



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.44

(07/2003)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES
PERTURBATIONS

**Tests d'immunité des équipements de
télécommunication exposés aux surtensions et
aux surintensités – Recommandation
fondamentale**

Recommandation UIT-T K.44

Recommandation UIT-T K.44

Tests d'immunité des équipements de télécommunication exposés aux surtensions et aux surintensités – Recommandation fondamentale

Résumé

La présente Recommandation s'emploie à établir des méthodes de test et des critères fondamentaux en ce qui concerne l'immunité des équipements de télécommunication aux surtensions et aux surintensités.

Les surtensions ou surintensités dont il est question dans la présente Recommandation sont notamment les chocs électriques dus à la foudre frappant les lignes ou tombant à proximité, l'induction de courte durée de tensions alternatives dues aux lignes de transport d'énergie ou ferroviaires électriques proches, l'élévation de potentiel de terre due à des défauts affectant les ouvrages électriques et les contacts directs entre lignes de télécommunication et lignes d'alimentation électrique.

Les modifications par rapport à la version de 2000 de la présente Recommandation sont principalement les suivantes:

- remplacement du test longitudinal par un test port-terre;
- ajout d'un test port externe-port externe;
- ajout de spécifications concernant les ports internes.

Source

La Recommandation K.44 de l'UIT-T a été approuvée le 29 juillet 2003 par la Commission d'études 5 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2004

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Références normatives.....	1
3	Définitions et abréviations.....	2
	3.1 Définitions.....	2
	3.2 Abréviations	5
	3.3 Symboles	6
4	Conditions de surtensions et surintensités.....	6
5	Prescriptions d'immunité (fondamentale et renforcée).....	7
	5.1 Prescription d'immunité fondamentale.....	7
	5.2 Prescription d'immunité renforcée.....	7
6	Limites de l'équipement.....	7
7	Conditions de test	8
	7.1 Types de test.....	8
	7.2 Conditions de test	9
8	Coordination des dispositifs de protection	11
	8.1 Généralités.....	11
	8.2 Foudre.....	11
	8.3 Induction par les lignes électriques, élévation du potentiel de terre et contact avec des lignes électriques.....	12
	8.4 Dispositif de protection spécial de test.....	12
9	Critères d'acceptation.....	12
10	Tests.....	13
	10.1 Port externe de type paire symétrique	18
	10.2 Port externe de type câble coaxial	19
	10.3 Port externe de type alimentation électrique dédiée d.c. et a.c.....	19
	10.4 Port externe de type alimentation secteur.....	20
	10.5 Ports internes	20
Annexe A – Présentation des tests		21
	A.1 Introduction	21
	A.2 Equipement.....	21
	A.3 Générateurs de test	22
	A.4 Générateur de forme d'onde.....	24
	A.5 Alimentation, couplage, découplage et terminaisons	24
	A.6 Schémas de test pour différents types de ports.....	27
Appendice I – Explications relatives aux conditions de test.....		43
	I.1 Réalisation des tests.....	43
	I.2 Gamme de niveaux de test de choc de foudre et d'induction par les lignes électriques.....	56

	Page
I.3 Relation entre la Rec. UIT-T K.44 et les autres Recommandations de produit ou de famille de produits.....	57
Appendice II – Indications complémentaires à l'attention des constructeurs et des exploitants.....	59
II.1 Introduction	59
II.2 Coordination de la protection primaire.....	59
II.3 Tension au niveau du répartiteur principal appliquée à l'entrée de l'équipement.....	64
II.4 Test en courant sur les ports alimentation secteur.....	71
II.5 Elévation du potentiel de terre et du neutre.....	72

Recommandation UIT-T K.44

Tests d'immunité des équipements de télécommunication exposés aux surtensions et aux surintensités – Recommandation fondamentale

1 Domaine d'application

La présente Recommandation fondamentale décrit les tests relatifs à tous les équipements de télécommunication en matière d'immunité aux surtensions et aux surintensités, à l'intention des opérateurs de réseau et des constructeurs.

La présente Recommandation s'applique à tous les équipements de télécommunication raccordés à des conducteurs métalliques externes ou internes aux bâtiments. Elle doit être consultée parallèlement avec les Recommandations UIT-T K.11 et K.39 consacrées aux aspects économiques et techniques généraux de la protection.

La présente Recommandation ne spécifie ni des niveaux de tests, ni des critères d'acceptation particuliers propres à des équipements spécifiques.

Les niveaux et les procédures de tests appropriés figurent dans les Recommandations de produit ou de famille de produits spécifiques.

La présente Recommandation doit donc être utilisée conjointement avec la Recommandation de produit ou de famille de produits qui traite des exigences en matière d'immunité concernant l'équipement à tester.

Si une Recommandation de produit ou de famille de produits ou certains paragraphes de cette Recommandation diffèrent de la présente Recommandation fondamentale, les dispositions de la Recommandation de produit ou de famille de produits s'appliquent. Les mises à jour des Recommandations de produit doivent être coordonnées avec la Rec. UIT-T K.44 et s'y référer.

La présente Recommandation suppose que les configurations de mise à la terre et d'équipotentialité sont conformes à la Recommandation appropriée au type d'installation considéré.

Les tests sont des tests de type, et bien qu'ils soient applicables à un système complet, il est admis qu'ils peuvent être appliqués à des équipements particuliers dans le cadre du processus de mise au point et de conception. L'exécution des tests exige la prise en compte de toutes les conditions en présence, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'unité soumise au test, susceptibles d'affecter les résultats.

La présente Recommandation ne traite pas des tests de décharge électrostatique et il convient à cet égard de suivre les indications de la publication CEI 61000-4-2.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

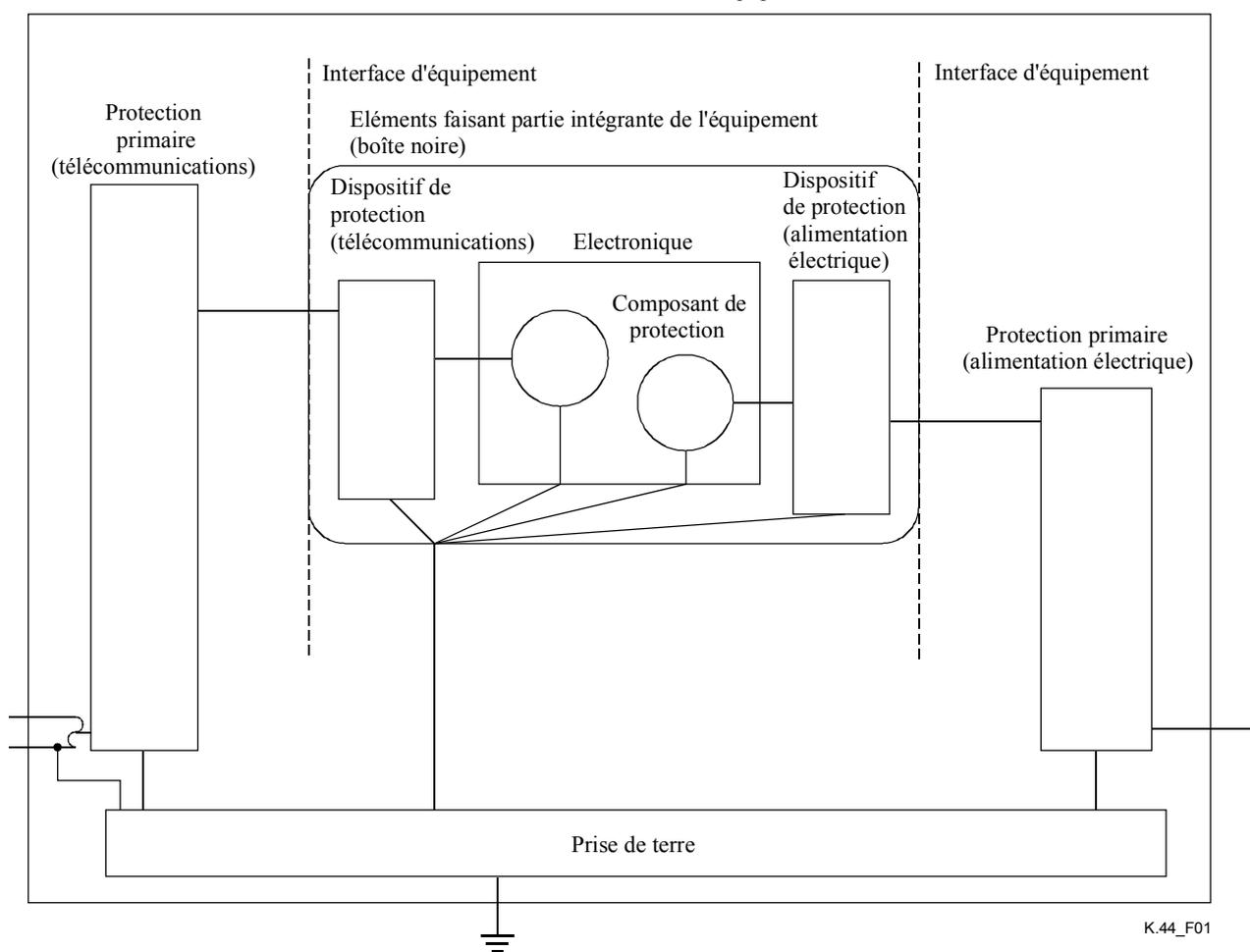
- Recommandation UIT-T K.11 (1993), *Principes de la protection contre les surtensions et les surintensités*.

- Recommandation UIT-T K.12 (2000), *Caractéristiques des parafoudres à gaz destinés à la protection des installations de télécommunication.*
- Recommandation UIT-T K.27 (1996), *Configurations équipotentielles et mise à la terre dans les bâtiments de télécommunication.*
- Recommandation UIT-T K.28 (1993), *Caractéristiques des modules de parasurtension à semi-conducteurs destinés à assurer la protection des installations de télécommunication.*
- Recommandation UIT-T K.31 (1993), *Configurations équipotentielles et mise à la terre des installations de télécommunication à l'intérieur d'un bâtiment d'abonné.*
- Recommandation UIT-T K.35 (1996), *Configurations équipotentielles et mise à la terre dans les installations électroniques distantes.*
- Recommandation UIT-T K.39 (1996), *Evaluation des risques d'endommagement des installations de télécommunication par la foudre.*
- Recommandation UIT-T K.40 (1996), *Protection des centres de télécommunication contre les impulsions électromagnétiques dues à la foudre.*
- CEI 60060-1:1989, *Techniques des tests à haute tension. Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais.*
- CEI 61000-4-2:1999, *Compatibilité électromagnétique (EMC) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques.*
- CEI 61000-4-5:2001, *Compatibilité électromagnétique (EMC) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc.*
- CEI 61643-1:2002, *Dispositifs de protection contre les surtensions connectés aux réseaux de distribution basse tension – Partie 1: Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essai.*

3 Définitions et abréviations

3.1 Définitions

Il convient de se référer à la Figure 1 pour mieux comprendre les différentes définitions. Cette figure représente les éléments associés à la protection des équipements que peut comporter une installation. Tous ces éléments ne sont pas censés être utilisés dans une installation.



K.44_F01

NOTE – La disposition indiquée des blocs du système et des conducteurs d'équipotentialité à l'intérieur du bâtiment, de l'abri, de la structure et du boîtier de l'équipement vise à faciliter leur identification et ne correspond pas à une disposition optimale du point de vue de la protection.

Figure 1/K.44 – Exemple de disposition des éléments de protection

La présente Recommandations définit les termes suivants:

3.1.1 immunité: capacité d'un équipement ou d'installations de télécommunication à résister – généralement sans dégradation – aux effets de surtension et de surintensités, dans une certaine mesure spécifiée et conformément à un critère spécifié.

NOTE – Les critères de dégradation sont énoncés au § 9.

3.1.2 dispositif de protection contre les surtensions (SPD, *surge protective device*): dispositif ayant pour but de limiter les surtensions et les surintensités transitoires de courte durée. Il peut consister en un composant unique ou de conception plus complexe, intégrant plusieurs fonctions. Il contient au moins un composant non linéaire.

3.1.3 protection primaire: pour protéger une interface d'un équipement, la protection primaire utilisant un SPD est installée à l'endroit où elle empêche la plus grande partie de l'énergie de se propager à travers l'équipement. Ce dispositif doit être accessible, amovible et raccordé à une liaison équipotentielle.

3.1.4 protection primaire agréée: type particulier de dispositif contre les surtensions utilisé afin de protéger un équipement sur la base d'un accord conclu entre le constructeur de l'équipement et l'opérateur du réseau. Une protection primaire agréée peut consister en un dispositif spécifique de protection contre les surtensions ou en un ensemble de dispositifs de ce type conformes à une Recommandation ou spécification particulière. La protection primaire agréée peut être inexistante vs'il a été convenu qu'il était inutile de doter l'équipement d'éléments de protection extérieurs.

3.1.5 protection inhérente: protection conférée à une interface d'équipement par ses caractéristiques intrinsèques, par une conception spécifique ou par des composants de protection appropriés.

3.1.6 composants de protection à fort courant d'écoulement: dispositif de protection contre les surtensions conçu pour conduire/écouler la plus grande partie de l'énergie à l'extérieur du circuit qu'il protège, une fois activé. Les composants de protection à fort courant d'écoulement sont utilisés la plupart du temps comme composants de protection primaire, mais dans certains cas ils peuvent être intégrés dans l'équipement, en tant que protection inhérente.

3.1.7 énergie spécifique: l'énergie spécifique W_{sp} est une mesure de l'énergie générée par induction de courant ou par élévation du potentiel de terre à la fréquence du réseau électrique; elle est égale à l'énergie qui serait dissipée dans une résistance de 1 ohm. Elle est définie comme le carré de l'intensité du courant induit ($I_{a.c.}$), multiplié par le temps t , pendant lequel le courant circule:

$$W_{sp} = (I_{a.c.})^2 \times t \quad (3-1)$$

L'énergie spécifique d'un générateur de test est déterminée en mettant en court-circuit ses bornes de sortie.

3.1.8 élément de coordination: élément situé entre la protection primaire et la protection inhérente, destiné à éviter que la protection inhérente n'empêche le fonctionnement de la protection primaire.

3.1.9 dispositif de protection spécial de test: composant ou circuit servant à remplacer la protection primaire agréée dans le but de vérifier la coordination. Il assure que la tension à l'entrée de l'équipement sera plus élevée pendant le test qu'en service et fournit un certain niveau de garantie quant à l'efficacité de la protection de l'équipement par l'adjonction d'une protection primaire.

3.1.10 alimentation dédiée: alimentation électrique fournie par un câble dédié qui sort de l'enceinte du bâtiment.

3.1.11 ports externes: interface particulière de l'équipement spécifié, directement raccordée à des conducteurs métalliques qui sortent de l'enceinte du bâtiment ou de l'abri.

3.1.12 ports internes: interface particulière de l'équipement spécifié, raccordée à des conducteurs métalliques qui ne sortent pas de l'enceinte du bâtiment ou de l'abri. Ces interfaces sont reliées à des câbles qui interconnectent les blocs du système. Voir Figure 2.

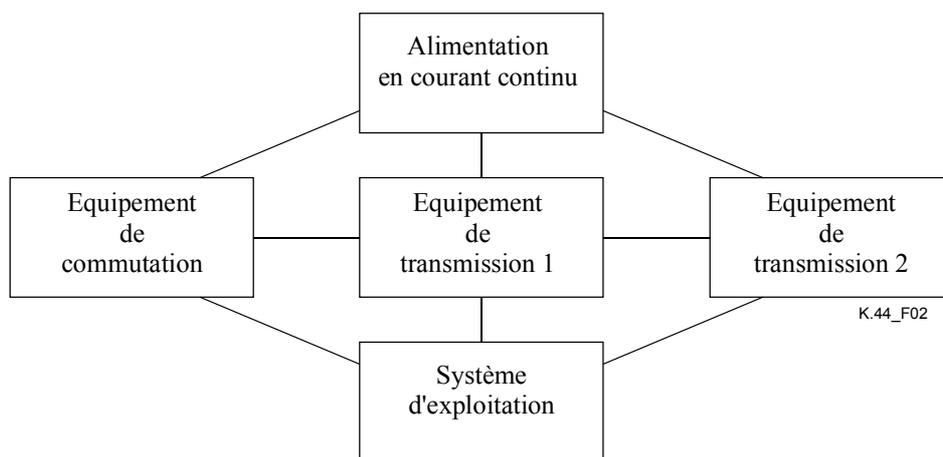


Figure 2/K.44 – Blocs du système

3.1.13 coordination de la protection: tâche consistant à veiller à ce que tous les éléments de protection, à l'intérieur comme à l'extérieur de l'équipement, réagissent de manière à limiter l'énergie, la tension ou l'intensité à des niveaux tels qu'il n'en résulte aucune détérioration des éléments de protection ou de l'équipement.

3.1.14 équipement des locaux client (CPE, *customer premises equipment*): équipement destiné à être directement raccordé aux terminaisons d'un réseau public de télécommunication dans l'installation du client.

3.1.15 réseau d'accès (AN, *access network*): partie du réseau général de télécommunication située entre un centre de télécommunication et le bâtiment ou les locaux du client.

3.1.16 réseau de transmission (TNW, *trunk network*): partie du réseau de télécommunication située entre deux centres de télécommunication.

3.1.17 centre de télécommunication: installation de télécommunication dont les configurations de mise à la terre et d'équipotentialité sont conformes à la Rec. UIT-T K.27.

3.1.18 téléalimentation: alimentation assurée par les paires symétriques de signalisation ou les conducteurs internes des câbles coaxiaux, servant simultanément à la transmission de signaux. La fourniture de la tension de fonctionnement à l'équipement terminal de l'abonné ne constitue pas une téléalimentation.

3.1.19 élément de couplage: composant de faible impédance utilisé pour raccorder le générateur de surtensions au port soumis au test ou pour mettre à la terre un port non soumis au test.

3.1.20 élément de découplage: composant d'impédance appropriée destiné à abaisser le niveau de l'énergie qui s'écoule dans une terminaison ou dans un équipement associé.

3.1.21 composant de terminaison: composant servant à simuler le raccordement d'un port soumis ou non soumis au test à un équipement associé.

3.2 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

a.c.	courant alternatif (<i>alternating current</i>)
AN	réseau d'accès (<i>access network</i>)
ANE	équipement du réseau d'accès (<i>access network equipment</i>)
CEI	Commission électrotechnique internationale
CL	commutateur local

CPE	équipement des locaux client (<i>customer premises equipment</i>)
d.c.	courant continu (<i>direct current</i>)
dpf	alimentation électrique dédiée (<i>dedicated power feed</i>)
EPR	élévation du potentiel de terre (<i>earth potential rise</i>)
ESD	décharge électrostatique (<i>electrostatic discharge</i>)
EUT	équipement sous test (<i>equipment under test</i>)
GDT	parafoudre à gaz (<i>gas discharge tube</i>)
LI	interface de ligne (<i>line interface</i>)
LT	terminaison de ligne (<i>line termination</i>)
MDF	répartiteur principal (<i>main distribution frame</i>)
MOV	varistance à oxyde métallique (<i>metal oxide varistor</i>)
n.a.	non applicable
NT	terminaison de réseau (<i>network termination</i>)
o/c	circuit ouvert (<i>open circuit</i>)
pfv	tension d'alimentation (<i>power feeding voltage</i>)
PTC	résistance à coefficient de température positif; thermistance à coefficient de température positif (<i>positive temperature coefficient resistor</i>)
RNIS	réseau numérique à intégration de services
RSE	équipement de commutation distant (<i>remote switching equipment</i>)
SPD	dispositif de protection contre les surtensions (<i>surge protective device</i>)
SSA	parafoudre à semi-conducteurs (<i>solid state arrester</i>)
TCE	équipement de centre de télécommunication (<i>telecommunication centre equipment</i>)
TNW	réseau de transmission (<i>trunk network</i>)
UIT-T	Union internationale des télécommunications – Secteur de la normalisation des télécommunications
USB	bus série universel (<i>universal serial bus</i>)

3.3 Symboles

La présente Recommandation utilise les symboles suivants:

U_c	tension continue de charge du générateur de surtension
$U_{c(max)}$	tension continue maximale de charge du générateur de surtension
$U_{a.c.(max)}$	tension alternative maximale (en circuit ouvert) pour les tests de tension a.c.

4 Conditions de surtensions et surintensités

La présente Recommandation traite des surtensions et des surintensités suivantes:

- surtensions et surintensités dues à des coups de foudre frappant directement les lignes ou tombant à proximité de celles-ci;
- courants de forte intensité dans les câblages ou composants communs lorsque des surtensions ou des surintensités se produisent simultanément sur un certain nombre de lignes;

- courants de forte intensité circulant dans l'équipement qui intègre des composants de protection à fort courant d'écoulement, supprimant ainsi le besoin de protection primaire;
- induction de courte durée de tensions alternatives dues à des lignes de transport d'énergie ou ferroviaires électriques passant à proximité, généralement lorsqu'un défaut se produit sur les lignes ou les installations électriques en question;
- élévation du potentiel de terre suite à une défaillance du réseau électrique;
- contacts directs entre lignes de télécommunication et lignes électriques;
- surtensions transitoires sur les lignes électriques;
- différences de potentiel qui peuvent survenir entre un réseau d'alimentation TT ou IT et le réseau de télécommunication.

5 Prescriptions d'immunité (fondamentale et renforcée)

Les lignes de télécommunication, les lignes d'alimentation (dédiée) à distance et les lignes d'alimentation secteur sont plus ou moins affectées dans la pratique par la foudre et par les ouvrages électriques. La Rec. UIT-T K.11 décrit les différents degrés d'exposition et les mesures de protection correspondantes. En matière d'immunité des équipements de télécommunication connectés à des conducteurs métalliques, les prescriptions peuvent varier en fonction de l'environnement considéré. Il incombe aux administrations ou aux opérateurs de réseaux de choisir les prescriptions d'immunité appropriées dans les Recommandations de produit ou de famille de produits. Pour éviter la conception de nombreux types d'équipements, seules les prescriptions fondamentales et renforcées sont recommandées.

5.1 Prescription d'immunité fondamentale

L'équipement doit pouvoir être utilisé dans des conditions d'exposition limitée et la protection inhérente de l'équipement permet de répondre à cette prescription. L'équipement doit en outre pouvoir être utilisé dans des conditions d'exposition supérieure et la protection inhérente de l'équipement, complétée par une protection primaire agréée, permet de répondre à cette prescription.

5.2 Prescription d'immunité renforcée

Lorsque les prescriptions d'immunité fondamentale s'avèrent insuffisantes compte tenu des conditions d'environnement, des règlements nationaux, des considérations économiques et techniques, de normes d'installation ou de prescriptions de qualité de service, les opérateurs de réseaux peuvent demander des prescriptions d'immunité renforcée.

6 Limites de l'équipement

Vu la diversité des types d'équipement, il est nécessaire de considérer l'équipement comme une "boîte noire" ayant plusieurs ports a, b, c, d, e et f, etc. et E (la Terre). L'équipement peut être déjà doté de dispositifs de protection, soit placés sur ses circuits imprimés, etc., soit connectés à ses ports. Pour les besoins de ces tests, il est demandé aux constructeurs de définir les limites de la "boîte noire", tout dispositif de protection qui y est inclus devant être considéré comme faisant partie intégrante de l'équipement (petit commutateur installé dans une armoire, multiplexeur, équipement de l'installation du client, etc.). Se reporter au § 10.1.1 lorsque des composants de protection à fort courant d'écoulement sont utilisés à l'intérieur de l'équipement. Quand des conducteurs ou câbles de télécommunication auxiliaires sont fournis, par exemple vers un équipement supplémentaire, ou comme terre de signalisation, ils doivent en règle générale être considérés comme des ports supplémentaires à tester, par exemple a, b, c, d, e et f, etc. et E pour la Terre.

7 Conditions de test

7.1 Types de test

Quatre types de test doivent être réalisés sur les équipements:

- transversal (conducteur-conducteur);
- port externe-terre;
- port externe-port externe;
- port interne-terre.

7.1.1 Transversal

Il convient de réaliser des tests transversaux sur tous les types de ports externes paire symétrique de l'équipement. Pour ces tests, certains ports non soumis au test de chaque type de port, sont raccordés à une terminaison.

7.1.2 Port externe-terre

Il convient de réaliser des tests port-terre sur les équipements qui ont des ports externes et qui ont soit une mise à la terre soit des ports internes. Pour ces tests, tous les ports non soumis au test (internes et externes) sont raccordés à une terminaison puis on répète ces tests successivement avec chaque type de port interne mis à la terre au moyen d'un élément de couplage.

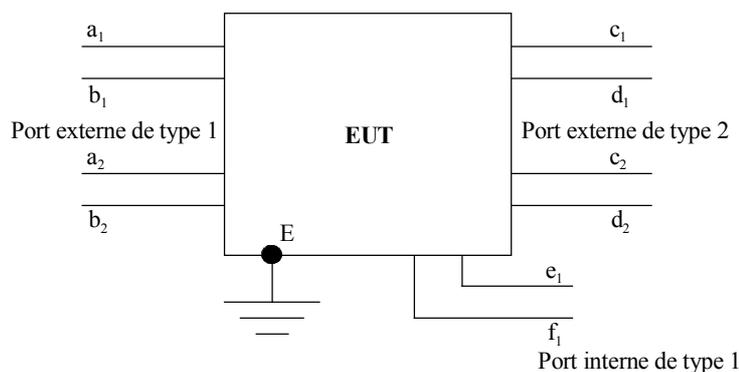
7.1.3 Port externe-port externe

Il convient de réaliser des tests port-port sur les équipements possédant au moins deux ports externes. Lorsqu'un équipement est conçu pour être utilisé avec une mise à la terre, la Recommandation de produit spécifie les cas dans lesquels le test doit être réalisé. Pour ces tests, tous les ports non soumis au test (internes et externes) sont raccordés à une terminaison et chaque type de port externe, y compris un port du même type, est successivement mis à la terre au moyen d'un élément de couplage.

Pour les tests port externe-port externe, il faut envisager, comme deuxième port:

- 1) d'autres lignes/paires du type de port soumis au test (par exemple paire 1-paire 2 du type de port 1);
- 2) lignes/paires d'autres types de port (par exemple paire 1 du type de port 1-paire 1 du type de port 2).

La Figure 3 donne un exemple de séquence de tests.



Exemple de séquence de tests

K.44_F03

- $a_1 - b_1$ (test transversal)
- $a_1/b_1 - E$ (test port externe-terre)
- $a_1/b_1 - E$ avec e_1/f_1 raccordé à E (test port externe-terre avec un port interne mis à la terre)
- $a_1/b_1 - c_1/d_1$ avec E déconnecté (test port externe-port externe avec un port externe mis à la terre)
- $e_1/f_1 - E$ (test port interne-terre)

Figure 3/K.44 – Exemple de séquence de tests

7.1.4 Port interne-terre

Des tests port interne-terre sont réalisés sur tous les types de port interne. Pour ces tests, certains ports non soumis au test, de chaque type de port, sont raccordés à une terminaison.

7.2 Conditions de test

Les conditions ci-après s'appliquent à tous les tests décrits au § 10.

- 1) Tous les tests sont des tests de type et se déroulent dans des conditions de fonctionnement standard, sauf spécification contraire formulée dans la Recommandation de produit ou de famille de produits.
- 2) Les ports à tester doivent en règle générale être identifiés par le constructeur de l'équipement:
 - a et b, c et d, e et f, etc., pour des ports uniques paire symétrique de caractéristiques différentes;
 - a_1 à a_n et b_1 à b_n , c_1 à c_m et d_1 à d_m , e_1 à e_p et f_1 à f_p , etc., pour des ports multiples paire symétrique de caractéristiques différentes;
 - conducteur interne et conducteur externe pour des ports câble coaxial;
 - dpf1 et dpf2 etc., pour des ports alimentation électrique dédiée;
 - L1, L2, L3 et N pour des ports alimentations secteur;
 - E pour la Terre.
- 3) Pour réaliser les tests, l'équipement doit être en fonctionnement sauf – et c'est la seule exception – dans le cas du contact avec des lignes électriques. Il est à noter que, dans ce cas, le fait que l'équipement ne soit pas sous tension ne doit pas avoir d'incidence sur le résultat de test. L'équipement doit être soumis au test dans tout mode de fonctionnement de durée non négligeable (voir § A.2.4). Pour établir la conformité d'un équipement, il pourra être nécessaire de faire des tests où les ports soumis au test et les ports non soumis au test sont raccordés à une terminaison et d'autres tests où les ports non soumis au test sont mis à la terre (voir § A.5 et § I.1.5).
- 4) Un port soumis au test ou non soumis au test peut être raccordé à un équipement auxiliaire (comme LI, LT, NT, CPE), une alimentation électrique, un simulateur ou un équipement passif. S'il n'est pas nécessaire de connecter l'équipement auxiliaire pour vérifier l'immunité

de l'EUT à la tension de test, il est possible d'effectuer le test sans cette terminaison. Les différentes terminaisons envisageables doivent être prises en considération, par exemple avec ou sans protection primaire (voir § I.1.5). On utilise des éléments de découplage afin d'éviter que la surtension ou la surintensité n'endommage la terminaison ou l'équipement associé.

- 5) Il pourra être nécessaire de tester les ports avec un nombre fini de ports non soumis au test, de type identique ou différent, mis à la terre, pour vérifier la conformité de l'équipement aux critères d'acceptation spécifiés. Pour mettre à la terre un port donné, comme requis aux points 6) et 7) ci-après, on utilise des éléments de couplage.
- 6) Pour les tests port externe-terre, certains sont réalisés sans mise à la terre des ports non soumis au test et d'autres avec mise à la terre successive de chaque type de port interne.
- 7) Pour les tests port externe-port externe, chaque type de port externe, y compris un port du même type, est successivement mis à la terre.
- 8) Il convient de répéter chaque test autant de fois que l'indique la Recommandation de produit ou de famille de produits. Pour les tests de choc de foudre il faut inverser la polarité entre deux impulsions successives. L'intervalle de temps entre des tests consécutifs sur le même port doit être d'environ une minute. Les tests doivent aussi être réalisés avec des intervalles de temps plus longs si nécessaire pour vérifier la conformité de l'équipement aux critères d'acceptation spécifiés dans le cas d'impulsions qui se produisent à des intervalles de plus d'une minute. Un exemple de test de ce type consiste à vérifier la conformité de l'équipement lorsque toutes les impulsions sont appliquées à des résistances PTC à la température de fonctionnement normale.
- 9) Pour les tests transversaux, l'un des conducteurs doit être raccordé au générateur de surtensions et l'autre à la terre. Il faut ensuite répéter le test en intervertissant les deux conducteurs.
- 10) Les tests d'induction par des lignes électriques doivent être effectués à la fréquence du réseau de distribution électrique ou à celle des lignes de traction électrique du pays dans lequel l'équipement sera utilisé.
- 11) Dans tous les cas où une tension, une intensité ou une énergie spécifique maximale est spécifiée, il convient de faire également des tests à des tensions, des intensités ou des énergies spécifiques plus basses si cela est nécessaire pour confirmer que les équipements résisteront effectivement à toute condition de sévérité inférieure à la limite supérieure indiquée. Lorsque des Recommandations de produit autorisent des tests réduits, par exemple des tests de contact avec les lignes électriques, il faut réaliser autant de tests que nécessaire pour vérifier la conformité des équipements aux critères d'acceptation spécifiés.

NOTE – Les composants particuliers à prendre en considération pour les tests comprennent le dispositif de protection primaire, les dispositifs de protection inhérente de type commutable ou "foldback", les résistances PTC et les fusibles.

En cas d'utilisation de fusibles, les tests doivent être réalisés pour toute une gamme de valeurs afin de garantir que la situation la plus défavorable a été expérimentée.

- 12) Un nouveau composant de protection primaire peut être utilisé après chaque séquence de tests.
- 13) Les cartes doivent être soumises aux tests dans un ou dans plusieurs emplacements si nécessaire pour vérifier la conformité de l'équipement aux critères d'acceptation spécifiés.
- 14) Si une carte est munie de deux ports identiques ou davantage, il suffit d'en soumettre un seul aux mêmes tests que pour un port unique.
- 15) Les surtensions appliquées à une carte ou à un port soumis à un test ne devraient en aucun cas affecter les cartes qui se trouvent à proximité.

8 Coordination des dispositifs de protection

8.1 Généralités

Dans le cas des équipements installés dans des environnements plus exposés, une pratique courante consiste à protéger les ports raccordés à des conducteurs métalliques externes, par des dispositifs de protection primaire tels que des parafoudres à gaz (GDT, *gas discharge tube*), des parafoudres à semi-conducteurs (SSA, *solid state arrester*) ou des varistances à oxyde métallique (MOV, *metal oxide varistor*). Le meilleur endroit pour insérer un dispositif de protection primaire se situe au point de pénétration du bâtiment, de l'abri ou du boîtier. Bien que cela ne soit pas toujours possible, il faudrait toutefois chercher à installer les protections primaires le plus près possible du point d'entrée des câbles dans le bâtiment, l'abri ou le boîtier de l'équipement. Les caractéristiques de ces dispositifs de protection primaire doivent être conformes aux spécifications des Recommandations UIT-T K.12 et K.28 ou de la publication CEI 61643-1.

La coordination entre les dispositifs de protection est indispensable pour assurer la compatibilité de l'équipement avec les protections primaires.

8.2 Foudre

Les conditions suivantes doivent être vérifiées pour assurer la coordination de la protection contre les surtensions dues à la foudre:

- la protection inhérente intégrée à l'équipement doit offrir une protection jusqu'à la tension d'amorçage de la protection primaire agréée, pour des tensions de générateur inférieures à la valeur $U_{c(max)}$ spécifiée dans la Recommandation de produit ou de famille de produits;
- entre cette tension et une tension de générateur $U_{c(max)}$ la protection primaire doit fonctionner et protéger l'équipement;
- l'équipement doit être conforme aux critères spécifiés dans la Recommandation de produit ou famille de produits;
- afin de vérifier que la coordination est effective pour les surtensions dues à la foudre, un dispositif de protection spécial de test est utilisé à la place du dispositif de protection primaire pendant les tests de surtensions (voir § 8.4). Lors d'un test à une tension de générateur inférieure ou égale à la valeur $U_{c(max)}$ spécifiée dans la Recommandation de produit ou de famille de produits, ce dispositif spécial doit fonctionner. Cela permet de garantir que la protection primaire fonctionnera et protégera l'équipement pour des surtensions $> U_{c(max)}$.

8.2.1 Dispositifs de protection primaire contre les surtensions de type commutable

La coordination avec un dispositif SPD de type commutable est effective lorsque, pour des tests avec la protection primaire agréée, le dispositif de protection spécial de test (voir § 8.4.1) est activé avec une valeur de U_c inférieure à la valeur maximale spécifiée dans la Recommandation de produit ou de famille de produits correspondante et que l'équipement est conforme aux critères spécifiés dans ladite Recommandation.

8.2.2 Dispositifs de protection primaire contre les surtensions de type écrêteur

La coordination avec un dispositif SPD de type écrêteur est effective lorsque l'équipement est conforme aux critères spécifiés dans la Recommandation de produit lorsque des tests sont réalisés avec le dispositif de protection spécial de test (voir § 8.4.2) aux valeurs maximales de tension et d'intensité pour la coordination, c'est-à-dire lorsque le dispositif SPD primaire conduit le courant maximal.

8.3 Induction par les lignes électriques, élévation du potentiel de terre et contact avec des lignes électriques

La protection inhérente intégrée à l'équipement assure seule ou conjointement avec la protection primaire agréée la protection contre les courants induits par les lignes électriques et l'élévation du potentiel de terre résultant d'un défaut à la terre du réseau électrique.

La protection inhérente de l'équipement protège ce dernier contre les courants dus au contact avec les lignes électriques.

L'impédance d'entrée par rapport à la terre des deux ports a et b d'un équipement peut être plus faible quand la protection inhérente contre les surtensions est active. Dans ce cas, la tension, aux bornes des impédances d'entrée, produite par le courant qui circule au cours du test d'induction ou d'élévation du potentiel de terre peut être trop faible pour déclencher la protection primaire. Dans ce cas, il convient de faire attention à la quantité d'énergie susceptible d'être dissipée dans l'équipement.

8.4 Dispositif de protection spécial de test

Le dispositif de protection spécial de test doit avoir un comportement similaire à celui du dispositif de protection primaire agréé.

8.4.1 Dispositif de protection de type commutable

La tension d'amorçage statique du dispositif de protection spécial de test doit être égale à 1,15 fois la tension d'amorçage statique maximale spécifiée, valeur obtenue après test de vieillissement, du dispositif de protection primaire agréé. La tolérance relative à cette tension d'amorçage est de $\pm 5\%$. Le rapport "tension d'amorçage dynamique/tension d'amorçage statique" devrait également être identique à celui du dispositif de protection primaire agréée. Le constructeur peut utiliser un dispositif de protection spécial de test dont la tension d'amorçage statique est plus élevée.

8.4.2 Dispositif de protection de type écrêteur

La tension d'écrêtage du dispositif de protection spécial de test doit être égale à 1,15 fois la tension d'écrêtage maximale spécifiée du dispositif de protection primaire agréée. La tolérance relative à cette tension d'écrêtage est de $\pm 5\%$. Le constructeur peut utiliser un dispositif de protection spécial de test dont la tension d'amorçage statique est plus élevée.

8.4.3 Modules à étages multiples

Lorsque la protection primaire est assurée par un module à étages multiples, il convient d'employer alors un module spécial de test dont les composants sont conformes aux indications des § 8.4.1 et 8.4.2.

9 Critères d'acceptation

Deux critères d'acceptation sont reconnus:

- critère A – L'équipement doit supporter le test sans dégradation ni autre perturbation (telle qu'une altération du logiciel ou un mauvais fonctionnement des systèmes de protection contre les défauts) et doit fonctionner correctement dans les limites spécifiées après le test. Il n'est pas exigé que le fonctionnement soit correct pendant le test;
- critère B – Il ne doit pas se produire de risque d'incendie dans l'équipement suite aux tests. Toute dégradation, si elle se produit, ne doit affecter qu'une petite partie de l'équipement.

10 Tests

Les générateurs de test, les circuits de test, les éléments de couplage et de découplage ainsi que les terminaisons des ports sont indiqués dans l'Annexe A.

Certaines considérations justifiant les types de test proposés figurent dans l'Appendice I. La réponse aux surtensions et surintensités peut être modifiée par l'impédance d'entrée de l'équipement. Afin d'illustrer ce phénomène, l'Appendice I donne un exemple de circuit et des niveaux instantanés de tension en différents points du circuit pour montrer l'effet de l'impédance d'entrée. Ces valeurs sont indiquées uniquement à titre d'exemple et ne font pas partie intégrante de la présente Recommandation.

Les types de port indiqués au Tableau 1 sont pris en considération. La téléalimentation utilise le même port que les signaux.

Tableau 1/K.44 – Types de port

Type de port		Type de test	Exemple
Externe	Paire symétrique	Foudre	Interface client analogique
		Induction par des lignes électriques et élévation du potentiel de terre	Interface RNIS au débit de base Circuit de téléalimentation
		Contact avec des lignes électriques	Interface xDSL
	Câble coaxial	Foudre	Interface RNIS au débit primaire
		Induction par des lignes électriques et élévation du potentiel de terre	Circuit de téléalimentation
	Alimentation électrique dédiée (a.c., d.c.)	Foudre	Interface d'alimentation électrique de terminaison ou de réseau optique
		Induction par des lignes électriques et élévation du potentiel de terre	
	Lignes électriques a.c.	Foudre	Lignes électriques a.c.
		Elévation du potentiel de terre et élévation du potentiel du neutre	
	Interne	Câble non blindé	Foudre
Câble blindé (y compris les câbles coaxiaux)		Foudre	
Interface d'alimentation électrique d.c. non mise à la terre		Foudre	
Interface d'alimentation électrique d.c. mise à la terre		Foudre	

Une récapitulation des tests applicables figure au Tableau 2. Les numéros de référence indiqués dans la colonne "Type de port", par exemple § 10.1.2, renvoient au numéro de paragraphe approprié de la Rec. UIT-T K.44 qui traite de ce test. Les lettres "na" signifient que le test est non applicable. L'expression "à l'étude" signifie que l'UIT-T poursuit l'étude de ce test. Le mot "Unique" ou "Multiple" désigne le nombre de ports soumis au test. Dans le cas d'un test sur port unique, le test est appliqué à un seul port. Dans le cas d'un test sur ports multiples, la surtension ou surintensité est appliquée simultanément au nombre de ports spécifié. La mention "transversal", "port-terre" ou "port-port" externe indique si la surtension ou surintensité est appliquée de manière transversale (c'est-à-dire conducteur à conducteur, âme et tresse pour un câble coaxial, appelé aussi "en mode différentiel"), entre un port et la terre (entre les conducteurs de la ligne et la terre appelé aussi "en mode commun") ou entre un port et un port externe (entre un port et un port dont la référence de terre n'est pas mise à la terre). Pour plus d'informations sur les tests d'immunité fondamentale ou renforcée, voir les indications contenues au § 5.

Tableau 2a/K.44 – Tests applicables pour les ports externes

Type de test	Nombre de ports soumis simultanément au test	Test longitudinal/transversal	Protection primaire	Type de port			
				Port paire symétrique	Port câble coaxial	Port alimentation dédiée	Port alimentation secteur
Surtension due à la foudre	Unique	Transversal	Non	10.1.1.1	A l'étude	10.3.1	10.4.1
		Port-terre	Non	10.1.1.1		10.3.1	10.4.1
		Port-port externe	Non	10.1.1.1		10.3.1	10.4.1
		Transversal	Oui	10.1.1.1		10.3.1	10.4.1
		Port-terre	Oui	10.1.1.1		10.3.1	10.4.1
		Port-port externe	Oui	10.1.1.1		10.3.1	10.4.1
	Multiple	Port-terre	Non	10.1.1.2		n.a.	n.a.
		Port-port externe	Non	10.1.1.2		n.a.	n.a.
		Port-terre	Oui	10.1.1.2		n.a.	n.a.
		Port-port externe	Oui	10.1.1.2		n.a.	n.a.

Tableau 2a/K.44 – Tests applicables pour les ports externes

Type de test	Nombre de ports soumis simultanément au test	Test longitudinal/transversal	Protection primaire	Type de port			
				Port paire symétrique	Port câble coaxial	Port alimentation dédiée	Port alimentation secteur
Surintensité due à la foudre	Unique	Transversal	Non	n.a.	A l'étude	n.a.	n.a.
		Port-terre	Non	10.1.2		10.3.2	n.a.
		Port-port externe	Non	10.1.2		10.3.2	n.a.
		Transversal	Oui	n.a.		n.a.	n.a.
		Port-terre	Oui	n.a.		n.a.	n.a.
		Port-port externe	Oui	n.a.		n.a.	n.a.
	Multiple	Port-terre	Non	10.1.2		n.a.	n.a.
		Port-port externe	Non	10.1.2		n.a.	n.a.
	Courant induit par les lignes électriques et élévation du potentiel de terre	Unique	Transversal	Non		10.1.4	10.3.3
Port-terre			Non	10.1.4	10.3.3	10.4.3 A l'étude	
Port-port externe			Non	10.1.4	10.3.3	10.4.3 A l'étude	
Courant induit par les lignes électriques et élévation du potentiel de terre	Unique	Transversal	Oui	10.1.4	10.3.3	n.a.	
		Port-terre	Oui	10.1.4	10.3.3	A l'étude	
		Port-port externe	Oui	10.1.4	10.3.3	A l'étude	
Elévation du potentiel du neutre	Unique	Port-terre	Non	n.a.	n.a.	10.4.4	
		Port-port externe	Non	n.a.	n.a.	10.4.4	
Contact avec les lignes électriques	Unique	Transversal	Non	10.1.5	10.3.4	n.a.	
		Port-terre	Non	10.1.5	10.3.4	n.a.	
		Port-port externe	Non	10.1.5	10.3.4	n.a.	

Tableau 2b/K.44 – Tests applicables pour les ports internes

Type de test	Protection primaire	Type de port			
		Câble non blindé	Câble blindé	Interface d'alimentation électrique d.c. non mise à la terre	Interface d'alimentation électrique d.c. mise à la terre
Surtension due à la foudre	Non	10.5.1	10.5.2	10.5.3	10.5.4

10.1 Port externe de type paire symétrique

10.1.1 Surtension due à la foudre

Les dispositions suivantes sont applicables aux équipements munis de composants de protection à fort courant d'écoulement, qui suppriment la nécessité d'une protection primaire:

- si ce composant est amovible une exception du § 6 s'applique, il doit être déposé et remplacé par le dispositif de protection spécial de test pour les tests de protection inhérente et de coordination de la protection, voir § 8.4;
- si ce composant n'est pas amovible, tous les tests sont réalisés avec le dispositif de protection fourni et le constructeur doit remettre un rapport indiquant que les tests de protection inhérente et de coordination de la protection ont été effectués, lors des tests de qualification, avec le dispositif de protection spécial de test.

10.1.1.1 Port unique

Le test de surtensions de type foudre sur un port unique consiste à vérifier que chaque port de l'équipement présente le niveau requis d'immunité aux surtensions. Des tests longitudinaux et transversaux doivent être effectués.

10.1.1.2 Ports multiples

Le test de surcharge de type foudre sur ports multiples consiste à vérifier que l'équipement présente le niveau requis d'immunité lorsqu'une surtension se produit simultanément sur n ports et qui risque de provoquer le passage d'une forte intensité dans un composant commun ou dans une partie de l'équipement.

Le nombre ou le pourcentage de ports à soumettre simultanément à des tests doit être indiqué dans la Recommandation de produit ou de famille de produits.

10.1.2 Surintensité due à la foudre

Le test de surintensité a pour objet de vérifier que l'équipement présente le niveau requis d'immunité inhérente lorsque des composants de protection à fort courant d'écoulement sont installés dans l'équipement afin de supprimer la nécessité de protection primaire. Ce test vérifie le niveau de coordination des dispositifs de protection à fort courant d'écoulement intégrés à l'équipement, avec des connecteurs et des pistes de circuits imprimés, etc. Le test de surintensité doit être spécifié dans la Recommandation de produit ou de famille de produits.

Lorsque le test porte sur des conducteurs multiples, il faut bien veiller à ce que le courant soit réparti de manière égale entre les conducteurs. Il faut tout particulièrement veiller à ce que le fonctionnement d'un ou de plusieurs dispositifs de protection n'empêche pas le fonctionnement des autres.

10.1.3 Induction par les lignes électriques et élévation du potentiel de terre

Les tests longitudinaux et transversaux doivent être effectués.

Les dispositions suivantes sont applicables aux équipements munis de composants de protection à fort courant d'écoulement, qui suppriment la nécessité d'une protection primaire:

- si ce composant est amovible, une exception du § 6 s'applique, il doit être déposé et remplacé par le dispositif de protection spécial de test pour les tests de protection inhérente et de coordination de la protection, voir § 8.4;
- si ce composant n'est pas amovible, tous les tests sont réalisés avec le dispositif de protection fourni et le constructeur doit remettre un rapport indiquant que les tests de protection inhérente et de coordination de la protection ont été effectués, lors des tests de qualification, avec le dispositif de protection spécial de test.

10.1.4 Contact avec les lignes électriques

Les tests longitudinaux et transversaux doivent être effectués. Les dispositions suivantes sont applicables aux équipements munis de composants de protection à fort courant d'écoulement, qui suppriment la nécessité d'une protection primaire:

- les tests sont réalisés avec la protection fournie par le constructeur. Il faut veiller à ce que la protection fonctionne pendant les tests. Pour cela, il peut être nécessaire de choisir un conducteur muni d'un dispositif de protection dont la tension d'amorçage est faible. Il n'est pas nécessaire de vérifier le fonctionnement du dispositif de protection si une ou plusieurs des dispositions suivantes s'appliquent:
 - le constructeur a conçu ses équipements avec un dispositif de protection dont la tension d'amorçage est telle que le dispositif ne fonctionnera pas en cas de contact avec les lignes électriques;
 - l'impédance d'entrée de l'équipement est telle que, en cas de contact avec les lignes électriques, la tension à l'entrée de l'équipement ne dépassera pas la tension d'amorçage minimale spécifiée pour le type de dispositif de protection;
- si ce composant est amovible, une exception du § 6 (limites de l'équipement) s'applique: le composant doit être déposé et remplacé par le dispositif de protection spécial de test (voir § 8.4) et les tests doivent être répétés.

Si ce composant n'est pas amovible, le constructeur doit remettre un rapport indiquant que les tests ont été répétés, pendant les tests de qualification, avec un dispositif de protection dont la tension d'amorçage est égale à la tension d'amorçage d.c. minimale spécifiée.

10.2 Port externe de type câble coaxial

L'UIT-T étudie actuellement les spécifications de test concernant les ports de type câble coaxial.

10.3 Port externe de type alimentation électrique dédiée d.c. et a.c.

10.3.1 Surtension due à la foudre

Les tests longitudinaux et transversaux doivent être effectués.

10.3.2 Surintensité due à la foudre

Le test de la surintensité consiste à vérifier que l'équipement présente le niveau requis d'immunité inhérente en présence de composants de protection à fort courant d'écoulement installés à l'intérieur de l'équipement afin de supprimer la nécessité de protection primaire. Ce test vérifie la coordination de la protection assurée par les dispositifs à fort courant d'écoulement intégrés à l'équipement, avec des connecteurs et des pistes de circuits imprimés, etc. Le test de surintensité doit être spécifié dans les Recommandations de produit ou de famille de produits.

10.3.3 Induction par les lignes électriques et élévation du potentiel de terre

Les tests longitudinaux et transversaux doivent être effectués.

10.3.4 Contact avec les lignes électriques

Les tests longitudinaux et transversaux doivent être effectués.

10.4 Port externe de type alimentation secteur

10.4.1 Surtension due à la foudre

Les tests longitudinaux et transversaux doivent être effectués.

Les trois types suivants de dispositifs de protection primaire contre les surtensions sont communément utilisés dans le réseau de distribution électrique:

- 1) dispositifs de type écréteur (MOV);
- 2) dispositifs de type commutable (éclateur);
- 3) combinaison des deux.

Ces dispositifs ayant des caractéristiques différentes, il pourra être nécessaire pour les constructeurs de vérifier la coordination de la protection de leurs équipements avec celle des trois types de dispositif.

10.4.2 Elévation du potentiel de terre

L'UIT-T étudie actuellement la nécessité de définir un test visant à vérifier l'immunité de l'équipement vis-à-vis de l'élévation du potentiel de terre susceptible de se produire lorsqu'un défaut à la terre affecte l'ouvrage haute tension (HV, *high voltage*) assurant l'alimentation électrique de l'équipement.

10.4.3 Elévation du potentiel du neutre

Ce test est réalisé uniquement sur demande expresse d'un exploitant lorsque le neutre n'est pas raccordé au conducteur de terre de protection (c'est-à-dire dans le cas d'un réseau de distribution TT ou IT). Un exemple de ce type de configuration figure dans le § II.5.

10.5 Ports internes

10.5.1 Câble non blindé

Le test de surtension due à la foudre consiste à vérifier que le port de l'équipement présente le niveau requis d'immunité aux surtensions. Seul un test longitudinal est effectué.

10.5.2 Câble blindé

Le test de surtension due à la foudre consiste à vérifier que le port de l'équipement présente le niveau requis d'immunité aux surtensions. Seul un test longitudinal est effectué.

10.5.3 Interface d'alimentation électrique d.c. non mise à la terre

Le test de surtension due à la foudre consiste à vérifier que le port de l'équipement présente le niveau requis d'immunité aux surtensions. Seul un test longitudinal est effectué.

10.5.4 Interface d'alimentation électrique d.c. non mise à la terre

Le test de surtension due à la foudre consiste à vérifier que le port de l'équipement présente le niveau requis d'immunité aux surtensions. Seul un test longitudinal est effectué.

Annexe A

Présentation des tests

A.1 Introduction

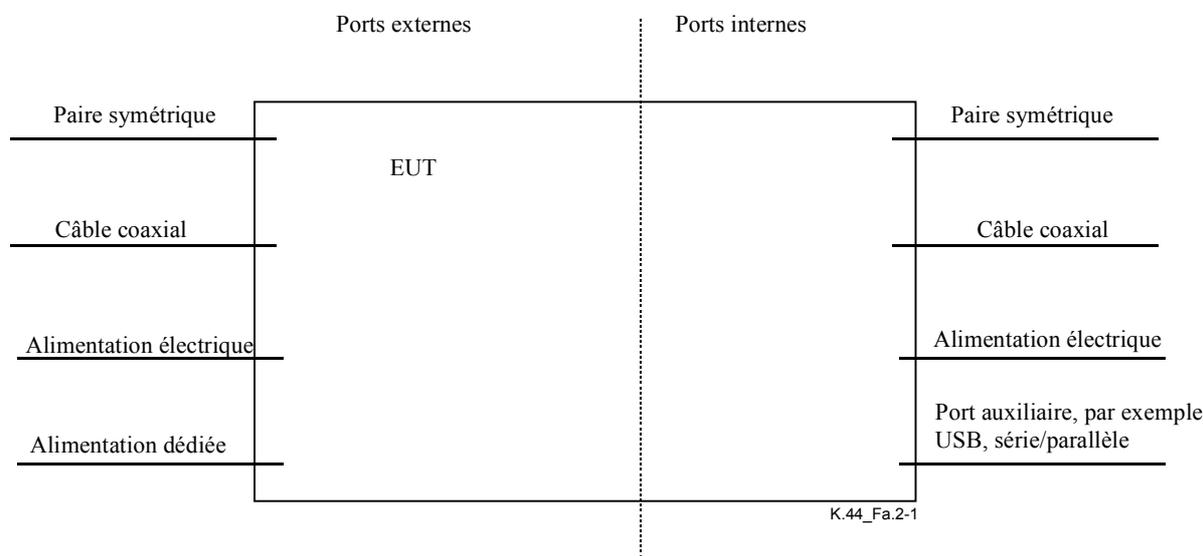
Les équipements doivent être testés dans tous les états et toutes les conditions possibles. Autrement dit, il pourra être nécessaire d'effectuer de nombreuses fois le test spécifié sur chaque ligne du tableau des tests.

Il faut veiller à ce que les tests effectués par les laboratoires et les constructeurs se déroulent de la même manière afin d'assurer leur reproductibilité. Ci-dessous figure la description des circuits de générateur, des circuits de couplage, de découplage et d'alimentation, des terminaisons des ports non soumis au test et du raccordement à l'équipement sous test (EUT, *equipment under test*).

A.2 Equipement

A.2.1 Ports de l'équipement

La Figure A.2-1 donne les différents ports que peut présenter un équipement.



NOTE 1 – Tous les ports ne doivent pas nécessairement être soumis aux tests, mais ils peuvent nécessiter une terminaison.

NOTE 2 – Dans cette figure, la mention "ports externes" désigne les ports reliés à des câbles qui sortent de l'enceinte du bâtiment alors que la mention "ports internes" désigne les ports reliés à des câbles qui restent à l'intérieur du bâtiment.

Figure A.2-1/K.44 – Ports de l'équipement

Il est nécessaire de tenir compte des différences qui existent entre ports externes et ports internes. Les ports internes de l'équipement sous test sont raccordés par des câbles à un équipement dont la référence de terre est la même que celle de l'équipement sous test. Les ports externes de l'équipement sous test sont quant à eux raccordés par des câbles à un équipement avec une référence de terre différente, se trouvant par exemple dans un autre bâtiment. Autrement dit, le courant peut entrer par un certain port externe et sortir par un autre port externe.

A.2.2 Type d'équipement

Il existe deux types généraux d'équipement: mis à la terre et non mis à la terre. Les équipements de centre de télécommunication seront généralement mis à la terre. Les équipements de réseau d'accès et les équipements d'abonné peuvent être de l'un ou l'autre type.

A.2.3 Type de protection

La protection des équipements contre les surintensités est assurée par l'installation d'une protection primaire ou par l'utilisation d'équipements avec protection intégrée. Les équipements de centre de télécommunication seront généralement protégés par une protection primaire installée dans le répartiteur principal. Pour les équipements de réseau d'accès, on peut utiliser l'une ou l'autre méthode de protection. La protection des équipements d'abonné sera normalement assurée par l'installation d'une protection primaire.

A.2.4 Conditions et états concernant les équipements

Etant donné que les composants de l'équipement qui sont raccordés au port soumis au test peuvent varier en fonction de l'état dans lequel l'équipement se trouve, il faut tester l'équipement dans tous les états de durée non négligeable. On peut par exemple être amené à prendre en considération les états suivants:

- combiné "raccroché" ou "décroché";
- alimentation "allumée" ou "coupée";
- pendant la sonnerie;
- pendant un cycle de test de ligne, etc.

A.3 Générateurs de test

Les Figures A.3-1 à A.3-6 donnent des exemples de circuits de générateurs de test susceptibles d'être utilisés pour produire les formes d'onde spécifiées au § A.4. Les composants indiqués doivent, en règle générale, permettre d'obtenir la forme d'onde appropriée, mais un ajustement des valeurs indiquées peut être nécessaire.

D'autres générateurs de test peuvent être utilisés à condition qu'ils donnent des résultats identiques.

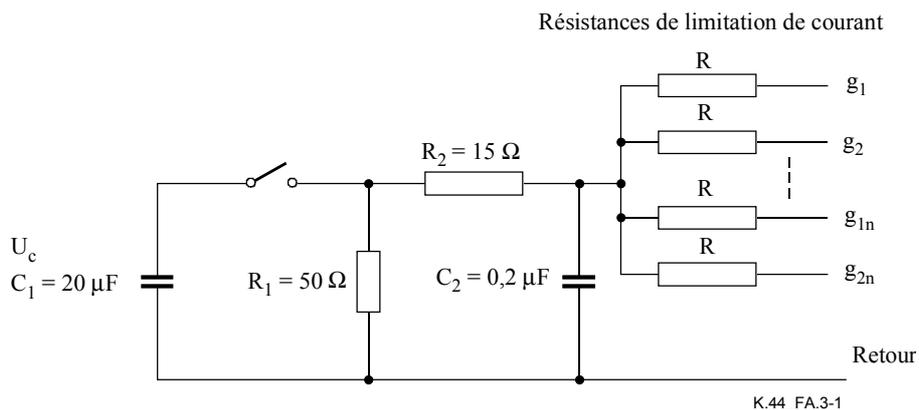


Figure A.3-1/K.44 – Générateur de surtension de forme 10/700 μs

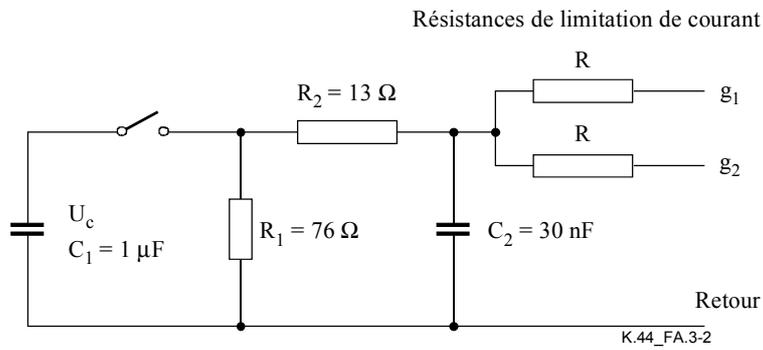
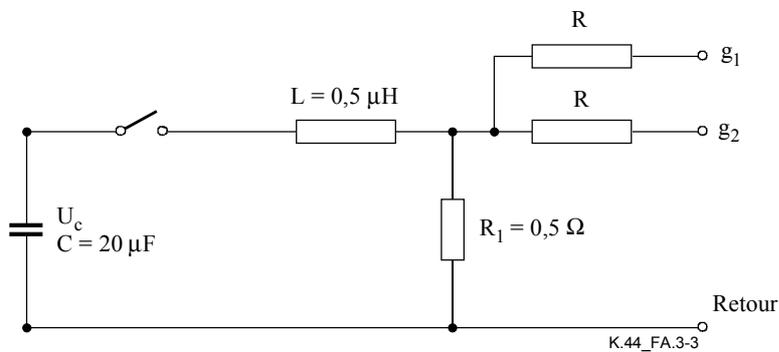


Figure A.3-2/K.44 – Générateur de surtension de forme 1,2/50 μ s

Le générateur de test peut être un générateur d'ondes combinées conforme à la publication CEI 61000-4-5 (Figure A.3-5) ou un générateur équivalent de surtension de forme 1,2/50 μ s.



La faible inductance L est essentiellement due à l'inductance parasite du câblage et doit parfois être ajustée afin d'obtenir le temps en montée d'impulsion requis de 2 μ s. La valeur U_c est ajustée afin d'obtenir la tension de sortie o/c requise.

Figure A.3-3/K.44 – Générateur de surtension de forme 2/10 μ s

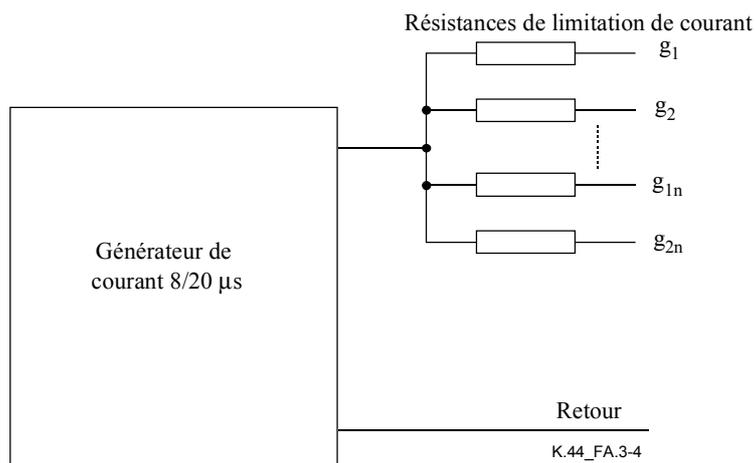


Figure A.3-4/K.44 – Générateur de surintensité de forme 8/20 μ s

Le générateur de test peut être:

- un générateur d'ondes combinées conforme à la publication CEI 61000-4-5 (Figure A.3-5);
- ou un générateur équivalent de surtension de forme 8/20 μ s.

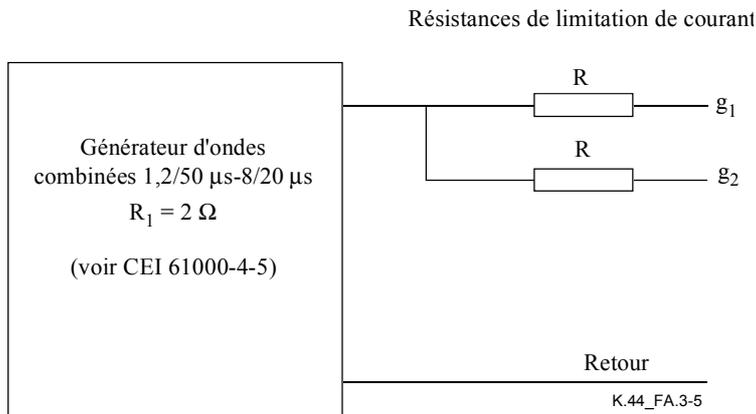
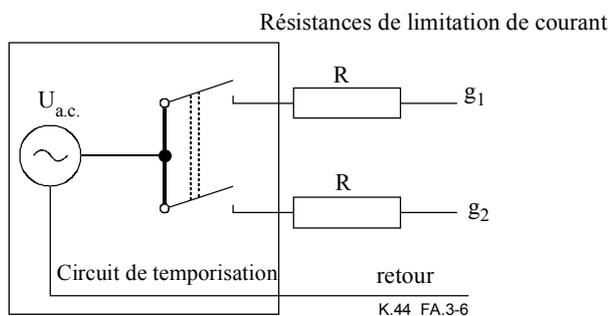


Figure A.3-5/K.44 – Générateur d'ondes combinées



En ce qui concerne la valeur de R, consulter le tableau de test approprié dans la Recommandation de produit correspondante.

NOTE – Il est parfois nécessaire de limiter l'intensité maximale du courant si les règlements nationaux l'exigent.

Figure A.3-6/K.44 – Générateur de tension induite par des lignes électriques, de tension due au contact avec les lignes électriques et de tension due à l'élévation du potentiel du neutre

A.4 Générateur de forme d'onde

Il convient d'utiliser les types de circuit précédents lorsque les valeurs des éléments de circuit sont indiquées. Sinon, se reporter à la publication CEI citée ou à la publication CEI 60060-1 afin d'obtenir des indications permettant de vérifier la forme d'onde obtenue.

A.5 Alimentation, couplage, découplage et terminaisons

Le générateur de surtensions, l'alimentation, les éléments de couplage et de découplage, ainsi que l'équipement sous test et les terminaisons sont raccordés comme indiqué à la Figure A.5-1.

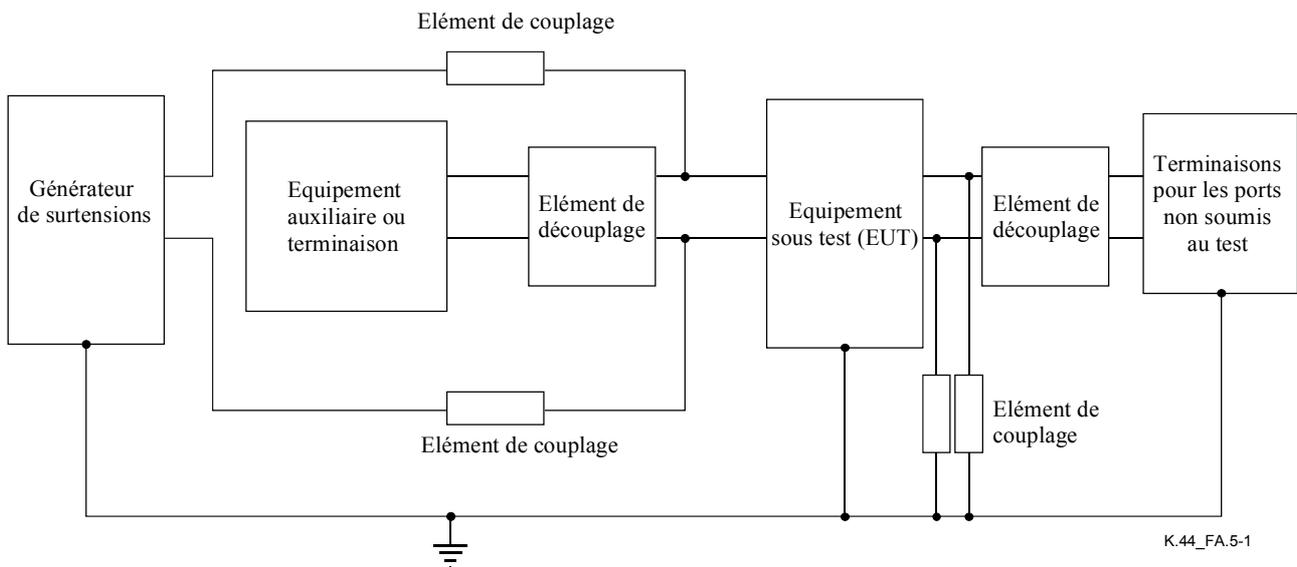


Figure A.5-1/K.44 – Schéma de principe d'un montage de test type

On utilise des éléments de couplage pour raccorder le générateur de surtensions à l'équipement sous test et pour raccorder d'autres ports/conducteurs à la terre au cours des tests port-port. L'élément de couplage éventuellement nécessaire peut être une varistance à oxyde métallique, un parafoudre à gaz, un condensateur ou un élément quelconque dont la tension d'amorçage statique dépasse la tension de fonctionnement maximale de l'équipement sous test. L'élément de couplage devrait être considéré comme faisant partie intégrante du générateur de test et ne devrait pas modifier significativement la tension en circuit ouvert, ni le courant de court-circuit. Il peut s'avérer nécessaire d'augmenter la tension de test pour compenser la chute de tension dans les éléments de couplage. Il existe plusieurs manières de raccorder les éléments de couplage à la terre, la Figure A.5-2b en illustre quelques exemples.

On utilise des éléments de découplage pour abaisser l'énergie de la surtension qui, autrement, entrerait dans les équipements d'alimentation, les équipements associés ou les terminaisons. Les éléments de découplage, éventuellement nécessaires, peuvent être constitués d'une impédance qui empêche l'énergie de la surtension d'entrer dans le simulateur de ligne (par exemple une résistance d'au moins 200 Ω pour circuits à paire symétrique, une inductance ou des selfs de blocage), tout en permettant l'alimentation électrique et la signalisation nécessaire à l'équipement sous test. L'équipement est alimenté par le secteur ou par des lignes dédiées, via un réseau de découplage approprié, par exemple un transformateur d'isolement ou des selfs de blocage, etc.

La Figure A.5-2a illustre un exemple de terminaisons pour des ports non soumis au test. Tous les ports, y compris le port soumis au test, sont normalement raccordés d'une manière ou d'une autre à une terminaison. On utilise des éléments de découplage afin d'éviter tout endommagement de l'équipement associé ou de la terminaison. Lorsque le test l'exige, le port non soumis au test approprié est raccordé à la terre au moyen d'un élément de couplage.

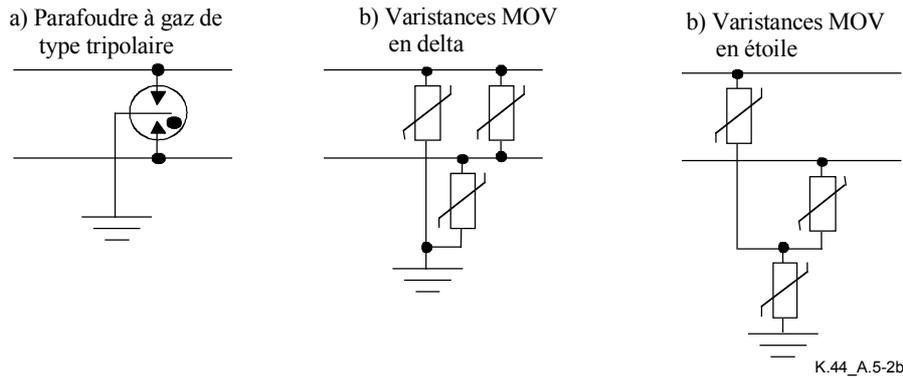


Figure A.5-2b/K.44 – Exemples de raccordement d'éléments de couplage à la terre

A.6 Schémas de test pour différents types de ports

A.6.1 Ports de type paire symétrique

Les Figures A.6.1-1a et A.6.1-1b illustrent les schémas à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité transversale. La Figure A.6.1-2 donne le schéma à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité entre un port et la terre. La Figure A.6.1-3 donne le schéma à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité entre deux ports externes.

A.6.2 Ports de type câble coaxial

Voir les Figures A.6.2-1 et A.6.2-2.

A.6.3 Ports de type alimentation électrique dédiée a.c. ou d.c.

Les Figures A.6.3-1a et A.6.3-1b donnent les schémas à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité transversale. La Figure A.6.3-2 donne le schéma à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité entre un port et la terre. La Figure A.6.3-3 donne le schéma à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité entre deux ports externes.

A.6.4 Ports de type alimentation secteur

La Figure A.6.4-1 illustre le schéma à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité transversale. La Figure A.6.4-2 donne le schéma à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité entre un port et la terre. La Figure A.6.4-3 donne le schéma à utiliser dans le cas d'une surtension ou d'une surintensité entre deux ports externes.

A.6.5 Ports internes de câble blindé

Voir les Figures A.6.5-1 et A.6.5-2.

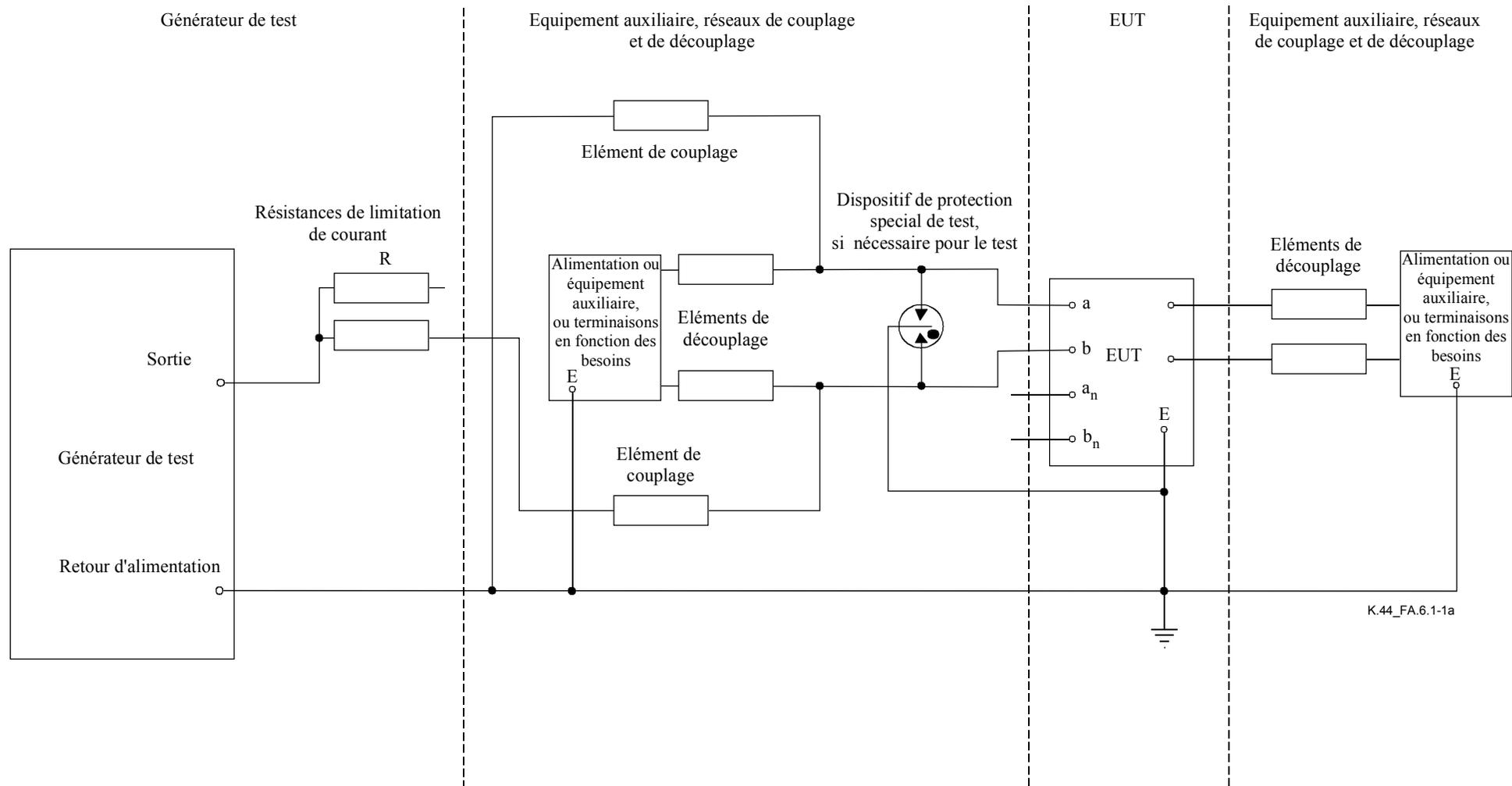
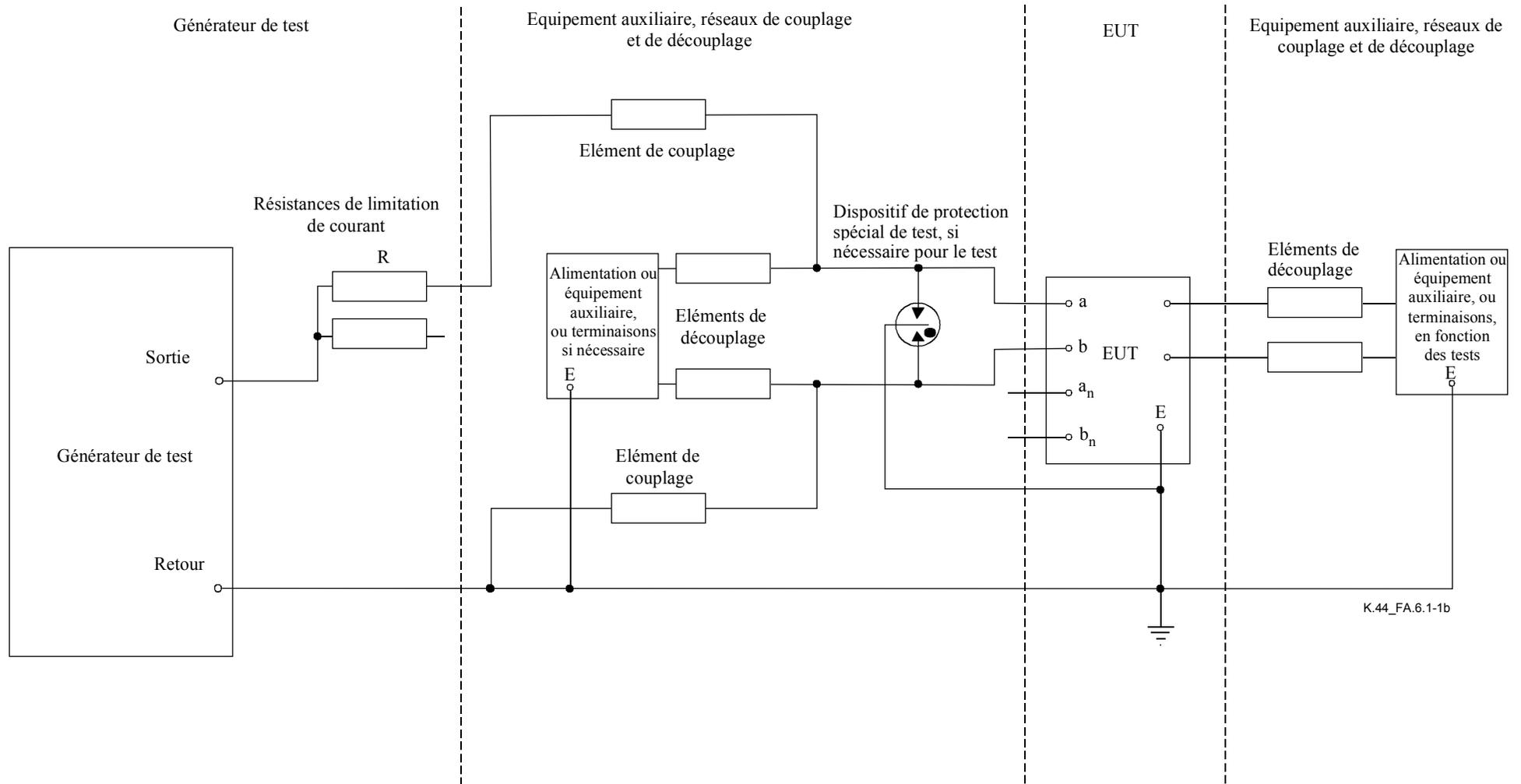
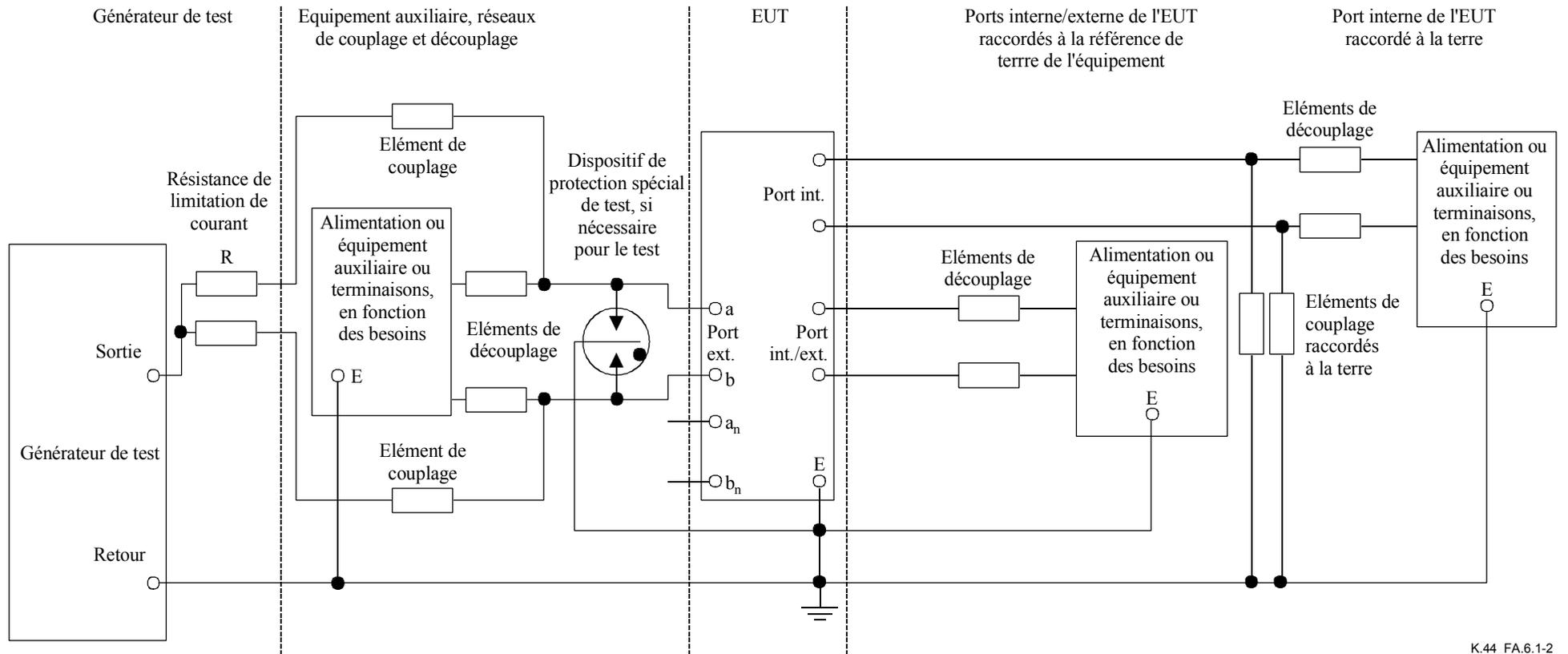


Figure A.6.1-1a/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité transversale sur un port externe unique de type paire symétrique (a – conducteur-terre)



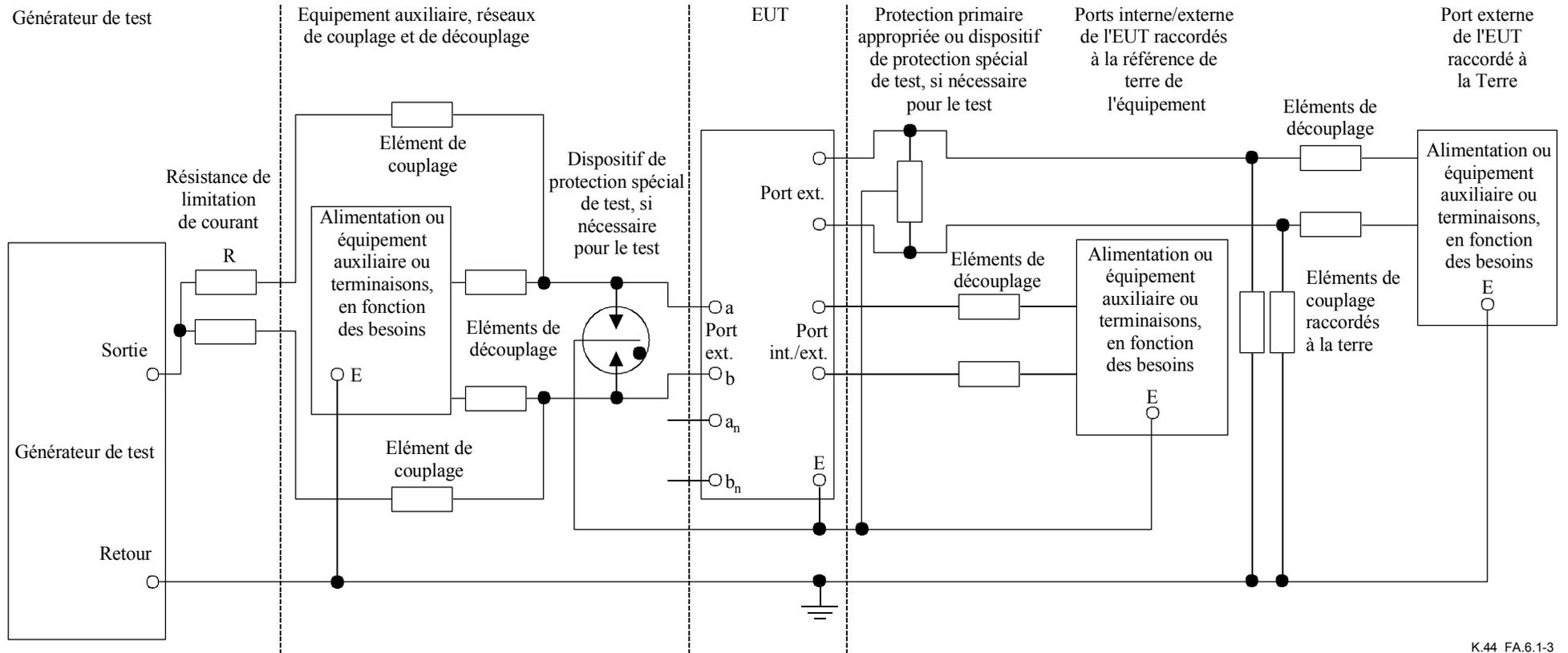
K.44_FA.6.1-1b

Figure A.6.1-1b/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité transversale sur un port externe unique de type paire symétrique (b – conducteur-terre)



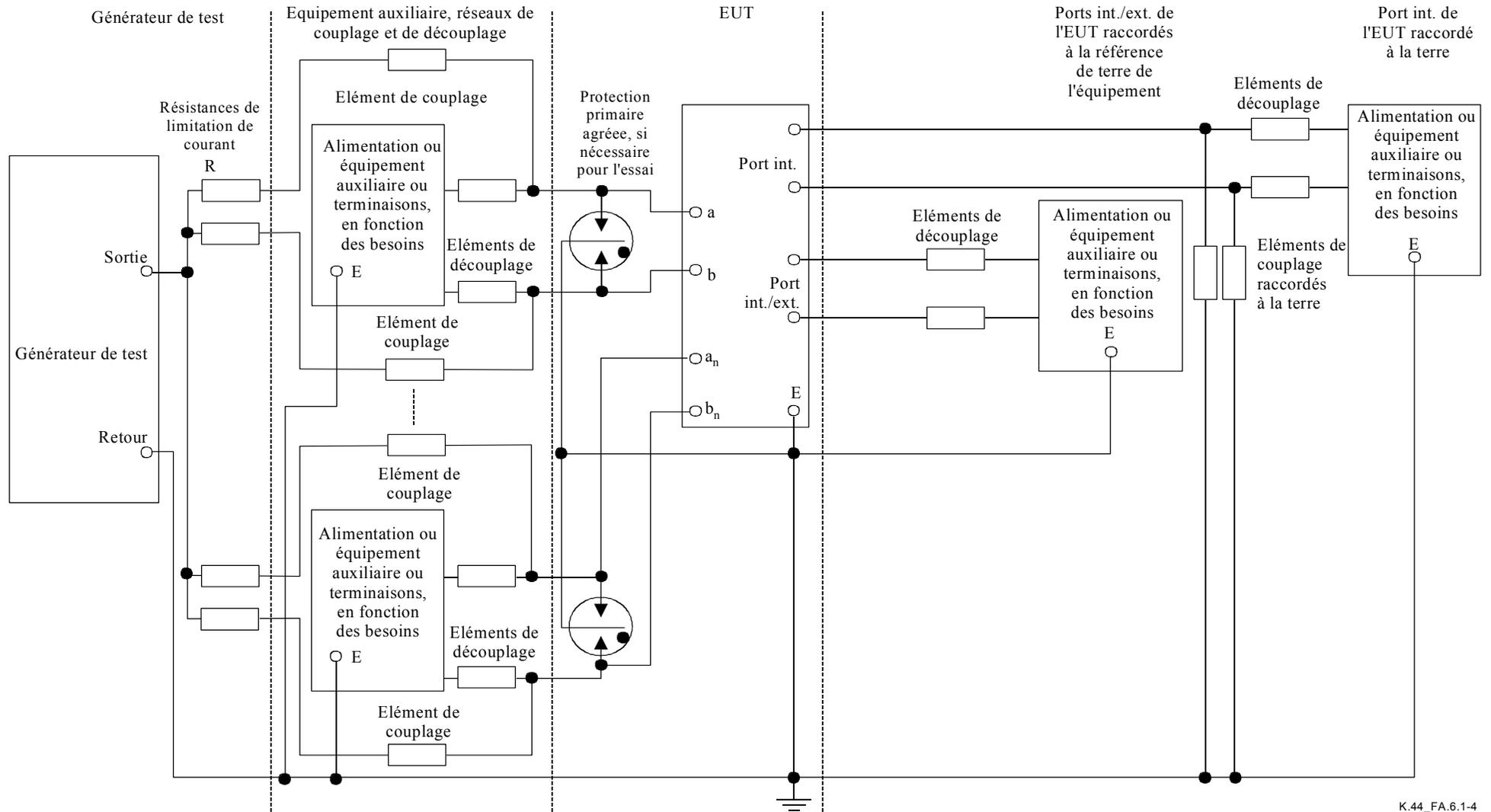
K.44_FA.6.1-2

Figure A.6.1-2/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité entre un port externe unique de type paire symétrique et la terre



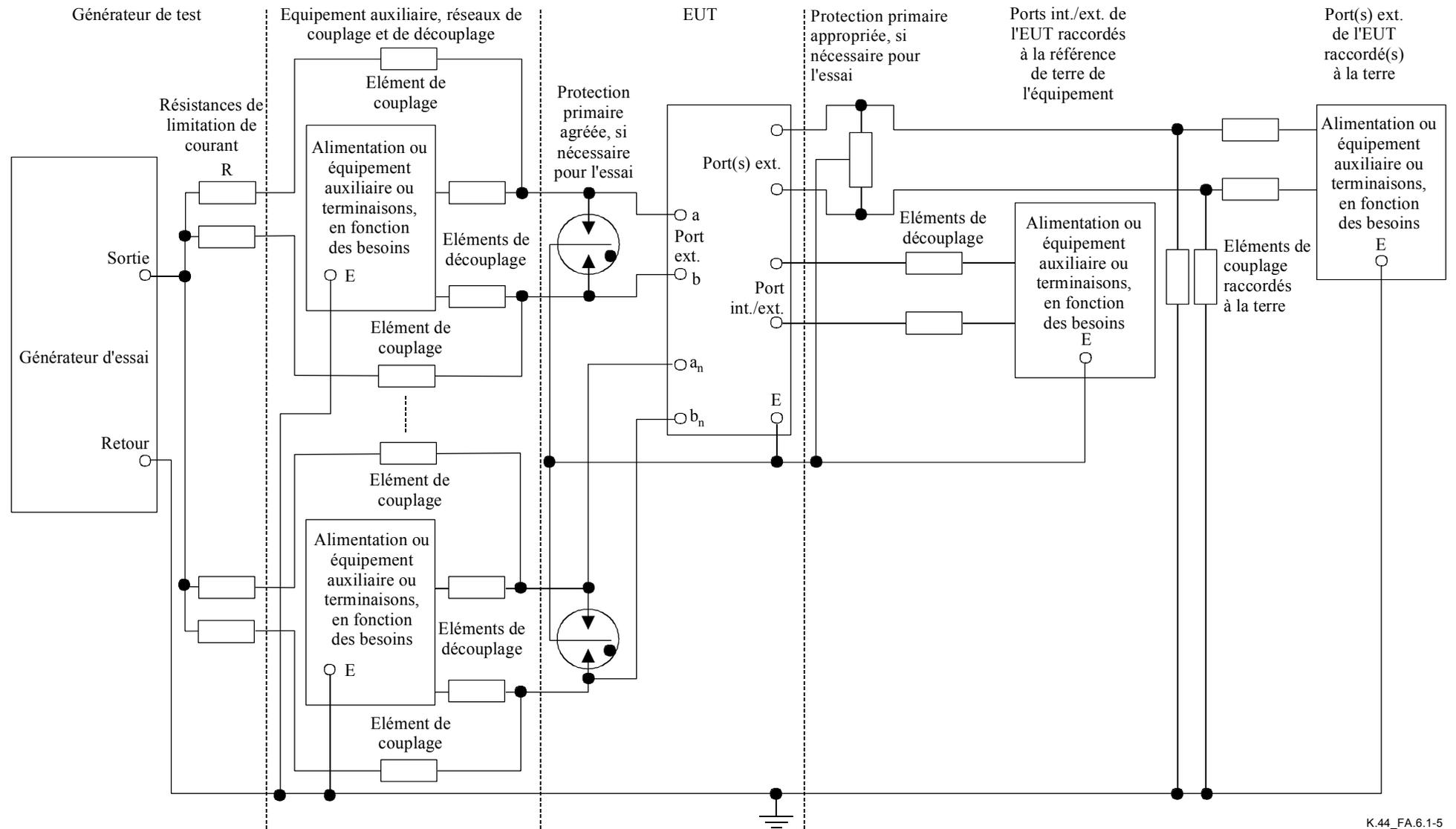
K.44_FA.6.1-3

Figure A.6.1-3/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité entre un port externe unique de type paire symétrique et un autre port externe



K.44_FA.6.1-4

Figure A.6.1-4/K44 – Exemples de circuit de test de surtension ou de surintensité longitudinale entre de multiples ports externes de type paire symétrique et la terre



K.44_FA.6.1-5

Figure A.6.1-5/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité longitudinale entre de multiples ports externes de type paire symétrique et un autre port externe

NOTE – Cette figure est à l'étude et n'a pas été incluse

Figure A.6.2-1/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité transversale sur un port externe unique de type câble coaxial

NOTE – Cette figure est à l'étude et n'a pas été incluse

Figure A.6.2-2/K.44 – Exemple de circuit de test pour un test de surintensité sur le blindage d'un câble coaxial

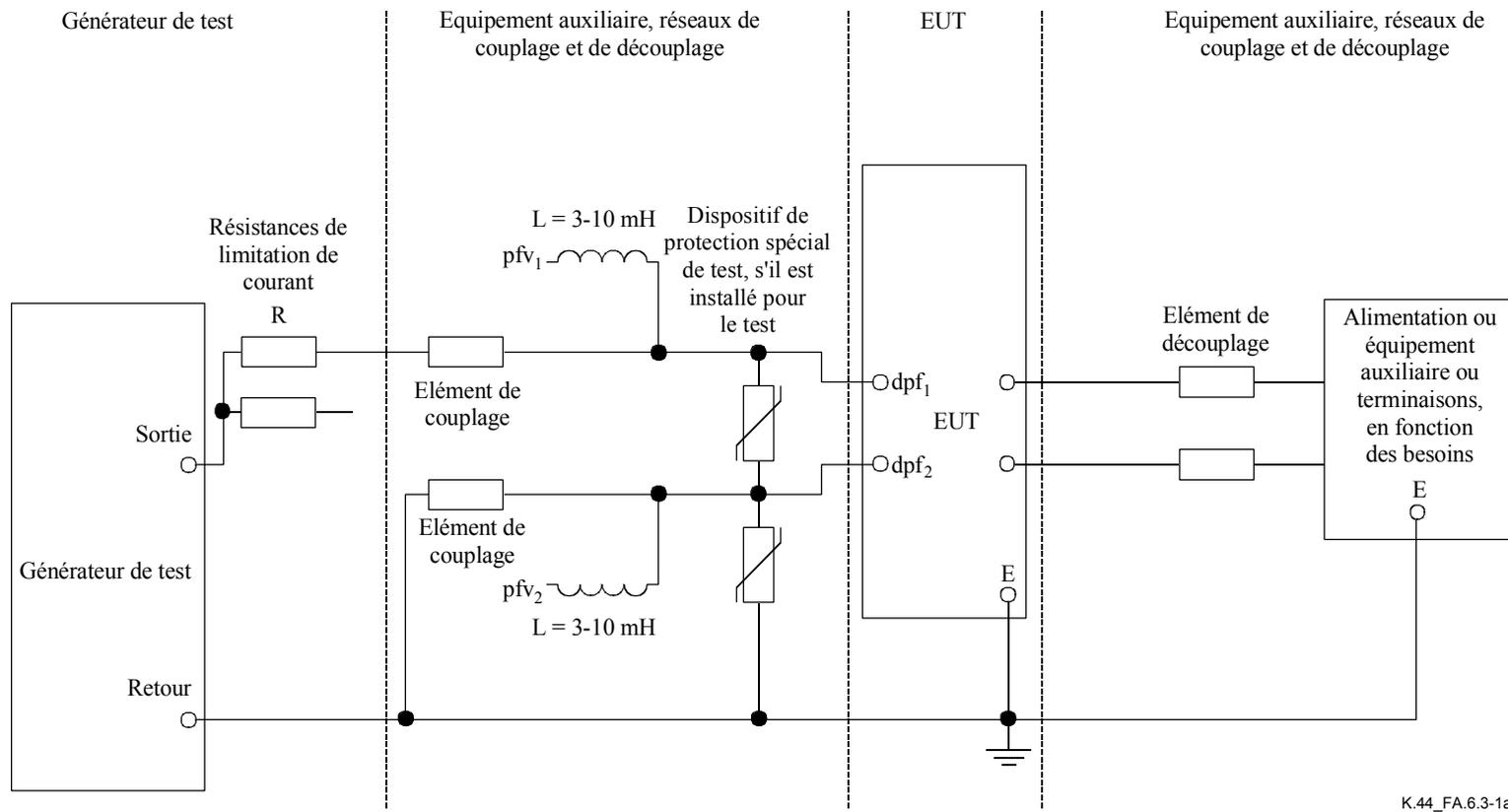
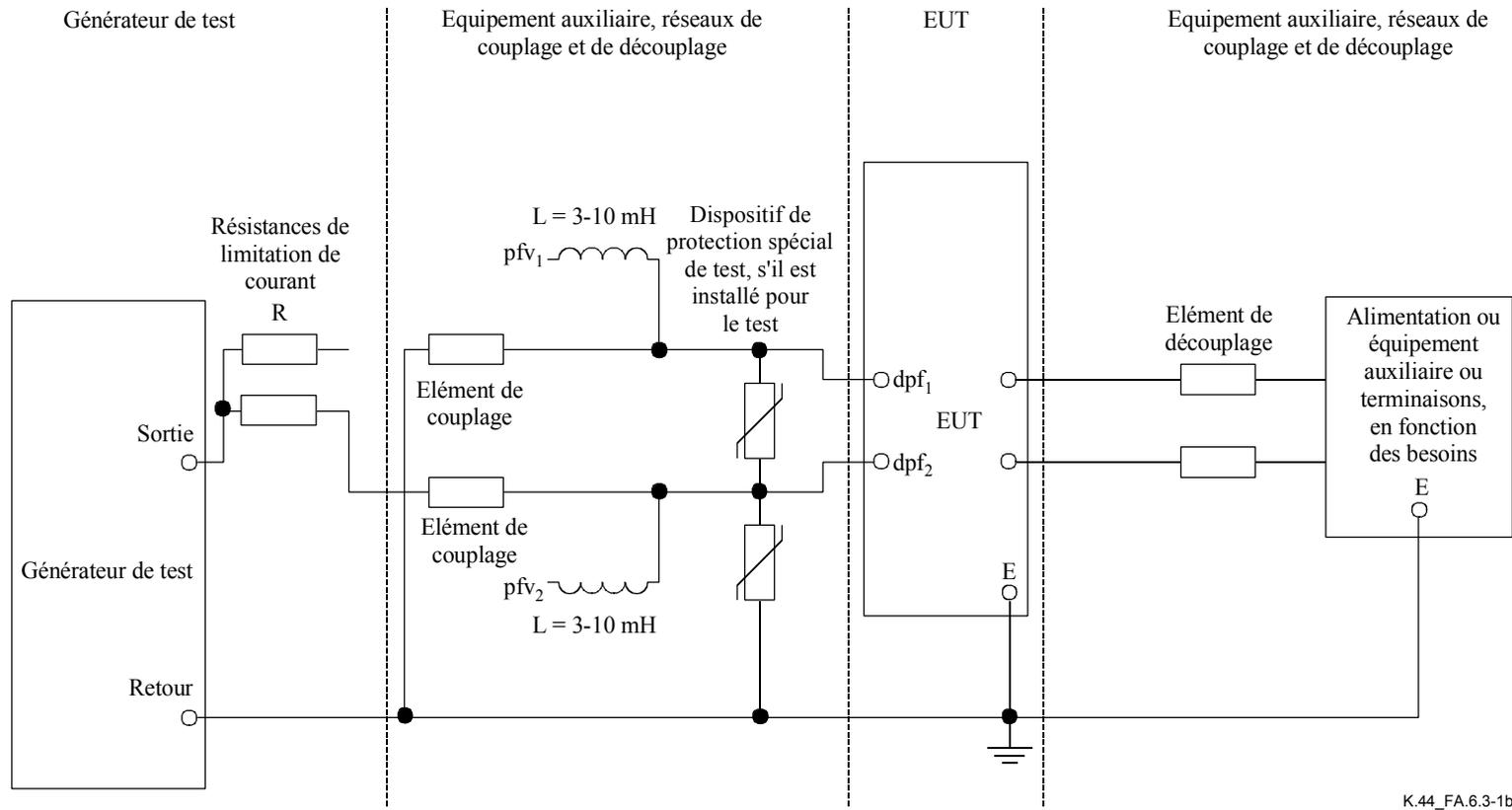
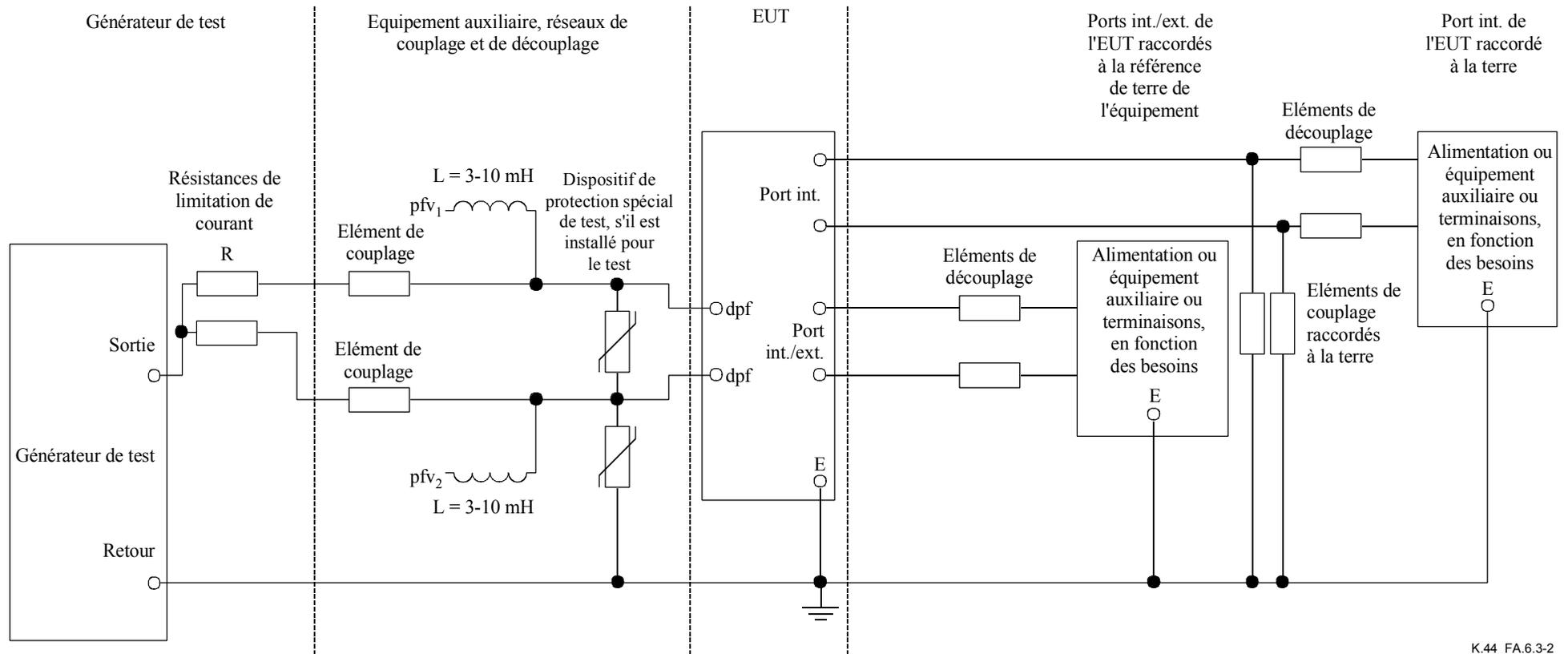


Figure A.6.3-1a/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité transversale sur un port externe unique de type alimentation dédiée (dpf2 mis à la terre)



K.44_FA.6.3-1b

Figure A.6.3-1b/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité transversale sur un port externe unique de type alimentation dédiée (dpf1 mis à la terre)



K.44_FA.6.3-2

Figure A.6.3-2/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité entre un port externe unique de type alimentation dédiée et la terre

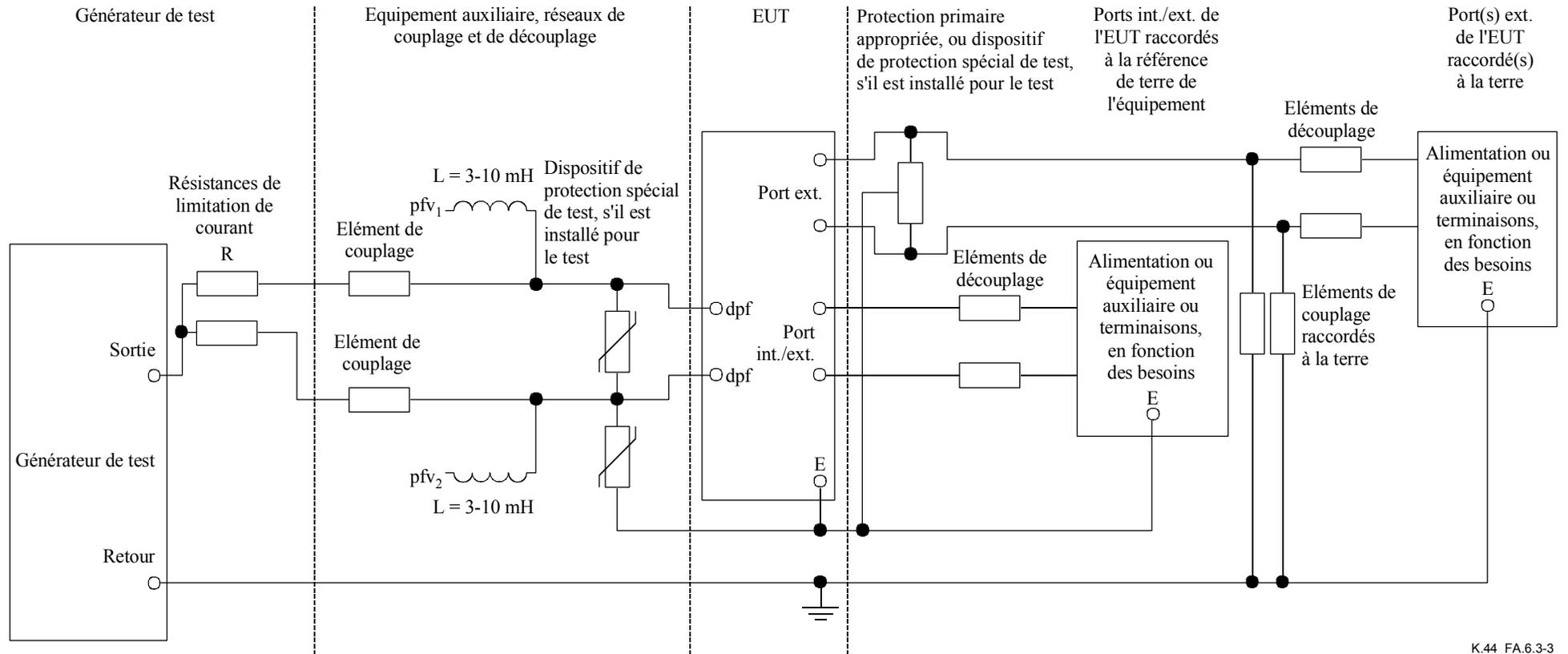
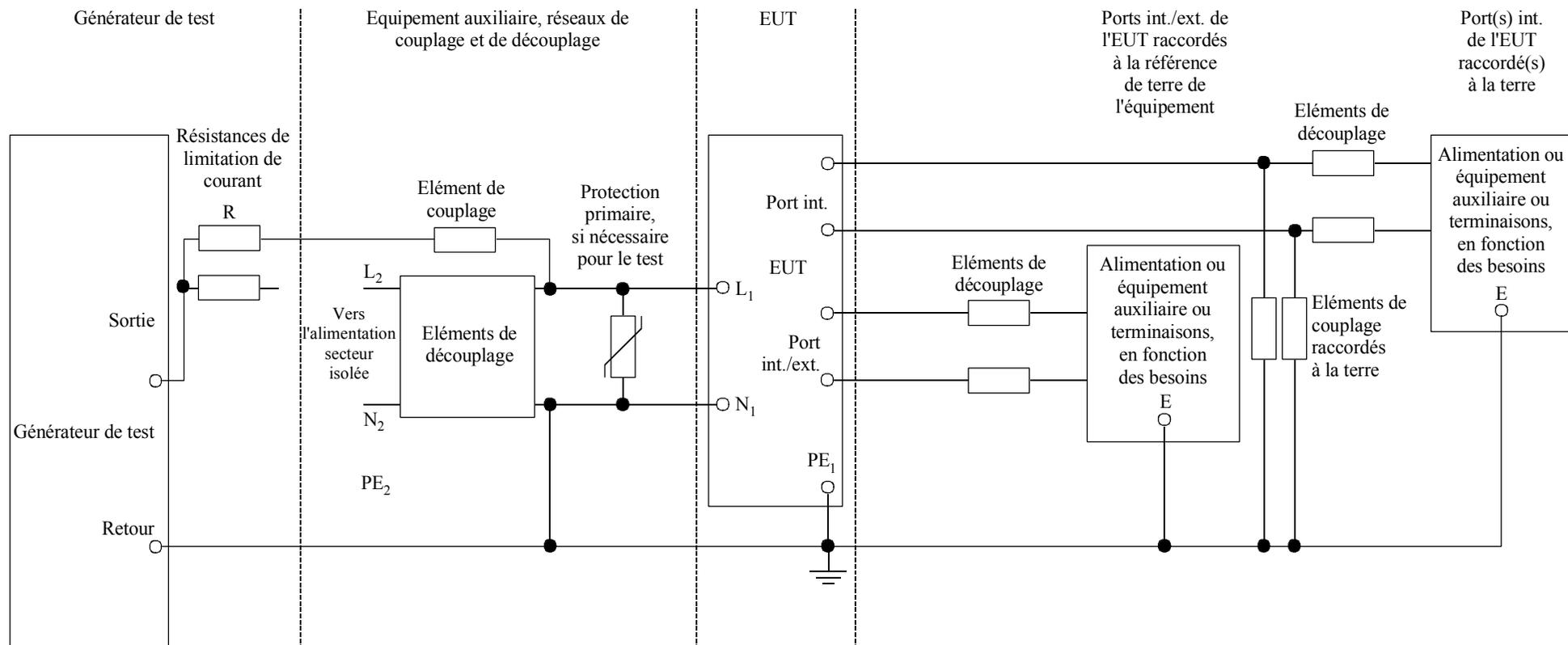


Figure A.6.3-3/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité entre un port externe unique de type alimentation dédiée et un autre port externe

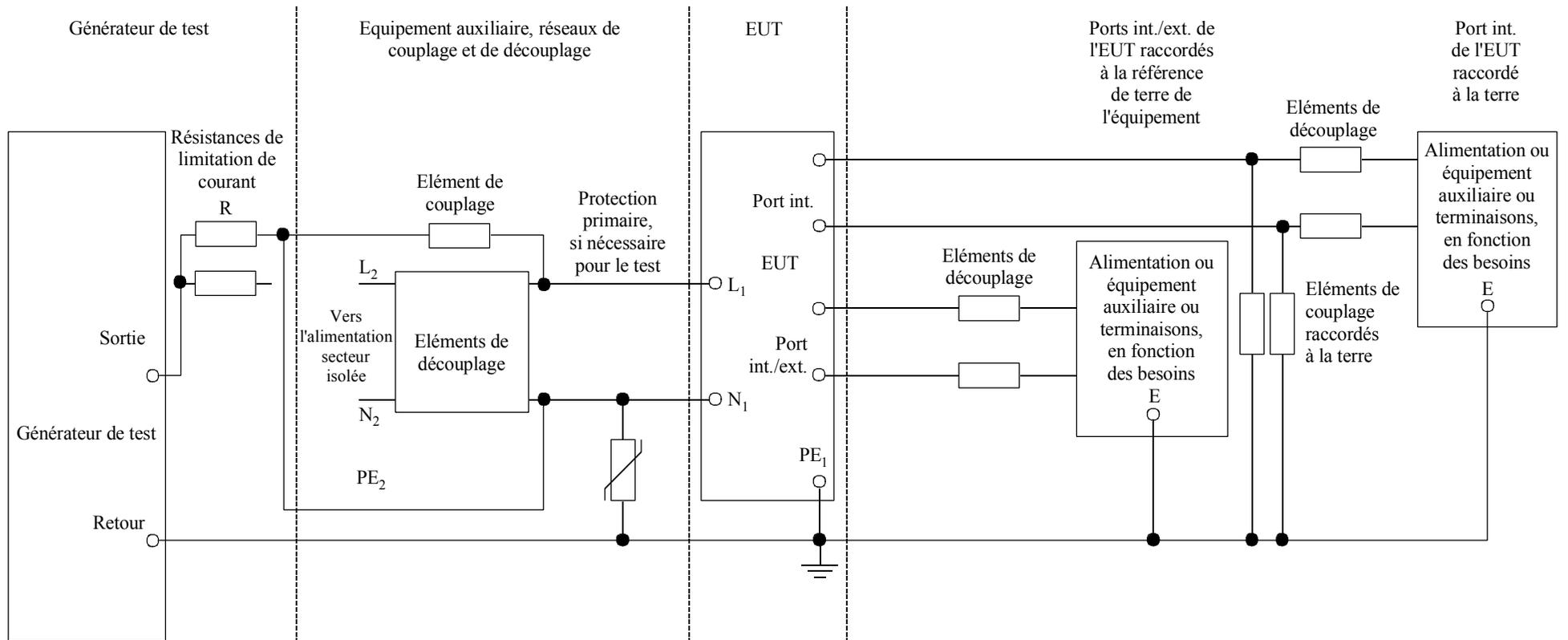


K.44_FA.6.4-1

NOTE 1 – Pour chaque dispositif SPD, la longueur totale du câble de raccordement de la protection primaire doit être de 1 mètre.

NOTE 2 – Les éléments de découplage peuvent être un transformateur d'isolement auquel on ajoute une inductance sur chaque branche de sortie.

Figure A.6.4-1/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension ou de surintensité transversale sur un port externe de type alimentation secteur

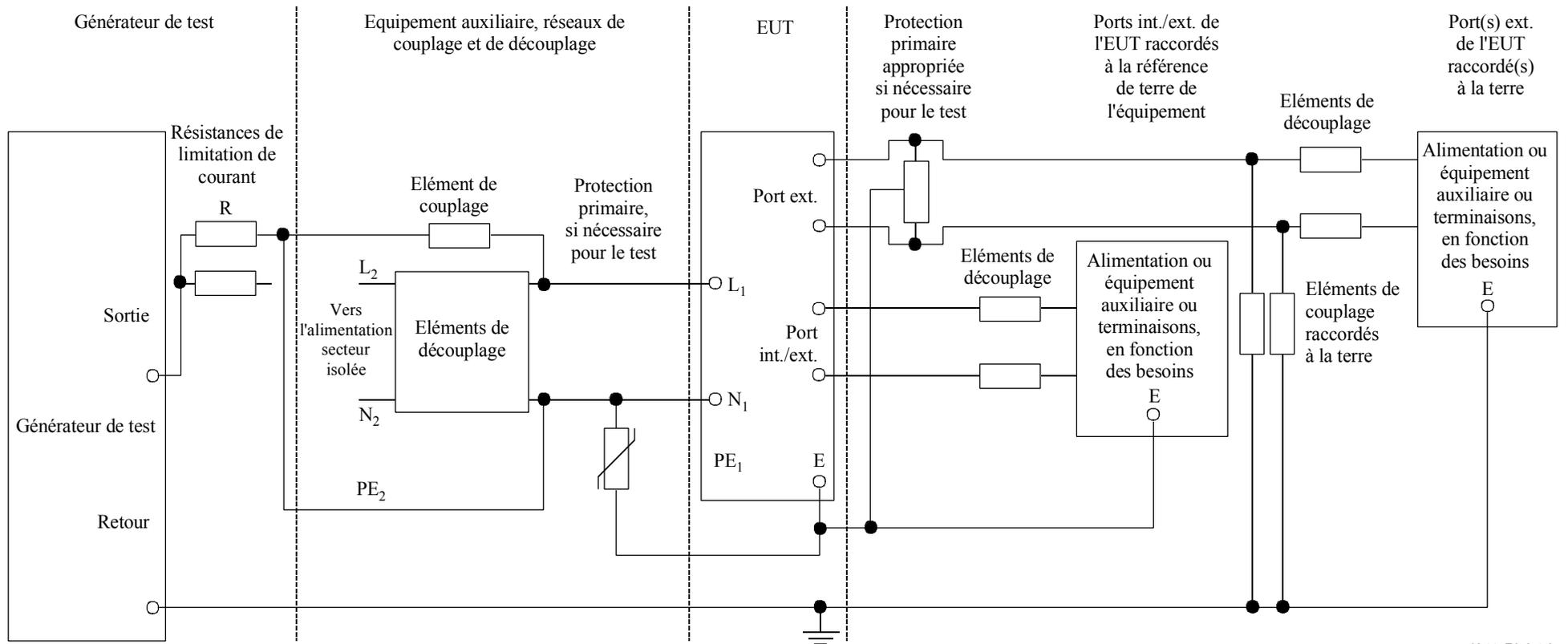


K.44_FA.6.4-2

NOTE 1 – Pour chaque dispositif SPD, la longueur totale du câble de raccordement de la protection primaire doit être de 1 mètre.

NOTE 2 – Les éléments de découplage peuvent être un transformateur d'isolement auquel on ajoute une inductance sur chaque branche de sortie.

Figure A.6.4-2/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension, de surintensité et d'élévation du potentiel du neutre entre un port externe de type alimentation secteur et la terre



K.44_FA.6.4-3

NOTE 1 – Pour chaque dispositif SPD, la longueur totale du câble de raccordement de la protection primaire doit être de 1 mètre.

NOTE 2 – Les éléments de découplage peuvent être un transformateur d'isolement auquel on ajoute une inductance sur chaque branche de sortie.

Figure A.6.4-3/K.44 – Exemple de circuit de test de surtension, de surintensité et d'élévation du potentiel du neutre entre un port externe de type alimentation secteur et un autre port externe

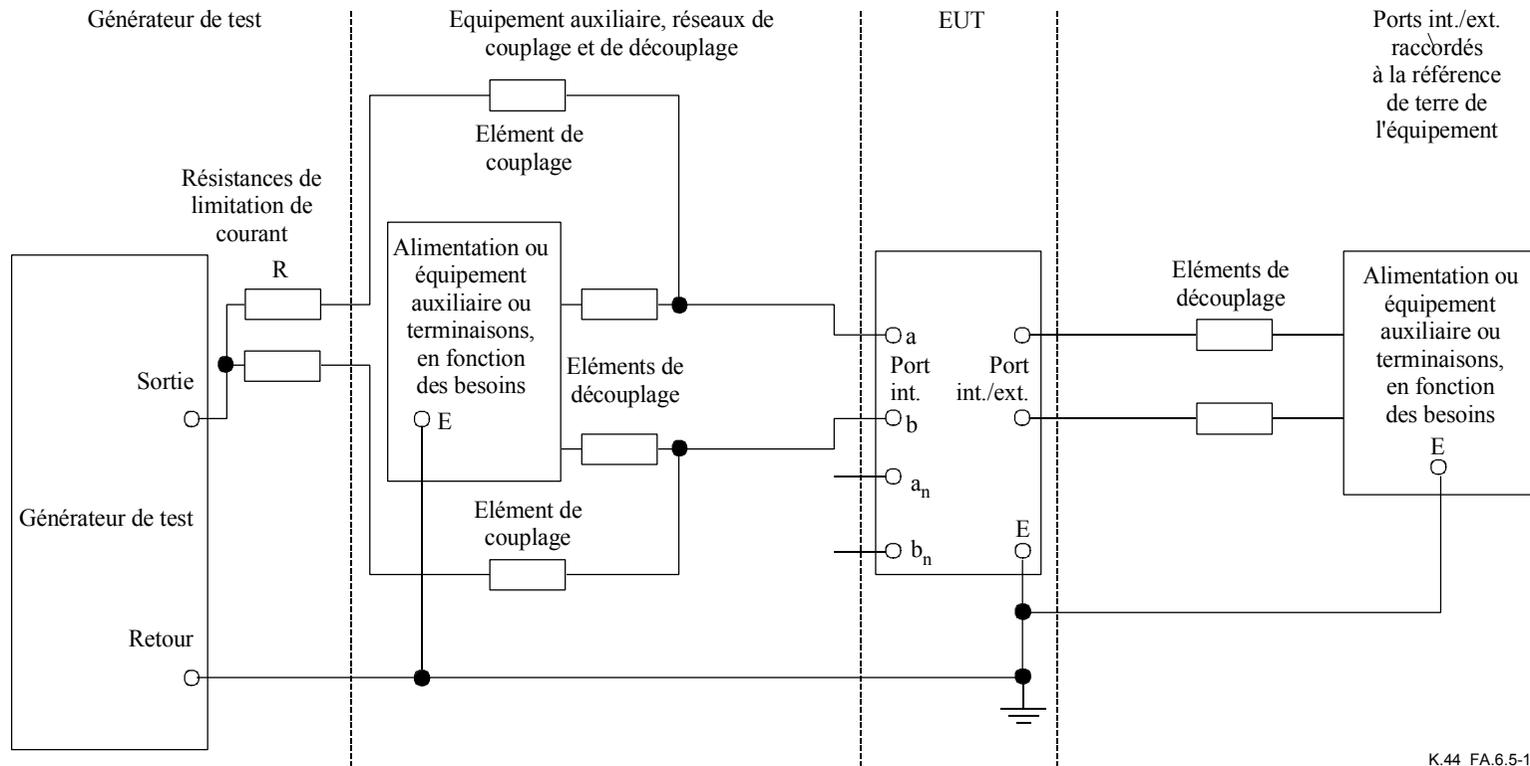
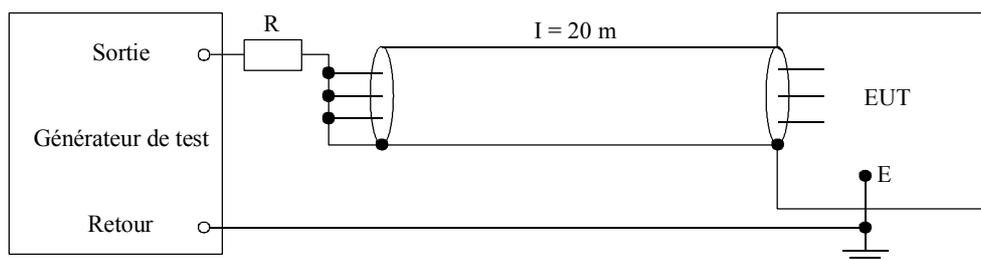


Figure A.6.5-1/K.44 – Exemple de circuit de test pour des ports internes de câble non blindé



Afin d'assurer la reproductibilité des mesures, il est recommandé de réaliser le test sur un plan de référence de terre et de laisser serpenter le câble sur ce plan. Tous les conducteurs sont raccordés ensemble ainsi qu'avec le blindage. (Motif: dans la situation la plus défavorable, les éléments de protection insérés dans l'équipement homologue – non inclus dans ce montage de test – peuvent provoquer un court-circuit.)

K.44_FA.6.5-2

Figure A.6.5-2/K.44 – Exemple de circuit de test pour des ports internes de câble blindé

Appendice I

Explications relatives aux conditions de test

I.1 Réalisation des tests

I.1.1 Généralités

Afin de vérifier que l'équipement répond aux critères d'acceptation spécifiés à toutes les tensions et à toutes les intensités jusqu'au niveau de test maximal, il faut soit utiliser toute une gamme de tensions et d'intensités comprises entre 0 et le niveau maximal spécifié, soit procéder à des "tests intelligents". Les paragraphes I.1.2 à I.1.4 donnent des indications concernant les "tests intelligents" destinés à réduire au minimum le nombre de niveaux de test tout en assurant que les tests appropriés sont effectués.

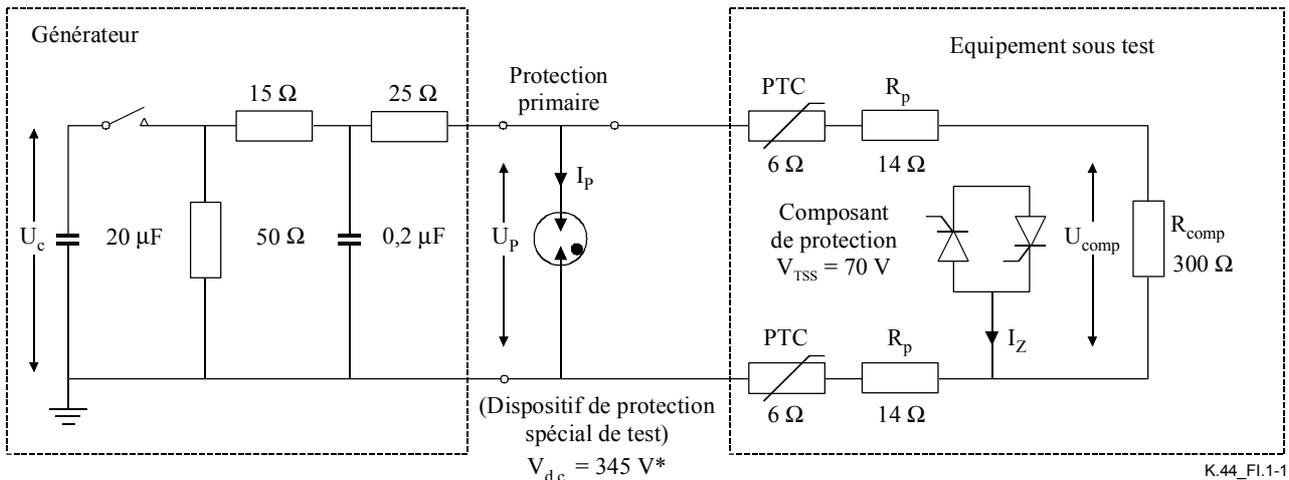
I.1.2 Tests de surtension due à la foudre

Il est nécessaire d'utiliser des tensions de test spécifiques pour vérifier qu'il n'existe aucune gamme de valeurs correspondant à une détérioration de l'équipement. Ces tensions de test spécifiques sont déterminées compte tenu des points de fonctionnement de composants tels que le dispositif de protection primaire (GDT ou SSA) et les dispositifs de protection de type commutateur intégrés à l'équipement. L'utilisation d'un circuit de ligne comportant une résistance fusible de 20 Ω et un dispositif de protection inhérente de type commutateur illustre le mode de détermination de ces tensions de test. Ce circuit de ligne indiqué à titre d'exemple ainsi que le générateur de test et le dispositif de protection primaire sont représentés à la Figure I.1-1. Hormis le générateur de test, la configuration du circuit et les valeurs des composants ont été choisies uniquement à titre d'exemple et ne sont aucunement présentées en tant que pratique recommandée.

Lorsqu'on fait croître progressivement la tension de charge U_c , les différents composants sont soumis à des tensions, à des intensités et à des énergies différentes. Le choix des composants du circuit est déterminé:

- par la tension maximale aux bornes du composant;
- par l'intensité maximale traversant le composant;

- par la puissance maximale qui sera absorbée par le composant (produit tension-courant intégré pendant la durée de l'impulsion).



* Dispositif de protection spécial de test pour protecteur primaire 230 V.

NOTE – En pratique, R_p peut varier entre 10 et 100 Ω tandis que R_{slic} peut également prendre des valeurs différentes.

Figure I.1-1/K.44 – Exemple de circuit de ligne avec indication des valeurs de tension et d'intensité

Le circuit ci-dessus est un exemple de circuit de ligne à faible impédance d'entrée lorsque le dispositif de protection inhérente fonctionne. Dans les zones exposées aux surtensions, l'équipement est doté d'une protection nominale grâce au parafoudre à semi-conducteurs ou à gaz du répartiteur principal. On suppose que ce circuit sera protégé par un parafoudre à gaz de 230 V de tension nominale et que le dispositif de protection primaire a été remplacé par un parafoudre à gaz caractérisé par une tension continue d'amorçage de 345 V, tel qu'indiqué au § 8.4.1 (c'est-à-dire 300 V_{dcmx} multiplié par 1,15). Le circuit illustré est destiné à être utilisé pour des tests transversaux, voir la Figure A.5.1-2a. Dans un souci de simplicité du circuit, on n'a représenté ni élément de couplage ou de découplage ni équipement associé. Les chiffres indiqués correspondent uniquement au cas de polarité positive. La résistance R_{comp} de 300 Ω représente l'impédance des composants à protéger.

R_p désigne la résistance de protection. Sa valeur peut varier en fait de 10 à 100 Ω . Cette résistance assure une double fonction: premièrement elle est conçue pour une fonction fusible en cas de contact des lignes électriques, afin d'éviter un incendie; deuxièmement, elle fait office de résistance tampon entre le dispositif de protection primaire et la protection inhérente, assurant ainsi la coordination de ces deux éléments. Elle constitue l'impédance d'entrée (résistive) de l'équipement sous test lorsque la protection inhérente est activée. On peut utiliser pour R_p une résistance, une résistance à coefficient de température positif (PTC, *positive temperature coefficient resistor*) ou un autre type de dispositif mixte. Dans certaines applications, les résistances PTC et R_p pourront se situer au niveau du répartiteur principal, en association avec le dispositif de protection primaire. Il convient de signaler que l'installation des résistances PTC et R_p au niveau du répartiteur principal n'est pas une pratique recommandée; en effet certains exploitants sont parfois équipés de répartiteurs principaux qui n'acceptent pas les impédances série. Par ailleurs, il vaut mieux que les résistances PTC soient à la température du circuit de ligne. Dans certains cas toutefois, il peut être nécessaire d'installer les résistances PTC ou d'autres types de dispositifs de protection contre les surintensités au niveau du répartiteur principal (à toutes fins utiles, on se reportera à la Rec. UIT-T K.30).

R_{comp} désigne la résistance du circuit. Sa valeur peut varier en fonction de l'intensité du courant et de la fréquence. Toutefois l'intensité maximale du courant qui circule normalement à travers R_{comp} est inférieure à 0,2 A. Cette valeur est négligeable par comparaison à l'intensité qui traverse le dispositif de protection inhérente quand il a fonctionné.

La protection inhérente est assurée par un dispositif de type PNP.

Lors de l'application de surtensions négatives, le thyristor est passant dès que sa tension de commutation, généralement de l'ordre de 70 V, est dépassée. Après la commutation du thyristor, la chute de tension est limitée à 1 ou 2 V.

Pour qu'une tension U_c se traduise par une valeur U_{comp} comprise entre 0 et 69 V, aucun courant ne doit circuler dans le thyristor (voir Figure I.1-2). Cette situation correspond à la sollicitation la plus intense des composants et il convient alors d'appliquer dix surtensions de polarités alternées. Avec une tension U_c permettant d'atteindre une valeur $U_{comp} = 70$ V, le dispositif de protection inhérente fonctionne et un courant circule à travers les résistances PTC et les résistances de 14 Ω , voir Figure I.1-3. Cela a pour effet de limiter à 70 V la tension aux bornes des composants à protéger. La tension aux bornes des résistances PTC et des résistances de 14 Ω et l'intensité qui y circule augmenteront jusqu'à ce que la tension de charge soit juste au-dessous du niveau d'activation de la protection primaire (voir Figure I.1-4). Cela correspond à la sollicitation maximale des résistances PTC et des résistances de 14 Ω et il convient alors d'appliquer dix surtensions de polarités alternées.

Lorsque la protection primaire est activée, la tension U_p tombe à une valeur faible (généralement environ 25 V). L'intensité du courant I_z qui circule dans l'équipement tombe à une valeur très faible et devient pratiquement indépendante de U_c .

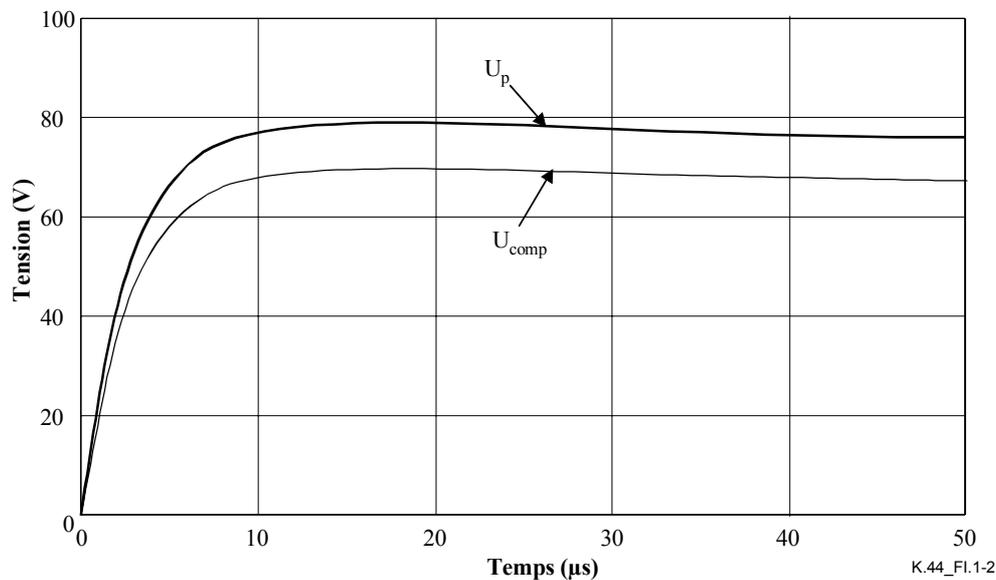


Figure I.1-2/K.44 – Tensions correspondant à une valeur U_c telle que $U_{comp} = 69$ V

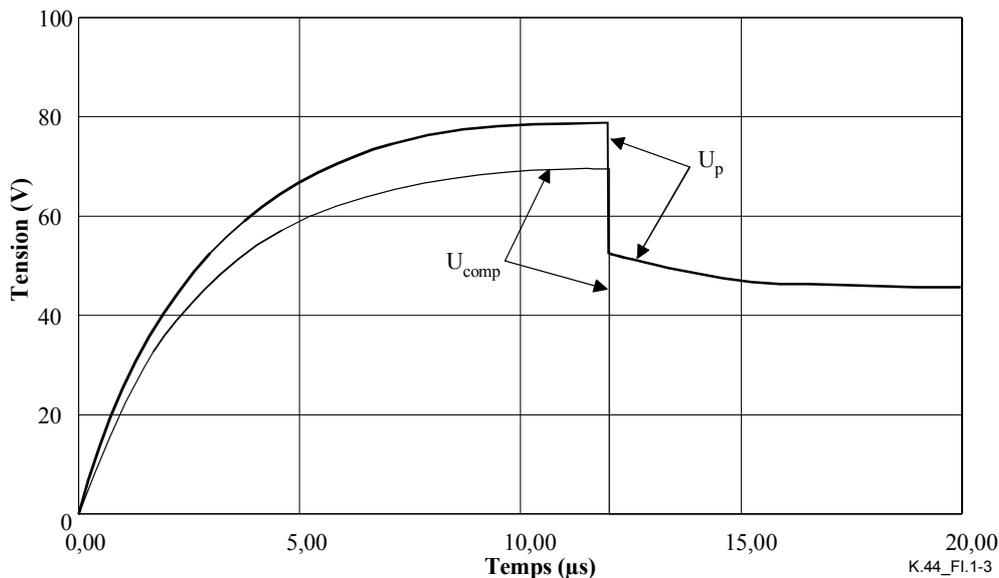


Figure I.1-3/K.44 – Tensions correspondant à une valeur U_c telle que $U_{comp} = 70$ V

La Figure I.1-4 représente la valeur maximale de l'onde de tension de forme 10/700 μ s produite à l'entrée de l'équipement. La Figure I.1-5 correspond au fonctionnement du dispositif de protection pendant la partie décroissante de l'onde. La tension d'amorçage 10/700 μ s désigne la valeur de U_p qu'il suffit d'atteindre pour déclencher le fonctionnement du dispositif de protection; par exemple, la tension d'amorçage 10/700 μ s du dispositif de protection est de 420 V.

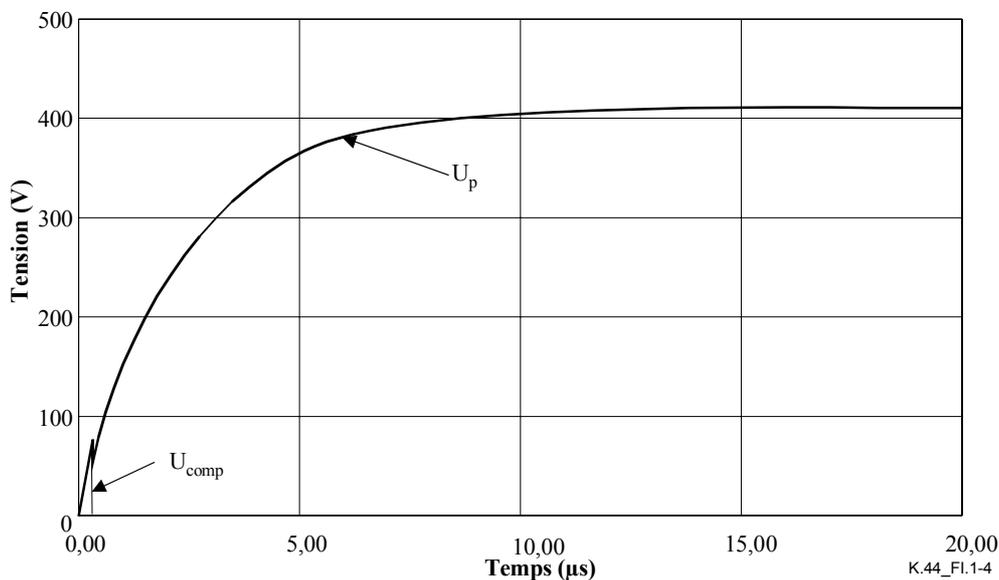


Figure I.1-4/K.44 – Tensions correspondant à une valeur U_c telle que U_p soit juste au-dessous de la tension d'amorçage du parafoudre à gaz

La Figure I.1-5 représente la tension U_p mesurée aux bornes du dispositif de protection primaire, ainsi que la tension aux bornes des résistances PTC et des résistances de 14 Ω , pour une tension de charge U_c de 855 V et en présence d'un parafoudre à gaz caractérisé par une tension continue de claquage de 345 V (tension d'amorçage du dispositif de protection spécial de test utilisé lorsque la

protection primaire agréée est constituée par un parafoudre à gaz de 230 V de tension nominale). Les différentes valeurs de l'intensité peuvent être calculées d'après les tensions. La protection primaire utilisée s'est déclenchée au bout de 15 μ s et la tension maximale aux bornes du parafoudre à gaz était de 420 V.

Il convient de signaler que si le dispositif de protection primaire n'est pas activé au cours de la montée, il peut encore fonctionner au cours de la période de décroissance, puisque la tension reste pratiquement constante pendant la phase initiale de cette période. Si le parafoudre à gaz est activé au cours de la période de décroissance, sa tension de claquage est plus faible et se rapproche de sa tension continue de claquage.

La Figure I.1-6 représente la tension U_p relevée aux bornes du dispositif de protection primaire ainsi que la tension aux bornes des résistances PTC et des résistances de 14 Ω pour une tension de charge U_c de 4 kV. La protection primaire a été activée au bout de 1,5 μ s et la tension maximale aux bornes du parafoudre à gaz est de 632 V. Bien que la tension soit plus élevée, la quantité d'énergie transmise à l'équipement est plus faible.

La Figure I.1-7 représente la tension U_p mesurée aux bornes de la protection primaire et la tension aux bornes des résistances PTC et des résistances de 14 Ω pour une tension de charge U_c de 10 kV. La protection primaire est activée après 0,5 μ s et la tension maximale aux bornes du parafoudre à gaz est de 690 V. Bien que la tension soit plus élevée, la quantité d'énergie transmise à l'équipement est plus faible.

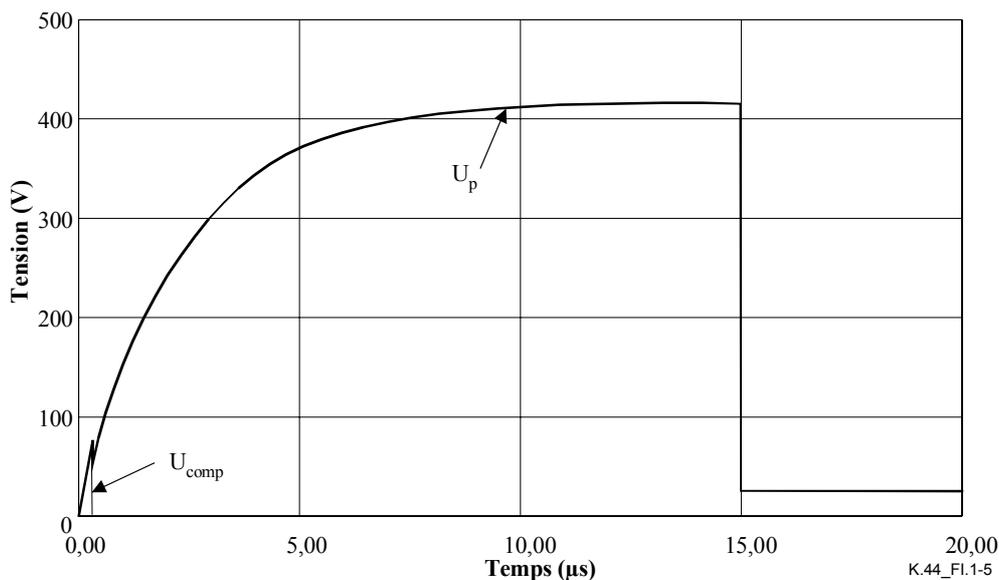


Figure I.1-5/K.44 – Tension U_p aux bornes du dispositif de protection spécial de test pour une tension de charge U_c de 855 V

Cet exemple, qui correspond à six tensions de charge différentes, met en évidence l'importance de la connaissance des caractéristiques de la protection primaire et de la protection inhérente afin de garantir une bonne coordination entre l'équipement et ces deux types de protection.

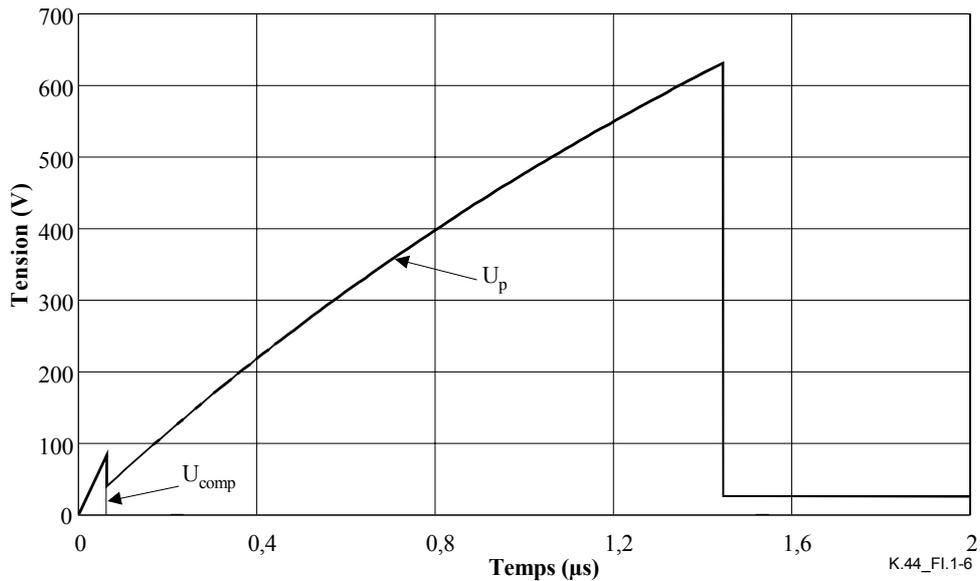


Figure I.1-6/K.44 – Tension U_p aux bornes du dispositif de protection spécial de test pour une tension de charge U_c de 4 kV

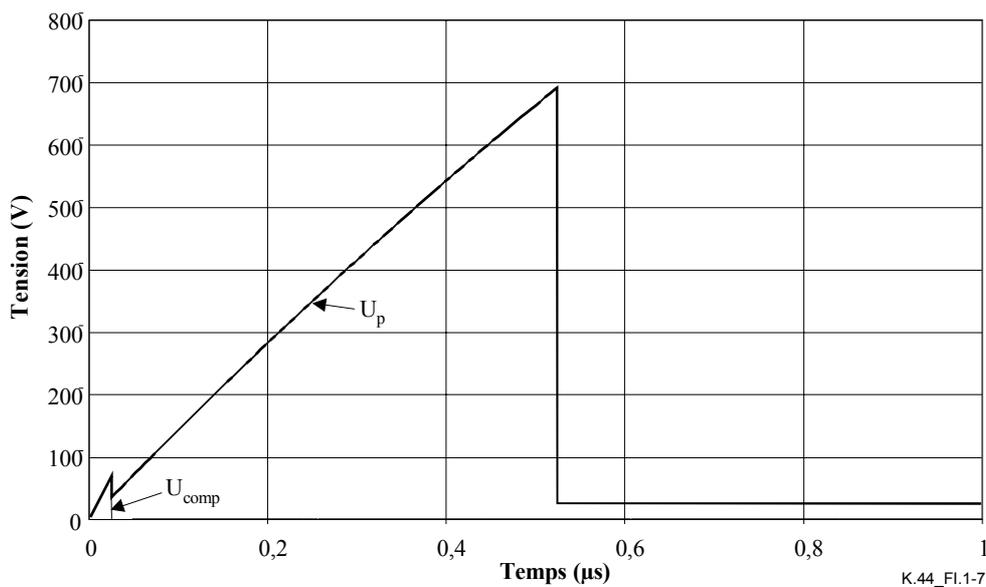


Figure I.1-7/K.44 – Tension U_p aux bornes du dispositif de protection spécial de test pour une tension de charge U_c de 10 kV

I.1.3 Induction de courant par les lignes électriques

Les risques de tensions induites sont plus grands sur les lignes longues et dans le cas général où les lignes de raccordement d'abonné n'ont pas une faible résistance de mise à la terre. On peut considérer que la tension induite E a une impédance de source élevée, constituée d'une résistance ohmique de 600Ω en série, avec une capacité entre ligne et terre de $0,33 \mu\text{F}$ tel qu'indiqué à la Figure I.1-9. Le téléphone est représenté par une résistance de 100Ω et par son interrupteur de décrochage. Les parafoudres à gaz représentés sur la Figure I.1-9 ne sont indispensables que sur les lignes très exposées. Toutefois, en raison de la libéralisation des équipements des locaux client (CPE, *customer premises equipment*), on peut trouver de telles protections sur des lignes moins

exposées. Ces parafoudres à gaz s'amorcent du côté raccordement d'abonné dans le cas d'une induction d'énergie de courte durée et mettent en court-circuit le téléphone et les capacités de ligne. Pour cette raison, le circuit de test représenté à la Figure A.3-6 est constitué uniquement de la tension induite $E = U_{a.c.}$ et des résistances ohmiques R .

Il ressort des observations réalisées durant des jours d'orage que, dans certains centraux, les tensions induites par les lignes électriques détériorent un grand nombre de cartes d'abonnés; toutefois ces observations apparaissent uniquement dans les zones rurales exposées. Les courants induits dans de telles lignes et endommageant les cartes d'abonnés ont été mesurés dans quelques cas; on a observé ainsi des valeurs de 4 à 6 A, et des durées de 200 à 500 ms, soit des énergies spécifiques pouvant atteindre 10-20 A^2s . La Figure I.1-8 représente des mesures d'induction par des lignes électriques réalisées en Australie.

Il a été estimé que ces surtensions accompagnées de niveaux élevés d'énergie spécifique constituaient des événements rares; aussi a-t-on décidé que le test d'induction, avec une protection primaire agréée, devrait simuler une surintensité ayant une énergie spécifique d'environ 1 A^2s pour la spécification d'immunité de base, et de 10 A^2s pour la spécification d'immunité renforcée.

Comme la plupart des laboratoires de test disposaient seulement d'un circuit de test pour une tension maximale de 600 V, il a été convenu de fixer, pour le test d'induction correspondant à la spécification de base, cette tension maximale $U_{a.c.(max)}$ à 600 V et d'allonger la durée de test à 1 s.

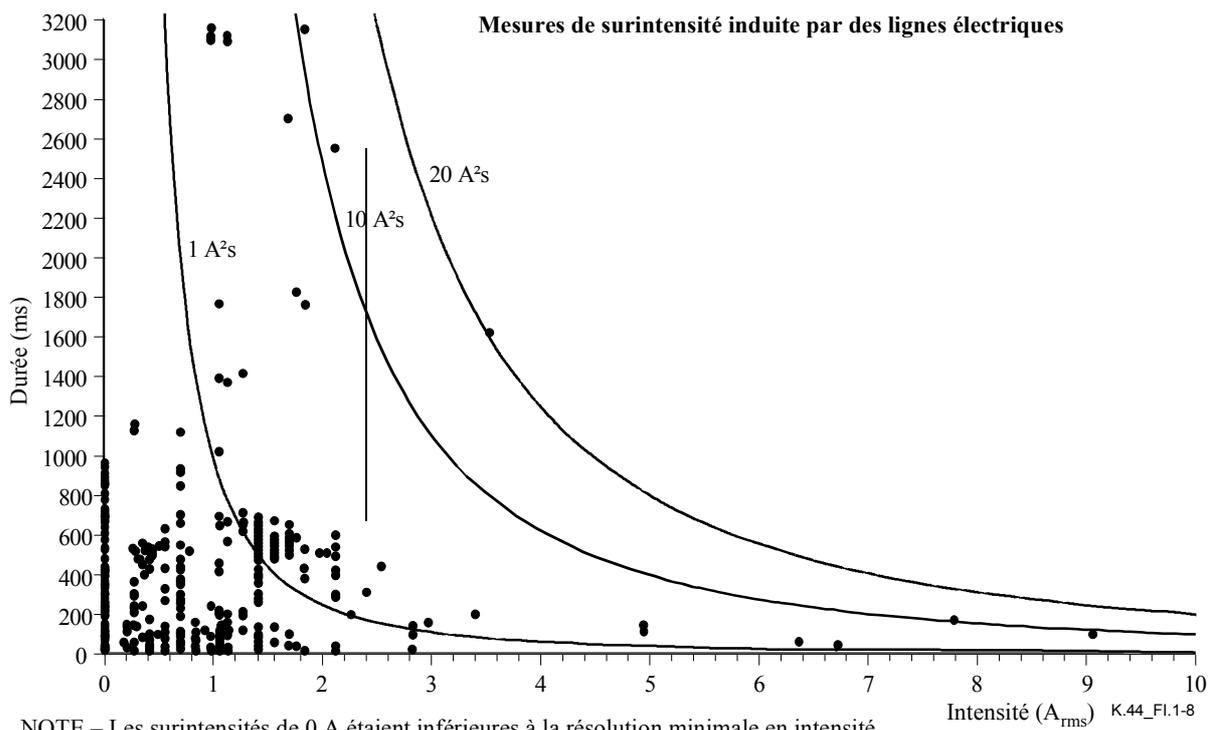


Figure I.1-8/K.44 – Tests d'induction par les lignes électriques – Mesures de surintensité réalisées en Australie

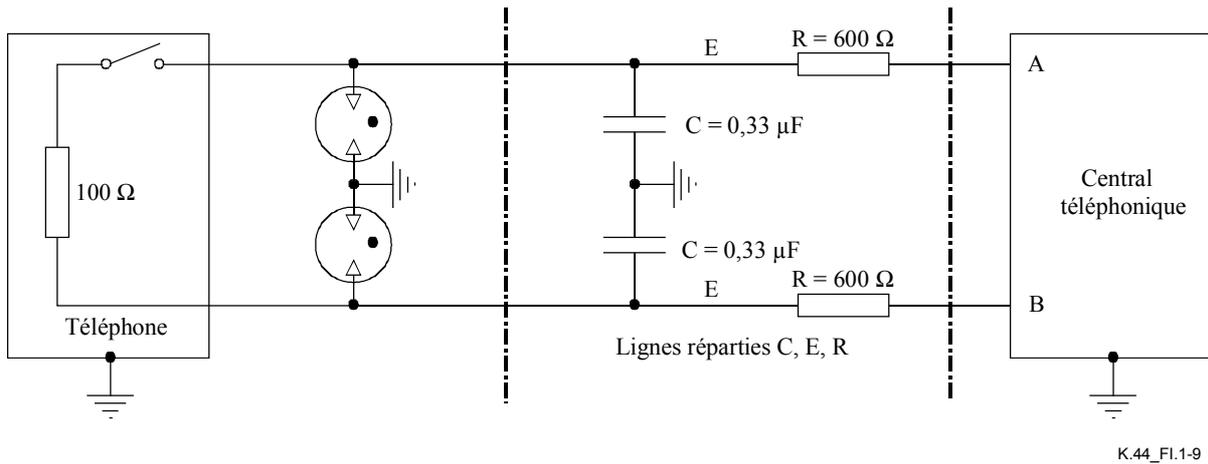
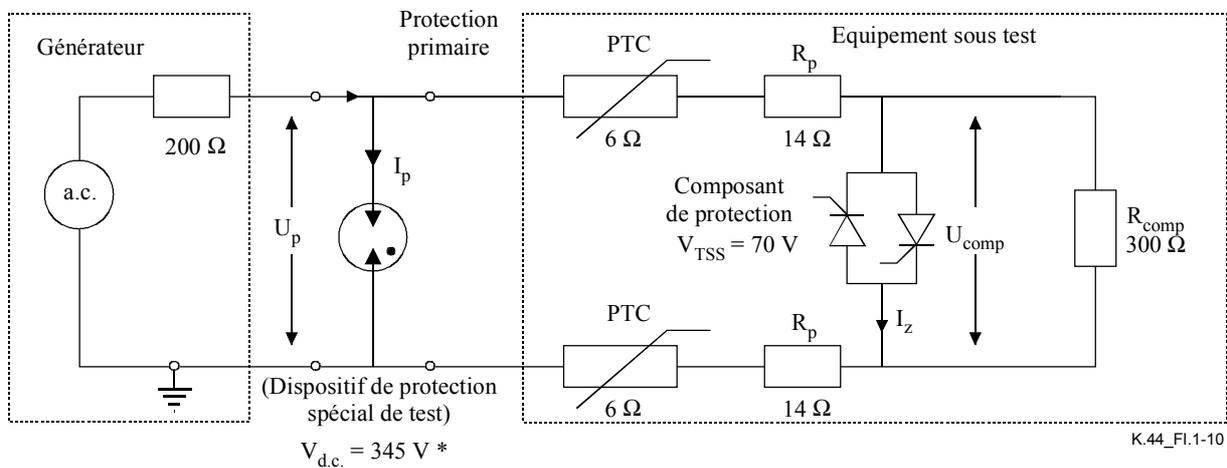


Figure I.1-9/K.44 – Circuit équivalent d'une ligne de télécommunication pendant une induction par les lignes électriques

Comme pour le test de surtension due à la foudre, il faut également prendre soin d'effectuer les tests d'induction par les lignes électriques en tenant compte de la nécessité de procéder à des niveaux de tension déterminés. La Figure I.1-10 donne un exemple de circuit de ligne utilisant une résistance à coefficient de température positif, ainsi qu'un dispositif de protection de type commutateur. Pendant les tests, les paramètres V_p , I_p , U_{comp} et I_z ont été observées afin de contrôler le fonctionnement des différents composants. Le fonctionnement interne de l'équipement a été surveillé afin d'aider les concepteurs et les personnes qui effectuent les tests à mieux comprendre les difficultés à résoudre pour procéder aux tests. Durant les tests d'homologation de type il n'est pas nécessaire de surveiller les paramètres internes de l'équipement.



* Dispositif de protection spécial de test pour protecteur primaire 230 V.

NOTE – En pratique, R_p peut varier entre 10 et 100 Ω tandis que R_{slic} peut également prendre des valeurs différentes

Figure I.1-10/K.44 – Exemple de circuit

Lorsqu'on augmente la tension de test, on constate que les dispositifs à commutation se déclenchent lorsque la tension atteint sa valeur de crête (voir Figure I.1-11). Une tension de générateur immédiatement inférieure à celle qui active la protection inhérente, dans le cas des dispositifs de

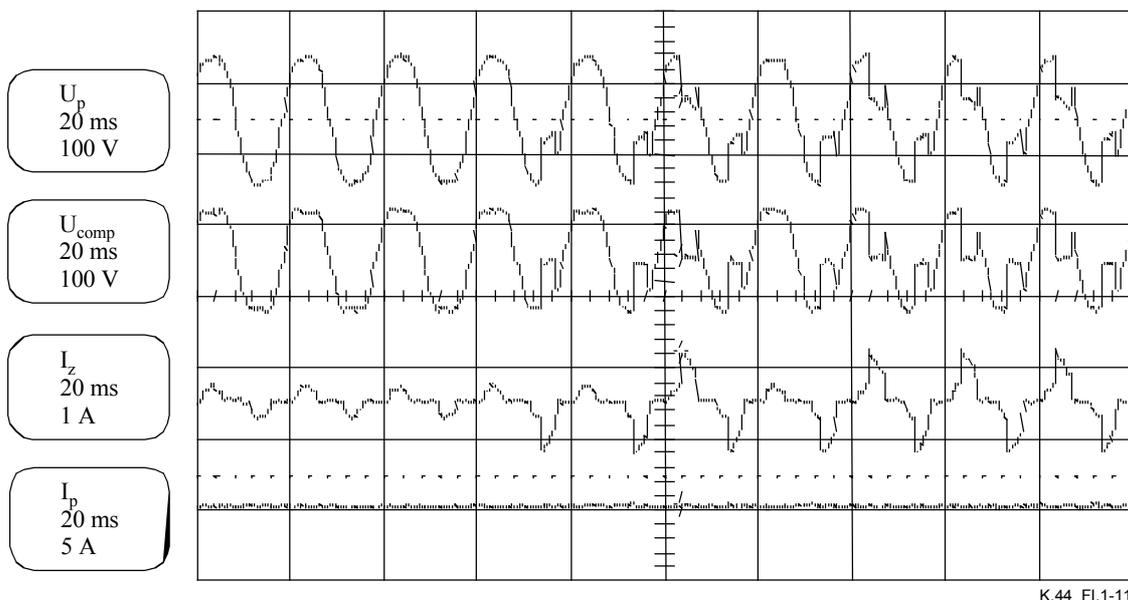
protection inhérente de type commutateur et de type "foldback", correspond à la sollicitation maximale en tension des composants à protéger. Il convient d'appliquer cinq surtensions, avec une tension de générateur fixée à une valeur immédiatement inférieure à celle qui active la protection inhérente. On notera que, dans le cas d'une protection inhérente de type à écrêtage, la sollicitation maximale en tension se produit généralement pour des tensions de générateur immédiatement inférieures à celle qui active la protection primaire, c'est-à-dire lorsque l'intensité maximale traverse le dispositif de protection inhérente. Dans ce cas, cinq surtensions doivent être appliquées avec une tension de générateur fixée à une valeur immédiatement inférieure à celle qui active la protection primaire.

Lorsqu'on continue à augmenter la tension, on observe que les dispositifs à commutation fonctionnent pendant toute la durée de test mais la résistance PTC ne bascule pas car elle ne chauffe pas assez (voir Figure I.1.12). Il convient d'appliquer cinq surtensions avec cette tension de générateur. Lorsqu'on continue à augmenter la tension $U_{a.c.}$, la résistance PTC fonctionne à la fin du test. Dans certains cas, il se peut que la valeur de $U_{a.c.}$ ne soit pas suffisamment élevée pour déclencher le fonctionnement du dispositif de protection spécial de test (voir Figure I.1-13). Il convient d'appliquer cinq surtensions avec cette tension de générateur.

Lorsqu'on continue à augmenter la tension $U_{a.c.}$, le dispositif de protection spécial de test se déclenchera (voir Figure I.1-14). Il convient d'appliquer cinq surtensions avec cette tension de générateur. Dans certains cas, la tension $U_{a.c.}$ nécessaire pour déclencher le fonctionnement de la résistance PTC sera suffisante pour déclencher le fonctionnement du dispositif de protection spécial de test. Dans ce cas, il faut appliquer cinq surtensions d'un niveau suffisant pour déclencher le fonctionnement de la résistance PTC, puis celui du dispositif de protection spécial de test, à la fin du test.

Il faut en outre appliquer cinq surtensions avec le générateur réglé sur la valeur $U_{a.c.(max)}$ puisqu'il s'agit du point de sollicitation maximale en intensité de la résistance PTC.

Dans tous les cas où la résistance PTC fonctionne, il pourra être nécessaire d'espacer les surtensions d'environ quinze minutes pour permettre le refroidissement de cette résistance.



K.44_FI.1-11

Figure I.1-11/K.44 – $U_{a.c.} = 127 V_{rms}$ (déclenchement du dispositif de protection inhérente à commutation)

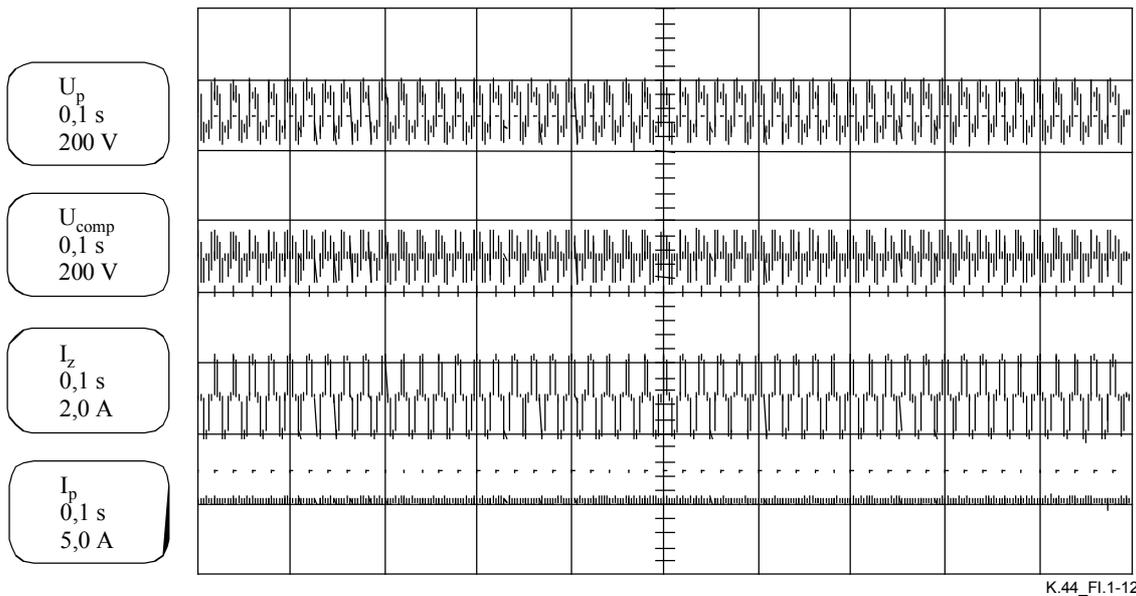


Figure I.1-12/K.44 – $U_{a.c.} = 200 V_{rms}$ (le dispositif de protection inhérent à commutation fonctionne mais pas la résistance PTC ne bascule pas)

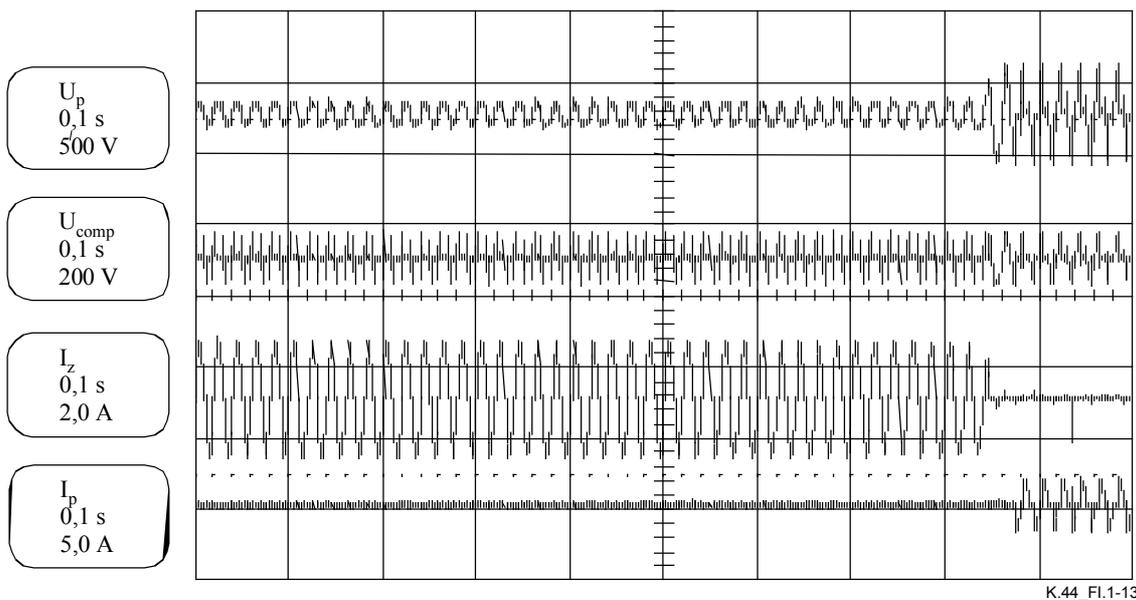


Figure I.1-13/K.44 – $U_{a.c.} = 220 V_{rms}$ (la résistance PTC fonctionne à la fin du test (2s), la tension est inférieure à la tension d'amorçage du dispositif de protection spécial de test)

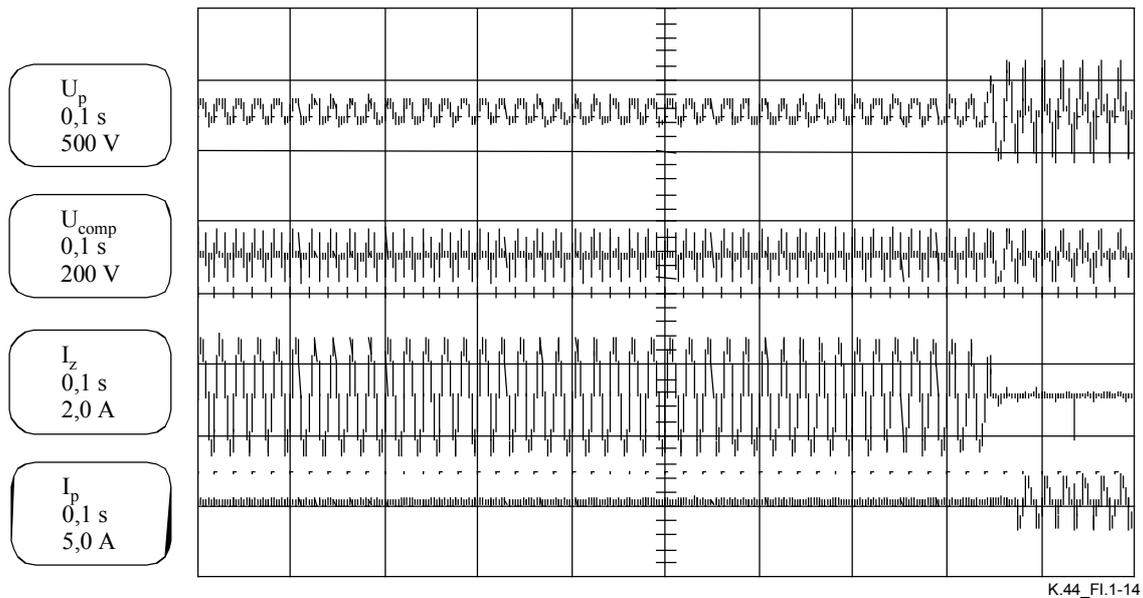


Figure I.1-14/K.44 – $U_{a.c.} = 280 V_{rms}$ (le dispositif de protection spécial de test fonctionne)

I.1.4 Contact avec des lignes électriques

Il peut se produire des surtensions dues à un contact avec des lignes électriques, dont l'amplitude peut atteindre la tension de secteur. La tension maximale nominale est de $240 V_{rms}$. La résistance mesurée entre la source et l'équipement est censée prendre une valeur comprise entre 10Ω et 1000Ω .

Il peut se produire un contact direct avec des lignes électriques, par exemple en cas de défaut des lignes ou du câble de réseau, lorsque l'équipement des locaux client est défectueux ou non homologué ou pour d'autres raisons. Il peut arriver que le contact ne fasse pas fonctionner le disjoncteur du réseau de distribution. Les courants alternatifs dus à un contact direct peuvent avoir pour effet de rendre difficile et coûteuse une protection efficace. Ces événements étant rares, on n'exige pas que l'équipement résiste à des surtensions ou à des surintensités résultant des contacts directs et l'on admet qu'il puisse y avoir des dommages limités à un niveau acceptable.

L'équipement peut être exposé aux dangers particuliers ci-après:

- contact à proximité de l'équipement, là où la résistance combinée du circuit du câble et de la terminaison de l'équipement est faible et où l'intensité du courant est élevée. Cette condition est simulée dans le test de la Figure I.1-15 par une résistance de 10Ω . Le courant de test peut être limité à des valeurs inférieures compte tenu des règlements nationaux;
- contact à la distance maximale de l'équipement, là où la résistance combinée du circuit du câble et de la terminaison de l'équipement est élevée et où un courant faible, mais préjudiciable, circule continuellement. Cette condition est simulée par une résistance de 1000Ω ;
- l'expérience montre en réalité que, avec des valeurs comprises entre 10 et 1000Ω , l'équipement est particulièrement susceptible d'être endommagé ou incendié par la surchauffe due au courant.

Le contact direct des lignes électriques se traduit généralement par une source de tension égale à la tension du secteur local. La résistance entre la source et la carte d'abonné est constituée de la résistance de ligne et de la résistance de contact du défaut. D'après les observations des conditions réelles, la situation la plus défavorable peut se produire dans un intervalle étroit de valeurs de cette

résistance. Les valeurs de test suivantes sont utilisées afin de garantir que les tests prennent en compte la situation la plus défavorable: 10 Ω , 20 Ω , 40 Ω , 80 Ω , 160 Ω , 300 Ω , 600 Ω et 1000 Ω .

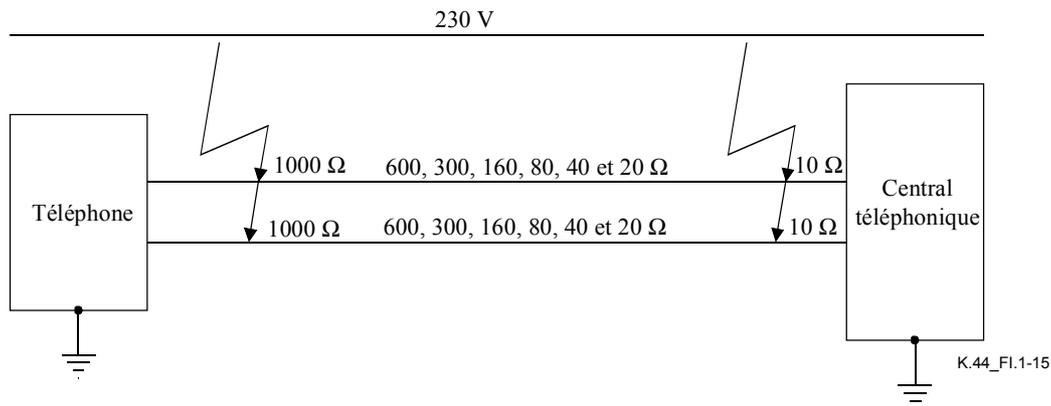


Figure I.1-15/K.44 – Phénomènes de contact des lignes électriques

A la suite d'un problème rencontré par British Telecom il a été convenu pour la présente période d'études d'utiliser ces huit valeurs de résistance pour les tests de contact de lignes électriques. Toutefois, puisque la durée de ce type de test est de 15 minutes, il a été convenu que l'utilisation des huit résistances s'avérait trop onéreuse et que le choix de valeurs intermédiaires devait être laissé à l'expérimentateur; il a également été question d'en réduire la durée, lorsque cela ne mettait pas en cause la qualité des résultats. Dans ce cas, il convient de définir certaines directives quant au choix des résistances et de la durée des tests.

On connaît en principe deux méthodes applicables aux tests de contact de lignes électriques; elles reposent sur l'utilisation soit d'un élément fusible, soit d'une résistance PTC, monté en série avec la ligne. Dans un cas comme dans l'autre, la situation la plus défavorable, du point de vue de l'intégrité du circuit, consiste à utiliser la résistance de test qui a pour effet de maximiser le transfert d'énergie dans le circuit. Cette valeur peut être choisie en essayant toutes les résistances et en déterminant l'énergie maximale au moyen d'un oscilloscope qui mesure la tension à l'entrée du circuit et le courant qui y circule, puis en intégrant dans le temps le produit de la tension par l'intensité.

- a) Un élément fusible ou une résistance sont conçus pour subir un échauffement et une rupture, empêchant ainsi le passage d'une intensité excessive dans l'équipement. Lorsqu'il faut réduire les tests au minimum, il convient d'utiliser la résistance de test qui provoque la dissipation d'énergie maximale dans le circuit. S'il est établi que la résistance ne se contractera pas et ne rétablira pas le circuit une fois refroidie, le test peut être arrêté dès qu'il y a interruption du courant.
- b) Une résistance PTC est conçue pour offrir une résistance élevée au passage d'un courant excessif. Pour ce type de dispositif, l'intensité la plus défavorable est celle obtenue avec la résistance la plus faible, c'est-à-dire l'intensité de crête maximale. Lorsque les tests doivent être réduits au minimum, il convient d'utiliser la résistance de test qui provoque la dissipation d'énergie maximale dans le circuit, ainsi que la résistance de 10 Ω .

En règle générale, dès qu'une résistance PTC a basculé, le courant est limité à de faibles valeurs et aucun changement n'est observé pendant le reste du test. Toutefois, dans certains cas, le claquage de la résistance PTC a seulement commencé à la fin du test, ce qui peut provoquer un échauffement excessif et le cas échéant, un incendie. Il y a également des cas dans lesquels la résistance PTC constitue un oscillateur à relaxation doté d'une constante de temps élevée. Toutefois, et lorsqu'il est établi qu'il n'y aura pas de défaillance de la

résistance pendant la durée du test ou qu'aucun autre dispositif de ce type n'en modifiera le résultat, le test peut être interrompu dès que le courant s'est stabilisé à une valeur propre à éviter une surchauffe.

Si la détermination de la résistance correspondant à la situation la plus défavorable s'avère impossible, le test doit porter sur toute la série de résistances.

I.1.5 Terminaisons et dispositifs de protection contre les surtensions sur les ports non soumis au test

La Figure A.2-1 donne les différents ports que peut présenter un équipement complexe.

Cet équipement est muni de ports externes et de ports internes, dont l'incidence sur le port soumis au test doit être étudiée. L'équipement sous test (EUT) peut être raccordé à un équipement associé dans le même bâtiment, par des câbles internes, ou à un équipement situé dans un autre bâtiment, par des câbles externes. Des dispositifs de protection contre les surtensions (SPD) peuvent être utilisés sur les deux types de ports, voir la Figure I.1-16.

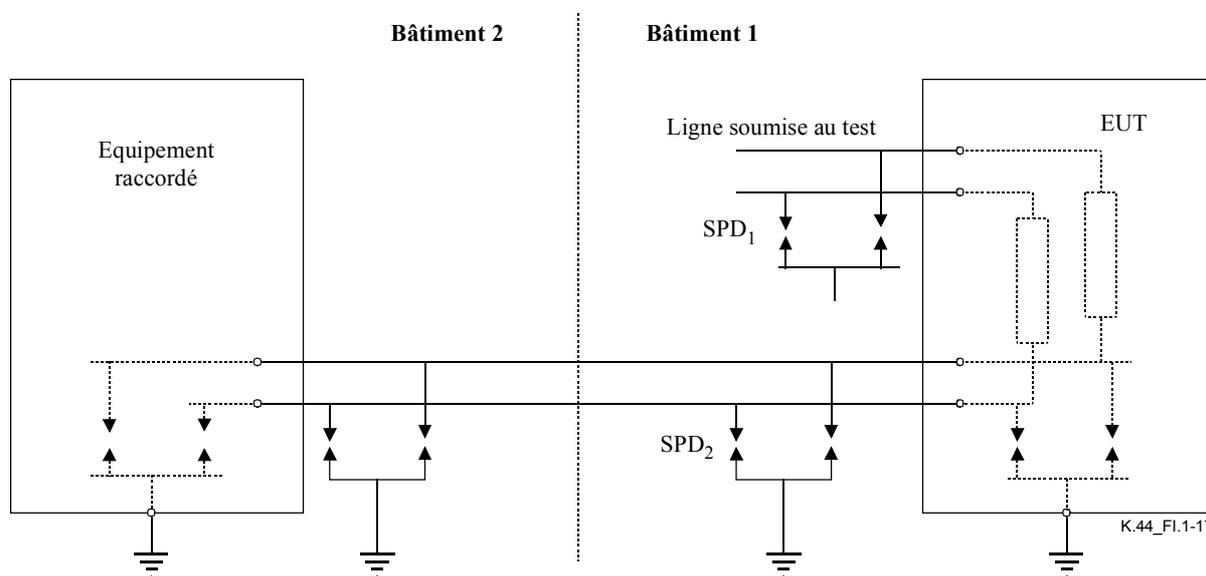


Figure I.1-16/K.44 – Terminaisons et dispositifs SPD raccordés à l'équipement

Pendant les tests, les ports devront d'une part être raccordés à un équipement associé ou encore à une impédance ou une résistance de terminaison ET d'autre part être successivement raccordés à la terre par un élément de couplage. Il est nécessaire de tenir compte des différences entre les ports externes et les ports internes. Les ports internes sont raccordés à un équipement dont la référence de terre est la même que celle de l'équipement sous test. Les ports externes sont quant à eux raccordés à un équipement avec une référence de terre différente, se trouvant par exemple dans un autre bâtiment. Autrement dit, le courant peut entrer par un certain port externe et sortir par un autre port externe.

Il faut prendre en considération les points suivants lors du raccordement de l'équipement à une terminaison ou de la mise à la terre d'un port:

- 1) lorsqu'il peut y avoir un trajet à basse impédance entre le port soumis au test et un port non soumis au test, le déclenchement en premier du dispositif de protection du port non soumis au test est une éventualité à envisager. A cet effet, le port soumis au test est équipé d'un dispositif de protection spécial de test, tandis que le port non soumis au test est muni d'un

dispositif de protection dont la tension continue d'amorçage correspond à la valeur minimale admise;

- 2) en présence de plusieurs types de port non soumis au test, il convient d'installer une terminaison ou d'ajouter un dispositif SPD sur un seul type de port à la fois. En effet un trajet à basse impédance vers un type déterminé de port non soumis au test risque d'empêcher le passage du courant vers un autre type de port non soumis au test;
- 3) lorsqu'un port est susceptible d'être raccordé en interne à un autre port, par exemple dans certaines conditions d'utilisation ou lors d'une défaillance d'alimentation, cet autre port doit être muni d'une terminaison et d'une protection lors de la réalisation de tests sur le premier port;
- 4) si l'équipement contient des composants de protection à forte capacité d'écoulement, ce qui supprime le besoin de protection primaire, il faut enlever le parafoudre à gaz installé sur le port soumis au test, et le remplacer par le dispositif de protection de test (voir § 8.2, § 8.3 et § 8.4) de façon à garantir que la coordination des mesures de protection est effective. Pendant les tests, le dispositif de protection intégré doit rester en place pour les ports non soumis au test. Si ce composant n'est pas amovible, tous les tests sont alors réalisés avec la protection prévue et le constructeur devra fournir un rapport indiquant que les tests de protection inhérente et de coordination ont été réalisés avec le dispositif de protection spécial de test au cours des tests de qualification;
- 5) il est parfois nécessaire de réaliser les tests en utilisant les quatre combinaisons suivantes de terminaison et de mise à la terre des ports non soumis au test:
 - a) absence de terminaison et de mise à la terre;
 - b) absence de terminaison et mise à la terre du port;
 - c) absence de mise à la terre et ajout d'une terminaison;
 - d) mise à la terre et ajout d'une terminaison.

Pour les tests entre deux ports, il faut envisager, comme deuxième port:

- 1) d'autres conducteurs/paires du type de port soumis au test;
- 2) des conducteurs/paires d'autres types de port.

I.2 Gamme de niveaux de test de choc de foudre et d'induction par les lignes électriques

I.2.1 Choc de foudre

I.2.1.1 Niveaux de test de la protection inhérente

Les Recommandations de produit pourraient utiliser pour les tests d'immunité inhérente des tensions de 1,0 kV à 5,0 kV. Traditionnellement une tension de test de 1,0 kV était utilisée dans le cas des grands bâtiments de télécommunication. En effet la plupart des surtensions sont inférieures à 1,0 kV et, s'il y a lieu, l'installation de dispositif de protection primaire fiable sur les répartiteurs principaux s'avère relativement simple. Un niveau pouvant atteindre 5,0 kV pourrait être envisagé dans le cas d'équipements des locaux client, dans la mesure où ils se trouvent dans un environnement nettement moins contrôlé, tandis que l'installation de parafoudres à gaz est beaucoup plus difficile.

I.2.1.2 Niveaux de test de coordination

Le niveau de test maximal relatif aux spécifications de coordination était jusqu'à présent de 4,0 kV. Toutefois, des mesures effectuées récemment ont démontré la possibilité de surtensions supérieures à 7,0 kV. Un niveau de test facultatif pouvant atteindre 10,0 kV est admis. Le niveau de test plus

élevé se caractérise par une plus forte valeur du rapport dU/dt . Il en résulte une tension d'amorçage plus élevée du dispositif de protection primaire et des courants de charge capacitive plus élevés dans l'équipement.

I.2.2 Niveau de test d'induction par les lignes électriques

I.2.2.1 Niveaux de test de protection inhérente

Jusqu'à présent, le niveau de test de protection inhérente a été fixé à $0,2 A^2s$ pour les équipements placés dans les centres de télécommunication et les équipements des locaux client. Avec la libéralisation des locaux client, l'utilisation d'une protection primaire est moins certaine et le niveau de test de la protection inhérente est susceptible d'être relevé dans le cas des équipements des locaux client (par exemple, $1,0 A^2s$).

I.2.2.2 Niveaux de test de protection inhérente/de coordination

Jusqu'à présent, le niveau de test avec protection primaire installée était fixé à $1,0 A^2s$. Un niveau de test renforcé de $10 A^2s$ a été introduit pour tenir compte de l'existence dans certains pays de niveaux plus élevés de courants induits par les lignes électriques, de l'intensité maximale des courants induits dans des lignes courtes (200Ω) ou de la nécessité d'une qualité de service élevée en raison de l'évolution des prescriptions réglementaires.

Par ailleurs, le choix d'une autre méthode de spécification des prescriptions concernant l'équipement peut s'avérer nécessaire. La Rec. UIT-T K.20 (1996) spécifiait une valeur $U_{c(max)}$ de $600 V$ dans une résistance de 600Ω , pendant une seconde. D'après des mesures réalisées, le courant de défaut circule pendant 0 à $3,2$ secondes, et l'intensité qui traverse un circuit de télécommunication peut varier de 0 à $9 A_{rms}$, voir Figure I.1-8. Des tests effectués sur une résistance ont montré que sa capacité de dissipation d'énergie spécifique diminue lorsque le courant augmente, pour une même valeur de l'énergie spécifique. Il faut donc réaliser le test de protection inhérente/coordination au niveau maximal d'intensité observé.

I.3 Relation entre la Rec. UIT-T K.44 et les autres Recommandations de produit ou de famille de produits

La Rec. UIT-T K.20 concerne les équipements installés dans un centre de télécommunication. La présence d'un système approprié de mise à la terre et d'une structure métallique décrite dans la Rec. UIT-T K.27 crée des conditions environnementales dans lesquelles les équipements ne sont pas très exposés aux surcharges. Toutefois, en raison du nombre important de câbles de télécommunication, l'intensité totale qui pénètre dans le bâtiment est importante.

La Rec. UIT-T K.21 concerne les équipements installés dans des locaux client, lorsque la qualité du système de mise à la terre et du réseau d'équipotentialité n'est pas suffisante. La résistance de terre risque d'être élevée et dans certains cas, le système de mise à la terre est inexistant.

La Rec. UIT-T K.45 se rapporte aux équipements installés entre le centre de télécommunication et le bâtiment des locaux client. La qualité du système de mise à la terre est inférieure à celle d'un centre de télécommunication, mais le système est contrôlé par l'exploitant. Le fait que la petite dimension de cette structure permette une équipotentialité idéale présente certains avantages.

La Figure I.3-1 montre quelle Recommandation appliquer en fonction de l'emplacement de l'équipement. S'il est utilisé à plusieurs endroits, l'équipement doit être testé conformément aux différentes Recommandations pertinentes.

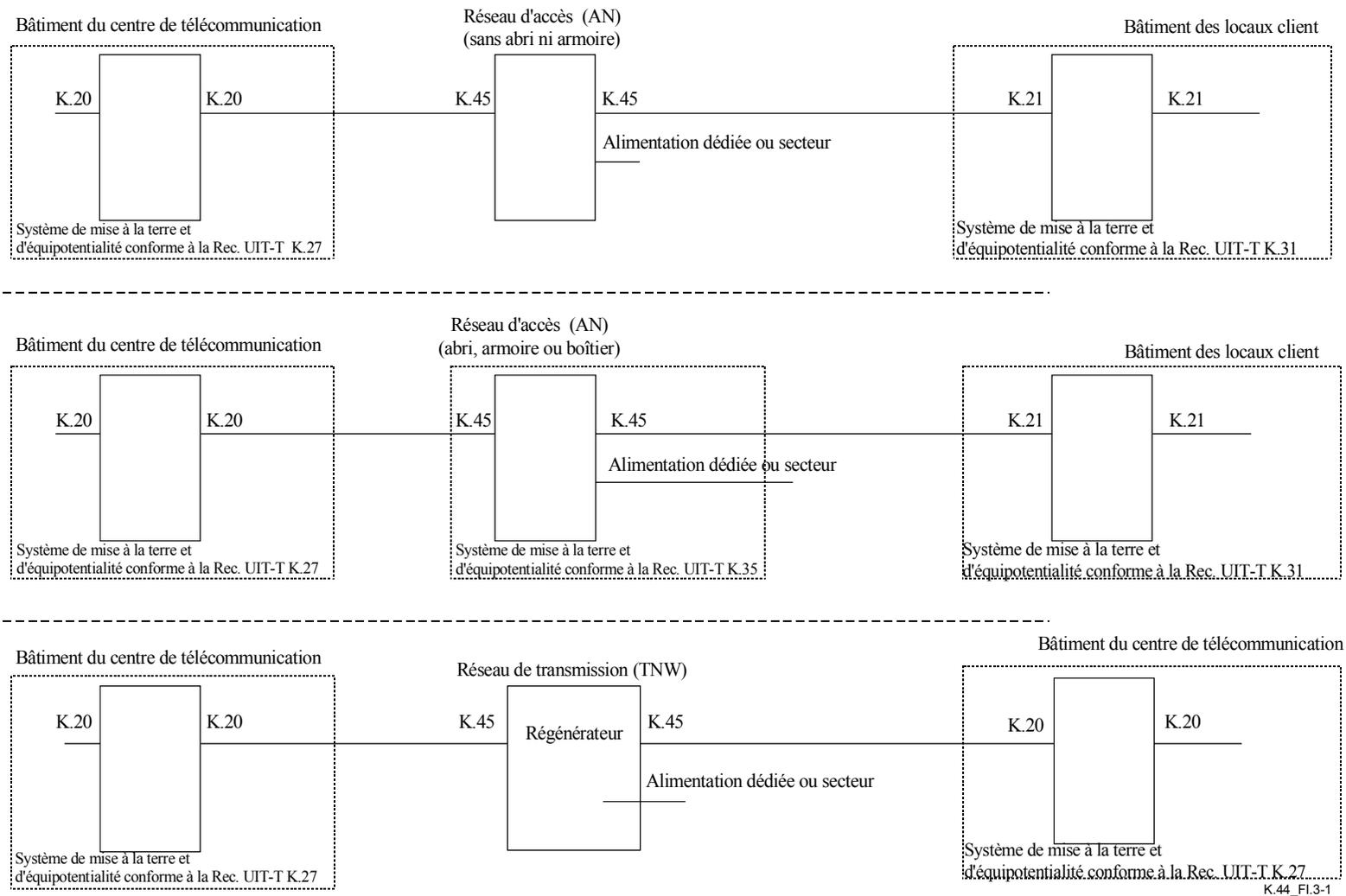


Figure I.3-1/K.44 – Exemple de configuration d'un réseau de télécommunication indiquant la délimitation du centre de télécommunication, du réseau d'accès/de transmission et des locaux client

Appendice II

Indications complémentaires à l'attention des constructeurs et des exploitants

II.1 Introduction

L'UIT-T poursuit l'étude des indications suivantes. Le présent appendice vise à informer les constructeurs et les exploitants ainsi qu'à favoriser l'étude de ces questions.

II.2 Coordination de la protection primaire

La Rec. UIT-T K.11 décrit les effets du fonctionnement de la protection primaire. Pour s'assurer de la coordination entre les composants de protection et l'équipement, il est nécessaire de vérifier que:

- 1) l'équipement ne sera pas endommagé par des tensions correspondant à la situation la plus défavorable susceptibles d'apparaître entre les bornes d'entrée, ainsi qu'entre une borne d'entrée et la terre de référence de l'équipement;
- 2) l'équipement ne sera pas endommagé ou perturbé par le fonctionnement du dispositif de protection primaire dans tout l'intervalle de variation des surtensions.

Le fonctionnement du dispositif de protection primaire de type commutateur a deux effets:

- il limite la tension maximale appliquée à l'équipement et donc l'intensité maximale à laquelle l'équipement doit résister, selon son impédance interne;
- il crée une variation très rapide de la tension et de l'intensité, se traduisant par des phénomènes inductifs ou capacitifs susceptibles d'atteindre des éléments sensibles de l'équipement, qui ne sont apparemment pas exposés aux tensions présentes sur la ligne.

II.2.1 La protection primaire ne fonctionne pas

Aux surtensions pour lesquelles la protection primaire n'est pas activée, il convient de vérifier l'intensité des courants susceptibles de passer par le câblage interne. Les fortes intensités qui circulent dans le câblage interne peuvent perturber d'autres équipements. La Rec. UIT-T K.27 décrit le système de mise à la terre et d'équipotentialité à l'intérieur d'un bâtiment de télécommunication, tandis que la Rec. UIT-T K.11 traite de la coordination avec les dispositifs de protection électrique.

II.2.2 La protection primaire fonctionne

La simulation des surtensions dues à la foudre exige que l'on tienne compte particulièrement des éléments suivants:

- variation éventuelle de la tension d'amorçage des parafoudres à gaz en fonction de la vitesse de montée en tension;
- différences de potentiel apparues entre le bâti de protection et un câble de mise à la terre en raison de l'intensité du courant;
- la rapidité de l'augmentation de la tension (dU/dt), due au fonctionnement du parafoudre à gaz, qui peut endommager des composants vulnérables ou provoquer un défaut de fonctionnement (verrouillage de l'équipement ou altération des données mises en mémoire).

La vérification de la coordination avec la protection primaire, doit soigneusement tenir compte des principes de fonctionnement du parafoudre à gaz. Premièrement, la tension d'amorçage du parafoudre à gaz, avec une onde de forme 10/700 μ s, telle qu'indiquée à la Figure I.1-4, dépasse généralement la tension continue d'amorçage, mais s'avère généralement inférieure à la valeur

de 1 kV/ μ s. Deuxièmement, la tension continue d'amorçage, et donc la forme d'onde de tension d'amorçage 10/700 μ s, peut varier fortement pour le même type de dispositif de protection. Par exemple, des variations de 180 V à 300 V (Rec. UIT-T K.12) sont admises pour la tension continue d'amorçage d'un parafoudre à gaz à 230 V de tension nominale.

Pour ces différentes raisons, le contrôle de la coordination avec la protection primaire s'effectue en remplaçant le dispositif de protection primaire agréée par un dispositif de protection de test spécial. La tension continue d'amorçage de ce dernier peut être égale à 1,15 fois la tension continue d'amorçage maximale spécifiée du dispositif de protection primaire agréée. La tolérance concernant la tension d'amorçage est de $\pm 5\%$. Dans le cas d'un dispositif de protection primaire à 230 V, la tension d'amorçage du dispositif de protection de test spécial est de 345 V ± 17 V. Celui-ci est utilisé pour les tests de choc de foudre, de tension induite par les lignes électriques et de contact de lignes électriques. Sa caractéristique doit être identique à celle du dispositif de protection primaire agréée.

II.2.3 Principes de coordination

Aux termes de la Rec. UIT-T K.11:

- il n'existe aucun dispositif dont les caractéristiques soient telles qu'il supprime théoriquement toutes les tensions ou intensités associées aux perturbations;
- il faut parfois utiliser plusieurs dispositifs de protection.

En règle générale, les dispositifs à courant de coupure élevée fonctionnent lentement et laissent subsister une tension résiduelle. Les dispositifs rapides à semi-conducteurs fonctionnent suffisamment vite, mais acceptent seulement des quantités d'énergie inférieures par comparaison aux dispositifs à courant de coupure élevée. Il est donc nécessaire d'installer un circuit à étages afin de réduire progressivement l'énergie produite par la surtension, jusqu'à un niveau qui n'est pas préjudiciable pour l'équipement. Ce type de protection constitue une protection multiétages.

La Figure II.2-1a illustre le principe de fonctionnement de la protection au moyen d'un circuit à étages.

Un dispositif de protection primaire est installé en périphérie, par exemple au niveau d'un répartiteur principal extérieur à l'équipement sous test. La fraction la plus destructrice de l'énergie produite est détournée vers le sol en ce point. Un dispositif de protection inhérente à l'intérieur de l'équipement sous test détourne l'énergie résiduelle du dispositif de protection primaire. On peut également prévoir un troisième dispositif de protection, à l'intérieur de l'équipement sous test, intégré à la boîte noire.

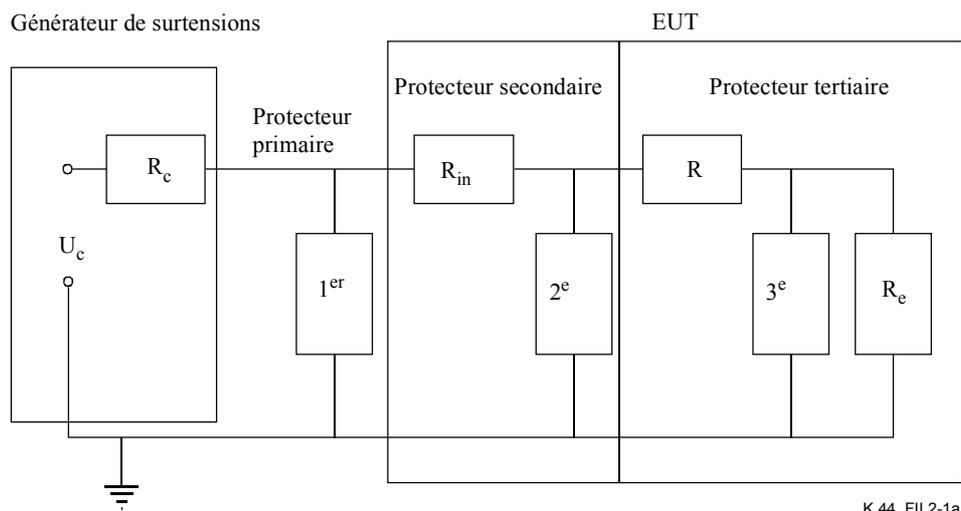
Il importe de prévoir une résistance entre les dispositifs de protection, de façon à ne pas les relier directement les uns aux autres, et de telle sorte que le circuit présente l'aspect d'une échelle. Compte tenu de la coordination requise entre les dispositifs de protection primaire et inhérente, il convient de prévoir une résistance R_{in} ; celle-ci est virtuellement identique à la résistance d'entrée de l'équipement sous test, dès lors que le dispositif de protection inhérente – par exemple un dispositif de type PNP ou une diode – est activé et relie R_{in} à la terre. La Figure II.2-1b représente le circuit équivalent lorsque la protection inhérente est activée. En l'absence de résistance entre le dispositif de protection primaire et la protection inhérente, le seul dispositif activé sera celui dont la tension de fonctionnement est la plus faible. Dans ce cas, le dispositif de protection inhérente est le seul à fonctionner et empêche le protecteur primaire de se déclencher: il n'y a donc pas de coordination. La présence de R_{in} est nécessaire pour provoquer aux bornes du protecteur primaire une augmentation de tension suffisante pour l'activer.

La difficulté vient du fait que le dispositif de protection inhérente se déclenche généralement à une tension inférieure à celle du protecteur primaire au niveau du répartiteur principal. Dans un premier temps, le courant pénètre dans la boîte noire et produit une tension aux bornes du dispositif de protection inhérente, lequel est alors activé. Ensuite le courant qui passe par la résistance R_{in} et par le dispositif de protection inhérente crée la tension observée aux bornes du protecteur primaire.

Le dispositif de protection inhérente a donc une fonction essentielle et non accessoire, puisqu'il se déclenche généralement avant le protecteur primaire et protège les composants suivants. La chute de tension aux bornes de la résistance de coordination, due au passage du courant dans le dispositif de protection inhérente, active alors le protecteur primaire qui détourne vers le sol la plus grande partie de l'énergie produite par la surtension.

Dans le cas d'un circuit traditionnel utilisant un gros transformateur ou une bobine à l'intérieur de l'équipement sous test, l'absence de tout dispositif de protection inhérente est possible. La somme des deux résistances $R_{in} + R_e$ est suffisamment élevée pour que le dispositif de protection primaire se déclenche avant qu'une intensité excessive ne pénètre l'équipement sous test. La Figure II.2-1c représente un circuit équivalent de ce type.

En présence d'un dispositif de protection inhérente, par exemple un dispositif SPD à semi-conducteurs installé dans l'équipement sous test, celui-ci se déclenche généralement plus vite que le dispositif de protection primaire installé au niveau du répartiteur principal. S'il n'y a pas de résistance entre les dispositifs de protection primaire et inhérente, le déclenchement de ce dernier perturbe le fonctionnement du protecteur primaire. On obtient une coordination des dispositifs de protection lorsque ces derniers sont séparés par une résistance suffisante, de telle sorte que la chute de tension aux bornes de la résistance permette à la protection primaire de fonctionner correctement. Grâce à une conception adéquate de la coordination, l'équipement sous test peut être soumis à la tension de test maximale sans risque de dommage. Au-dessus du niveau de test maximal, le protecteur primaire doit se déclencher par les surtensions dues à la foudre.



K.44_FII.2-1a

Figure II.2-1a/K.44 – Principe de protection en étapes

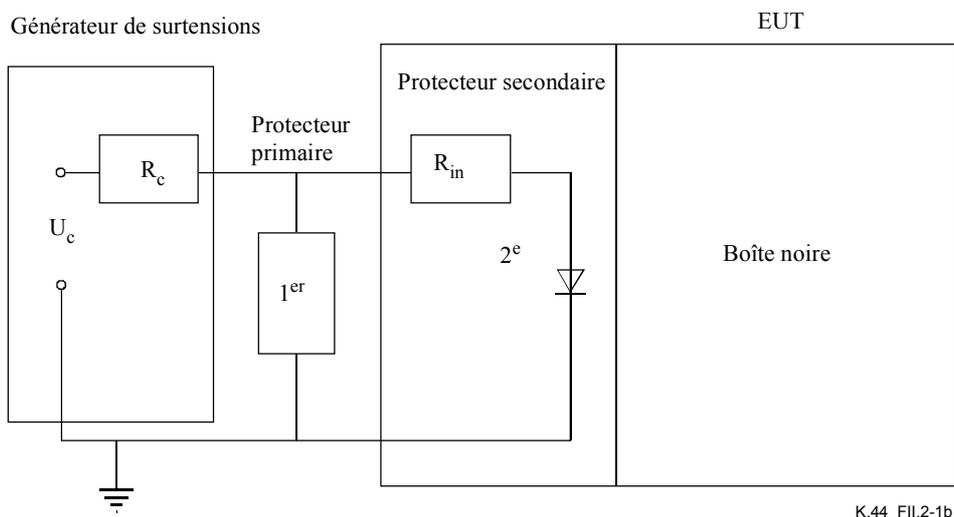


Figure II.2-1b/K.44 – Circuit équivalent après activation de la protection secondaire

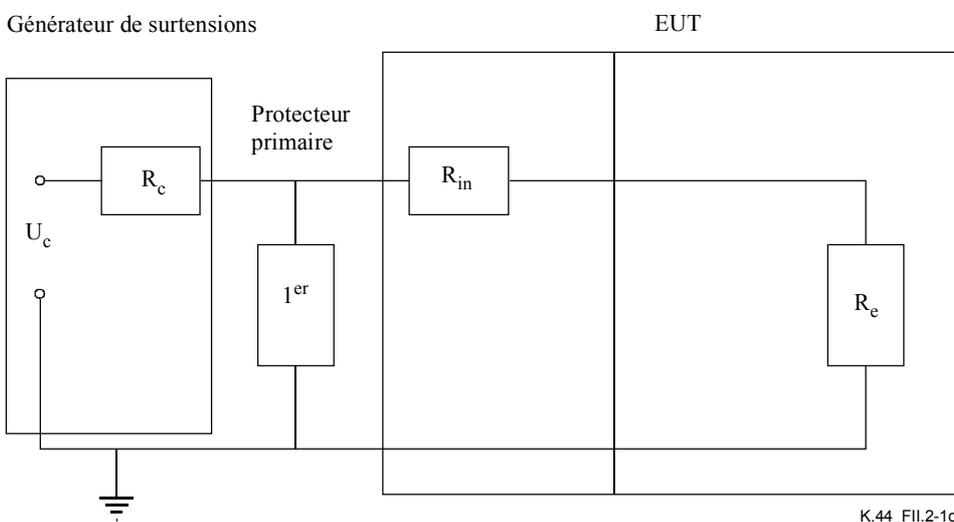


Figure II.2-1c/K.44 – Circuits robustes sans protection secondaire

II.2.4 Tests de coordination de dispositifs SPD à commutation et à écrêtage

La publication TS 61312-3 de la CEI contient des informations sur la théorie de la coordination. On indique ci-après les tests particuliers qu'il faut réaliser pour vérifier la coordination.

Il existe quatre combinaisons de dispositifs SPD, représentées sur la Figure II.2-2.

Figure II.2-2a: concernant la coordination des dispositifs SPD de la Figure II.2-2a, il faut réaliser les tests suivants:

- 1) tension U_c telle que la forme d'onde soit juste au-dessous de la tension d'amorçage de la protection primaire (énergie maximale dans la protection inhérente);
- 2) tension U_c mise à $U_{c(max)}$ (dV/dt correspondant au cas le plus défavorable et intensité de crête maximale dans la protection inhérente).

Figure II.2-2b: concernant la coordination des dispositifs SPD de la Figure II.2-2b, il faut réaliser les tests suivants:

- 1) tension U_c telle que la forme d'onde soit juste au-dessous de la tension d'amorçage de la protection inhérente (énergie maximale dans la partie électronique);

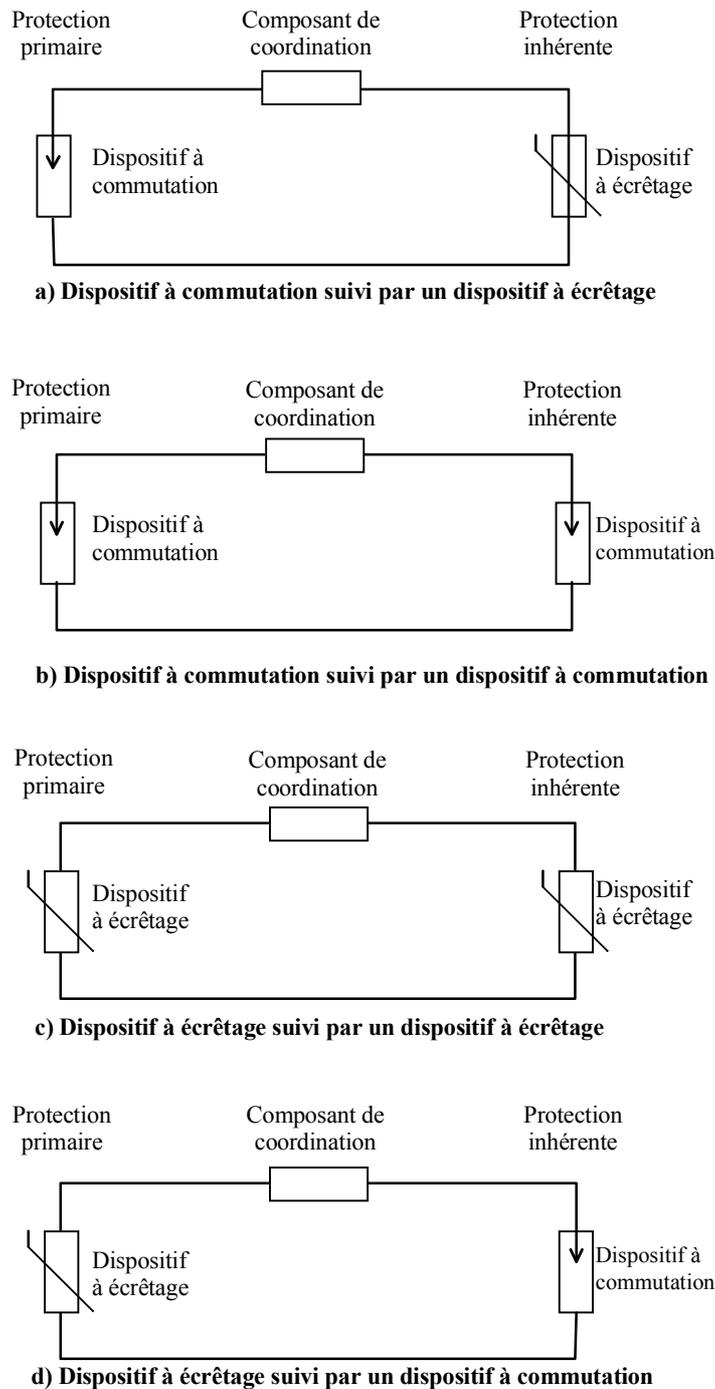
- 2) tension U_c telle que la forme d'onde soit juste au-dessous de la tension d'amorçage de la protection primaire (énergie maximale dans la protection inhérente);
- 3) tension U_c mise à $U_{c(max)}$ (dV/dt correspondant au cas le plus défavorable et intensité de crête maximale dans la protection inhérente).

Figure II.2-2c: concernant la coordination des dispositifs SPD de la Figure II.2-2c, il faut réaliser les tests suivants:

- 1) tension U_c mise à $U_{c(max)}$ (dV/dt correspondant au cas le plus défavorable et intensité de crête maximale dans la protection inhérente).

Figure II.2-2d: concernant la coordination des dispositifs SPD de la Figure II.2-2d, il faut réaliser les tests suivants:

- 1) tension U_c telle que la forme d'onde soit juste au-dessous de la tension d'amorçage de la protection inhérente (énergie maximale dans la partie électronique);
- 2) tension U_c mise à $U_{c(max)}$ (dV/dt correspondant au cas le plus défavorable et intensité de crête maximale dans la protection inhérente).



K.44_FII.2-2

Figure II.2-2/K.44 – Combinaisons de dispositifs SPD

II.3 Tension au niveau du répartiteur principal appliquée à l'entrée de l'équipement

II.3.1 Généralités

La tension d'amorçage d'un parafoudre à gaz dépend du rapport dU/dt . Si R_p est connu, la simulation SPICE d'un signal transitoire permet de calculer le rapport dU/dt de la tension U_{si} . Les données concernant la tension d'amorçage en fonction de dU/dt contenues dans la fiche technique du parafoudre à gaz permettent de simuler la valeur réelle de la tension d'amorçage dans chaque situation. La Figure II.3-3 donne les résultats de la simulation pour une longueur d'un m de câble, entre le parafoudre à gaz et l'équipement, et pour une longueur d'un m de câble de mise à la terre du répartiteur. On constate que le parafoudre à gaz fonctionne à une tension plus élevée en un laps de

temps plus court lorsque U_c est élevé. Si U_c est faible, le parafoudre à gaz se déclenche à une tension plus basse et au bout d'un laps de temps plus long.

La Figure II.3-4 représente les résultats d'une simulation identique, mais avec 10 m de câble entre le parafoudre à gaz et l'équipement, et 10 m de câble de mise à la terre. Les inductances respectives de ces deux longueurs de câble sont d'environ 10 μH . L'inductance totale résultante de 20 μH peut constituer un filtre passe-bas efficace pour la tension résiduelle rapide créée par le fonctionnement du parafoudre à gaz. Le câble du répartiteur supprime la surtension rapide créée par le déclenchement du parafoudre à gaz. Cette simulation met en évidence la nécessité d'utiliser un câble de test court entre le générateur de surtensions et l'équipement sous test, par exemple de moins de 2 m.

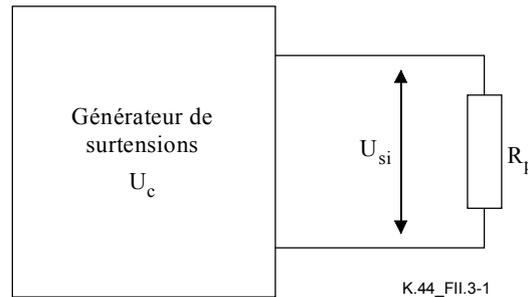


Figure II.3-1/K.44 – Modèle pour calculer le rapport dU/dt de la tension U_{si}

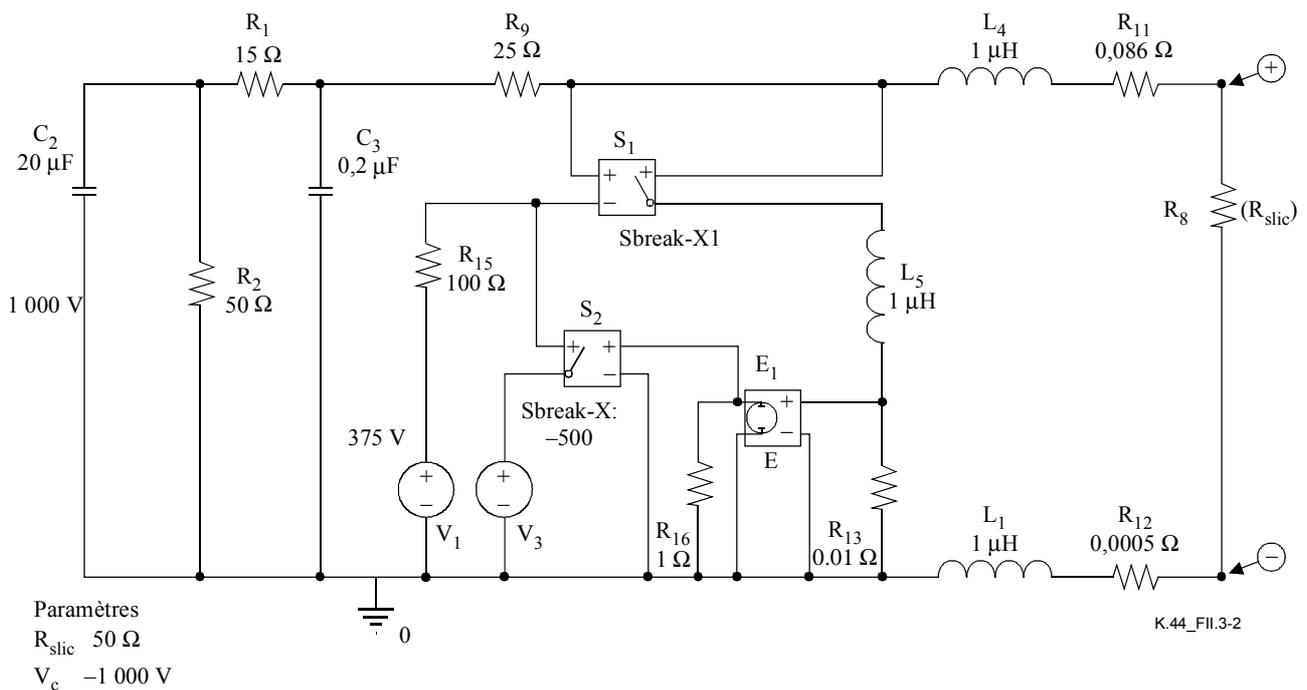


Figure II.3-2/K.44 – Modèle SPICE utilisé pour calculer la réduction de la tension à l'entrée de l'équipement due à l'impédance du câble du répartiteur principal

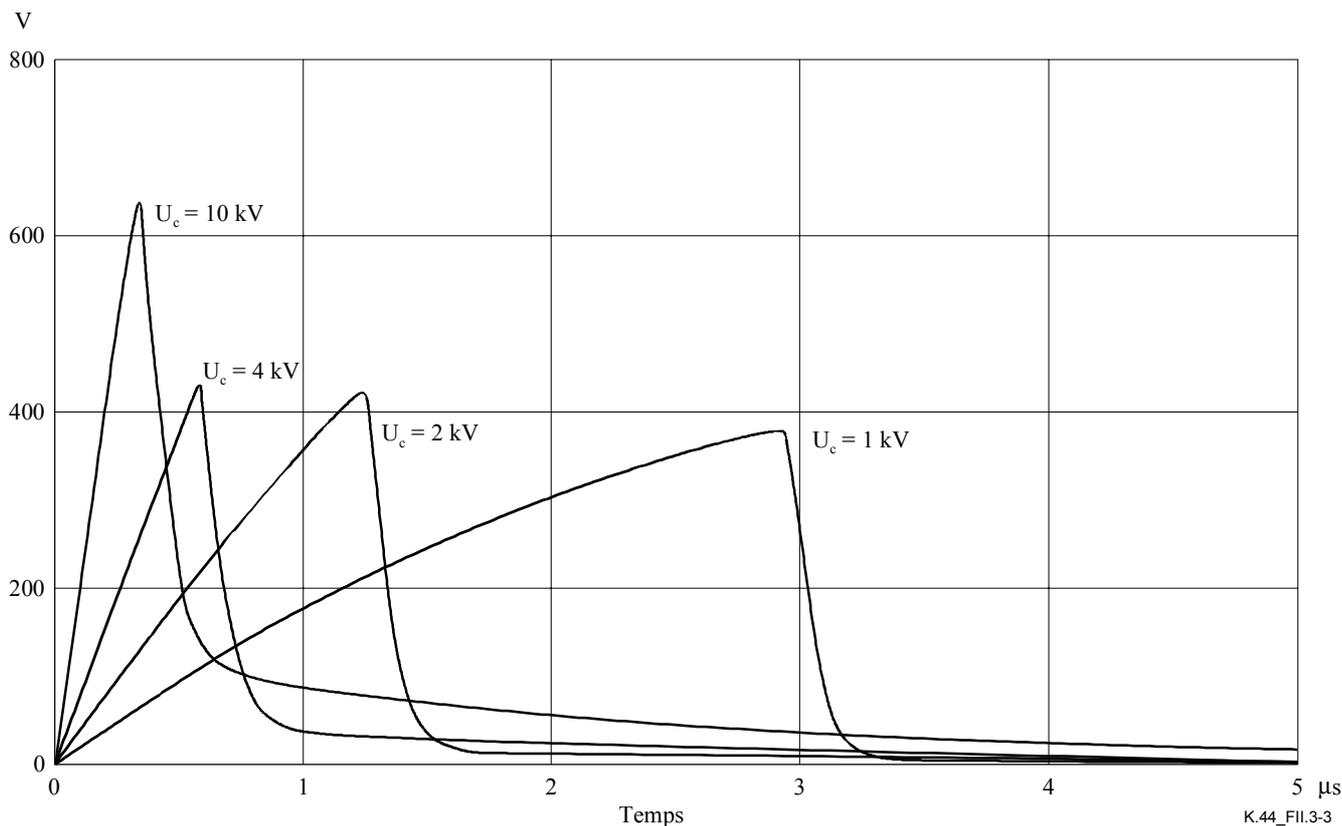


Figure II.3-3/K.44 – Câble du répartiteur principal de 1 m de long

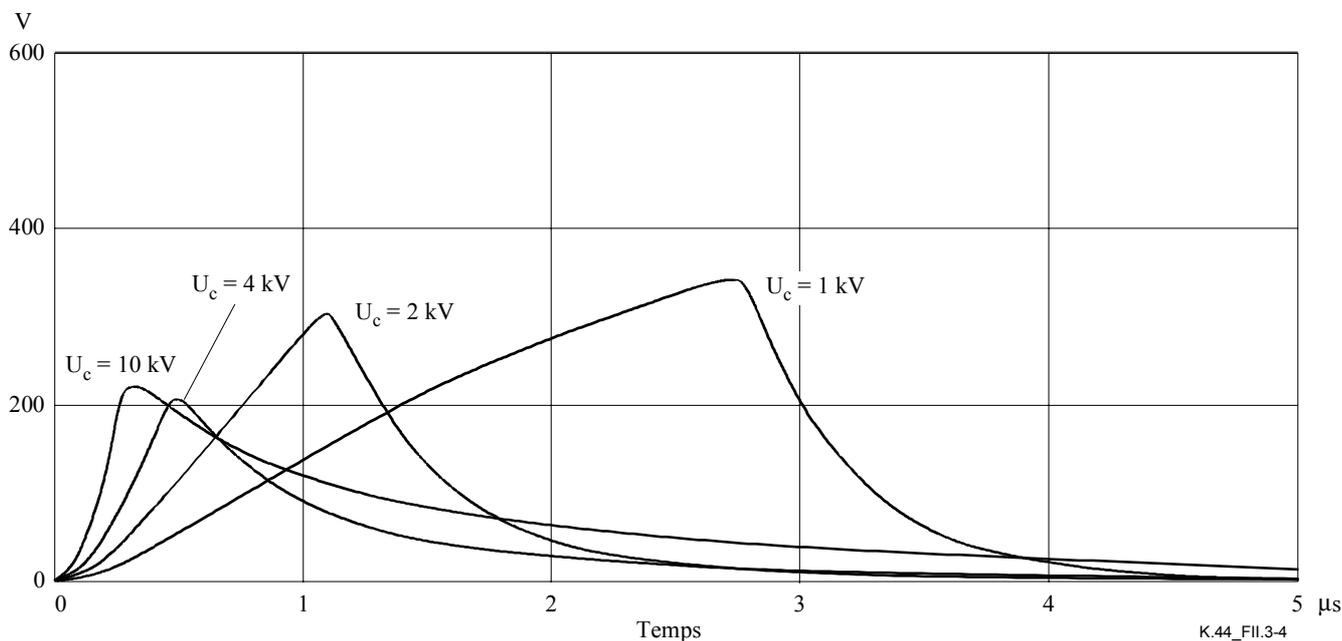


Figure II.3-4/K.44 – Câble du répartiteur principal de 10 m de long

II.3.2 Chute de tension dans le câble de mise à la terre du répartiteur principal

L'inductance de la portion de câble issue du répartiteur principal, comprise entre le protecteur primaire et l'équipement sous test, a un effet bénéfique en ce qui concerne les surtensions rapides, alors que l'inductance du câble de mise à la terre du répartiteur principal a un effet inverse. Il en est

particulièrement ainsi si l'on tient compte du fait que le courant issu de tous les parafoudres à gaz qui se sont déclenchés passe dans le câble de mise à la terre du répartiteur principal. L'inductance est fonction de la longueur du câble, mais ne varie pas beaucoup si l'on en modifie le diamètre. Puisque le câble de mise à la terre du répartiteur principal ne peut avoir une longueur nulle, il y a toujours une inductance. La chute de tension créée par le câble de mise à la terre du répartiteur est due à la surintensité consécutive au déclenchement du parafoudre à gaz. La chute de tension du câble de mise à la terre du répartiteur apparaît à l'entrée de l'équipement, de telle sorte qu'il faut installer une configuration équipotentielle dont l'inductance et la résistance seront réduites au minimum. La Figure II.3-5 va permettre de localiser l'inductance du câble de mise à la terre du répartiteur principal.

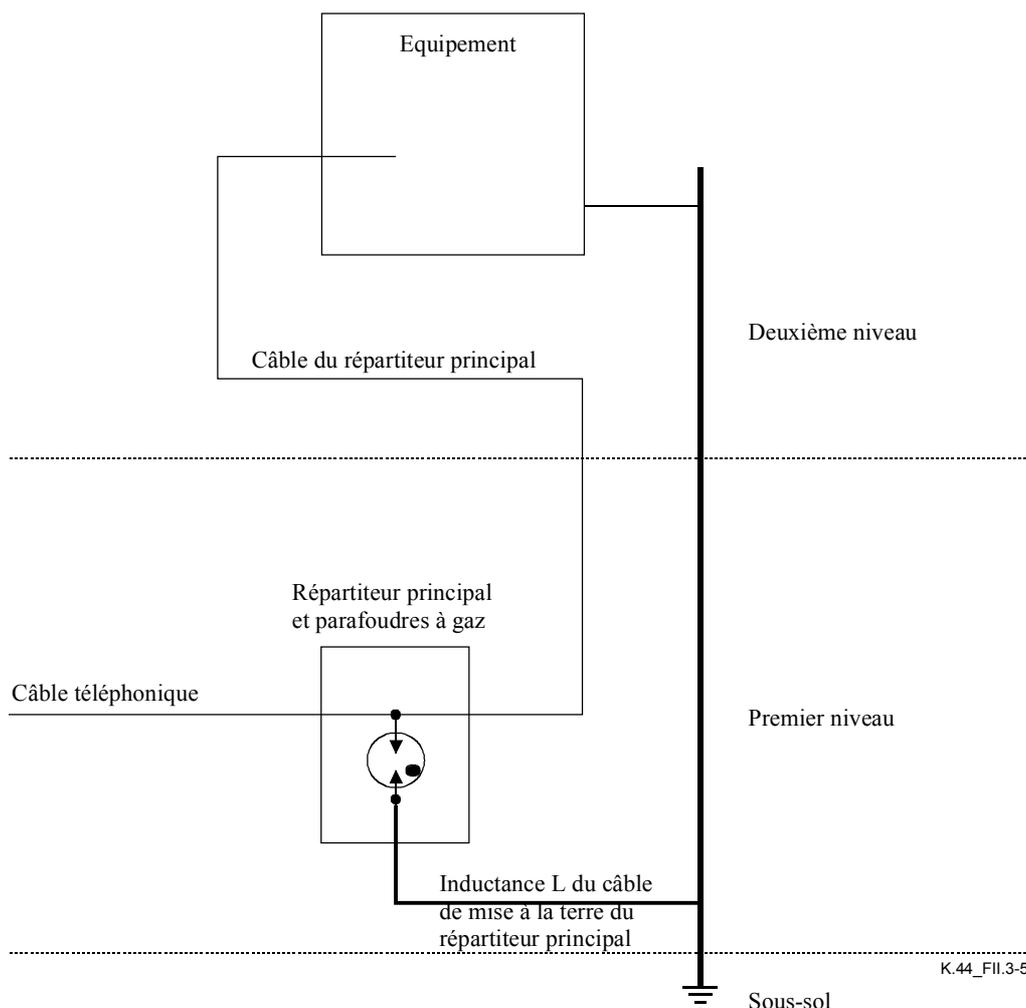


Figure II.3-5/K.44 – Inductance du câble de mise à la terre du répartiteur principal

Lorsque le câble de mise à la terre du répartiteur principal a une longueur importante, tel qu'indiqué à la Figure II.3-5, il convient d'installer une configuration à connexions multiples ou maillée.

Les câbles multiples qui ne sont pas connectés ensemble, mais séparément, réduiront l'inductance dans une proportion de $1/N$ si N est le nombre de câbles. Voir Figure II.3-6.

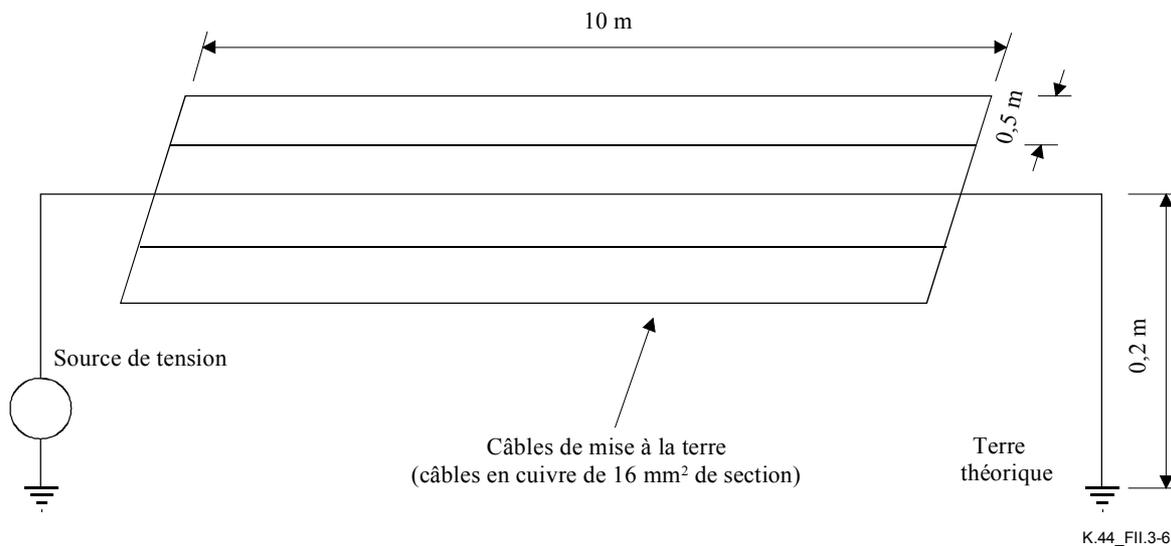


Figure II.3-6/K.44 – Utilisation de câbles multiples de mise à la terre afin de réduire l'impédance

Le Tableau II.3-1 indique les inductances calculées sur la base de la simulation ACCUFIELD.

Tableau II.3-1/K.44 – Inductance en fonction du nombre de conducteurs

N (nombre de conducteurs)	Inductance totale
1	10,89 μ H
2	6,16 μ H
3	4,39 μ H
5	3,05 μ H

II.3.3 Test de chute de tension de terre

Lorsqu'il existe un bâti de protection externe ou un fil de mise à la terre qui relie le bâti à la barre de mise à la terre, les fortes intensités qui passent dans le bâti de protection ou le fil de mise à la terre provoqueront une chute de tension à l'entrée de l'équipement, tel qu'indiqué à la Figure II.3-7.

Des dommages consécutifs à une chute de tension de terre ont été observés au Royaume-Uni et en Australie.

II.3.3.1 Exemple de problème de chute de tension de terre (Royaume-Uni)

Plusieurs petits centraux téléphoniques installés dans des locaux client ont subi des dommages dus à la différence de potentiel créée par les câbles de mise à la terre des équipements de protection et de commutation. La liaison de protection suivait généralement un trajet indirect vers la borne principale de mise à la terre. La terre de protection de l'équipement était reliée à celle du système d'alimentation et donc à la borne de terre principale. A cause de différences d'impédance, une forte chute de potentiel apparaissait entre les terminaisons de ligne et la terre de protection de l'équipement; il en résultait la détérioration de ce dernier due à la formation d'un petit arc entre le circuit et le châssis; la solution a consisté à relier la protection aussi près que possible de l'équipement, au moyen de dispositifs de protection ayant une tension de déclenchement continue appropriée, pour empêcher l'apparition de la tension de secteur sur la ligne même, en cas de défaut de la terre d'équipement.

II.3.3.2 Exemple de problème de chute de tension de terre dans des locaux client (Australie)

De nombreux cas de dommages dus à la foudre subis par des petits centraux téléphoniques installés chez les clients ont été observés en Australie à la suite des différences de potentiel apparues entre les lignes de télécommunication et l'alimentation électrique, du fait de la longueur du câble de liaison entre le bâti de protection et la borne de terre principale. Lorsqu'il n'a pas été possible de réduire la longueur du fil de liaison à moins de quelques mètres, il a fallu munir l'équipement d'un élément de protection combinée protégeant à la fois les câbles de télécommunication et les câbles d'alimentation électrique. Or, ces éléments de protection sont très coûteux (de l'ordre de 150 dollars EU).

II.3.3.3 Exemple de problème de chute de tension de terre au niveau d'un centre de télécommunication (Australie)

Telstra a constaté une détérioration des équipements installés dans un centre de télécommunication, alors qu'ils étaient protégés par un dispositif de protection primaire. L'examen de ces incidents a révélé qu'un claquage se produisait entre les câbles issus du répartiteur et le châssis de l'équipement. Pour une forme d'onde 10/700 μ s la tension de claquage entre le fil et le châssis était d'environ 1,5 kV. Cela met clairement en évidence la possibilité d'une chute de tension de terre d'au moins 1,5 kV dans les conditions réelles. Au lieu de modifier le câblage de terre du central téléphonique, un autre équipement était utilisé pour assurer cette fonction. La mise à la terre de ces centraux est conforme aux indications de la Rec. UIT-T K.27 et l'équipement constitue un réseau équipotentiel de type isolé (IBN, *isolated bonding network*). Il est nécessaire de concilier les besoins propres aux pratiques d'installation, à l'immunité des équipements et à l'adjonction d'une protection externe.

II.3.3.4 Exemple de test d'immunité aux chutes de tension dans la terre

Tel qu'indiqué au § II.3.2, la tension la plus importante apparaît lorsqu'on utilise un seul câble de terre pour relier le bâti de protection à la barre de terre. La chute de tension de terre est moins problématique dans le bâti de protection, en raison des deux conducteurs parallèles descendants qu'il comporte, comme en présence de plusieurs câbles de terre reliant le bâti à la barre.

Ce test ne s'applique pas dès lors que l'on se trouve dans au moins un des cas suivants:

- le conducteur de référence de terre est relié à la base du bâti de protection;
- le bâti de protection et l'équipement sont reliés par des câbles blindés;
- utilisation d'un réseau équipotentiel maillé (Mesh BN);
- le bâti de protection est directement relié au réseau équipotentiel commun (CBN, *common bonding network*) par des conducteurs de longueur réduite (< 1 m).

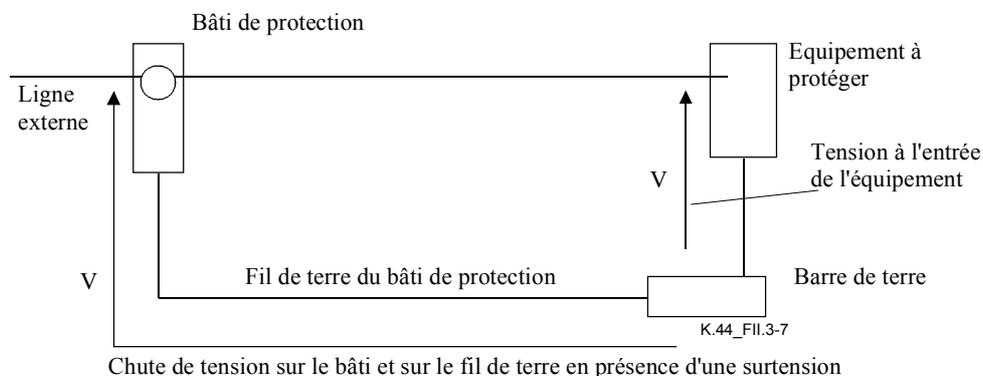


Figure II.3-7/K.44 – Chute de tension dans les fils de terre

Les indications du Tableau II.3-2 et les caractéristiques du générateur de la Figure II.3-9 correspondent à la surtension de test n° 4, décrite au § 4.5.7, de la spécification Bellcore GR1089 CORE. Le test Bellcore est largement utilisé en Amérique du Nord. Il comporte une tension maximale de crête en circuit ouvert de 2,5 kV.

La valeur approximative de la surtension produite par une surintensité circulant dans un fil de mise à la masse est indiquée à la Figure II.3-8.

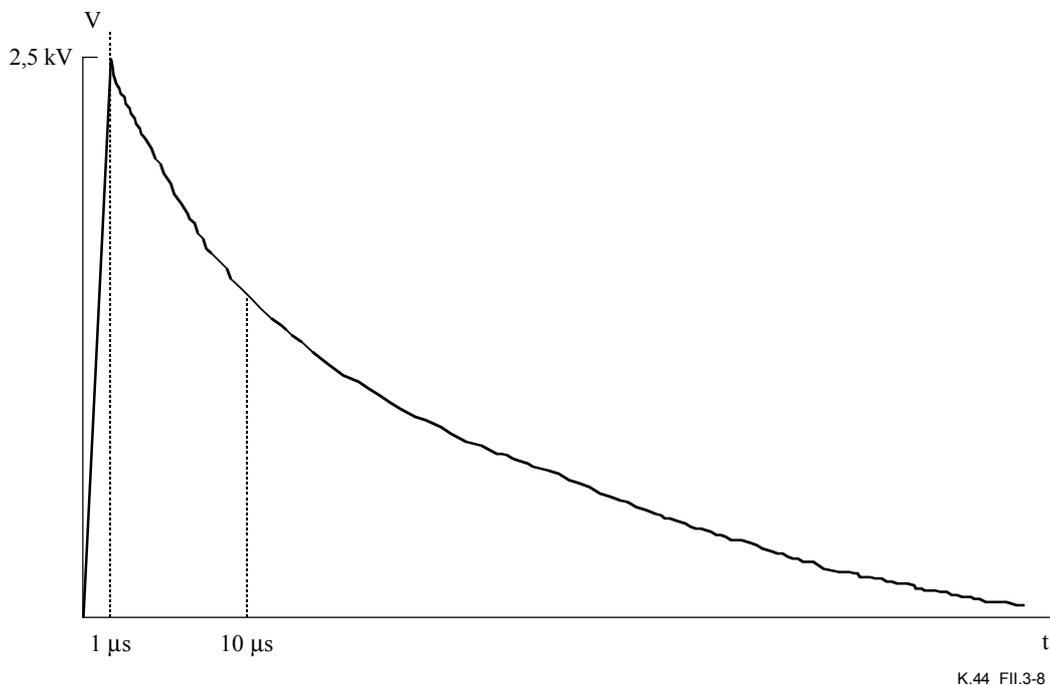


Figure II.3-8/K.44 – Chute de tension de terre

Le circuit décrit à la Figure II.3-9 produit une forme d'onde 2/10 µs et peut servir à reproduire cet effet.

La valeur approximative de la tension susceptible d'être observée est indiquée au Tableau II.3-3.

Tableau II.3-2/K.44 – Tension de test

Description	$U_{c(max)}$
Grand bâti externe, avec un petit nombre de conducteurs descendants ou un long fil de terre (< 10 m) à l'intérieur d'un bâtiment ou d'un abri de grande dimension	2,5 kV
Bâti extérieur à l'intérieur d'une armoire, avec un fil de terre unique de longueur moyenne (< 3 m)	1,5 kV
Petit bâti externe avec fil de terre court (< 0,5 m)	Test non requis. La tension à l'entrée de l'équipement est supposée inférieure à celle qui est observée pour les tests 1.1 et 1.2 du Tableau 1a/K.45.

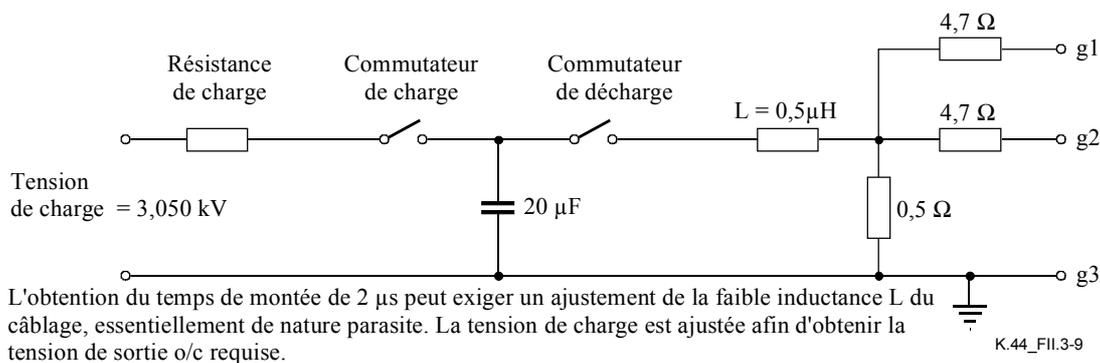


Figure II.3-9/K.44 – Générateur de surintensités 2/10 µs

Tableau II.3-3/K.44 – Essai de chute de tension de terre

Test n°	Description du test	Circuit de test	Niveau de test	Nombre de tests	Protection primaire agréée	Critère d'acceptation	Observations
1.1	Chute de tension dans le fil de terre	Figures II.3-9 et A.5.1-1	Voir Tableau II.3-2	5	5 de chaque polarité	A	Applicable uniquement aux équipements comportant un grand bâti de protection ou un câble de terre unique entre la protection primaire et le point commun de mise à la terre.

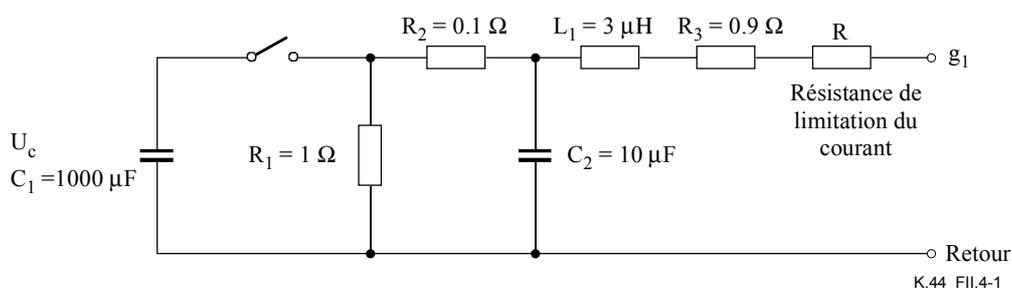
II.4 Test en courant sur les ports alimentation secteur

Lorsque la foudre frappe un bâtiment ou un local contenant des équipements de télécommunication, l'onde de courant est nettement prolongée par comparaison à l'onde de forme 8/20 µs utilisée jusqu'à présent pour les tests concernant les ports alimentation secteur. D'après des études réalisées en Allemagne, le temps de descente à la demi-valeur de l'onde de courant pouvait atteindre 350 µs si la foudre tombait directement. Un exemple, tiré d'un manuel, portant sur la défaillance d'un disjoncteur due à la foudre montre que les temps de descente en cas de surtensions sur les lignes électriques peuvent être longs. Des tests effectués sur des alimentations électriques en mode commutation ont montré qu'un temps de descente de 350 µs pouvait provoquer des dommages, ce qui n'est pas le cas d'un temps de descente de 20 µs. Aucun document ne traite de ces dommages. Il a donc été suggéré d'utiliser une onde de forme 10/350 µs pour vérifier la coordination de la protection primaire avec l'équipement sous test. Cette proposition a été examinée au sein de l'UIT-T, mais il n'a pas été possible de parvenir à un accord quant à ce test. Ce test reste à l'étude. Le test de coordination spécifié dans les Recommandations de produit exige une onde de forme 8/20 µs.

Les caractéristiques du test proposé figurent au Tableau II.4-1.

Tableau II.4-1/K.44 – Test de coordination pour les ports alimentation secteur visant à simuler un choc direct de la foudre sur le bâtiment ou l'abri

1.x.a	Coordination L-N pour les ports alimentation secteur en cas de choc direct de la foudre	Figures II.4-1 et A.5.4-2/K.44	$I_{(max)} = 10 \text{ kA}$ $R = 0 \Omega$	5 de chaque polarité	Protection primaire agréée (secteur)	A A noter qu'un dispositif de protection à commutation doit fonctionner à $I_{(max)}$
1.x.b	Coordination L+N-E pour les ports alimentation secteur en cas de choc direct de la foudre	Figures II.4-1 et A.5.4-1/K.44	$I_{(max(L+N))} = 10 \text{ kA}$ $R = 0 \Omega$	5 de chaque polarité	Protection primaire agréée (secteur)	A A noter qu'un dispositif de protection à commutation doit fonctionner à $I_{(max)}$



NOTE – L'obtention du temps de montée correct peut exiger un ajustement de L_1 .

Figure II.4-1/K.44 – Générateur de surintensités 10/350 µs

II.5 Elévation du potentiel de terre et du neutre

II.5.1 Généralités

Suivant la conception du réseau public de distribution Basse Tension, la centrale électrique basse tension est exposée à certains risques d'élévation du potentiel du neutre et de transfert des surtensions dues à la foudre.

II.5.2 Explication

On observe généralement une élévation du potentiel de la terre et du neutre en cas de rupture de l'isolation du transformateur MV/LV ou de déclenchement des parafoudres pour empêcher la destruction du transformateur du fait des courants induits par la foudre ou lorsque celle-ci frappe directement la ligne. Il en résulte essentiellement le passage d'un courant à 50 Hz et une élévation du potentiel de terre.

II.5.2.1 Elévation du potentiel de terre

Il faut en premier lieu déterminer comment limiter l'élévation de potentiel de terre (EPR, *earth potential rise*) en cas de dérangement affectant la centrale électrique. Voir Figure II.5-1.

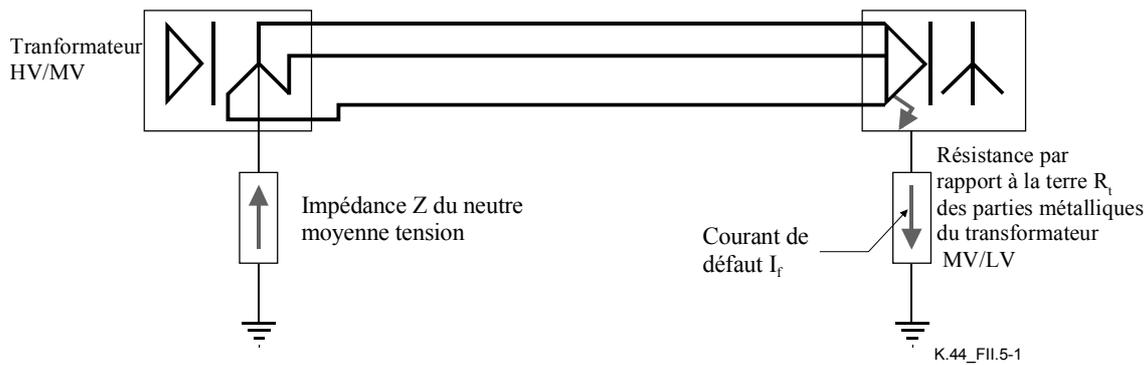


Figure II.5-1/K.44 – Facteurs dont dépend le courant de défaut

Le courant de défaut I_f correspondant à la situation la plus défavorable est déterminé en négligeant l'impédance de ligne HV et le couplage entre le point de mise à la terre des parties métalliques du transformateur et les autres systèmes de mise à la terre tels que la terre du neutre.

$$I_f = U / \sqrt{3 \cdot (Z + R_t)}$$

avec U: tension entre les conducteurs actifs moyenne tension.

L'élévation du potentiel de terre au niveau du transformateur MV/LV est donnée par la formule $EPR = R_t \cdot I_f$. (A noter Basse tension: LV, *low voltage*.)

En France cette valeur EPR est limitée à 6 kV.

II.5.2.2 Elévation du potentiel du neutre

II.5.2.2.1 Couplage entre le transformateur et les systèmes de mise à la terre du neutre

Du fait de la conception de la mise à la terre du neutre, l'élévation de son potentiel est due à un phénomène de couplage conductif en cas de connexion accidentelle au sol de la ligne moyenne tension.

Les règlements nationaux peuvent fixer des limites à cette élévation du potentiel du neutre (par exemple 1500 V, en France). Voir Figures II.5-2 et II.5-3.

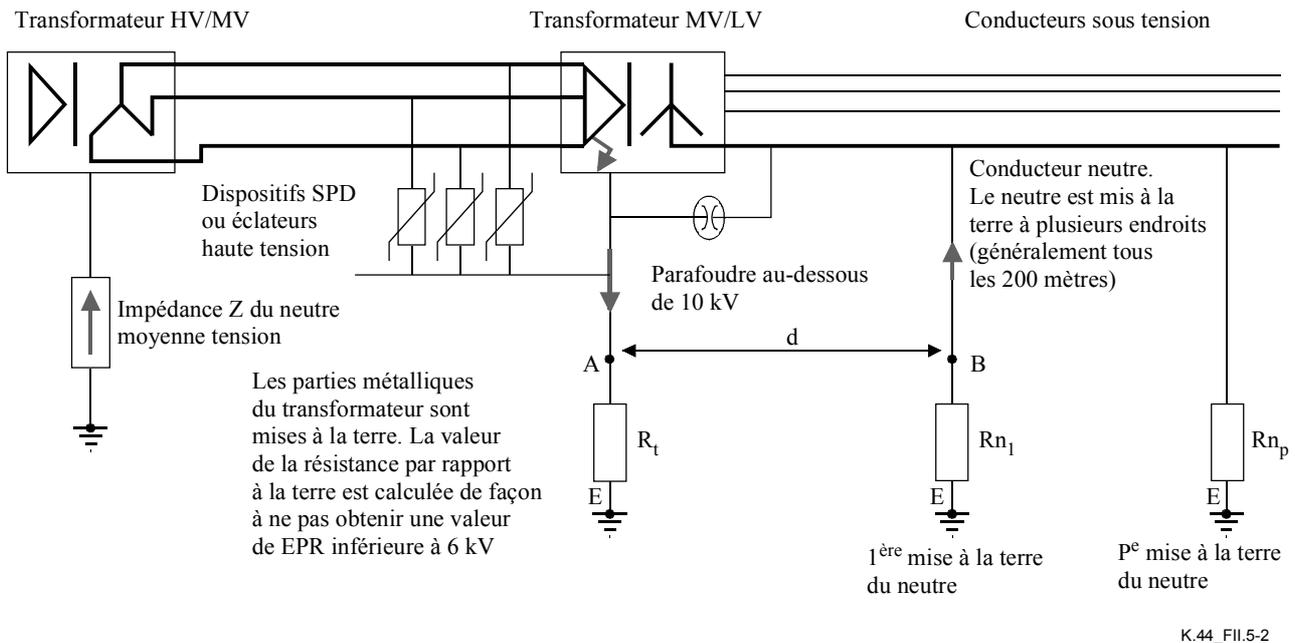


Figure II.5-2/K.44 – Couplage au neutre LV

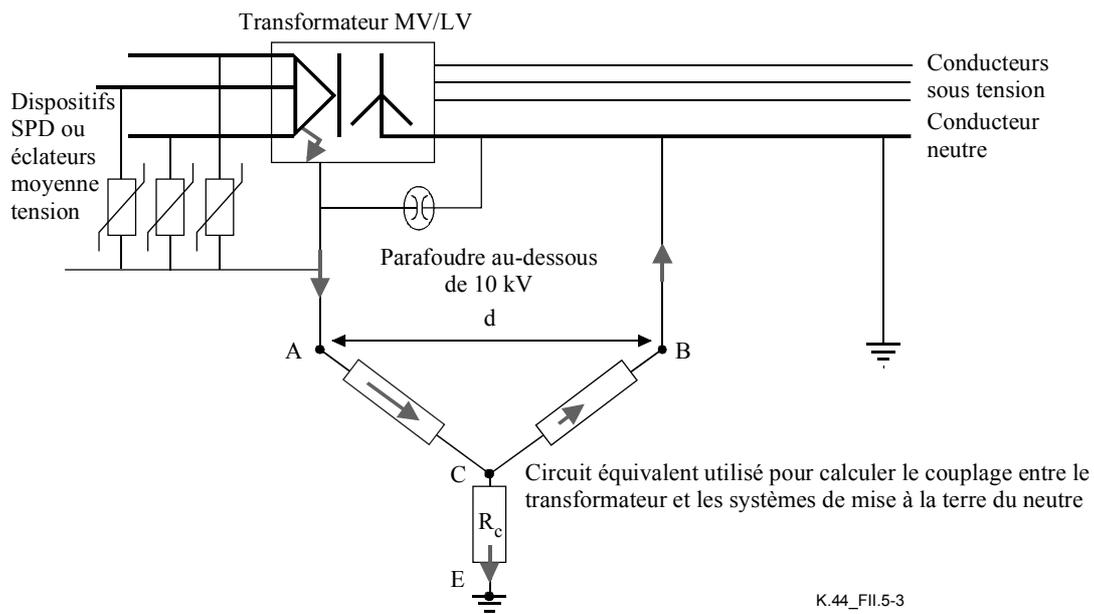


Figure II.5-3/K.44 – Conception de la mise à la terre visant à limiter l'élévation de potentiel EPR

La résistance de couplage $R_c = \rho \cdot l / 2 \cdot \pi \cdot d$ est ajustée en modifiant d de façon à obtenir une élévation du potentiel de terre inférieure à 1500 V ou un rapport de couplage (V_{AE}/V_{BE}) inférieure à 15% en présence d'un défaut.

Lorsque le sol a une forte résistivité, les valeurs observées de la résistance risquent de différer des valeurs calculées et l'élévation du potentiel de terre peut dépasser 1500 V.

II.5.2.3 Courants qui peuvent s'écouler à travers l'équipement

Voir Figure II.5-4.

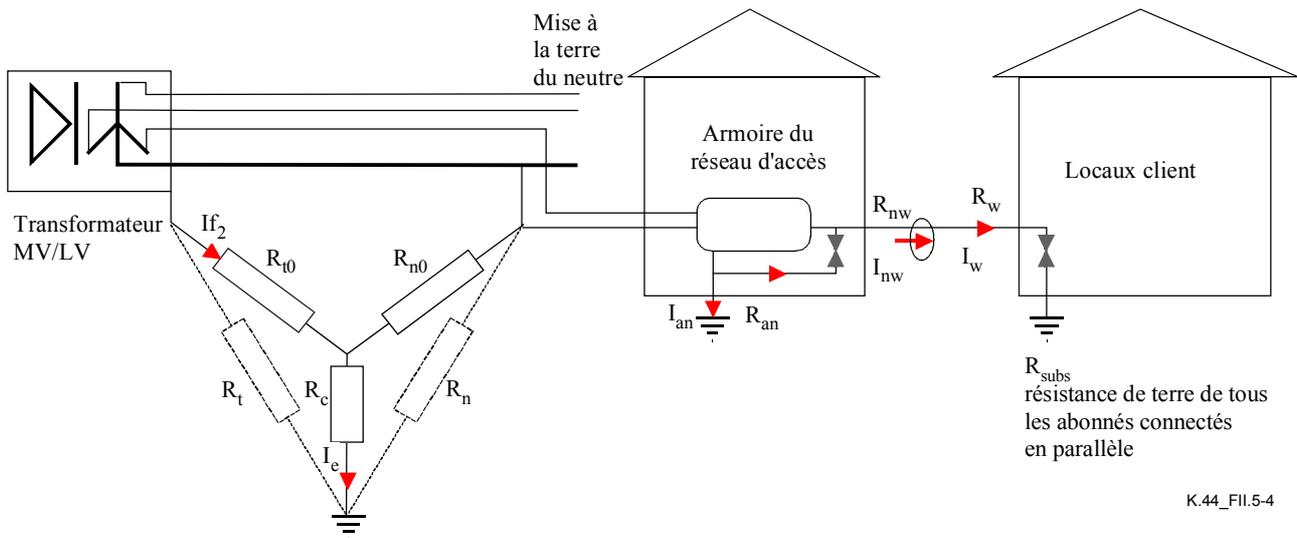


Figure II.5-4/K.44 – Mécanisme d'écoulement de courant à travers l'équipement

Les résultats du calcul, quand on suppose que:

- vingt-huit clients sont raccordés à des lignes de télécommunication similaires (longueur 5 km, diamètre du fil 0,4 mm);
- la résistance équivalente de leurs systèmes de mise à la terre mis en parallèle est 2 Ω ;
- la résistance de terre de l'armoire du réseau d'accès est 50 ohms;
- les caractéristiques du réseau d'alimentation sont: $Z = j40 \Omega$, $R_t = 30 \Omega$, $R_n = 15 \Omega$, $d = 8$ m;
- la résistivité du sol est de 300 Ω .m;

montrent que plusieurs dizaines d'ampères peuvent circuler à travers l'équipement (claquage entre le port secteur et la terre de l'équipement) vers le système de mise à la terre de l'armoire du réseau d'accès.

Le courant peut aussi s'écouler soit directement à travers les composants de protection des lignes de télécommunication (s'ils ont été installés et en cas de claquage entre le port secteur et la terre de l'équipement) soit à travers l'équipement (claquage entre le port secteur et le port télécommunication) vers les locaux client, I_w est d'environ 1 A.

Noter que le calcul est basé sur le même principe si l'on remplace dans la Figure II.5-4 les locaux client par un centre de télécommunication ou si l'on remplace l'armoire du réseau d'accès par des locaux client.

II.5.2.4 Transfert de surtension

Des transferts de surtensions directs ou provoqués par la foudre, depuis les lignes moyenne tension vers les lignes basse tension peuvent se produire principalement dans les cas suivants:

- 1) le claquage de l'isolement du transformateur est évité en détournant la surtension au moyen d'un parafoudre;
- 2) il y a rupture de l'isolement du transformateur entre les enroulements moyenne tension et basse tension.

Voir Figure II.5-5.

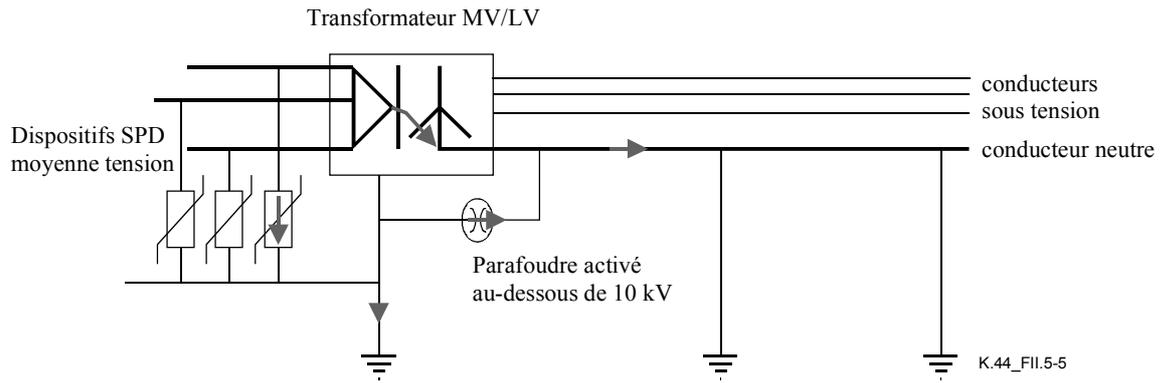


Figure II.5-5/K.44 – Transfert de la surtension sur le neutre

La surtension sera suivie du passage d'un courant 50 Hz significatif dans le cas 1, s'il y a utilisation d'éclateurs, et dans toutes les situations dans le cas 2.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication