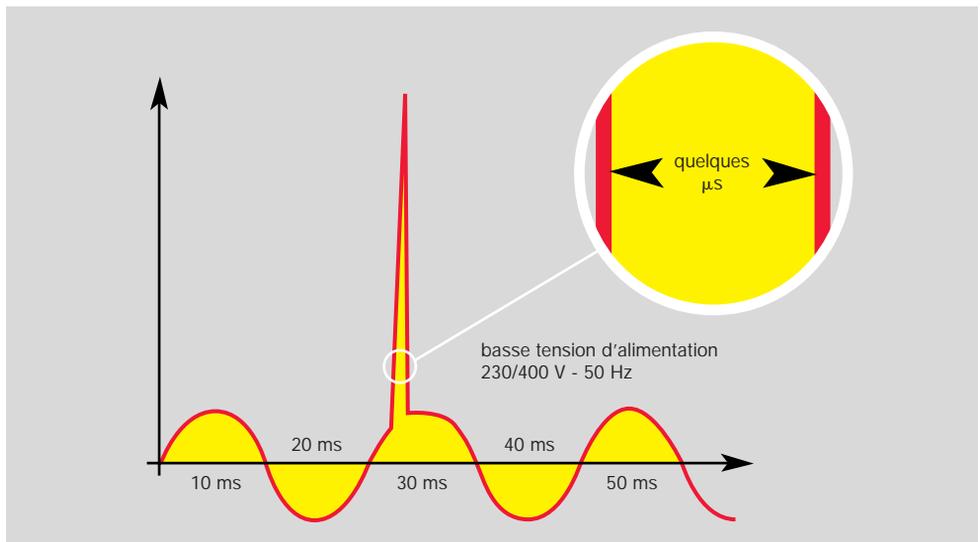
lorsque la foudre frappe un arbre, le courant engendré peut atteindre quelques milliers d'Ampères et transmettre des surtensions dans les installations électriques environnantes.



la surtension peut être générée par une montée de potentiel du réseau de terre :

lorsque la foudre frappe le sol ou une structure mise à la terre, l'écoulement du courant de foudre peut élever le potentiel de terre environnant à plusieurs milliers de Volts.

- ces effets indirects se traduisent par des surtensions transitoires qui apparaissent sur les lignes électriques ou les lignes téléphoniques et qui cheminent vers l'installation intérieure.



la surtension transitoire

La foudre et les décharges électrostatiques ne sont pas les seules origines des surtensions sur l'installation électrique. Les commutations de contacts, les parasites tels que l'allumage de lampes à sodium, le fonctionnement de thyristors, les Impulsions Electro-Magnétiques Nucléaires, etc. provoquent également des signaux perturbateurs. Ces derniers sont évidemment d'un niveau moins élevé que les surtensions d'origine atmosphérique.

Les conséquences des surtensions transitoires sont multiples :

- Destruction des équipements électroniques (téléviseurs, chaînes hi-fi, micro ordinateurs, interfaces de régulation et de commande des équipements électriques, etc.).
- Détérioration des équipements électriques et électroménagers courants.
- Perturbation des systèmes informatiques, systèmes d'alarme et de signalisation, etc.

- Vieillesse prématurée de l'installation électrique par la détérioration de la gaine isolante des câbles.

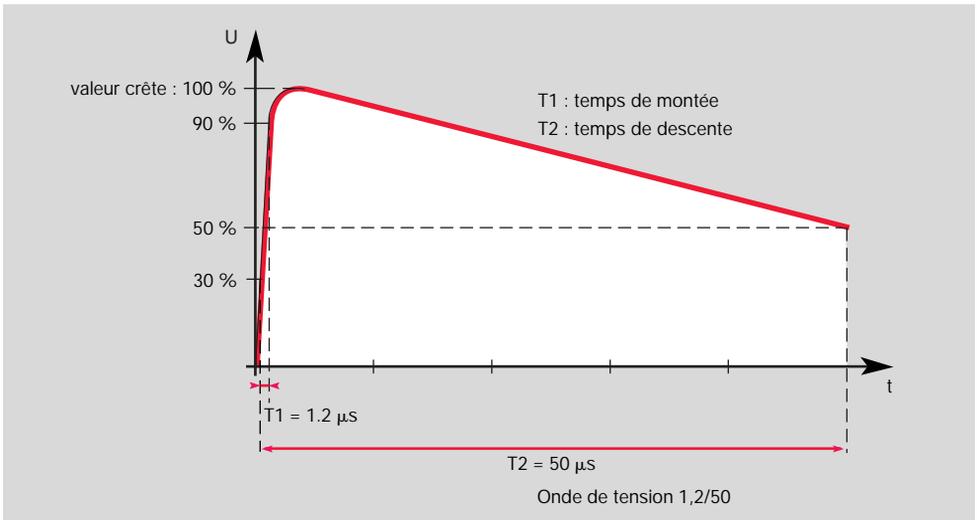
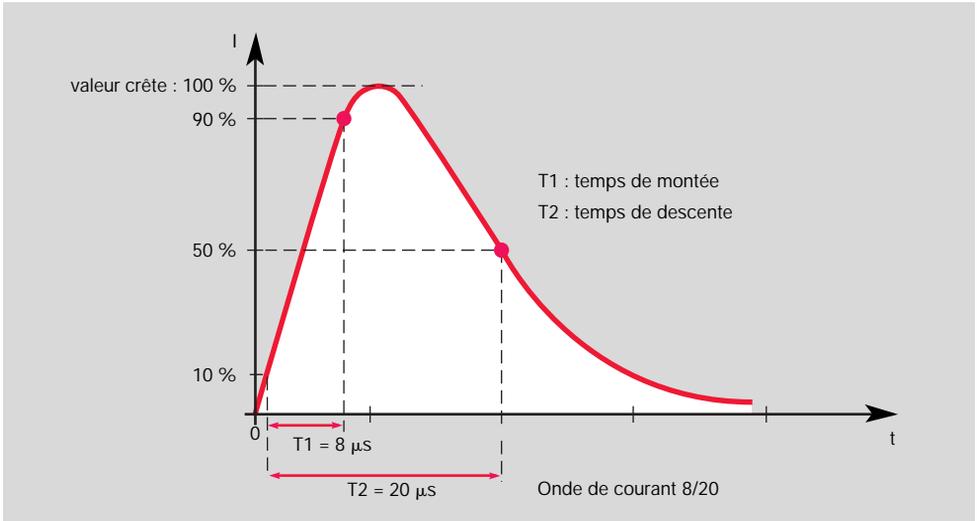
Contre ces effets indirects, on assure une bonne protection par la mise en place de **parafoudres**.

1.3. La modélisation de la foudre

Des études plus approfondies des surtensions transitoires générées par un coup de foudre direct ont montré que les surtensions peuvent être modélisées dans 90% des cas par deux ondes typiques :

- l'onde de courant 8/20
- l'onde de tension 1,2/50

C'est à partir de cette modélisation que les performances des parafoudres ont été établies.



2. Le parafoudre

2.1. Son rôle

Sans parafoudre, la surtension apparaît dans le réseau électrique aux bornes des matériels (schéma 1).

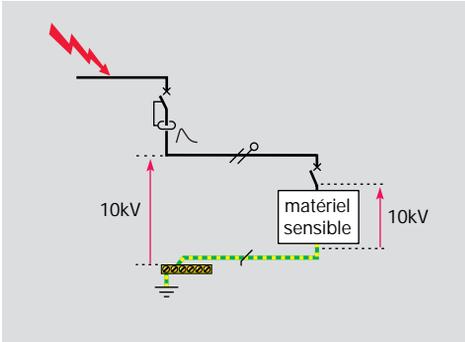


schéma 1 : sans parafoudre, la surtension apparaît aux bornes des matériels

L'appareillage sensible "claque" alors entre conducteurs actifs et terre et toute l'énergie foudre transite par ce matériel (schéma 2) : il est détruit.

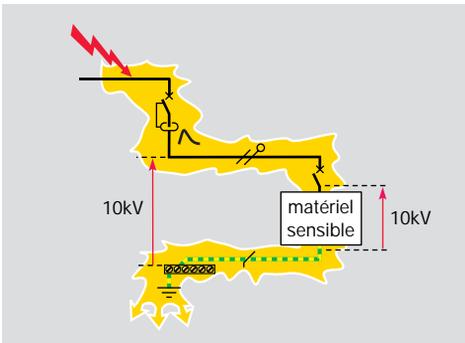


schéma 2 : sans parafoudre, le matériel "claque"

Afin de protéger l'installation électrique ainsi que le matériel et les personnes, le parafoudre doit permettre :

- d'écouler l'énergie destructrice du coup de foudre à la terre (schéma 3),

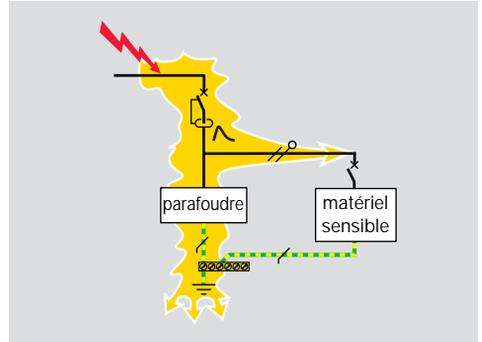


schéma 3 : écoulement de "l'énergie foudre" à la terre

- de réduire au maximum les différences de potentiels entre les points de connexions du matériel au réseau (entre phases, neutre et terre) (schéma 4).

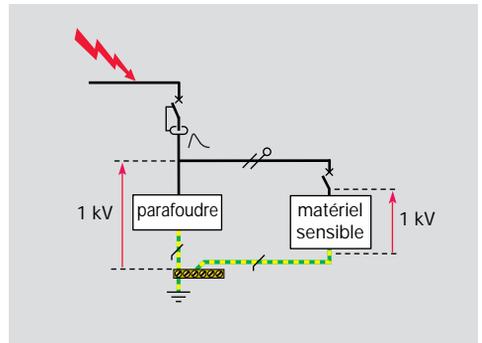


schéma 4 : le parafoudre limite la surtension aux bornes du matériel

2.2. Sa technologie

La solution consiste à insérer entre phases et neutre d'une part, et, entre conducteurs actifs (phases, neutre) et terre d'autre part, un dispositif à impédance variable :

- en fonctionnement normal, il ne doit pas y avoir de connexion entre ces éléments : le parafoudre se comporte en circuit ouvert (schéma 1),

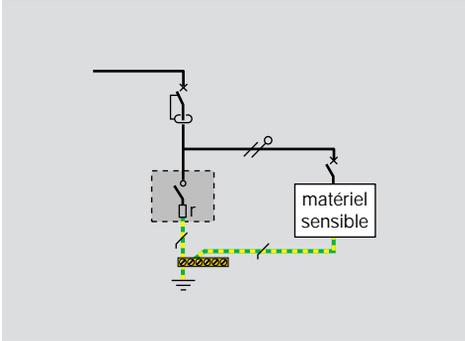


schéma 1 : fonctionnement normal

- pendant l'écoulement de la surtension, il faut offrir au passage du courant de foudre une impédance la plus faible possible : le parafoudre se comporte en circuit fermé (schéma 2).

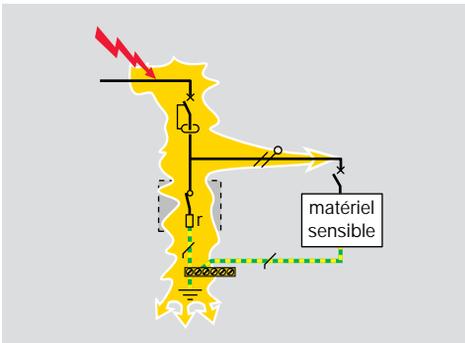
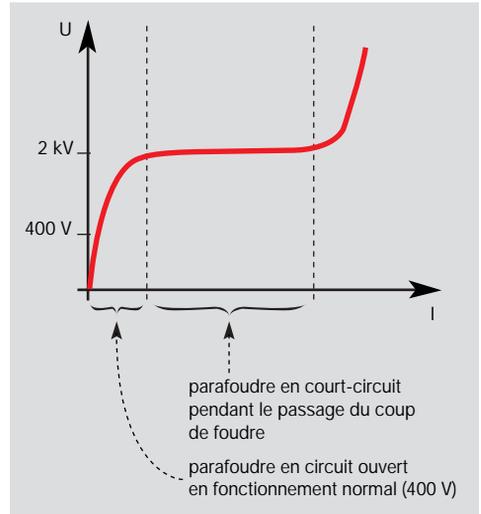


schéma 2 : pendant la surtension

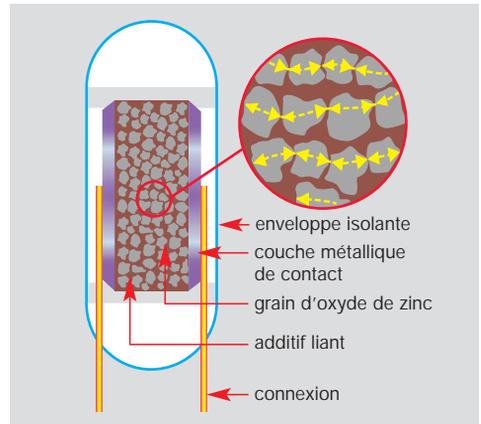
Différentes technologies existent : éclateurs, diode d'écrêtage ...

La technologie varistance est aujourd'hui la solution la plus utilisée pour la protection des installations électriques basse tension.



tension aux bornes d'une varistance en fonction de l'intensité "écoulée"

Les varistances sont constituées de milliers de petits grains d'oxyde de zinc qui forment entre eux une multitude de jonctions. Chacune de ces jonctions peut être assimilée à une diode Zéner bidirectionnelle.



varistance à oxyde de zinc

2.3. Ses caractéristiques

fonctionnement normal

En fonctionnement normal, le parafoudre doit être le plus résistif possible (circuit ouvert).

On peut définir (schéma 1) :

- la tension maximale de régime permanent : U_c
C'est la valeur admissible de la tension efficace à fréquence industrielle (50/60Hz) qui peut être appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre sans affecter son fonctionnement. Exemple: $U_c = 440V$
- le courant de fonctionnement permanent : I_c
C'est le courant circulant dans le parafoudre lorsqu'il est alimenté sous sa tension maximale de régime permanent U_c en l'absence de défaut. Exemple : $I_c = 0,05 \text{ mA}$

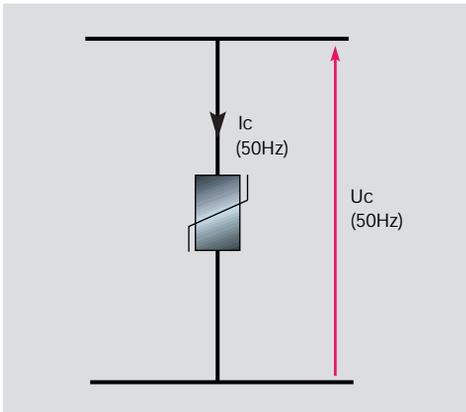


schéma 1 : caractéristiques aux bornes d'une branche du parafoudre en fonctionnement normal (50Hz, 230/400V)

surtension

Pendant le passage de la surtension, le parafoudre doit être le moins résistif possible (circuit fermé).

On peut définir (schéma 2) :

- le courant nominal de décharge : I_n
Le parafoudre doit fonctionner au minimum 20 fois sans se détériorer sous une onde de courant 8/20, de valeur crête égale à I_n . Exemple: $I_n = 20 \text{ kA}$
- le niveau de protection : U_p
C'est la valeur de tension qui subsiste aux bornes du parafoudre lorsque celui-ci est parcouru par son courant nominal de décharge I_n . Exemple: $U_p = 1,5 \text{ kV}$
Un parafoudre offrant à la fois une protection en mode commun et mode différentiel est caractérisé par :
 - U_p en mode commun ($L, N / \perp$) et
 - U_p en mode différentiel (L / N)
- le courant maximal de décharge : I_{max}
Le parafoudre doit fonctionner au minimum 1 fois sans se détériorer sous une onde de courant 8/20, de valeur crête égale à I_{max} . Exemple: $I_{max} = 65 \text{ kA}$.

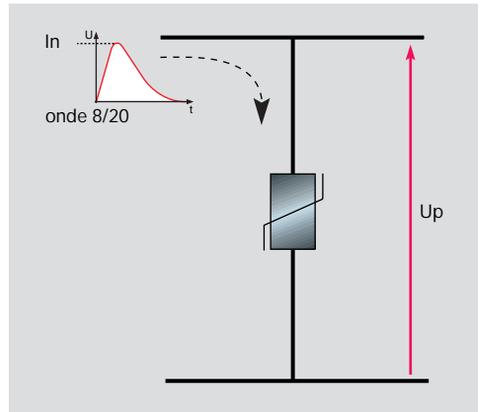
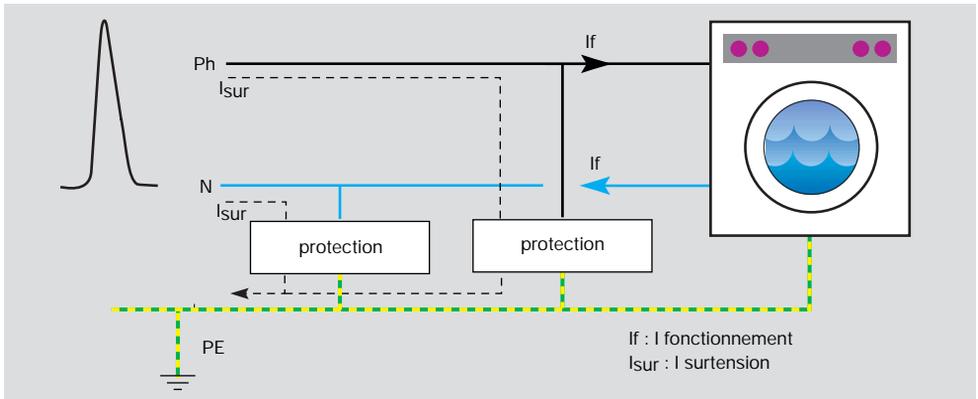


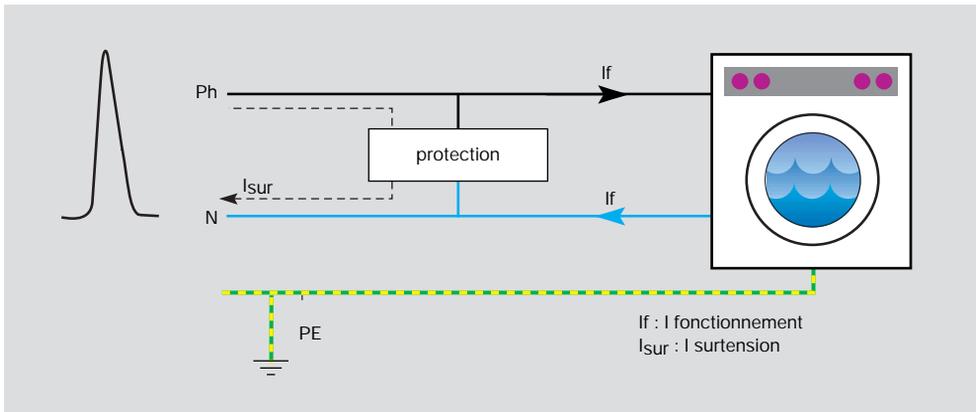
schéma 2 : caractéristiques aux bornes d'une branche du parafoudre pendant l'écoulement de la surtension

Les surtensions peuvent apparaître entre phases et neutre ou entre phases, neutre et terre. Le parafoudre doit donc réduire la différence de potentiel :

- entre les phases et la terre, et le neutre et la terre :
c'est la protection en **mode commun**,



- entre les phases et le neutre :
c'est la protection en **mode différentiel**.



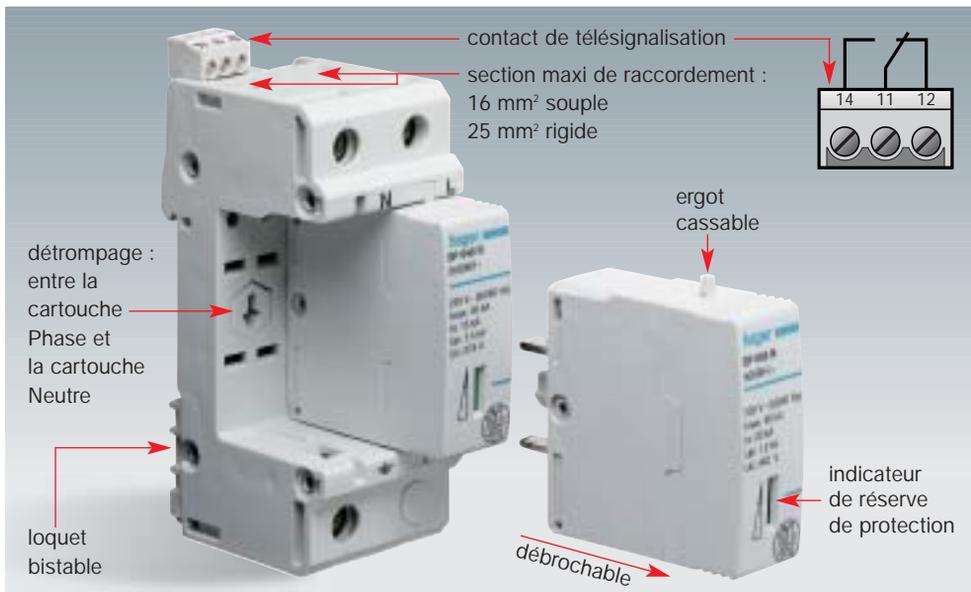
2.4. La norme produit

La norme produit des parafoudres est la **NF C 61-740/1995**. Elle traite des parafoudres protégeant les installations basse tension. Elle a un caractère général quelle que soit la technologie utilisée. Tous les parafoudres Hager sont conformes à cette norme.

3. Les parafoudres modulaires Hager

3.1. Les parafoudres débroschables

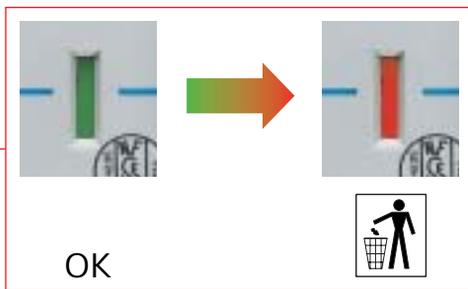
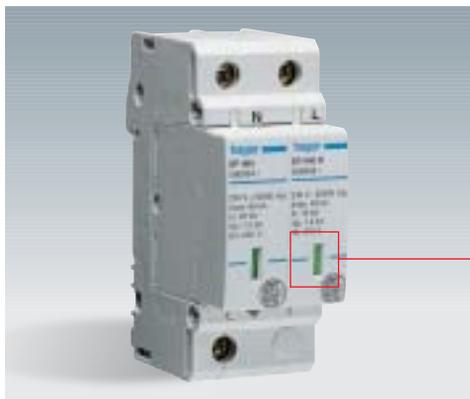
Exemple : SP 240R



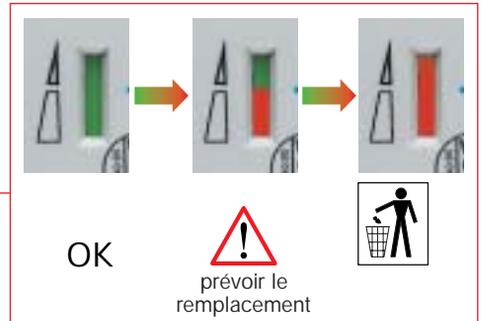
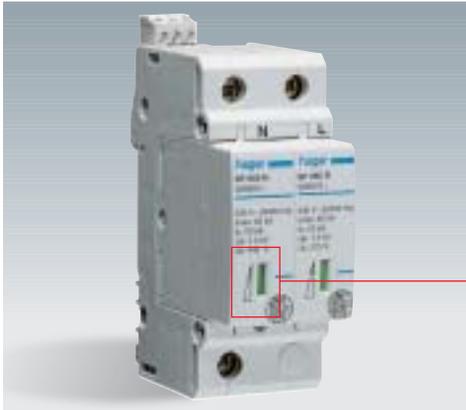
3.2. Deux versions de parafoudres de tête

Les parafoudres de tête existent en 2 versions :

- une version simple qui dispose d'un voyant fin de vie dont la couleur change lorsque le parafoudre est hors service,

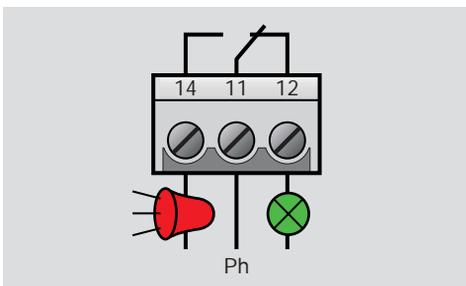


- une version "toutes options" avec un contact de télésignalisation et un indicateur de réserve de protection



Suite à plusieurs coups de foudre sur l'installation, le parafoudre passe en fonctionnement sur réserve de protection tout en continuant à assurer sa fonction. L'utilisation du contact de télésignalisation permet d'avertir l'utilisateur ou le service de maintenance afin de penser au remplacement de la cartouche.

Avec cette version, on assure à la fois la continuité de la protection (fonctionnement sur la réserve) et la continuité de service (possibilité de remplacer la cartouche tout en gardant l'installation en service).

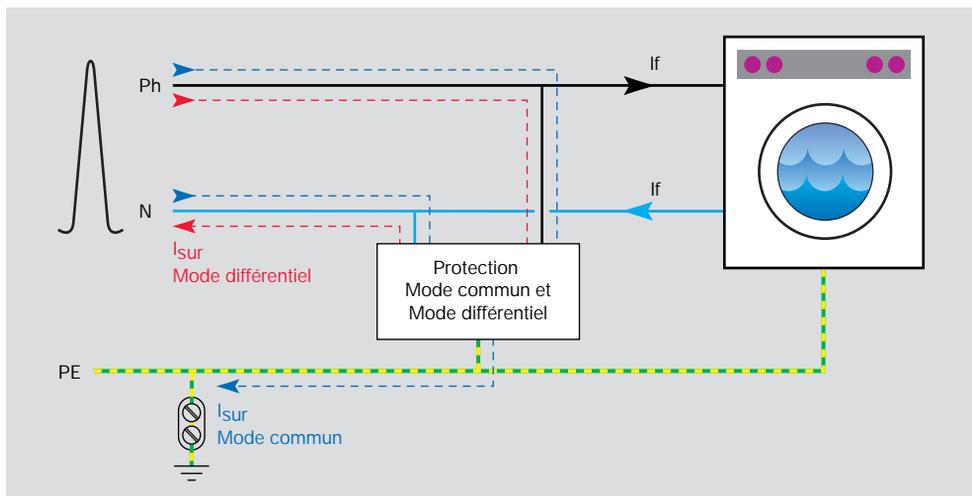


Exemple de raccordement au contact de télésignalisation :

- visualisation par voyant de l'état de marche,
- signalisation sonore sur la réserve de protection, en fin de vie et sur absence de cartouche.

3.3. Protection en mode commun et différentiel

La gamme de parafoudres multipolaires Hager assure simultanément la protection en mode commun et différentiel.



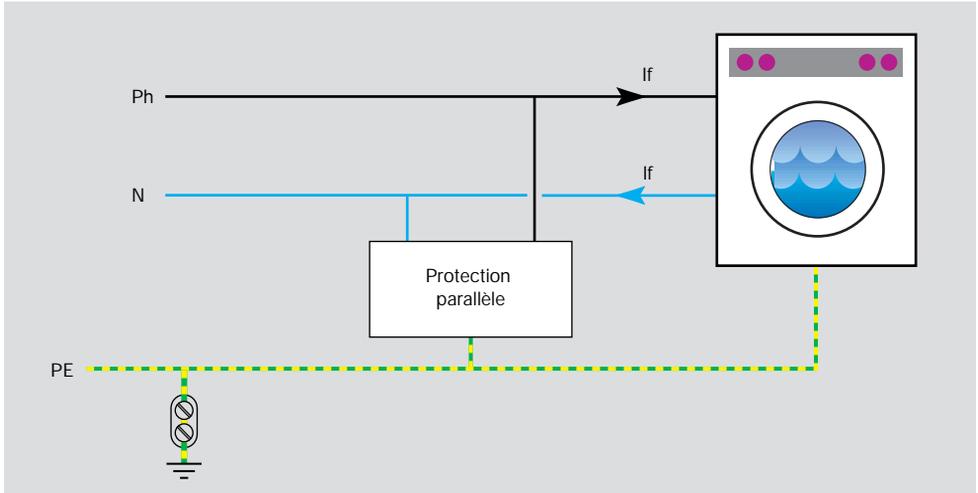
3.4. Parafoudre en parallèle ou en série

On classe les parafoudres en 2 grandes familles, en fonction de leur mode de raccordement à une installation électrique :

- en parallèle : les parafoudres sont

connectés en parallèle avec les différents récepteurs qu'ils protègent.

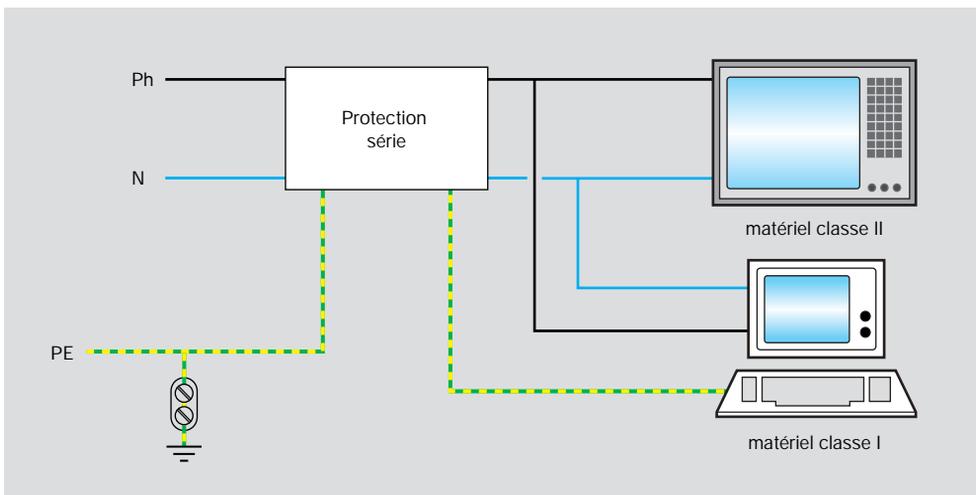
Tous les parafoudres de tête Hager sont de ce type.



- en série : ces parafoudres possèdent un niveau de tension Up faible. En fonctionnement normal, ils doivent pouvoir supporter le courant absorbé

par les récepteurs (25 A max).

Les parafoudres Hager utilisés en protection fine sont tous de cette famille.



3.5. Caractéristiques électriques

Hager propose un choix complet de parafoudres modulaires.

Réseau BT	Parafoudre débrochable de tête			
		SP 165P*	SP 265R*	SP 465R*
				
	SP 140C	SP 240D SP 240R*	SP 440D SP 440R*	
				
		SP 115C	SP 215D SP 215R*	SP 415D SP 415R*
	Protection fine			
		SP 208S	SP 408S	
Réseau téléphonique	Analogique			
	Numérique	SP 505	SP 504	

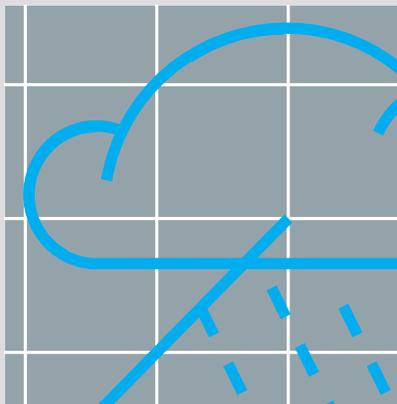
*Les références SP xxxR ou SP xxxP correspondent à des parafoudres avec indicateur de réserve de protection et contact inverseur de télésignalisation

Réf.	Type	I _{max}	I _{nom}	Up mode commun	Up mode différentiel	Uc mode commun	Uc mode différentiel	Raccordement
SP 165P*	1 Ph	65 kA	20 kA	2 kV	sans objet	440 V	sans objet	Parallèle
SP 265R*	1 Ph+N	65 kA	20 kA	1,5 kV	1,5 kV	440 V	275 V	Parallèle
SP 465R*	3 Ph+N	65 kA	20 kA	1,5 kV	1,5 kV	440 V	275 V	Parallèle
SP 140C	1 Ph	40 kA	15 kA	2 kV	sans objet	440 V	sans objet	Parallèle
SP 240D SP 240R*	1 Ph+N	40 kA	15 kA	1,4 kV	1,4 kV	440 V	275 V	Parallèle
SP 440D SP 440R*	3 Ph+N	40 kA	15 kA	1,4 kV	1,4 kV	440 V	275 V	Parallèle
SP 115C	1 Ph	15 kA	5 kA	1,8 kV	sans objet	440 V	sans objet	Parallèle
SP 215D SP 215R*	1 Ph+N	15 kA	5 kA	1,2 kV	1,2 kV	440 V	275 V	Parallèle
SP 415D SP 415R*	3 Ph+N	15 kA	5 kA	1,2 kV	1,2 kV	440 V	275 V	Parallèle
SP 208S	1 Ph+N	8 kA	2 kA	1,2 kV	1 kV	440 V	275 V	Série
SP 408S	3 Ph+N	8 kA	2 kA	1,2 kV	1 kV	440 V	275 V	Série
SP 505	1 paire téléphonique	10 kA	5 kA	300 V	300 V	200 V crête	200 V crête	Série
SP 504	1 paire téléphonique	10 kA	5 kA	100 V	100 V	48 V crête	48 V crête	Série

Tous les parafoudres sont conformes à la norme NFC 61-740/95 et homologués NF USE



Comment choisir le bon parafoudre ?



4.	Choix de la protection	26
4.1.	Faut-il une protection parafoudre ?	26
	- nature du site	26
	- nature des équipements à protéger	27
4.2.	Quelle protection parafoudre installer ?	28
	- une protection de tête	28
	- une protection fine	29
	- une protection téléphonique	29
5.	Réglette guide de choix	31

4. Choix de la protection

L'efficacité d'une protection contre les effets indirects (surtensions dues à la foudre, aux commutations sur les réseaux électriques,...) dépend principalement du bon choix du ou des parafoudres.

4.1. Faut-il une protection parafoudre ?

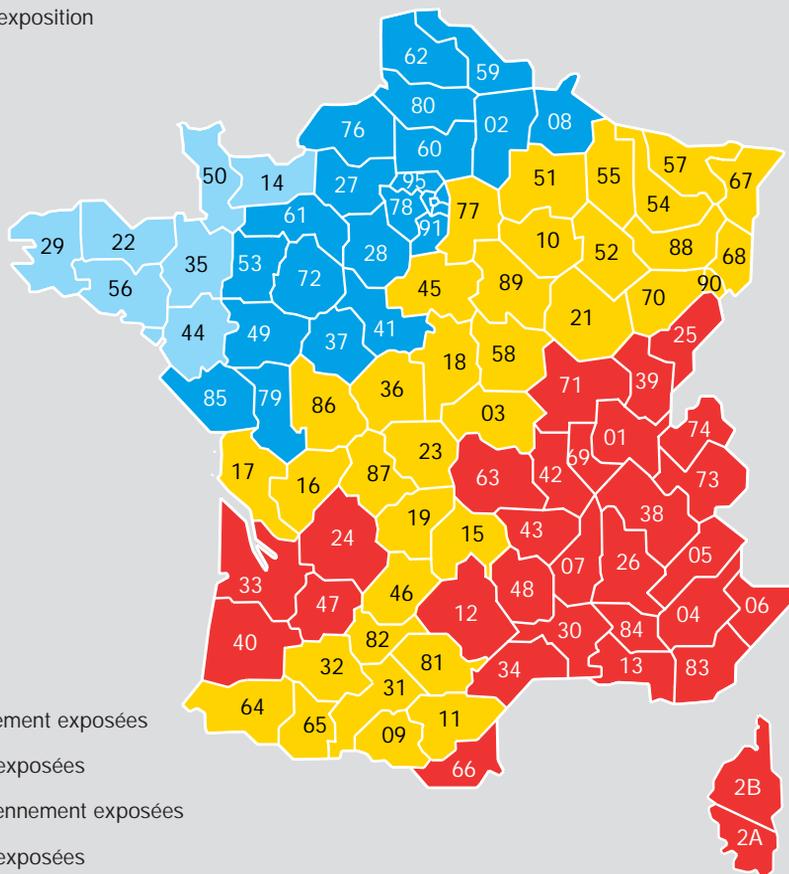
Un refuge en haute montagne ne présente pas les mêmes risques face à la foudre qu'un pavillon au centre ville d'une importante agglomération. Le niveau de "risque foudre" sur un site dépend principalement :

de la nature du site :

c'est-à-dire,

- de la densité de foudroiement du site (noté N_g) : pour une région donnée, on détermine le nombre d'impacts au sol par km^2 et par an.
- du type et de la longueur de la ligne d'alimentation électrique du site : une ligne aérienne de longueur importante est plus contraignante qu'une ligne enterrée.
- de la topographie du site : un site en milieu rural ou isolé sur une hauteur sont des critères qui augmentent le risque foudre.

Les zones d'exposition

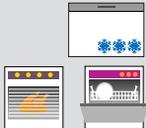


- de la présence de paratonnerres ou de structures élevées reliées à la terre : l'écoulement du coup de foudre à la terre provoque une montée de potentiel de celle-ci et engendre indirectement un risque supplémentaire.

de la nature des équipements à protéger :

on peut décliner trois paramètres :

- le niveau de protection (moteur ≠ micro ordinateur)
- le prix (grille pain ≠ chaîne Hi-Fi haute technologie)
- les conséquences de l'indisponibilité (cafetière domestique ≠ chambre froide de superette).

Matériels à protéger	
sensibilité des matériels à protéger	matériels à protéger
matériels peu sensibles	<ul style="list-style-type: none"> - matériel électrotechnique, - organe de commande et de coupure, électrique, moteur, transformateur, générateur... 
matériels sensibles	<ul style="list-style-type: none"> - machine à laver, - congélateur, - four, - sèche linge, - micro-ondes, - lave-vaisselle, - réfrigérateur, - machine à café, - radio 
matériels très sensibles	<p>matériels de classe I et de classe II </p> <ul style="list-style-type: none"> - micro-ordinateur, - modem*, - thermostat électronique, - centrale alarme, - caisse électronique, - centrale domotique, - fax*, - autocom*, - informatique, - imprimante, - photocopieur, - instrument médical, - équipement de laboratoire - répondeur* - minitel*, - télésurveillance*, - Hi-Fi, - magnétoscope, - réveil, - télévision, - télex*, - lecteur de disque laser, - produits modulaires Hager : programmeur, délesteur, gestionnaire d'énergie, compteur d'énergie, commande téléphonique 
<p>(*) la protection des matériels connectés à la ligne téléphonique est aussi nécessaire : SP 505 et SP 504</p>	

A partir de ces considérations, l'installation d'une protection peut être :

- peu nécessaire
- recommandée
- très recommandée.

zone	U		R		U		R		U		R		paratonnerre ou structure élevée
milieu urbain (U) ou milieu rural (R)	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R			
valeur en milliers de francs des matériels à protéger	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100	
sensibilité des matériels	matériels peu sensibles		matériels sensibles		matériels très sensibles		matériels peu sensibles		matériels sensibles		matériels très sensibles		
	matériels peu sensibles		matériels sensibles		matériels très sensibles		matériels peu sensibles		matériels sensibles		matériels très sensibles		
	matériels peu sensibles		matériels sensibles		matériels très sensibles		matériels peu sensibles		matériels sensibles		matériels très sensibles		
	peu nécessaire				recommandé				très recommandé				

4.2. Quelle protection parafoudre installer ?

Afin de garantir une protection, il faut associer les bons parafoudres à l'installation à protéger. Deux niveaux de protection peuvent être nécessaires :

une protection de tête :

- elle protège l'ensemble de l'installation,
- elle écoule le courant de foudre à la terre,
- elle offre un niveau de protection suffisant pour les matériels sensibles aux ondes de surtension (moteurs,...),
- elle se dimensionne par rapport :
 - au risque foudre du site,
 - au type de réseau (monophasé ou triphasé)

En schéma TT et TN-S, la mise à la terre du neutre introduit une dissymétrie qui sollicite le matériel en mode différentiel ; dans ce cas, il est recommandé de choisir une protection de tête apportant les deux types de protection (mode commun et différentiel).

zone	U		R		U		R		U		R		paratonnerre ou structure élevée
milieu urbain ou milieu rural	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R			
réseau triphasé (3Ph + N)* TT ou TN-S	SP 415R** SP 415D				SP 440R** SP 440D				SP 465R**				
réseau monophasé (Ph + N)* TT ou TN-S	SP 215R** SP 215D				SP 240R** SP 240D				SP 265R**				

(*) en régime IT ou TN-C, utiliser les parafoudres unipolaires

(**) parafoudres équipés de cartouche avec indicateur de réserve de protection et d'un contact pour la télé-signalisation

une protection fine

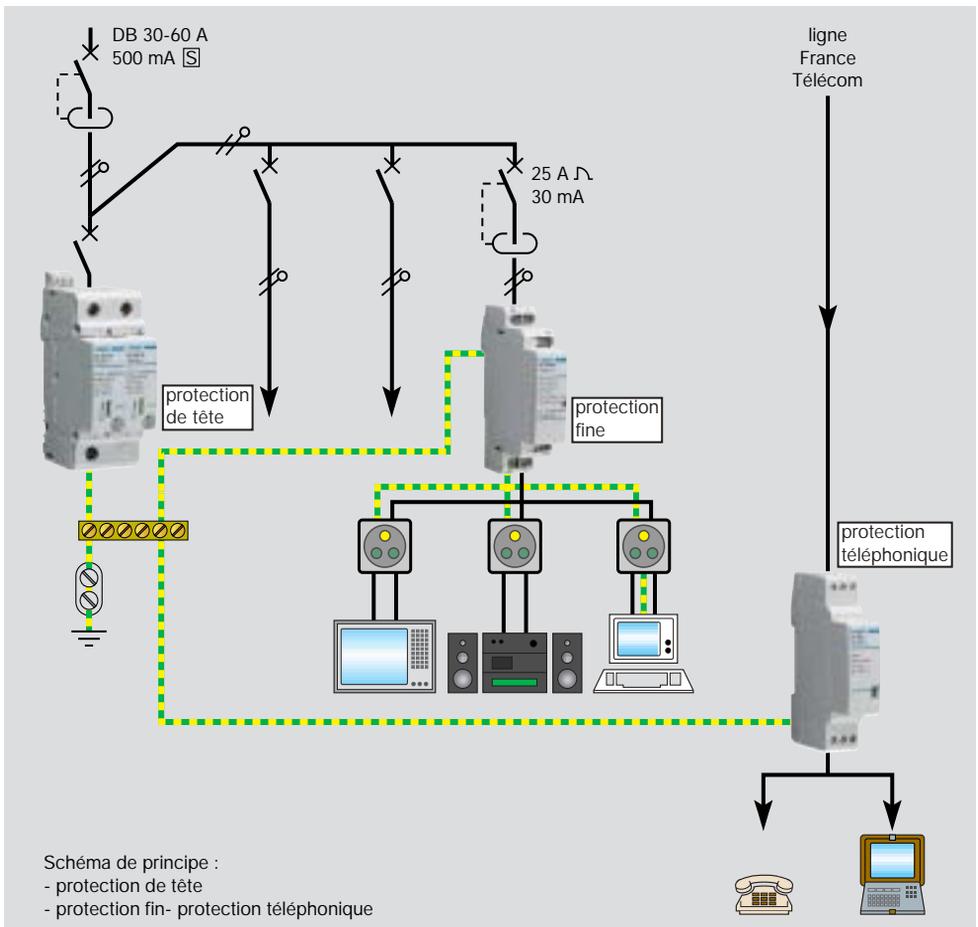
Cette protection est obligatoirement placée en aval d'un parafoudre de tête. Elle protège un matériel ou un ensemble de matériels particulièrement sensible aux ondes de surtension (micro ordinateur, ...). De type série, elle est obligatoirement associée à un disjoncteur de 25 A maximum. Elle protège aussi bien le matériel de classe I que le matériel de classe II.

réseau	parafoudre
triphasé (3 Ph + N)	SP 408S
monophasé (Ph + N)	SP 208S

une protection téléphonique

Lorsqu'un matériel sensible est connecté au réseau téléphonique (répondeur, fax...), il est recommandé de le protéger avec un parafoudre contre les surtensions pouvant provenir de la ligne téléphonique. Les caractéristiques des réseaux téléphoniques analogiques et numériques étant différentes, Hager propose un parafoudre spécifique à chacun d'eux.

matériels connectés à une ligne téléphonique	
numérique	analogique
SP 504	SP 505



Le guide de choix parafoudre Hager :

- tient compte de l'ensemble des paramètres :
nature du site, nature des équipements
à protéger,
- vous aide à choisir le parafoudre adéquat
en fonction du risque foudre pour un site
donné conformément au nouveau guide
UTE C 15-443,
- permet de respecter les règles de la NF C
15-100, lorsqu'une telle protection est
recommandée.

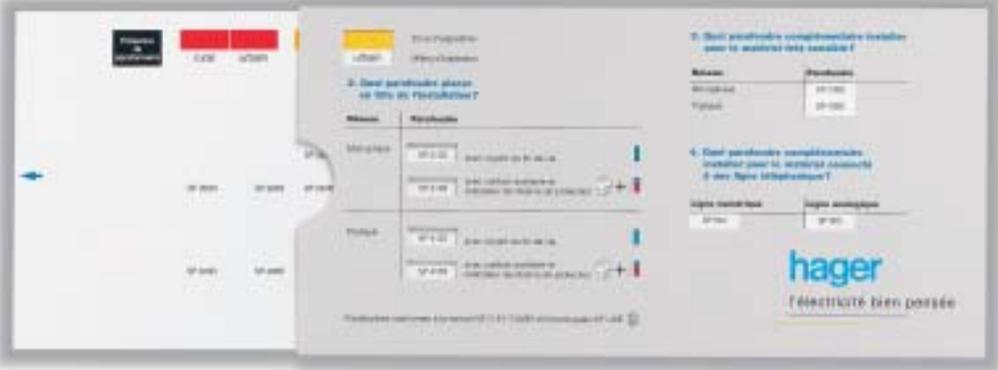
Ce guide de choix donne une idée précise
des matériels à mettre en œuvre. Il pourra
bien entendu être complété par une étude
plus approfondie au cas par cas.

5. Réglette guide de choix

En un coup d'œil, la réglette guide de choix Hager permet, en fonction des critères décrits dans le chapitre 4.1 (page 26), de savoir s'il est peu nécessaire, recommandé ou très recommandé d'installer une protection parafoudre.

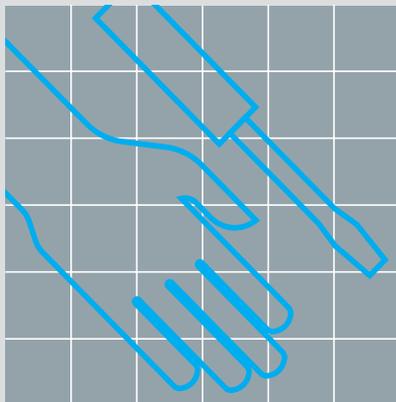


Le verso de la réglette indique les références des protections de tête, des protections fines et téléphoniques à mettre en œuvre (cf. chapitre 4.2 page 28).



Un exemple d'utilisation de cette réglette vous est proposé en page 53.

Mise en œuvre et cas pratiques



6.	Règles de mise en œuvre	35
6.1.	Mise en œuvre des protections de tête	35
6.2.	Mise en œuvre des protections fines	41
6.3.	Mise en œuvre des protections téléphoniques	43
7.	Exemples d'installation en régime TT	44
7.1.	Schéma type habitat (tarif bleu)	44
7.2.	Schéma type petit local professionnel (tarif jaune)	45
8.	Exemples de choix et de mise en œuvre	46
8.1.	Habitat	46
	- utilisation du guide de choix Hager	47
	- schéma électrique	50
	- mise en œuvre dans un coffret Gamma	51
8.2.	Petit local professionnel	52
	- utilisation de la réglette Hager	53
	- schéma électrique	54
	Glossaire	56

6. Règles de mise en œuvre

Les surtensions transitoires dues à la foudre sont des phénomènes de très courte durée. Ainsi, des précautions sont à prendre pour tenir compte du fait que les courants engendrés sont comparables à des signaux haute fréquence (500 kHz).

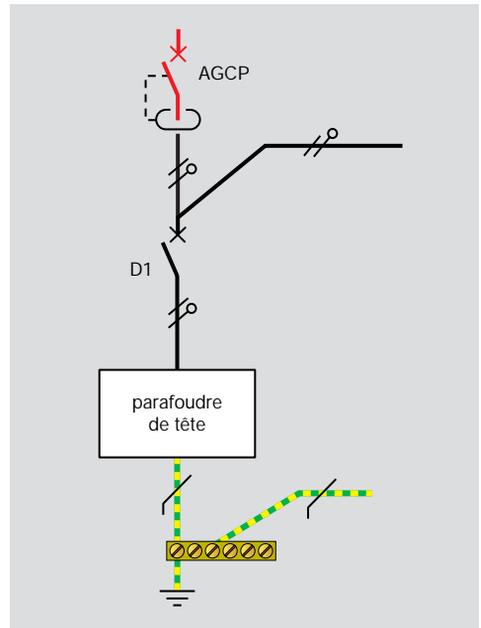
Les parafoudres Hager doivent être placés dans des enveloppes possédant des plastrons d'ouverture 45 mm.

Ce chapitre commente et décrit les articles 443 et 534 de la norme NF C 15-100 et les règles d'installation définies dans le guide pratique UTE C 15-443.

6.1. Mise en œuvre des protections de tête

Règle 1 : parafoudre de tête directement en aval de l'AGCP.

Les parafoudres de tête doivent être disposés directement en aval du dispositif assurant la fonction de sectionnement en tête d'installation. En tarif bleu, ce parafoudre doit être placé immédiatement en aval de l'Appareil Général de Commande et de Protection (AGCP) qui est le disjoncteur de branchement.



parafoudre de tête directement en aval de l'AGCP

Règle 2 : protection en mode commun au minimum en tête d'installation.

La protection de tête doit apporter au moins une protection en mode commun, c'est à dire entre conducteurs actifs et terre. Cependant, en cas de mauvaise prise de terre, il est conseillé de mettre en place une protection en mode différentiel (entre phase et neutre) en régime TT et TN.S (cf. chapitre 4.2 page 28).

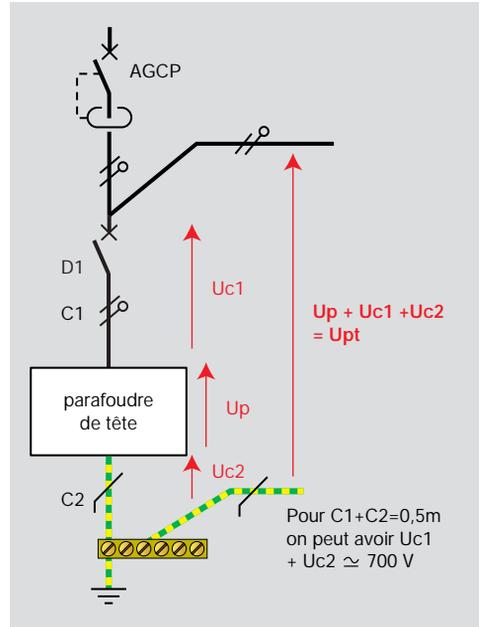
Tous les parafoudres Hager assurent la protection à la fois en mode commun et différentiel.

Règle 3 : longueurs de connexion les plus courtes et les plus rectilignes possibles.

Le passage de la surtension engendre une chute de tension "aux bornes" des conducteurs de connexion (C1 et C2) qui s'additionne à la tension U_p du parafoudre.

La surtension que l'on retrouvera aux bornes des appareils sera donc d'autant plus faible que ces longueurs sont courtes et rectilignes.

Les conducteurs de connexion du parafoudre doivent être d'une longueur n'excédant pas de préférence 0.5 mètre au total.



longueurs de connexion les plus courtes et les plus rectilignes possibles

Règle 4 : sections de connexion les plus importantes possibles.

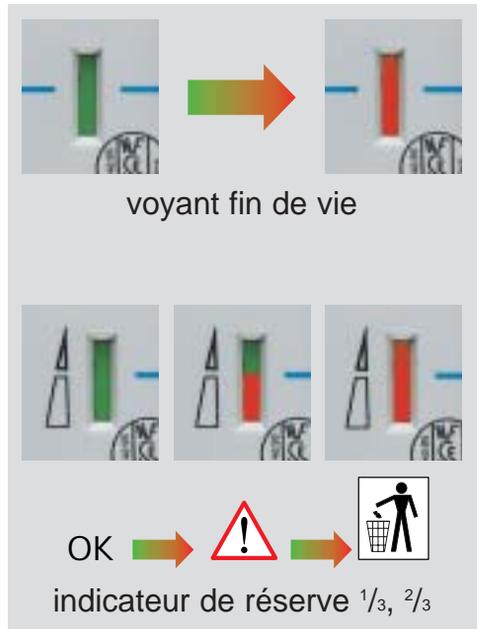
Les conducteurs de terre des parafoudres doivent avoir une section minimale de 4 mm² en cuivre. En présence d'un paratonnerre, cette section minimale est de 10 mm².

La protection de tête doit écouler la plus grande partie du courant de foudre à la terre. La section des conducteurs de connexion doit être la plus grande possible (capacité maxi des bornes du produit), et de préférence en multibrin, afin de diminuer l'impédance au passage du courant de foudre.

Règle 5 : dispositifs de signalisation.

Un dispositif de signalisation doit indiquer que le parafoudre n'assure plus sa fonction de protection.

Les parafoudres Hager répondent à cette prescription par l'intermédiaire d'un voyant de fin de vie ou de l'indicateur de réserve situé sur la face avant des cartouches.



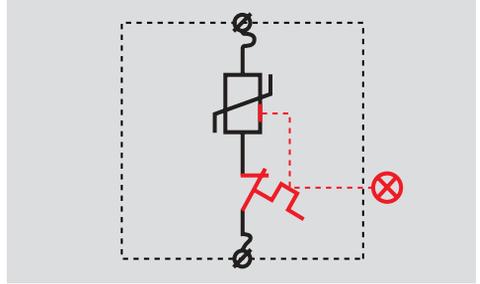
dispositifs de signalisation

Règle 6 : protection du parafoudre et de son circuit.

Le parafoudre doit être déconnecté automatiquement :

- en cas d'emballement thermique (cf. a),
- en cas de court-circuit (cf. b),
- en cas de courant de défaut à la terre (cf. c).

a. Les parafoudres Hager disposent d'un déconnecteur thermique intégré qui stoppe un éventuel emballement thermique de la varistance en fin de vie et déconnecte les conducteurs actifs (phase et neutre) de la terre (circuit ouvert).

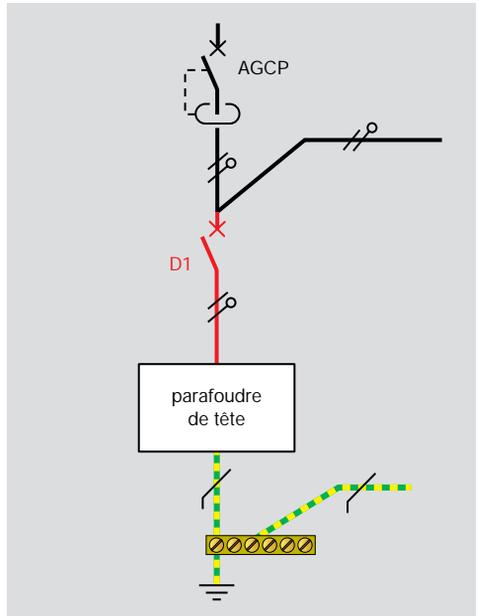


a. le parafoudre se déconnecte en cas d'emballement thermique

b. Le parafoudre doit être déconnecté automatiquement en cas de court circuit par un dispositif spécifié par le constructeur. C'est pourquoi, pour répondre totalement aux essais définis dans la norme produit 61-740/95, il est nécessaire de le protéger par des disjoncteurs.

I _{max} parafoudre	I _n disjoncteur	Tenue en court-circuit
65 kA	25 A courbe C	15 kA
40 kA	25 A courbe C	15 kA
15 kA	10 A courbe C	10 kA

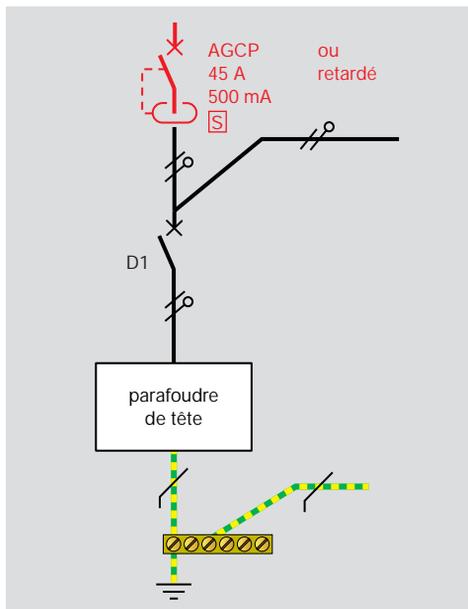
Le pouvoir de coupure du disjoncteur doit être supérieur au courant de court-circuit présumé à l'endroit où il est installé.



b. le parafoudre se déconnecte en cas de court circuit

c. Des dispositifs de protection contre les courants de défaut à la terre doivent être prévus. Si le parafoudre est placé à l'origine de l'installation, en aval d'un dispositif différentiel résiduel, ce dernier doit être d'un type qui ne se déclenche pas sous l'effet d'un courant de choc de 5 kA (forme d'onde 8/20).

Les dispositifs différentiels Hager de type S ou retardé répondent à cette prescription.



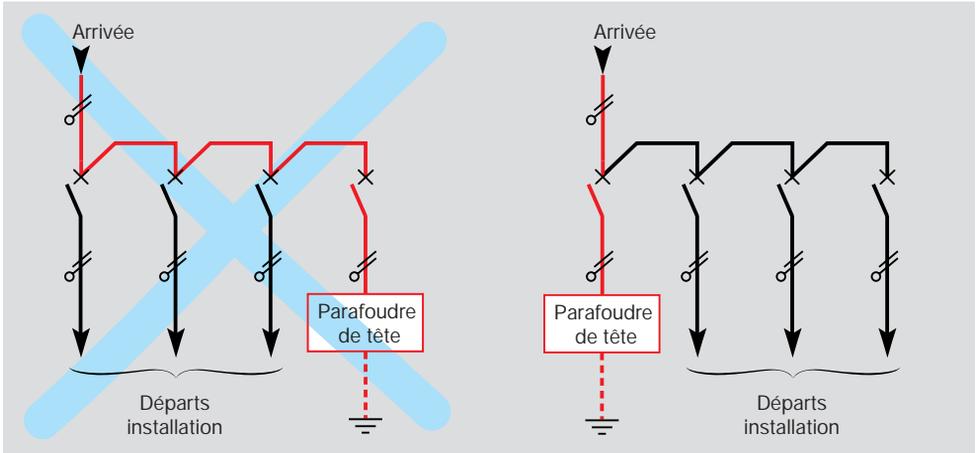
c. le parafoudre se déconnecte en cas de courant de défaut à la terre

Règle 7 : mise en œuvre déconseillée dans les locaux spéciaux.

Les parafoudres ne doivent pas être installés dans des locaux où existent des risques d'incendie ou d'explosion (locaux BE2 et BE3), sauf si des précautions particulières sont prises.

Règle 8 : connexions perturbées séparées des conducteurs "propres".

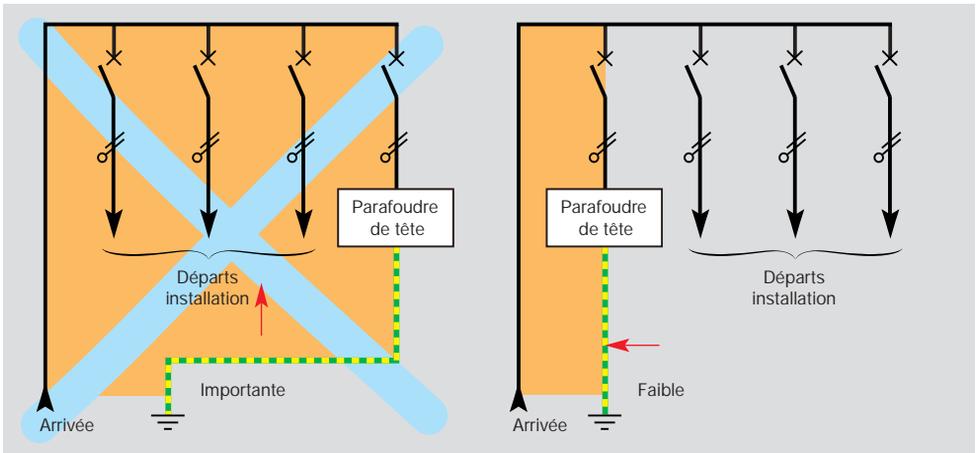
Il est nécessaire de bien séparer les conducteurs d'arrivée du parafoudre de ceux alimentant les départs afin d'éviter la "pollution" de ces circuits protégés.



— câbles pollués lors du passage d'un courant de foudre

Règle 9 : limitation des surfaces de boucle de masse

Les conducteurs actifs (phase et neutre) et les conducteurs de protection doivent être très proches l'un de l'autre afin de limiter au maximum les surfaces de boucle de masse.



— surface de boucle de masse

6.2. Mise en œuvre des protections fines

La mise en cascade de plusieurs parafoudres est nécessaire dans au moins un des deux cas suivants :

- le parafoudre de tête a un niveau de tension U_p trop important pour les matériels à protéger,
- les matériels sensibles sont situés trop loin du parafoudre de tête.

Le parafoudre de tête écoule à la terre un maximum d'énergie (90%) et la protection secondaire permet de réduire le niveau de la surtension à une valeur plus faible, acceptable par du matériel sensible.

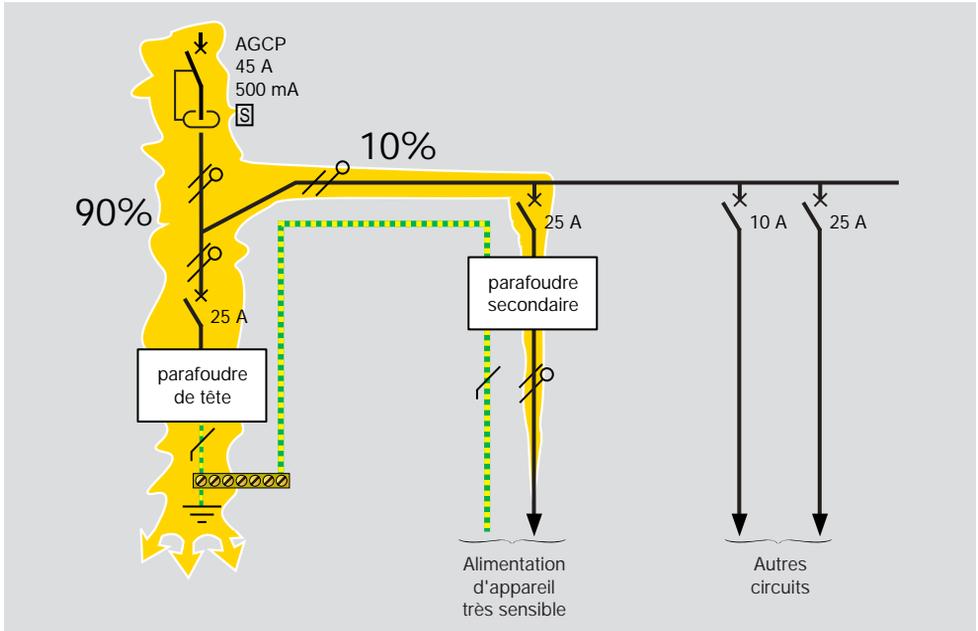


schéma de principe : protection de tête et protection fine

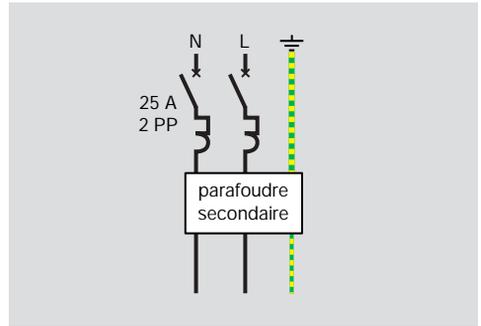
Règle 1 : distance entre la protection de tête et la protection fine la plus grande possible (plus de 1 m si possible).
En effet, une telle distance permet d'augmenter l'inductance, donc l'impédance et de ce fait elle assure une bonne coordination entre ces deux protections afin de répartir l'écoulement du courant de foudre à la terre (90% - 10%).

I _{max} parafoudre de tête	mode commun	mode différentiel
15 kA	900 V	800 V
40 kA	900 V	800 V
65 kA	850 V	750 V

Les valeurs sont données pour une longueur de câble minimum de 1 m entre le parafoudre de tête et les parafoudres secondaires

Règle 2 : distance protection de tête - protection fine inférieure à 1 m.

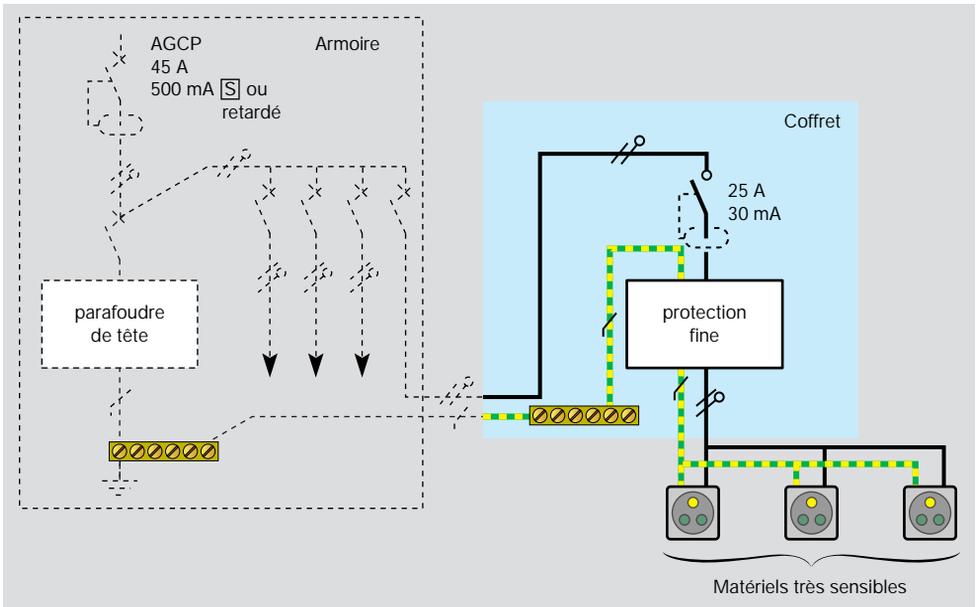
Si la protection fine se situe dans le même tableau que le parafoudre de tête et que la distance de 1 m ne peut être obtenue, on peut utiliser un disjoncteur 2 PP sur le circuit parafoudre secondaire afin d'augmenter l'impédance de la liaison.



protection bipolaire d'un parafoudre secondaire

Règle 3 : distance protection fine - matériel sensible la plus courte possible.

En effet, une distance importante engendre, par un phénomène d'oscillation, une surtension supplémentaire aux bornes de l'appareil sensible que l'on cherche à protéger.



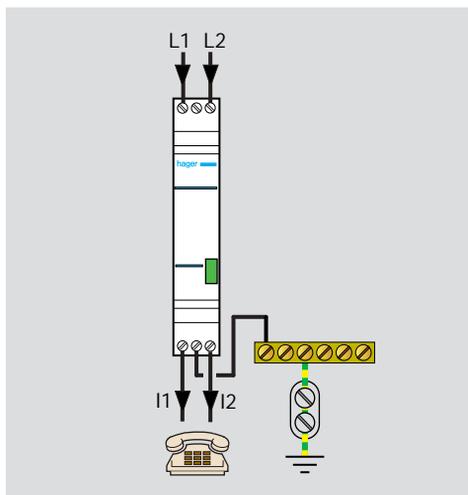
utilisation d'un coffret divisionnaire proche du matériel à protéger

6.3. Mise en œuvre des protections téléphoniques

Les récepteurs raccordés à une ligne téléphonique doivent être protégés contre les surtensions provisoires véhiculées sur ces réseaux.

En fonction du type de réseau téléphonique, on utilisera des parafoudres différents :

- réseau téléphonique commuté (RTC) : SP 505
- réseau numérique (NUM) : SP 504



mise en œuvre d'une protection téléphonique

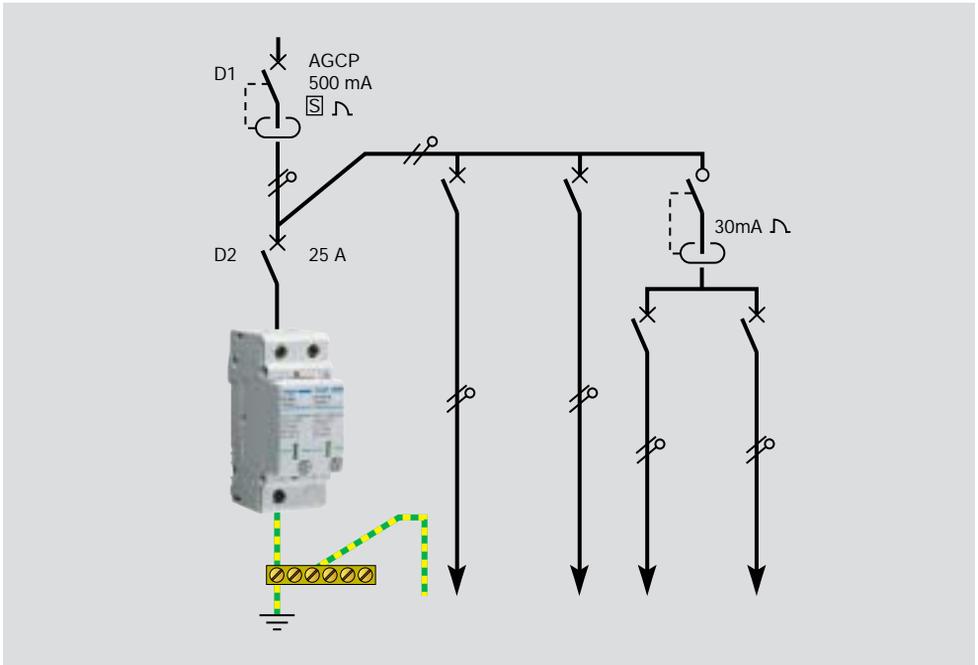
De manière générale :

- Il est important de réaliser l'équipotentialité de toutes les masses des différents équipements. Cette précaution permet d'éviter les bouclages ou effets induits d'un courant de foudre d'un circuit à l'autre.
- Pour une installation neuve avec parafoudres, une terre réalisée en boucle de fond de fouille, d'une valeur inférieure à 10Ω , est considérée comme étant une bonne prise de terre.

7. Exemples d'installation en régime TT

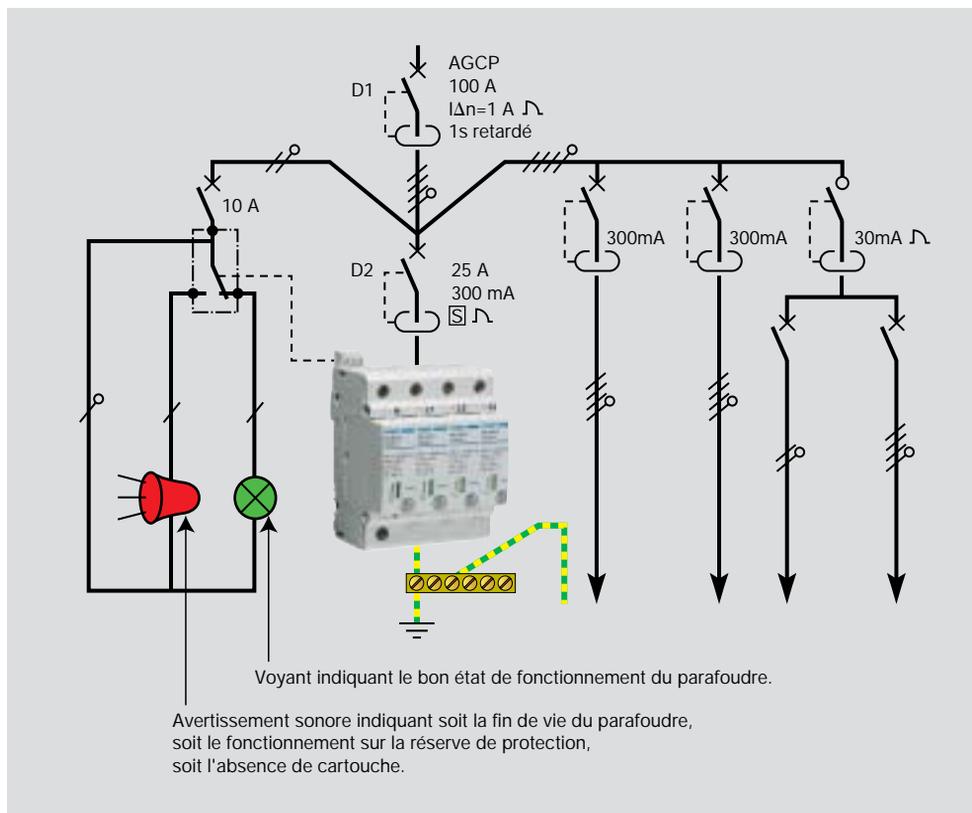
La coordination entre l'AGCP et le parafoudre muni de ses dispositifs de protection a une influence sur la continuité de l'alimentation. Dans tous les cas, une protection différentielle sélective "S" en amont du parafoudre permet d'éviter le déclenchement de l'AGCP pour un coup de foudre moyen.

7.1. Schéma type habitat (tarif bleu)



Ce schéma assure une bonne continuité de service.

7.2. Schéma type petit local professionnel (tarif jaune)



Ce schéma assure une très bonne continuité de service. Le parafoudre avec indicateur de réserve de protection et son contact de télésignalisation est la solution idéale pour une maintenance préventive.

8. Exemples de choix et de mise en œuvre

L'installation de parafoudres dans une armoire ou un coffret nécessite de prêter une attention particulière au câblage. Au niveau des connexions, les distances doivent être les plus courtes possible. Les conducteurs utilisés sont de préférence en multibrin et de sections les plus grandes possible.

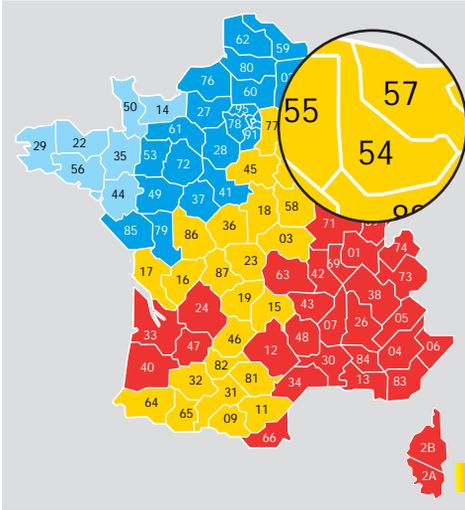
8.1. Habitat

Une maison individuelle (tarif bleu) située en terrain découvert près de Nancy (département 54) est alimentée par une ligne aérienne BT monophasée de 300 m de long. Le poste HTA/BT est également alimenté en aérien sur 2 km.

Le matériel à protéger est une alarme avec transmission téléphonique, connectée sur un réseau analogique, et des équipements très sensibles (vidéo, ordinateur, hi-fi). La valeur de tous ces équipements est estimée à 45000F.



Faut-il une protection parafoudre ?



- Département 54 → **Zone jaune**
- Milieu → **Rural**
- Valeur du matériel à protéger → **entre 10 000 et 100 000 Frs**
- Matériel → **Très sensible**

Matériels à protéger	
sensibilité des matériels à protéger	matériels à protéger
matériels peu sensibles	- matériel électrotechnique, - organe de commande et de coupure, électrique, moteur, transformateur, générateur...
matériels sensibles	- machine à laver, - congélateur, - four, - sèche linge, - micro-ondes, - lave-vaisselle, - réfrigérateur, - machine à café, - radio
matériels très sensibles	matériels de classe I et de classe II ☐ <ul style="list-style-type: none"> - micro-ordinateur, - modem*, - thermostat électronique, - centrale alarme, - caisse électronique, - centrale domotique, - fax*, - autocom*, - informatique, - imprimante, - photocopieur, - instrument médical, - équipement de laboratoire <ul style="list-style-type: none"> - répondeur* - minitel*, - télésurveillance*, - Hi-Fi, - magnétoscope, - réveil, - télévision, - téléx*, - lecteur de disque laser, - produits modulaires Hager : programmateur, délesteur, gestionnaire d'énergie, compteur d'énergie, commande téléphonique
(*) la protection des matériels connectés à la ligne téléphonique est aussi nécessaire : SP 505 et SP 504	

Le choix du type de protection est tributaire :

- de la zone géographique où se trouve l'installation (milieu rural ou urbain, densité de foudroiement, réseau de distribution en aérien ou souterrain),
- de la sensibilité du matériel à protéger. Il faut bien évaluer la valeur et les coûts d'immobilisation des appareils.

zone	Zone bleue		Zone orange		Zone jaune		Zone rouge		paraton ou struc élevée	
milieu urbain (U) ou milieu rural (R)	U	R	U	R	U	R	U	R		
valeur en milliers de francs des matériels à protéger	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100
sensibilité des matériels	matériels peu sensibles									
	matériels sensibles									
	matériels très sensibles									
	peu nécessaire				recommandé				très recommandé	

→ La protection par un ou plusieurs parafoudres est très recommandée

Choix du parafoudre général de tête

- Zone →
- Milieu →
- Réseau (tarif bleu) →

zone	Zone bleue		Zone orange		Zone jaune		Zone rouge		paratonnerre ou structure élevée
milieu urbain (U) ou milieu rural (R)	U	R	U	R	U	R	U	R	
réseau triphasé (3Ph + N)* TT ou TN-S	SP 415R** SP 415D				SP 440R** SP 440D		SP 465R**		
réseau monophasé (Ph + N)* TT ou TN-S	SP 215R** SP 215D				SP 240R** SP 240D		SP 265R**		

→ SP 240R ou SP 240D

(*) en régime IT ou TN-C, utiliser les parafoudres unipolaires

(**) parafoudres équipés de cartouche avec indicateur de réserve de protection et d'un contact pour la télésignalisation

Pour des raisons de sécurité (protection du système d'alarme), la continuité de service doit être assurée. De plus, on ne souhaite pas faire fonctionner l'installation sans parafoudre.
On choisira donc un parafoudre de tête équipé d'un contact de télésignalisation et d'un indicateur de réserve de protection :

→ SP 240R

Choix de la protection fine

■ Réseau → **Monophasé (Ph+N)**

réseau	
triphasé (3 Ph + N)	SP 408S
monophasé (Ph + N)	SP 208S

→ SP 208S

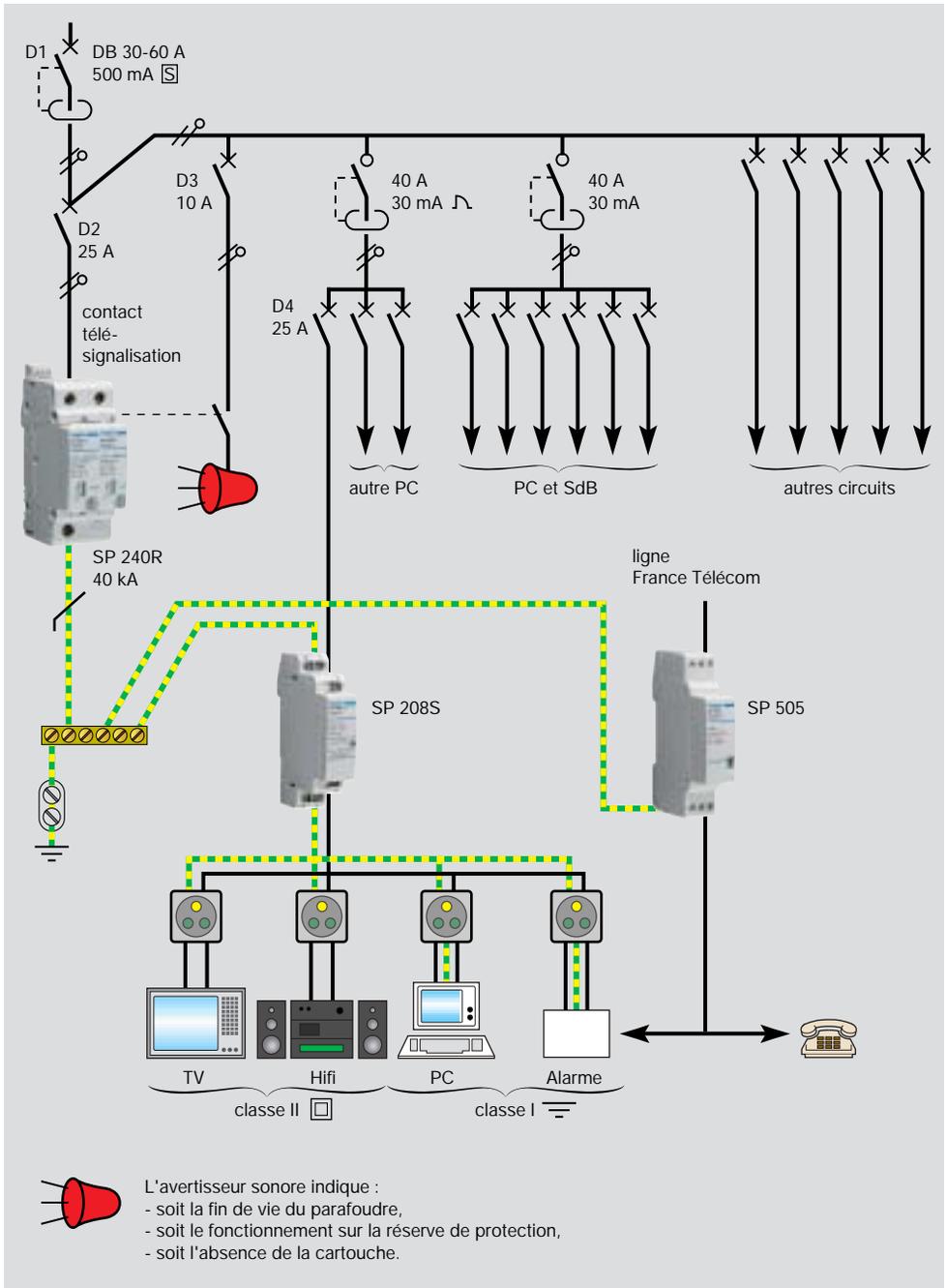
Choix de la protection téléphonique

■ Réseau → **Analogique (RTC)**

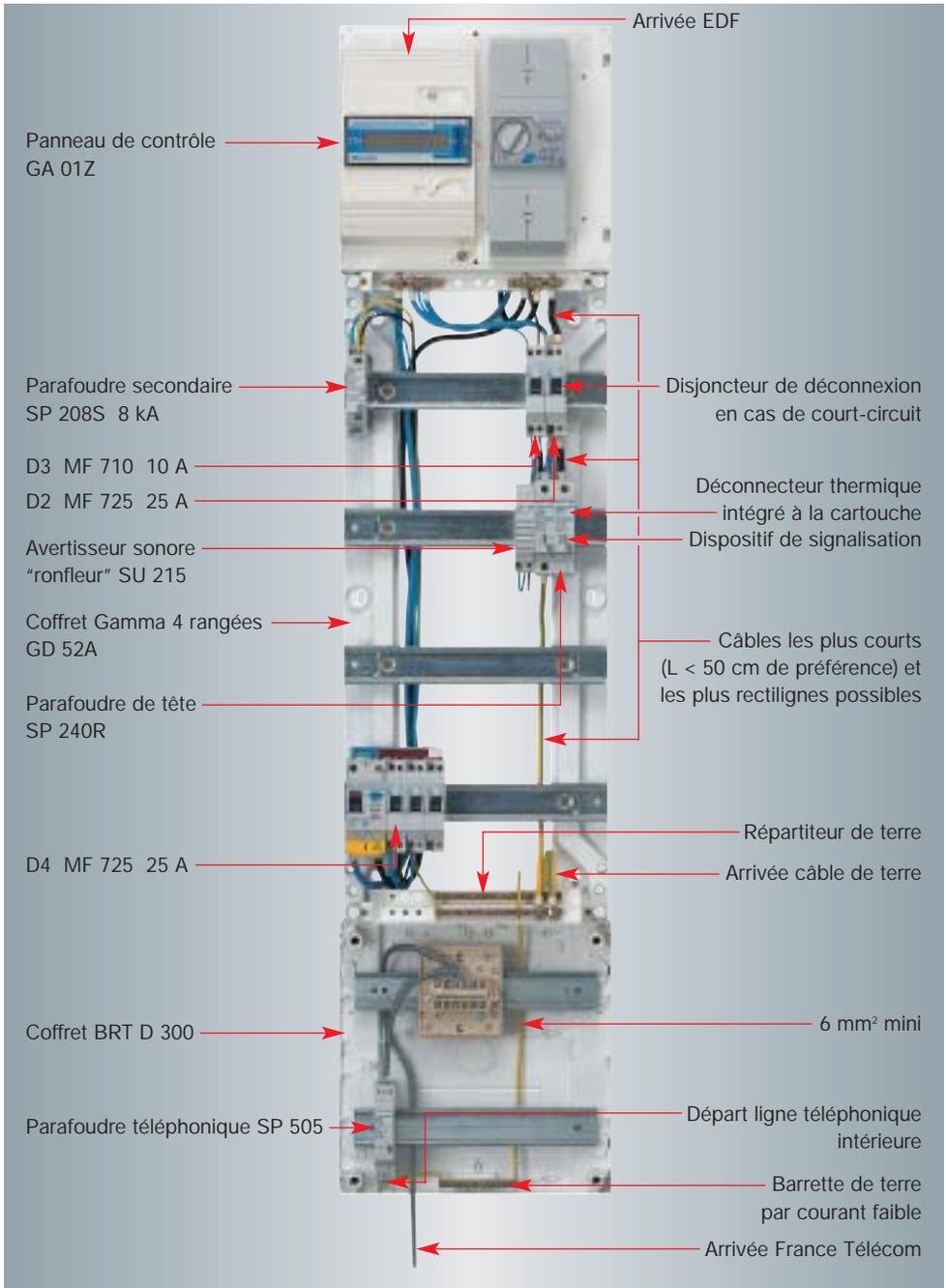
matériels connectés à une ligne téléphonique	
numérique	analogique
SP 504	SP 505

→ SP 505

schéma électrique



mise en œuvre dans un coffret Gamma



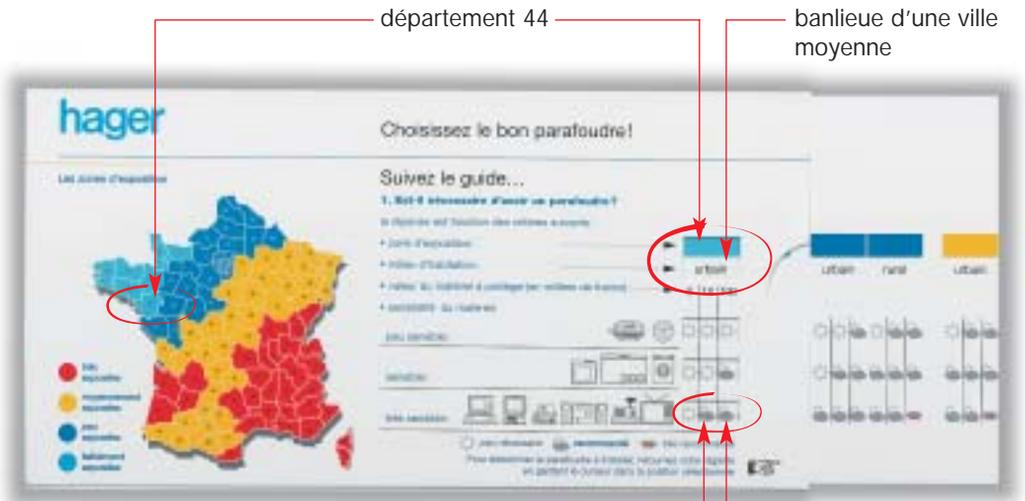
8.2. Petit local professionnel

Une superette, située en banlieue d'une ville moyenne près de Nantes (département 44) et entourée de plusieurs immeubles collectifs, est alimentée par une ligne souterraine BT triphasée en régime TT.

Le poste HTA/BT est également alimenté par une ligne souterraine.

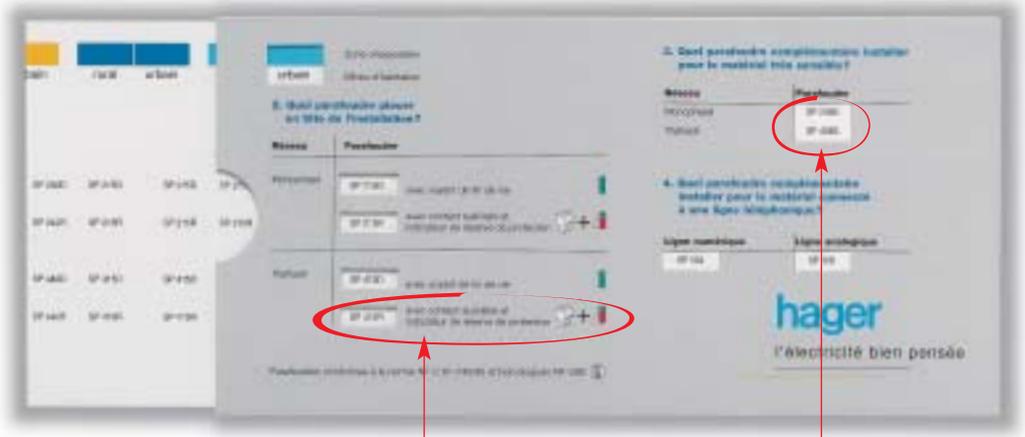
Les équipements (environ 80000F) sont de type "bureautique individuelle", dont l'indisponibilité éventuelle aurait une grande incidence sur l'activité professionnelle.





il est recommandé de protéger l'installation par un ou plusieurs parafoudres

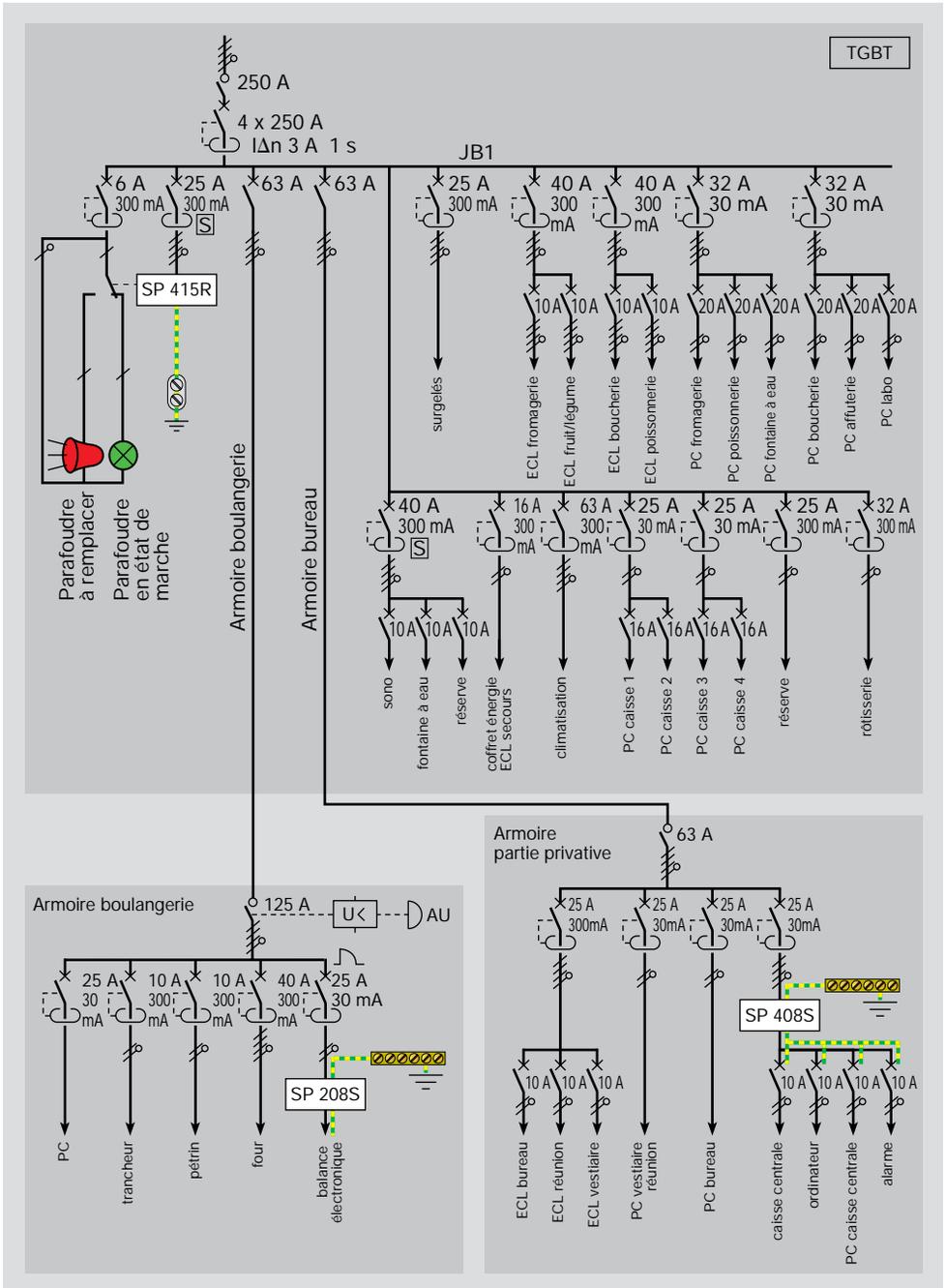
matériel très sensible de 80 000 Frs



On choisira un parafoudre équipé d'un contact de télé-signalisation et d'un indicateur de réserve afin d'optimiser la maintenance de l'installation : **SP 415 R**.

Une protection fine SP 208S est nécessaire pour le matériel très sensible monophasé et une protection SP 408S pour un circuit triphasé (3 Ph + N).

Une protection téléphonique est inutile dans ce cas car aucun matériel spécifique relié sur le réseau téléphonique n'est à protéger.



Glossaire

Cumulo-nimbus :

masse nuageuse en forme d'enclume qui donne lieu à des orages de chaleur très localisés et de durée limitée.

Densité de foudroiement :

nombre d'impacts par km² et par an. Cette densité est déterminée scientifiquement par l'intermédiaire de capteurs répartis sur le territoire.

Eclair :

décharge électrique violente d'origine atmosphérique qui se développe entre nuages ou à l'intérieur d'un même nuage.

Foudre :

décharge électrique violente d'origine atmosphérique qui se développe entre un nuage et le sol.

Ic :

courant de fonctionnement permanent. C'est le courant circulant dans le parafoudre lorsqu'il est alimenté sous sa tension maximale de régime permanent en l'absence de défaut.

I_{max} :

courant maximal de décharge. Le parafoudre doit fonctionner au minimum une fois sans se détériorer sous une onde de courant 8/20, de valeur crête égale à I_{max}.

In :

courant nominal de décharge. Le parafoudre doit fonctionner au minimum 20 fois sans se détériorer sous une onde de courant 8/20, de valeur crête égale à In.

Orage :

phénomène météorologique d'instabilité atmosphérique au cours duquel des turbulences développent des charges électriques dans l'air.

Parafoudre :

appareil protégeant le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées en dérivant les ondes de courant.

Paratonnerre :

appareil destiné à préserver une construction des effets directs de la foudre.

Protection de tête :

parafoudre qui protège l'ensemble de l'installation.

Protection fine :

parafoudre qui protège les matériels particulièrement sensibles aux ondes de surtension.

Protection téléphonique :

parafoudre qui protège les matériels sensibles connectés au réseau téléphonique.

Surtension transitoire :

élévation de tension de courte durée, ne dépassant pas quelques millisecondes.

Tonnerre :

onde de choc sonore qui accompagne la foudre.

Uc :

tension maximale de régime permanent. C'est la valeur admissible de la tension efficace à fréquence industrielle (50/60 Hz) qui peut être appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre sans affecter son fonctionnement.

Up :

niveau de protection. C'est la valeur de tension qui subsiste aux bornes du parafoudre lorsque celui-ci est parcouru par son courant nominal de décharge.

Varistance :

composant à base d'oxyde de zinc (ZnO) limitant la tension à ses bornes grâce à sa caractéristique courant/tension.