

Septembre 2009

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients Intranormes
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of
Intranormes (Standards on line) customers. All network exploitation,
reproduction and re-dissemination, even partial, whatever the form
(harcopy or media), is strictly prohibited.



**DOCUMENT PROTÉGÉ
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf
prescription différente, aucune partie de
cette publication ne peut être reproduite
ni utilisée sous quelque forme que ce
soit et par aucun procédé, électronique
ou mécanique, y compris la photocopie
et les microfilms, sans accord formel.

Contacter :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

Intranormes

Pour vinci

Client 03610200

Le 04/11/2009 à 18:44

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

norme française

NF C 13-200
Septembre 2009

Indice de classement : C 13-200

ICS : 29.240.01 - 91.140.50

Installations électriques à haute tension – Règles complémentaires pour les sites de production et les installations industrielles, tertiaires et agricoles

E : High voltage electrical installations –
Additional rules for production sites and industrial, commercial and
agricultural installations

D : Hoschspannungsanlagen –
Zusätzliche Regeln für Anlagen zur Energieerzeugung
und industrielle, landwirtschaftliche sowie Dienstleistungsanlagen

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 août 2009, pour prendre effet
à compter du 5 septembre 2009.

Remplace la norme homologuée NF C 13-200, d'avril 1987 et son
amendement A1, de décembre 1989 qui restent en vigueur jusqu'au
1^{er} janvier 2010.

Correspondance Le présent document n'a pas d'équivalent à la CEI ou au CENELEC.

Analyse

Le présent document est applicable aux installations alimentées en courant alternatif sous une tension nominale supérieure à 1 000 V et inférieure ou égale à 245 kV, les fréquences préférentielles étant de 50 Hz et de 60 Hz.

Le présent document traite des installations de production d'énergie, des installations industrielles, tertiaires, agricoles et d'éclairage public, ainsi que de leurs postes de livraisons, à l'exclusion des postes déjà visés par la NF C 13-100.

Descripteurs

Installation électrique, installation industrielle HT, alimentation électrique, caractéristique, conception, règle de sécurité, prévention des accidents, protection contre les surintensités, protection contre les surtensions, protection contre chocs électriques, choix, mise en œuvre, appareillage, conducteur électrique, mise à la terre électrique, vérification, essai, entretien.

Modifications

Par rapport aux documents remplacés, le présent document constitue une révision complète.

Corrections

éditée et diffusée par l'Union Technique de l'Électricité (UTE) – Tour Chantecoq – 5, rue Chantecoq – 92808 Puteaux Cedex
Tél. : + 33 (0) 1 49 07 62 00 – Télécopie : + 33 (0) 1 47 78 73 51 – Courriel : ute@ute.asso.fr – Internet : <http://www.ute-fr.com/>
diffusée également par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) – 11, rue Francis de Pressensé – 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex – Tél. : 01 41 62 80 00

NF C 13-200

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Sommaire

Avant propos

TITRE 1 – Généralités

TITRE 2 – Définitions

TITRE 3 – Caractéristiques générales des installations

TITRE 4 – Protection pour assurer la sécurité

TITRE 5 – Choix et mise en œuvre des matériels

TITRE 6 – Exploitation, vérification et entretien

TITRE 7 – Règles pour les installations et emplacements spéciaux

BIBLIOGRAPHIE

NF C 13-200

(page blanche)

NF C 13-200

AVANT-PROPOS

Le présent document fait l'objet d'une refonte complète de la norme NF C 13-200. Par rapport à l'édition précédente, son champ d'application a été étendu aux installations haute tension alimentées en courant alternatif sous une tension atteignant 245 kV.

Ce document reprend les prescriptions fondamentales de la NF C 13-000 reproduisant le document européen d'harmonisation HD 637 S1 et précise les modalités pratiques d'application de ces prescriptions aux installations électriques entrant dans le nouveau champ d'application.

Les dispositions du présent document sont applicables aux ouvrages dont la date de dépôt de demande de permis de construire ou à défaut la date de déclaration préalable de construction ou à défaut la date de signature du marché, ou encore à défaut, la date d'accusé de réception de commande est postérieure au 01 janvier 2010.

Parmi les points importants nouveaux développés dans ce document, on peut citer :

- *l'étude des schémas des mises à la terre en haute tension ;*
- *la réalisation d'un système équivalent complet pour la protection contre les contacts indirects ;*
- *la qualité de l'énergie et les mesures de protection contre les perturbations électriques ;*
- *les mesures de protection contre l'incendie pour les transformateurs ;*
- *les règles de choix et de mise en œuvre des canalisations HTA ;*
- *les dispositions à appliquer dans les emplacements à risques d'explosion ;*
- *la récupération des diélectriques liquides, qu'ils soient inflammables ou non ;*
- *les dispositions particulières pour les postes extérieurs de type ouvert ;*
- *les dispositions spéciales de raccordement au réseau dans les cas non couverts par la NF C 13-100.*

La présente édition de ce document comprend :

- *d'une part, les prescriptions de la norme proprement dite imprimées en caractères romains droits noirs ;*
- *d'autre part, des commentaires qui contiennent des recommandations facilitant l'application des prescriptions, basées sur l'expérience et l'usage courant. Ces commentaires permettent d'expliquer les textes correspondants et de fournir les justifications des règles correspondantes. Ils peuvent attirer l'attention sur des aspects réglementaires français. Les commentaires sont imprimés en caractères italiques bleus immédiatement sous le texte normatif de référence.*

Le présent document a été adopté après l'enquête probatoire et l'examen des observations reçues au cours de cette enquête et l'homologation.

Ce document remplace la norme homologuée NF C 13-200, d'avril 1987, et son amendement A1, de décembre 1989.

Le présent document a été approuvé le 28 mai 2009 par la Commission UTE/CEF 99 « Conception de systèmes et mise en œuvre d'installations électriques de puissance de tension nominales supérieure à 1 kV en courant alternatif et 1,5 kV en courant continu, en particulier concernant les aspects de sécurité »

NF C 13-200

(page blanche)

NF C 13-200

Conception de systèmes et mise en œuvre d'installations électriques de puissance de tension nominales supérieure à 1 kV en courant alternatif et 1,5 kV en courant continu, en particulier concernant les aspects de sécurité

UTE/UF99

Liste des organismes représentés dans la commission de normalisation

Secrétariat : UTE

COPREC-AT (Comité de liaison des Organismes de Prévention et de Contrôle des Accidents du Travail)

EDF (ELECTRICITE DE FRANCE)

FFIE (FEDERATION FRANCAISE DES ENTREPRISES DE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE)

GIMELEC (GROUPEMENT DES INDUSTRIES DE L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE, DU CONTRÔLE-COMMANDE ET DES SERVICES ASSOCIES)

MINISTÈRE CHARGE DE L'ENERGIE

MINISTÈRE CHARGE DU TRAVAIL

RTE (RESEAU DE TRANSPORT DE L'ELECTRICITE)

SERCÉ (SYNDICAT DES ENTREPRISES DE GENIE ELECTRIQUE ET CLIMATIQUE)

SOCOTEC

SYCABEL (SYNDICAT PROFESSIONNEL DES FABRICANTS DE FILS ET CABLES ELECTRIQUES ET DE COMMUNICATION)

NF C 13-200

(page blanche)

TITRE 1

GÉNÉRALITES

Article 11 : Domaine d'application et objet

Article 12 : Références normatives

Article 13 : Raccordement des installations au réseau public

Titre 1 – Généralités

11 DOMAINES D'APPLICATION ET OBJET	2
12 RÉFÉRENCES NORMATIVES	5
13 RACCORDEMENT DES INSTALLATIONS AU RESEAU PUBLIC	10
131 Généralités	10
132 Choix de la tension de raccordement au réseau public.....	10
133 Limites des installations raccordées au réseau public de distribution.....	11
133.1 Approbation préalable du gestionnaire du réseau public de distribution.....	11
133.2 Installations $U_n \leq 33 \text{ kV}$ et $I_n \leq 630 \text{ A}$	12
133.3 Installations $U_n > 33 \text{ kV}$ ou $I_n > 630 \text{ A}.$	13
133.4 Point de comptage.....	13
133.5 Installations comportant des groupes de production	13
134 Limites des installations raccordées au réseau public de transport	14
134.1 Approbation préalable du gestionnaire du réseau public de transport	17
134.2 Installations comportant des groupes de production	17
134.3 Poste de livraison HTB	18
134.4 Fonctions associées au poste de livraison HTB	19

11 DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET

111 Le présent document est applicable aux installations alimentées en courant alternatif sous une tension nominale supérieure à 1 000 V et inférieure ou égale à 245 kV, les fréquences préférentielles étant de 50 Hz et de 60 Hz.

Ce document traite des installations de production d'énergie, des installations industrielles, tertiaires et agricoles, ainsi que de leurs postes de livraison, à l'exclusion des postes déjà visés par la NF C 13-100.

Les établissements recevant du public sont considérés comme des installations tertiaires.

Les installations peuvent être alimentées :

- a) soit par le réseau public de transport ;
- b) soit par un réseau public de distribution ;
- c) soit par une source de production autonome d'énergie ;
- d) soit à la fois par un réseau public de distribution ou de transport et une source de production autonome d'énergie.

Le présent document s'applique aux installations fixes. Il est également applicable à des installations temporaires ou mobiles, pour lesquelles des règles particulières sont décrites en Partie 7.

L'alimentation, la conception et la réalisation des circuits de distribution à haute tension de certaines installations d'éclairage extérieur font l'objet de prescriptions de la norme NF C 17-200.

112 Ce document ne s'applique pas à la conception et la mise en œuvre des :

- ouvrages de distribution d'énergie électrique concédés par l'application de la loi du 15 juin 1906 et installations de traction électrique ; ces ouvrages et installations étant régis par l'arrêté relatif aux conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique (1) ;
- installations des mines, à l'exception des mines à ciel ouvert ;
- installations des lampes à décharges ;
- installations sur les bateaux et les plates-formes ;
- installations des aéronefs ;
- matériel électrostatique ;
- stations d'essai ;
- appareils médicaux à rayons X.

(1) UTE C 11-001 - Arrêté technique du 17 mai 2001 - Conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

113 Le présent document énumère les règles de conception et de réalisation des installations électriques en vue d'assurer la sécurité des personnes et un fonctionnement satisfaisant, compte tenu de l'utilisation prévue et des réglementations applicables.

Un fonctionnement satisfaisant signifie que l'installation peut fonctionner correctement pour le but qui lui a été assigné -notamment l'alimentation des appareils d'utilisation- mais sans un niveau particulier d'efficacité ou d'économie. Toute considération économique est exclue des règles du présent document.

Certains matériels ou équipements font l'objet de normes complémentaires auxquelles il y a également lieu de se référer, c'est notamment le cas des matériels suivants :

- chaudières à électrodes ;
- grues ;
- tunneliers ;
- etc.

114 L'application du présent document ne dispense pas de respecter les règlements auxquels les installations doivent satisfaire lorsqu'ils leur sont applicables.

A la date de la publication du présent document, les principaux règlements administratifs applicables sont les suivants :

- [1] *Décret n° 78-72 du 20 janvier 1978 concernant les premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques ;*
- [2] *Décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988 relatif à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques et ses arrêtés d'application (2) ;*
- [3] *Décret n° 91-986 du 23 septembre 1991 complétant le règlement général des industries extractives (créant un titre intitulé Electricité) ;*
- [4] *Décret n° 96-1010 du 19 novembre 1996 relatif aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive ;*
- [5] *Décret n° 2003-229 du 13 mars 2003 relatif aux prescriptions techniques générales de conception et de fonctionnement auxquelles doivent satisfaire les installations en vue de leur raccordement aux réseaux publics de distribution ;*
- [6] *Décret n° 2003-588 du 27 juin 2003 relatif aux prescriptions techniques générales de conception et de fonctionnement auxquelles doivent satisfaire les installations en vue de leur raccordement au réseau public de transport de l'électricité ;*
- [7] *Décret n° 2008-386 du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques générales de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'installations de production aux réseaux publics d'électricité ;*
- [8] *Arrêté du 14 février 1992 fixant les consignes relatives aux premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques ;*
- [9] *Arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique ;*

(2) C 12-101 - Textes officiels relatifs à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.

- [10] Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement ;
- [11] Arrêté du 17 mars 2003 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement au réseau public de distribution d'une installation de consommation d'énergie électrique ;
- [12] Arrêté du 4 juillet 2003 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement direct au réseau public de transport d'une installation de consommation d'énergie électrique ;
- [13] Arrêté du 8 juillet 2003 relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive ;
- [14] Arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées ;
- [15] Arrêté du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement au réseau public de transport d'électricité d'une installation de production d'énergie électrique ;
- [16] Arrêté du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique ;
- [17] Arrêtés pris en application de la loi relative aux installations classées ;
- [18] Instructions concernant les installations d'électricité dans les monuments historiques, établies par le ministère de l'éducation nationale, le 24 avril 1952 ;
- [19] Règlement de sécurité relatif à la protection contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public⁽³⁾ ;
- [20] Règlement de sécurité dans les immeubles de grande hauteur⁽⁴⁾ ;

(3) C12-201 - Textes officiels relatifs à la protection contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public.

(4) C12-061 - Textes officiels relatifs à la sécurité contre l'incendie dans les immeubles de grande hauteur.

12 RÉFÉRENCES NORMATIVES

La liste ci-dessous répertorie les documents normatifs dont il est fait référence dans le présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60038:2002	Tensions normales de la C E I.
CEI 60050 (série)	Vocabulaire Electronique International
CEI 60076-7:2005	Transformateurs de puissance - Partie 7 : Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile
CEI 60183:1984	Guide pour le choix des câbles à haute tension.
CEI 60287 (Série)	Câbles électriques - Calcul du courant admissible.
CEI 60502-2:2005 (Série)	Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) à 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Partie 2 : Câbles de tensions assignées de 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) et 30 kV ($U_m = 36$ kV)
CEI 60853 (Série)	Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours - Partie 1: Facteurs de capacité de transport cyclique pour des câbles de tensions inférieures ou égale à 18/30 (36) kV.
CEI 60949:1988	Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique
CEI 60986:2000	Limites de température de court-circuit des câbles électriques de tension assignés de 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) à 30 kV ($U_m = 36$ kV)
CEI/TR 62271-303:2008	Rapport Technique : Appareillage à haute tension - Partie 303 : Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF_6)
NF EN 50160:2007 (C 02-160)	Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution.
NF EN 50216-2:2002 (C 50-216-2)	Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance - Partie 2 : Relais de protection (dégagement gazeux, niveau d'huile) pour transformateurs et réactance immergés dans un diélectrique liquide équipés d'un conservateur
NF EN 50216-3:2002 (C 50-216-3)	Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance - Partie 3 : relais de protection pour transformateurs et bobines d'inductance hermétiques immergés dans un liquide et sans matelas gazeux
NF EN 50464-1:2007 (C 52-112-1)	Transformateurs triphasés de distribution immergés dans l'huile, 50 Hz, de 50 kVA à 2 500 kVA, de tension la plus élevée pour le matériel ne dépassant pas 36 kV - Partie 1: Prescriptions générales
NF EN 60034-1:2004 (C 51-111)	Machines électriques tournantes - Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement
NF EN 60034-26:2007 (C 51-126)	Machines électriques tournantes - Partie 26 : effets d'un système de tensions déséquilibrées sur les caractéristiques de fonctionnement des moteurs à cage asynchrones triphasés
NF EN 60044-1:2000 (C 42-544-1)	Transformateurs de mesure - Partie 1 : Transformateurs de courant
NF EN 60044-2:2000 (C 42-544-2)	Transformateurs de mesure - Partie 2 : Transformateurs inductifs de tension
NF EN 60044-5:2004 (C 42-544-5)	Transformateurs de mesure - Partie 5 : transformateurs condensateurs de tension

NF C 13-200

Titre 1

NF EN 60044-8:2006 (C 42-544-6)	Transformateurs de mesure - Partie 8 : Transformateurs de courant électroniques
NF EN 60068-2-2 (C 20-702)	Essais d'environnement - Partie 2-2 : Essais - Essais B : Chaleur sèche
NF EN 60076-1 (C 52-176-1)	Transformateurs de puissance - Partie 1 : Généralités
NF EN 60076-3:2002 (C 52-176-3)	Transformateurs de puissance - Partie 3 : Niveaux d'isolation, essais diélectriques et distances d'isolation dans l'air
NF EN 60076-5:2006 (C 52-176-5)	Transformateurs de puissance - Partie 5 : Tenue au court-circuit
NF EN 60076-13 :2007 (C 52-176-13)	Transformateurs de puissance - Partie 13 : transformateurs auto-protégés immersés dans un liquide diélectrique
NF EN 60079-1:2004 (C 23-579-1)	Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses - Partie 1 : Enveloppe antidiéflagrante, d'.
NF EN 60079-2:2004 (C 23-579-2)	Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses - Partie 2 : Enveloppes à surpression interne "p"
NF EN 60079-5:2008 (C 23-579-5)	Atmosphères explosives - Partie 5 : Protection du matériel par remplissage pulvérulent "q"
NF EN 60079-6:2007 (C 23-579-6)	Atmosphères explosives - Partie 6 : Protection du matériel par immersion dans l'huile "o"
NF EN 60079-7:2004 (C 23-579-7)	Atmosphères explosives - Partie 7 : Protection du matériel par sécurité augmentée "e"
NF EN 60079-14:2003 (C 23-579-14)	Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses - Partie 14 : Installations électriques dans les emplacements dangereux (autres que les mines)
NF EN 60079-15:2004 (C 23-579-15)	Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses - Partie 15 : Construction, essais et marquage des matériels électriques du mode de protection "n"
NF EN 60079-18:2004 (C 23-579-18)	Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses - Partie 18 : Construction, essais et marquage des matériels électriques du type de protection par encapsulage "m"
NF EN 60156:1995 (C 27-221)	Isolants liquides - Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle - Méthode d'essai
NF EN 60228:2005 (C 32-013)	Âmes des câbles isolés
NF EN 60265-1:2001 (C 64-165-1)	Interrupteurs à haute tension - Partie 1 : Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1kV et inférieures à 52 kV
NF EN 60282-1:2006 (C 64-200-1)	Fusibles à haute tension - Partie 1 : Fusibles limiteurs de courant
NF EN 60289:1996 (C 52-300)	Bobines d'inductance.
NF EN 60470:2001 (C 64-170)	Contacteurs pour courants alternatifs haute tension et démarreurs de moteurs à contacteurs
NF EN 60529:1992 (C 20-010)	Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP).
NF EN 60694:1996 (C 64-010)	Spécifications communes aux normes de l'appareillage à haute tension

NF C 13-200

Titre 1

NF EN 60721-3-3:1995 (C 20-003-3)	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités - Section 3 : Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries
NF EN 60721-3-4:1995 (C 20-003-4)	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités - Section 4 : utilisation à poste fixe, non protège contre les intempéries
NF EN 60865-1:1994 (C 10-103)	Courants de court-circuit - Calcul des effets - Partie 1 : Définitions et méthodes de calcul
NF EN 60871-1:2006 (C 54-103-1)	Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V - Partie 1 : Généralités.
NF EN 60909-0:2002 (C 10-120)	Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif - Partie 0 : Calcul des courants.
NF EN 61082-1:2006 (C 03-251-1)	Etablissement des documents utilisés en électrotechnique - Partie 1 : Règles
NF EN 61241-0:2007 (C 23-241-0)	Matériels électriques pour utilisation en présence de poussières combustibles - Partie 0 : Exigences générales
NF EN 61241-1:2004 (C 23-241-1)	Matériels électriques pour utilisation en présence de poussières combustibles - Partie 1 : Protection par enveloppes 'tD'
NF EN 61241-14:2004 (C 23-241-14)	Matériels électriques pour utilisation en présence de poussières combustibles - Partie 14 : Sélection et installation
NF EN 61241-17:2004 (C 23-241-17)	Matériels électriques pour utilisation en présence de poussières combustibles - Partie 17 : Inspection et maintenance des installations électriques situées en emplacement dangereux
NF EN 61557 (C 42-198-X) (série)	Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. - Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection
NF EN 62053-22:2003 (C 44-053-22)	Équipement de comptage de l'électricité (c.a.) - Prescriptions particulières - Partie 22 : Compteurs statiques d'énergie active (classes 0,2 S et 0,5 S).
NF EN 62053-23:2003 (C 44-053-23)	Équipement de comptage de l'électricité (c.a.) - Prescriptions particulières - Partie 23 : Compteurs statiques d'énergie réactive (classes 2 et 3)
NF EN 62262:2004 (C 20-015)	Degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes (Code IK)
NF EN 62271-100:2002 (C 64-100)	Appareillage à haute tension - Partie 100 : Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension
NF EN 62271-102:2005 (C 64-471-102)	Appareillage à haute tension - Partie 102 : Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif
NF EN 62271-105:2003 (C 64-134)	Appareillage à haute tension - Partie 105 : Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif.
NF EN 62271-200:2004 (C 64-400)	Appareillage à haute tension - Partie 200 : Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV
NF EN 62271-202:2007 (C 64-471-202)	Appareillage à haute tension - Partie 202 : Postes préfabriqués haute tension/basse tension
NF EN 62271-203:2004 (C 64-410)	Appareillage à haute tension - Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV

NF EN 62305 (C 17-100-X) (Série)	Protection contre la foudre
NF C 01-826 :2004	Vocabulaire Electrotechnique - Partie 826: Installations électriques (CEI 60050-826)
NF C 11-201	Réseaux de distribution publique d'énergie électrique.
NF C 13-000	Installations électriques de tensions nominales supérieures à 1 kV en courant alternatif
NF C 13-100	Postes de livraison établis à l'intérieur d'un bâtiment et alimentés par un réseau de distribution publique HTA (jusqu'à 33 kV). (Corrigendum janvier 2003 + Fiche d'Interprétation janvier 2006)
NF C 15-100	Installations électriques à basse tension
NF C 17-200	Installations d'éclairage extérieur - Règles
NF C 20-000	Classification des conditions d'environnement
NF C 27-300	Classification des diélectriques liquides d'après leur comportement au feu.
NF C 30-202	Système de désignation de câbles
NF C 32-070	Conducteurs et câbles isolés pour installations - Essais de classification des conducteurs et câbles du point de vue de leur comportement au feu
NF C 33-220	Câbles isolés ou protégés pour réseaux d'énergie -Câbles isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV
NF C 33-223	Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie. Câbles de tensions assignées comprises entre 6/10 (12) kV et 18/30 (36) kV, isolés au polyéthylène réticulé, pour réseaux de distribution
NF C 33-226	Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles de tension assignées comprises entre 6/10(12) kV et 18/30(36) kV, isolés au polyéthylène réticulé à gradient fixé, pour réseaux de distribution
NF C 33-252	Câbles isolés ou protégés pour réseaux d'énergie - Câbles unipolaires à isolation synthétique de tensions assignées supérieures à 30 kV ($U_m = 36$ kV) et jusqu'à 150 kV ($U_m = 170$ kV)
NF C 33-254:2008	Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Exigences particulières relatives à l'utilisation sur les réseaux électriques français des câbles à isolation synthétique extrudée et de leurs accessoires de tension supérieure à 30 kV ($U_m = 36$ kV)
NF C 41-101:1995	Techniques des essais à haute tension – Partie 1 : Définitions et prescriptions générales relatives aux essais (HD 588 S1 :1991)
C 52-111 :1974	Transformateurs triphasés à 2 enroulements de 1000 à 10 000 kVA. Tension nominale primaire 5,5 à 63 kV - Tension nominale secondaire 3 à 20 kV: Règles complémentaires - Caractéristiques.
NF C 54-110:1992	Condensateurs de couplage et diviseurs capacitatifs.
NF C 64-163:1974	Appareillage à haute tension pour courant alternatif - Sectionneurs tripolaires d'intérieur : Cotes d'interchangeabilité et de fixation
NF P 06-001 (P 06-001)	Bases de calcul des constructions - Charges d'exploitation des bâtiments
DTU P 06-002 (P 06-002)	Règles NV 65 - Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes (édition 2009) (<i>Document technique unifié</i>)
NF P 06-004 (P 06-004)	Bases de calcul des constructions - Charges permanentes et charges d'exploitation dues aux forces de pesanteur (<i>Fascicule de documentation</i>)

NF P 06-005 (P06-005)	Bases de calcul des constructions - Notations - Symboles généraux
NF P 06-013 (P 06-013)	Règles de construction parasismique - Règles PS applicables aux bâtiments, dites règles PS 92
NF P 06-014 (P 06-014)	Règles de construction parasismique - Construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés - Règles PS-MI 89 révisées 92 - Domaine d'application - Conception - Exécution.
NF P 06-100-2 (P 06-100-2)	Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures – Partie 2 : Annexe nationale à l'EN 1990:2002
NF P 06-111-2 (P 06-111-2)	Eurocodes - Bases de calcul des structures Partie 2 : Annexe nationale à l'EN 1991-1-1:2002
NF P 25362 (P 25-362)	Fermetures pour baies libres et portails - Spécifications techniques - Règles de sécurité
NF EN 1990 (P 06-100-1)	Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures
NF EN 1991-1-3 (P 06-113-1-3)	Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige
NF EN 1991-1-4 (P 06-113-1-4)	Eurocode 1 : actions sur les structures - Partie 1-4 : Actions générales - Actions du vent
NF EN ISO 4628-3 (T 30-140-3)	Peinture et vernis - Évaluation de la dégradation des revêtements - Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect - Partie 3 : évaluation du degré d'enrouillement
NF ISO 9227 (A 05-101)	Essais de corrosion en atmosphères artificielles - Essais aux brouillards salins
NF EN ISO 10289 (A 91-023)	Méthodes d'essai de corrosion des revêtements métalliques et inorganiques sur substrats métalliques - Cotation des éprouvettes et des articles manufacturés soumis aux essais de corrosion
UTE C 11-001	Arrêté technique - Conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.
UTE C 13-205	Installations électriques à haute tension - Guide pratique - Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection
UTE C 15-112:2000	Protection contre les chocs électriques - Guide pratique - Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques
UTE C 15-400	Installations électriques à basse tension - Guide Pratique - Raccordement des générateurs d'énergie électrique dans les installations alimentées par un réseau public de distribution
UTE C 18-510	Recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique
UTE C 33-223	Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles de tension assignée 12/20 (24) kV, isolés au polyéthylène réticulé, pour réseaux de distribution.
UTE C 64-210	Appareillage à haute tension pour courant alternatif - Fusibles à haute tension pour postes de transformations publics ou privés du type intérieur

13 RACCORDEMENT DES INSTALLATIONS AU RÉSEAU PUBLIC

131 Généralités

Les conditions techniques du raccordement d'une installation électrique au réseau public de transport ou de distribution font l'objet d'une réglementation spécifique [6, 7 et 15 ou 5, 7 et 16] dont il faut tenir compte lors de la conception de l'installation.

Cette réglementation est applicable aux installations devant faire l'objet d'un premier raccordement à un réseau public ou de modifications de leurs caractéristiques électriques justifiant une nouvelle convention de raccordement [11 ou 12].

Afin d'évaluer cet impact, il est recommandé de consulter le référentiel technique du gestionnaire du réseau public de transport ou de distribution concerné et le cas échéant de prendre contact avec ses services dès le lancement du projet de conception de l'installation.

132 Choix de la tension de raccordement au réseau public

Conformément aux arrêtés [5] et [7], le domaine de tension de raccordement d'une installation de consommation est choisi en accord avec le gestionnaire du réseau en fonction de la puissance de raccordement de l'installation (puissance maximale demandée par le propriétaire de l'installation) et de son éloignement du poste de transformation du réseau public désigné pour l'alimentation de l'installation. Le Tableau 13A précise la correspondance entre le domaine de tension et la puissance de raccordement :

Tableau 13A – Domaine de tension pour une installation de consommation

Domaine de tension de raccordement de référence	Puissance de raccordement de l'installation inférieure à la plus petite des deux valeurs	
1 kV < HTA ≤ 50 kV	40 MW	100/d MW
50 kV < HTB1 ≤ 130 kV	100 MW	1 000/d MW
130 kV < HTB2 ≤ 350 kV	400 MW	10 000/d MW

d est la longueur en kilomètres de l'ouvrage d'alimentation, réalisable techniquement et administrativement, entre le point de livraison et le poste de transformation du réseau public désigné pour l'alimentation de l'installation.

Conformément aux arrêtés [15] et [16], le domaine de tension de raccordement d'une installation de production est choisi en accord avec le gestionnaire du réseau en fonction de la puissance active maximale produite par l'installation. Le Tableau 13B précise la correspondance entre le domaine de tension et la puissance de production de l'installation :

Tableau 13B – Domaines de tension de raccordement de référence d'un producteur

Domaine de tension de raccordement de référence	Cas de référence P_{max} (en MW)	Cas dérogatoires ¹⁾ P_{max} (en MW)
$1 \text{ kV} < HTA \leq 50 \text{ kV}$	≤ 2	≤ 17
$HTB1 (63 \text{ kV et } 90 \text{ kV})$	≤ 50	≤ 100
$HTB2 (150 \text{ kV et } 225 \text{ kV})$	≤ 250	≤ 600

1) les cas dérogatoires correspondent à des conditions spécifiques indiquées dans la documentation technique de référence du gestionnaire du réseau.

La tension de raccordement d'une installation de consommation comportant des unités de production destinées à fonctionner connectées au réseau public est normalement choisie comme étant la tension la plus élevée résultant de l'application des deux tableaux précédents en considérant de façon indépendante la puissance totale de consommation et la puissance totale de production de l'installation.

Pour déterminer le domaine de tension de raccordement d'une installation de production, il y a lieu également de tenir compte de son éloignement du point de raccordement au réseau public.

Dans certaines situations le gestionnaire du réseau peut proposer le raccordement à une tension différente de celle qui résulte des tableaux précédents.

133 Limites des installations raccordées au réseau public de distribution

La limite entre l'installation et le réseau public de distribution se situe :

- pour les installations alimentées par câbles, au poste de livraison, à l'extrémité des câbles que ces câbles empruntent totalement ou partiellement le domaine public ;
- pour les installations alimentées par ligne aérienne, à l'amont de la chaîne d'ancrage du premier support de la ligne aérienne situé dans le domaine privé de l'utilisateur.

133.1 Approbation préalable du gestionnaire du réseau public de distribution

Avant toute réalisation, l'approbation des dispositions prévues tant en ce qui concerne le choix du matériel du poste de livraison que son emplacement, doit préalablement être demandée au gestionnaire du réseau public de distribution. Toute modification des dispositions initiales doit également être soumise au gestionnaire du réseau public. Toute demande d'évolution de la part du gestionnaire du réseau public par rapport à son approbation préalable doit être techniquement motivée.

La demande d'approbation préalable au gestionnaire de réseau public est accompagnée notamment des renseignements suivants :

- *position du poste par rapport aux voies attenantes avec indication des voies d'accès et des passages des canalisations d'alimentation ;*
- *schéma des connexions du poste de livraison et des circuits de terre ;*
- *nomenclature et caractéristiques des matériels électriques concernant l'exploitation du réseau public ;*
- *plan de l'emprise du poste de livraison et de ses bâtiments avec indication de l'emplacement des matériels électriques y compris celui du tableau de comptage ;*
- *schéma de raccordement des autres sources éventuelles d'énergie électrique de l'installation ;*

- *dispositions prises pour réduire l'énergie réactive ;*
- *dispositions prévues pour le tableau de comptage ;*
- *dispositions prévues pour la protection générale de l'installation et le cas échéant pour la protection de découplage des générateurs électriques ou des matériels pouvant se comporter en générateur.*

Cette demande d'approbation est traitée conformément aux dispositions du référentiel technique du gestionnaire.

133.2 Installations $U_n \leq 33 \text{ kV}$ et $I_n \leq 630 \text{ A}$

Lorsque la tension nominale du réseau public de distribution est au plus égale à 33 kV et l'intensité de l'appareillage du poste au plus égale à 630 A, le poste de livraison est conforme à la norme NF C 13-100 (Figure 13A) et l'installation intérieure HTA relève de la présente norme NF C 13-200.

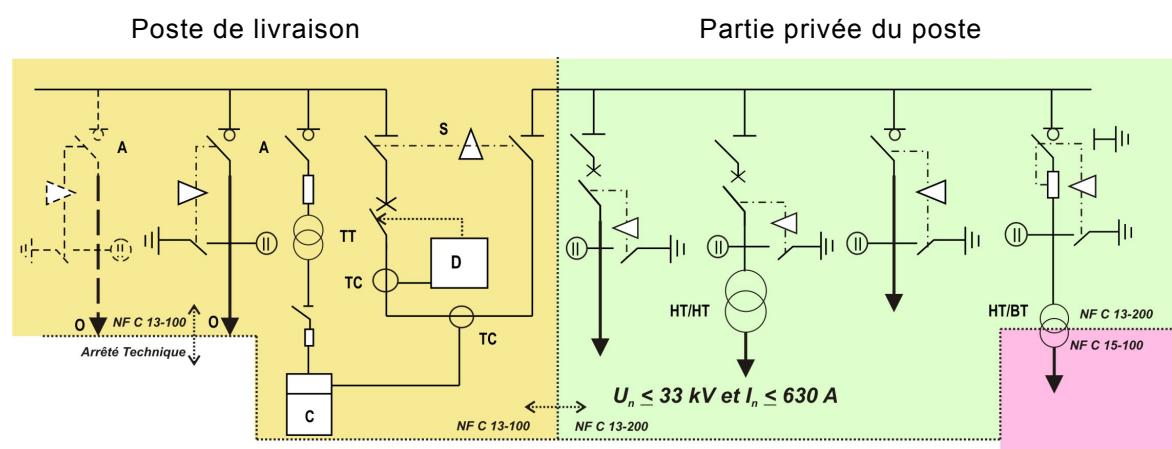


Figure 13A – Exemple d'alimentation par un poste de livraison

- O Limite entre le poste et le réseau de distribution à haute tension
A Appareil de sectionnement à haute tension (sectionneur ou interrupteur-sectionneur)
C Comptage
D Dispositif de protection à haute tension
S Inter-verrouillage des dispositifs de sectionnement
TC Transformateurs de courant
TT Transformateurs de tension

L'appareillage HTA du poste de livraison NF C 13-100 intéresse l'exploitation du réseau public de distribution et doit être conforme aux spécifications prescrites par le gestionnaire du réseau de distribution dans son référentiel technique.

133.3 Installations $U_n > 33 \text{ kV}$ ou $I_n > 630 \text{ A}$

Lorsque la tension nominale du réseau public de distribution est supérieure à 33 kV ou que l'intensité nominale de l'appareillage est supérieure à 630 A, le poste de livraison ainsi que l'installation intérieure HTA relèvent de la présente norme NF C 13-200 (Figure 13B).

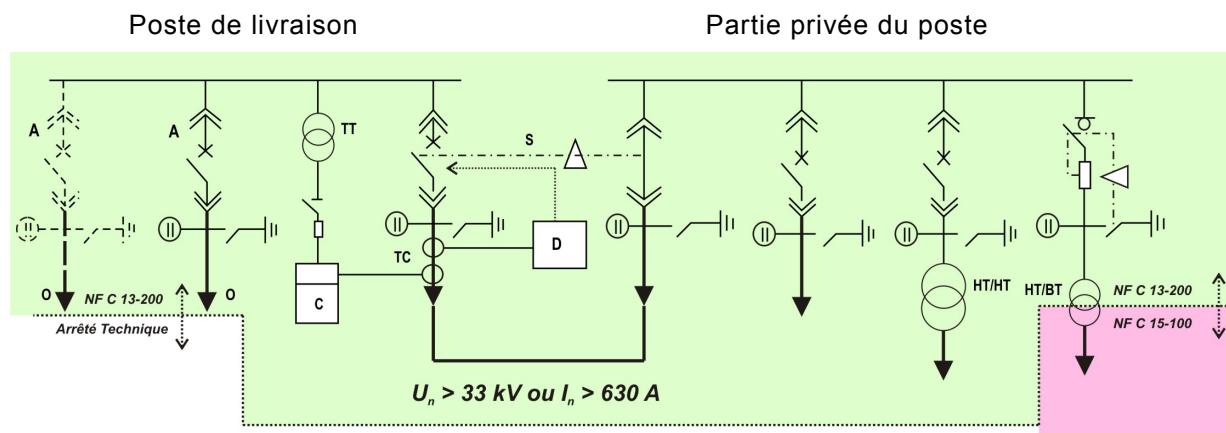


Figure 13B – Exemple d'alimentation par un poste de livraison

- 0 Limite entre le poste et le réseau de distribution à haute tension
- A Appareil de sectionnement à haute tension (disjoncteur ou interrupteur)
- C Comptage
- D Dispositif de protection à haute tension
- S Inter-verrouillage des dispositifs de sectionnement
- TC Transformateurs de courant
- TT Transformateurs de tension

L'appareillage HTA du poste de livraison comprenant les cellules d'arrivée du réseau public, les cellules de mesure de tension et la cellule du disjoncteur général intéressera l'exploitation du réseau public de distribution. Il doit être conforme aux spécifications prescrites par le gestionnaire du réseau de distribution dans son référentiel technique. Cet appareillage peut être débrochable ou non.

133.4 Point de comptage

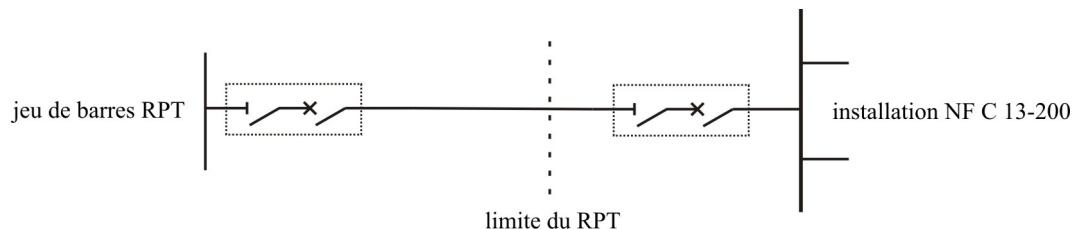
Le point de comptage des énergies échangées par l'installation avec le réseau public de distribution doit être placé au poste de livraison. Les transformateurs de mesure de tension doivent être placés en amont du disjoncteur de protection générale (D sur les Figures 13A et 13B) et les transformateurs de courant immédiatement en aval.

133.5 Installations comportant des groupes de production

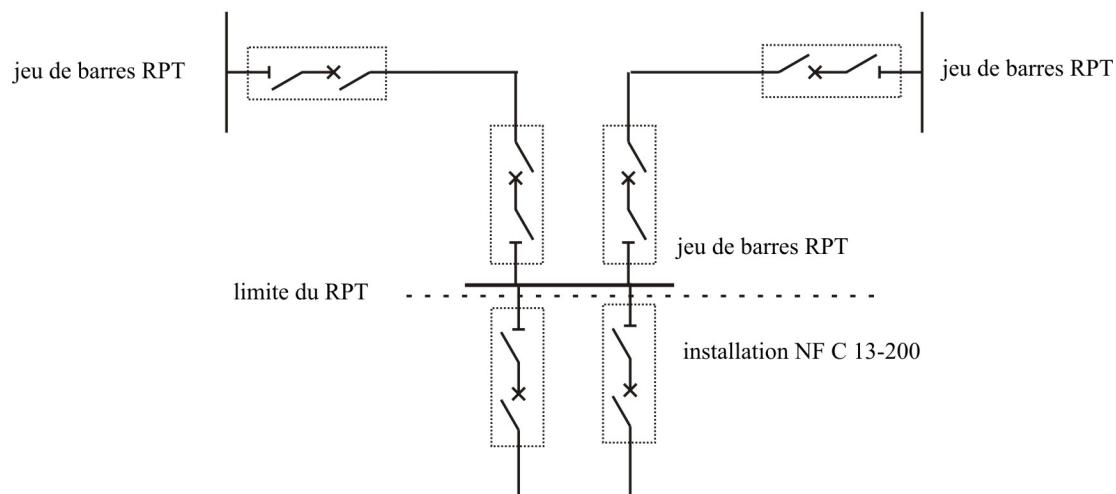
Lorsque des générateurs sont présents dans l'installation, les prescriptions de l'arrêté [16] doivent être prises en compte. Leur mise en œuvre fait l'objet du guide UTE C 15-400.

134 Limites des installations raccordées au réseau public de transport

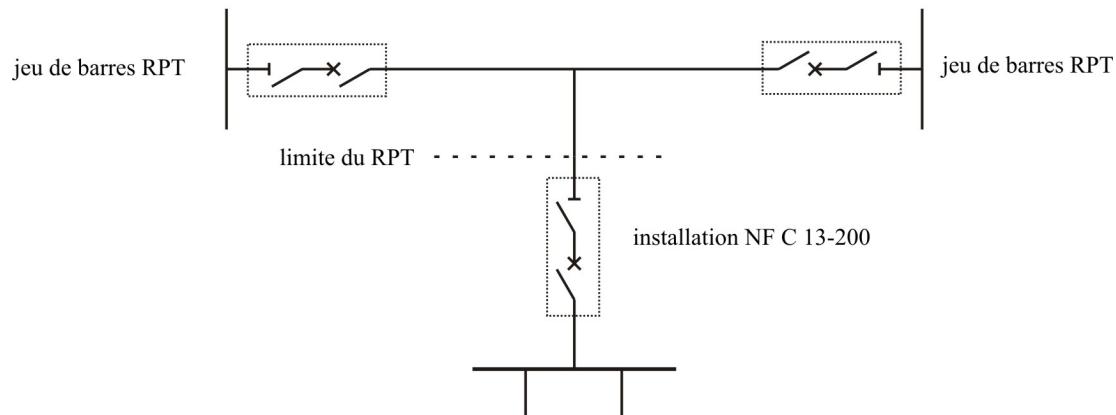
La limite entre les ouvrages électriques du Réseau Public de Transport (RPT) et ceux de l'installation NFC 13-200 se situe généralement au niveau du premier dispositif de déconnexion de l'installation. Une représentation de ces limites est donnée dans les Figures 13C pour les schémas de raccordement usuels.



a) raccordement en antenne



b) raccordement en coupure



c) raccordement en piquage

Figure 13C - Limites entre l'installation NFC 13-200 et le réseau public de transport

Les limites de propriété d'une installation raccordée au réseau public de transport sont précisées dans la convention de raccordement de l'installation.

En règle générale, elles sont situées selon les schémas de la Figure 13D.

En cas de raccordement aérien, la limite de propriété est, pour chaque phase, à la chaîne d'ancre de la ligne de raccordement, sur le portique d'arrivée du poste de livraison de l'installation. La chaîne et le portique font généralement partie de l'installation. Le portique doit être dimensionné à partir des contraintes fournies par le gestionnaire du réseau public de transport.

En cas de raccordement souterrain, la limite de propriété est, dans le poste de livraison, à la boîte d'extrémité du câble de chaque phase. Le support fait partie du poste de livraison, alors que la boîte fait partie du réseau de transport.

Les réducteurs de mesures font normalement partie de l'installation.

La protection de l'installation contre les surtensions de foudre est de la responsabilité de son propriétaire. Les parafoudres font normalement partie de l'installation. Néanmoins, dans certains cas, le gestionnaire de réseau peut décider d'installer des parafoudres de ligne destinés à la protection de son réseau, ces parafoudres sont alors installés en amont de la limite de propriété et font parties du réseau public de transport. Le propriétaire de l'installation doit néanmoins mettre à la disposition du gestionnaire l'emplacement nécessaire à l'installation de ces parafoudres.

Dans tous les cas, un sectionneur doit matérialiser l'origine de l'installation, conformément à l'arrêté technique du 17 mai 2001 [9]. Aucun matériel, à l'exclusion des parafoudres éventuels installés par le gestionnaire du réseau et des connexions, ne doit être installé entre la limite de propriété et l'origine de l'installation.

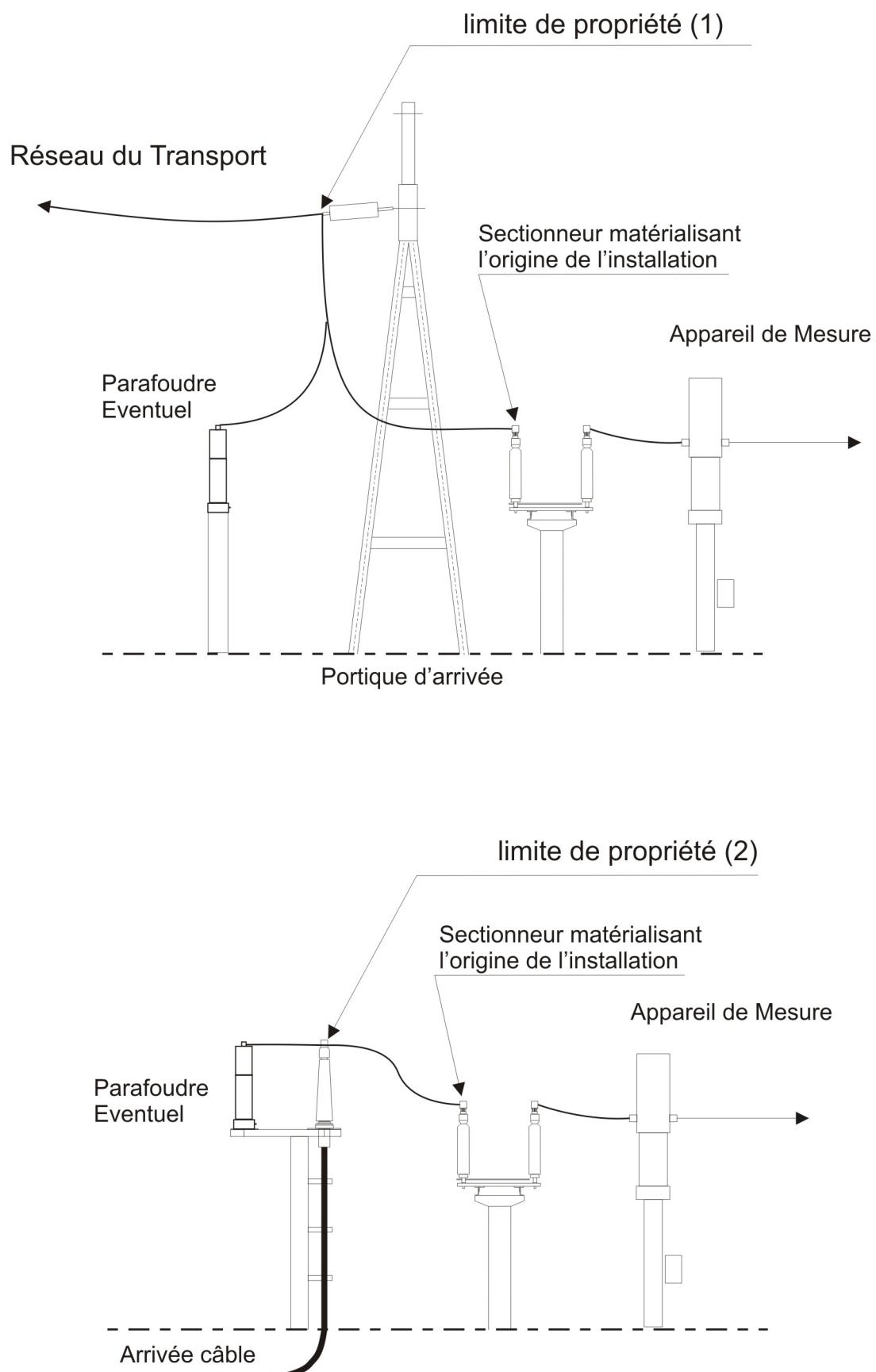


Figure 13D – Position physique usuelle de la limite entre l'installation et le réseau public de transport

134.1 Approbation préalable du gestionnaire du réseau public de transport

Le gestionnaire du réseau de transport intervient dans le choix et la réalisation des installations HTB constituant l'interface avec son réseau uniquement lorsque ces installations ont un rôle dans l'exploitation et la conduite du réseau public de transport. Les parties de postes de livraison constituant l'interface avec le réseau de transport sont suivant le cas :

- réalisées et exploitées par le gestionnaire du réseau de transport si elles contribuent à la continuité électrique du réseau de transport ; c'est notamment le cas des jeux de barres et des cellules lignes des postes en coupure d'artère (Figure 13C b)) ;
- réalisées et exploitées par le propriétaire de l'installation lorsqu'il s'agit de postes en antenne ou en piquage (Figure 13C a) et c)).

La documentation technique de référence du gestionnaire du réseau définit les étapes de la procédure de raccordement des installations ainsi que les informations que les demandeurs doivent fournir.

Le gestionnaire formule les exigences fonctionnelles que l'installation doit respecter pour sa connexion au réseau. Ces échanges se concrétisent par la signature d'une convention de raccordement à laquelle sont annexées les caractéristiques techniques de l'installation et les exigences du gestionnaire de réseau. La signature de cette convention entre les deux parties équivaut à l'approbation préalable du gestionnaire du réseau de transport pour la réalisation du raccordement de l'installation.

La convention de raccordement inclut notamment le schéma de l'installation, la structure et la localisation du poste de livraison et des ouvrages de raccordement ainsi que les éléments qui contribuent à assurer les fonctions de protection, de communication et de comptage, décrites au 134.4 du présent document.

134.2 Installations comportant des groupes de production

La présence de groupes de production destinés à fonctionner en parallèle avec le réseau public fait l'objet de prescriptions réglementaires spécifiques [6, 12 et 15]. Ces prescriptions ne s'appliquent pas aux groupes de secours ou de remplacement qui ne fonctionnent que séparés du réseau public.

Le gestionnaire du réseau de transport remet au propriétaire de l'installation « un cahier des charges définissant les paramètres techniques de l'installation de production » ; il y précise les performances de fonctionnement des groupes de production compte tenu de leur puissance et de la nature de leur énergie primaire.

Les situations suivantes doivent être prises en compte :

- la capacité des groupes à fonctionner en régime perturbé comportant des fortes variations de fréquence ou de tension. Lors de tels événements, les groupes doivent rester connectés et maintenir leur apport sur les plages de tension et de fréquence définies [4] qui tiennent compte de la préservation du matériel. Si l'installation comporte des charges sensibles, qui ne peuvent fonctionner dans ces situations, elles doivent pouvoir être déconnectées ou îlotées sur des alimentations de secours sans que la production ne soit déconnectée du réseau public. L'îlotage complet de l'installation sur ses propres groupes de production n'est admis que s'il a fait l'objet d'un accord spécifique avec le gestionnaire de réseau public ;
- la capacité des groupes à maintenir la stabilité et à rester connectés au réseau public dans un certain nombre de situations de référence [15] ;

- la capacité des groupes à contribuer au réglage de la tension et de la fréquence du réseau public avec un niveau de performance défini [15] ;
- la limitation des apports de courant de court-circuit vers le réseau public qui doivent rester compatibles avec la tenue des ouvrages ;
- la limitation des perturbations transmises au réseau public [15].

La structure de l'installation et le choix des matériels (groupe de production, transformateurs, dispositif de protection, etc.) doivent être faits en prenant en compte l'ensemble de ces contraintes.

134.3 Poste de livraison HTB

L'interface entre le réseau public HTB et l'installation NF C 13-200 est assurée par le poste de livraison. Ce poste doit être conçu de manière à assurer les fonctionnalités nécessaires à l'exploitation de l'installation et prendre en compte les contraintes imposées par le réseau public de transport. En particulier, il doit permettre de gérer les procédures de délestage global ou sélectif qui peuvent s'imposer lors de situations exceptionnelles convenues au préalable avec le gestionnaire du réseau.

L'installation peut être reliée au réseau public HTB par une ou plusieurs lignes identifiées en tant qu'alimentation principale, alimentation complémentaire ou alimentation de secours. Si ces lignes ont pour origine des nœuds différents du réseau de transport, leur couplage au niveau de l'installation n'est normalement autorisé que sur un jeu de barres exploité par le gestionnaire du réseau de transport.

Si l'installation est reliée au réseau public par des lignes issues de postes de transformation de niveau de tension différents, 63 kV et 225 kV ou 63 kV et 20 kV par exemple, aucun bouclage permanent entre ces réseaux ne doit se faire dans l'installation, que ce soit au niveau de la HTB ou de la HTA. Des couplages de courte durée, destinés à des manœuvres de charge ou à une reprise par l'alimentation de secours, sont généralement autorisés par le gestionnaire du réseau selon des modalités convenues au préalable et précisées dans la convention d'exploitation de l'installation.

La Figure 13E présente une illustration unifilaire de trois schémas usuels du poste de livraison.

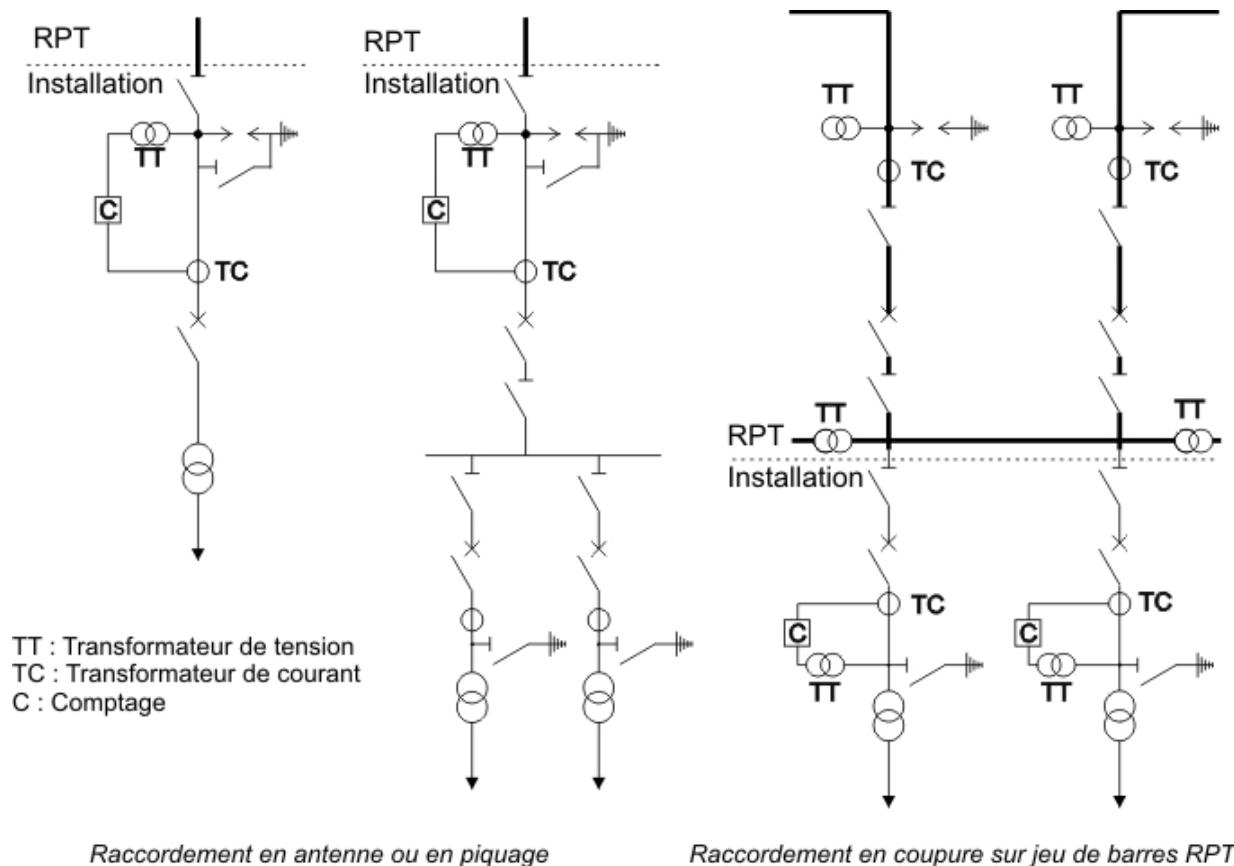


Figure 13E – Exemples de raccordement et de position des équipements de comptage

134.4 Fonctions associées au poste de livraison HTB

Le poste de livraison assure notamment les fonctions de protection, de mesure, de comptage, de communication et de conduite.

134.4.1 Système de protection

Le système de protection du poste de livraison doit être capable :

- d'éliminer tout défaut interne à l'installation susceptible de créer une surintensité sur les ouvrages du réseau public ;
- d'éliminer tout apport de courant de court-circuit émanant des unités de production fonctionnant dans l'installation en cas de défaut sur les ouvrages du réseau public.

Le système de protection doit détecter l'occurrence d'un défaut et agir sur les disjoncteurs de l'installation pour la séparer du réseau public, dans sa totalité ou en délimitant uniquement la partie affectée par le défaut. La sélectivité et la rapidité de fonctionnement de ce système doivent être coordonnées avec le plan de protection du réseau public. A ce titre, le gestionnaire du réseau public fournit à l'utilisateur un cahier des charges fonctionnel du système de protection où il précise les données nécessaires pour assurer cette coordination ainsi que les modalités de mise à la terre du neutre HTB au niveau de l'installation.

134.4.2 Installation de comptage en HTB

Les installations de comptage sont composées d'équipements destinés à l'acquisition des mesures, leurs traitements et leurs transferts vers le gestionnaire du réseau public de transport chargé d'assurer la relève des comptages.

Le contrat entre l'utilisateur et le gestionnaire du réseau indique les points de livraison, ainsi que les points de comptage qui leurs sont associés. Les transformateurs de mesure sont implantés en ces points suivant les indications de la Figure 13E.

Un point de comptage doit être associé à chaque connexion triphasée au réseau public de transport. Ce point est normalement à la tension de livraison. Il est situé au plus près des limites de propriété avec le réseau public de transport.

Chaque point de comptage permet de mesurer les énergies suivantes :

- énergies active et réactive exportées ;
- énergies active et réactive importées.

Les valeurs élémentaires mesurées sont intégrées généralement sur des périodes de 10 min et le résultat est mémorisé.

Lorsque la disposition de l'installation ne permet pas de faire coïncider le point de comptage avec le point de livraison, des corrections sont appliquées aux mesures acquises pour tenir compte de pertes éventuelles. Les règles à appliquer pour ces corrections figurent dans le contrat d'accès de l'utilisateur.

Les équipements de comptage, leur nombre, leurs caractéristiques ainsi que les lieux de leur implantation sont définis par le gestionnaire du réseau de transport.

La spécification de ces équipements est donnée dans la Partie 5-56.

134.4.3 Liaison à la téléconduite

En application de la réglementation [5] et [6] les sites de production et de consommation, selon leur puissance installée, sont amenés à fournir et recevoir des informations vers et en provenance du gestionnaire du réseau de transport en respectant les délais d'acheminement précisés.

134.4.3.1 Cas des installations de consommation

Aucune télémétrie n'est à priori nécessaire pour les sites de consommation de puissance ≤ 120 MW raccordés en antenne sur un poste du réseau public de transport.

Des téléméasures de puissance (active et réactive) captées au niveau du site sont nécessaires pour les installations raccordées en piquage ou en coupure sur une ligne du réseau public de transport.

Une liaison au système d'alerte et de sauvegarde du réseau public de transport peut être exigée par le gestionnaire du réseau de transport pour les sites de consommation de puissance > 120 MW.

Une liaison au système de conduite du réseau est nécessaire s'il est convenu d'autoriser le centre de conduite du gestionnaire de réseau à appliquer dans certaines situations particulières une procédure de délestage spécifique impliquant l'installation.

134.4.3.2 Cas des installations de production

Quelle que soit la puissance de l'installation, des télémesures de puissance active et réactive, captées au niveau du site de production, sont nécessaires lorsque les sites de production sont raccordés en piquage ou en coupure sur une ligne du réseau public de transport.

De plus, les dispositions suivantes sont applicables :

- Site de production de puissance $> 120 \text{ MW}$: il doit être relié au système de conduite et au système d'alerte et de sauvegarde du gestionnaire du réseau.
- Site de production $\geq 40 \text{ MW}$ et $\leq 120 \text{ MW}$, raccordé au domaine de tension HTB2 du Réseau Public du Transport :
 - si les groupes du site contribuent au réglage secondaire de la tension, le site est traité comme ceux de puissance supérieure à 120 MW ;
 - dans les autres cas, une liaison filaire de communication entre le gestionnaire du réseau public et la salle de conduite de l'installation est nécessaire.

La spécification des équipements de téléconduite est donnée dans la Partie 5-57.

NF C 13-200

Titre 1

(page blanche)

TITRE 2

DÉFINITIONS

Termes et définitions

Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants, s'appliquent.

2.1

appareillage (826-16-03)

matériel électrique destiné à être relié à un circuit électrique en vue d'assurer une ou plusieurs des fonctions suivantes : protection, commande, sectionnement, connexion

2.2

asservissement(s) électrique(s) (811-30-30)

contacts auxiliaires actionnés par les appareils commandés et réagissant sur le circuit de commande, afin que ceux-ci fonctionnent correctement, de la façon et dans l'ordre prévu

2.3

assignée (valeur) (151-16-08)

valeur d'une grandeur, fixée généralement par le constructeur pour un fonctionnement spécifié d'un composant, d'un dispositif ou d'un matériel

Cette définition s'applique à une grandeur telle qu'une tension assignée, un courant assigné, etc.

2.4

câble (isolé) (461-06-01)

ensemble constitué par :

- un ou plusieurs conducteurs isolés ;
- leur revêtement individuel éventuel ;
- la protection d'assemblage éventuelle ;
- le ou les revêtements ou gaines de protection éventuels

Il peut comporter en plus un ou plusieurs conducteurs non isolés.

2.5

Canalisation (électrique) (826-15-02)

ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs électriques isolés, câbles ou jeux de barres et les éléments assurant leur fixation et, le cas échéant, leur protection mécanique.

2.6

caniveau (826-15-06)

élément de canalisation situé au-dessus ou dans le sol ou le plancher, ouvert, ventilé ou fermé, ayant des dimensions ne permettant pas aux personnes d'y circuler, mais dans lequel les conduits ou câbles sont accessibles sur toute leur longueur, pendant et après installation.

NOTE Un caniveau peut ou non faire partie de la construction du bâtiment.

Des valeurs différentes de courants admissibles sont applicables suivant que les caniveaux sont ouverts ou fermés.

2.7

chemin de câbles (826-15-08)

tablette

support de câbles constitué d'une base continue avec de rebords, mais ne comportant pas de couvercle

NOTE Un chemin de câbles peut être perforé ou en treillis.

2.8

choc électrique (826-12-01)

effet physiologique résultant du passage d'un courant électrique à travers le corps humain ou celui d'un animal domestique ou d'élevage

L'expression choc électrique concerne à la fois les contacts directs et les contacts indirects.

2.9

conducteur actif

conducteur affecté à la transmission de l'énergie électrique, y compris le conducteur neutre en courant alternatif et le compensateur en courant continu

2.10

conducteur (isolé) (461-04-04)

ensemble comprenant l'âme, son enveloppe isolante et ses écrans éventuels

2.11

conducteur de terre (826-04-02)

conducteur qui relie la partie de l'installation qui doit être mise à la terre à une prise de terre ou des prises de terre dans la mesure où il se trouve en dehors du sol ou isolé et enterré dans le sol

NOTE Si la connexion est assurée par une barrette de coupure, un sectionneur, un compteur ou un intervalle de décharge d'un parafoudre, etc., seule la connexion entre la prise de terre et la borne du dispositif le plus proche du côté de la prise de terre est un conducteur de terre

2.12

conducteur de mise à la terre du neutre

conducteur reliant un point du conducteur neutre à une prise de terre

2.13

conducteur neutre (N) (826-05-07)

conducteur relié électriquement au point neutre et pouvant contribuer à la distribution de l'énergie électrique

Le point neutre d'un système polyphasé est défini comme un point commun d'un réseau polyphasé connecté en étoile ou point milieu d'un réseau monophasé. (826-05-05)

2.14

conducteur de protection (PE)

conducteur prescrit dans certaines mesures de protection contre les chocs électriques et destiné à relier électriquement certaines des parties suivantes :

- masses ;
- éléments conducteurs ;
- borne principale de terre ;
- prise de terre ;
- point de l'alimentation relié à la terre ou au point neutre artificiel

Un conducteur de protection peut être commun à plusieurs circuits.

2.15

conducteur PEN (826-13-25)

conducteur assurant à la fois les fonctions de conducteur de protection et de conducteur neutre

NOTE La désignation PEN résulte de la combinaison des deux symboles PE pour le conducteur de protection et N pour le conducteur neutre.

2.16

conduit (circulaire)

enveloppe fermée, de section droite circulaire, destinée à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câbles par tirage, dans les installations électriques

2.17

contact direct (826-12-03)

contact électrique de personnes ou d'animaux avec des parties actives

2.18

contact indirect (826-12-04)

contact électrique de personnes ou d'animaux avec des parties conductrices accessibles mises sous tension à la suite d'un défaut

2.19

contrainte de tension admissible à fréquence industrielle

contrainte de tension prise égale à la tension d'essai diélectrique (50 Hz) dont la valeur est fixée par les règles correspondantes des matériels

2.20

courant de base

somme des courants assignés des transformateurs et autres appareils alimentés directement à la tension du réseau d'alimentation du poste

2.21

courant de court-circuit (I_k)

surintensité produite par un défaut ayant une impédance négligeable entre des conducteurs actifs présentant une différence de potentiel en service normal

2.22

courant de défaut (I_f) (826-11-11)

courant s'écoulant en un point de défaut donné, consécutivement à un défaut de l'isolation

Dans ce document, l'expression « courant de défaut » est réservée à un courant s'écoulant entre un conducteur actif et une masse ou un conducteur de protection.

2.23

courant de défaut à la terre

courant de défaut qui s'écoule à la terre

2.24

courant d'emploi (d'un circuit électrique) (I_B) (826-11-10)

courant électrique destiné à être transporté dans un circuit électrique en fonctionnement normal

En régime permanent, le courant d'emploi correspond à la plus grande puissance transportée par le circuit en fonctionnement normal, en tenant compte des facteurs de simultanéité.

En régime variable, on considère le courant thermiquement équivalent qui, en régime continu, porterait les éléments du circuit à la même température.

2.25

courant (permanent) admissible d'un conducteur (I_Z) (826-11-13)

valeur maximale du courant électrique qui peut parcourir en permanence, un conducteur, un dispositif ou un appareil, sans que sa température de régime permanent, dans des conditions données, soit supérieure à la valeur spécifiée

2.26

courant de surcharge (d'un circuit électrique) (826-11-15)

surintensité se produisant dans un circuit électrique, qui n'est pas due à un court-circuit ou à un défaut électrique

2.27

défaut

défaillance de l'isolation d'une partie active produisant une réduction du niveau d'isolement et pouvant provoquer une liaison accidentelle entre deux points de potentiels différents

Un défaut peut être franc ou présenter une certaine impédance. Un défaut franc entre conducteurs actifs est un court-circuit.

2.28

disjoncteur (441-14-20)

appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées du circuit telles que celles du court-circuit

Un disjoncteur est généralement prévu pour fonctionner peu fréquemment quoique certains types soient capables de manœuvres fréquentes.

2.29

élément conducteur étranger (826-12-11)

partie conductrice ne faisant pas partie de l'installation électrique et susceptible d'introduire un potentiel électrique, généralement celui d'une terre locale

Peuvent être des éléments conducteurs :

- *les éléments métalliques utilisés dans la construction des bâtiments ;*
- *les canalisations métalliques de gaz, eau, chauffage, etc., et les appareils non électriques qui leur sont reliés (radiateurs, cuisinières non électriques, évier métalliques, etc.).*

2.30

enveloppe

enceinte assurant la protection des matériels contre certaines influences externes et dans toutes les directions, la protection contre les contacts directs

2.31

fourreau (ou buse)

élément entourant une canalisation et lui conférant une protection complémentaire dans des traversées de paroi (mur, cloison, plancher, plafond) ou dans des parcours enterrés

2.32

installation électrique (826-10-01)

ensemble de matériels électriques associés ayant des caractéristiques coordonnées en vue d'une application donnée

2.33

installations temporaires

installations qui n'ont qu'une durée limitée aux circonstances qui les motivent

2.34

interrupteur (mécanique) (441-14-10)

appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris éventuellement les conditions spécifiées de surcharge en service, ainsi que de supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales spécifiées du circuit telles que celles du court-circuit

NOTE Un interrupteur peut être capable d'établir des courants de court-circuit mais n'est pas capable de les couper.

2.35

isolation (151-15-42)

ensemble des propriétés qui caractérisent l'aptitude d'une isolation à assurer sa fonction

NOTE Des exemples de propriétés pertinentes sont la résistance, la tension de claquage.

2.36

liaison équipotentielle

liaison électrique mettant au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs

2.37

partie conductrice accessible (826-12-10)

masse (dans une installation électrique)

partie conductrice d'un matériel, susceptible d'être touchée, et qui n'est pas normalement sous tension, mais peut le devenir lorsque l'isolation principale est défaillante

2.38

matériel électrique (826-16-01)

matériel utilisé pour la production, la transformation, le transport, la distribution ou l'utilisation de l'énergie électrique, tel que machine, transformateur, appareillage, appareil de mesure, dispositif de protection, canalisation électrique, matériels d'utilisation

2.39

obstacle de protection (électrique) (826-12-24)

élément empêchant un contact direct fortuit mais ne s'opposant pas à un contact direct par une action délibérée

2.40

partie active (826-12-08)

conducteur ou partie conductrice destiné à être sous tension en service normal, y compris le conducteur de neutre, mais par convention, excepté le conducteur PEN, le conducteur PEM ou le conducteur PEL

NOTE La notion n'implique pas nécessairement un risque de choc électrique.

2.41

partie active dangereuse (826-12-13)

partie active qui peut provoquer, dans certaines conditions, un choc électrique nuisible

2.42

parties simultanément accessibles (826-12-12)

conducteurs ou parties conductrices qui peuvent être touchés simultanément par une personne ou par un animal

NOTE Les parties simultanément accessibles peuvent être :

- des parties actives ;
- des masses ;
- des éléments conducteurs ;
- des conducteurs de protection ;
- le sol ou un plancher conducteur.

2.43

prise de terre (826-13-05)

électrode de terre

partie conductrice, pouvant être incorporée dans le sol ou dans un milieu conducteur particulier, par exemple, béton ou coke, en contact électrique avec la Terre

2.44

protection contre les surintensités

fonction destinée à éviter que les matériels électriques ne soient parcourus par des surintensités qui leur soient nuisibles ainsi qu'à leur environnement

Elle comporte :

- la détection de surintensité ;
- la coupure en charge du circuit.

Suivant la nature des dispositifs de protection, les fonctions de détection de surintensité et de coupure en charge peuvent être assurées par le même dispositif ou par des dispositifs distincts.

2.45

sectionnement (826-17-01)

fonction destinée à assurer la mise hors tension de tout ou partie d'une installation électrique en séparant l'installation électrique ou une partie de l'installation électrique, de toute source d'énergie électrique, pour des raisons de sécurité

La fonction de sectionnement contribue à garantir la sécurité des personnes devant effectuer des travaux des réparations, la recherche de défaut ou le remplacement de matériels.

2.46

sectionneur (441-14-05)

appareil mécanique de connexion qui assure, en position d'ouverture, une distance de sectionnement satisfaisant à des conditions spécifiées

NOTE Un sectionneur est capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsqu'un courant d'intensité négligeable est interrompu ou établi, ou bien lorsqu'il ne se produit aucun changement notable de la tension aux bornes de chacun des pôles du sectionneur. Il est aussi capable de supporter des courants dans les conditions normales du circuit et de supporter des courants pendant une durée spécifiée dans des conditions anormales telles que celles du court-circuit.

2.47

sectionneur de terre (441-14-11)

appareil mécanique de connexion utilisé pour mettre à la terre des parties d'un circuit, capable de supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales telles que celles du court-circuit, mais non prévu pour supporter du courant dans les conditions normales du circuit

NOTE Un sectionneur de terre peut avoir un pouvoir de fermeture en court-circuit.

2.48

sectionneur-interrupteur (441-14-12)

interrupteur qui, dans sa position d'ouverture, satisfait aux conditions d'isolement spécifiées pour un sectionneur

Certains appareils peuvent être associés à des fusibles.

2.49

surintensité (826-11-14)

valeur de courant électrique supérieur à la valeur assignée du courant électrique

Pour les conducteurs, la valeur du courant assignée est le courant admissible.

Suivant son importance et sa durée d'application, une surintensité peut avoir ou non des effets nuisibles.

Les surintensités peuvent être la conséquence soit de surcharges dues aux appareils d'utilisation, soit de défauts tels que court-circuits ou défauts à la terre.

2.50

température ambiante (826-10-03)

température moyenne de l'air ou du milieu au voisinage du matériel

La température ambiante à considérer pour le matériel est la température résultant de l'influence de tous les matériels placés dans un même local et en fonctionnement simultané et des autres influences externes.

2.51

tension assignée de tenue aux chocs des matériels

valeur de crête d'une tension de choc de forme et de polarité prescrite que le matériel est susceptible de supporter sans dommage dans les conditions d'essais spécifiés et à laquelle on se réfère pour les valeurs des distances d'isolation

2.52

tension de contact (effective) (826-11-05)

tension de toucher (effective)

tension entre des parties conductrices quand elles sont touchées par une personne ou un animal

NOTE La valeur de la tension de contact effective peut être sensiblement influencée par l'impédance de la personne ou de l'animal en contact électrique avec ces parties conductrices.

2.53

tension de contact présumée (826-11-03)

tension de toucher présumée

tension apparaissant entre des parties conductrices simultanément accessibles quand ces parties conductrices ne sont pas touchées par une personne ou un animal

2.54

tension de défaut (826-11-02)

tension entre un point de défaut donné et la terre de référence, consécutivement à un défaut de l'isolation

2.55

tension la plus élevée pour le matériel

tension efficace entre phases la plus haute pour laquelle le matériel est spécifié en ce qui concerne son isolement ainsi que pour certaines caractéristiques qui sont éventuellement rattachées à cette tension dans les normes proposées pour chaque matériel

2.56

tension limite conventionnelle de contact présumée (U_L) (826-11-04)

tension limite conventionnelle de toucher

valeur maximale de la tension de contact présumée qu'il est admis de pouvoir maintenir indéfiniment dans des conditions d'influences externes spécifiées

Dans certains textes réglementaires, cette tension est dénommée tension limite de sécurité.

2.57

tension nominale (d'une installation électrique) (826-11-01)

tension par laquelle une installation électrique ou une partie d'installation électrique est désignée et identifiée

La valeur de la tension dans l'installation peut différer de la tension nominale dans les limites des tolérances spécifiées.

2.58
domaines de la haute tension en courant alternatif

DOMAINES	TENSION NOMINALE U ENTRE PHASES DE L'INSTALLATION (valeurs efficaces en volts)
haute tension A (HTA)	$1\ 000 < U \leq 50\ 000$
haute tension B (HTB)	$50\ 000 < U$
NOTE Pour les tensions de raccordement, il est distingué les tensions HTB1 inférieures ou égales à 130 kV et les tensions HTB2 supérieures à 130 kV.	

2.59
tranchée
ouverture réalisée dans un terrain pour y poser des câbles, et rebouchée après leur pose

TITRE 3

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES INSTALLATIONS

- Partie 3-31 :** Conception du système de distribution de l'installation électrique
- Partie 3-32 :** Caractéristiques d'alimentation
- Partie 3-33 :** Schémas des liaisons à la terre

Partie 3-31 – Conception du système de distribution de l'installation électrique

310 Introduction	32
311 Architecture de distribution de l'installation électrique	32
312 Bilan de puissance	40
313 Plan de tension	40
314 Courants de court-circuit	41
315 Régimes transitoires et stabilité de l'installation	41
316 Fiabilité et disponibilité	42
317 Limitation des perturbations	42
318 Mancœuvres d'exploitation	43
319 Maintenance	43

310 Introduction

La présente partie traite :

- de la conception du système de distribution de l'installation électrique ;
- des caractéristiques de l'alimentation ;
- des schémas des liaisons à la terre.

Le système de distribution électrique doit être conçu conformément aux règles des Articles 311 à 319.

Le choix des matériels doit être effectué en fonction des conditions d'influences externes traité en 512.

311 Architecture de distribution de l'installation électrique

L'architecture de distribution de l'installation électrique, le nombre de sources d'alimentation, leur nature et leur emplacement doivent permettre de satisfaire les contraintes d'alimentation imposées par l'usage qui est fait de l'installation.

311.1 Conception de l'architecture

Lors de la conception de l'architecture de distribution de l'installation électrique, il y a lieu de procéder successivement :

- au découpage de l'installation en zones fonctionnelles ;

Une zone fonctionnelle correspond à une partie de l'installation jouant un rôle déterminant dans l'usage qui est fait de l'installation. Une station de pompage, une ligne de production, une zone de conditionnement, par exemple, peuvent être assimilées à des zones fonctionnelles.

- à l'évaluation du niveau de criticité de chaque zone fonctionnelle ;

Le niveau de criticité d'une zone fonctionnelle dépend de l'importance du rôle que cette zone joue dans l'usage qui est fait de l'installation.

- au classement, pour chaque zone fonctionnelle, des récepteurs en fonction de leur criticité ;

Les récepteurs sont classés en fonction de leur nature (force motrice, machines spéciales, chauffage, éclairage, services auxiliaires, etc.) et de l'importance du rôle qu'ils jouent dans l'installation. On distingue généralement trois catégories de récepteurs :

- *les récepteurs non-prioritaires dont l'arrêt temporaire a peu d'incidence sur le fonctionnement de l'installation ;*
- *les récepteurs essentiels dont le fonctionnement est nécessaire pour garantir la continuité de l'exploitation ;*
- *les récepteurs vitaux liés à la sécurité des personnes et à la préservation des biens.*

- à l'établissement du niveau de dégradation tolérable de l'usage de l'installation lors des coupures temporaires et autres perturbations affectant l'alimentation ;

- à l'évaluation pour chaque zone fonctionnelle et chaque groupe de récepteurs de la durée maximale des coupures n'entraînant pas un taux de dégradation de l'usage de l'installation supérieur au niveau acceptable ;

Le temps de coupure de l'alimentation des récepteurs essentiels ou vitaux peut être nul ou de quelques dixièmes à plusieurs dizaines de secondes.

- à l'identification des événements redoutés pouvant conduire à une perte totale ou partielle d'alimentation de l'installation ainsi qu'à des perturbations profondes du fonctionnement de l'installation ;
- à la prise en compte des prescriptions réglementaires de conception exigibles pour le raccordement de l'installation au réseau public de transport ou à un réseau public de distribution, notamment si elle inclut des groupes de production destinés à fonctionner connectés au réseau, (voir [5], [6], [7], [11], [12], [15], [16] de 114).
- à la mise en place d'une architecture permettant :
 - la prise en compte des événements redoutés et la mise en place des sources de remplacement et de sécurité permettant de satisfaire les contraintes d'alimentation définies pour chaque zone fonctionnelle et chaque groupe de récepteurs ;
 - le délestage sélectif et progressif de l'installation ou son îlotage, selon les procédures convenues au préalable avec le gestionnaire du réseau de transport ou de distribution et applicables en cas de perturbations graves du réseau d'alimentation ;
 - le délestage rapide des récepteurs permettant la sauvegarde de l'installation lors de l'occurrence des incidents internes ou externes identifiés comme pouvant la mettre en péril.
- à l'évaluation, conformément aux dispositions de l'Article 316 de l'aptitude de l'architecture mise en place à satisfaire le niveau de disponibilité requis, en tout point de l'installation.

En aval du poste de livraison, les architectures les plus courantes sont :

- la simple antenne ;

L'alimentation en simple antenne avec simple jeu de barres est la plus économique mais donne la moins bonne continuité de service.

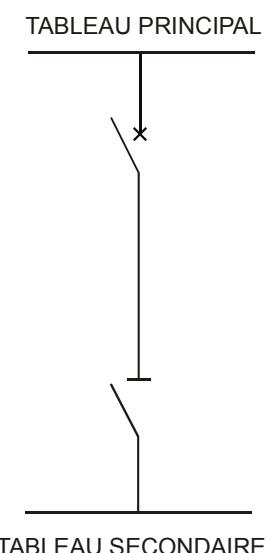


Figure 31A – Simple antenne

- la double antenne avec simple jeu de barres ;

Dans le schéma en double antenne avec simple jeu de barres, chaque antenne, calculée pour la puissance totale de l'utilisation permet le secours de l'autre. Ce schéma assure une bonne continuité d'alimentation mais il entraîne une interruption sur tous les départs en cas d'incident ou d'intervention dans le tableau. Un verrouillage doit être prévu sur les appareils des deux alimentations pour empêcher leur fermeture simultanée. Lorsque le synchronisme des deux antennes est garanti de fait ou contrôlé par un dispositif approprié, les deux alimentations peuvent être fermées simultanément pendant un court instant afin de procéder au transfert sans coupure de la charge d'une antenne sur l'autre.

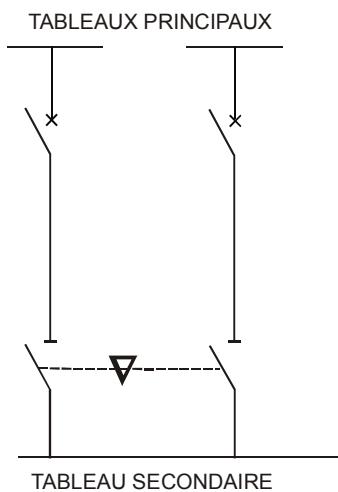


Figure 31B – Double antenne avec simple jeu de barres

- la double antenne avec jeu de barres tronçonné ;

L'alimentation en double antenne avec jeu de barres tronçonné, équipé d'un appareil de couplage des deux tronçons améliore la souplesse d'exploitation et la continuité de service, même en cas d'accident ou d'intervention dans le tableau. On s'efforce d'équilibrer les charges des deux tronçons tout en veillant à ce que les récepteurs de secours ou de remplacement ne soient pas raccordés sur le même tronçon que les récepteurs auxquels ils doivent se substituer. Un verrouillage doit interdire la fermeture simultanée des trois disjoncteurs, sauf s'il peut être vérifié que les deux antennes sont synchrones ; la fermeture momentanée des trois disjoncteurs permet alors le transfert sans coupure des charges d'une antenne sur l'autre.

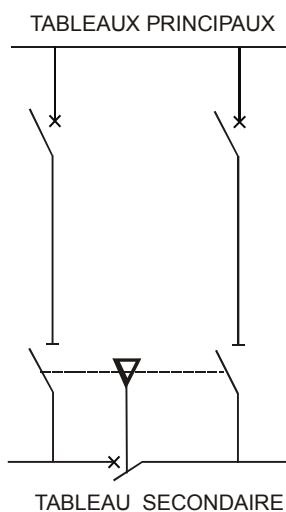


Figure 31C – Double antenne avec jeu de barres tronçonné

- les antennes multiples ;

L'alimentation en antennes multiples permet encore d'améliorer la continuité de service.

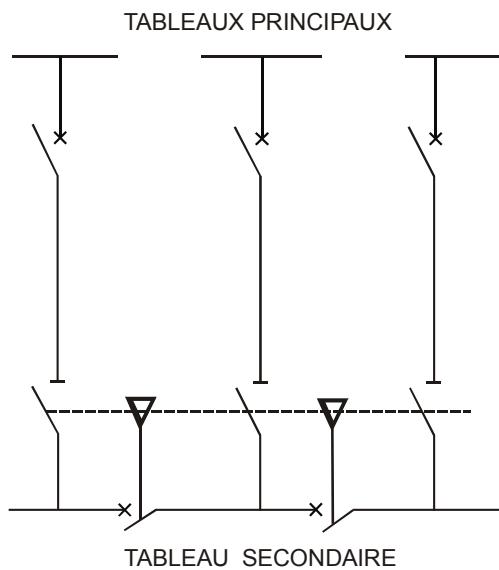


Figure 31D – Antennes multiples

- la double antenne couplée ;

L'alimentation par deux antennes couplées en permanence sur un jeu de barres procure une alimentation sans interruption en cas d'incident sur une liaison, mais il est nécessaire de prévoir un système de protection adéquat basé sur la mise en place de dispositifs directionnels. Des disjoncteurs sont nécessaires aux extrémités de chaque liaison.

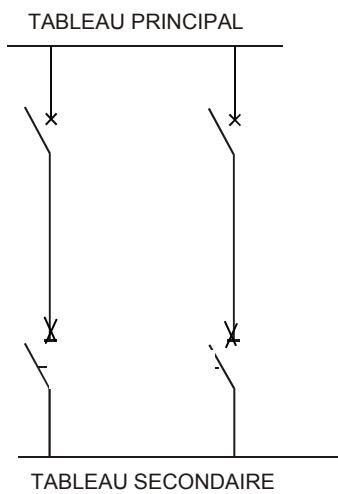


Figure 31E – Double antenne couplée

- la double antenne issue d'un double jeu de barres ;

L'alimentation en double antenne ou antennes multiples issue d'un double jeu de barres est utilisée dans les installations de fortes puissances comportant plusieurs sources autonomes couplables ou non au réseau de transport ou de distribution. Cette disposition, complétée par l'appareillage de couplage des deux jeux de barres, assure une bonne continuité de service et une grande souplesse d'exploitation pour les opérations de maintenance et les extensions. Les technologies utilisées comportent, pour chaque départ ou arrivée, une cellule unique équipée de deux sectionneurs et d'un disjoncteur. Le raccordement en double attache sur deux cellules de tableaux différents est une variante du schéma précédent.

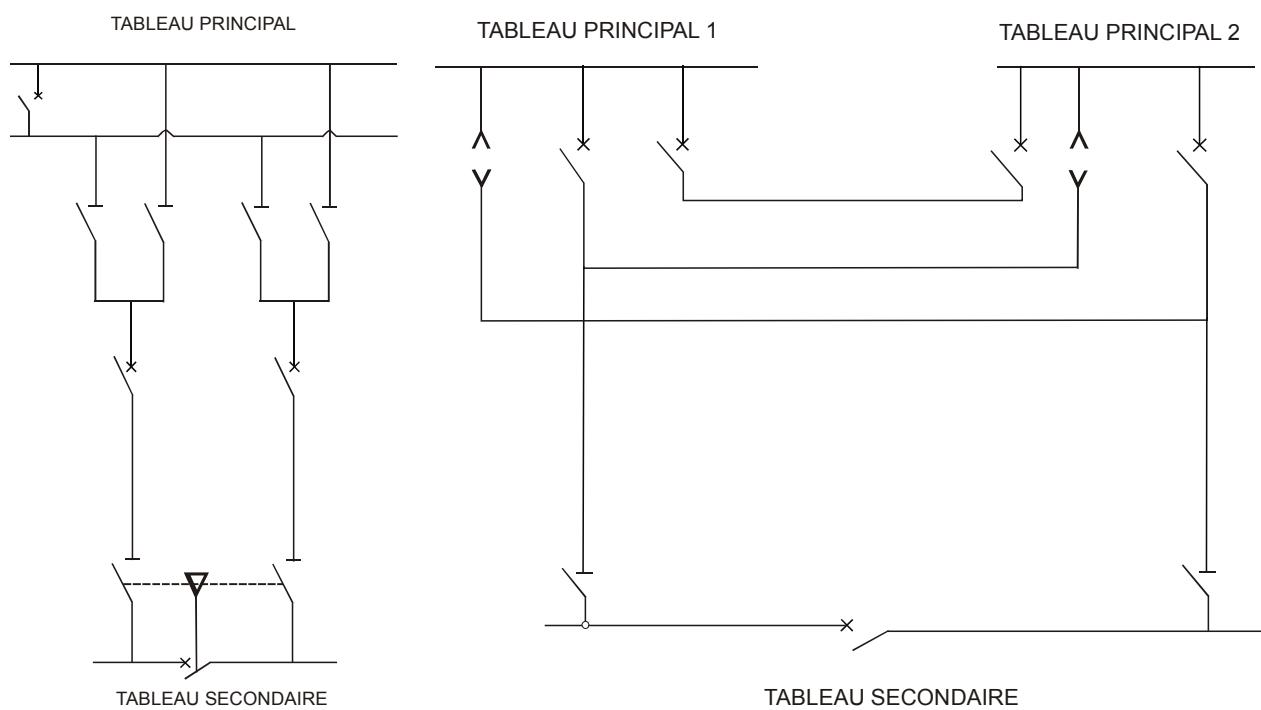


Figure 31F – Double antenne issue d'un double jeu de barres

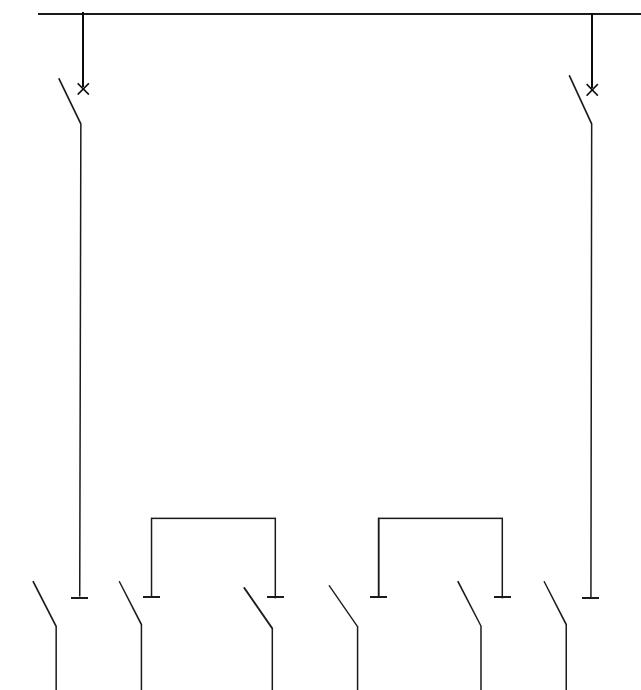
Figure 31G – Double attache

- la boucle ouverte ;

Dans le schéma en boucle ouverte, la boucle alimente plusieurs postes, chacun d'entre eux est raccordé en coupure d'artère et peut être alimenté par l'une ou l'autre des extrémités de la boucle. La possibilité de déplacer à volonté le point de coupure de la boucle permet les travaux d'extension, d'entretien ou de réparation sans interruption de service. Les défauts sur la boucle sont éliminés par les disjoncteurs d'extrémité de boucle et entraînent une interruption de service relativement longue, cette durée peut être réduite par la mise en place d'un système automatique réalisant :

- *la recherche du défaut ;*
- *l'élimination du tronçon en défaut ;*
- *la réalimentation de la boucle.*

TABLEAU PRINCIPAL



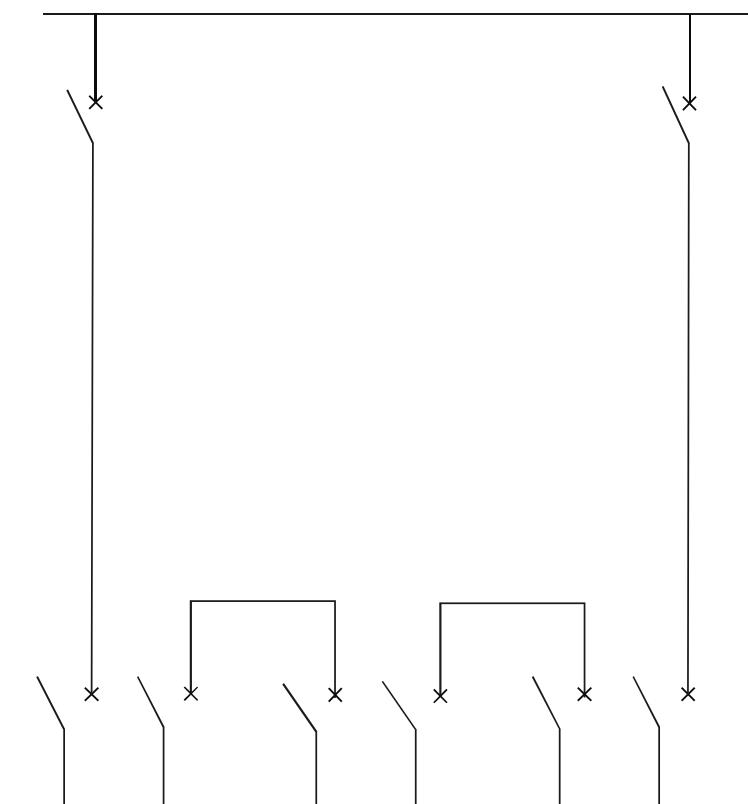
TABLEAUX SECONDAIRES

Figure 31H – Boucle ouverte

- la boucle fermée.

L'alimentation en boucle fermée autorise une exploitation sans interruption de service lors d'incidents ou de travaux sur la boucle. Elle exige toutefois un système de protection complexe basé sur l'utilisation de dispositifs directionnels ou différentiels.

TABLEAU PRINCIPAL



TABLEAUX SECONDAIRES

Figure 31J – Boucle fermée

- la double dérivation.

L'alimentation en double dérivation permet d'alimenter un ensemble de sous-stations à partir de deux sources d'alimentation indépendantes. Chaque sous-station est équipée d'un système de permutation automatique ou manuelle permettant l'alimentation de la sous-station par une source d'alimentation ou l'autre.

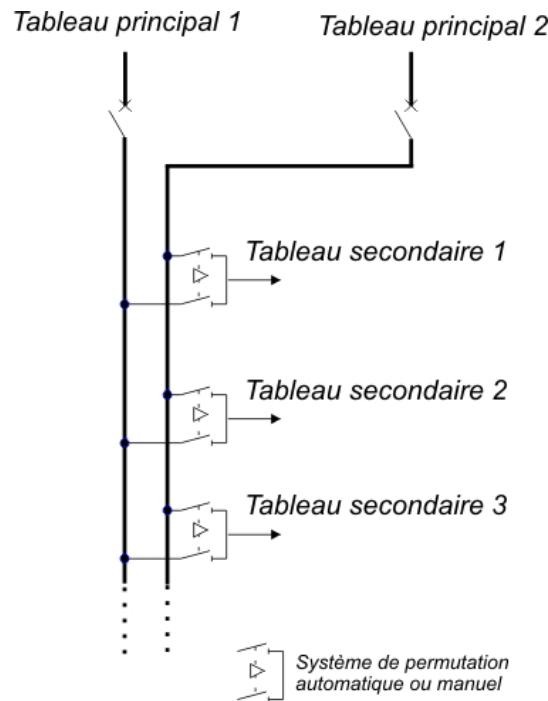


Figure 31K – Double dérivation

311.2 Sources d'alimentation

Les sources d'alimentation sont généralement de trois types :

- les sources normales ;
- les sources de remplacement ;
- les sources de sécurité.

Les sources normales sont généralement constituées par les alimentations issues du réseau de transport ou de distribution.

Les installations de cogénération et les autres moyens de production utilisés en vue de l'optimisation des coûts de l'énergie peuvent être considérés comme des sources normales d'alimentation.

Les sources de remplacement peuvent fonctionner en permanence ou non, et en parallèle ou non avec les sources normales. Leur puissance est généralement inférieure à la puissance de l'installation. Elles permettent de garantir le fonctionnement de l'installation en mode dégradé. Leur raccordement peut s'effectuer à n'importe quel niveau de l'architecture du système de distribution de l'installation électrique.

Les sources de sécurité s'imposent pour la sécurité des personnes et la préservation des biens. Elles sont nécessaires même si l'installation comporte des sources de remplacement. Elles assurent l'alimentation des récepteurs vitaux et doivent, en principe, être raccordées au plus proche de ces récepteurs.

Lorsque les sources de remplacement présentent un haut niveau de fiabilité, il peut être admis de les utiliser comme sources de sécurité. Il en est notamment ainsi lorsque les conditions suivantes sont simultanément remplies :

- *La puissance nécessaire est fournie par plusieurs sources telles qu'en cas de défaillance de l'une d'elles, la puissance encore disponible soit suffisante pour assurer le fonctionnement de tous les équipements de sécurité. Cette défaillance doit, si nécessaire, entraîner le délestage de récepteurs n'intéressant pas la sécurité ;*
- *Les équipements de sécurité doivent être alimentés par au moins deux circuits indépendants issus des sources de remplacement ;*
- *Toute défaillance d'une source de remplacement n'affecte pas le fonctionnement des autres sources.*

312 Bilan de puissance

Le bilan de puissance est nécessaire à l'établissement des flux d'énergie active et réactive en régime permanent pour toutes les parties de l'installation. Il permet de dimensionner les sources d'énergie, les systèmes de compensation d'énergie réactive, les équipements, et les canalisations électriques.

Le bilan de puissance est établi à partir des puissances assignées des récepteurs en leur appliquant, si nécessaire, des facteurs d'utilisation et de simultanéité.

Le facteur d'utilisation caractérise le fait qu'un récepteur donné absorbe en régime normal une puissance inférieure à sa puissance nominale, l'application d'un facteur inférieur à 1 nécessite la connaissance exacte des conditions d'utilisation des récepteurs.

La détermination du facteur de simultanéité implique la connaissance approfondie des conditions de fonctionnement et d'exploitation de l'installation.

Les extensions et les augmentations de puissance prévisibles doivent être prises en compte lors de la conception initiale de l'installation. Elles doivent être annoncées au gestionnaire du réseau chargé de la conception du schéma de raccordement au réseau public d'alimentation.

Les matériels électriques doivent notamment être dimensionnés pour les flux d'énergie correspondant aux extensions envisagées.

Les extensions doivent pouvoir être réalisées en toute sécurité pour le personnel, sans nécessiter la mise en place de dispositions exceptionnelles, et sans perturber le fonctionnement de l'installation au-delà des limites prévues.

313 Plan de tension

Il est nécessaire, à partir du bilan de puissance, de procéder à l'évaluation du niveau de tension en tout point de l'installation, puis de vérifier que les niveaux obtenus restent dans les plages acceptables par les récepteurs. Toute valeur pouvant conduire à une dégradation du fonctionnement des récepteurs doit remettre en cause le dimensionnement des canalisations ou l'architecture du système de distribution de l'installation électrique. Des moyens de réglages appropriés de la tension, tels que les régulateurs en charge, peuvent aussi être mis en œuvre.

314 Courants de court-circuit

Les courants de court-circuit doivent être déterminés en tout point de l'installation. Il est nécessaire de procéder aux calculs des valeurs maximales et minimales des courants de court-circuit.

Les valeurs maximales doivent être déterminées en tenant compte de toutes les sources d'alimentation pouvant fonctionner en parallèle (sources normales, sources de remplacement, sources de sécurité). La contribution des moteurs haute tension doit également être prise en compte.

En présence de générateurs il y a lieu, en complément, d'apporter une attention toute particulière à la valeur de la première crête du courant de court-circuit ainsi qu'à son taux d'asymétrie.

Les valeurs maximales des courants de court-circuit permettent de déterminer les pouvoirs de coupure et les pouvoirs de fermeture des appareillages ainsi que les niveaux de tenue électrodynamique et thermique de l'ensemble des matériels.

Elles permettent également d'identifier les points du réseau où devront préféablement être raccordés les récepteurs les plus contraignants ou les plus polluants (gros moteurs, machines à souder, fours à arc, etc.).

Si l'installation comporte des groupes de production pouvant être couplés au réseau public d'alimentation, la valeur du courant de court-circuit injecté sur le réseau public en cas de défaut externe à l'installation doit être évaluée conformément à la NF EN 60909-0 et limitée, si nécessaire, à la valeur maximale autorisée localement par le gestionnaire du réseau public.

Lorsque les courants de court-circuit atteignent des valeurs excessives, il peut être nécessaire de les limiter par l'emploi de transformateurs appropriés ou par l'insertion d'impédances de limitation, ou de tout autre dispositif limiteur, par exemple par des fusibles à rupture pyrotechnique.

Les valeurs minimales des courants de court-circuit et de défaut sont nécessaires pour fixer les réglages des protections garantissant l'élimination des défauts dans les conditions les plus faibles d'alimentation. Les calculs sont effectués en se plaçant dans la configuration d'alimentation minimale de l'installation.

Lorsque le fonctionnement des dispositifs de protection ne peut pas être assuré pour les valeurs minimales des courants de court-circuit, il y a lieu de prendre des dispositions appropriées.

Une disposition couramment utilisée consiste à surexciter les générateurs de manière à maintenir des niveaux de courant de court-circuit garantissant le fonctionnement du système de protection.

315 Régimes transitoires et stabilité de l'installation

Lorsque son usage l'exige, les conditions exceptionnelles de fonctionnement de l'installation doivent être prises en compte lors de sa conception, notamment lors de l'apparition d'un événement critique de nature à la perturber profondément. Il doit alors être vérifié que l'installation retrouve un régime de fonctionnement normal après la disparition d'un tel événement.

Les événements critiques sont généralement :

- *la perte du réseau d'alimentation ;*
- *les variations exceptionnelles de fréquence et/ou de tension du réseau public d'alimentation telles que définies dans le décret 2003-588, (voir 114, [6]) ;*
- *la perte d'une source de production interne ;*
- *un court-circuit sur le réseau d'alimentation ;*
- *un court-circuit à l'intérieur de l'installation ;*
- *la mise sous tension d'une charge ou d'un moteur de forte puissance devant la puissance du réseau ;*
- *une perturbation de la tension d'alimentation suivie d'un retour à la normale (creux de tension et coupure brève).*

Lorsque le retour à un fonctionnement normal ne peut pas être garanti et lorsque l'usage de l'installation l'exige, des mesures de sauvegarde doivent être prises telles que le délestage rapide d'une partie des récepteurs ou une reconfiguration automatique du système de distribution.

Les installations de production raccordées au réseau de transport doivent faire l'objet d'une étude de stabilité dans les conditions prescrites dans l'arrêté du 23 avril 2008, (voir 114, [15]).

316 Fiabilité et disponibilité

Les équipements et matériels mis en œuvre, ainsi que l'architecture du système de distribution de l'installation électrique, doivent permettre de garantir les contraintes d'alimentation et de continuité de service requises par l'installation et les récepteurs.

Une étude de disponibilité prenant en compte le taux de fiabilité des équipements et l'architecture du système de distribution de l'installation électrique peut être requise pour montrer que le nombre et la durée des coupures ou interruptions probables de l'alimentation ne dépassent pas les valeurs conduisant à une dégradation inacceptable de l'usage de l'installation.

Les résultats de l'étude peuvent conduire à la recherche d'une architecture mieux adaptée et à l'emploi de matériels plus performants.

317 Limitation des perturbations

Les installations reliées au réseau de transport ou de distribution ne doivent pas perturber le réseau, en fonctionnement normal et lors de la mise en et hors service des récepteurs équipant ces installations.

Il y a lieu de veiller au niveau de perturbation injectée dans le réseau d'alimentation et de le maintenir au-dessous des taux préconisés au point de raccordement de l'installation conformément aux décrets et arrêtés sur les conditions de raccordement (voir 114, [5], [6], [7], [15] et [16]).

Les installations raccordées à un réseau public équipé d'un dispositif de réenclenchement automatique, doivent être adaptées à ce mode d'exploitation.

Les installations doivent également être conçues pour supporter les perturbations d'origine interne et externe générées en régime normal d'exploitation et lors des régimes exceptionnels.

Il y a lieu, dans certains cas, de séparer les récepteurs sensibles des récepteurs polluants et de réduire, par des moyens appropriés, les niveaux de perturbation générés par les récepteurs polluants à des valeurs acceptables par les récepteurs sensibles. A cet effet, les récepteurs sont classés en fonction d'une part du niveau de perturbation qu'ils génèrent, et d'autre part de leur sensibilité aux perturbations.

Les perturbations produites par les récepteurs sont principalement :

- *les distorsions harmoniques (électronique de puissance) ;*
- *les déséquilibres (récepteurs monophasés) ;*
- *les fluctuations rapides de tensions (flicker) (fours à arc) ;*
- *les à-coups de tension (dû au courant de démarrage des moteurs).*

Les perturbations peuvent générer :

- *des échauffements dangereux ;*
- *des surtensions ;*
- *des résonances ;*
- *des chutes de tension ;*
- *des contraintes mécaniques dans les machines tournantes ;*
- *des dysfonctionnements, arrêts ou détérioration de machines.*

En régime normal d'alimentation, les perturbations provenant du réseau public peuvent être :

- *des creux de tension ;*
- *des coupures brèves ;*
- *des coupures longues ;*
- *des surtensions temporaires ;*
- *des surtensions transitoires (chocs de manœuvre ou chocs de foudre) ;*
- *des fluctuations rapides de tension (flicker) ;*
- *des distorsions harmoniques.*

En régime exceptionnel (dégradé) du réseau public de transport, la tension et la fréquence d'alimentation peuvent atteindre les valeurs indiquées dans l'arrêté du 23 avril 2008 [15].

Les perturbations affectant la continuité de la tension d'alimentation (creux de tension - coupures brèves et coupures longues) peuvent être réduites par une ligne d'alimentation de secours, fonctionnant en permanence ou non avec l'alimentation principale ou au moyen de sources de remplacement ou par des alimentations sans interruption.

La réduction des perturbations affectant l'onde de la tension (harmonique, flicker, déséquilibre) et de leurs conséquences est généralement réalisée au moyen de filtres passifs ou actifs dont l'implantation nécessite des études approfondies. Dans tous les cas, le raccordement des récepteurs polluants aux niveaux les plus élevés de puissance de court-circuit, généralement les niveaux de tension les plus élevées, est de nature à réduire ces phénomènes.

318 Manœuvres d'exploitation

Les manœuvres d'exploitation nécessaires pour modifier l'architecture de distribution de l'installation électrique doivent être simples et ne pas perturber le fonctionnement de l'installation au-delà des niveaux acceptables.

319 Maintenance

La maintenance doit pouvoir être réalisée en toute sécurité pour le personnel et sans perturber l'installation au-delà des limites prévues. Les verrouillages nécessaires aux consignations des zones et matériels sur lesquels le personnel peut intervenir, doivent être prévus à la conception de l'installation.

NF C 13-200

Partie 3-31

(page blanche)

Partie 3-32 – Caractéristiques d'alimentation

320 Introduction.....	47
321 Tensions nominales.....	47
322 Isolement de l'installation	48

NF C 13-200

Partie 3-32

(page blanche)

320 Introduction

Les caractéristiques d'alimentation concernent essentiellement la tension et le niveau d'isolement.

321 Tensions nominales

321.1 Tension nominale du réseau d'alimentation

Elle est choisie en liaison avec le gestionnaire du réseau et en fonction :

- de la puissance souscrite ;
- des possibilités du réseau (tensions disponibles, proximité) ;
- du fonctionnement des récepteurs, en particulier de leur caractère éventuellement perturbateur ou inversement de leur sensibilité à certaines perturbations ;
- de la puissance de court-circuit minimale requise.

Les arrêtés sur les conditions techniques de raccordement aux réseaux publics de transport et de distribution définissent un domaine de tension de référence pour le raccordement des installations. Ce domaine de tension est choisi compte tenu de la puissance de l'installation et de son éloignement du poste public de transformation assurant son alimentation.

Au point de livraison d'une installation, les plages de variation de tension du réseau en régime normal sont :

- de 200 kV à 245 kV pour le réseau 225 kV ;
- $\pm 8\%$ de la tension contractuelle pour le réseau 90 kV, sans dépasser 100 kV, la tension contractuelle étant fixée dans une plage de $+/-6\%$ de la tension nominale du réseau ;
- $\pm 8\%$ de la tension contractuelle pour le réseau 63 kV, la tension contractuelle étant fixée dans une plage de $+/-6\%$ de la tension nominale du réseau ;
- $\pm 5\%$ de la tension contractuelle pour le réseau HTA, la tension contractuelle étant fixée dans une plage de $+/-5\%$ de la tension nominale du réseau.

Les régimes exceptionnels sont précisés dans les décrets et arrêtés (voir 114, [5], [6], [7], [15], et [16]).

321.2 Tension nominale de l'installation

Sa valeur est déterminée en fonction de la tension du réseau d'alimentation, de la tension d'alimentation des récepteurs, de la répartition et de la puissance des récepteurs, de l'étendue de l'installation, du fonctionnement particulier de certains récepteurs et de la puissance minimale de court-circuit nécessaire au bon fonctionnement des récepteurs.

L'installation relie le poste de livraison aux récepteurs ou aux postes de transformation HT/HT ou HT/BT. Suivant la puissance nécessaire (voir 312), il est possible d'adopter :

- soit la même tension que celle du réseau d'alimentation (voir 321.1) ;
- soit la tension nominale des récepteurs alimentés directement (voir 321.3) ;
- soit une tension intermédiaire entre celle du réseau d'alimentation et celle des récepteurs : par exemple, la tension de 20 kV si celle du réseau d'alimentation est de 63 kV et celle des récepteurs de 6 kV.

321.3 Tension nominale d'alimentation des matériels et des récepteurs HT

La valeur de cette tension est généralement comprise entre 3 kV et 20 kV.

Pour les machines tournantes de puissance supérieure à quelques centaines de kilowatts, il est économiquement et techniquement intéressant de les alimenter en 3,3 kV, en 6,6 kV, voire en 11 kV. La valeur de la tension d'alimentation résulte d'une étude technico-économique prenant en compte le coût de la machine, son mode de démarrage et le coût de l'appareillage.

Pour les chaudières électriques de fortes puissances (jusqu'à plusieurs dizaines de mégawatts), la tension d'alimentation peut atteindre 20 kV.

322 Isolement de l'installation

322.1 Tension la plus élevée pour le matériel

La tension la plus élevée pour le matériel est choisie en fonction de la tension nominale de l'installation conformément aux indications du Tableau 32B.

*Les valeurs du Tableau 32B ne s'opposent pas à l'emploi de matériels surisolés, dans le cas par exemple de zones fortement polluées ou d'altitudes supérieures à 1 000 m.
Il est également possible de mettre en œuvre les matériels en les protégeant par des dispositions adaptées, telles que par exemple leur installation dans des locaux à atmosphère contrôlée.*

Compte tenu de la tension nominale de l'installation des niveaux de surtensions temporaires et permanentes et des conditions d'exploitation de l'installation, la tension assignée pour les matériels est choisie parmi les valeurs suivantes :

3,6 kV – 7,2 kV – 12 kV – 17,5 kV – 24 kV – 36 kV – 52 kV – 72,5 kV – 100 kV – 145 kV – 175 kV et 245 kV.

322.2 Niveau d'isolement

Les matériels à haute tension doivent au moins présenter des valeurs de tensions de tenue assignées, en accord avec les valeurs indiquées dans le Tableau 32B.

Le niveau d'isolement assigné est généralement défini par la valeur de la tension de tenue aux chocs et par la valeur de la tension de tenue à fréquence industrielle.

Pour certains matériels, par exemple l'appareillage, plusieurs niveaux d'isolement sont prévus pour une même tension assignée. Le niveau d'isolement approprié est choisi en fonction du degré d'exposition aux surtensions transitoires atmosphériques et de manœuvre, le schéma des liaisons à la terre et le type de dispositif de protection contre les surtensions.

Lorsque les installations comportent des lignes aériennes ou des parties actives nues, les distances minimales d'installation du Tableau 32B doivent être respectées.

Tableau 32B – Distances minimales d'installation (en m)

Tension nominale de l'installation U (kV)	3 / 3,3	6 / 6,6	10 / 11	15	20	30 / 33	45	63 / 66	90	150	225
Tension assignée pour le matériel U_m (kV)	3,6	7,2	12	17,5	24	36	52	72,5	100	170	245
Tension assignée de courte durée à fréquence industrielle....(kV efficace)	10	20	28	38	50	70	95	140	185	325	460
Tension assignée de tenue aux chocs de foudre 1,2/50(kV crête)	20 ou 40	40 ou 60	60 ou 75	75 ou 95	95 ou 125	145 ou 170	250	325	450	750	1 050
I – A l'extérieur des bâtiments											
1.1 Entraxe d'ancrage de lignes situées dans un plan horizontal .	0,50	0,50	0,60	0,67	0,75	1,0	1,25	1,5(3)	2,0	3,5	4,75
1.2 Entraxe d'ancrage de lignes situées dans un plan vertical	0,75	0,75	0,85	0,95	1,0	1,50	1,80	2,20			
1.3 Distance entre parties actives nues de phases différentes.....	0,12	0,12	0,15	0,20	0,26	0,35	0,51	0,76	1,06	1,75	2,47
1.4 Distances entre parties actives nues et masses.....	0,12	0,12	0,15	0,20	0,26	0,35	0,51	0,76	0,92	1,55	2,14
II – A l'intérieur des bâtiments											
2.1 Distance entre parties actives nues de phases différentes.....	0,06	0,09	0,12	0,16	0,22	0,32	0,48	0,66	0,92		
2.2 Distances entre parties actives nues et parois ou masses	0,06	0,09	0,12	0,16	0,22	0,32	0,48	0,66	0,92		
III – A l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments											
3.1 Distances entre parties actives nues et panneaux pleins, perforés ou grillagés constituant des obstacles.....	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,9	2,5

Les valeurs du Tableau 32B ne s'appliquent pas aux matériels multipolaires ni aux matériels sous enveloppe essayés en usine conformément aux normes les concernant.

322.3 Disjoncteurs et sectionneurs

Les tenues diélectriques de l'appareillage des postes ouverts des réseaux de 45 kV à 225 kV sont choisies dans la norme NF EN 60694 et sont rappelées dans le Tableau 32C.

Tableau 32C – Tensions de tenue de l'appareillage des postes ouverts (disjoncteurs et sectionneurs) pour les tensions des réseaux de 45 kV à 225 kV

Tension du réseau en kV efficace	Tension assignée U_r en kV efficace (1)	Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle U_d en kV efficace		Tension de tenue assignée aux chocs de foudre U_p en kV crête	
		valeur commune (2)	sur la distance de sectionnement (3)	valeur commune (2)	sur la distance de sectionnement (3)
45	52	95	110	250	290
63	72,5	140	160	325	375
90	100	185	210	450	520
150	170	325	375	750	860
225	245	460	530	1 050	1 200

(1) La tension assignée correspond à la limite supérieure de la tension du réseau pour laquelle l'appareillage est prévu et au-delà de laquelle la tenue diélectrique mais aussi les pouvoirs de coupures ne sont plus garantis.

(2) Les « valeurs communes » s'appliquent quel que soit l'appareil, entre phases, entre phase et terre, et pour chacune des phases entre les bornes du pôle ouvert.

(3) Les valeurs de tenue « sur la distance de sectionnement » ne s'appliquent qu'aux sectionneurs.

Partie 3-33 – Schémas des liaisons a la terre

330 Généralités	52
331 Schémas des liaisons à la terre de la partie haute tension de l'installation	52
332 Schémas des liaisons à la terre des parties basse tension de l'installation	66

330 Généralités

Il y a lieu de considérer :

- les schémas des liaisons à la terre des parties haute tension de l'installation en prenant en compte le schéma de liaison à la terre du réseau public d'alimentation ;
- les schémas des liaisons à la terre des parties basse tension de l'installation en prenant en compte le schéma des liaisons à la terre des masses des postes haute-tension/basse-tension.

331 Schémas des liaisons à la terre de la partie haute tension de l'installation

331.1 Généralités

Il est nécessaire de considérer :

- la situation du neutre de l'installation par rapport à la terre ;
- les liaisons à la terre des masses de l'installation et leur situation par rapport à la prise de terre du neutre de l'installation ;
- les liaisons à la terre des masses du poste d'alimentation et leur situation par rapport à la prise de terre du neutre de l'installation.

331.1.1 Classification des liaisons de schéma à la terre

La NF C 13-000 indique la classification suivante des schémas des liaisons à la terre :

- **schéma avec neutre isolé** : Schéma dans lequel les neutres des transformateurs et des alternateurs ne sont pas intentionnellement mis à la terre ; des liaisons à haute impédance à des fins de signalisation, de mesure ou de protection peuvent néanmoins être raccordées entre le point neutre et la terre ;

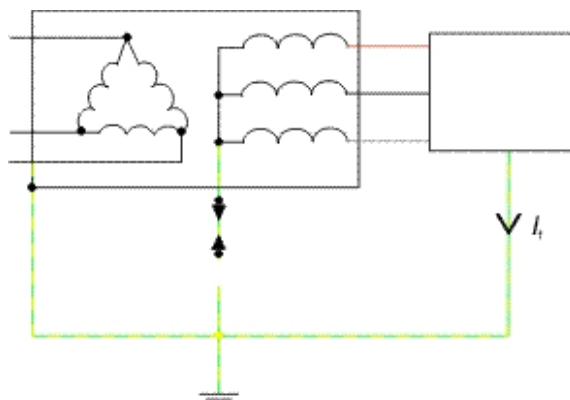


Figure 33A – Schéma avec neutre isolé

- **schéma avec neutre compensé** : Schéma dans lequel le neutre d'un transformateur ou d'un transformateur de mise à la terre est mis à la terre à travers une bobine d'extinction d'arc. L'inductance de la bobine est accordée avec la capacité phase-terre de l'installation à la fréquence de fonctionnement ;

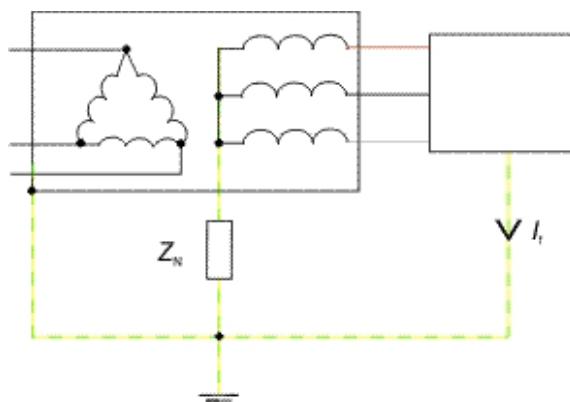


Figure 33B – Schéma avec neutre compensé

Le schéma avec neutre compensé est généralement réservé au réseau de distribution public.

Le choix d'un schéma avec neutre compensé n'est pas recommandé dans les installations industrielles

- **schéma avec neutre faiblement impédant** : Schéma dans lequel au moins le neutre d'un transformateur, d'un transformateur de mise à la terre ou d'un alternateur est mis à la terre directement ou à travers une impédance de valeur telle que le courant de défaut à la terre, quel que soit l'endroit du défaut, garantisse de façon certaine le fonctionnement des dispositifs de protection provoquant la coupure automatique de l'alimentation ;

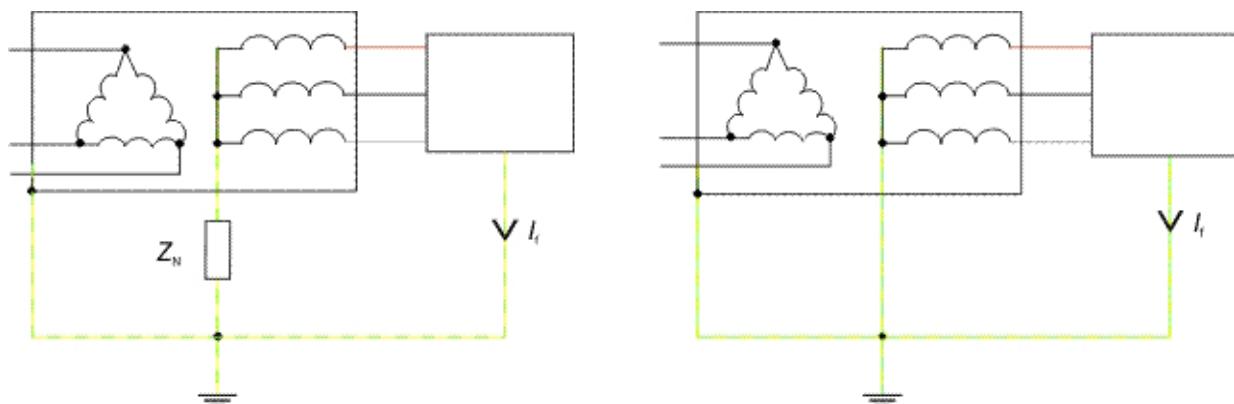


Figure 33C – Schéma avec neutre faiblement impédant

331.1.2 Sources pouvant fonctionner en parallèle

Lorsque le système de distribution interne à l'installation est alimenté par plusieurs sources (transformateurs et/ou générateurs) pouvant fonctionner en parallèle, il est déconseillé de raccorder tous les points neutres accessibles à la terre. Cette disposition nécessite, en effet, la mise en place d'un système de protection complexe, basé sur l'utilisation de dispositifs directionnels ; elle lie, d'autre part, les valeurs des courants de défaut au nombre de sources fonctionnant en parallèle.

Il est recommandé de créer un point neutre artificiel au moyen d'un générateur homopolaire raccordé sur un jeu de barres commun à toutes les sources (voir Figures 33D et 33E). Cette configuration procure des courants de défaut indépendants du nombre de sources en service et autorise la mise en place d'un système de protection simple basé sur l'emploi de dispositif à maximum de courant homopolaire classique.

331.1.3 Installations alimentées par plusieurs sources indépendantes

Lorsqu'une installation peut être alimentée par deux ou plusieurs sources indépendantes, il est recommandé d'utiliser le même schéma des liaisons à la terre, quel que soit le cas d'alimentation. Lorsque cette condition ne peut pas être remplie, il doit être vérifié que les dispositions prises pour la mise à la terre des points neutres des différentes sources d'alimentation permettent le fonctionnement du système de protection contre les défauts à la terre, quel que soit le mode d'alimentation de l'installation.

Cette situation se rencontre par exemple lorsque l'installation peut être alimentée par le réseau public de distribution d'une part et des sources de remplacement d'autre part (cas des Figures 33D et 33E).

Un générateur homopolaire est affecté aux sources de remplacement, il est mis en service lorsque celles-ci fonctionnent en l'absence du réseau HT.

331.2 Situation du neutre des installations alimentées par le réseau de distribution HTA ou le réseau de transport HTB

331.2.1 Installations alimentées par le réseau public de distribution HTA

Lorsque l'installation est alimentée par le réseau de distribution HTA, la situation du neutre est fixée par le gestionnaire du réseau de distribution et aucune mise à la terre complémentaire du neutre ne doit être réalisée dans l'installation par quelque moyen que ce soit.

Les courants de défaut à la terre sont conventionnellement égaux à :

- 40 A dans les réseaux aériens ou mixtes à neutre compensé ;
- 150 A ou 300 A dans les réseaux aériens ou mixtes à neutre faiblement impédant ;
- 1 000 A dans les réseaux souterrains à neutre faiblement impédant.

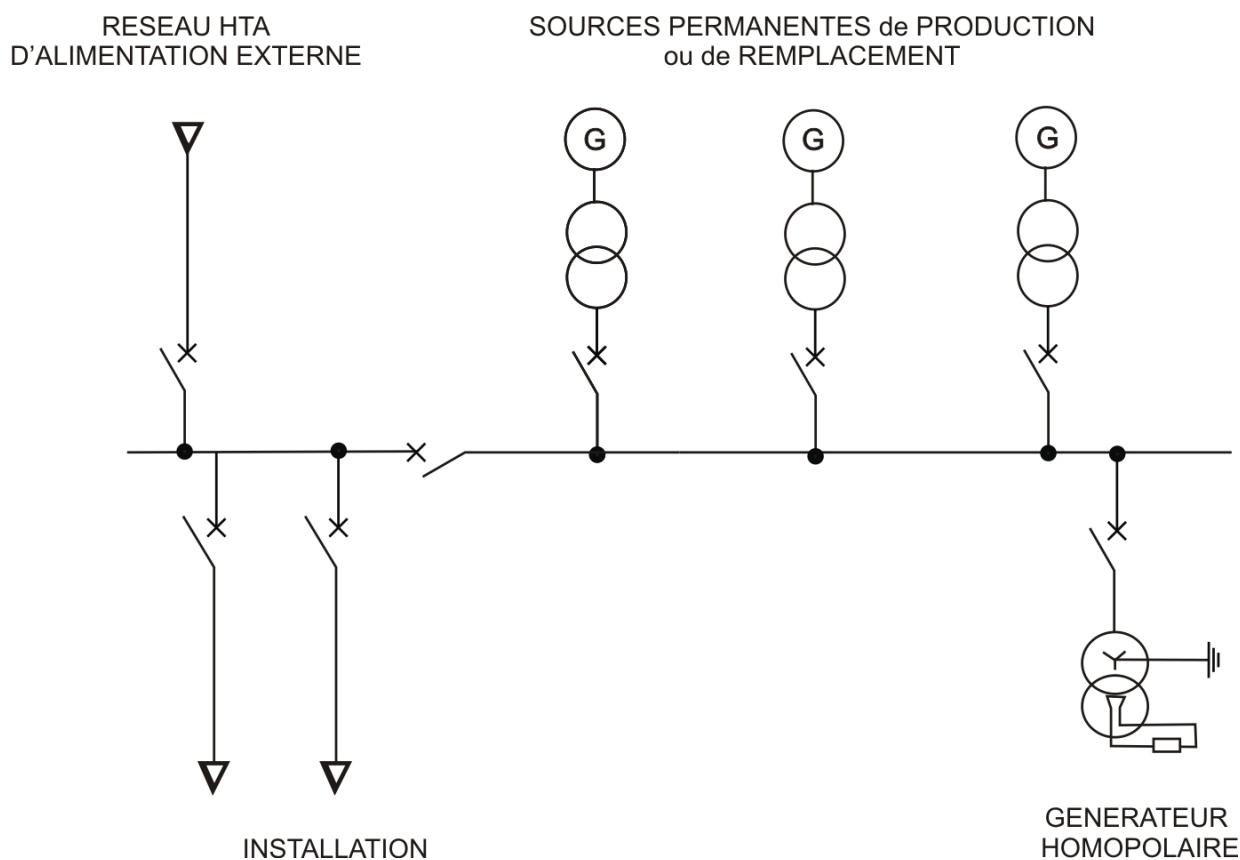


Figure 33D – Schéma d'alimentation incluant des sources internes pouvant être couplées au réseau HTA

Lorsque l'installation comporte des sources internes de production pouvant ou non fonctionner en parallèle avec le réseau d'alimentation et qu'il n'existe pas de transformateur entre le réseau et l'installation, un point neutre artificiel réalisé au moyen d'un générateur homopolaire doit être créé au niveau du jeu de bornes réalisant le couplage des sources internes. Le générateur homopolaire doit être déconnecté par un dispositif approprié lorsque les sources internes fonctionnent en parallèle avec le réseau d'alimentation (voir Figure 33D).

331.2.2 Installations alimentées par le réseau public de transport HTB

Lorsque l'installation est alimentée par le réseau HTB de transport, la mise à la terre du point neutre primaire du ou des transformateur(s) réalisant l'interface entre le réseau et l'installation peut être exigée par le gestionnaire du réseau (Voir Figure 33E).

En 63 kV ou 90 kV le gestionnaire du réseau de transport précise au cas par cas si le point neutre primaire doit ou non être relié à la terre, en particulier si des groupes de production interne sont raccordés en permanence au réseau.

En 150 kV et 225 kV ce point neutre doit être systématiquement relié à la terre.

Lorsque la liaison à la terre du neutre primaire est exigée, le gestionnaire précise soit la valeur de l'impédance à connecter entre le point neutre et la terre, soit la valeur du courant homopolaire limitée par cette impédance.

Les valeurs des courants de défaut sont fournies par le gestionnaire du réseau.

A l'intérieur de l'installation, il est nécessaire de réaliser un point neutre artificiel au moyen d'un générateur homopolaire raccordé au niveau du jeu de barre réalisant le couplage des sources internes et externes d'alimentation (voir Figure 33E).

RESEAU HTB

SOURCES PERMANENTES de PRODUCTION
ou de REMPLACEMENT

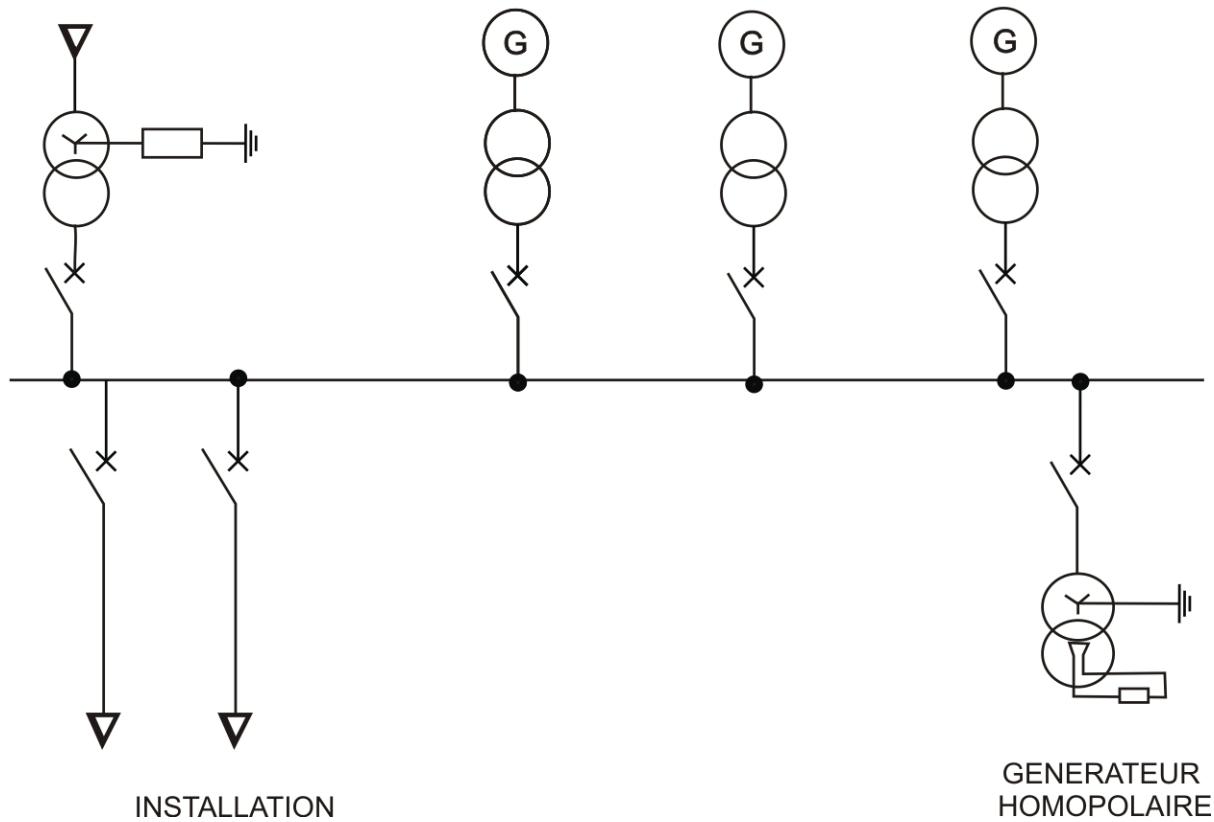


Figure 33E – Schéma d'alimentation par le réseau de transport

331.3 Situation du neutre des installations séparées du réseau public d'alimentation

Lorsque les installations sont séparées du réseau public d'alimentation par un ou plusieurs transformateurs de puissance, il est nécessaire de fixer la situation du neutre par rapport à la terre.

331.3.1 Installations dont le point neutre est directement raccordé à la terre

Le raccordement du neutre directement à la terre a pour effet le développement de courants de défaut équivalents au courant de court-circuit monophasé et en conséquence l'apparition de tensions de contact élevées. Les dommages causés aux équipements sont généralement très importants. La mise en œuvre de ce schéma est délicate et requiert une attention particulière. Il implique la coupure de l'alimentation au premier défaut d'isolement.

331.3.2 Installations dont le point neutre est raccordé à la terre par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance

La mise à la terre du neutre au moyen d'une résistance ou d'une réactance permet de :

- réduire les courants de défaut ;
- limiter les tensions de contact ;
- réduire les dommages causés aux équipements.

Le courant de défaut est égal à la somme du courant se refermant par le point neutre d'une part, et du courant résiduel capacitif de l'installation d'autre part.

$$I_f = I_N + 3j.C.\omega.U_0$$

U_0 (V) tension simple du réseau

I_N (A) partie du courant de défaut se refermant par le point neutre

Les écrans des câbles et les conducteurs de protections doivent être dimensionnés pour supporter sans dommage le courant de défaut jusqu'à son élimination.

Il est recommandé de maintenir le courant de défaut à quelques dizaines d'ampères et, en tout état de cause, à moins de 100 A. Ces valeurs permettent de limiter les conséquences des défauts (dommages aux équipements et tensions de contact) ; elles autorisent, d'autre part, la mise en place d'un système de protection simple et robuste.

La valeur du courant de défaut a une forte incidence sur le choix et la mise en œuvre des matériels. Les machines tournantes, en particulier, risquent d'être fortement endommagées lorsque la valeur du courant de défaut excède 40 A.

Lorsque le neutre est relié à la terre par une résistance, la valeur du courant limité par la résistance doit au moins être égale au double du courant résiduel capacitif de l'installation, de manière à limiter l'amplitude des surtensions transitoires :

$$I_N \geq 6 C.\omega.U_0$$

$$R \leq 1 / 6C.\omega.$$

La mise à la terre du neutre par réactance de limitation est déconseillée. Elle est en effet de nature à amplifier l'amplitude des surtensions transitoires lors de l'élimination des défauts d'isolement.

331.3.3 Installations dont le point neutre est isolé de la terre

Le neutre isolé permet de limiter les courants de défaut à des valeurs au plus égales au courant résiduel capacitif de l'installation :

$$I_f = 3j.C.\omega.U_0$$

U₀ (V) tension simple du réseau

Pour les installations à neutre isolé, il est nécessaire de tenir compte des élévations du potentiel des phases saines par rapport à la terre. Celles-ci se développent principalement lors des défauts d'isolement et peuvent atteindre la tension composée du réseau. Le niveau d'isolation des matériels doit être déterminé en conséquence et en prenant en compte le temps défini pour la recherche et l'élimination des défauts à la terre.

Les contraintes imposées aux équipements et les tensions de contact restent en général au-dessous des limites imposant la coupure de l'alimentation. Ce schéma autorise donc la poursuite de l'exploitation de l'installation en présence d'un premier défaut d'isolement. Il est recommandé pour les installations exigeant un niveau de continuité de service élevé et les installations de sécurité.

331.4 Situation des masses de l'installation

Les masses de l'installation doivent être interconnectées ensemble ou par groupes et reliées à une prise de terre. Deux masses simultanément accessibles doivent être reliées par une liaison équipotentielle.

Il est recommandé que l'ensemble des masses de l'installation soient interconnectées entre elles et raccordées à une prise de terre commune constituée par un circuit de terre à fond de fouille couvrant l'ensemble de l'installation. Il est admis que les masses de récepteurs éloignés soient raccordées à des prises ou circuits de terre à fond de fouilles séparés.

331.5 Situation du neutre et des masses du poste

Les masses du poste alimentant l'installation sont interconnectées et reliées à la prise de terre du neutre du système de distribution de l'installation électrique.

Le poste contient généralement le ou les transformateurs alimentant l'installation. Les masses du poste et des transformateurs sont donc interconnectées de fait et reliées à la prise de terre du neutre du système de distribution de l'installation électrique.

331.6 Schémas possibles

Les calculs de courants de défaut effectués dans le présent paragraphe supposent un couplage triangle-étoile des transformateurs.

D'autres couplages de transformateurs sont envisageables, par exemple étoile-étoile, étoile triangle avec générateur homopolaire, etc.

331.6.1 Schémas avec neutre faiblement impédant, le neutre étant relié directement à la terre

331.6.1.1 Schéma avec prise de terre commune

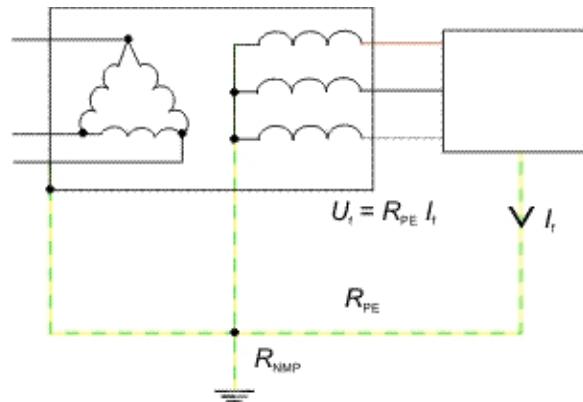


Figure 33F – Schéma avec neutre relié directement à la terre et avec prise de terre commune

Le neutre, les masses de l'installation et les masses du poste d'alimentation sont interconnectés et raccordés à une prise de terre commune R_{NMP} .

Le courant de défaut est de l'ordre de grandeur du courant de court-circuit monophasé.
Ce schéma n'est autorisé que lorsque l'équipotentialité totale de l'installation peut être réalisée.

Dans la pratique, il ne s'applique qu'à des installations compactes pour lesquelles une surface équipotentielle supportant l'ensemble des matériels, y compris le transformateur d'alimentation, peut être créée. Les installations entrant dans cette catégorie sont traitées en Partie 7.

Ce schéma peut être imposé pour des récepteurs particuliers, les chaudières électriques par exemple, dont les courants de charges s'établissent entre chacune des phases et la masse.

331.6.1.2 Schéma avec prises de terre séparées

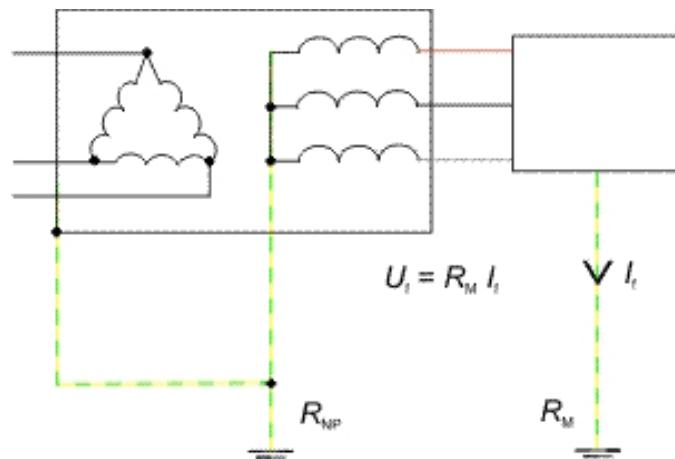


Figure 33G – Schéma avec neutre relié directement à la terre et avec prises de terre séparées

Le neutre et les masses du poste d'alimentation sont interconnectés et reliés à une prise de terre commune R_{NP} .

Les masses de l'installation sont interconnectées et reliées à une prise de terre R_M séparée de la prise de terre du neutre. Le courant de défaut est limité par les résistances des prises de terre R_{NP} et R_M .

$$I_f = U_0 / (R_{NP} + R_M)$$

U_0 est la tension simple du réseau

L'élévation du potentiel des masses est généralement très élevée.

$$U_f = \frac{R_M}{R_{NP} + R_M} \cdot U_0$$

Pour $U = 6\,000\text{ V}$, $R_{NP} = R_M = 1\Omega$ et $U_f = 6\,000 / (\sqrt{3} \cdot 2) = 1\,732\text{ V}$

Ce schéma est déconseillé ; en effet, le courant de défaut n'étant pratiquement limité que par les impédances des prises de terre, il se développe à l'approche de la zone équipotentielle des tensions de pas et de contact dangereuses non maîtrisables dépendant des valeurs relatives des prises de terre du poste et de l'installation.

331.6.2 Schémas avec neutre faiblement impédant, le neutre étant raccordé à la terre par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance

331.6.2.1 Schéma avec prise de terre commune

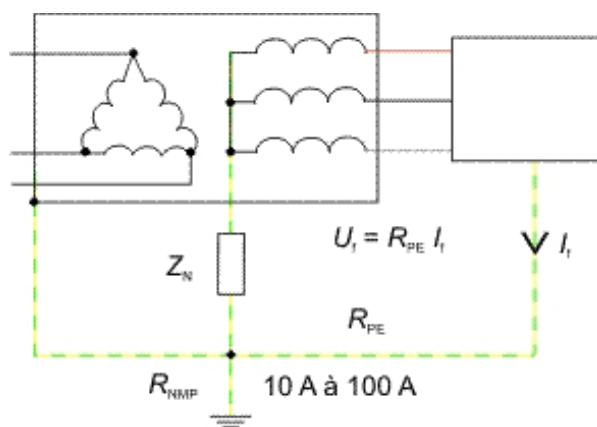


Figure 33H – Schéma avec neutre relié à la terre par une résistance ou une réactance et avec prise de terre commune

Le neutre est raccordé par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance Z_N à une prise de terre R_{NMP} .

Les masses de l'installation et du poste d'alimentation sont interconnectées et reliées à la prise de terre commune R_{NMP} .

Le courant de défaut est contrôlé par la résistance ou la réactance de mise à la terre du neutre. Il est égal à la somme du courant se refermant par le neutre et du courant capacitif du système de distribution de l'installation électrique.

$$I_f = \frac{U_0}{Z_N} + 3 \cdot j \cdot C \cdot \Omega \cdot U_0$$

U_0 (V) tension simple du réseau

Les élévations du potentiel des masses sont égales aux chutes de tension qui se développent le long des conducteurs de protection :

$$U_f = R_{PE} \times I_f$$

R_{PE} (Ω) résistance des conducteurs de protection

I_f (A) courant de défaut

Pour un courant de défaut limité à 50 A par une résistance de mise à la terre du point neutre et pour un conducteur de protection en cuivre de longueur 50 m et ayant une section de 50 mm², la tension de contact U_f est donnée par la formule suivante en négligeant les courants capacitifs :

$$U_f = \rho \frac{L}{S} I_f$$

$\rho = 2,3 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

$U_f = 1,15$ volts

331.6.2.2 Schéma avec prises de terre séparées

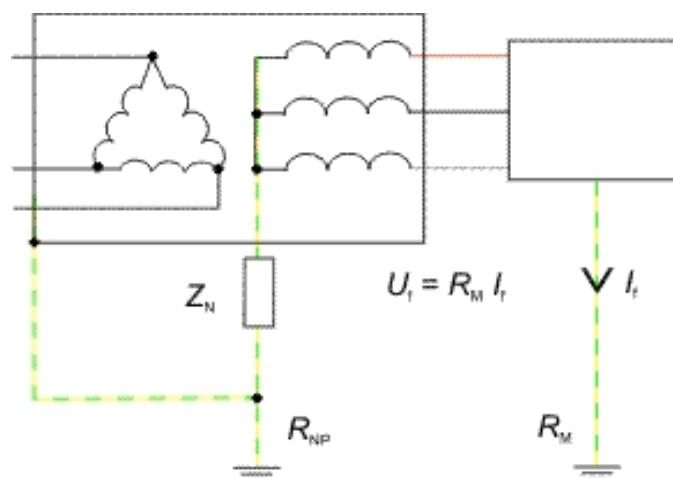


Figure 33J – Schéma avec neutre relié à la terre par une résistance ou une réactance et avec prises de terre séparées

Le neutre est raccordé à la terre par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance Z_N à une prise de terre R_{NP} .

Les masses du poste sont interconnectées et reliées à la prise de terre R_{NP} .

Les masses de l'installation sont interconnectées et reliées à une prise de terre R_M séparée de la prise de terre R_{NP} .

Le courant de défaut est égal à la somme du courant se refermant par le neutre et du courant capacitif du système de distribution de l'installation électrique (effets de résistances des prises de terre R_{NP} et R_M négligés).

$$I_f = \frac{U_0}{Z_N} + 3 \cdot j \cdot C \cdot \omega \cdot U_0$$

U_0 (V) tension simple du réseau

L'élévation du potentiel des masses a pour valeur :

$$U_f = R_M \cdot I_f$$

Pour $U = 6\,000$ V, $R_{NP} = R_M = 1 \Omega$ avec la mise à la terre du neutre par une résistance de 70Ω et en négligeant les courants capacitifs, on a :

$$U_f = \frac{6\,000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{72} = 48 \text{ Volts}$$

331.6.3 Schémas avec neutre isolé

331.6.3.1 Schéma avec prise de terre commune

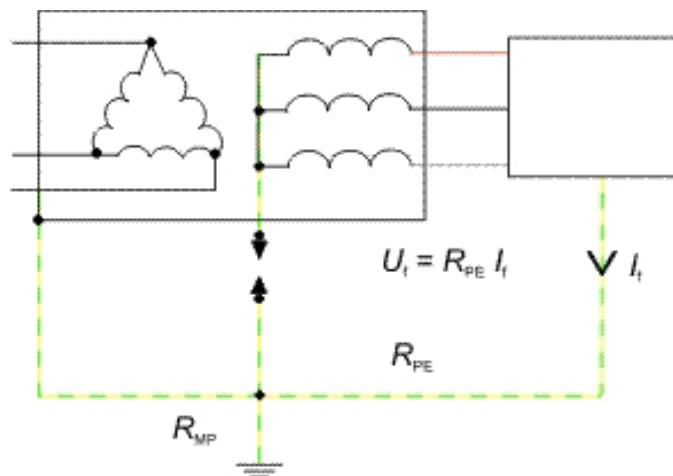


Figure 33K – Schéma avec neutre isolé et avec prise de terre commune

Le neutre est isolé de la terre ; un limiteur de surtension adapté au niveau d'isolement du réseau doit néanmoins être intercalé entre le point neutre et la prise de terre R_{MP} .

Les masses de l'installation et du poste d'alimentation sont interconnectées et raccordées à la prise de terre commune R_{MP} .

Le courant de défaut est égal au courant résiduel capacitif de l'installation :

$$I_f = 3 \cdot j \cdot C \cdot \omega \cdot U_0$$

Les élévations des potentiels des masses sont égales aux chutes de tension qui se développent le long des conducteurs de protection

$$U_f = R_{PE} \cdot I_f$$

Pour une longueur cumulée de 4 000 m de câble à champ radial de tension spécifiée 3,5/6 kV et de 70 mm² de section, ayant une capacité de 0,34 µF/km, on a :

$$I_f = 3 \cdot C \cdot \omega \cdot U_0 = 4,43 A$$

Pour un conducteur de protection en cuivre ayant une longueur de 50 m et une section de 50 mm²; l'élévation du potentiel des masses est de :

$$U_f = \rho \frac{L}{S} I_f$$

$$\rho = 2,3 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$U_f = 0,10 \text{ volts}$$

331.6.3.2 Schéma avec prises de terre séparées

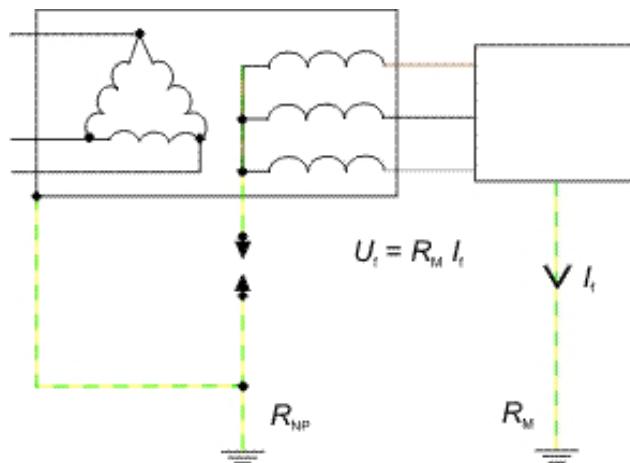


Figure 33L – Schéma avec neutre isolé et avec prises de terre séparées

Le neutre est isolé et relié par un limiteur de surtension à une prise de terre R_{NP} .

Les masses du poste sont interconnectées et reliées à la prise de terre R_{NP} .

Les masses de l'installation sont interconnectées et reliées à une prise de terre R_M séparée de la prise de terre R_{NP} .

Le courant de défaut est égal au courant capacitif du système de distribution de l'installation électrique :

$$I_f = 3 \cdot j \cdot C \cdot \omega \cdot U_0$$

L'élévation du potentiel des masses est égale au produit du courant de défaut par la résistance de la prise de terre R_M :

$$U_f = 3 \cdot j \cdot C \cdot \omega \cdot U_0 \cdot R_M$$

Pour 4 000 m de câble à champ radial de tension spécifiée 3,5/6 kV ayant une capacité de 0,34 µF/km générant un courant de défaut de 4,43 A, on a, si $R_M = 1 \Omega$, le résultat est $U_f = 4,43$ Volts.

331.7 Conditions de coupure de l'alimentation lors d'un premier défaut d'isolation

Les schémas avec neutre raccordés directement à la terre imposent la coupure de l'alimentation dès l'apparition d'un défaut d'isolation.

Bien que les tensions de contact et les courants de défaut soient limités, les schémas avec neutre mis à la terre par résistance ou réactance imposent également la coupure de l'alimentation dès l'apparition d'un défaut d'isolation. Des courants de faible amplitude (10 A à 50 A) peuvent, en effet, causer des dommages importants aux récepteurs et plus particulièrement aux machines tournantes s'ils sont maintenus au-delà des limites acceptables.

Seuls les schémas avec neutre isolé autorisent l'exploitation de l'installation en présence d'un défaut d'isolation. La coupure de l'alimentation doit survenir dès l'apparition d'un second défaut.

Le premier défaut d'isolation doit être détecté et signalé aux exploitants de l'installation qui doivent procéder à sa recherche et à son élimination.

331.8 Synthèse des schémas possibles

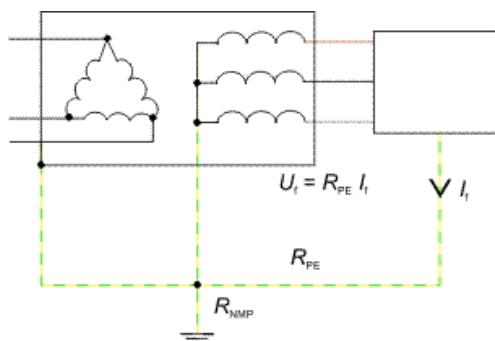


Figure 33F - Schéma avec neutre relié directement à la terre

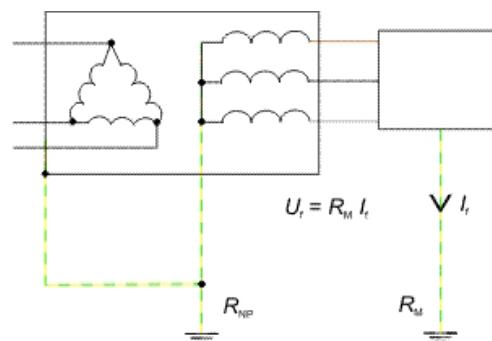


Figure 33G - Schéma avec neutre relié directement à la terre

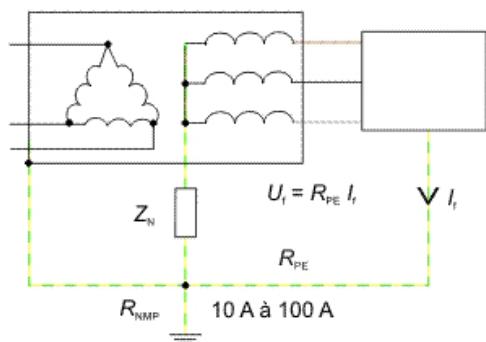


Figure 33H - Schéma avec neutre relié à la terre par une résistance ou une réactance

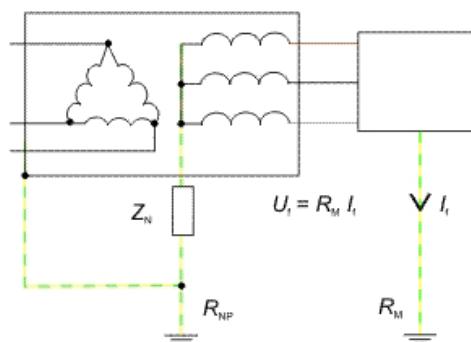


Figure 33J - Schéma avec neutre relié à la terre par une résistance ou une réactance

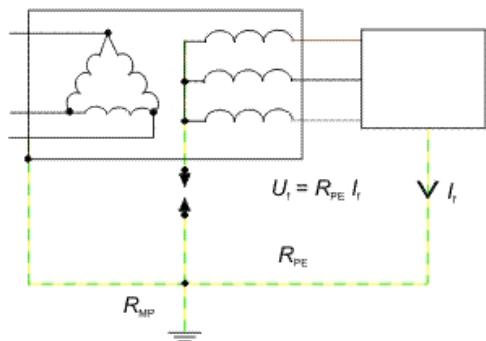


Figure 33K - Schéma avec neutre isolé

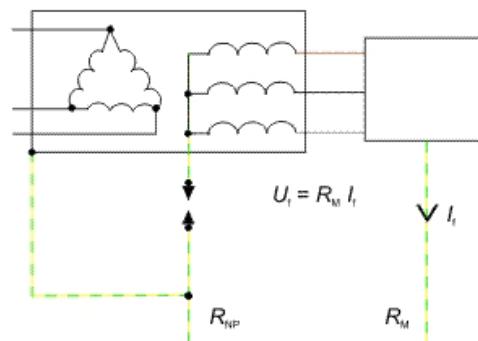


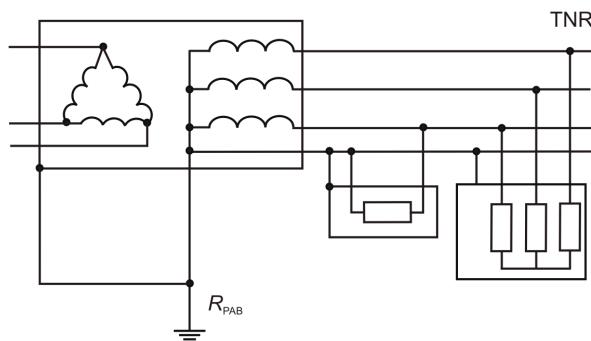
Figure 33L - Schéma avec neutre isolé

332 Schémas des liaisons à la terre des parties basses tension de l'installation

Les schémas des liaisons à la terre des parties basses tensions de l'installation doivent être conformes aux prescriptions de la NF C 15-100.

La norme NF C 15-100 retient les six schémas représentés dans la Figure 33M.

Schémas avec neutre relié directement à la terre



Schémas avec neutre non relié directement à la terre

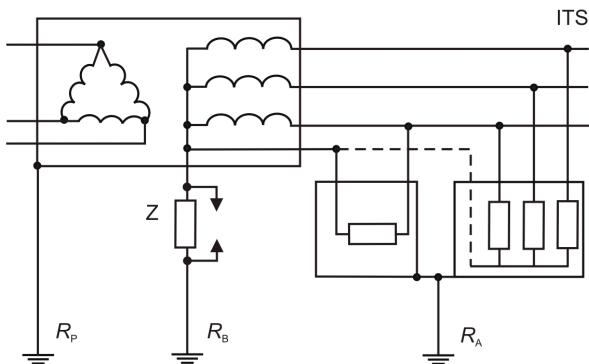
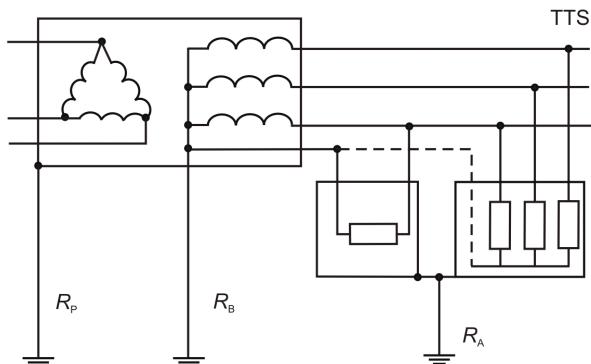
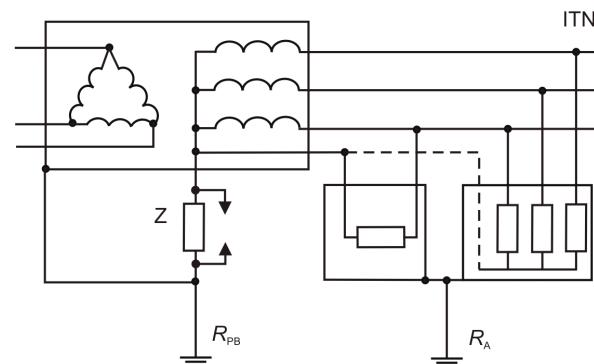
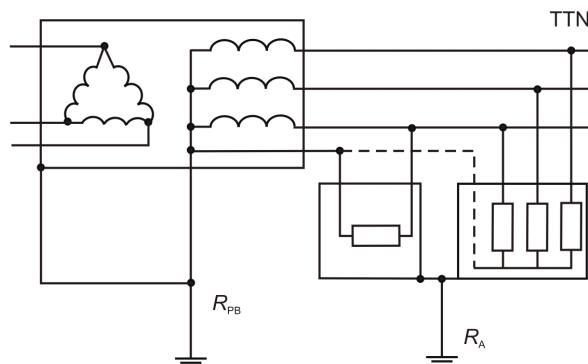
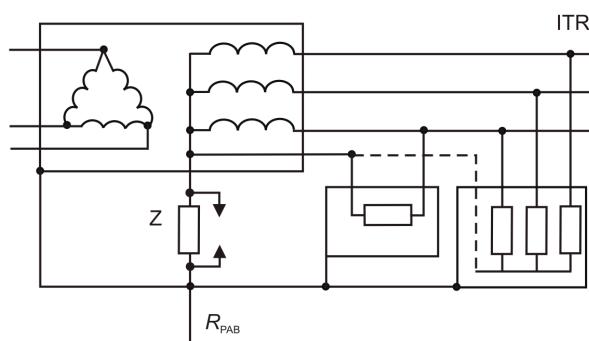


Figure 33M – Schémas des liaisons à la terre des postes HTA/BT

NOTE Les schémas dans lesquels les terres sont séparées sont impossibles à mettre en œuvre dans un même bâtiment.

TITRE 4

PROTECTION POUR ASSURER LA SÉCURITÉ

Partie 4-41 : Protection contre les chocs électriques

Partie 4-42 : Protection contre l'incendie, les brûlures et l'explosion

Partie 4-43 : Protection contre les surintensités

Partie 4-44 : Protection contre les surtensions et les baisses de tension

Partie 4-45 : Protection contre les harmoniques

Partie 4-46 : Sectionnement et commande

Partie 4-41 — Protection contre les chocs électriques

410 Généralités	68
411 Protection contre les contacts directs	68
412 Protection contre les contacts indirects	79

410 Généralités

410.1 La protection des personnes contre les chocs électriques revêt essentiellement deux aspects :

- la protection contre les contacts directs ou protection contre les chocs électriques en service normal ;
- la protection contre les contacts indirects ou protection contre les chocs électriques en cas de défaut d'isolation.

La protection contre les contacts directs consiste à prévenir les personnes contre les risques de contact avec les parties actives des matériels électriques. Les mesures de protection contre les contacts directs font l'objet des prescriptions énoncées en 411.

La protection contre les contacts indirects consiste à prévenir les personnes contre les contacts dangereux avec des masses ou des éléments conducteurs susceptibles d'être mis sous tension en cas de défaut. Les mesures de protection contre les contacts indirects font l'objet des prescriptions énoncées en 412.

410.2 Les mesures de protection doivent être choisies et réalisées de manière à être sûres et durables.

411 Protection contre les contacts directs

411.1 Règle fondamentale

Aucun conducteur, ni aucune pièce conductrice destinée à être sous tension ne doit se trouver à portée des personnes.

Cette règle s'applique également à tout conducteur reliant à une prise de terre, le conducteur neutre ou le neutre de la source d'alimentation.

La condition ci-dessus peut être satisfaite par l'une des mesures suivantes :

- protection par isolation (411.2) ;
- protection au moyen d'enveloppes (411.3) ;
- protection au moyen d'obstacles (411.4) ;
- protection par éloignement (411.5).

411.2 Protection par isolation

La protection complète contre les contacts directs par isolation est considérée comme réalisée lorsque les parties actives sont entièrement recouvertes par une matière isolante qui ne peut être enlevée que par destruction.

L'isolation doit être adaptée au niveau de tension de l'installation et doit être capable de supporter d'une manière durable les contraintes mécaniques, électriques, thermiques et plus généralement les influences externes auxquelles elle peut être soumise.

L'isolation doit être mise en œuvre de manière à respecter les prescriptions des deux alinéas précédents.

La mise hors de portée par isolation s'applique principalement aux câbles.

Les peintures, vernis, laques et produits analogues ne peuvent en aucun cas être considérés comme constituant une isolation suffisante dans le cadre de la protection contre les contacts directs.

411.3 Protection au moyen d'enveloppes

Une enveloppe est une enceinte assurant la protection contre les contacts directs dans toutes les directions.

Les enveloppes doivent empêcher l'accès aux parties actives dangereuses en assurant un degré de protection d'au moins IP3X ou IPXXC.

Elles peuvent en complément assurer la protection des matériels contre certaines influences externes.

Les enveloppes doivent présenter une tenue mécanique, une robustesse et une durabilité suffisantes pour maintenir le degré spécifié de protection, en tenant compte de toutes les influences externes.

Si la conception permet l'ouverture des enveloppes ou l'enlèvement de parties d'enveloppes, sans interposition de dispositifs de protection intermédiaires, l'accès aux parties actives ne doit être possible qu'après leur mise hors tension. Cette interdiction doit être rappelée par des pancartes sur les enveloppes concernées, que ces enveloppes soient déplaçables ou démontables avec ou sans l'aide d'outils.

Lorsqu'il y a interposition de dispositifs de protection intermédiaires, ces dispositifs doivent maintenir le degré de protection prescrit, et ne doivent pouvoir être enlevés qu'à l'aide d'une clé ou d'un outil.

Si l'ouverture des enveloppes peut se faire sans outil, elle doit être liée à un système de verrouillage qui ne peut être libéré qu'après la mise hors tension des parties actives.

Les parties d'enveloppes, démontables ou déplaçables avec l'aide d'outils, doivent porter le symbole normalisé de danger électrique.

Une instruction (affiche, schéma) placée sur l'enveloppe ou à proximité immédiate, doit indiquer le détail des opérations à effectuer pour réaliser la consignation des parties actives.

Des bornes de mise à la terre doivent exister aux emplacements adéquats pour que les parties actives puissent être, s'il y a lieu, facilement mises à la terre et en court-circuit après mise hors tension.

Dans les installations équipées de matériels à haute tension sous enveloppe, préfabriqués en usine, ces matériels doivent être conformes aux normes en vigueur (5).

Les matériels à haute tension sous enveloppe préfabriqués en usine comprennent :

- *des compartiments dont l'accès est nécessaire en exploitation normale, conçus de telle sorte que leur ouverture puisse être réalisée sans outil par les opérateurs, la sécurité étant assurée par des verrouillages ;*
- *des compartiments dont l'accès n'est pas nécessaire en exploitation normale ; l'accès à ces compartiments, notamment celui du jeu de barres, n'est possible que par démontage de l'enveloppe de protection au moyen d'outils. Le danger électrique que constitue l'ouverture intempestive de ces compartiments est mentionné par un signal approprié.*

(5) NF EN 62271-200:2004 (C 64-400) - Appareillage à haute tension - Partie 200: Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV.

411.4 Protection au moyen d'obstacles

411.4.1 Généralités

Un obstacle est un élément empêchant un contact direct fortuit mais ne s'opposant pas à un contact direct par une action délibérée.

La mise hors de portée au moyen d'obstacles n'est utilisable que dans les locaux et emplacements dont l'accès est réservé aux électriciens et notamment dans les postes de type ouvert.

L'efficacité permanente des obstacles est assurée par leur nature, leur étendue, leur disposition, leur stabilité, leur solidité et leur isolation éventuelle compte tenu des contraintes auxquelles ils sont normalement exposés.

Les obstacles peuvent être des murs en dur, des portes, des panneaux pleins, perforés ou grillagés, avec une hauteur minimale de 2 m en HTA et de 2,3 m en HTB, pour s'assurer qu'aucune partie du corps humain ne puisse atteindre les zones dangereuses.

Les trous des panneaux perforés doivent correspondre au degré de protection IP1X ou IPXXA.

Les panneaux pleins ou perforés peuvent comporter des hublots transparents.

Pour les panneaux grillagés ou perforés, la plus grande dimension de la maille ou des trous ne doit pas être supérieure à 50 mm. Les zones grillagées ou perforées doivent représenter au moins la moitié de la surface totale lorsque le panneau est utilisé pour fermer la partie avant d'une cellule, la partie grillagée devant permettre de voir l'intérieur de la cellule.

L'expression « panneaux grillagés » doit être prise dans un sens large et s'applique notamment à tout treillis rigide et indémaillable exécuté en partant de tôles découpées et embouties.

Les panneaux doivent posséder une rigidité mécanique suffisante.

Les panneaux sont, si nécessaire, solidement encadrés et munis de raidisseurs.

Il est admis que les panneaux soient réalisés au moyen de tout matériau non propagateur de la flamme (voir 712.1.1) possédant une solidité et une rigidité mécanique équivalentes à celles des panneaux métalliques.

Les obstacles horizontaux, s'ils ne se raccordent pas à un obstacle vertical ou à une paroi de la construction, doivent déborder des parties actives surplombant un passage d'au moins 0,50 m en HTA et 0,80 m en HTB.

La largeur des passages entre obstacles eux-mêmes, ou entre ceux-ci et les parois de la construction, ne doit pas être inférieure à 0,80 m, quel que soit le domaine de tension.

La hauteur de passage sous un obstacle ne doit pas être inférieure à 2 m, quel que soit le domaine de tension.

411.4.2 Dispositions des obstacles

Les panneaux doivent être fixés à demeure, c'est-à-dire soit n'être démontables qu'avec l'aide d'un outil, soit être fermés à clef.

Les panneaux fermant à clef doivent être munis d'un système de verrouillage interdisant leur ouverture tant que les parties actives sont sous tension.

Les obstacles doivent porter le symbole normalisé de danger électrique.

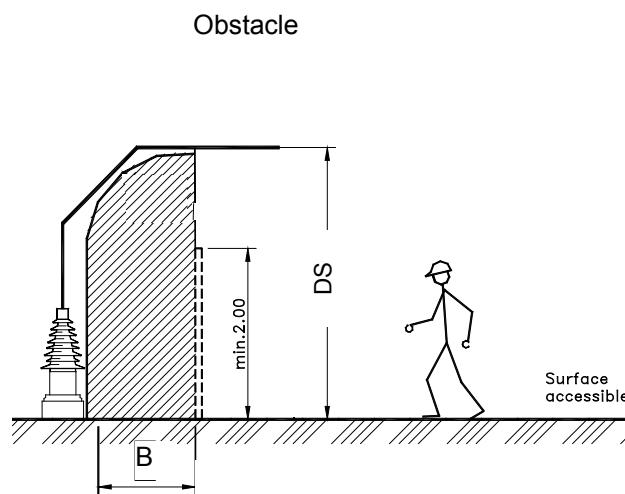
L'interdiction d'accès aux parties actives avant mise hors tension doit être rappelée par des pancartes fixées sur les obstacles.

Une inscription (affiche, schéma) placée sur la face avant de l'obstacle doit indiquer sans ambiguïté, les manœuvres à réaliser pour obtenir la mise hors tension des parties actives et préciser, s'il y a lieu, les pièces restant sous tension après la manœuvre des dits appareils.

Des bornes de mise à la terre doivent exister aux emplacements adéquats pour que les parties actives puissent être, s'il y a lieu, facilement mises à la terre et en court-circuit après mise hors tension.

Les obstacles doivent être mis en œuvre conformément aux dispositions constructives représentées sur la Figure 41A.

Les distances minimales entre les obstacles et les parties actives nues sont données en III du Tableau 32B



B : Distance entre partie active et obstacle suivant le III du Tableau 32B

DS : Distance entre partie active et le sol suivant le Tableau 41A

Figure 41A – Protection contre les contacts directs par obstacles dans les locaux ou emplacements réservés aux électriciens (distances en m)

411.5 Protection par éloignement

411.5.1 Généralités

411.5.1.1 La mise hors de portée par éloignement ne peut être utilisée que pour :

- les lignes aériennes ;
- les locaux et emplacements d'accès réservés aux électriciens et notamment les postes de type ouvert.

411.5.1.2 Lorsque la mise hors de portée est assurée par le seul éloignement, celui-ci doit être suffisant pour éviter que des personnes circulant à proximité de parties actives à haute tension ne puissent entrer en contact avec ces parties, soit directement, soit par l'intermédiaire des objets qu'elles manipulent ou qu'elles transportent habituellement.

La permanence de cet éloignement doit être garantie par une résistance mécanique des parties actives ou de leurs supports en rapport avec les contraintes auxquelles ils sont normalement exposés.

A l'intérieur des bâtiments, la protection par éloignement n'est pas suffisante au-dessus des passages de service ; dans ce cas, des obstacles doivent être disposés au-dessous des parties actives et doivent déborder ces parties actives d'au moins 0,50 m en HTA et 0,80 m en HTB.

Les canalisations aériennes à l'intérieur des bâtiments non réservés aux électriciens doivent être réalisées en câbles ou en canalisations préfabriquées (conducteurs nus sous enveloppe métallique).

411.5.2 Distances à respecter dans les lieux autres que les locaux et emplacements réservés aux électriciens

Pour les canalisations aériennes avec conducteurs nus implantées dans les lieux autres que les locaux (ou emplacements) réservés aux électriciens, la distance D à respecter entre les parties actives nues de tension nominale U et le sol ou une installation quelconque est fixée par l'arrêté technique du 17 mai 2001 et est au moins égale à :

$$D = b + 0,0075 U$$

D et b étant exprimés en mètres,
 U étant exprimé en kilovolts.

La valeur 0,0075 U est arrondie au décimètre le plus proche et n'est prise en compte que si cette valeur arrondie est supérieure à 0,1 m, les valeurs suivantes ont été adoptées :

0,2 m jusqu'à 30 kV - 0,5 m en 63 kV - 0,7 m en 90 kV - 1,1 m pour 150 kV - 1,7 m en 225 kV.

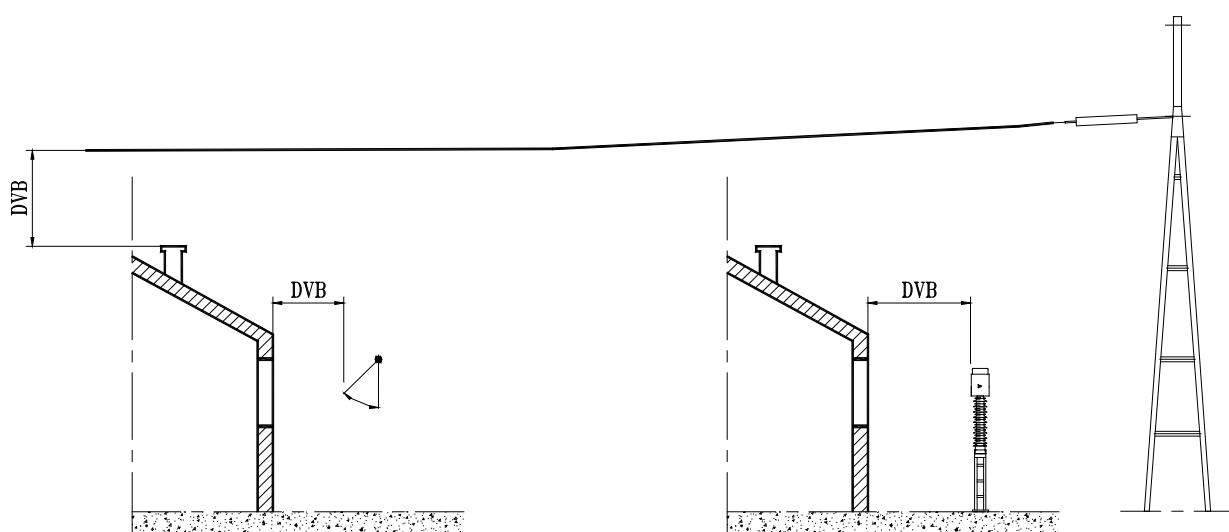
La distance b est déterminée en fonction de la nature et de l'encombrement des installations implantées au sol. Elle est aussi fonction du risque lié au niveau de tension et de l'isolement éventuel des conducteurs.

Les valeurs données pour la distance b sont à majorer dans certains cas pour tenir compte par exemple de la présence d'une couche importante de neige ou des effets du vent sur les conducteurs.

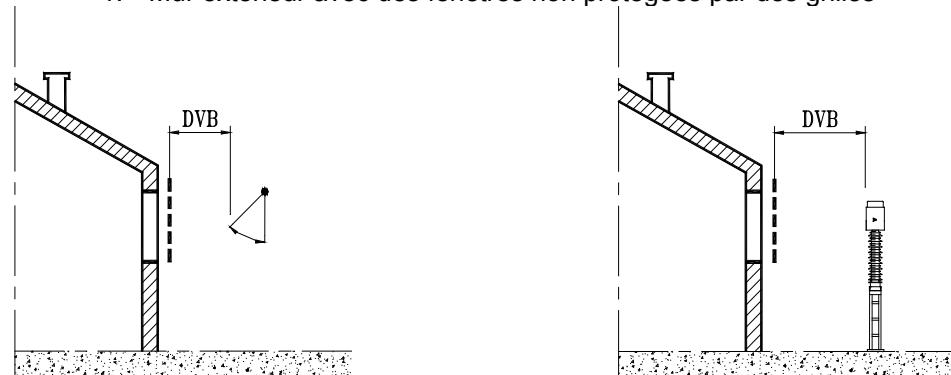
La distance D doit être vérifiée à l'intérieur des installations, dans toutes les zones non réservées aux électriciens ainsi qu'à l'extérieur, à l'aplomb des clôtures ceinturant ces installations (Voir Figure 41E).

La distance b est prise égale à :

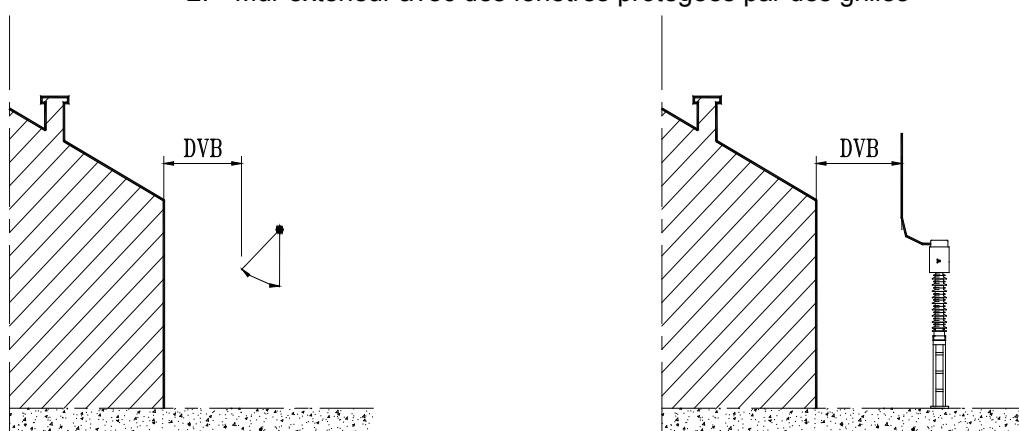
- $b = 6 \text{ m au-dessus du sol pour les conducteurs nus, avec un minimum de } 8 \text{ m dans les traversées ou surplombs de voies ouvertes à la circulation des véhicules ;}$
- $b = h + 1 \text{ m quand les conducteurs traversent ou surplombent des passages destinés au transport ou à la circulation des engins de manutention mobiles de grande hauteur}$
($h = \text{hauteur maximale en mètres du chargement admis pour l'itinéraire} ;$)
- $b = 5 \text{ m au voisinage des bâtiments pour des tensions supérieures à } 50 \text{ kV}$
 $3 \text{ m pour des tensions inférieures à } 50 \text{ kV (voir Figures 41B).}$



1. Mur extérieur avec des fenêtres non protégées par des grilles



2. Mur extérieur avec des fenêtres protégées par des grilles



3. Mur extérieur sans fenêtres

DVB = Distance de Voisinage des Bâtiments = $b + 0,0075 U$

	< 50 KV	$\leq 63 \text{ kV}$	$\leq 90 \text{ kV}$	$\leq 150 \text{ kV}$	$\leq 225 \text{ kV}$
DVB	3,50 m	5,50 m	5,70 m	6,10 m	6,70 m

Figures 41B – Distance de voisinage des bâtiments

411.5.3 Distances à respecter dans les locaux et emplacements réservés aux électriciens

Dans les locaux ou emplacements réservés aux électriciens, les distances minimales à respecter entre d'une part le sol, le plancher, le dessus des caniveaux ou des caillebotis de manœuvre fixes et reliés à la terre et d'autre part toute partie active, doivent être au moins égales aux valeurs indiquées dans le Tableau 41A sans être inférieur à 3,0 m. Quelle que soit la tension, la distance minimale entre le point le plus bas de la partie isolante des isolateurs et le sol est de 2,25 m. Ces distances doivent être augmentées si la présence de neige existe.

Tableau 41A – Distances minimales à respecter dans les locaux réservés aux électriciens

Tension nominale d'alimentation (kV)	≤ 50	63	90	150	225
Distances minimales entre parties actives et sol, plancher, etc. (m)	3,00	3,30	3,5	4	4,40

411.5.4 Distances à respecter pour les personnes travaillant dans les installations

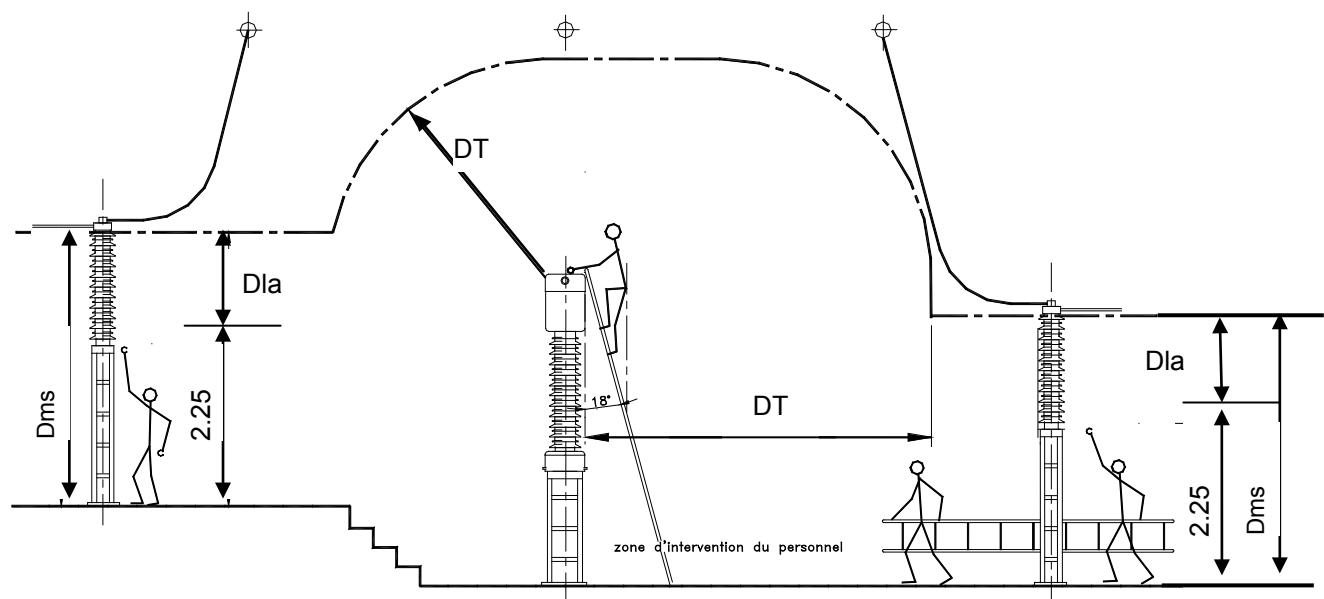
411.5.4.1 Dans un poste extérieur n'utilisant pas de matériel sous enveloppe, l'installation doit être conçue de manière à permettre la réalisation de travaux au voisinage de parties actives sous tension. Les distances de travail à respecter doivent être conformes aux valeurs du Tableau 41C.

411.5.4.2 L'installation doit être conçue de manière à ce que le personnel circulant dans cette installation ne puisse dans aucune circonstance être à une distance des parties actives inférieure à la distance minimale d'approche du niveau de tension considéré définie dans le Tableau 41C.

411.5.4.3 Dans un poste extérieur de tension nominale supérieure à 50 kV, n'utilisant pas de matériel sous enveloppe et conçu de manière à pouvoir effectuer des travaux dans des travées non cloisonnées susceptibles d'être mises sous tension indépendamment les unes des autres, les distances entre parties actives dans leur position la plus défavorable appartenant à des travées différentes doivent être au moins égales à 3 m pour le 63 kV et le 90 kV et à 3,60 m pour le 225 kV.

411.5.4.4 Dans un poste extérieur de tension nominale supérieure à 50 kV, n'utilisant pas de matériel sous enveloppe et conçu de manière à pouvoir effectuer des travaux sur des parties actives mises hors tension et surplombant ou surplombées par d'autres parties actives susceptibles de rester sous tension pendant les travaux, la distance verticale entre ces parties actives dans leur position la plus défavorable doit être au moins égale à 3 m pour le 63 kV et le 90 kV et à 3,60 m pour le 225 kV.

Les dispositions des paragraphes 411.5.4.1 à 411.5.4.4 sont illustrées par la Figure 41C.



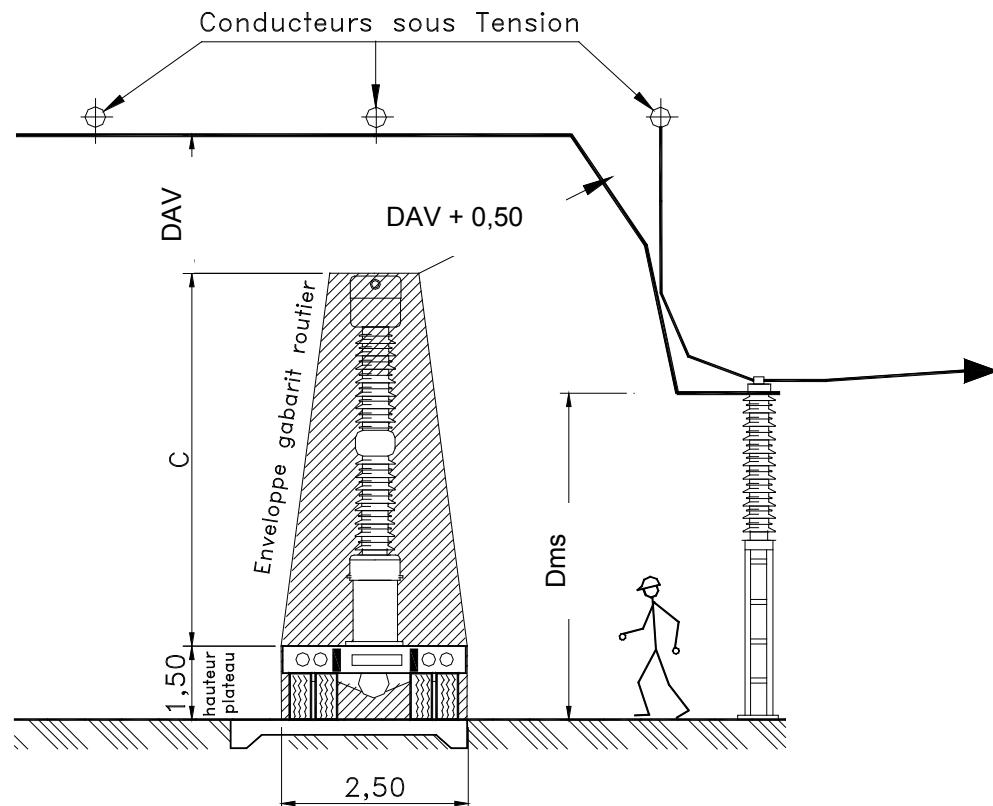
		≤ 50 kV	63 kV	90 kV	150 kV	225 kV
Distance limite d'approche	Dla	0,75 m	0,95 m	1,10 m	1,75 m	2,14 m
Distance de Travail	DT	2,00 m	3,00 m	3,00 m	3,00 m	3,60 m
Distance Minimale au Sol	Dms	3,00 m	3,30 m	3,5 m	4,00 m	4,40 m

Figure 41C – Hauteurs minimales et distances minimales de sécurité dans les locaux et emplacements réservés aux électriciens (distances en m)

NOTE Si la hauteur est inférieure à 2,25 m, la protection par une barrière ou un obstacle est nécessaire.

411.5.5 Distances à respecter pour les véhicules circulant dans les zones de travail

Les postes doivent être conçus pour que, dans les zones et emplacements réservés aux électriciens, les distances minimales à respecter pour le transport et la manutention des matériels soient au moins égales aux valeurs indiquées sur la Figure 41D.



C : Hauteur gabarit appareil, suivant échelon de tension.

	$\leq 50 \text{ kV}$	63 kV	90 kV	150 kV	225 kV
Distance Minimale d'Approche des véhicules DAV	0,8 m	1 m	1,30 m	2,00 m	2,50 m
Distance Minimale au Sol Dms	3 m	3,30 m	3,50 m	4,00 m	4,40 m

Figure 41D – Distance minimale d'accès pour le transport et la manutention des matériels (distances en m)

411.5.6 Hauteurs et distances concernant les clôtures et les points d'ancrage des lignes dans les postes ouverts

411.5.6.1 Clôtures

Les installations électriques situées à l'extérieur des bâtiments doivent être entourées d'une clôture constituée d'un mur ou d'un grillage ayant une hauteur de 2,5 m au minimum par rapport au niveau du sol extérieur (voir Figure 41E).

La clôture doit être placée à une distance des parties actives de 3 m minimum pour les tension inférieures ou égales à 50 kV ; cette distance est portée à 5 m si la tension nominale de ces parties est supérieure ou égale à 50 kV.

411.5.6.2 Ancrages

La hauteur par rapport au sol des points d'ancrage des lignes doit être de 8 m minimum pour les tensions inférieures ou égales à 90 kV et de 13 m pour les tensions supérieures.

411.5.6.3 Hauteur par rapport au sol des parties actives à l'aplomb des clôtures

La hauteur par rapport au sol des parties actives à l'aplomb des clôtures doit être conforme aux prescriptions du 411.5.2.

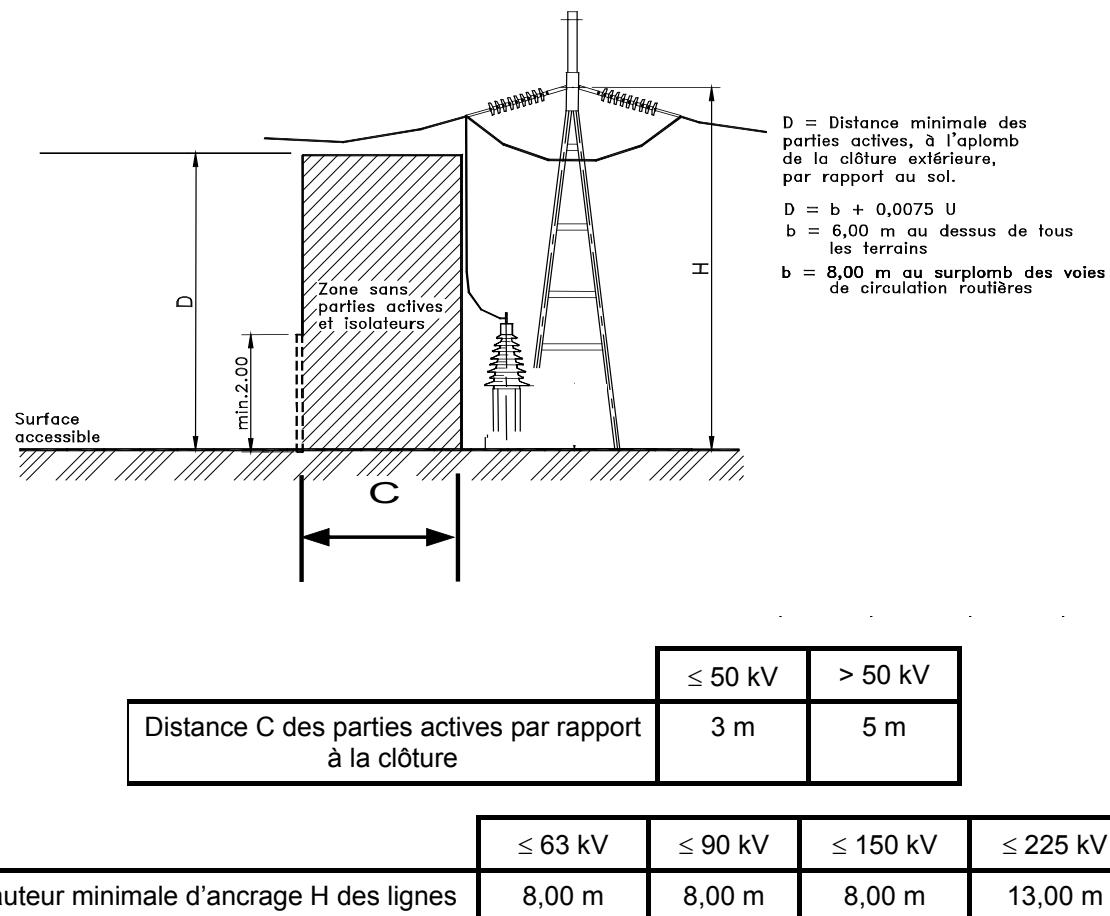


Figure 41E – Distances et hauteur minimales concernant la clôture extérieure

Le niveau de référence tient compte éventuellement de l'épaisseur de la couche de neige tassée lorsque celle-ci atteint 1 m.

Des pancartes ou panneaux triangulaires d'avertissement apparents (voir 624) doivent être apposés partout où il est nécessaire de prévenir les personnes du danger de pénétrer dans l'installation (au minimum sur la ou les portes d'accès, à chaque extrémité et au milieu de chaque côté de la clôture).

411.6 Dispositions concernant les installations de type ouvert réalisées à l'intérieur des bâtiments

Lorsque les installations sont du type ouvert, il est généralement fait emploi à la fois de la protection au moyen d'obstacles (411.4) et de la protection par éloignement (411.5).

En cas d'intervention, l'opérateur doit prendre toutes les précautions requises avant de pénétrer dans les compartiments. La présence de panneaux pleins sur la face avant d'un compartiment ne doit pas gêner la vérification visuelle de la séparation des contacts du dispositif de sectionnement.

411.6.1 Les éléments susceptibles d'être mis sous tension ou hors tension indépendamment les uns des autres suivant les nécessités de l'exploitation, doivent être placés dans des compartiments ou cellules distincts séparés entre eux par des parois ou panneaux pleins.

411.6.2 Les différents éléments des circuits doivent, dans tous les cas, rester visibles pour une personne se trouvant à l'extérieur des cellules, sans qu'il soit nécessaire de déposer un obstacle, ni d'ouvrir une porte. De plus, il doit être possible d'effectuer la vérification d'absence de tension, de l'extérieur de chaque cellule.

Afin de pouvoir effectuer la vérification de l'absence de tension, de l'extérieur des compartiments, des orifices dits « passe perche » sont aménagés, s'il y a lieu, dans les panneaux situés sur la face avant de chaque compartiment. Ces orifices, d'un diamètre maximal de 6 cm, doivent être obturés à l'aide d'un cache pivotant, cadenassable en position de fermeture.

411.6.3 Les obstacles obturant les faces arrière et latérales des cellules sont constitués par des panneaux pleins. Ces panneaux doivent avoir une hauteur minimale définie en 411.4.1. Lorsqu'ils sont démontables ils ne doivent pouvoir l'être qu'à l'aide d'un outil.

411.6.4 Les obstacles destinés à obturer la face avant des cellules sont constitués par des portes qui doivent comporter une surface minimale de panneaux grillagés pour répondre aux conditions définies de visibilité des circuits et des matériels ; ces portes possèdent parfois des dormants pleins, sur lesquels sont notamment mis en place les dispositifs de commande des appareils de coupe et de sectionnement. Lorsque les portes sont ouvertes, elles doivent laisser un passage libre dans le couloir de service d'une largeur appropriée au matériel contenu dans la cellule ; ce passage ne doit toutefois pas avoir une largeur inférieure à 0,80 m. Ces obstacles doivent obturer les cellules sur toute leur largeur, depuis le sol ou le plancher jusqu'à la hauteur définie en 411.4.1, à moins qu'ils ne se raccordent à d'autres écrans ou panneaux horizontaux ou à un plafond.

411.6.5 Lorsque les panneaux pleins constituant les faces latérales et arrière des cellules ne sont pas prolongés jusqu'au plafond, ils doivent avoir la hauteur minimale définie en 411.4.1.

La distance entre parties actives et les portes de la face avant des cellules ne doit pas être inférieure aux valeurs spécifiées en III du Tableau 32B.

Conformément à 411.4.1, les obstacles horizontaux, s'ils ne se raccordent pas à un obstacle vertical ou à une paroi de la construction, doivent déborder des parties actives surplombant un passage de service d'au moins 0,50 m en HTA et 0,80 m en HTB.

412 Protection contre les contacts indirects

412.1 Règles générales

La protection contre les contacts indirects est obtenue par la mise en œuvre des deux dispositions suivantes :

- Interconnexion totale des masses et des éléments conducteurs au moyen de systèmes équipotentiels reliés à la prise de terre de l'installation. Un système équipotentiel doit être réalisé pour chaque bâtiment et chaque emplacement extérieur comportant des matériels électriques haute tension, quelle que soit sa superficie ;

Un emplacement extérieur peut par exemple être une dalle en béton supportant des moteurs haute tension avec leurs équipements auxiliaires.

- Coupure de l'alimentation au premier défaut d'isolement excepté pour les schémas à neutre isolé. Cette coupure a pour but :
 - de se prémunir contre les élévations de potentiel à l'approche des zones couvertes par les systèmes équipotentiels ;
 - de limiter les dommages causés aux équipements parcourus par tout ou partie du courant de défaut.

412.2 Système équipotentiel

A l'intérieur d'un bâtiment ou dans un emplacement extérieur contenant des matériels électriques haute tension, l'équipotentialité doit être réalisée par l'interconnexion des masses et des éléments conducteurs ; ces éléments conducteurs comprennent notamment :

- les charpentes métalliques ;
- les planchers métalliques ;
- les tuyauteries métalliques ;
- les supports des câbles ;
- les ferraillages des dalles en béton ;
- les clôtures ou parois métalliques des emplacements extérieurs.

Le système équipotentiel ainsi réalisé est relié à la prise de terre du bâtiment ou de l'emplacement.

Des exemples de mise en œuvre de systèmes équipotentiels sont donnés par les Figures 41F et 41G.

Le raccordement ou non au système équipotentiel des éléments métalliques sous protection cathodique doit être étudié avec le fournisseur du système de protection cathodique. La solution retenue doit dans tous les cas assurer la protection des personnes contre les chocs électriques.

412.3 Prise de terre

412.3.1 Prise de terre de l'installation

La prise de terre de l'installation est constituée par l'interconnexion des prises de terre individuelles réalisées pour chaque bâtiment et emplacement extérieur de l'installation (Figures 41H et 41J).

La valeur de la prise de terre de l'installation doit permettre d'assurer la sécurité des personnes, compte tenu du courant de défaut maximal prévisible.

Les calculs doivent être réalisés sur la base des prescriptions de sécurité de la NF C 13-000.

En règle générale, une valeur de prise de terre inférieure ou égale à 1 ohm est présumée satisfaire à cette exigence. A défaut, il est aussi admis qu'une surface de maillage supérieure à 2500 m² permet de satisfaire à ces exigences, les surfaces de maillages étant réalisées conformément aux figures 41H et 41J.

Les ferraillages des dalles en béton peuvent contribuer à la réduction de la valeur de la prise de terre. Dans ce cas, ces ferraillages sont raccordés tous les 10 m en tous sens à la prise de terre. La continuité électrique des treillis constituant les ferraillages doit être assurée par des points de soudure judicieusement disposés.

En complément, il y a lieu, en accord avec le gestionnaire du réseau public d'alimentation, de raccorder les câbles de garde des lignes aériennes et les écrans des câbles HT du réseau d'alimentation à la prise de terre de l'installation.

Dans le cas où l'interconnexion des prises de terre n'est pas totale, chaque groupe de prises de terre interconnectées doit avoir une résistance inférieure ou égale à 1 ohm.

Les connexions utilisées pour réaliser les prises de terre, leurs interconnexions ainsi que tous les piquages pour le raccordement des systèmes équipotentiels, doivent être réalisés par soudure exothermique.

412.3.2 Prise de terre des bâtiments et emplacements extérieurs autre que les postes

Une prise de terre doit être réalisée pour chaque bâtiment et chaque emplacement extérieur. Celle-ci doit être constituée de conducteurs nus enfouis à fond de fouille sur toute la surface de l'emplacement ou du bâtiment (voir la Figure 41F).

Si le sol présente un niveau d'agressivité chimique élevé, des dispositions particulières doivent être prises pour préserver l'intégrité physique de la prise de terre.

En complément, chaque bâtiment ou emplacement doit être ceinturé à 1m par un conducteur nu enfoui à 0,50 m et raccordé à la prise de terre de l'emplacement ou du bâtiment.

La prise de terre d'un emplacement extérieur doit être étendue d'au moins 1m au delà de la clôture de cet emplacement, sur tout le périmètre.

412.3.3 Prise de terre des postes HTB réalisés à l'extérieur

La prise de terre des postes HTB réalisés à l'extérieur, indépendamment de la prise de terre de l'installation, doit être de valeur inférieure à 1 ohm.

La prise de terre des postes HTB réalisés à l'extérieur, doit être constituée d'un circuit maillé enterré sous toute la surface du poste à une profondeur minimale de 1 m (voir Figure 41G).

En complément des dispositions représentées par la Figure 41G, les mesures suivantes doivent être mises en œuvre dans les postes extérieurs du type ouvert :

- chaque cellule, travée ou emplacement contenant du matériel électrique doit être ceinturé par une prise de terre constituée d'une boucle fermée ; toutes les prises de terre ainsi constituées doivent être interconnectées par au moins deux liaisons. Lorsque la surface de la boucle l'autorise, un maillage doit être réalisé à l'intérieur de celle-ci ;
- à l'intérieur de chaque cellule, les charpentes, les structures métalliques et les masses des appareils électriques doivent être reliées à la prise de terre de la cellule en au moins deux points, à l'exception des appareils équipés d'une protection de masse reliés en un seul point ;
- pour les emplacements en béton supportant des appareils électriques, l'équipotentialité doit être réalisée en raccordant le ferraillage de la dalle de béton à la prise de terre de cet emplacement tous les 10 mètres en tous sens et en au moins deux points ;

- l'équipotentialité des plates-formes de manœuvre est assurée par l'utilisation d'un caillebotis métallique, ou le cas échéant, par le ferraillage des dalles de béton, raccordés à la prise de terre tous les 10 m en tous sens et en au moins deux points ;
- à l'intérieur d'une cellule ou d'un emplacement, la surface du sol si elle n'est pas rendue équipotentielle par la mise en œuvre d'une dalle en béton avec treillis métalliques, doit être recouverte d'un matériau non conducteur. La couche de matériau non conducteur doit déborder le périmètre de chaque cellule d'au moins 1,25 m ;
- la continuité électrique des treillis métallique et des ferrailage des dalles en béton doit être réalisée par des points de soudure judicieusement disposés.

Les matériaux non conducteurs couramment utilisés sont les suivants :

- une couche de graviers d'épaisseur minimale 100 mm ;
- une couche d'asphalte de qualité suffisante.

412.4 Mise à la terre des clôtures

Les clôtures métalliques, y compris celles sur muret béton, doivent être raccordées à une liaison équipotentielle enterrée.

Les clôtures non-métalliques ou en béton ne sont pas raccordées à une liaison équipotentielle enterrée.

412.4.1 Clôture des établissements contenant des installations électriques HTB

Les clôtures doivent être à une distance du périmètre extérieur du circuit maillé supérieure ou égale à 5 m. Lorsqu'elles sont constituées d'éléments métalliques, ces éléments doivent être électriquement connectés entre eux et raccordés à une liaison équipotentielle enterrée.

Cette liaison équipotentielle est constituée par un câble de cuivre de section minimale de 70 mm² enterré dans le plan de la clôture à une profondeur de 0,50 m par rapport au sol fini. Ce câble n'est pas relié à la prise de terre de l'installation ; il est continu sous les portails même lorsque ceux-ci comportent un contrôle d'accès. Une remontée de ce câble sur la clôture est réalisée tous les 25 m.

412.4.2 Clôture des postes réalisés à l'extérieur des établissements

Les clôtures doivent être à une distance du périmètre extérieur du circuit maillé supérieure ou égale à 3 m en HTA et 5 m en HTB ; lorsqu'elles sont constituées d'éléments métalliques, ces éléments doivent être électriquement connectés entre eux et raccordés à une liaison équipotentielle enterrée. Cette liaison équipotentielle est constituée par un câble de cuivre de section minimale de 70 mm² enterré dans le plan de la clôture à une profondeur de 50 cm par rapport au sol fini. Ce câble n'est pas relié à la prise de terre de l'installation ; il est continu sous les portails même lorsque ceux-ci comportent un contrôle d'accès. Une remontée de ce câble sur la clôture est réalisée tous les 25 m.

412.4.3 Clôture des emplacements extérieurs réalisés à l'intérieur de l'établissement

Les clôtures métalliques des emplacements extérieurs réalisés à l'intérieur de l'établissement sont reliées à la prise de terre de ces emplacements.

412.4.4 Alimentation des équipements électriques BT installés sur la clôture et des postes de garde

Aucun équipement électrique HT ne doit être installé dans la zone comprise entre le circuit maillé constituant la prise de terre de l'installation et la clôture.

Les équipements électriques BT installés dans les postes de garde, à proximité de la clôture, sur elle-même ou incorporés aux portails, doivent être alimentés comme suit :

- un transformateur BT/BT doit être dédié à l'alimentation de ces équipements. Il doit être installé à proximité de la clôture ou dans le poste de garde ;
- le point neutre secondaire du transformateur BT/BT et les masses métalliques des équipements doivent être raccordés à la prise de terre de la clôture ou à une prise de terre réalisée à cet effet si la clôture n'est pas métallique ; le schéma TN doit donc être utilisé et la prise de terre associée à ces équipements ne doit pas être reliée à la prise de terre de l'installation ;
- le transformateur BT/BT doit être alimenté par une liaison triphasée ou biphasée sans neutre à partir de la ou de l'une des sources BT de l'installation. Elle doit être protégée par un dispositif différentiel résiduel.

412.5 Coupure de l'alimentation

412.5.1 Mise en œuvre des schémas incluant une liaison du point neutre à la terre

Tout circuit doit être séparé automatiquement de l'alimentation lorsqu'un défaut d'isolement apparaît dans ce circuit ou dans les équipements et récepteurs alimentés par ce circuit.

La détection des défauts doit être effectuée par des dispositifs sensibles au courant homopolaire. Elle ne peut en aucun cas être réalisée par les dispositifs de détection des défauts entre phases même dans les schémas comportant la liaison directe du neutre à la terre.

Il peut cependant être fait exception à cette règle pour certaines installations spéciales, chaudières électriques par exemple.

Le seuil de réglage des dispositifs de protection ne doit pas être supérieur à la moitié du courant maximal de défaut à la terre de l'installation.

Les seuils de fonctionnement des dispositifs de détection des défauts d'isolement doivent être tels qu'ils permettent la détection des défauts à l'intérieur des récepteurs et la détection des défauts impédants.

Pour garantir un bon niveau de protection des récepteurs, il est recommandé d'adopter un réglage ne dépassant pas 10 % du courant de défaut phase-terre. Un réglage à 10 % permet en effet de couvrir au moins 90 % d'un couplage en étoile et 100 % d'un couplage en triangle.

Les dispositifs de détection des défauts d'isolement doivent être insensibles :

- aux courants capacitifs résiduels homopolaires des circuits qu'ils protègent ;
- aux courants harmoniques de rang 3 et multiples des circuits qu'ils protègent ;
- aux courants transitoires tels que les courants d'enclenchement des transformateurs et les courants de démarrage des moteurs.

La désensibilisation aux harmoniques 2 s'applique majoritairement aux dispositifs de protection différentielle longitudinale de transformateur pour empêcher un déclenchement intempestif à la mise sous tension du transformateur. Dans certaines conditions, elle peut également être mise en œuvre sur des dispositifs à maximum de courant. Il convient d'étudier son intérêt dans le cadre de l'étude du système de protection de l'installation.

Dans la pratique le seuil de courant de défaut le plus faible qu'il est possible d'adopter avec une protection à temps constant est égal à 1,3 fois la valeur du courant capacitif résiduel maximal du circuit à protéger.

Lorsque cette condition ne peut pas être respectée, l'adjonction de dispositifs de protection à critère directionnel est nécessaire.

La détection des courants de défaut peut être réalisée soit par des transformateurs tores entourant les conducteurs actifs des circuits à protéger, soit par des transformateurs de courant montés en étoile, soit par un transformateur tore, placés sur la connexion au circuit de terre de la masse de l'appareil à protéger.

Les transformateurs tores permettent lorsque leurs caractéristiques sont adaptées à celle du relais, des seuils de détection inférieurs à 1 A garantissant un bon niveau de protection des récepteurs.

Les transformateurs de courant montés en étoile n'autorisent pas des seuils inférieurs à 10 % de leurs courants assignés ; en deçà de cette valeur des déclenchements intempestifs sont à redouter.

En cas de dissymétrie des caractéristiques des transformateurs de courant ou de leur mauvaise adaptation à l'impédance de leur circuit secondaire, les courants d'enclenchement des transformateurs et de démarrage des moteurs peuvent entraîner l'apparition d'un courant résiduel suffisant pour provoquer le déclenchement des dispositifs de protection. Ce phénomène est principalement lié à la saturation partielle des transformateurs de courant.

Il existe une limite à l'emploi des tores dont le diamètre ne dépasse généralement pas 300 mm. Leur installation n'est pas possible sur les canalisations comportant plusieurs câbles par phase et sur les liaisons par gaines à barres. Pour la protection de ces liaisons, l'utilisation de transformateurs de courants couplés en étoile ou de plusieurs tores en parallèles est nécessaire.

L'usage de transformateurs de courant impose de fait, la valeur minimale du courant de défaut à la terre de l'installation, nécessaire au fonctionnement de ces protections.

Des transformateurs de courant de rapport 2000/1 par exemple imposent un seuil de réglage minimal de 200 A ; dans ces conditions pour garantir la détection des défauts, la résistance de mise à la terre du point neutre devra être telle que le courant de défaut ne soit pas inférieur au double de cette valeur, soit 400 A.

Un montage défectueux des transformateurs tores peut aussi être la cause de déclenchements intempestifs. Il y a lieu de veiller à la qualité de leur centrage sur les canalisations sur lesquels ils sont installés.

412.5.2 Mise en œuvre des schémas dont le point neutre est isolé de la terre

Dans le schéma avec neutre isolé, il est admis de ne pas couper l'alimentation lors du premier défaut d'isolement.

Un dispositif de surveillance permanente de l'isolement doit signaler l'apparition du premier défaut d'isolement dans l'installation. Ce dispositif doit soit actionner un signal sonore ou lumineux soit les deux, ou couper automatiquement l'alimentation de l'installation.

La surveillance de l'isolement peut être réalisée au moyen d'un dispositif à injection de courant ou par un dispositif de mesure de la tension homopolaire.

Lorsque la coupure n'intervient pas lors du premier défaut d'isolement, la recherche et l'élimination de ce défaut doivent intervenir dans les meilleurs délais.

La coupure de l'alimentation est obligatoire dès l'apparition d'un autre défaut d'isolement sur un conducteur d'une autre phase du circuit en défaut ou d'un autre circuit.

Un second défaut d'isolement survenant sur une autre phase d'un circuit préalablement affecté d'un premier défaut doit être détecté par les dispositifs de protection contre les défauts entre phases protégeant ce circuit.

Les doubles défauts d'isolement concernant des circuits différents doivent être détectés par des dispositifs sensibles au courant homopolaire. Un dispositif doit être installé en tête de chaque circuit ; les disjoncteurs assurant l'élimination d'un double défaut d'isolement doivent être capables de couper le courant de court-circuit biphasé sous la tension composée et sur un seul pôle.

L'utilisation d'un schéma à neutre isolé avec absence de coupure au premier défaut d'isolement est justifiée lorsqu'il est nécessaire d'assurer la continuité de service.

L'utilisation de ce schéma est réservée à des installations ou parties d'installation peu étendues dont la longueur cumulée des câbles est faible. En effet, le courant qui circule dans les équipements en défaut pendant toute la durée de la recherche et de l'élimination du défaut s'il est trop élevé, peut localement provoquer des échauffements dommageables ou dangereux.

Le courant de défaut est proportionnel à la longueur cumulée des câbles installés :

$$I_f = 3U_0 CL\omega$$

U_0	tension simple
C	capacité linéaire des câbles
L	longueur cumulée des câbles
ω	pulsation ($\omega = 2 \pi f$)
f	fréquence

Dans un schéma à neutre isolé, tout défaut d'isolement élève à la tension composée le potentiel par rapport à la terre des phases saines. Ce phénomène entraîne un vieillissement accéléré des isolations des matériels électriques ; il y a lieu de le prendre en compte lors du choix du niveau d'isolement de ces matériels.

Lorsque la surveillance de l'isolement est assurée par un dispositif à injection de courant continu, des condensateurs doivent être installés entre le point neutre des transformateurs de tension et la terre.

Dans un schéma à neutre isolé, des dispositions doivent être prises pour éviter les risques de ferrorésonance, des résistances de charge doivent notamment être branchées aux secondaires des transformateurs de tension.

NF C 13-200

Partie 4-41

(page blanche)

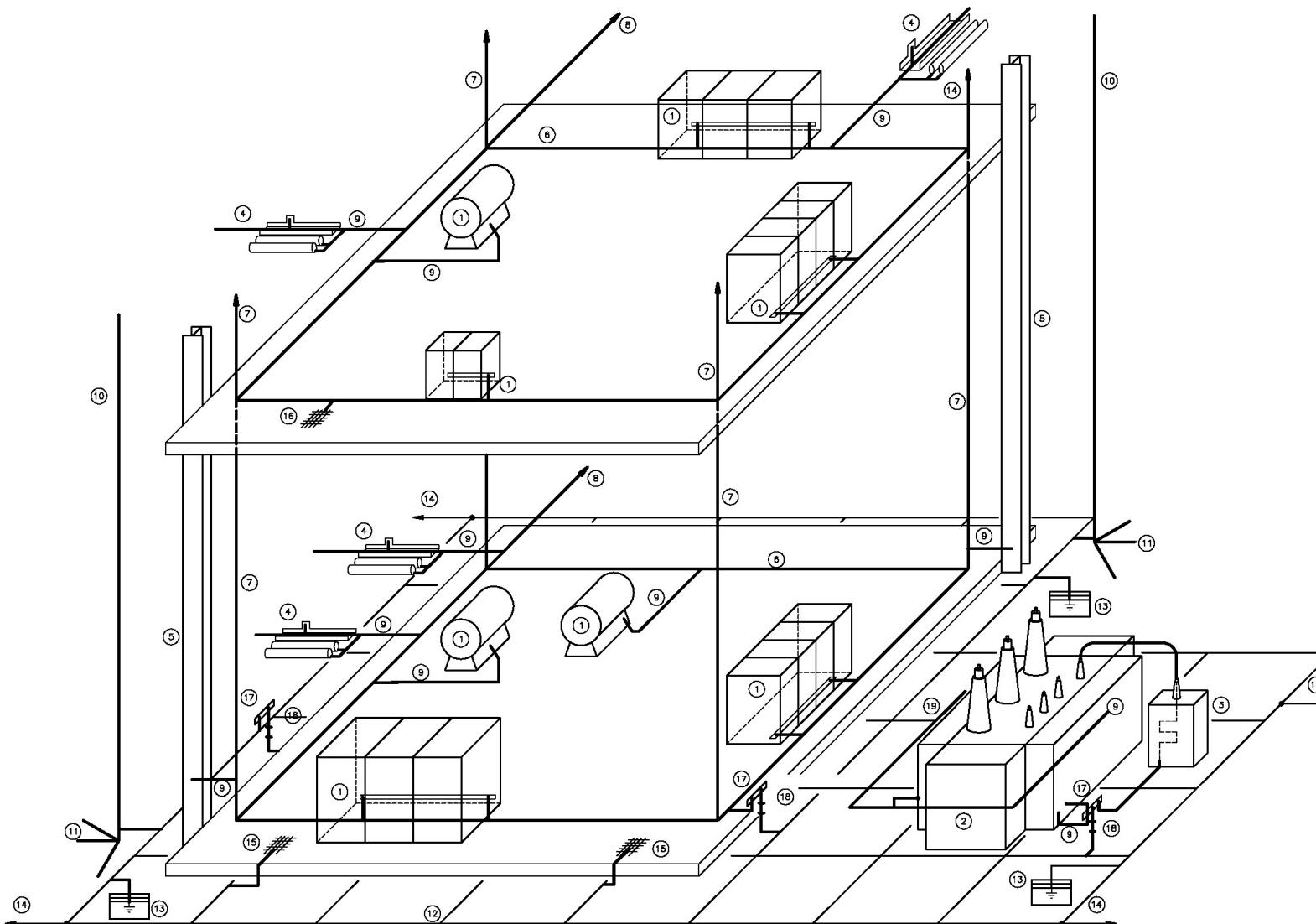
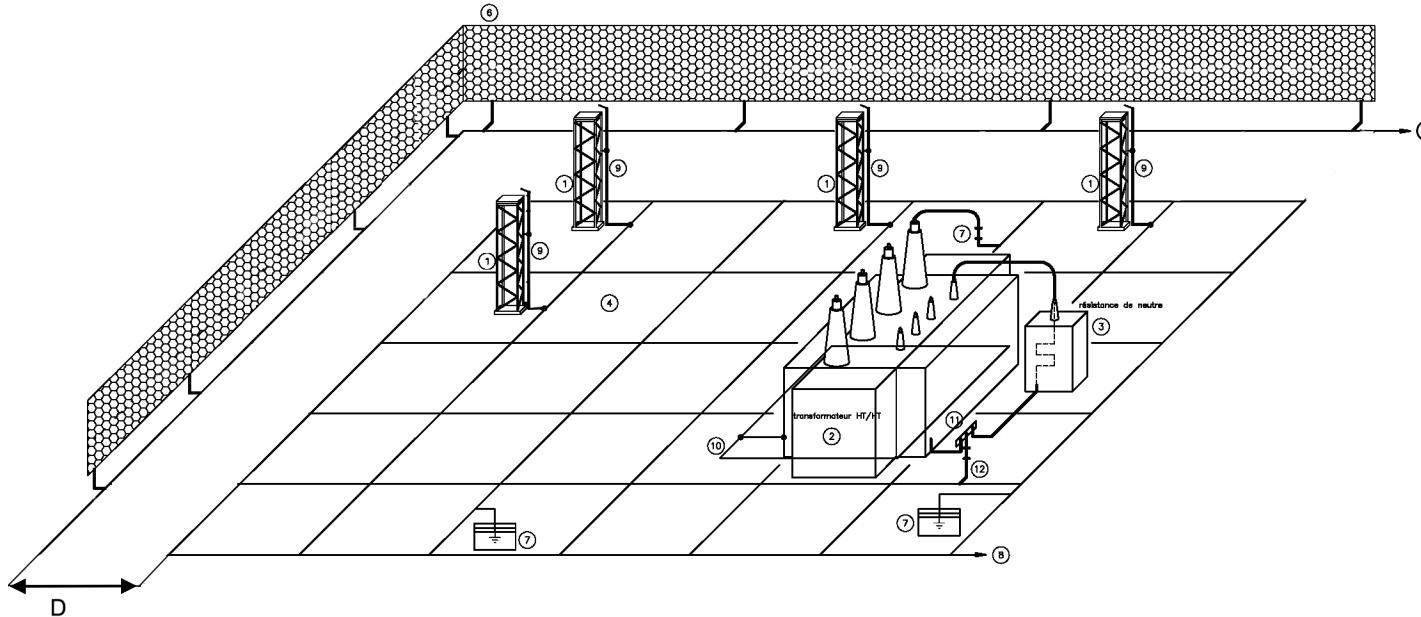


Figure 41F – Exemple de système equipotential et de mise à la terre dans un bâtiment industriel

Légende Figure 41F

1. Equipement électrique HT
2. Transformateur HT/HT
3. Résistance ou impédance de mise à la terre du neutre du transformateur HT/HT
4. Chemins de câbles, tuyauteries et autres éléments métalliques
5. Charpentes métalliques constituant la structure du bâtiment
6. Ceinturage réalisé au niveau de chaque niveau et de chaque zone du bâtiment
7. Conducteur de protection constituant l'interconnexion des ceinturages réalisés pour chaque niveau et chaque zone du bâtiment
8. Interconnexion avec les autres systèmes équipotentiels réalisés dans le bâtiment
9. Conducteurs de protection réalisant le raccordement des masses et des éléments métalliques au système équipotentiel
10. Conducteurs de descente des paratonnerres
11. Pattes d'oie réalisant la mise à la terre des paratonnerres
12. Prise de terre réalisée au niveau du bâtiment
13. Puits de terre éventuels destinés à améliorer la résistance de la prise de terre du bâtiment
14. Conducteurs enterrés réalisant l'interconnexion des différentes prises de terre des bâtiments
15. Ferraillage de la dalle de béton raccordé à la prise de terre du bâtiment
16. Ferraillage de la dalle de béton ou plancher métallique raccordé au système équipotentiel
17. Points de connexion du système équipotentiel à la prise de terre du bâtiment
18. Conducteur réalisant la mise à la terre du système équipotentiel
19. Conducteur de protection réalisant l'équipotentialité des masses dans l'environnement du transformateur



D = 3 m pour U ≤ 50 kV
D = 5 m pour U > 50 kV

Figure 41G – Exemple de système équipotentiel et de mise à la terre dans un poste de livraison HTB

Légende Figure 41G

1. Structures métalliques supportant l'appareillage électrique
2. Transformateur HT/HT
3. Résistance ou impédances de mise à la terre du neutre du transformateur HT/HT
4. Prise de terre réalisée au moyen d'un maillage enterré sous toute la surface d'une cellule (suivant les exigences de 412.3.3)
5. Prise de terre de la clôture
6. Clôture métallique raccordée à la prise de terre
7. Puits de terre éventuel destiné à améliorer la résistance de la prise de terre de l'installation
8. Interconnexion avec les autres prises de terre de l'installation
9. Conducteur de protection réalisant la mise à la terre des équipements électriques et des structures métalliques les supportant
10. Conducteur de protection réalisant l'équipotentialité de toutes les masses métalliques du transformateur HT/HT et des équipements annexes situés dans son environnement (sectionneur, armoire électrique, etc.)
11. Point de connexion du système equipotentiel à la prise de terre
12. Conducteur réalisant les mises à la terre du point neutre du transformateur et du système equipotentiel réalisé dans l'environnement du transformateur

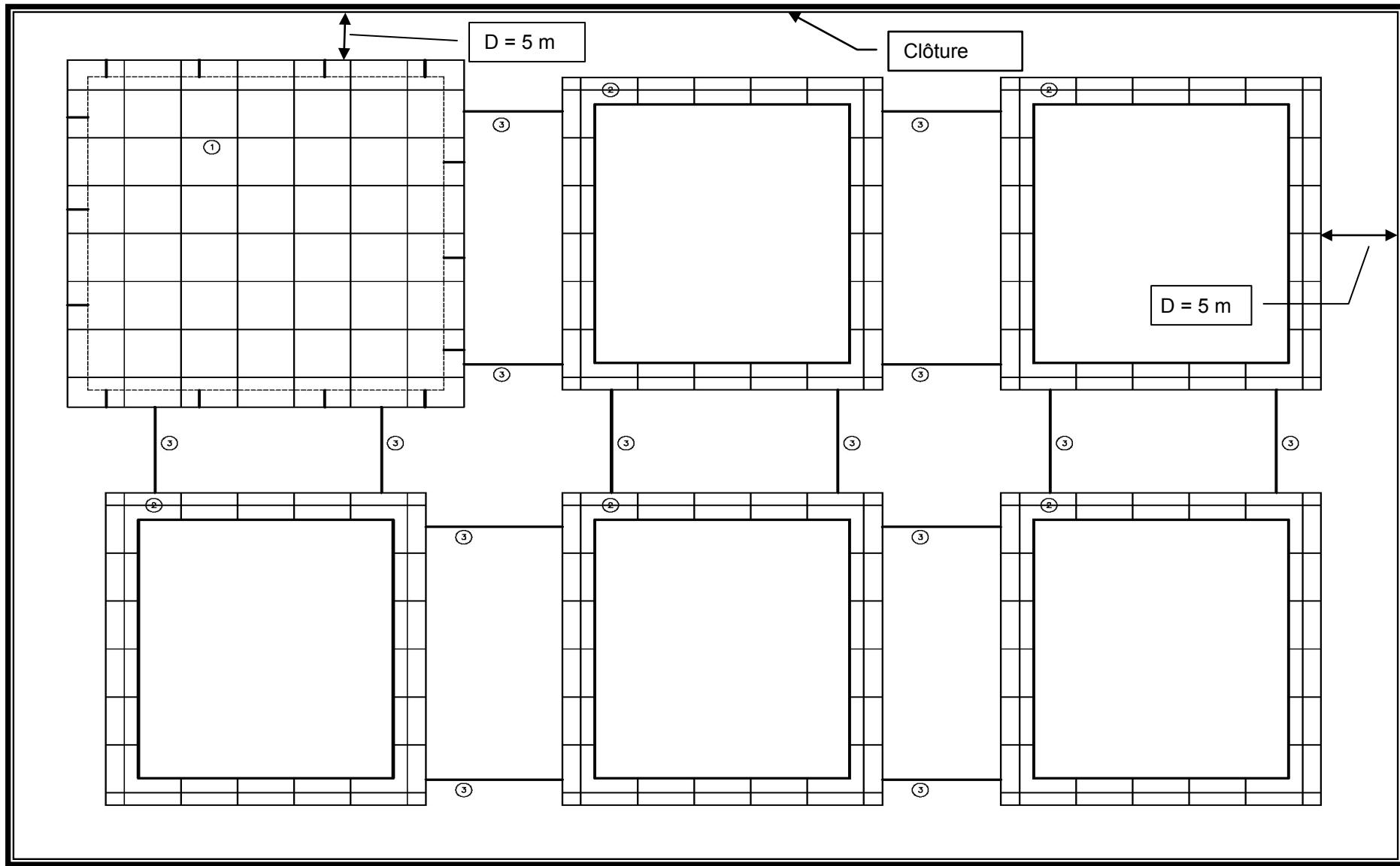


Figure 41H – Exemple d'interconnexions pour une installation alimentée en HTB de grande superficie comportant plusieurs zones de production

Légende Figure 41H

1. Prise de terre du poste de livraison
2. Prise de terre des bâtiments et zones de l'installation
3. Interconnexion des prises de terre

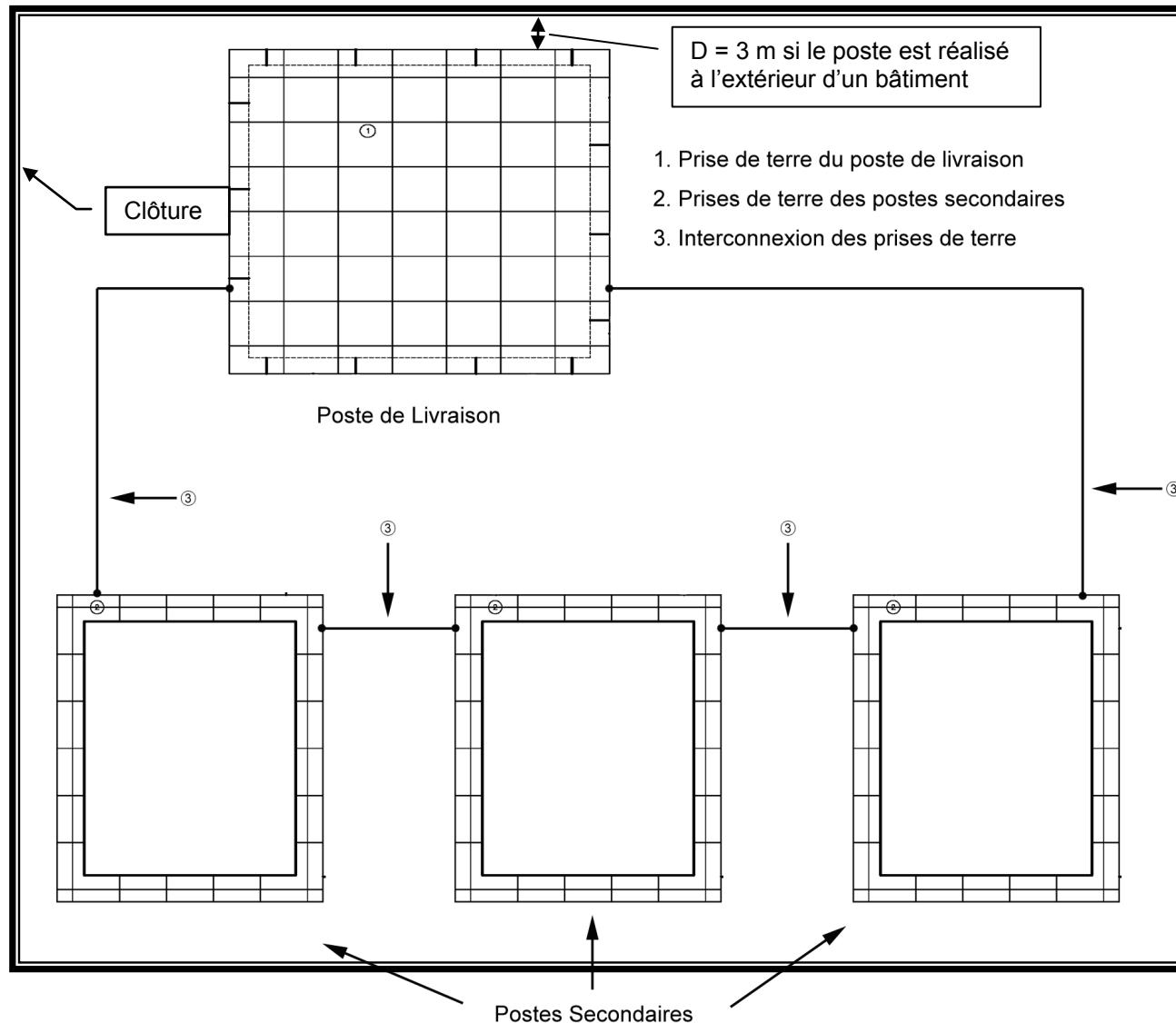


Figure 41J – Exemple d'interconnexion pour une installation alimentée en HTA comportant un poste de livraison et trois postes secondaires

Partie 4-42 – Protection contre l'incendie, les brûlures et l'explosion

421 Règles générales de protection contre l'incendie	94
422 Règles complémentaires de protection contre l'incendie pour les transformateurs	94
423 Règles complémentaires de protection contre l'incendie pour les réactances et condensateurs	102
424 Dispositions complémentaires pour la protection des personnes contre les risques d'incendie et d'explosion des matériels à diélectrique liquide	102
425 Risques de brûlures.....	102
426 Emplacements à risque d'explosion (emplacements BE3).....	103
427 Protection contre les arcs électriques.....	105

421 Règles générales de protection contre l'incendie

421.1 Les matériels électriques ne doivent pas présenter de danger d'incendie pour les matériaux voisins.

Les instructions des constructeurs doivent être observées en plus des prescriptions du présent document.

421.2 Lorsque les températures extérieures des matériels fixes peuvent atteindre des valeurs susceptibles d'endommager des matériaux voisins, les matériels doivent être :

- soit installés sur ou à l'intérieur de matériaux supportant de telles températures et de faible conductivité thermique ;
- soit séparés des éléments de construction par des matériaux supportant de telles températures et de faible conductivité thermique.

Les matériaux non-métalliques des catégories M0, M1, M2 ou, selon la nouvelle classification, A1, A2, B, C, conviennent pour l'application des dispositions ci-dessus.

En France, la classification M0 à M4 et la classification A1 à F sont celles qui résultent de l'arrêté du 21 novembre 2002 du ministère de l'intérieur relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement..

422 Règles complémentaires de protection contre l'incendie pour les transformateurs

422.1 Transformateurs à diélectriques liquides inflammables

422.1.1 Règles générales

La protection contre l'incendie des transformateurs à diélectriques liquides inflammables quelque soit leur puissance et leur emplacement doit être réalisée par la mise en place des dispositions suivantes :

- protection contre les défauts internes (voir 422.1.2) commandant la mise hors tension du transformateur ;
- mise en place d'un bac ou autre dispositif pour récupérer la totalité du diélectrique.

Les dispositions complémentaires suivantes doivent être prises pour les transformateurs d'une puissance supérieure à 1 250 kVA :

- dispositions telles que si le diélectrique liquide vient à se répandre et à s'enflammer, son extinction naturelle soit rapidement assurée ;
- pour les installations extérieures :
 - maintien d'une distance minimale de sécurité G entre le transformateur et un bâtiment ou un autre transformateur (voir 422.1.4, Tableau 42C) ;
 - ou si cette distance ne peut pas être respectée, réalisation de parois résistantes au feu (voir 422.1.4, Tableau 42D) ;
- pour les installations intérieures, réalisation d'un local avec parois résistantes au feu (voir 422.1.4, Tableau 42D) et de parois résistantes au feu entre transformateurs.

On entend par parois, les murs, plafonds, cloisons et planchers.

Des ventilations peuvent traverser les parois résistantes au feu de ces locaux si elles sont équipées de clapets résistants au feu avec un degré équivalent à celui de la paroi.

Les dispositions complémentaires pour les transformateurs d'une puissance supérieure à 1 250 kVA ne s'appliquent pas lorsqu'ils sont installés dans des postes préfabriqués conformes au 5.2 de la NF EN 62271-202. Les distances de sécurité G entre le poste préfabriqué et les autres bâtiments doivent être respectées.

Les postes préfabriqués sont définis en tant que matériels sous enveloppe soumis à des essais de type, comprenant à l'intérieur de l'enveloppe, un transformateur, l'appareillage basse tension et haute tension, les connexions et les équipements auxiliaires, destinés à fournir de l'énergie basse tension à partir d'un réseau haute tension.

La classification des diélectriques liquides s'exprime par une désignation comprenant une lettre suivie d'un chiffre (voir NF C 27-300).

La première lettre caractérise le point de feu :

- la classe O présente un point de feu inférieur ou égal à 300 °C ;
- la classe K présente un point de feu supérieur à 300 °C ;
- la classe L n'a pas de point de feu mesurable.

Le chiffre suivant la lettre caractérise le pouvoir calorifique inférieur :

- la classe 1 si le pouvoir calorifique inférieur est supérieur ou égal à 42 MJ/kg ;
- la classe 2 si le pouvoir calorifique inférieur est inférieur à 42 MJ/kg et supérieur ou égal à 32 MJ/kg ;
- la classe 3 si le pouvoir calorifique inférieur est inférieur à 32 MJ/kg.

Les diélectriques de classe L3 ne sont pas considérés comme inflammables.

Tableau 42A – Exemples de produits

Désignation	Produits	Point de feu (°C)	Pouvoir calorifique inférieur (MJ/kg)
O1	Huile minérale	< 300	/
K2	Esters	> 300	34-37
K3	Silicones	> 300	27-28

Tableau 42B – Récapitulatif des modes de protection

Puissance (MVA)	Modes de protection
Jusqu'à 1,25	<ul style="list-style-type: none">• Protection contre les défauts internes• Dispositif de récupération du diélectrique
Supérieure à 1,25	<ul style="list-style-type: none">• Protection contre les défauts internes• Dispositif de récupération du diélectrique• Dispositif d'extinction naturelle rapide du diélectrique• Distance de sécurité (G) ou parois résistantes au feu pour les installations extérieures• Parois résistantes au feu pour les installations intérieures

422.1.2 Protection contre les défauts internes

Pour garantir la protection contre l'incendie, les transformateurs à diélectrique liquide, quelle que soit leur puissance, doivent au minimum être équipés de dispositifs de protection en cas de :

- baisse du niveau du diélectrique ;
- détection de gaz ou surpression ;
- température haute.

Les dispositifs utilisés doivent répondre aux normes NF EN 50216-2 et NF EN 50216-3.

Ces dispositifs de protection suivant leur nature peuvent pour chacune des fonctions être équipés de deux contacts, un pour l'alarme et l'autre pour la coupure de l'alimentation du transformateur. Pour les transformateurs à refroidissement non naturel, il y a lieu, en complément, de contrôler le fonctionnement des ventilateurs et éventuellement des pompes de circulation d'huile.

Les seuils d'alarme et de déclenchement sont déterminés par le constructeur du transformateur.

422.1.3 Récupération et extinction du diélectrique électrique inflammable

La récupération du diélectrique doit être réalisée comme suit :

- au moyen d'un bac de rétention pour un transformateur de puissance unitaire au plus égale à 1 250 kVA ; la solution de rehausser le seuil de la porte d'un local et d'utiliser le sol de celui-ci comme système de récupération n'est pas admise ;
- au moyen d'un dispositif approprié ou d'une fosse d'extinction du diélectrique liquide avec réservoir de récupération intégré pour les transformateurs de puissance supérieure à 1 250 kVA et au plus égale à 40 MVA ;
- au moyen d'une fosse d'extinction du diélectrique liquide avec réservoir de récupération séparé pour les transformateurs de puissance supérieure à 40 MVA.

Les dispositifs de récupération du diélectrique doivent être étanches et conçus pour résister aux élévations de température résultant du diélectrique en feu et à la nature du diélectrique.

Lorsqu'un dispositif de récupération est commun à plusieurs transformateurs, il doit être conçu de manière à ne pas propager l'incendie d'un transformateur vers un autre transformateur. Des siphons coupe-feu doivent être utilisés à cet effet lorsque les canalisations d'évacuation vers le réservoir de récupération sont de longueur inférieure à 15 m.

Toutes les précautions doivent être prises pour que les réservoirs de récupération ne se remplissent pas d'eau.

Il doit être procédé à la séparation huile – eau au niveau des réservoirs de récupération séparés au moyen d'un dispositif approprié.

Deux exemples de dispositif sont représentés sur la Figure 42A.

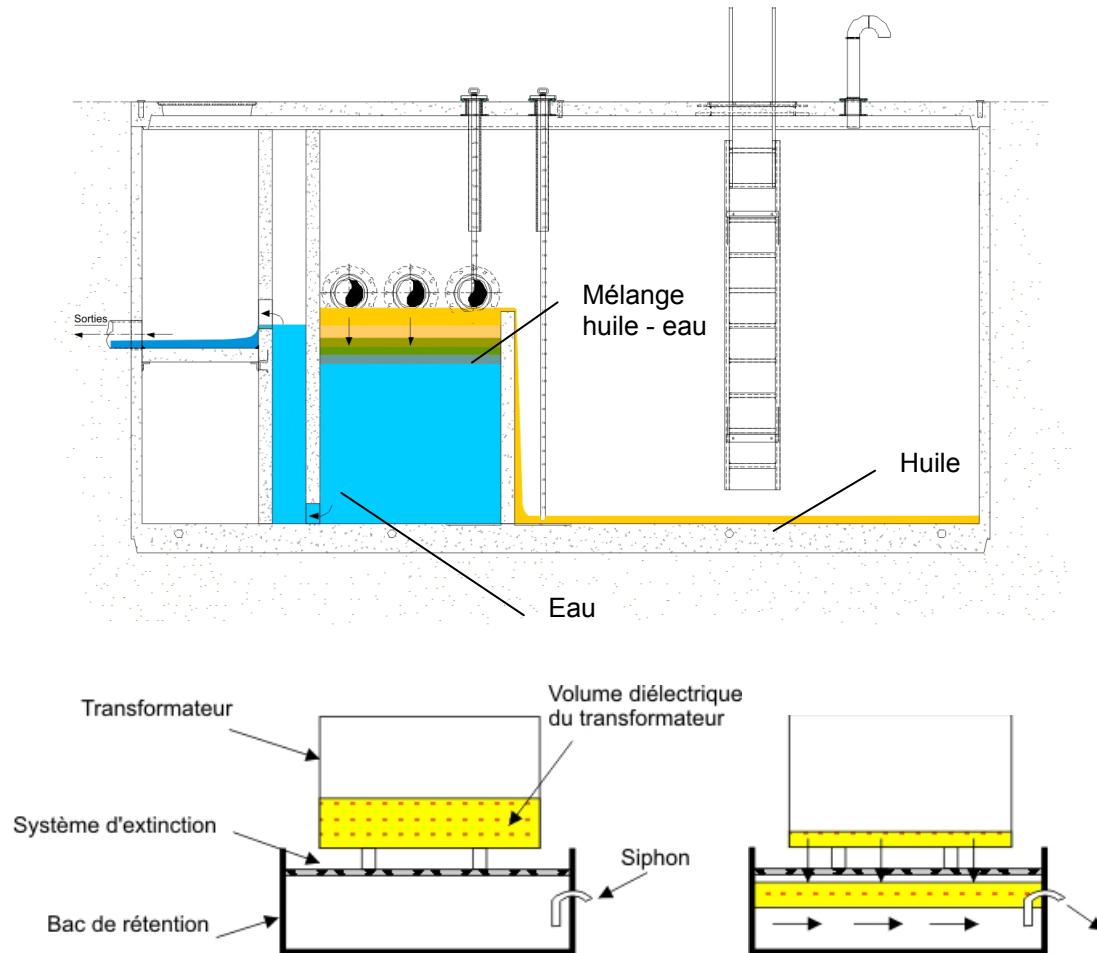


Figure 42A – Exemples de séparateur huile-eau

422.1.3.1 Fosse avec réservoir de récupération intégré

La Figure 42B montre la réalisation d'une fosse d'extinction avec réservoir de récupération intégré pour un transformateur au plus égal à 40 MVA avec dispositif d'extinction rapide et naturelle du diélectrique.

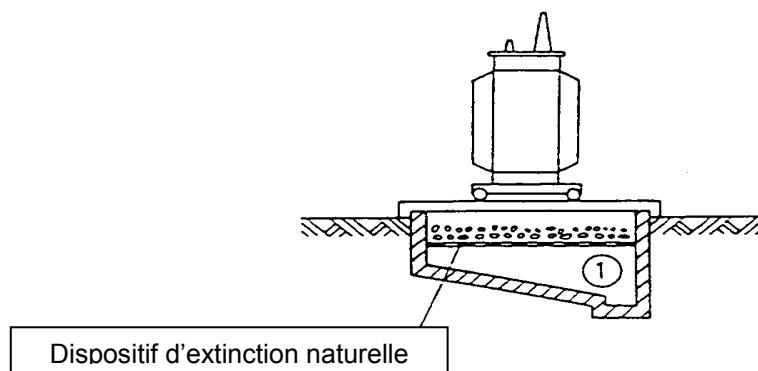


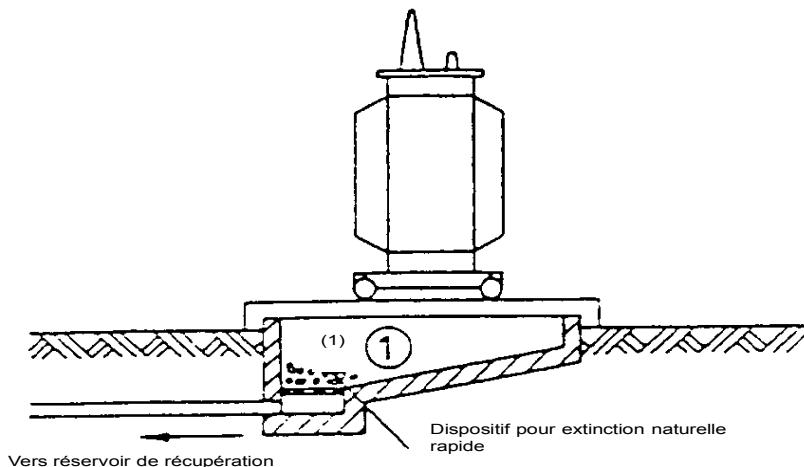
Figure 42B – Fosse avec réservoir de récupération intégré

422.1.3.2 Fosse avec réservoir de récupération séparé

La Figure 42C montre la réalisation d'une fosse d'extinction avec réservoir de récupération séparé pour un transformateur de puissance supérieure à 40 MVA avec dispositif d'extinction rapide et naturel du diélectrique.

La contenance de la fosse doit être compatible avec l'évacuation du diélectrique dans le réservoir. Elle doit au minimum contenir 20 % de la quantité du liquide du transformateur. Une fosse commune à plusieurs transformateurs n'est pas admise.

Le réservoir de récupération peut être commun à plusieurs transformateurs avec une capacité au moins égale à celle du transformateur de la capacité la plus élevée ; son niveau doit pouvoir être contrôlé.



(1) Rétention de la fosse : Minimum 20 % du liquide du transformateur.

Figure 42C – Fosse avec réservoir de récupération séparé

422.1.4 Protection par éloignement et par parois résistantes au feu

422.1.4.1 Installations extérieures

422.1.4.1.1 Protection entre transformateur et bâtiment

L'incendie d'un transformateur d'une puissance supérieure à 1 250 kVA ne doit pas exposer au risque d'incendie les bâtiments situés à proximité. Dans ce but, le transformateur doit être installé à une distance de sécurité G du bâtiment. Le Tableau 42C donne des valeurs minimales.

Lorsque la distance de sécurité G ne peut pas être respectée, une paroi résistante au feu EI 60 ou REI 60 doit être mise en œuvre conformément aux dispositions de la Figure 42D1 et du Tableau 42D, la distance de sécurité G étant alors mesurée à partir du dessus de la cuve et de l'extrémité des radiateurs.

422.1.4.1.2 Protection entre transformateurs

L'incendie d'un transformateur d'une puissance supérieure à 1 250 kVA ne doit pas exposer au risque d'incendie les transformateurs situés à proximité. Dans ce but, tout transformateur doit être installé à une distance de sécurité G des autres transformateurs. Le Tableau 42C donne des valeurs minimales.

Lorsque la distance de sécurité G ne peut pas être respectée, une paroi résistante au feu EI 60 ou REI 60 doit être mise en œuvre conformément aux dispositions de la Figure 42D2 et du Tableau 42D.

La paroi résistante au feu doit avoir les dimensions suivantes :

- hauteur : sommet du vase d'expansion s'il existe ; sinon sommet de la cuve ou des radiateurs ;
- longueur : définie par la distance G mesurée horizontalement à partir de l'extrémité de la cuve ou des radiateurs.

Tableau 42C – Distances de sécurité G pour les installations extérieures

Puissance (MVA)	Distance de sécurité (G en m)	
	Diélectrique liquide de type O1	Diélectrique liquide de type K2 ou K3
Plus de 1,25 jusqu'à 10	3	1,5
Plus de 10 jusqu'à 40	5	2,5
Plus de 40 jusqu'à 200	10	5
Plus de 200	15	7,5

La distance de sécurité G est mesurée à partir du dessus de la cuve ou de l'extrémité des radiateurs (voir Figures 42D).

Transformateur/Bâtiment

Transformateur/Transformateur

Extérieur

Intérieur

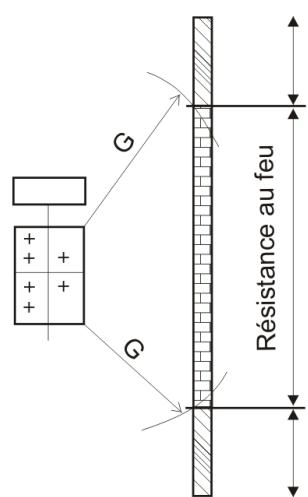
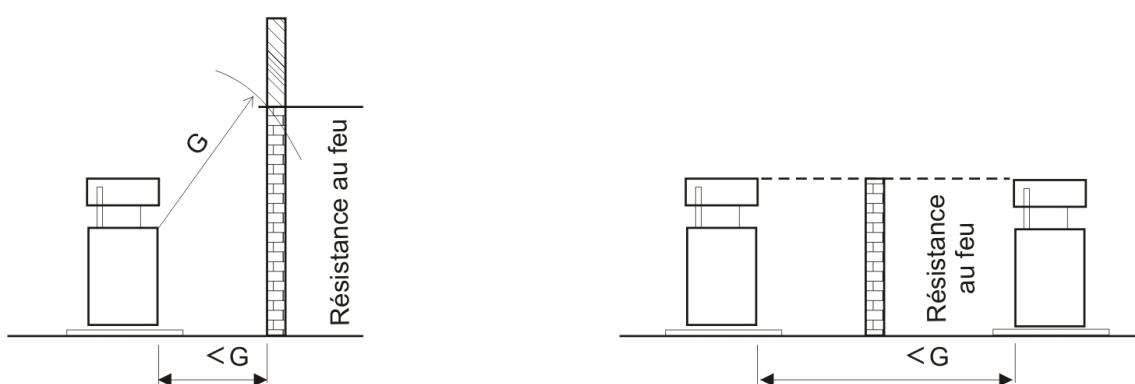


Figure 42D1

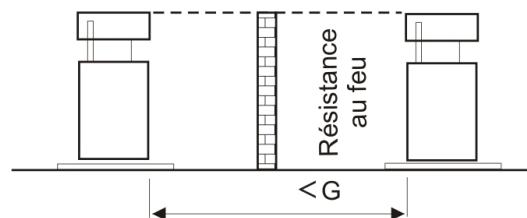


Figure 42D2

Légende :



Figures 42D – Distance de sécurité G

422.1.4.2 Installations intérieures

Les transformateurs à diélectriques liquides inflammables, de puissance supérieure à 1 250 kVA doivent être installés dans des locaux séparés des autres parties du bâtiment par des parois et planchers résistants au feu d'au moins 90 mn. Les portes des locaux donnant vers l'intérieur des bâtiments doivent être résistantes au feu 90 mn.

A l'intérieur de ces locaux, les transformateurs de puissance supérieure à 1 250 kVA doivent également être séparés entre eux par une paroi résistante au feu d'au moins 90 mn.

La performance EI 90 sera retenue pour les parois non porteuses ; la performance REI 90 sera retenue pour les parois porteuses, portes et planchers, la lettre R désignant la capacité portante.

Tableau 42D – Résistance au feu des parois pour les installations extérieures et intérieures de transformateurs de puissance supérieure à 1 250 kVA

Entre le transformateur à protéger et	Parois résistantes au feu pour les installations extérieures	Parois résistantes au feu pour les installations intérieures
un bâtiment	EI 60 ou REI 60	-
un autre local	-	EI 90 ou REI 90
un autre transformateur	EI 60 ou REI 60	EI 90 ou REI 90

El : étanchéité au feu et isolation thermique.
REI : capacité portante avec étanchéité au feu et isolation thermique.
60, 90 : temps en minutes de tenue au feu.
La résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages est définie dans l'arrêté du 22 mars 2004.

422.2 Transformateurs de type sec

Les transformateurs de type sec doivent être équipés de sondes thermiques assurant leur protection contre les échauffements par coupure automatique de l'alimentation du primaire.

422.2.1 Transformateurs de type sec F0

La protection contre l'incendie des transformateurs de type sec F0 doit être celle requise pour les transformateurs à diélectriques liquides inflammables (422.1).

422.2.2 Transformateurs de type sec F1

Si des transformateurs secs F1 sont installés, aucune mesure de protection contre l'incendie n'est nécessaire.

423 Règles complémentaires de protection contre l'incendie pour les réactances et condensateurs

Les règles applicables aux réactances et aux condensateurs contenant plus de 25 l de diélectrique liquide inflammable sont identiques à celles des transformateurs. Pour les batteries de condensateurs, la contenance de 25 l s'applique à chaque élément de condensateur constituant la batterie.

424 Dispositions complémentaires pour la protection des personnes contre les risques d'incendie et d'explosion des matériaux à diélectrique liquide

En complément des dispositions précédentes de protection contre l'incendie, il y a lieu dans certain cas de prendre en compte la protection des personnes contre les risques d'incendie et d'explosion des matériaux à diélectrique liquide. L'appréciation du risque et les moyens à mettre en œuvre pour s'en protéger sont fonction de l'installation.

Dans la pratique, ces dispositions sont mises en œuvre pour des transformateurs de plus de 20 MVA ; elles consistent généralement à la mise en place de murs de protection formant écran entre les zones de présence ou de circulation des personnes et les transformateurs.

425 Risques de brûlures

Les parties accessibles des matériaux électriques ne doivent pas atteindre des températures susceptibles de provoquer des brûlures aux personnes et doivent satisfaire aux limites appropriées indiquées dans le Tableau 42E. Toutes les parties de l'installation susceptibles d'atteindre en service normal, même pendant de courtes périodes, des températures supérieures à celles indiquées dans le Tableau 42E doivent être protégées contre tout contact accidentel.

Toutefois, les valeurs du Tableau 42E ne s'appliquent pas aux matériaux qui satisfont aux normes qui leur sont applicables.

Tableau 42E - Températures maximales en service normal des parties accessibles des matériaux électriques

Parties accessibles	Matière des parties accessibles	Températures maximales (°C)
Organes de commande manuelle	Métallique	55
	Non métallique	65
Parties pouvant être touchées mais non destinées à être tenues à la main	Métallique	70
	Non métallique	70

NOTE Les températures indiquées ne tiennent pas compte du rayonnement solaire éventuel.

426 Emplacements à risque d'explosion (emplacements BE3)

La classe d'influence externe BE3 correspond aux emplacements où une atmosphère explosive peut se présenter.

La directive européenne 1999/92/CE du 16 décembre 1999 classe de tels emplacements en zones en fonction de la fréquence et de la durée de présence d'une atmosphère explosive.

Cette classification définit trois zones pour les atmosphères explosives, composées d'un mélange d'air et de substances inflammables tel que gaz, vapeur ou brouillard (Zones 0, 1 et 2) et trois autres zones pour les atmosphères explosives comprenant un nuage de poussières combustibles (Zones 20, 21 et 22).

Le « document relatif à la protection contre les explosions » établi et tenu à jour par le chef d'établissement définit pour l'établissement considéré les emplacements dangereux et leur classification (article R.4227-52 du code du travail).

Un arrêté du 8 juillet 2003 [13] relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive indique les critères de choix des matériels caractérisés par leur catégorie, en fonction de la nature de l'atmosphère explosive, gaz (G) ou poussière (D), les catégories des matériels étant définies dans le décret 96-1010 du 19 novembre 1996 [4].

426.1 Dans les emplacements classés BE3, les installations électriques doivent être limitées à celles nécessaires à l'exploitation de ces emplacements. Les matériels de ces installations dont la mise en œuvre n'est pas indispensable dans les emplacements BE3 sont installés de préférence dans des emplacements non dangereux. Si cela n'est pas possible, il convient de les placer dans la zone présentant le danger le plus faible.

Les circuits desservant les emplacements BE3 doivent être réservés exclusivement à l'alimentation de ces emplacements et des récepteurs installés dans ces emplacements.

426.2 Dans le cas d'atmosphères explosives gazeuses (G), les modes de protection des matériels doivent être choisis conformément aux normes qui leur sont applicables.

Le Tableau 42F donne, pour chaque mode de protection, la norme applicable ainsi que les zones dans lesquelles ce mode de protection peut être mis en œuvre.

Tableau 42F – Indications sur les modes de protection en atmosphère explosive gazeuse

Mode de protection	Norme	Zone d'atmosphère (G)		
		Zone 0	Zone 1	Zone 2
Enveloppe antidéflagrante « d »	NF EN 60079-1		x	x
Sécurité augmentée « e »	NF EN 60079-7		x	x
Encapsulage « m »	NF EN 60079-18		x	x
Immersion dans l'huile « o »	NF EN 60079-6		x	x
Surpression interne « p »	NF EN 60079-2		x	x
Rémpissage pulvérulent « q »	NF EN 60079-5		x	x
Mode de protection « n »	NF EN 60079-15			x

x Utilisation possible sous réserve de l'adéquation à la nature de l'atmosphère explosive.

La norme NF EN 60079-14 définit les règles à respecter pour l'utilisation des différents modes de protection.

Dans le cas d'atmosphères explosives générées par la présence de poussières combustibles (D), les matériels utilisables dans les zones 20, 21 et 22 doivent être conformes aux normes NF EN 61241-1 et NF EN 61241-0.

Les normes NF EN 61241-14 et NF EN 61241-17 définissent les règles à respecter pour la mise en œuvre des dits matériels.

426.3 Dans les atmosphères explosives gazeuses, avec présence de poussières non combustibles, les enveloppes des matériels électriques doivent présenter un degré de protection au moins égal à IP5X.

Dans les atmosphères explosives générées par la présence de poussières combustibles, les degrés de protection des enveloppes des matériels électriques sont définis dans les normes NF EN 61241-14 et NF EN 61241-17.

426.4 Lorsque la température d'inflammation des gaz pouvant être en contact avec un câble est inférieure à la température maximale de la surface extérieure du câble en régime permanent, le câble doit être déclassé. Le déclassement doit être étudié conjointement avec le constructeur.

Pour les conditions de fonctionnement au courant d'emploi, en régime permanent ; pour les conditions de pose et à la température ambiante de l'air ou du sol, les températures de la surface extérieure des câbles sont à titre indicatif les suivantes :

- *câbles isolés PVC, 50 °C environ pour une température de 70 °C sur l'âme ;*
- *câbles isolés au PR et EPR, 80 °C environ pour une température de 90 °C sur l'âme.*

426.5 Les câbles, les conduits, les goulottes et les chemins de câbles doivent satisfaire à l'essai de non propagation de la flamme (catégorie C2 pour les câbles).

426.6 Lorsqu'une ligne aérienne dessert des emplacements classés BE3, l'alimentation, avant la pénétration dans la zone BE3, doit s'effectuer par l'intermédiaire d'une canalisation en conducteurs isolés d'une longueur d'au moins 20 m en HTA et d'au moins 100 m en HTB.

Les conducteurs nus sont interdits dans les zones BE3.

426.7 Les caniveaux, conduits, fourreaux, etc., recevant des câbles doivent être obturés pour empêcher le passage des gaz, vapeurs, poussières ou liquides inflammables, d'un emplacement dangereux à un emplacement non dangereux ou d'une zone à une autre.

Il doit en être de même pour la traversée des parois.

426.8 Les canalisations doivent être mises en œuvre de façon à ce qu'elles ne soient pas exposées aux chocs mécaniques, à l'action de substances corrosives (par exemple, solvants) ainsi qu'aux effets de la chaleur. S'il n'en est pas ainsi, elles doivent être correctement choisies en fonction des classes d'influences externes ; dans le cas de risque mécanique, la protection doit être supérieure à celle prescrite pour la classe d'influence externe AG.

426.9 Des liaisons équipotentielle doivent être réalisées entre les masses et les éléments conducteurs étrangers aux installations électriques (éléments métalliques de la construction, armatures du béton, canalisations métalliques, appareils non électriques, etc.).

Les liaisons entre masses peuvent être réalisées par leurs conducteurs de mise à la terre, si le cheminement de ces conducteurs est proche de la plus courte distance entre les masses.

Aucune protection cathodique ne doit être prévue pour des éléments métalliques situés en zone 0, sauf si elle est spécifiquement conçue à cet effet. (NF EN 60079-14)

426.10 Une évaluation des risques dus à la foudre doit être effectuée conformément aux normes de la série NF EN 62305. Si nécessaire, un système de protection contre la foudre doit être mis en œuvre.

L'arrêté du 15 janvier 2008 [14] impose cette protection pour certaines installations classées pour la protection de l'environnement ainsi que l'arrêté du 25 juin 1980 pour certains établissements recevant du public.

Lorsqu'un paratonnerre est mis en œuvre, la norme NF EN 62305-3 donne les principes de mis en œuvre évitant la formation d'étincelles.

427 Protection contre les arcs électriques

Les installations doivent être conçues et les matériels sélectionnés et installés de telle sorte que le personnel soit protégé contre les arcs électriques pouvant se développer en cours d'exploitation. Tout ou partie des mesures ou dispositions suivantes doit être mis en œuvre pour protéger le personnel contre les arcs électriques :

- sectionneur de terre présentant un pouvoir de fermeture égal ou supérieur à la valeur obtenue en considérant le courant maximal de court-circuit ;
- dispositif de verrouillage interdisant les manœuvres dangereuses telles que par exemple, l'ouverture en charge d'un sectionneur ;
- utilisation de matériels résistant aux arcs internes conformément aux normes NF EN 62271-200 et NF EN 62271-203, et installés selon les instructions des constructeurs.

Dans le cas de poste préfabriqué devant résister aux arcs internes, il y a lieu de se référer à la NF EN 62271-202.

NF C 13-200

Partie 4-42

(page blanche)

Partie 4-43 – Protection contre les surintensités

431 Protection contre les surcharges	108
432 Protection contre les courts-circuits	108

431 Protection contre les surcharges

Les récepteurs (transformateurs, moteurs, condensateurs, etc.) doivent être protégés contre les surcharges ; cette protection assure également la protection des canalisations alimentant ces récepteurs.

La protection contre les surcharges peut être assurée par des dispositifs à image thermique, par des dispositifs de surveillance de température incorporés aux matériels à protéger ou par la combinaison des deux.

Pour les canalisations reliant les tableaux de distribution, une protection contre les surcharges doit être mise en œuvre sur chaque canalisation si le courant d'emploi peut, dans certaines conditions d'exploitation, être supérieur au courant pour lequel la canalisation a été dimensionnée.

432 Protection contre les courts-circuits

432.1 Objet

La protection contre les courts-circuits doit être assurée par des dispositifs qui interrompent le courant lorsqu'un conducteur au moins est parcouru par le courant de court-circuit. La coupure doit intervenir dans un temps suffisamment court pour que les conducteurs et les matériels ne soient pas endommagés.

432.2 Nature des dispositifs de protection contre les courts-circuits

Les dispositifs de protection contre les courts-circuits sont généralement :

- des fusibles ;
- des disjoncteurs associés à des relais.

432.3 Caractéristiques des dispositifs de protection contre les courts-circuits

432.3.1 Conditions générales

Un dispositif assurant la protection contre les courts-circuits doit répondre aux conditions suivantes :

a) son pouvoir de coupure doit être au moins égal au courant à couper au point où ce dispositif est installé ;

Le courant à couper se compose du courant de court-circuit symétrique présumé et de la composante continue associée.

b) le temps de coupure du courant résultant d'un court-circuit franc se produisant en tout point du circuit doit être inférieur au temps de passage de ce courant tel que la température des conducteurs et des matériels soit portée à une valeur au plus égale à la limite maximale admise ;

Pour les câbles, les modalités pratiques d'application de cette règle sont indiquées à l'article 527.

Pour les matériels, le temps de tenue à la contrainte d'échauffement thermique due au court-circuit est généralement de 1 s. Des valeurs de 2 s et 3 s peuvent également être envisagées.

c) il doit fonctionner pour la valeur minimale que peut prendre le courant de court-circuit.

La valeur minimale correspond aux conditions suivantes :

- configuration minimale des sources d'alimentation ;
- court-circuit biphasé ;
- éloignement maximal du court-circuit par rapport aux sources d'alimentation ;
- charges tournantes ou autres charges, contribuant au court-circuit, à l'arrêt.

Les courants de court-circuit sont déterminés conformément aux exigences de la NF EN 60909-0.

En pratique, il y a lieu de déterminer pour chaque circuit deux valeurs de courant de court-circuit :

- *le courant de court-circuit maximal permettant de dimensionner l'appareillage ;*
- *le courant de court-circuit minimal pour vérifier l'adéquation des dispositifs de protection.*

Il convient de tenir compte de la contribution des machines propres à l'installation (alternateurs, moteurs synchrones ou asynchrones).

La valeur la plus faible du courant de court-circuit suppose l'impédance équivalente de la source d'alimentation à sa valeur maximale.

432.4 Emplacement des dispositifs de protection contre les courts-circuits

Un dispositif de protection contre les courts-circuits doit au moins être placé à l'origine de l'installation. En complément, un dispositif analogue coordonné avec le dispositif de protection général peut être placé à l'origine de chaque canalisation. Ces dispositifs complémentaires protègent les canalisations auxquels ils sont associés ainsi que les récepteurs éventuellement alimentés par ces canalisations.

432.5 Choix et réglages des dispositifs de protection

Les dispositifs de protection doivent être choisis et leurs réglages ajustés de sorte que le système de protection garantisse l'élimination sélective des défauts.

Pour certaines configurations de réseaux (sources en parallèle, liaisons en parallèle, boucles), l'utilisation de dispositifs différentiels ou directionnels est nécessaire.

La sélectivité d'un système de protection mérite une attention particulière, elle intervient significativement dans la garantie du niveau de disponibilité de l'installation.

NF C 13-200

Partie 4-43

(page blanche)

Partie 4-44 — Protection contre les surtensions et les baisses de tension

441 Types de perturbations à prendre en compte.....	112
442 Protection contre les surtensions et les baisses de tension à fréquence industrielle	112
443 Protection contre les surtensions temporaires	113
444 Protection contre les surtensions de manœuvre et d'origine atmosphérique	113
445 Protection contre les creux de tension, les coupures brèves et les micro-coupures	114
446 Protection contre les coupures longues	115

441 Types de perturbations à prendre en compte

Il y a lieu de considérer séparément :

- les surtensions et les baisses de tension à fréquence industrielle ;
- les surtensions temporaires ;
- les surtensions de manœuvre ;
- les surtensions d'origine atmosphérique ;
- les creux de tension, les coupures brèves et les microcoupures ;
- les coupures longues.

Pour toutes les notions relatives aux perturbations affectant la qualité de l'énergie électrique, il y a lieu de se référer à la norme NF EN 50160.

442 Protection contre les surtensions et les baisses de tension à fréquence industrielle

La tension de l'installation doit être maintenue, par des moyens appropriés, dans la plage que les récepteurs et les matériels peuvent accepter en permanence et qui satisfait toutes les conditions de fonctionnement de l'installation.

En dehors de cette plage, il y a lieu de procéder à la coupure de l'alimentation. Cette coupure doit intervenir dans un délai compatible avec la sécurité des biens et des personnes.

La protection contre les baisses et les élévations de tension est généralement réalisée au niveau de chaque sous-station par des relais à minimum et à maximum de tension. Chaque relais est associé à une temporisation.

Les surtensions et les baisses de tension à fréquence industrielle sont généralement imposées par le réseau externe d'alimentation. Elles ont le plus souvent pour origine la défaillance d'un dispositif de réglage de la tension ou une variation importante de la charge du réseau. Elles peuvent aussi avoir une origine interne lorsque l'installation comporte des générateurs.

Lorsque la tension du réseau d'alimentation est sujette à des variations de nature à endommager les récepteurs ou à perturber leur fonctionnement, la tension à l'intérieur de l'installation doit être maintenue à sa valeur de référence au moyen de régulateurs en charge montés sur les transformateurs.

L'emplacement de ces transformateurs est déterminé au moyen d'une étude du plan de tension prenant en compte les variations de la tension du réseau externe d'alimentation ainsi que tous les cas de fonctionnement de l'installation.

La tension des générateurs installés dans l'installation doit être surveillée par des dispositifs à maximum et à minimum de tension équipés de deux seuils :

- *un seuil alarme pour avertir les exploitants et leur permettre d'appliquer les mesures nécessaires pour rétablir la tension ou de sécuriser le fonctionnement de l'installation avant le franchissement du seuil déclenchement ;*
- *un seuil déclenchement provoquant la déconnexion des générateurs lorsque la tension sort des limites acceptables par les matériels électriques, les récepteurs et les générateurs eux-mêmes.*

443 Protection contre les surtensions temporaires

Les surtensions temporaires sont principalement liées aux phénomènes suivants :

- défaut à la terre ;
- résonance ;
- ferro-résonance.

Lors de la conception de l'installation, toutes les dispositions doivent être prises pour réduire le risque d'apparition des surtensions temporaires ou limiter leur amplitude.

Dans une installation à neutre isolé, en présence d'un défaut à la terre, la tension par rapport à la terre des phases saines atteint la tension composée et le niveau d'isolement des équipements doit être choisi en conséquence.

La mise à la terre du neutre par résistance de limitation réduit les élévations de potentiel, elle présente aussi l'avantage de limiter les surtensions transitoires si la condition suivante est respectée :

$$I_r \geq 2 I_c$$

$$I_c = 3 C \omega V$$

I_r Valeur du courant de défaut à la terre limité par la résistance

I_c Courant capacitif du réseau

C Capacité phase-terre du réseau

V Tension simple du réseau

La mise à la terre par réactance favorise le développement de surtensions transitoires élevées.

Pour éviter les phénomènes de résonance, il est nécessaire d'identifier les éléments susceptibles de constituer des circuits résonants et de les modifier par l'adjonction d'éléments inductifs et capacitifs adéquats.

Les risques de ferro-résonance peuvent être réduits par l'application des mesures suivantes :

- modification de la topologie du réseau ;
- modification de la fréquence de résonance en l'éloignant de la fréquence de la source d'excitation ;
- réduction des longueurs des câbles entre les dispositifs de coupures et les bornes des transformateurs ;
- assurance que la manœuvre des pôles des disjoncteurs est synchrone ;
- utilisation d'un schéma à neutre mis à la terre par résistance de limitation ;
- mise en place des résistances de charge au secondaire des transformateurs de tension.

444 Protection contre les surtensions de manœuvre et d'origine atmosphérique

Les matériels et les récepteurs ne doivent pas être soumis à des tensions supérieures à leurs niveaux de tenue aux surtensions de manœuvre et aux chocs de foudre.

444.1 Protection contre les surtensions de manœuvres

Des dispositions doivent être prises pour limiter les effets des surtensions générées par les manœuvres des appareils de coupure.

L'utilisation de matériels surisolés doit être envisagée, si nécessaire.

L'inventaire des appareils susceptibles de générer des surtensions au-delà des valeurs acceptables par les matériels doit être effectué lors de la conception de l'installation. Le niveau des surtensions doit être évalué au moyen d'études appropriées. La mise en place de dispositifs limiteurs de tension appropriés doit être envisagée lorsque ce niveau dépasse les valeurs acceptables par les équipements électriques.

Les amplitudes des surtensions de manœuvre sont liées aux techniques de coupures mises en œuvre. Elles se développent dans les situations suivantes :

- *mise hors service de récepteurs inductifs tels que les moteurs et les transformateurs ;*
- *manœuvre des batteries de condensateurs ou de câbles à vide ;*
- *coupure de courant de faible amplitude ;*
- *coupure de courant d'enclenchement de transformateur en cas de fonctionnement intempestif des protections ;*
- *élimination des défauts entre phases et entre phase et terre.*

L'installation de filtre RC aux bornes des transformateurs moteurs et autres équipements sensibles est généralement une solution satisfaisante lorsque les fréquences de manœuvres des appareils perturbateurs avoisinants sont élevées.

La détermination du type et des points de branchement de ces dispositifs peut être précisée par des études ou faire appel à l'expérience.

444.2 Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique transmises par le réseau d'alimentation

Les surtensions d'origine atmosphérique transmises par le réseau d'alimentation aérien doivent être prises en compte lors de la conception d'installation.

Lorsque l'installation est alimentée par un réseau aérien, des parafoudres doivent au minimum être installés au point de livraison. Lorsque l'installation comporte des câbles de longueur importante, l'installation de parafoudres complémentaires à l'intérieur de l'installation doit être envisagée.

La mise en place à l'intérieur de l'installation de parafoudres supplémentaires est généralement nécessaire dans le cas d'installations alimentées par une ligne aérienne :

- *comportant une ou plusieurs boucles de distribution sur lesquelles sont raccordés des transformateurs HTA/BT au niveau des postes secondaires.*
- *Dans cette configuration, la mise en place de limiteurs de surtensions complémentaires est recommandée au niveau de chaque poste secondaire ;*
- *avec des transformateurs de puissance raccordés au poste de livraison par des câbles. En complément des parafoudres connectés à l'extrémité des lignes aériennes des parafoudres complémentaires sont généralement nécessaires aux bornes des transformateurs de puissance ;*
- *il est conseillé d'installer des parafoudres dans les cas suivants :*
 - *lorsque le niveau kéraunique est supérieur ou égale à 25 ;*
 - *lorsque le poste est alimenté par un réseau aérien terminé par un câble isolé de longueur supérieure à 20 m.*

445 Protection contre les creux de tension, les coupures brèves et les micro-coupures

Les creux de tension, les coupures brèves et les micro-coupures peuvent perturber profondément le fonctionnement de l'installation et mettre en péril la sécurité des biens et des personnes.

Ces perturbations doivent être prises en compte et leurs conséquences évaluées lors de la conception de l'installation et à chaque modification. Une étude du comportement des récepteurs et des générateurs lors des creux et des coupures de tension doit être réalisée à la conception de l'installation : elle doit déterminer la nature des risques encourus et préciser les dispositions à mettre en œuvre pour s'en affranchir.

Cette étude précise le niveau et la durée des perturbations inacceptables, elle permet de déterminer l'architecture, le dimensionnement et le mode d'exploitation de l'installation. Pour un creux de tension par exemple, elle détermine quels moteurs sont aptes à ré'accélérer après la disparition de la perturbation et quels moteurs et autres charges doivent être déconnectés dès l'apparition de la perturbation.

Lorsque ces perturbations sont temporairement acceptables, il y a lieu de vérifier qu'au rétablissement de la tension, l'installation est apte à retrouver un régime de fonctionnement nominal.

Les creux de tension, les coupures brèves et les micro-coupures peuvent entraîner l'arrêt partiel ou complet de l'installation.

Les moyens mis en œuvre pour se prémunir de ces perturbations sont généralement des groupes à temps zéro et les alimentations sans interruption.

Les creux de tension affectent significativement le fonctionnement des moteurs asynchrones. En effet, leur couple moteur est proportionnel au carré de la tension d'alimentation, toute baisse de cette tension a pour conséquence une réduction de la vitesse de ces machines pouvant aller jusqu'à leur blocage.

Les creux de tension, coupures brève, micro-coupures affectent significativement les équipements informatiques et autres dispositifs électroniques contribuant à la protection de l'installation et à la conduite des procédés. Ils peuvent conduire au dysfonctionnement des récepteurs, à des déclenchements intempestifs et à la mise en péril de l'installation. La mise en place d'alimentation sans interruption dédiée aux équipements sensibles permet de s'affranchir de ce type de perturbation.

446 Protection contre les coupures longues

Les coupures longues entraînent l'arrêt complet de l'installation pendant toute la durée de la perturbation. Lorsque ces interruptions ne sont pas tolérées, la mise en place de sources de remplacement doit être réalisée pour réalimenter tout ou partie de l'installation.

En fonction de la sensibilité de l'installation, la reprise de l'installation par les sources de remplacement peut se faire avec ou sans coupure. Dans le cas où celle-ci se fait sans coupure, les moyens utilisés pour effacer les coupures brèves et les micro-coupures peuvent être combinés avec des sources de remplacement.

NF C 13-200

Partie 4-44

(page blanche)

**Partie 4-45 – Protection contre les harmoniques et les perturbations
électromagnétiques**

450 Effets des harmoniques et mesures de protection.....	118
451 Perturbations électromagnétiques	120

450 Effets des harmoniques et mesures de protection

Une étude doit être conduite pour évaluer les risques générés par les harmoniques produits par les récepteurs non linéaires. L'étude doit définir les dispositions à mettre en œuvre pour limiter leurs effets sur les matériels et sur le comportement de l'installation.

On doit veiller au niveau des courants harmoniques injectés dans le réseau d'alimentation et prendre les dispositions pour les maintenir au-dessous des taux préconisés au point de raccordement de l'installation conformément aux décrets et arrêtés sur les conditions de raccordement (voir 114, [5], [6], [7], [15] et [16])

Pour toutes les notions relatives aux harmoniques et à leurs effets sur la qualité de l'énergie, il y a lieu de se référer à la norme NF EN 50160.

Les harmoniques sont principalement produits par l'électronique de puissance et tous les récepteurs et dispositifs utilisant l'arc électrique comme élément actif (four à arc, machine à souder, etc.).

Les principaux effets des harmoniques sont les suivants :

- *Sur les machines synchrones et asynchrones :*
 - *échauffements dus à une augmentation des pertes ;*
 - *couples pulsatoires ;*
 - *limitation du couple moteur ;*
 - *limitation des caractéristiques en puissance.*
- *Sur les transformateurs :*
 - *pertes cuivre et perte fer supplémentaires ;*
 - *échauffement des enroulements primaires couplés en triangle en présence de courant harmoniques homopolaires ;*
 - *vibrations mécaniques.*
- *Sur les condensateurs :*
 - *échauffements supplémentaires ;*
 - *réduction de la durée de vie.*
- *Sur les câbles :*
 - *pertes ohmiques et diélectriques supplémentaires.*

Il est important de noter que lorsqu'un réseau présente un taux de distorsion en tension élevé (de 5 % à 8 %), il y a lieu de prendre des dispositions pour abaisser ce seuil et réduire les effets des harmoniques sur les matériels.

Les solutions mises en œuvre pour réduire les effets des harmoniques :

- *raccordement des générateurs d'harmoniques et des récepteurs sensibles aux points où le niveau de puissance court-circuit est élevé ;*
- *séparation de l'alimentation des équipements très perturbateurs de celles des équipements sensibles aux harmoniques ;*
- *utilisation de transformateur à couplage adapté ;*
- *mise en place de selfs anti harmoniques sur les batteries de condensateur ;*
- *utilisation de filtres d'harmonique passifs ou actifs ;*
- *éviter le branchement de batteries de condensateur à proximité des variateurs de vitesse.*

Lorsqu'il subsiste dans l'installation un niveau d'harmonique appréciable, il y a lieu de procéder au déclassement des matériels. Les règles de déclassement suivantes sont généralement employées :

- Pour les machines synchrones :

Pour les petites machines des incidents sont à redouter au-delà de 8 % de distorsion en tension. Pour les machines importantes, il est recommandé que le taux de distorsion en tension ne dépasse pas 5 %.

Il est généralement préconisé un déclassement de 10 % pour les alternateurs alimentant 30 % de charges produisant des harmoniques. En dessous de 20 %, on n'observe généralement pas de problème.

- Pour les machines asynchrones :

Une règle pratique consiste à ne pas dépasser un taux de distorsion en tension de 8 % pour l'alimentation d'une machine asynchrone. Au-delà, il y a lieu de la déclasser. La norme NF EN 60034-26 fixe le taux pondéré d'harmonique à ne pas dépasser pour une machine asynchrone.

$$HVF = \sqrt{\sum_2^{13} \frac{U_h^2}{h}}$$

HVF < 2 %

U_h Tension harmonique de rang h
 h Rang de l'harmonique

- Pour les transformateurs :

En présence d'harmoniques les transformateurs doivent être déclassés. Le facteur de déclassement K à appliquer est défini par la norme UTE C 15-112.

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \left[\sum_{h=2}^{40} h^{1,6} \left(\frac{I_h}{h} \right)^2 \right]}}$$

I_h Courant harmonique de rang h
 h Rang de l'harmonique

- Pour les condensateurs :

La norme NF EN 60871-1 définit les niveaux de surcharge en courant harmonique admissible par les condensateurs de puissance.

En présence de charges générant des harmoniques, il est nécessaire d'utiliser des condensateurs sur-dimensionnés en tension.

En présence de charges harmoniques plus importantes, il est nécessaire d'utiliser des batteries de condensateurs équipées de selfs anti-harmoniques supprimant ainsi tout risque de résonance.

Les condensateurs sont conçus pour supporter un niveau de surtension égal à 10 % de leur tension assignée. Ils peuvent en complément accepter une surcharge en courant de 30 %. Ces deux contraintes ne sont pas cumulables, l'énergie réactive qu'ils fournissent ne devant pas dépasser 30 % de leur puissance nominale.

Plus généralement un équipement de compensation doit être conçu en tenant compte des harmoniques générés par les récepteurs et tout harmonique présent dans le réseau d'alimentation. Il convient de procéder à une étude du réseau pour définir l'équipement le plus approprié.

- Pour les câbles de puissance :

Les câbles de puissance sont dimensionnés pour supporter un courant efficace I_{eff} . La présence de composantes harmoniques implique un déclassement du courant à 50 Hz admissible. Le facteur de déclassement K peut être évalué au moyen de l'expression suivante :

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{THDi}{I_{ad}}}}$$

$THDi$ Taux de distorsion en courant
 I_{ad} Courant à 50 Hz admissible

Des calculs plus précis peuvent être nécessaires en présence de courants harmoniques de rang élevé.

451 Perturbations électromagnétiques

451.1 Sources de perturbations électromagnétiques

Les perturbations électromagnétiques peuvent être transmises par conduction, couplage capacitif, induction ou rayonnement.

a) Les perturbations haute fréquence sont produites par :

- la commutation des circuits primaires ;
- la commutation des circuits secondaires ;
- les décharges électrostatiques ;
- les coups de foudre.

b) Les perturbations basse fréquence sont produites par :

- les court-circuits ;
- les défauts à la terre ;
- les champs magnétiques générés par les matériels (jeux de barres, câbles de puissance, réactances, transformateurs, etc.).

451.2 Protection contre les perturbations électromagnétiques

La protection contre les perturbations électromagnétiques est basée sur les principes généraux :

- la réduction de la pénétration des champs électromagnétiques dans les matériels ;
- l'équipotentialité des équipements.

451.2.1 Mesures pour réduire les effets des perturbations à haute fréquence

Les dispositions décrites ci-dessous sont les plus couramment utilisées pour réduire les effets des perturbations électromagnétiques à haute fréquence :

- a) construction appropriée des transformateurs de mesure, par mise en place d'un blindage entre primaire et secondaire par exemple ;
- b) protection de l'installation contre les coups de foudre ;
- c) renforcement du système equipotentiel ;
- d) blindage des câbles et des circuits ; il convient que :
 - les blindages soient continus ;
 - les blindages aient une faible résistance ;
 - les blindages aient une faible impédance de couplage dans la plage des fréquences perturbatrices ;
 - les blindages soient reliés à la terre aux deux extrémités et en des points intermédiaires chaque fois que possible ;
 - les blindages soient reliés à la terre à l'entrée des armoires de telle sorte que les courants qu'ils canalisent n'affectent pas les circuits internes des armoires. Il est recommandé que les connexions soient de préférence circulaires et réalisées aux moyen de presse étoupe appropriés ou d'une procédure de soudage adaptée ;
 - les connexions à la terre des écrans soient de faible impédance ;
- e) regroupement des circuits afin de réduire les perturbations en mode différentiel. Il convient que les conducteurs associés à une même fonction soient regroupés dans un même câble ;
- f) séparation des câbles de contrôle-commandes des autres câbles.

451.2.2 Mesures pour réduire les effets des perturbations à basse fréquence

Les dispositions décrites ci-dessous sont les plus couramment utilisées pour réduire les effets des perturbations électromagnétiques à basse fréquence :

- a) mesures concernant la pose des câbles ; il convient que :
 - les câbles de commandes et les câbles de puissance soient séparés par l'utilisation d'espacements ou des cheminements différents ;
 - les câbles de puissance soient disposés en trèfle, la disposition en nappe étant défavorable ;
 - les cheminements des câbles de contrôle-commande ne soient pas parallèles aux jeux de barres ni aux câbles de puissance ;
 - les câbles de contrôle-commandes, soient éloignés des inductances et des transformateurs monophasés ;
- b) mesures concernant la disposition des circuits ; il convient que :
 - les circuits d'alimentation en courant continu aient une configuration radiale, les configurations en boucles ou en anneau étant déconseillées ;
 - chaque circuit soit protégé individuellement par un dispositif de protection, la protection de plusieurs circuits par le même dispositif étant préjudiciable ;
 - les mises en parallèle de bobines ou de circuits situés dans des armoires différentes soient évitées ;
 - que tous les conducteurs d'un même circuit ou d'une même fonction soient regroupés dans un même câble ;
- c) les câbles à paires torsadées blindées sont une mesure complémentaire aux dispositions citées précédemment.

451.2.3 Choix des matériels et des câbles

Les enveloppes des matériels et des armoires contenant les appareils sensibles, ainsi que les câbles, doivent être sélectionnés et mis en œuvre de sorte que les perturbations électromagnétiques soient sans effet sur le fonctionnement de l'installation.

Les solutions suivantes sont généralement utilisées :

- *blindage des enveloppes ou utilisation d'armoires à double enveloppe ;*
- *utilisation de joints métalliques sur les portes des armoires ;*
- *utilisation de presse-étoupe adaptés pour l'entrée des câbles dans les armoires ;*
- *mise en place de capots et d'écrans pour atténuer le rayonnement électromagnétique ;*
- *utilisation de câbles à paires torsadées blindées, de câbles coaxiaux ou de fibres optiques.*

Partie 4-46 – Sectionnement et commande

461 Sectionnement	124
462 Commande fonctionnelle.....	124
463 Coupure d'urgence	124
464 Verrouillages et asservissements électriques	124

461 Sectionnement

A l'origine de toute installation ainsi qu'à l'origine de chaque circuit, doit être placé un dispositif ou un ensemble de dispositifs de sectionnement permettant de séparer l'installation ou le circuit de sa ou de ses sources d'énergie, ce sectionnement devant porter sur tous les conducteurs actifs en une seule manœuvre.

462 Coupe en charge

462.1 Au minimum, il doit être placé à l'origine de toute installation un dispositif de coupure en charge coupant tous les conducteurs actifs et permettant la mise hors tension de l'ensemble de l'installation.

462.2 En complément, il y a lieu de prévoir un dispositif similaire sur tout circuit ou sur tout élément de circuit que l'on peut être appelé à établir ou à interrompre, indépendamment des autres parties de l'installation.

463 Coupe d'urgence

Lorsque, pour des raisons de sécurité, la coupure de l'alimentation est prescrite, il doit être prévu sur le circuit ou groupe de circuits correspondant un dispositif de coupure coupant tous les conducteurs actifs.

L'organe de commande actionnant ce dispositif doit être facilement reconnaissable et rapidement accessible.

Les dispositifs de coupure d'urgence ne doivent pas être confondus avec les dispositifs d'arrêt d'urgence prescrits par la réglementation pour certains équipements, notamment pour les machines, par le II de l'article 1.2.4 de l'Annexe I de l'article R. 4312-1 du Code du Travail.

464 Verrouillages et asservissements électriques

464.1 Règle générale

Les installations doivent comporter les verrouillages énumérés en 464.2 suivant la nature des matériels électriques.

Les appareils de sectionnement et de commande doivent permettre la mise en oeuvre des dispositifs de consignation.

Les verrouillages contribuent à assurer la sécurité des personnes et à éviter les fausses manœuvres, dans toutes les conditions d'exploitation et d'entretien des installations.

Ils sont réalisés par des systèmes mécaniques (serrures, tringleries, cames, etc.) indéformables, simples et inviolables. La résistance mécanique des dispositifs de verrouillage doit être supérieure à celle des appareils dont il sont appelés à empêcher le fonctionnement.

Du point de vue de leur destination, on distingue :

- les verrouillages d'accès destinés à assurer la sécurité des personnes en empêchant tout contact direct avec des parties actives ; ils s'opposent à l'ouverture des portes ou au retrait des obstacles de fermeture des faces avant des cellules tant que les parties actives situées à l'intérieur des cellules sont sous tension ;
- les verrouillages de coordination destinés à éviter les fausses manœuvres en assurant la coordination entre des appareils de fonctions différentes ; ils s'opposent à toute manœuvre des appareils si les conditions de sécurité ne sont pas satisfaites ; par exemple, ils empêchent la manœuvre en charge d'un sectionneur, la fermeture sous tension d'un sectionneur de terre, la fermeture simultanée de sectionneurs ou d'interrupteurs d'arrivée dans des installations ou parties d'installations alimentées par des sources ou circuits différents ne devant pas fonctionner en parallèle.

Du point de vue de leur fonctionnement, on distingue :

- les verrouillages internes d'une même cellule, par exemple, entre un sectionneur et un disjoncteur, entre la porte d'accès à un disjoncteur et les sectionneurs situés de part et d'autre de ce disjoncteur, etc. ;
- les verrouillages entre cellules ou appareils installés dans un même local, par exemple s'opposant à l'accès d'un transformateur de puissance si les sectionneurs ne sont pas ouverts et si les sectionneurs de terre des conducteurs de liaison de part et d'autre du transformateur ne sont pas fermés, etc. ;
- les verrouillages entre cellules ou appareils installés dans des locaux différents, par exemple, entre un sectionneur placé à une extrémité d'un câble et le disjoncteur ou l'interrupteur situé à l'autre extrémité.

464.2 Verrouillages d'exploitation dans les installations HT

Le Tableau 46A définit les verrouillages qui doivent être mis en œuvre pour effectuer les opérations et manœuvres d'exploitation.

Pour les appareillages sous enveloppe métallique HTA la mise en œuvre de ces verrouillages doit être conforme à la norme NF EN 62271-200.

Tableau 46A - Principaux verrouillage d'exploitation

OPÉRATION	L'OPÉRATION N'EST POSSIBLE QUE SI
Manœuvre d'un interrupteur, d'un sectionneur, d'un interrupteur-sectionneur ou d'un disjoncteur.	Les panneaux(*) ou portes qui donnent accès aux compartiments HT contenant l'appareillage, sont fermés, et les sectionneurs de terre qui leur sont associés sont ouverts.
Manœuvre d'un sectionneur	Le circuit est coupé en amont ou en aval du sectionneur.
Fermeture d'un sectionneur de terre	Les sectionneurs permettant d'isoler le circuit sont ouverts.
Accès aux compartiments d'exploitation HT qui peuvent être sous tension	Les sectionneurs permettant d'isoler le circuit sont ouverts et les sectionneurs de terre éventuels placés sur le circuit sont fermés.
Fermeture des compartiments d'exploitation HT	Les sectionneurs de terre sont fermés.

(*) Les panneaux arrière et latéraux ne sont pas concernés.

464.3 Asservissements électriques

Des asservissements électriques doivent être mis en place pour prévenir toute manœuvre pouvant affecter la sécurité des biens.

Ces asservissements sont généralement mis en place pour prévenir par exemple le couplage de sources ou de liaisons non prévues pour fonctionner en parallèle.

TITRE 5

CHOIX ET MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIELS

- Partie 5-51 :** Règles communes à tous les matériels
- Partie 5-52 :** Règles complémentaires pour les canalisations HTA
- Partie 5-53 :** Appareillage
- Partie 5-54 :** Mises à la terre, conducteurs de protection
- Partie 5-55 :** Autres matériels
- Partie 5-56 :** Equipements de comptage en HTB
- Partie 5-57 :** Equipements de téléconduite en HTB
- Partie 5-58 :** Equipements et systèmes de mesures, conduite, surveillance et supervision

Partie 5-51 – Règles communes à tous les matériels

510 Introduction	128
511 Conformité aux normes.....	129
512 Classification des influences externes	129
513 Disponible.....	153
514 Identification et repérage	153
515 Indépendance des matériels électriques.....	154

510 Introduction

510.1 Le présent chapitre indique les conditions particulières d'installation des différents matériels.

Lors de la conception d'une installation, le choix du matériel et son mode d'installation doivent permettre de satisfaire tant aux mesures de protection pour assurer la sécurité des personnes, des animaux domestiques et des biens qu'à celles assurant un fonctionnement satisfaisant de cette installation, pour l'utilisation prévue, dans les conditions d'influences prévisibles.

Les circuits internes des machines et appareils exposés à des surcharges doivent être protégés contre les effets de surintensités dangereuses.

Les matériels ne doivent pas être utilisés dans des conditions de service plus sévères que celles pour lesquelles ils ont été construits.

Toutes dispositions doivent être prises pour éviter que le matériel électrique, du fait de son élévation normale de température, nuise aux objets qui sont dans son voisinage ou risque de provoquer des brûlures aux personnes.

Le matériel doit être installé dans des locaux (ou emplacements) présentant une ventilation naturelle ou mécanique suffisante, ou un conditionnement d'air approprié.

Dans le choix du matériel et de ses conditions d'installation, il y a lieu de tenir compte de son bruit propre et de celui de sa ventilation et de ses auxiliaires.

A ce jour, l'arrêté du 26 janvier 2007 modifiant l'arrêté du 17 mai 2001 réglemente les niveaux de bruits pour les ouvrages des réseaux publics de distribution et de transport de l'énergie électrique.

Les équipements des postes de transformation et les lignes électriques sont conçus et exploités de sorte que le bruit qu'ils engendrent, mesuré à l'intérieur des locaux d'habitation, conformément à la norme NF S 31-010 relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement, respecte l'une des deux conditions ci-dessous :

- a) *Le bruit ambiant mesuré, comportant le bruit des installations électriques, est inférieur à 30 dB (A) ;*
- b) *L'émergence globale du bruit provenant des installations électriques, mesurée de façon continue, est inférieure à 5 décibels A pendant la période diurne (de 7 heures à 22 heures) et à 3 décibels A pendant la période nocturne (de 22 heures à 7 heures).*

Pour le fonctionnement des matériels de poste, les valeurs admises de l'émergence sont calculées à partir des valeurs de 5 décibels A pendant la période diurne (de 7 heures à 22 heures) et à 3 décibels A pendant la période nocturne (de 22 heures à 7 heures), valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif, fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier, selon le tableau ci-après :

Tableau 51A - Terme correctif fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier

DURÉE CUMULÉE D'APPARITION du bruit particulier : T	TERME CORRECTIF en décibels A
30 secondes < $T \leq 1$ minute.	9
1 minute < $T \leq 2$ minutes.	8
2 minutes < $T \leq 5$ minutes.	7
5 minutes < $T \leq 10$ minutes.	6
10 minutes < $T \leq 20$ minutes.	5
20 minutes < $T \leq 45$ minutes.	4
45 minutes < $T \leq 2$ heures.	3
2 heures < $T \leq 4$ heures.	2
4 heures < $T \leq 8$ heures.	1
$T > 8$ heures.	0

L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit de l'ouvrage électrique, et celui du bruit résiduel (ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements).

511 Conformité aux normes

Les matériels utilisés dans les installations à haute tension doivent être conformes aux normes les concernant.

512 Classification des influences externes

Le Tableau 51A établit une classification et une codification des influences externes qui doivent être prises en compte pour la conception et la mise en œuvre des installations électriques.

Chaque condition d'influence externe est désignée par un code comprenant toujours un groupe de deux lettres majuscules et d'un chiffre comme suit :

La première lettre concerne la catégorie générale des influences externes

- A = environnements.
- B = utilisations.
- C = construction des bâtiments.

La seconde lettre concerne la nature de l'influence externe : A ..., B ..., C ...

Le chiffre concerne la classe de chaque influence externe : 1 ..., 2 ..., 3 ...

Par exemple, le code AC2 signifie :

- A = environnement.
- AC = environnement-altitude.
- AC2 = environnement-altitude > 2 000 m.

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.1		Température ambiante (AA)		<i>Pour la mise en œuvre des câbles, se reporter au Tableau 52D.</i>	
		[826-10-03] température ambiante température moyenne de l'air ou du milieu au voisinage du matériel Les classes de température ambiante sont applicables seulement lorsque l'humidité n'a pas d'influence. Limites inférieures et supérieures des plages de température ambiante :	<i>Voir définition de la température ambiante en 2.50.</i> <i>La valeur moyenne pour une période de 24 h ne doit pas être supérieure à la limite supérieure diminuée de 5 °C.</i> <i>Pour certains environnements, il peut être nécessaire de combiner deux plages parmi celles définies ci-dessous (par exemple entre - 25 °C et + 40 °C, soit AA3 + AA5). Les installations soumises à des températures différentes de ces plages doivent faire l'objet de règles particulières.</i>	<i>Pour des températures ambiantes différentes de 20 °C en mode de pose enterré et de 30 °C en mode de pose apparent, les Tableaux 52K1 et 52L et 52K12 sont applicables.</i>	
AA1	Frigorifique	– 60 °C + 5 °C	<i>La classe AA1 correspond à des conditions spéciales, telles qu'enceintes frigorifiques de congélation.</i>	<i>En outre, si la température est inférieure à - 25 °C, des précautions spéciales sont à prendre - par exemple calorifugeage, fixation rigide, protection mécanique.</i>	Comprend la plage de température de la classe 3K8 de la NF EN 60721-3-3, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C. Partie de la plage de température de la classe 4K4 de la NF EN 60721-3-4, la température inférieure de l'air étant limitée à – 60 °C et la température supérieure de l'air à + 5 °C.

Code	Désignation des classes	Caractéristiques		Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.1 Température ambiante (AA) (suite)				<i>Pour la mise en œuvre des câbles, se reporter au Tableau 52D.</i>		
AA2	Très froide	– 40 °C	+ 5 °C	<i>La classe AA2 correspond à des conditions spéciales, telles qu'enceintes frigorifiques de congélation.</i>	Matériel spécialement étudié ou dispositions appropriées.* <i>En outre, si la température est inférieure à - 25 °C, des précautions spéciales sont à prendre - par exemple calorifugeage, fixation rigide, protection mécanique.</i>	Partie de la plage de température de la classe 3K7 de la NF EN 60721-3-3, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C. Comprend partie de la plage de température de la classe 4K3 de la NF EN 60721-3-4, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C.
AA3	Froide	– 25 °C	+ 5 °C		Matériel spécialement étudié ou dispositions appropriées.* Lorsque la température est inférieure à - 10 °C, les canalisations comportant une enveloppe isolante ou une gaine de polychlorure de vinyle (V) ne peuvent être ni manipulées ni soumises à des efforts mécaniques.	Partie de la plage de température de la classe 3K6 de la NF EN 60721-3-3, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C. Comprend la plage de température de la classe 4K1 de la NF EN 60721-3-4, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C.
AA4	Tempérée	– 5 °C	+ 40 °C	<i>En général, les installations situées à l'intérieur des bâtiments correspondent à la classe AA4 (température ambiante comprise entre - 5 °C et + 40 °C).</i>	Normal	Partie de la plage de température de la classe 3K5 de la NF EN 60721-3-3, la température supérieure de l'air étant limitée à + 40 °C.
AA5	Chaud	+ 5 °C	+ 40 °C		Normal	Identique à la plage de température de la classe 3K6 de la NF EN 60721-3-3.

* peut nécessiter certaines précautions supplémentaires (par exemple lubrification spéciale).

Code	Désignation des classes	Caractéristiques		Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.1 Température ambiante (AA) (suite)						
AA6	Très Chaude	+ 5 °C	+ 60 °C		Matériel spécialement étudié ou dispositions appropriées.*	Partie de la plage de température de la classe 3K7 de la NF EN 60721-3-3, la température inférieure de l'air étant limitée à + 5 °C et la température supérieure de l'air à + 60 °C. Comprend la plage de température de la classe 4K4 de la NF EN 60721-3-4, la plage inférieure étant limitée à + 5 °C.
AA7	Extérieur abrité	- 25 °C	+ 55 °C		Matériel spécialement étudié ou dispositions appropriées.* <i>Lorsque la température est inférieure à - 10 °C, les canalisations comportant une enveloppe isolante ou une gaine de polychlorure de vinyle (V) ne peuvent être ni manipulées ni soumises à des efforts mécaniques.</i>	Identique à la plage de température de la classe 3K6 de la NF EN 60721-3-3.
AA8	Extérieur non protégé	- 50 °C	+ 40 °C		Matériel spécialement étudié ou dispositions appropriées.* <i>En outre, si la température est inférieure à - 25 °C, des précautions spéciales sont à prendre - par exemple calorifugeage, fixation rigide, protection mécanique.</i>	Identique à la plage de température de la classe 4K3 de la NF EN 60721-3-4.

* peut nécessiter certaines précautions supplémentaires (par exemple lubrification spéciale).

Code	Désignation des classes	Caractéristiques						Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références							
512.2 Conditions climatiques (influences combinées de la température et de l'humidité) (AB)																	
<i>Les classes de température de l'air et d'humidité relative sont choisies parmi celles définies par le CE75 de la CEI et reprises dans la norme NF C 20-000.</i>																	
		Température de l'air (°C)	Humidité relative (%)		Humidité absolue (g/m³)												
		a) limite inférieure	b) limite supérieure	a) limite inférieure	b) limite supérieure	a) limite inférieure	b) limite supérieure										
AB1	Frigorifique	- 60	+ 5	3	100	0,003	7	Emplacements intérieurs et extérieurs avec des températures ambiantes extrêmement froides.	Des dispositions particulières doivent être prises.	Comprend la plage de température de la classe 3K8 de la NF EN 60721-3-3, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C. Partie de la plage de température de la classe 4K4 de la NF EN 60721-3-4, la température inférieure de l'air étant limitée à - 60 °C et la température supérieure de l'air à + 5 °C.							
AB2	Très froide	- 40	+ 5	10	100	0,1	7	Emplacements intérieurs et extérieurs avec des températures ambiantes froides.	Des dispositions particulières doivent être prises.	Partie de la plage de température de la classe 3K7 de la NF EN 60721-3-3, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C. Comprend la partie de la plage de température de la classe 4K3 de la NF EN 60721-3-4, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C.							
AB3	Froide	- 5	+ 5	10	100	0,5	7	Emplacements intérieurs et extérieurs avec des températures ambiantes froides.	Des dispositions particulières doivent être prises.	Partie de la plage de température de la classe 3K6 de la NF EN 60721-3-3, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C. Comprend la plage de température de la classe 4K1 de la NF EN 60721-3-4, la température supérieure de l'air étant limitée à + 5 °C.							
AB4	Tempérée	- 5	+ 40	5	95	1	29	Emplacements abrités sans contrôle de la température et de l'humidité. Un chauffage peut être utilisé pour augmenter la température ambiante.	Normal.	Identique à la plage de température de la classe 3K5 de la NF EN 60721-3-3. La température supérieure de l'air étant limitée à + 40 °C.							

Code	Désignation des classes	Caractéristiques						Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références	
512.2		Conditions climatiques (influences combinées de la température et de l'humidité) (AB) (suite)									
		Température de l'air (°C)		Humidité relative (%)		Humidité absolue (g/m ³)					
		a) limite inférieure	b) limite supérieure	a) limite inférieure	b) limite supérieure	a) limite inférieure	b) limite supérieure				
AB5	Chaud	+ 5	+ 40	5	85	1	25	Emplacements abrités dont la température est contrôlée.	Normal.	Identique à la plage de température de la classe 3K3 de la NF EN 60721-3-3.	
AB6	Très chaude	+ 5	+ 60	10	100	1	35	Emplacements intérieurs et extérieurs avec des températures ambiantes extrêmement chaudes. L'influence de températures ambiantes froides est empêchée. Les rayonnements solaires peuvent se produire.	Des dispositions particulières doivent être prises.	Partie de la plage de température de la classe 3K7 de la NF EN 60721-3-3, la température inférieure de l'air étant limitée à + 5 °C et la température supérieure de l'air à + 60 °C. Comprend la plage de température de la classe 4K4 de la NF EN 60721-3-4, la plage inférieure de température étant limitée à + 5 °C.	
AB7	Extérieur abrité	- 25	+ 55	10	100	0,5	29	Emplacements intérieurs et abrités sans contrôle de la température et de l'humidité; ils peuvent avoir des ouvertures vers l'extérieur et être soumis aux rayonnements solaires.	Des dispositions particulières doivent être prises.	Identique à la plage de température de la classe 3K6 de la NF EN 60721-3-3.	
AB8	Extérieur non protégé	- 50	+ 40	15	100	0,04	36	Emplacements extérieurs et non protégés, avec des températures froides et chaudes.	Des dispositions particulières doivent être prises.	Identique à la plage de température de la classe 4K3 de la NF EN 60721-3-4.	
NOTE 1 Toutes les valeurs spécifiées sont des valeurs limites ou maximales qui ont une faible probabilité d'être dépassées.											
NOTE 2 Les humidités relatives, inférieures et supérieures, sont limitées par les humidités absolues, inférieures et supérieures, de sorte que, par exemple, les valeurs limites indiquées ne se présentent pas simultanément.											

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.3 Altitude (AC)					
AC				<p><i>Les tensions assignées et les niveaux d'isolation spécifiés dans ce document s'appliquent aux matériaux prévus pour utilisation à des altitudes au plus égales à 1 000 m. Lorsque des matériaux comprenant une isolation externe sont utilisés à des altitudes supérieures à 1 000 m, il convient d'adopter l'une ou l'autre des méthodes suivantes :</i></p> <p><i>1) les tensions d'essai des parties isolantes dans l'air sont déterminées en multipliant les tensions d'essai normales par le facteur de correction approprié indiqué dans la colonne (2) du Tableau 512A ;</i></p> <p><i>2) les matériaux peuvent être choisis d'une tension assignée qui, multipliée par le facteur de correction approprié donné dans la colonne (3) du Tableau 512A, ne soit pas inférieure à la tension la plus élevée du réseau.</i></p> <p><i>Pour les altitudes comprises entre 1 000 m et 1 500 m et entre 1 500 m et 3 000 m, les facteurs de correction peuvent être obtenus par interpolation linéaire entre les valeurs indiquées dans le Tableau 512A.</i></p>	

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références																											
512.3		Altitude (AC)		<p style="text-align: center;">TABLEAU 512A</p> <table border="1"><thead><tr><th>Altitude maximale (m) (1)</th><th>Facteur de correction des tensions d'essai au niveau de la mer dans l'air (2)</th><th>Facteur de correction des tensions assignées (3)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1 000</td><td>1,0</td><td>1,0</td></tr><tr><td>1 500</td><td>1,05</td><td>0,95</td></tr><tr><td>3 000</td><td>1,25</td><td>0,80</td></tr></tbody></table> <p>Lorsque les caractéristiques diélectriques ne dépendent pas de l'altitude, aucune précaution particulière n'est à prendre. Le courant assigné spécifié peut être corrigé pour des altitudes supérieures à 1 000 m en utilisant les facteurs appropriés du Tableau 512B, respectivement dans les colonnes (2) et (3). Dans chaque cas, un seul des facteurs (2) et (3) doit être utilisé mais non les deux. Pour les altitudes intermédiaires, les facteurs de correction peuvent être obtenus par interpolation linéaire entre les valeurs indiquées dans le Tableau 512B.</p> <p style="text-align: center;">TABLEAU 512B</p> <table border="1"><thead><tr><th>Altitude maximale (m) (1)</th><th>Facteur de correction pour le courant nominal (2)</th><th>Facteur de correction pour l'échauffement (3)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1 000</td><td>1,0</td><td>1,0</td></tr><tr><td>1 500</td><td>0,99</td><td>0,98</td></tr><tr><td>3 000</td><td>0,96</td><td>0,92</td></tr><tr><td>4 000</td><td>0,94</td><td>0,88</td></tr></tbody></table>	Altitude maximale (m) (1)	Facteur de correction des tensions d'essai au niveau de la mer dans l'air (2)	Facteur de correction des tensions assignées (3)	1 000	1,0	1,0	1 500	1,05	0,95	3 000	1,25	0,80	Altitude maximale (m) (1)	Facteur de correction pour le courant nominal (2)	Facteur de correction pour l'échauffement (3)	1 000	1,0	1,0	1 500	0,99	0,98	3 000	0,96	0,92	4 000	0,94	0,88	
Altitude maximale (m) (1)	Facteur de correction des tensions d'essai au niveau de la mer dans l'air (2)	Facteur de correction des tensions assignées (3)																														
1 000	1,0	1,0																														
1 500	1,05	0,95																														
3 000	1,25	0,80																														
Altitude maximale (m) (1)	Facteur de correction pour le courant nominal (2)	Facteur de correction pour l'échauffement (3)																														
1 000	1,0	1,0																														
1 500	0,99	0,98																														
3 000	0,96	0,92																														
4 000	0,94	0,88																														

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.4 Présence d'eau (AD)				<i>Les différents degrés de protection correspondent à des essais dont les modalités sont définies par la norme NF EN 60529.</i>	
AD1	Négligeable	La probabilité de présence d'eau est négligeable.	Environnements dans lesquels les parois ne présentent généralement pas de traces d'humidité, mais qui peuvent en présenter pendant de courtes périodes, par exemple sous forme de buée, et qui sèchent rapidement grâce à une bonne aération.	IPX0	NF EN 60721-3-4 (classe 4Z6)
AD2	Chutes de gouttes d'eau	Possibilité de chutes verticales de gouttes d'eau.	Environnements dans lesquels l'humidité se condense occasionnellement sous forme de gouttes d'eau ou qui sont remplis occasionnellement de vapeur d'eau.	IPX1 ou IPX2	NF EN 60721-3-3 classe 3Z7
AD3	Aspersion d'eau	Possibilité d'eau tombant "en pluie" dans une direction formant avec la verticale un angle au plus égal à 60°.	Environnements dans lesquels l'eau ruisselle sur les murs ou le sol.	IPX3	NF EN 60721-3-3 classe 3Z8 NF EN 60721-3-4 classe 4Z7
AD4	Projections d'eau	Possibilité de projection d'eau dans toutes les directions.	Environnements exposés aux projections d'eau ; il en est ainsi pour certains luminaires et des armoires de chantier installés à l'extérieur.	IPX4 Les câbles conformes à la NF C 33-220 non armés peuvent être utilisés.	NF EN 60721-3-3 (classe 3Z9) NF EN 60721-3-4 classe 4Z7
AD5	Jets d'eau	Possibilité de jets d'eau dans toutes les directions.	Environnements couramment lavés à l'aide de jets (cours, aires de lavage de véhicules).	IPX5	NF EN 60721-3-3 (classe 3Z10) NF EN 60721-3-4 classe 4Z8
AD6	Paquets d'eau	Possibilité de vagues d'eau.	Environnements situés en bord de mer, tels que jetées, plages, quais, etc.	IPX6 Les câbles conformes à la NF C 33-220 armés peuvent être utilisés.	NF EN 60721-3-4 classe 4Z9

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.4	Présence d'eau (AD)			<i>Les différents degrés de protection correspondent à des essais dont les modalités sont définies par la norme NF EN 60529.</i>	
AD7	Immersion	Possibilité de recouvrement intermittent, partiel ou total, d'eau.	Environnements susceptibles d'être inondés et où l'eau peut s'élèver de moins de 150 mm au-dessus du point le plus élevé du matériel, la partie basse du matériel étant au plus à 1 m en dessous de la surface de l'eau.	IPX7 <i>Les câbles conformes à la NF C 33-223 peuvent être utilisés. Les câbles conformes à la NF C 33-220 peuvent aussi être utilisés s'ils sont réalisés pour satisfaire à cette condition. Dans tous les cas, la durée d'immersion cumulée des câbles ne doit pas être supérieure à deux mois par an.</i>	
AD8	Submersion	Possibilité de recouvrement d'eau de façon permanente et totale.	Environnements où les matériaux électriques sont totalement recouverts d'eau de façon permanente sous une pression supérieure à 0,1 bar (1 m d'eau), tels que traversées de rivières.	IPX8 <i>Les câbles conforme à la NF C 33-226, ou présentant une étanchéité équivalente pour pouvoir être immergés peuvent être utilisés. Si la submersion a lieu dans de l'eau salée, ou si les câbles sont soumis à une pression supérieure à 0,2 bar, voir les constructeurs.</i>	

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.5	Présence de corps solides étrangers (AE)			<i>Les différents degrés de protection correspondant à des essais, dont les modalités sont définies dans la NF EN 60529.</i>	
AE1	Négligeable	La quantité de poussières ou de corps étrangers n'est pas appréciable.	La classe AE1 se rencontre dans les installations dans lesquelles ne sont pas manipulés de petits objets.	IP2X ou IPXXB <i>Dans les conditions AE1, en principe aucune protection contre la pénétration des corps solides n'est nécessaire et le degré de protection IP0X est suffisant, mais du point de vue de la protection contre les contacts directs, un degré de protection au moins égal à IP3X ou IPXXC, sauf dans les conditions BA4 et BA5.</i>	NF EN 60721-3-3 classe 3S1 NF EN 60721-3-4 classe 4S1
AE2	Petits objets	Présence de corps solides dont la plus petite dimension est au moins égale à 2,5 mm.	La classe AE2 correspond à des applications industrielles : Des outils et petits objets sont des exemples de corps solides dont la plus petite dimension est au moins égale à 2,5 mm, Dans les conditions, il peut exister de la poussière, mais celle-ci est telle qu'elle n'a pas d'influence sur les matériaux électriques.	IP3X	NF EN 60721-3-3 classe 3S2 NF EN 60721-3-4 classe 4S2
AE3	Très petits objets	Présence de corps solides dont la plus petite dimension est au moins égale à 1 mm.	La classe AE3 correspond à des applications industrielles : des fils sont des exemples de corps solides dont la plus petite dimension est au moins égale à 1 mm. Dans les conditions, il peut exister de la poussière, mais celle-ci est telle qu'elle n'a pas d'influence sur les matériaux électriques.	IP4X	NF EN 60721-3-3 classe 3S3 NF EN 60721-3-4 classe 4S3

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
AE4	Poussières	Présence de poussières Les dépôts de poussière sont suffisamment importants pour avoir une influence sur le fonctionnement de certains matériaux électriques.		IP5X si les poussières peuvent pénétrer sans gêner le fonctionnement du matériel. IP6X si les poussières ne doivent pas pénétrer dans le matériel. <i>La classe AE4 correspond aux locaux (ou emplacements) poussiéreux. Lorsque les poussières sont inflammables, conductrices, corrosives ou abrasives, il y a lieu de considérer simultanément d'autres classes d'influences externes, à savoir : BE2 ou BE3 si les poussières sont inflammables ou explosives ; AF3 ou AF4 si les poussières sont corrosives.</i>	NF EN 60721-3-3 classe 3S2 NF EN 60721-3-4 classe 4S2 NF EN 60721-3-3 classes 3S3 et 4S3 NF EN 60721-3-4 Classes 4S3 et 4S4

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Applications et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.6		Présence de substances corrosives ou polluantes (AF)			
AF1	Négligeable	La quantité ou la nature des agents corrosifs ou polluants est sans influence.		Normal.	NF EN 60721-3-3 classe 3C1 NF EN 60721-3-4 classe 4C1
AF2	Atmosphérique	Présence appréciable d'agents corrosifs ou polluants d'origine atmosphérique.	Installations placées au voisinage des bords de mer ou à proximité d'établissements industriels produisant d'importantes pollutions atmosphériques, tels qu'industries chimiques, cimenteries ; ces pollutions proviennent notamment de la production de poussières abrasives, isolantes ou conductrices.	Suivant nature des agents (par exemple conformité à l'essai au brouillard salin selon la NF EN 60068-2-2 : Essai Ka).	NF EN 60721-3-3 classe 3C2 NF EN 60721-3-4 classe 4C2
AF3	Intermittente ou accidentelle	Des actions intermittentes ou accidentielles de certains produits chimiques corrosifs ou polluants d'usage courant peuvent se produire.	Locaux où l'on manipule certains produits chimiques en petites quantités et où ces produits ne peuvent venir qu'accidentellement en contact avec les matériaux électriques, de telles conditions se rencontrent dans les laboratoires d'usines ou autres ou dans les locaux où l'on manipule des hydrocarbures.	Protection contre la corrosion définie par les spécifications concernant les matériaux.	NF EN 60721-3-3 classe 3C3 NF EN 60721-3-4 classe 4C3
AF4	Permanente	Une action permanente de produits chimiques corrosifs ou polluants en quantités notables peut se produire.	Industrie chimique. Raffineries.	Matériaux spécialement étudiés suivant la nature des agents. <i>Il est nécessaire de préciser la nature de l'agent chimique pour permettre au constructeur de définir le type de protection de son matériel.</i>	NF EN 60721-3-3 classe 3C4 NF EN 60721-3-4 classe 4C4

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Applications et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.7 512.7.1	Contraintes mécaniques Chocs (AG)			<i>Les différents degrés de protection correspondent à des essais dont les modalités sont définies par la norme NF EN 62262, la tenue aux impacts mécaniques dans cette norme correspondant au terme de choc dans l'installation.</i>	
AG1	Faibles	Environnements pouvant être soumis à des chocs d'énergie au plus égale à 0,2 J.		IK02	NF EN 60721-3-3 classes 3M1/3M2/3M3 NF EN 60721-3-4 classes 4M1/4M2/4M3
AG2	Moyens	Environnements pouvant être soumis à des chocs d'énergie au plus égale à 2 J.	Installations industrielles habituelles ou analogues.	IK07	NF EN 60721-3-3 classes 3M4/3M5/3M6 NF EN 60721-3-4 classes 4M4/4M5/4M6
AG3	Importants	Environnements pouvant être soumis à des chocs d'énergie au plus égale à 5 J.	Installations industrielles sévères ou analogues.	IK08	NF EN 60721-3-3 classes 3M7/3M8 NF EN 60721-3-4 classes 4M7/4M8
AG4	Très importants	Environnements pouvant être soumis à des chocs d'énergie au plus égale à 20 J.	Installations industrielles très sévères ou analogues.	IK10	

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.7.2 Vibrations (AH)					
		<i>Les vibrations sont prises en compte quelle que soit leur durée.</i> <i>Dans des cas spéciaux, il doit être tenu compte des contraintes mécaniques complexes résultant des mouvements différentiels entre parties d'un bâtiment ou d'une structure. Ces contraintes peuvent être dues aux méthodes de construction, aux joints de la construction, à des effets thermiques ou de terrassement.</i>			
AH1	Faibles	Les effets des vibrations peuvent être négligés dans la plupart des cas.			NF EN 60721-3-3 classes 3M1/3M2/3M3 NF EN 60721-3-4 classes 4M1/4M2/4M3
AH2	Moyennes	Vibrations de fréquences comprises entre 10 Hz et 50 Hz et d'amplitude au plus égale à 0,15 mm.	Installations industrielles habituelles.		NF EN 60721-3-3 classes 3M4/3M5/3M6 NF EN 60721-3-4 classes 4M4/4M5/4M6
AH3	Importantes	Vibrations de fréquences comprises entre 10 Hz et 150 Hz et d'amplitude au plus égale à 0,35 mm.	Installations industrielles soumises à des conditions sévères.	Matériels spécialement étudiés ou dispositions spéciales.	NF EN 60721-3-3 classes 3M7/3M8 NF EN 60721-3-4 classes 4M7/4M8

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Applications et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.8	Présence de pollution (AJ) <i>(*) Ces distances au rivage dépendent de la topographie de la côte et des conditions extrêmes de vent.</i>				
AJ1	Faible		Zones sans industries et avec faible densité d'habitats. Zones avec faible densité d'industries ou d'habitats mais soumises fréquemment à des vents ou à des pluies. Régions agricoles, Régions montagneuses. Toutes ces zones sont situées à au moins 10 km à 20 km de la mer et ne sont pas exposées aux vents venant directement de la mer (*). (négligeables).	Les lignes de fuite minimales spécifiques sont de 1,6 cm/kV. La salinité équivalente est inférieure à 7 kg/m ³ .	
AJ2	Moyenne		Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes ou avec une densité moyenne d'habitation. Zones à forte densité d'habitats ou d'industries, mais soumises fréquemment à des vents ou à des chutes de pluie propres. Zones exposées au vent de mer, mais pas trop proches de la côte (distances d'au moins quelques kilomètres) (*). (Faibles) Environnements sablonneux ou poussiéreux ; effet du vent négligeable.	Les lignes de fuite minimales spécifiques sont de 2 cm/kV. La salinité équivalente est comprise entre 7 kg/m ³ et 20 kg/m ³ .	
AJ3	Forte		Zones avec forte densité d'industries et agglomérations importantes avec forte densité d'installations polluantes. Zones situées près de la mer, ou exposées à des vents relativement forts venant de la mer (*). <i>(Moyennes) Environnements comportant des procédés de production de sable ou de poussière ou régions géographiques dans lesquelles le sable est entraîné par les vents ou de la poussière portée par le vent.</i>	Les lignes de fuite minimales spécifiques sont de 2,5 cm/kV. La salinité équivalente est comprise entre 20 kg/m ³ et 80 kg/m ³ .	

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Applications et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
AJ4	Très forte		<p>Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais.</p> <p>Zones généralement peu étendues, très proches de la côte et exposées aux embruns ou aux vents très forts et polluants venant de la mer.</p> <p>Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant du sable et du sel et soumises à une condensation régulière.</p> <p>L'utilisation d'engrais répandus par pulvérisation ou le brûlage de terres moissonnées peuvent conduire à un niveau de pollution plus élevé à cause de la dispersion par le vent.</p> <p>(Importantes) Exposition de façon permanente à une grande quantité de sable et de poussière portée par le vent, que ce soit dû au processus de production ou aux conditions géographiques.</p>	<p>Les lignes de fuite minimales spécifiques sont de 3,1 cm/kV.</p> <p>La salinité équivalente est supérieure ou égale à 80 kg/m³.</p>	

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.9	Présence de flore ou moisissures (AK) Les risques dépendent des conditions locales et de la nature de la flore. On peut distinguer suivant que le risque est dû au développement nuisible de la végétation ou à son abundance.				
AK1	Négligeable	Absence de risques nuisibles dus à la flore ou aux moisissures.		Normal.	NF EN 60721-3-3 classe 3B1 NF EN 60721-3-4 classe 4B1
AK2	Risques	Risques nuisibles dus à la flore ou aux moisissures.	Les risques dépendent des conditions locales et de la nature de la flore. On peut distinguer suivant que le risque est dû au développement nuisible de la végétation ou son abundance.	Protection spéciale telle que : - degré de protection augmenté (voir AE) ; - matériaux spéciaux ou revêtements protégeant les enveloppes ; - dispositions pour éviter la présence de flore (voir constructeurs).	NF EN 60721-3-3 classe 3B2 NF EN 60721-3-4 classe 4B2
512.10	Présence de faune (AL)				
AL1	Négligeable	Absence de risques nuisibles dus à la faune.		Normal.	NF EN 60721-3-3 classe 3B1 NF EN 60721-3-4 classe 4B1
AL2	Risques	Risques nuisibles dus à la faune (insectes, oiseaux, petits animaux).	Les risques dépendent de la nature de la faune : - les dangers dus à des insectes en quantités nuisibles ou de nature agressive ; - la présence de petits animaux ou d'oiseaux en quantités nuisibles ou de nature agressive.	La protection peut comprendre : - un degré de protection contre la pénétration des corps solides (voir AE) ; - une résistance mécanique suffisante (voir AG) ; - des précautions pour éviter la présence de faune. <i>S'il existe un risque dû à la présence de rongeurs, il peut être fait usage de câbles comportant un revêtement métallique avec gaine d'étanchéité ou des systèmes de conduits métalliques étanches. Sinon une protection appropriée est à prévoir.</i>	NF EN 60721-3-3 classe 3B2 NF EN 60721-3-4 classe 4B2

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.11 Rayonnements solaires (AN)					
AN1/AN2	Faibles	< 700 W/m ² .		Normal.	NF EN 60721-3-3
AN3	Significatifs	≥ 700 W/m ² .		<p>Des dispositions appropriées doivent être prises.</p> <p>Ces dispositions peuvent être :</p> <ul style="list-style-type: none">- matériaux résistant aux ultraviolets ;- couche colorée spéciale ;- interposition d'écrans. <p><i>Dans les environnements soumis à des rayonnements solaires, les effets de ces rayonnements peuvent entraîner une augmentation de la température et des modifications de structure de certains éléments constituant les matériaux.</i></p> <p><i>Pour les câbles, voir Tableau 52K2</i></p>	NF EN 60721-3-4

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.12	Effets sismiques (AP)				
		<p>1 gal = 1 cm/s²</p> <p>La valeur caractéristique (S) des effets sismiques, exprimée en gal, est obtenue en multipliant l'accélération sismique g par un facteur dépendant de la hauteur du bâtiment au-dessus du sol et dont la valeur est de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2,0 jusqu'au 3^e étage, - 3,0 du 4^e au 8^e étage, - 4,0 au-dessus du 8^e étage. <p>Les vibrations qui peuvent provoquer la destruction du bâtiment ne font pas partie de la classification.</p> <p>Les fréquences ne sont pas prises en considération dans la classification ; toutefois, si l'onde sismique entre en résonance avec le bâtiment, les effets sismiques doivent être considérés. En général, les fréquences d'accélération sismiques sont comprises entre 0 Hz et 10 Hz.</p>			NF P 06-013
AP1	Négligeables	S ≤ 30 Gal		Normal.	
AP2	Faibles	30 < S ≤ 300 Gal			
AP3	Moyens	300 < S ≤ 600 Gal		<p><i>Dans la mesure où l'installation concernée est soumise aux règles parasismiques (PSMI 1992), il convient de renforcer la fixation des matériaux électriques :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>tableaux électriques (par exemple fixation au génie civil par l'intermédiaire de rails noyés dans le béton de la dalle du local dans lequel ils sont implantés) ;</i> - <i>canalisations électriques, notamment chemins de câbles (par exemple utilisation de pendards en double U ou augmentation du nombre de supports et du diamètre de leurs fixations) ;</i> - <i>autres matériaux électriques, notamment luminaires.</i> 	Articles R. 563-1 à R. 563.8 de la partie réglementaire du Code de l'Environnement.
AP4	Forts	S > 600 Gal			

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.13 Foudre, niveau kéraunique (Nk), densité de foudroiement (Ng) (AQ)					
<i>Le niveau kéraunique Nk est le nombre de jours par an où l'on entend la tonnerre.</i>					
<i>La densité de foudroiement Ng est égale au nombre de coups de foudre au sol par an et par km². (Voir 443)</i>					
AQ1	Négligeable	Nk ≤ 25 jours par an, Ng ≤ 2,5			
AQ2	Indirecte	Nk > 25 jours par an, Ng > 2,5 Risques provenant du réseau d'alimentation.	<i>Installations alimentées par des lignes aériennes.</i>		
AQ3	Directe	Risques provenant de l'exposition des matériaux. Les cas AQ2 et AQ3 se rencontrent dans les régions particulièrement exposées aux effets de la foudre.	Parties d'installations situées à l'extérieur des bâtiments.		
512.14 Mouvements de l'air (AR)					
AR1	Faibles	Vitesse ≤ 1 m/s		Normal.	
AR2	Moyens	1 m/s < vitesse ≤ 5 m/s		Des dispositions appropriées doivent être prises.	
AR3	Forts	5 m/s < vitesse ≤ 10 m/s		Des dispositions appropriées doivent être prises.	

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.15 Vent (AS)					
AS1	Faible	10 m/s < vitesse ≤ 20 m/s.		Normal	
AS2	Moyen	20 m/s < vitesse ≤ 30 m/s.		Des dispositions appropriées doivent être prises.	
AS3	Fort	30 m/s < vitesse ≤ 50 m/s.		Des dispositions appropriées doivent être prises. <i>La protection contre les effets du vent est obtenue par une fixation appropriée du matériel en fonction des efforts exercés par le vent sur le matériel. Ces conditions intéressent essentiellement les lignes aériennes, les matériels électriques installés à l'extérieur ainsi que leurs supports.</i>	Voir aussi arrêté technique (UTE C 11-001, article 13).
512.16 Neige, givre et glace (AT)					
<p><i>En présence de neige, il convient de tenir compte des valeurs des surcharges sur les installations et équipements, et des distances entre points sous tension et sol ou masse.</i></p> <p><i>Le poids volumique pris en compte pour le calcul des charges correspondant aux hauteurs de neige est déduit de la lame d'eau de fusion. Lorsque celle-ci n'est pas connue, un poids volumique moyen de 200 daN/m³ peut être admis.</i></p> <p><i>Les effets de neige et du vent sont à considérer, lorsque la combinaison produit sur les installations et équipements des actions plus défavorables que si la neige ou le vent agissait seul.</i></p> <p><i>Pour le givre lourd, on prend les mêmes valeurs que pour la glace, les masses volumiques étant sensiblement les mêmes. Pour le givre léger tel qu'il se forme sur la végétation, on prend 0,11 comme rapport des masses volumiques givre léger/glace.</i></p>					
AT1	faible	1 mm de glace			Voir aussi arrêté technique (UTE C 11-001, article 13, § 3).
AT2	léger	10 mm de glace			
AT3	lourd	20 mm de glace			

Utilisation

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.17 Compétence des personnes (BA)					
BA1	Ordinaires	Personnes non averties.		Normal.	
BA4	Averties (*)	Personnes suffisamment informées ou surveillées par des personnes qualifiées pour leur permettre d'éviter les dangers que peut représenter l'électricité (agents d'entretien ou d'exploitation).	Locaux de service électrique fermés.		Publication UTE C 18-510.
BA5	Qualifiées (*)	Personnes ayant des connaissances techniques ou une expérience suffisante pour leur permettre d'éviter les dangers que peut représenter l'électricité (ingénieurs et techniciens).	Locaux de service électrique fermés.		Publication UTE C 18-510.

(*) En France, seules les personnes habilitées au sens de la publication UTE C 18-510 sont autorisées à travailler dans les conditions BA4 et BA5.

Code	Désignation des classes	Caractéristiques	Application et exemples	Caractéristiques des matériaux et mise en œuvre	Références
512.18 Nature des matières traitées ou entreposées (BE)					
BE2	Risques d'incendie	Présence de matières inflammables, y compris les poussières.	<p><i>En ce qui concerne les conditions BE2, on peut citer comme exemples de matières facilement inflammables : papiers en vrac, foin, paille, poussière de farine, de sucre, copeaux, fibres de bois, rambilles, fibres de coton ou de laine, essences, certaines matières plastiques. Ces matières correspondent à la catégorie M4, définies par l'arrêté du 21 novembre 2002 du Ministère de l'Intérieur [20].</i></p> <p><i>Les quantités minimales de matières pour considérer qu'un local entre dans la catégorie BE2 sont définies par les règlements en vigueur.</i></p>		Voir 422
BE3	Risques d'explosion	Présence de matières explosives ou ayant un point d'éclair bas, y compris les poussières explosives. Les emplacements soumis aux conditions BE3 sont classés en zones d'après la fréquence et la durée de la présence d'une atmosphère explosive. C'est à l'exploitant de l'établissement de définir ces zones.	<p><i>Des exemples sont des raffineries, des stockages d'hydrocarbures, des silos et des industries chimiques.</i></p>	La Directive 1999/92/CE du 16/12/99 définit les zones et les catégories de matériaux à utiliser selon ces zones. Le Décret 96-1010 du 19/11/96 définit les spécifications auxquelles doivent satisfaire les différentes catégories [4].	Voir 424

513 Disponible

514 Identification et repérage

514.1 Dispositions générales

Des plaques indicatrices doivent permettre de reconnaître l'affectation de l'appareillage, à moins que toute possibilité de confusion soit écartée.

Si le fonctionnement d'un appareillage ne peut être observé par la personne qui le manœuvre et qu'il peut en résulter un danger, une plaque indicatrice doit être placée à un endroit visible de l'opérateur.

514.2 Identification et localisation des canalisations

Chaque extrémité de câble, à moins que son identification puisse être faite sans ambiguïté, doit porter un moyen de repérage.

Les dispositifs utilisés pour le repérage doivent être inaltérables, sûrs et durables.

Le tracé des canalisations enterrées doit être reporté sur un plan qui permette de connaître leur emplacement, sans avoir à recourir à une fouille. Ce plan doit mentionner, en particulier, les cotes de repérage des câbles, par rapport aux bâtiments et autres repères possibles ainsi que la profondeur de pose, la constitution des nappes et la position des boîtes de connexion. Des coupes doivent indiquer le détail de la pose et la position relative par rapport aux canalisations ou autres obstacles rencontrés.

Ce plan doit être tenu à jour après chaque modification de l'installation affectant les câbles . Il peut être complété par un carnet de câbles.

Le moyen de repérage peut consister en un étiquetage portant toutes indications utiles permettant l'identification, par exemple un numéro d'ordre permettant de se reporter à un carnet de câbles ou à un schéma.

Dans les installations importantes ou étendues, il est recommandé de répéter ces indications sur le tracé et, en particulier, aux points où interviennent les changements dans le cheminement des câbles (croisements, dérivations, etc.).

Pour la pose en tranchée, il est recommandé de matérialiser à la surface du sol l'emplacement des câbles, par exemple en plaçant des bornes de repérage sur leur tracé et, en particulier, aux points de changement de direction, aux dérivations, etc.

514.3 Repérage des conducteurs isolés

Les conducteurs de phase doivent être repérés soit par numérotage, soit par coloration.

En cas de repérage par coloration des conducteurs de phases, les couleurs vert et jaune, simples ou combinées, ne doivent pas être utilisées.

Tout conducteur isolé utilisé comme conducteur neutre doit être repéré selon cette fonction. En cas de repérage par coloration, et sauf indication contraire, ce conducteur doit être repéré par la couleur bleu.

Tout conducteur isolé utilisé comme conducteur de protection doit être repéré par la double coloration vert et jaune. Un conducteur repéré par la double coloration vert et jaune ne doit être utilisé que lorsqu'il assure la fonction de protection.

Les dispositions du présent paragraphe ne s'appliquent pas aux conducteurs nus.

Le conducteur bleu d'un câble multiconducteur peut être utilisé pour d'autres fonctions si le circuit ne comporte pas de conducteur neutre, mais pas comme conducteur de protection.

Le repérage des conducteurs peut être réalisé par l'un des moyens suivants :

- *par coloration dans la masse ou en peau de l'isolation pour les conducteurs et câbles isolés ;*
- *par rubans colorés ;*
- *par chiffres inscrits sur la surface extérieure des conducteurs ;*
- *par bagues aux extrémités.*

514.4 Schémas

L'installation électrique doit au minimum faire l'objet d'un schéma unifilaire ou autre document indiquant notamment :

- l'architecture du réseau électrique ;
- la nature et la constitution des circuits (points d'utilisation et récepteurs desservis, nombre et section des conducteurs, nature des canalisations, etc.) ;
- les caractéristiques des dispositifs assurant les fonctions de protection, de sectionnement et de commande.

Les symboles utilisés sont choisis parmi ceux recommandés par les normes en vigueur (6)

515 Indépendance des matériels électriques

515.1 Les matériels électriques doivent être installés de manière à empêcher que les installations non électriques du bâtiment exercent une influence dommageable sur l'installation électrique.

515.2 Les matériels électriques utilisés pour la production et la distribution de l'énergie électrique doivent être installés dans des locaux ou emplacements de service électrique.

(6) NF EN 61082-1

Partie 5-52 – Règles complémentaires pour les canalisations HTA

520 Généralités	156
521 Modes de pose	162
522 Choix et mise en œuvre en fonction des influences externes.....	168
523 Courants admissibles	170
524 Câbles en parallèle	186
525 Chute de tension.....	187
526 Connexions.....	188
527 Courant de court-circuit.....	188
528 Ecrans et armures des câbles	189
<i>Annexe 52A (informative) – Capacité des câbles</i>	192

520 Généralités

La présente partie n'est applicable que pour des tensions maximales (U_m) inférieures ou égales à 36 kV. Au-delà, il convient de se reporter aux normes NF C 33-252 et NF C 33-254 et de s'adresser aux constructeurs.

520.1 Le choix et la mise en œuvre des canalisations doivent tenir compte des principes fondamentaux de la Partie 1, applicables aux conducteurs et câbles, à leurs connexions, à leurs extrémités, à leurs supports et leurs enveloppes. Les méthodes de protection contre les influences externes sont aussi applicables.

Le Tableau 52A précise les normes à considérer ; le contenu des colonnes est précisé ci-dessous :

Colonne 2	Désignation conforme au code CENELEC et repris dans la norme NF C 30-202 FR-N = type national, mais avec une désignation internationale
Colonne 3	Désignation de la norme NF C
Colonne 4	Tensions de référence des câbles U_0/U (U_m) en kV conforme à la CEI 60183
Colonne 5	Désignation conforme à la norme de référence (colonne 4)
Colonne 6	Ces indications n'impliquent pas que l'ensemble de la gamme de sections soit réalisé : par exemple en fonction de la tension pour les sections minimales
Colonne 7	Type d'isolant
Colonne 8	Températures maximales admissibles sur l'âme
Colonne 9	F = fil cuivre nu ou étamé – R = ruban cuivre ou alu
Colonne 10	Type de gaine
Colonne 11	C2 = Câble non propagateur de la flamme selon la NF C 32-070 C3 = Pas de caractéristiques du point de vue du comportement au feu (selon la NF C 32-070)

Pour le choix du comportement au feu des câbles, il convient de se référer à la réglementation nationale ou aux exigences de l'exploitant de l'installation.

Classification des câbles selon leur comportement au feu :

- câbles de catégorie C3.

Ces câbles n'ont pas de caractéristiques spécifiques de tenue au feu.

- câbles de catégorie C2 dits « non propagateurs de la flamme »

Ces câbles ne propagent pas l'inflammation lorsqu'ils sont soumis à une ou plusieurs applications séparées de la flamme d'un brûleur à gaz.

Cet essai est défini par la norme NF C 32-070, essai n° 1, catégorie C2.

Les câbles utilisés dans les bâtiments répondent aux exigences de cet essai, ce qui représente le premier niveau de tenue au feu.

- câbles de catégorie C1 dits « non propagateurs de l'incendie »

Un câble est dit «non propagateur de l'incendie» lorsque, enflammé, il ne donne pas naissance à un foyer d'incendie secondaire par dégagement de produits volatiles inflammables.

L'essai correspondant est défini par la norme NF C 32-070, essai n° 2, catégorie C1.

Ces câbles sont généralement installés dans les tunnels et les locaux destinés à recevoir du public.

Les câbles de catégories C2 et C1, peuvent sur demande, être réalisés à partir de matériaux sans halogène, ignifugés, à faible émission de fumées, et à toxicité réduite en cas de combustion.

Les matériaux sans halogène ont pour avantage, en cas d'incendie, de ne dégager que de faibles fumées corrosives et non toxiques. Ils sont souvent utilisés dans des locaux à risques (tunnels, hôpitaux, etc.).

Cependant, les propriétés mécaniques de ces matériaux sont généralement moins bonnes. Il convient de consulter le fournisseur.

Tableau 52A – Conducteurs et câbles isolés

No.	Désignations	Normes NF C	Tension assignée (kV)	Désignation	Section (mm ²)	Type d'isolant	Température sur âme (°C)	Ecran	Type de gaine	Tenue au feu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	NF C 33-220 ⁽¹⁾ ou ⁽²⁾	33-220	1,8/3 (3,6) à 18/30 (36)	« Câbles isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV »	10 à 1 600	PR EPR PVC	90 90 70	F ou R	PVC ou PE ⁽⁴⁾	⁽³⁾
2	FR-N10 XA8V-R (ou AR)	33-223	6/10 (12)	« Câbles de tension assignée comprise entre 6/10 (12) kV et 18/30 (36) kV, isolés polyéthylène réticulé, pour réseaux de distribution »	16 à 630	PR	90	R	PVC	C2
3	FR-N15 XA8V-R (ou AR)		8,7/15 (17,5)							
4	FR-N20 XA8V-R (ou AR)		12/20 (24)							
5	FR-N30 XA8V-R (ou AR)		18/30 (36)							
6	FR-N10 XA8V D7-R (ou AR)	33-223	6/10 (12)	« Câbles de tension assignée comprise entre 6/10 (12) kV et 18/30 (36) kV, isolés polyéthylène réticulé, pour réseaux de distribution »	16 à 240	PR	90	R	PVC	C2
7	FR-N15 XA8V D7-R (ou AR)		8,7/15 (17,5)							
8	FR-N20 XA8V D7-R (ou AR)		12/20 (24)							
9	FR-N30 XA8V D7-R (ou AR)		18/30 (36)							
10	FR-N20 XA8V-AR	33-226	12/20 (24)	« Câbles de tension assignée 12/20 (24) kV, isolés au polyéthylène réticulé à gradient fixé, pour réseaux de distribution »	50 à 1 200	PR	90	R	PVC	C2
11	FR-N20 XA8E-AR		12/20 (24)		50 à 1 200	PR	90	R	PE	C3
12	FR-N20 XA8V D7-AR	33-226	12/20 (24)	« Câbles de tension assignée 12/20 (24) kV, isolés au polyéthylène réticulé à gradient fixé, pour réseaux de distribution »	50 à 240	PR	90	R	PVC	C2
13	FR-N20 XA8E D7-AR		12/20 (24)		50 à 240	PR	90	R	PE	C3

(1) Câble non armé.

(2) Câble armé.

(3) Câble non propagateur de l'incendie C1 sur demande auprès du constructeur.

(4) Pour les autres matériaux de gainage dans le cas des câbles spéciaux, voir le constructeur.

520.2 Conducteurs et câbles

Les canalisations mises en œuvre dans les installations à haute tension utilisent les modes de pose du Tableau 52E.

520.3 Températures de fonctionnement

520.3.1 Le courant transporté par tout conducteur pendant des périodes prolongées en fonctionnement normal doit être tel que la température maximale de fonctionnement ne soit pas supérieure à la valeur appropriée spécifiée dans le Tableau 52B. La valeur du courant doit être choisie conformément à 520.3.2, ou déterminée conformément à 520.3.3.

Tableau 52B – Températures maximales de fonctionnement pour les isolations

Type d'isolation	Température maximale de fonctionnement (°C)		
	en régime permanent ⁽¹⁾	en surcharge de courte durée ⁽²⁾	lors d'un court-circuit ⁽¹⁾
Polychlorure de vinyle (PVC)	70	/	160 ⁽³⁾
Polyéthylène réticulé (PR) et Ethylène-propylène rubber (EPR)	90	120	250

(1) CEI 60502-2
(2) Température maximale de surcharge de courte durée (24 heures/an par fractions maximales de 3 heures) - (NF C 33-223)
(3) 140 °C pour les sections supérieure ou égale à 300 mm² (CEI 60986)

520.3.2 La règle ci-dessus est considérée comme satisfaisante si le courant dans les câbles unipolaires et tripolaires n'est pas supérieur à la valeur appropriée choisie dans les Tableaux 52G à 52J, compte tenu des facteurs de correction éventuels de 523.1. Pour les types de câbles auxquels cet article ne s'applique pas, les courants admissibles doivent être déterminés conformément à 520.3.3.

Une tolérance de 5 % est admise sur les valeurs des courants admissibles lors du choix de la section des conducteurs.

520.3.3 Les valeurs des courants admissibles et des facteurs de correction satisfaisant aux prescriptions de 520.3.1 peuvent être déterminées suivant les méthodes de la CEI 60287 par essai ou par des calculs utilisant une méthode reconnue à condition qu'elle soit précisée. Il peut être nécessaire de tenir compte des caractéristiques de la charge.

520.3.4 Les capacités de transport des câbles pour les régimes de charges cycliques et de surcharges de courte durée doivent être calculées avec la norme CEI 60853.

520.4 Tensions assignées

Les tensions assignées U_0/U (U_m) des câbles concernés par ce document sont les suivantes :

$$U_0/U \text{ (} U_m \text{)} = 3,6/6 (7,2) \text{ kV} - 6/10 (12) \text{ kV} - 8,7/15 (17,5) \text{ kV} - 12/20 (24) \text{ kV} - 18/30 (36) \text{ kV}.$$

NOTE Les tensions indiquées ci-dessus constituent les désignations normalisées bien que d'autres désignations soient utilisées dans certains pays, par exemple 3,5/6 kV – 5,8/10 kV – 11,5/20 kV – 17,3/30 kV.

Dans la désignation des tensions des câbles U_0/U (U_m) :

U_0 est la tension assignée à fréquence industrielle entre chacun des conducteurs et la terre, ou l'écran métallique, pour laquelle le câble est conçu ;

U est la tension assignée à fréquence industrielle entre conducteurs, pour laquelle le câble est conçu ;

U_m est la valeur maximale de la "tension la plus élevée du réseau" pour laquelle le matériel peut être utilisé (voir CEI 60038).

Dans les câbles à champ non radial dits "à ceinture", les valeurs de U_0 et de U sont identiques : 3/3 (3,6) kV, 6/6 (7,2) kV.

Les câbles doivent être utilisés pour des réseaux dont la tension maximale en exploitation ne dépasse pas U_m . Exemple : un câble 18/30 (36) kV doit être utilisé pour un réseau dont la tension maximum ne dépasse pas 36 kV (voir CEI 60183).

Pour une application donnée, la tension assignée d'un câble doit être adaptée aux conditions d'exploitation du réseau dans lequel il est utilisé. Pour faciliter le choix du câble, les réseaux sont classés en trois catégories :

Catégorie A cette catégorie comprend les installations dans lesquels tout conducteur de phase qui entre en contact avec la terre ou avec un conducteur de terre est déconnecté du réseau en moins de 1 min ;

Catégorie B cette catégorie comprend les installations qui, en régime de défaut, continuent à être exploités pendant un temps limité avec une phase à la terre. Selon la CEI 60183, il convient que cette durée ne dépasse pas 1 h. Pour les câbles concernés par ce document, une durée plus longue peut être tolérée, ne dépassant cependant pas 8 h en aucun cas. Il convient que la durée cumulée des défauts à la terre sur une année quelconque ne dépasse pas 125 h ;

Catégorie C cette catégorie comprend toutes les installations qui n'entrent pas dans l'une des catégories A ou B.

NOTE Il convient d'avoir à l'esprit que, dans un réseau où un défaut à la terre n'est pas éliminé automatiquement et rapidement, les contraintes supplémentaires supportées par l'isolation des câbles pendant la durée du défaut réduisent la vie de ceux-ci dans une certaine proportion. S'il est prévu que le réseau fonctionne fréquemment avec un défaut permanent à la terre, il peut être prudent de placer le réseau dans la catégorie C.

Les valeurs recommandées de U_0 / U pour les câbles à champ radial utilisés dans les réseaux triphasés sont indiquées au Tableau 52C.

Tableau 52C – Tensions assignées U_0 / U recommandées pour les câbles à champ radial

Tension la plus élevée U_m (kV)	Tension assignée U_0 / U (kV)	
	Catégories A et B	Catégorie C
7,2	3,6 / 6	6,0 / 10
12,0	6,0 / 10	8,7 / 15
17,5	8,7 / 15	12 / 20
24,0	12 / 20	18 / 30
36,0	18 / 30	<i>Non applicable</i>

520.5 Câbles unipolaires d'un même circuit en courant alternatif installés dans des conduits ou goulottes en matériau ferromagnétique

Les câbles unipolaires d'un circuit en courant alternatif installés dans des conduits ou goulottes en matériau ferromagnétique doivent être installés de telle manière que :

- si la liaison comporte un seul câble par phase, les trois câbles constituant la liaison soient disposés en trèfle jointif dans un même conduit ou goulotte ;
- si la liaison comporte plusieurs câbles par phase, chaque conduit ou goulotte contient au moins les trois phases d'un des circuits constituant la liaison, ces trois phases étant disposés en trèfle jointif.

Cette disposition est interdite pour les câbles unipolaires seuls.

Cette condition concerne les conduits et goulottes métalliques.

Des colliers ferromagnétiques peuvent également s'échauffer et il est préférable d'utiliser des colliers en matériau amagnétique.

NOTE Si cette condition n'est pas remplie, des échauffements et des chutes de tension excessives peuvent se produire en raison de phénomènes d'induction.

521 Modes de pose

521.1 Généralités

Le choix des canalisations doit être fait selon le Tableau 52D.

Des exemples de modes de pose sont présentés dans le Tableau 52E.

NOTE D'autres modes de pose, non décrits dans cette partie, peuvent être utilisés à condition de satisfaire aux prescriptions générales de la présente partie.

Le guide UTE C 13-205 donne des indications sur les conditions d'utilisation et de mise en œuvre des différents modes de pose.

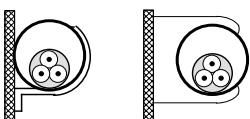
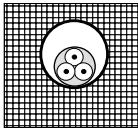
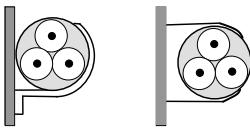
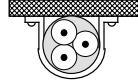
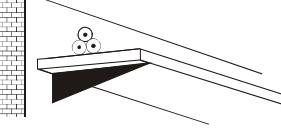
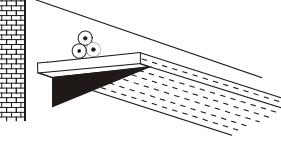
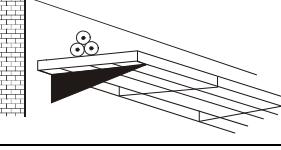
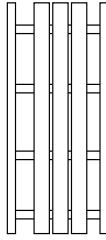
Tableau 52D – Choix des canalisations

Conducteurs et câbles		Modes de pose		Enteré directement	Enteré sous conduits	Caniveau d'affleurement	Goulettes	Chemins de câbles, échelles, tablettes, corbeaux	Sur isolateurs	Câble porteur
Conducteurs nus		N	N	N	N	N	N	A	A	N
Câbles (mono ou multiconducteurs)	Non armés.....	A1	A	A	A	A	A	0	0	A2
	Armés	A	A	A	A	A	A	0	0	0

A Admis.
A1 Admis pour les câbles conformes aux normes NF C 33-223, UTE C 33-223, NF C 33-226 qui peuvent être directement enterrés sans protection mécanique complémentaire.
A2 Admis uniquement pour les torsades.
N Non admis.
0 Non applicable ou non utilisé en pratique.

Tableau 52E – Exemples de modes de pose

Les figures ne sont pas destinées à représenter réellement les modes de pose mais sont destinées à expliquer le principe du mode de pose correspondant.

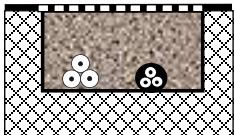
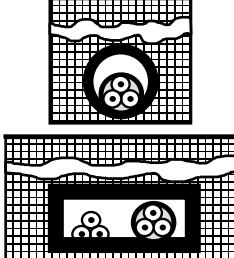
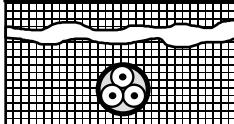
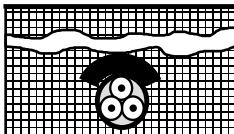
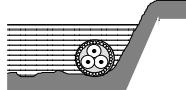
Type de pose et numéro	Exemple	Description	Facteurs de correction concernés
Air 3A		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.	K1 K9
Air 5A		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans des conduits noyés dans une paroi.	K1 K9
Air 11		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs avec ou sans armure : • fixés sur un mur ;	K1 K2 K3
Air 11A		• fixés à un plafond ;	K1 K4
Air 12		• sur des chemins de câbles ou tablettes non perforées ; (*)	K1 K2 K3 K7
Air 13		• sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical ; (*)	K1 K2 K5 K7
Air 14		• sur des treillis soudés ou sur des corbeaux ;	K1 K2 K6 K7
Air 16		• sur échelles à câbles.	K1 K2 K6 K7

(*) Un chemin de câbles avec couvercle est considéré comme une goulotte (modes de pose 31 et 32)

Tableau 52E – Exemples de modes de pose (suite)

Type de pose	Exemple	Description	Facteurs de correction concernés
Air 16A	Grue Tambour	Câbles souples pour l'alimentation d'engins mobiles avec enroulement sur tambour	K1 K2 K11
Air 17		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs suspendus à un câble porteur ou autoporteur.	K1 K2
Air 31	31 31A	Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans des goulettes fixées aux parois. • en parcours horizontal ;	K1 K9
Air 32	32 32A	• en parcours vertical.	K1 K9
Air 41		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans des caniveaux non remplis de sable et fermés.	K1 K10
Air 43		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés.	K1 K2 K3 K7
Air 45		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans alvéoles ou blocs manufacturés, monolithes béton non enterrés et traversées de mur d'épaisseur supérieur à 1 m.	K1 K9

Tableau 52E - Exemples de modes de pose (suite)

Type de pose	Exemple	Description	Facteurs de correction concernés
Affleurant ou enterré 60		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans des caniveaux remplis de sable.	K12 K13 K15
Enterré 61		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs dans des conduits ou des fourreaux enterrés ou dans des monolithes de béton.	K12 K13 K14 K16 K17
Enterré 62		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs enterrés sans protection mécanique complémentaire.	K12 K13 K14 K15
Enterré 63		Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs enterrés avec protection mécanique complémentaire.	K12 K13 K14 K15
Immergé 81		Câbles immergés dans l'eau.	(*)

(*) Le câble est dimensionné pour les parties hors d'eau.

521.2 Dispositions générales pour la pose des câbles

521.2.1 Pour éviter la détérioration des câbles, les opérations de pose doivent être réalisées à la température spécifiée par le fabricant.

521.2.2 Les canalisations doivent être choisies et installées de manière à empêcher pendant la mise en œuvre, l'utilisation et la maintenance, tout dommage aux gaines, écrans et isolation des câbles.

521.2.3 Les canalisations doivent être posées de manière à garantir que les forces résultant des courants de court-circuit n'entraînent aucune détérioration. Lors d'une pose à l'air libre, cette disposition impose de rendre solidaires les câbles de leur support au moyen de sangles ou de colliers. Ceux-ci doivent être en métal amagnétique pour les câbles unipolaires.

521.2.4 Les valeurs minimales des rayons de courbure pendant et après l'installation dépendent du type de câble. Ils sont spécifiés par le fabricant.

521.2.5 Des dispositions doivent être prises pour permettre la dilatation et la contraction des câbles dus aux variations de température.

521.2.6 Lorsque plusieurs câbles unipolaires sont mis en parallèles, ils sont répartis en autant de groupes qu'il existe de conducteurs en parallèles, chaque groupe comprenant un conducteur de chaque phase ou polarité. Les conducteurs de chaque groupe doivent être posés à proximité les uns des autres (voir 524).

Ces dispositions ont pour but de réduire les impédances de boucle et d'assurer la répartition correcte des courants dans les conducteurs en parallèles.

521.3 Règles particulières pour les différents modes de pose

521.3.1 Pose à l'air libre

521.3.1.1 Les canalisations doivent être supportées sur toute leur longueur par des moyens appropriés à des intervalles suffisants de telle manière qu'elles ne soient pas endommagées par leur propre poids.

521.3.1.2 Lorsque les canalisations sont soumises à une traction permanente (par exemple en raison de leur propre poids en parcours vertical), un type approprié de câble avec une section et un mode de pose approprié doit être choisi, de manière à éviter tout dommage aux câbles et à leurs supports.

521.3.2 Pose enterrée

521.3.2.1 Les câbles doivent être protégés contre les détériorations causées par le tassement des terres, le contact des corps durs, le choc des outils en cas de fouille ainsi que contre les actions chimiques.

521.3.2.2 Pour parer aux effets du tassement des terres, les câbles doivent être enfouis en terrain normal, au moins à 80 cm de la surface du sol. Cette valeur s'applique à compter de la partie supérieure des câbles après pose.

521.3.2.3 Le fabricant spécifie les câbles devant être enterrés avec protection mécanique et ceux pouvant être enterrés sans protection mécanique.

521.3.2.4 Dans la plupart des cas, la pose des câbles dans la terre est réalisée dans le fond d'une tranchée à câbles libre de cailloux. L'assise doit alors être constituée de sable ou de terre sans cailloux. Dans le cas contraire, des câbles à protections spéciales doivent être utilisés.

Les câbles conformes à la norme NF C 33-220 peuvent être enterrés dans les conditions suivantes :

- *directement dans un lit de sable ou de terre sans cailloux s'ils sont armés ;*
- *s'ils ne sont pas armés, une protection mécanique complémentaire est nécessaire (fourreau, buse, etc.).*

Les câbles conformes à la norme NF C 33-223 peuvent directement être enterrés sans protection complémentaire dans un lit de sable ou de terre sans cailloux.

Les câbles conformes à la norme NFC 33-226 peuvent directement être enterrés :

- *dans un lit de sable ou de terre sans cailloux, sans protection mécanique complémentaire ;*
- *dans une tranchée "brut de fouille", sans lit de sable, avec une protection mécanique complémentaire incorporée au câble et spécifiée à la commande.*

521.3.2.5 Tout câble ou ensemble de câbles doit être signalé par un dispositif avertisseur placé au minimum à 20 cm au-dessus de lui. Ce dispositif peut être constitué par un grillage, une dalle ou tout autre moyen.

521.3.2.6 Lorsque des câbles de tensions différentes sont superposés, un dispositif avertisseur doit être placé au-dessus de chacun d'eux.

521.3.2.7 Les conditions de voisinage d'une canalisation électrique avec une ligne de communication, une conduite d'eau, d'hydrocarbure, de gaz, d'air comprimé, de vapeur, etc. doivent être déterminées de manière que les phénomènes d'induction électromagnétique, d'influences électriques et d'élévation de potentiel accidentelle ou permanente, causés par la canalisation électrique n'entraînent sur les installations voisines concernées aucun danger ni aucune perturbation. L'importance et les conséquences de ces phénomènes doivent faire l'objet d'études spécifiques précisant les dispositions à prendre pour s'en prémunir.

L'influence sur toute canalisation électrique des canalisations et ouvrages voisins doit également être prise en compte notamment pour ce qui concerne les échauffements.

Au croisement de toute canalisations électriques et d'autres canalisations, quelques soient leurs natures, une distance minimale de 20 cm doit être respectée.

521.3.3 Pose sous conduit

521.3.3.1 La section totale d'occupation des câbles, toutes protections comprises, ne doit pas être supérieure à 40 % de la section interne du conduit s'il s'agit d'un câble tripolaire, et à 30 % s'il s'agit de plusieurs câbles unipolaires.

521.3.3.2 Le type et le diamètre interne des fourreaux et conduits à utiliser dépendent du type et du diamètre des câbles devant y être tirés, ainsi que du tracé et de la longueur de la liaison.

521.3.3.3 Quelle que soit la nature des conduits, il ne doit être placé qu'un seul câble tripolaire par conduit ou un terne de câbles unipolaires appartenant à un même circuit.

Les conduits sont, soit enterrés, soit posés sur des supports apparents, soit placés dans des galeries, gaines ou caniveaux, soit noyés dans la construction.

On peut également utiliser des caniveaux à alvéoles multiples ou des dalles à alvéoles réalisés en éléments préfabriqués

521.3.3.4 La contrainte maximale de traction autorisée pendant la pose dépend de la nature de l'âme du conducteur et du type de câble. Elles sont indiquées dans les normes correspondantes ou doivent être spécifiées par le fabricant.

521.3.4 Pose des câbles souples

Les câbles souples doivent être conçus et installés de manière à éviter les efforts de torsions, de tractions ou de coup de fouet (combinaison des deux contraintes précédentes). Des constructions spéciales de câbles doivent être choisies afin de maîtriser ces contraintes.

521.3.5 Traversées

521.3.5.1 Dans les traversées des parois, les câbles doivent être protégés par des fourreaux.

521.3.5.2 Lorsqu'une canalisation traverse des éléments de construction tels que planchers, murs, toitures, plafonds, etc., les ouvertures demeurant après passage de la canalisation doivent être obturées suivant le degré de résistance au feu prescrit pour l'élément correspondant de la construction avant la traversée.

L'obturation des traversées peut être obtenue à l'aide de matériaux tels que plâtre, fibres minérales, mortiers, etc.

Ces obturations sont réalisées de manière à permettre d'effectuer des modifications de l'installation sans endommager les canalisations et de telle manière que les qualités d'étanchéité et de non propagation de l'incendie soient maintenues.

521.3.5.3 La pénétration des câbles unipolaires à l'intérieur des équipements doit être réalisée au moyen de plaques amagnétiques.

522 Choix et mise en œuvre en fonction des influences externes

La protection contre les influences externes conférée par le mode de pose doit être assurée de façon continue sur tout le parcours des canalisations, notamment aux angles, changements de plan et endroits de pénétration dans les appareils.

Le Tableau 52F indique pour chaque série de câbles normalisée les classes des influences externes dans lesquelles ils peuvent être utilisés.

Tableau 52F – Conditions d'utilisation des câbles

No 1	Désignations 2	Normes NF C 3	Tension assignée (kV) 4	AA 5	AD 6	AE 7	AF 8	AG 9	AH 10	AK 11	AL 12	AN 13	AS 14	AT 15
1	NF C 33-220	33-220	1,8/3 (3,6) à 18/30 (36)	4 à 6	4 (1) 6 (2)	1-2-3	1 à 3	3 (1) 4 (2)	1	1	1	1-2-3	-	-
2	FR-N10 XA8V-R (ou AR)	33-223	6/10 (12)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	-	-
3	FR-N15 XA8V-R (ou AR)	33-223	8,7/15 (17,5)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	-	-
4	FR-N20 XA8V-R (ou AR)	33-223	12/20 (24)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	-	-
5	FR-N30 XA8V-R (ou AR)	33-223	18/30 (36)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	-	-
6	FR-N10 XA8V D7-R (ou AR)	33-223	6/10 (12)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	2-3	1-2-3
7	FR-N15 XA8V D7-R (ou AR)	33-223	8,7/15 (17,5)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	2-3	1-2-3
8	FR-N20 XA8V D7-R (ou AR)	33-223	12/20 (24)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	2-3	1-2-3
9	FR-N30 XA8V D7-R (ou AR)	33-223	18/30 (36)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	2-3	1-2-3
10	FR-N20 XA8V-AR	33-226	12/20 (24)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	-	-
11	FR-N20 XA8E-AR	33-226	12/20 (24)	4 à 6	8	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	-	-
12	FR-N20 XA8V D7-AR	33-226	12/20 (24)	4 à 6	7	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	2-3	1-2-3
13	FR-N20 XA8E D7-AR	33-226	12/20 (24)	4 à 6	8	1-2-3	1 à 3	4	1	1	1	1-2-3	2-3	1-2-3

(1) Câble non-armé.

(2) Câble armé.

522.1 Sources externes de chaleur

Afin d'éviter les effets de la chaleur émise par des sources externes, les méthodes suivantes, ou d'autres méthodes équivalentes, doivent être utilisées pour protéger les canalisations :

- écran de protection ;
- éloignement suffisant des sources de chaleur ;
- choix d'une canalisation tenant compte des effets nuisibles ;
- renforcement local ou modification du matériau isolant.

NOTE La chaleur émise par des sources extérieures peut être transmise par rayonnement, par convection ou par conduction. Les sources de chaleur peuvent être :

- des canalisations d'eau chaude ;
- des procédés de fabrication ;
- des matériaux conducteurs de la chaleur ;
- le rayonnement solaire.

523 Courants admissibles

523.0 Généralités

Les prescriptions de cet article sont destinées à garantir une durée de vie satisfaisante aux câbles en service normal, à la température maximale de fonctionnement pendant des périodes prolongées, et pour des conditions habituelles d'installation. D'autres considérations interviennent dans la détermination de la section des conducteurs, telles que la protection contre les effets thermiques, et la limitation des chutes de tension. Il faut également tenir compte des températures limites admises sur les bornes des matériels auxquels les câbles sont connectés.

Pour chacun des modes de pose décrits dans le Tableau 52E, les valeurs des courants admissibles peuvent être déterminés en utilisant les facteurs de correction du Tableau 52K.

Les valeurs des tableaux de cette section sont valables pour des câbles avec ou sans armure et ont été calculées suivant les méthodes de la CEI 60287 : calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100 %), pour la fréquence de 50 Hz.

Les valeurs des tableaux ont été calculées à partir de câbles couramment utilisés (voir Tableau 52A) fonctionnant en courant alternatif 50 Hz.

Dans les cas non prévus dans les tableaux, il convient de faire les calculs en appliquant la CEI 60287.

Les valeurs des courants admissibles indiquées dans les Tableaux 52G et 52J sont applicables aux câbles souples.

Lorsque les câbles sont installés sur un parcours le long duquel les conditions de température ou de résistivité thermique varient, les courants admissibles doivent être déterminés pour la partie du parcours présentant les conditions les plus défavorables.

Tableau 52G – Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ radial de tension assignée 3,6/6 (7,2) kV à 18/30 (36) kV

Câbles isolés au polyéthylène réticulé (PR) ou au caoutchouc éthylène-propylène (EPR)

Ames en cuivre		Section nominale (mm²)	Ames en aluminium	
Air	Enterré		Air	Enterré
120	126	16	94	98
156	160	25	121	125
189	192	35	146	148
227	226	50	175	175
282	277	70	220	215
345	331	95	268	257
400	377	120	309	292
456	423	150	351	327
523	478	185	407	372
619	554	240	479	431
718	627	300	552	487

Conditions de validité des intensités du Tableau 52G

- Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90 °C
 - Pose à l'air libre :
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température ambiante maximum : 30 °C ;
 - à l'abri des rayons solaires.
 - Pose enterrée :
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température du sol : 20 °C ;
 - résistivité thermique du sol : 1 K.m/W ;
 - profondeur de pose : 800 mm.

Tableau 52H – Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ non radial de tension assignée égale à 6/6 (7,2) kV

Câbles isolés au polyéthylène réticulé (PR) ou au caoutchouc éthylène-propylène (EPR)

<i>Ames en cuivre</i>		<i>Section nominale (mm²)</i>	<i>Ames en aluminium</i>	
<i>Air</i>	<i>Enterré</i>		<i>Air</i>	<i>Enterré</i>
78	86	10	60	67
100	110	16	79	86
130	145	25	105	110
165	170	35	125	135
205	215	50	160	165
255	260	70	195	205
310	315	95	240	245
360	360	120	280	280
410	405	150	320	315
460	450	185	360	350
550	525	240	430	410

Conditions de validité des intensités du Tableau 52H

- Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90 °C
 - Pose à l'air libre
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température ambiante maximum : 30 °C ;
 - à l'abri des rayons solaires.
 - Pose enterrée
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température du sol : 20 °C ;
 - résistivité thermique du sol : 1 K.m/W ;
 - profondeur de pose : 800 mm.

Tableau 52I – Courants admissibles dans les câbles tripolaires à champ non radial de tension assignée égale à 6/6 (7,2) kV

Câbles isolés au polychlorure de vinyle (PVC)

Ames en cuivre		Section nominale (mm²)	Ames en aluminium	
Air	Enterré		Air	Enterré
62	70	10	48	56
81	94	16	62	72
105	120	25	82	94
130	145	35	100	115
165	185	50	130	145
205	225	70	160	175
250	270	95	195	210
290	310	120	225	240
330	345	150	255	270
370	385	185	285	300
440	445	240	345	350

Conditions de validité des intensités du Tableau 52I

- Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 70 °C
 - Pose à l'air libre
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température ambiante maximum : 30 °C ;
 - à l'abri des rayons solaires.
 - Pose enterrée
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température ambiante maximum : 20 °C ;
 - résistivité thermique du sol : 1 K.m/W ;
 - profondeur de pose : 800 mm.

Tableau 52J – Courants admissibles dans les circuits constitués par trois câbles unipolaires à champ radial de tension assignée 3,6/6 (7,2) kV à 18/30 (36) kV

Câbles isolés au polyéthylène réticulé (PR) ou au caoutchouc éthylène-propylène (EPR)

Ames en cuivre				Section nominale (mm ²)	Ames en aluminium				
Air		Enterré			Air		Enterré		
Trèfle ⁽¹⁾	Nappe ⁽²⁾	Trèfle ⁽¹⁾	Nappe ⁽²⁾		Trèfle ⁽¹⁾	Nappe ⁽²⁾	Trèfle ⁽¹⁾	Nappe ⁽²⁾	
120	123	126	129	16	94	96	98	101	
157	161	161	165	25	122	125	125	128	
190	195	192	197	35	147	151	149	153	
233	244	225	231	50	185	189	175	179	
292	304	276	283	70	226	236	214	220	
356	369	330	338	95	266	285	252	262	
409	423	375	383	120	318	330	291	299	
465	478	420	430	150	360	370	325	334	
533	549	474	484	185	417	430	370	379	
630	646	549	559	240	490	504	428	439	
724	735	619	623	300	567	579	485	492	
836	838	698	703	400	662	669	554	562	
959	958	786	785	500	771	776	631	637	
1 108	1 108	887	886	630	897	905	720	727	
1 255	1 244	980	970	800	1 037	1 040	810	812	
1 390	1 366	1 063	1 042	1 000	1 165	1 160	895	890	
1 480	1 445	1 117	1 087	1 200	1 264	1 252	957	945	

(1) Pose en trèfle jointif.
(2) pose en nappe jointive.

La pose en trèfle est toujours recommandée pour un meilleur équilibrage des phases.

Conditions de validité des intensités du Tableau 52J

Les valeurs données ont été calculées avec un écran relié aux deux extrémités.
Elles sont valables aussi pour un écran relié à une seule extrémité.

- Température maximale admissible sur l'âme en régime permanent : 90 °C
 - Pose à l'air libre
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température ambiante : 30 °C ;
 - à l'abri des rayons solaires.
 - Pose enterrée
 - un seul circuit sans proximité thermique et électrique ;
 - température du sol : 20 °C ;
 - résistivité thermique du sol : 1 K.m/W ;
 - profondeur de pose : 800 mm.

523.1 Facteurs de correction

Les Tableaux 52E à 52J donnent les valeurs des courants admissibles pour les câbles posés à l'air libre et les câbles enterrés avec des conditions de validité précisées en bas de chaque tableau. Pour des conditions différentes, il convient d'appliquer les facteurs de correction du Tableau 52K.

Tableau 52K – Facteurs de correction selon les modes de pose

Câbles posés à l'air libre		Câbles posés dans le sol	
k1	Influence de la température ambiante - (voir Tableau 52K1)	k12	Influence de la température du sol (voir Tableau 52K12)
k2	Exposition aux rayons directs du soleil (voir Tableau 52K2)	k13	Influence de la résistivité thermique du sol (voir Tableau 52K13)
k3	Câbles posés en simple couche sur les murs, planchers ou tablettes non perforées - (voir Tableau 52K3)	k14	Influence de la profondeur de pose (voir Tableau 52K14)
k4	Câbles posés en simple couche au plafond - (voir Tableau 52K4)	k15	Influence du nombre de circuits enterrés (voir Tableau 52K15)
k5	Câbles posés en simple couche sur tablettes perforées - (voir Tableau 52K5)	k16	Câbles posés en conduits jointifs, enterrés ou noyés dans le béton (voir Tableau 52K16)
k6	Câbles posés en simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés - (voir Tableau 52K6)	k17	Câbles posés en conduits non jointifs enterrés - (voir Tableau 52K17)
k7	Pose en plusieurs couches - (voir Tableau 52K7)		
k8	Câbles posés en conduits jointifs - (voir Tableau 52K8)		
k9	Câbles enfermés - (voir Tableau 52K9)		
k10	Câbles posés en caniveaux fermés non remplis et affleurant le sol - (voir Tableau 52K10)		
k11	Cas particulier des câbles souples pour l'alimentation d'engins mobiles - (voir Tableau 52K11)		

523.2 Facteurs de correction applicables aux câbles posés à l'air libre

523.2.1 Température ambiante

La valeur de la température ambiante à utiliser est la température du milieu environnant lorsque le câble ou le conducteur considéré n'est pas chargé.

Les valeurs de courants admissibles dans l'air indiquées dans les Tableaux 52G à 52J sont valables pour une température de 30 °C, quel que soit le mode de pose, comme indiqué dans les conditions de validité au bas de chaque tableau.

Pour d'autres températures ambiantes, les valeurs des tableaux doivent être multipliées par le facteur de correction approprié k1.

Le facteur de correction k1 ne tient pas compte de l'augmentation éventuelle de température dû à un rayonnement solaire supérieur à 700 W/m² [voir Tableau 52K2 et 512.11].

Lorsque des canalisations électriques sont au voisinage de sources de chaleur (par exemple canalisation d'eau chaude, etc.), il est généralement nécessaire de réduire les courants admissibles en appliquant les calculs de la CEI 60287.

523.2.2 Groupements de circuits ou de câbles dans l'air

Il y a groupement de circuits si la pose est jointive, c'est-à-dire si la distance libre séparant deux câbles est inférieure ou égale à deux fois le diamètre extérieur du plus gros câble.

Pour des groupements de circuits ou de câbles dans l'air, les facteurs de correction k3, k4, k5, k6, k7, k8, k9 et k10 sont applicables aux Tableaux 52G à 52J.

Lorsqu'un circuit est constitué par plusieurs câbles unipolaires par phase, le facteur de correction est déterminé en considérant qu'il y a autant de circuits que de câbles par phase.

Les mêmes facteurs k3, k5, k6, k9 et k10 sont applicables aux ternes unipolaires, aux torsades unipolaires et aux câbles tripolaires.

523.3 Facteurs de correction applicables aux câbles enterrés

Sont concernés :

- les câbles directement enterrés avec ou sans protection ;
- les câbles sous fourreau enterré ou noyé dans le béton ;
- les câbles posés en caniveau sablé.

Les coefficients k12 à k17 s'appliquent aux intensités des câbles HTA enterrés données dans les Tableaux 52G à 52J.

523.3.1 Température du sol

La valeur de la température ambiante à utiliser est la température du milieu environnant lorsque le câble ou le conducteur considéré n'est pas chargé.

Les valeurs de courants admissibles dans le sol indiquées dans les Tableaux 52G à 52J sont valables pour une température du sol de 20 °C, quel que soit le mode de pose, comme indiqué dans les conditions de validité en bas de chaque tableau.

Pour d'autres températures du sol, les valeurs des tableaux doivent être multipliées par le facteur de correction k12.

Lorsque les canalisations électriques sont au voisinage de sources de chaleur (canalisations d'eau chaude par exemple), il est nécessaire de réduire les courants admissibles en appliquant les calculs de la CEI 60287.

523.3.2 Résistivité thermique du sol

Les courants admissibles indiqués dans les Tableaux 52G à 52J pour les câbles enterrés correspondent à une résistivité thermique du sol de 1 K.m/W.

Dans les emplacements où la résistivité thermique du sol est différente de 1 K.m/W, les courants admissibles sont à multiplier par le facteur de correction k13. Dans le cas de liaisons importantes, la nature du terrain peut varier. Pour le calcul retenir la résistivité thermique du sol la plus pénalisante.

Pour les câbles posés en caniveaux sablés complètement enterrés ou affleurant la surface du sol, il est conseillé de calculer le courant dans le câble, avec une valeur de résistivité thermique du sable de remplissage, soit 2,5°K.m/W, pour tenir compte des inévitables risques de dessèchement (CEI 60287).

523.3.3 Profondeur de pose

Les valeurs de courants admissibles pour les câbles enterrés indiquées dans les Tableaux 52G à 52J sont valables pour une profondeur de pose de 800 mm.

Pour d'autres valeurs de profondeur de pose, les valeurs des tableaux doivent être multipliées par le facteur de correction k14.

523.3.4 Groupement de câbles enterrés

Pour les groupements de circuits enterrés, les facteurs de correction k15, k16 et k17 sont applicables aux Tableaux 52G à 52J.

Tableau 52K1 – Influence de la température ambiante – k1

Isolant	Température de l'air ambiant (°C)									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
PVC	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
PR / EPR	1,15	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76

Le facteur de correction pour d'autres températures peut être calculé avec la formule :

$$k = \sqrt{\frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 - 30}}$$

avec :
 θ_1 = température ambiante de l'air
 θ_2 = température maximale à l'âme
70 °C pour isolant PVC
90 °C pour isolant PR/EPR

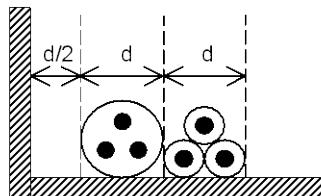
Tableau 52K2 – Exposition aux rayons directs du soleil – k2

Câble à l'abri du soleil	k2 = 1
Câble exposé aux rayons solaires	k2 = 0,85

NOTE Ce coefficient de 0,85 est donné à titre indicatif. La CEI 60287 donne les formules de calcul complet.

Tableau 52K3 – Câbles posés en simple couche sur les murs, planchers ou tablettes non perforées – k3

1 - Câbles jointifs



Nombre de câbles ou groupements								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70

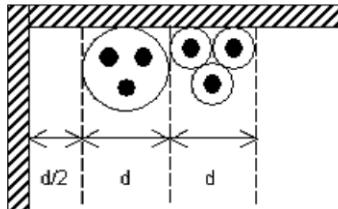
2 - Câbles non jointifs

Si $e \geq 2d$ **k3 = 1**

avec : e = écartement entre les câbles bord à bord
 d = diamètre du plus gros câble

Tableau 52K4 – Câbles posés en simple couche au plafond – k4

1 - Câbles jointifs



Nombre de câbles ou feeders								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,95	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64

2 - Câbles non jointifs

Si $e \geq 2d$ **k4 = 1**

avec : e = écartement entre les câbles bord à bord
 d = diamètre du plus gros câble

Tableau 52K5 – Câbles posés en simple couche sur les tablettes perforées – k5

1 - Câbles jointifs

Nombre de câbles ou groupements								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72



2 - Câbles non jointifs ($h \geq 30 \text{ cm}$)

Si $e \geq 2d$ **k5 = 1**

avec : e = écartement entre les câbles bord à bord
 d = diamètre du plus gros câble
 h = écartement vertical entre 2 câbles

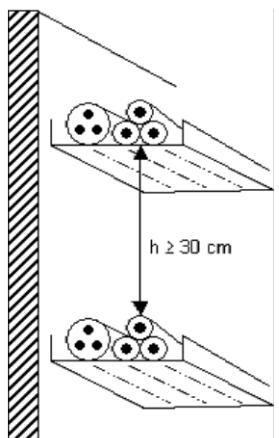
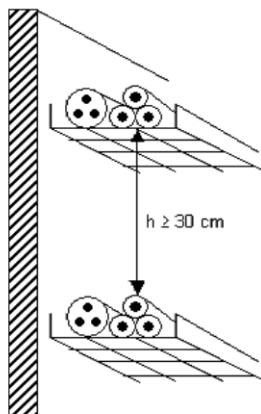


Tableau 52K6 – Câbles posés en simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés– k6



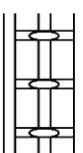
1 - Câbles jointifs

Nombre de câbles ou groupements								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78

2 - Câbles non jointifs ($h \geq 30 \text{ cm}$)

Si $e \geq 2 d$ $k6 = 1$

avec :



e = écartement entre les câbles bord à bord

d = diamètre du plus gros câble

h = écartement vertical entre 2 câbles

Tableau 52K7 – Pose en plusieurs couches – k7



Nombre de couches			
1	2	3	4
1	0,80	0,73	0,70

Le facteur k7 est à multiplier par k3, k4 ou k5 ou k6.

Exemple : soit 3 couches de 5 câbles jointifs sur un chemin de câbles perforé.

Trois couches = 0,73 (Tableau 52K7).

Cinq câbles jointifs sur tablettes perforées = 0,75 (Tableau 52K5).

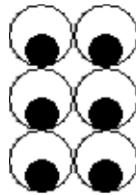
Facteur résultant = $0,73 \times 0,75 = 0,55$

Ne pas dépasser 36 câbles en tout.

Se limiter à :

- 9 pour le nombre de câbles par couche
- 4 pour le nombre de couches

Tableau 52K8 – Câbles posés en conduits jointifs à l'air libre (un câble, un terre ou une torsade par conduit) – k8



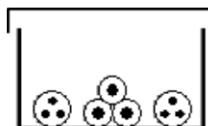
Nombre de couches	Nombre de conduits par couche					
	1	2	3	4	5	6
1	0,96	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68

Tableau 52K9 – Câbles enfermés – k9
(Goulettes apparentes ou encastrées dans des planchers)

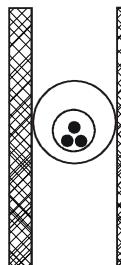
Nombre de câbles ou groupements											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40	0,40



Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi alvéole ou monolithes de béton.



Câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulettes fermées



Câble dans un conduit en montages apparents

Tableau 52K10 – Câbles posés en caniveaux fermés et non remplis affleurant le sol – k10

Dans un caniveau dont la section droite a une partie de périmètre p_1 sont disposés des circuits (câbles tripolaires ; ou trois câbles unipolaires disposés en nappe jointive ou en trèfle).

Le coefficient d'occupation du caniveau est calculé suivant la somme des diamètres des câbles par la formule :

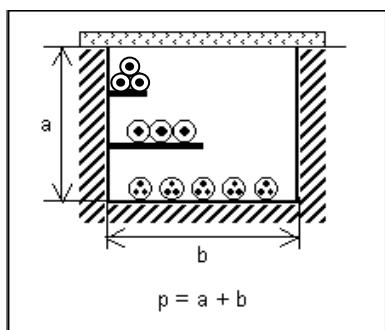
$$\text{Coefficient d'occupation} = p_1 / \Sigma d$$

$P_1(\text{cm}) = 2a + b$ partie du périmètre du caniveau qui participe à la dissipation de la chaleur (cm) dans le milieu environnant à l'exception de la partie à l'air (couvercle).

Σd (cm) somme des encombrements des différents circuits se trouvant dans le caniveau.
 d (cm) diamètre extérieur des câbles en cm

L'encombrement d'un circuit est :

- le diamètre extérieur pour un câble tripolaire ;
- une fois le diamètre d'un câble pour un terne de câbles unipolaires disposés en trèfle ou en nappe jointive.



Encombrement "e" selon les modes de pose

Mode de pose	En trèfle	En nappe	Câble tripolaire
Encombrement "e"	2d	2d	D

Il est recommandé de répartir les câbles sur toute la section utile du caniveau.

Coefficient d'occupation	5	7	10	15	20	30	50
Coefficient de correction, K10 par rapport à la pose à l'air libre	0,60	0,66	0,72	0,80	0,85	0,90	0,92

Une méthode décrite dans la publication CEI 60287, consiste à calculer l'échauffement de l'air du caniveau au-dessus de la température ambiante.

Cet échauffement est donné par la formule empirique :

$$\Delta\Theta = \frac{W_{tot}}{3p}$$

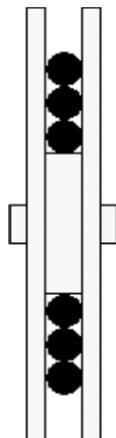
avec :

W_{tot} (W/m) puissance totale dissipée dans le caniveau par mètre de longueur
 p (m) = $2a + b$ partie du périmètre du caniveau qui participe à la dissipation de la chaleur

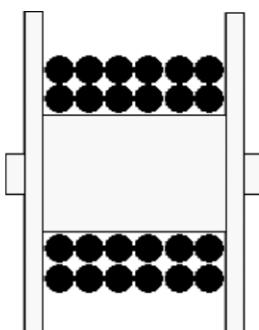
(Exception faite de la partie supérieure du caniveau exposée au rayonnement solaire direct et éventuellement des parois proches des sources de chaleur). Il faut alors appliquer le coefficient de correction K1 pour la nouvelle température ambiante obtenue.

Pour un caniveau sablé, voir 523.3.2.

Tableau 52K11 – Cas particulier des câbles souples pour l'alimentation d'engins mobiles– k11



Tambour monospires									
Nombre de spires	2	3	4	5	6	8	10	12	14
Coefficient	0,88	0,80	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,69	0,65



Tambour multispires				
Nombre de couches complètes	1	2	3	> 3
Coefficient	0,80	0,60	0,50	0,35

Tableau 52K12 – Influence de la température du sol – k12

Isolant	Température du sol (°C)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
PVC	1,18	1,14	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71
PR / EPR	1,13	1,10	1,07	1,04	1	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80

Le facteur de correction pour d'autres températures peut être calculé avec la formule :

$$k = \sqrt{\frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 - 20}} \quad \text{avec :}$$

$\theta_1 =$	température du sol
$\theta_2 =$	température maximale à l'âme
	70 °C pour isolant PVC
	90 °C pour isolant PR/EPR

Tableau 52K13 – Influence de la résistivité thermique du sol – k13

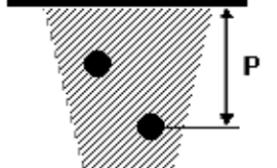
Résistivité du sol (K.m/W)	Humidité	Nature du terrain			Facteur de correction	
					Ensemble de trois câbles unipolaires	Câbles tripolaires
0,50	Terrain très humide	Sable	Argile et calcaire		1,25	1,20
0,70	Terrain humide				1,14	1,10
0,85	Terrain dit normal				1,06	1,05
1,00	Terrain sec				1,00	1,00
1,20	Terrain très sec		Cendres et mâchefer		0,93	0,95
1,50					0,85	0,88
2,00					0,75	0,79
2,50					0,68	0,72
3,00					0,62	0,68

Dans le cas de caniveaux sablés, voir 523.3.2.

Le coefficient est choisi en fonction des conditions les plus défavorables sur la longueur totale de la liaison.

Sans prescription particulière, la résistivité thermique du béton est prise à 1 K.m/W.

Tableau 52K14 – Influence de la profondeur de pose – k14



Profondeur (m)	Coefficient
0,50	1,04
0,60	1,02
0,80	1,00
1,00	0,97
1,25	0,95
1,50	0,93
1,75	0,91
2,00	0,90

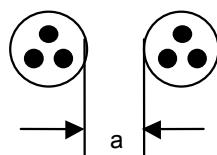
Ce facteur est éventuellement à multiplier par k12, k13.

Tableau 52K15 – Influence du nombre de circuits enterrés – k15

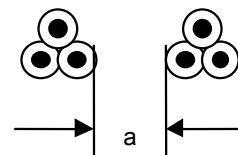
Nombre de câbles ou de circuits	Distance entre câbles multiconducteurs ou groupements de trois câbles unipolaires (a)			
	Nulle (câbles jointifs)	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,76	0,84	0,88	0,92
3	0,64	0,74	0,79	0,85
4	0,57	0,69	0,75	0,82
5	0,52	0,65	0,71	0,80
6	0,48	0,60	0,69	0,78
7	0,44	0,58	0,68	0,76
8	0,41	0,57	0,67	
9	0,39	0,55	0,66	
10	0,37	0,54		
11	0,36	0,53		
12	0,35	0,52		

NOTE Dans le cas de plusieurs couches, se référer à la CEI 60287.

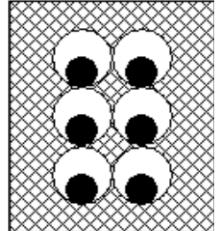
Câbles multiconducteurs



Câbles monoconducteurs



**Tableau 52K16 – Câbles posés en conduits jointifs enterrés ou noyés dans le béton,
un câble par conduit – k16**



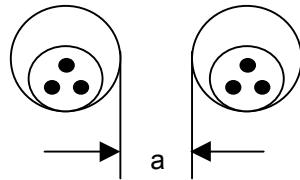
Nombre de nappes jointives et superposées	Nombre de tubes jointifs par nappe					
	1	2	3	4	5	6
1	0,80	0,70	0,62	0,58	0,54	0,52
2	0,70	0,57	0,50	0,46	0,42	0,40
3	0,62	0,50	0,42	0,38	0,36	0,34
4	0,58	0,46	0,38	0,35	0,32	0,30
5	0,54	0,42	0,36	0,32	0,30	0,28
6	0,52	0,40	0,34	0,30	0,28	0,26

Résistivité thermique du béton : 1 K.m/W

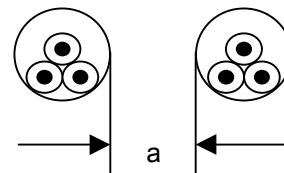
**Tableau 52K17 – Câbles posés en conduits non jointifs enterrés,
un câble par conduit – k17**

Nombre de câble	a = 0,25 m	a = 0,5 m	a = 1,0 m
2	0,74	0,76	0,78
3	0,70	0,73	0,76
4	0,67	0,71	0,75
5	0,65	0,70	0,74
6	0,63	0,69	0,73

Câbles multiconducteurs



Câbles monoconducteurs



524 Câbles en parallèle

Pour une intensité donnée à transporter, la réalisation de la liaison avec plusieurs câbles en parallèles peut, en exploitation, présenter plusieurs avantages par rapport à l'utilisation d'un seul câble de très forte section :

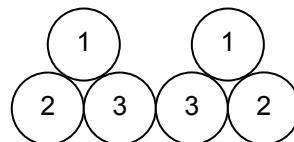
- meilleure utilisation de la section d'âme (diminution de la section totale nécessaire pour une capacité de transport donnée) ;
- diminution de l'inductance de la liaison.

Lorsqu'une liaison triphasée est réalisée avec plusieurs câbles unipolaires par phase, il se produit des phénomènes de tensions induites dues au champ magnétique rayonné par chacun des câbles. On observe alors une disparité entre les impédances et les intensités de chaque câble, nuisible au bon fonctionnement de la liaison. Le respect d'un certain nombre de conditions permet de réduire ce phénomène de façon importante.

L'utilisation de ternes de câbles unipolaires (Trois câbles unipolaires disposés en trèfle), doit être limitée à quatre.

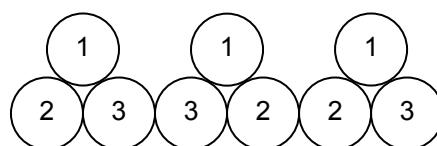
Exemples de pose en trèfle

Deux câbles par phase



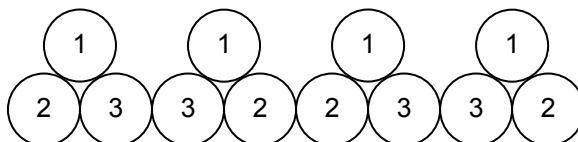
$$f_s = 1$$

Trois câbles par phase



$$f_s = 0,8$$

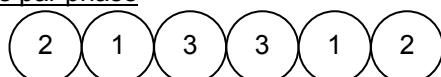
Quatre câbles par phase



$$f_s = 1$$

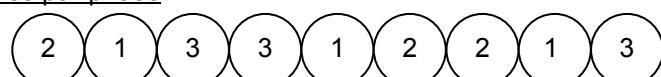
Exemples de pose en nappe

Deux câbles par phase



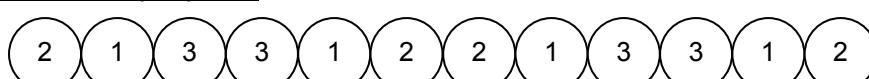
$$f_s = 1$$

Trois câbles par phase



$$f_s = 0,8$$

Quatre câbles par phase



$$f_s = 1$$

Le non-respect des conditions de symétrie indiquées dans les cas de 2 ,3 et 4 câbles par phase impose l'utilisation d'un coefficient $f_s = 0.8$.

Au-delà de quatre câbles par phase et sans dépasser 8, des câbles unipolaires assemblés en torsades, ou des câbles tripolaires doivent être utilisés.

L'application du facteur de symétrie f_s ne dispense pas de la prise en compte du facteur de groupement de câbles. Ainsi, lorsqu'un circuit est constitué de plusieurs câbles par phase, il y a lieu de prendre en compte autant de circuits que de câbles par phase.

Conditions à respecter quelle que soit la formation (ternes d'unipolaires, torsades d'unipolaires, ou câbles tripolaires sous gaine).

Les câbles doivent être :

- de même nature (cuivre ou aluminium) ;
- de même formation (trèfle ou nappe) ;
- de même caractéristiques électriques ;
- de même section ;
- de même longueur.

Les extrémités ainsi que leur montage doivent être identiques. Les câbles ne doivent comporter aucune dérivation sur leur parcours ni, dans la mesure du possible, aucune boîte de jonction.

525 Chute de tension

La chute de tension d'un câble s'exprime le plus souvent en pourcentage de la valeur de la tension d'entrée.

Elle est déterminée, en triphasé, à l'aide de la formule suivante :

- chute de tension phase/phase en volts $\Delta u = \sqrt{3}(R.\cos\varphi + L\varpi.\sin\varphi) I \ell$
- ou chute de tension phase/terre en volts $\Delta u_0 = (R.\cos\varphi + L\varpi.\sin\varphi) I \ell$

avec :

ℓ (km) longueur de la liaison

R (Ω/km) résistance apparente du conducteur à la température de fonctionnement θ

L (H/km) inductance apparente du conducteur

ϖ pulsation ($= 2\pi f$)

F (Hz) fréquence

I (A) intensité transporté par la liaison

φ déphasage introduit entre le courant et la tension par le récepteur

Chute de tension relative phase/phase (%) : $\delta = \frac{\Delta u}{U} \times 100$

ou chute de tension relative phase/terre (%) : $\delta_0 = \frac{\Delta u_0}{U_0} \times 100$

avec

U (V) tension phase/phase

U_0 (V) tension phase/terre

En l'absence de prescription particulière, on admet généralement une chute de tension de 5 %.

526 Connexions

526.1 Les moyens mis en œuvre pour effectuer les connexions ne doivent pas constituer des points faibles et doivent être étudiés pour limiter la production d'effluves.

526.2 Les connexions des conducteurs avec l'appareillage doivent être dimensionnées et établies de façon à ne pas générer des échauffements excessifs, ni d'effort mécanique inadmissible dû à leur propre poids ou par dilatation, contraction ou vibration.

526.3 Les connexions des conducteurs entre eux et avec l'appareillage doivent présenter une grande solidité mécanique et une résistance électrique aussi faible que possible.

526.4 Les jonctions, si elles existent, ainsi que les extrémités doivent être préparées et connectées avec le plus grand soin en suivant les indications de montage prescrites par le fabricant.

527 Courant de court-circuit

527.1 Courant de court-circuit dans les âmes des conducteurs

La méthode de calcul du régime de court-circuit de tout constituant de câble conducteur suppose généralement que la chaleur est retenue à l'intérieur de ce constituant pendant la durée du court-circuit, c'est l'échauffement adiabatique. La méthode adiabatique peut être utilisée pour des durées du court-circuit n'excédant pas 5 s.

Pendant le court-circuit, il se produit toutefois un transfert de chaleur dans les matériaux adjacents dont on peut tirer profit. C'est l'échauffement non-adiabatique. La méthode non-adiabatique est valable pour n'importe quelle durée de court-circuit.⁽⁷⁾

527.1.1 Courant de court circuit adiabatique

La formule de l'échauffement adiabatique, qui est applicable à toute température initiale, se présente sous la forme générale suivante :

$$I_{AD}^2 \cdot t = K^2 S^2 \ln\left(\frac{\theta_t + \beta}{\theta_i + \beta}\right) \quad \text{d'où : } S = \frac{I_{AD}}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}}$$

où :

I_{AD} (A)	valeur efficace du courant de court-circuit, en présence d'alternateur on retiendra la valeur calculé sur la base des impédances transitoires
t (s)	durée du court-circuit
K ($\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$)	constante dépendant du matériau du constituant conduisant le courant. (Voir Tableau 527A)
$S(\text{mm}^2)$	section géométrique du constituant conduisant le courant pour les âmes spécifiées dans la NF EN 60228, on peut prendre la section nominale
θ_f ($^{\circ}\text{C}$)	température finale
θ_i ($^{\circ}\text{C}$)	température initiale
β (K)	inverse du coefficient de variation de la résistance du constituant conduisant le courant pris à 0 °C (voir Tableau 527A)
ln	\log_e

Tableau 527A – Valeurs de K et β

Matériau des âmes	K ($\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$)	β (K)
Cuivre	226	234,5
Aluminium	148	228

Pour information, le tableau ci-dessous précise les densités des courants admissibles en fonction de la durée du court-circuit en régime adiabatique.

Tableau 527B – Densités des courants admissibles

Nature de l'isolant	Densités des courants admissibles en court-circuit en A/mm^2									
	Initiale θ_i	Finale ⁽¹⁾ θ_f	Cuivre				Aluminium			
			0,2 s	0,5 s	1 s	2 s	0,2 s	0,5 s	1 s	2 s
Polychlorure de vinyle (PVC)	70	160	257	162	115	81	170	108	76	54
PVC avec section > 300 mm^2	70	140	230	145	103	73	152	96	68	48
Polyéthylène réticulé (PR) et Caoutchouc éthylène propylène (EPR)	90	250	319	202	143	101	211	134	95	67

(1) CEI 60986 : Limites de température de court-circuit des câbles électriques de tensions assignées de 6 kV ($U_m = 7,2 \text{ kV}$) à 30 kV ($U_m = 36 \text{ kV}$)

527.1.2 Courant de court-circuit non adiabatique

Pour les calculs en régime non-adiabatique, il y a lieu de se référer à la norme CEI 60949.

527.2 Courant de court-circuit dans les écrans

Les valeurs maximales des courants de court-circuit que peuvent supporter les écrans des câbles sont indiquées par les constructeurs ou peuvent être calculées à partir de la norme CEI 60949.

528 Ecrans et armures des câbles

528.1 Généralités

Les câbles HTA et HTB doivent posséder un écran métallique sur l'isolant ou sur l'assemblage des conducteurs dans le cas des câbles à champ non radial. Cet écran remplit plusieurs fonctions :

- assurer la mise à la terre tout au long du circuit pour des raisons de sécurité ;
- écouler les courants capacitifs qui prennent naissance sous l'effet de la tension phase-terre ;
- écouler le courant de court-circuit en cas de défaut phase-terre.

Les écrans peuvent être en cuivre nu ou étamé, en aluminium, en plomb ou éventuellement mixte, c'est-à-dire constitué de métaux différents.

Les armures des câbles unipolaires sont composées de métaux amagnétiques. Ces prescriptions sont précisées par les normes des matériels ou par les prescriptions particulières.

La norme NF C 33-220 autorise l'utilisation de l'armure en tant qu'écran en plus de sa fonction mécanique.

528.2 Courants de court-circuit dans les écrans des câbles

L'écran métallique est relié à la terre. Lors d'un claquage d'isolant, le conducteur sous tension et l'écran se trouvent pratiquement réunis. L'écran doit alors être capable de supporter sur toute sa longueur le courant de défaut qui en résulte.

L'intensité de court-circuit est différente suivant le régime du neutre :

- le neutre est isolé ;
Il n'y a pas de défaut et l'installation peut continuer à fonctionner avec une phase à la terre sous réserve que les isolements soient prévus en conséquence (voir 520.4).
- le neutre est mis à la terre ;
Un court-circuit entre phase et écran provoque le passage d'un courant très intense, susceptible de provoquer des détériorations sur toute la longueur du câble si la section de l'écran n'est pas prévue en conséquence.
- le neutre est relié à la terre par une impédance, les écrans doivent être dimensionnés pour le courant de défaut limité.

528.3 Condition de mise à la terre des écrans et des armures des câbles

528.3.1 Câbles unipolaires

528.3.1.1 Mise à la terre à une extrémité

Si les écrans et armures ne sont mis à la terre qu'à une seule extrémité, il est nécessaire de vérifier que le potentiel par rapport à la terre, au niveau de l'extrémité libre, reste inférieur à 50 volts. Les courants intervenant dans le calcul des élévations de potentiel sont le courant maximal d'emploi de la liaison et le courant de défaut.

Dans le cas où les câbles sont disposés en trèfle, la tension par rapport à la terre des écrans et armures à l'extrémité libre d'un câble unipolaire en régime triphasé équilibré dont l'autre extrémité est mise à la terre a pour expression :

$$E_0 = 0,145 \left(\log_{10} \frac{2a}{d} \right) I l$$

E_0 (V)	tension induite
a (mm)	distance entre axes des câbles
d (mm)	diamètre moyen de l'écran ou de l'armure
I (A)	intensité transittée dans l'âme, courant d'emploi ou courant de défaut triphasé
l (km)	longueur de la liaison

Dans le cas où les câbles sont disposés en nappe, il y a lieu de consulter le constructeur.

Il est recommandé de disposer les câbles unipolaires d'une même liaison en trèfle et jointivement afin d'améliorer l'équilibrage de la liaison.

528.3.1.2 Mise à la terre aux deux extrémités

Lorsque les écrans et armures sont mis à la terre aux deux extrémités, il est nécessaire de vérifier qu'ils peuvent supporter les courants de circulation résultant de cette disposition.

Les courants à prendre en considération sont de deux types :

- les courants résultant du courant maximal que la liaison peut accepter en permanence ;
- les courants dus à la circulation du courant de défaut triphasé de la partie de l'installation situé en aval de la liaison. Dans ce cas, l'effet des courants n'est à considérer que pendant la durée du défaut.

La circulation de courant dans l'écran ou l'armure d'un câble provoque des échauffements supplémentaires qui contribuent à réduire son intensité admissible.

Les courants admissibles du Tableau 52J ont été calculés pour des câbles dont les écrans sont mis à la terre aux deux extrémités.

Le courant induit dans les armures et écrans a pour expression :

$$I = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

E₀ Expression donnée ci-dessus en 528.3.1.1

R Résistance de l'armure ou de l'écran

X Réactance de l'armure ou de l'écran

528.3.2 Câbles tripolaires à champ radial

Pour les câbles tripolaires à champ radial et avec écrans métalliques en contact, le champ électromagnétique est nul en régime équilibré. Il n'y a pas de courant de circulation dans les écrans en fonctionnement normal ; ceux-ci sont raccordés à la terre aussi souvent que possible, notamment aux deux extrémités.

528.3.3 Câbles tripolaires à ceinture

Pour les câbles tripolaires à ceinture, le champ électromagnétique est nul en régime équilibré. Il n'y a pas de courant de circulation dans les écrans en fonctionnement normal ; ceux-ci sont raccordés à la terre aussi souvent que possible, notamment aux deux extrémités.

528.3.4 Mise à la terre des armures

La mise à la terre des armures suit les mêmes règles que celle des écrans.

ANNEXE 52A

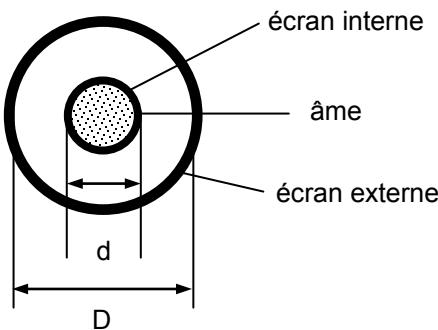
(informative)

Capacité des câbles

A52.1 Capacité des câbles à champ radial

La capacité des câbles à champ radial est donnée par la formule suivante :

$$C = \frac{\epsilon}{41,4 \log_{10} \frac{D}{d}} \text{ en } \mu\text{F/km}$$



ϵ est la constante diélectrique ou permittivité relative de l'isolant

D le diamètre sur semi-conducteur externe,

d le diamètre sur semi-conducteur interne.

Les valeurs de permittivité sont les suivantes :

PR $2,5 \pm 10\%$

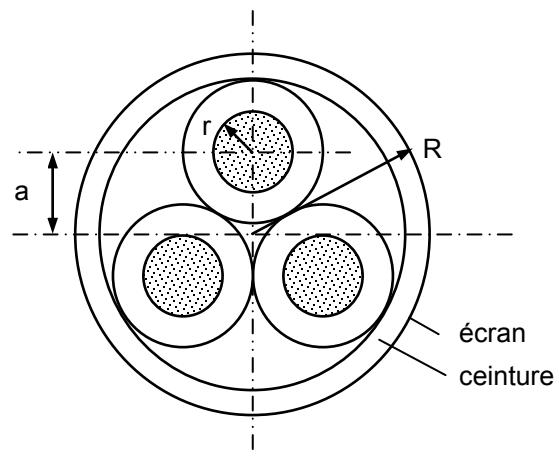
EPR $2,8 \pm 10\%$

PVC $6 \pm 10\%$

Dans le cas des câbles sectoriaux, le rapport $\frac{D}{d}$ peut être remplacé par le rapport des périmètres correspondants sans erreur appréciable.

A52.2 Capacité des câbles à champ non radial

Pour les câbles à plusieurs conducteurs et à champ non radial, dits « à ceinture », la détermination des capacités est relativement complexe. On pourra utiliser les formules approximatives ci-dessous :



Câble à trois conducteurs

$$C = \frac{\epsilon}{20,7 \log_{10} \left(\frac{3a^2}{r^2} \frac{(R^2 - a^2)^3}{R^6 - a^6} \right)} \mu\text{F/km}$$

C est la capacité équivalente du câble triphasé tenant compte des capacités entre phases et entre phases et écran.

Les grandeurs géométriques (a, r et R) sont exprimées avec la même unité, les valeurs de C en $\mu\text{F/km}$. Ces valeurs de capacité correspondent au fonctionnement normal du câble.

Tableau A52.A – Capacité des câbles à champ radial, câbles unipolaires et tripolaires

Valeurs approximatives des capacités phase-terre en $\mu\text{F}/\text{km}$

SECTION/TENSION	3,6/6	6/10	8,7/15	12/20	18/30
16		0,18	0,15*	0,13*	0,11*
25	0,26	0,21	0,16	0,13*	0,12*
35	0,28	0,23	0,17	0,15	0,13*
50	0,31	0,25	0,19	0,17	0,14
70	0,36	0,29	0,21	0,19	0,15
95	0,41	0,32	0,24	0,21	0,17
120	0,44	0,35	0,26	0,22	0,18
150	0,48	0,38	0,28	0,24	0,19
185	0,53	0,41	0,31	0,26	0,21
240	0,57	0,46	0,34	0,29	0,23
300	0,56	0,52	0,38	0,32	0,26
400	0,58	0,58	0,43	0,36	0,28
500	0,61	0,64	0,47	0,39	0,31
630	0,68	0,73	0,52	0,44	0,35
800	0,81	0,82	0,58	0,48	0,38
1 000	0,7	0,91	0,64	0,53	0,42
1 200		0,97	0,68	0,56	0,45
1 400		1,05	0,81	0,67	0,48
1 600		1,12	0,86	0,72	0,51

* Sections non prévues par la CEI 60502-2

Tableau A52.B – Capacité des câbles à champ non radial (dits "à ceinture") pour des tensions assignées 6/6 (7,2) KV

Valeurs approximatives des capacités phase-terre en $\mu\text{F}/\text{km}$

Sections (mm^2)	Isolant PVC	Isolant PR ou EPR
10	0,37	0,14
16	0,43	0,15
25	0,49	0,16
35	0,53	0,16
50	0,60	0,17
70	0,65	0,19
95	0,71	0,20
120	0,76	0,22
150	0,79	0,23
185	0,80	0,25
240	0,84	0,25

Partie 5-53 - Appareillage

530 Domaine d'application	196
531 Choix et mise en œuvre de l'appareillage.....	196
532 Manœuvre de l'appareillage	196
533 Sectionneurs et dispositifs de sectionnement.....	197
534 Interrupteurs, contacteurs et disjoncteurs	197
535 Fusibles	198
536 Combinés interrupteurs-fusibles	198
537 Appareillage sous enveloppe métallique préfabriquée	198
538 Alimentation auxiliaire	198

530 Domaine d'application

Les prescriptions de la présente partie complètent celles de la Partie 5-51 pour ce qui concerne l'appareillage.

531 Choix et mise en œuvre de l'appareillage

L'appareillage doit satisfaire à toutes les contraintes qui s'exercent à l'endroit où il est installé.

Il y a lieu de spécifier :

- sa tension assignée ;
- son niveau d'isolement ;
- son courant assigné en service continu ;
- sa tenue aux effets dynamiques et thermiques des court-circuits (courant de courte durée admissible assigné, valeur de crête du courant admissible assigné, durée de court-circuit assignée) ;
- ses pouvoirs de coupure et de fermeture.

L'appareillage doit être défini en tenant compte des influences externes. Il doit être mis en œuvre conformément aux instructions des constructeurs.

532 Manœuvre de l'appareillage

Tout appareil de coupure ou de sectionnement doit incorporer un mécanisme ou un dispositif de commande permettant d'effectuer sa manœuvre.

Les manœuvres doivent pouvoir au minimum être effectuées sur les appareils eux-mêmes par action manuelle sur des boutons pousoirs, leviers, manivelles, etc., équipant les mécanismes et dispositifs de commande. Les boutons pousoirs leviers et manivelles doivent être accessibles et facilement manœuvrables. Les leviers et manivelles peuvent être amovibles.

En complément lorsque les conditions d'exploitation l'exigent, des télécommandes doivent être mises en place dans le voisinage de l'appareillage ou depuis une salle de conduite de l'installation. Les positions des appareils doivent être signalées sur les lieux où s'effectuent les commandes.

Les mécanismes et dispositifs de commande doivent permettre la mise en place de verrouillages, condamnations et asservissements requis pour assurer la sécurité. Ils doivent également intégrer des indicateurs signalant sans aucune ambiguïté les positions ouvertes et fermées des appareils.

Les positions ouverte et fermée des appareils doivent être stables. Les manœuvres ne doivent pouvoir être initiées que par action volontaire sur les mécanismes.

Les commandes électriques ou par fluide sous pression doivent répondre dans toutes leurs parties aux normes en vigueur. Toutes les dispositions doivent être prises pour éviter qu'un défaut d'étanchéité ne provoque des manœuvres intempestives.

533 Sectionneurs et dispositifs de sectionnement

Les sectionneurs et les dispositifs de sectionnement doivent répondre aux normes en vigueur (8). Ils doivent être sélectionnés pour l'usage auxquels ils sont destinés.

Les sectionneurs sont destinés à fermer ou ouvrir hors charge des circuits sous tension. Certains sectionneurs sont conçus pour fermer en charge ou sur court-circuit ou encore couper de faibles courants tels que des courants capacitifs ou les courants magnétisants des transformateurs.

Lorsque les sectionneurs sont en position ouvert, la séparation des circuits doit être pleinement apparente.

La pleine apparence peut être réalisée soit par la vue directe des contacts séparés, soit par une liaison mécanique présentant une bonne fiabilité (définie par la norme NF EN 62271-102) entre la position des contacts et celle de l'organe extérieur de manœuvre reflétant la position des contacts .

534 Interrupteurs, contacteurs et disjoncteurs

Les interrupteurs, contacteurs et disjoncteurs doivent répondre aux normes en vigueur (9).

Les interrupteurs, les contacteurs et les disjoncteurs doivent avoir un pouvoir de fermeture et un pouvoir de coupure compatibles avec les niveaux de courant de court-circuit maximum pouvant se développer dans l'installation .

Le pouvoir de coupure des disjoncteurs doit être déterminé en tenant compte du taux de la composante continue du courant de court circuit.

Si les interrupteurs assurent la fonction de sectionnement, ils doivent, en complément, répondre aux normes relatives aux sectionneurs

Les contacteurs doivent, si nécessaire, être associés à des disjoncteurs ou des fusibles installés en amont pour garantir la coupure des courants de court-circuit.

Lorsque des disjoncteurs, contacteurs ou interrupteurs sont utilisés dans des installations dont le neutre n'est pas relié directement à la terre et dans lesquelles il est admis de ne pas couper au premier défaut, il convient de s'assurer que leurs caractéristiques permettent la coupure sur un seul pôle et sous la tension composée d'un courant correspondant à un défaut biphasé à la terre augmenté du courant capacitif de l'installation.

(8) NF EN 62271-102 - Appareillage à haute tension - Partie 102: Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif.
NF C 64-163 - Sectionneurs tripolaires d'intérieur : Cotes d'interchangeabilité et de fixation.

(9) NF EN 62271-100 - Appareillage à haute tension - Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension.
NF C 64-101 - Disjoncteurs tripolaires: Caractéristiques.
NF EN 60265-1 - Interrupteurs à haute tension - Partie 1: Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1kV et inférieures à 52 kV.
NF C 64-131 - Interrupteurs et interrupteurs-sectionneurs: Caractéristiques.
NF C 64-150 - Contacteurs haute tension pour courant alternatif.
NF EN 60470 - Contacteurs pour courants alternatifs haute tension et démarreurs de moteurs à contacteurs.

535 Fusibles

Les fusibles doivent répondre aux documents normatifs en vigueur (10).

Les fusibles doivent être installés conformément aux indications du constructeur .

Le pouvoir de coupure des fusibles doit être compatible avec le niveau de tension et le courant de court-circuit de l'installation.

536 Combinés interrupteurs-fusibles

Les combinés doivent répondre aux normes en vigueur (11).

Les combinés sont des appareils dans lesquels le fonctionnement du percuteur d'un des fusibles provoque automatiquement l'ouverture de tous les pôles de l'interrupteur.

537 Appareillage sous enveloppe métallique préfabriquée

L'appareillage sous enveloppe doit être conforme aux normes en vigueur (12), il doit être mis en œuvre conformément aux instructions du constructeur.

L'appareillage sous enveloppe ayant subi des essais de type, les distances prévues dans le tableau 32B ne lui sont pas applicables.

538 Alimentation auxiliaire

Une alimentation auxiliaire est nécessaire, dans certains cas, pour assurer le fonctionnement des dispositifs de protection et l'ouverture des disjoncteurs ou des combinés interrupteur-fusibles.

Elle peut être issue d'une alimentation sans interruption à courant continu ou à courant alternatif, ou dépendante du réseau.

Les bobines de déclenchement des dispositifs de coupure peuvent être à émission ou à manque de tension

538.1 Lorsqu'elle est sans interruption, l'alimentation auxiliaire doit comporter des batteries d'accumulateurs.

L'alimentation peut être utilisée à d'autres usages. L'attention est appelée sur la nécessité d'une bonne adaptation de l'alimentation aux charges qu'elle alimente..

La tension délivrée par la source d'alimentation doit être surveillée en permanence et une alarme doit être générée lorsqu'elle sort des tolérances requises par les dispositifs de protection et de déclenchement ; en complément tout défaut sur un circuit alimentant les dispositifs de protection et de déclenchement doit également générer une alarme. Les alarmes doivent être reportées dans un local ou emplacement habituellement surveillé.

Il est nécessaire de réaliser un entretien régulier des alimentations auxiliaires.

Afin d'éviter la perte totale de l'alimentation en présence de bobines de déclenchement à manque de tension ou la perte totale de protection en cas d'utilisation de bobine de déclenchement à émission de tension, Il est recommandé d'utiliser un schéma de distribution BT n'exigeant pas la coupure au premier défaut d'isolement.

(10) NF EN 60282-1 - Fusibles à haute tension - Partie 1: Fusibles limiteurs de courant,

(11) NF EN 62271-105 - Appareillage à haute tension - Partie 105 : Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif.

(12) NF EN 62271-200:2004 - Appareillage à haute tension - Partie 200 : Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV.

538.2 Lorsqu'elle n'est pas réalisée au moyen d'une alimentation sans interruption, l'alimentation auxiliaire peut être constituée :

- soit par trois transformateurs de tension raccordés en étoile, en amont des appareils de coupure HT, l'alimentation auxiliaire étant raccordée entre phase au secondaire de ces transformateurs (Voir Figure 53 A) ;
- soit par le secondaire d'un transformateur de puissance. La tension est prise entre phase et neutre ou entre phases (Voir Figure 53 B).

Les bobines d'ouverture et les logiques de commande associées doivent être à émission de tension.

Tout défaut sur un circuit alimentant les dispositifs de protection et de déclenchement doit générer une alarme. Les alarmes doivent être reportées dans un local ou emplacement habituellement surveillé

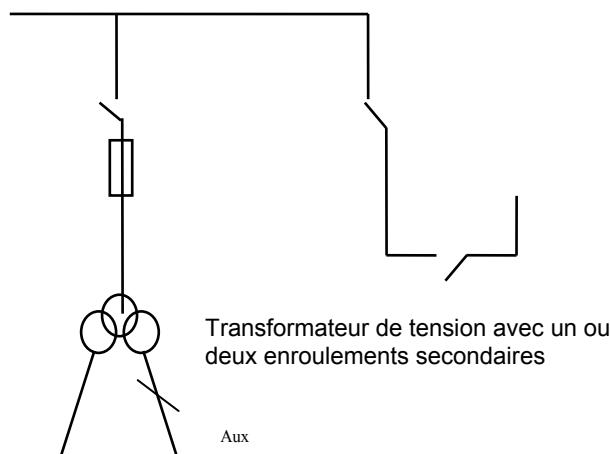


Figure 53A – Alimentation à partir de transformateurs de tension

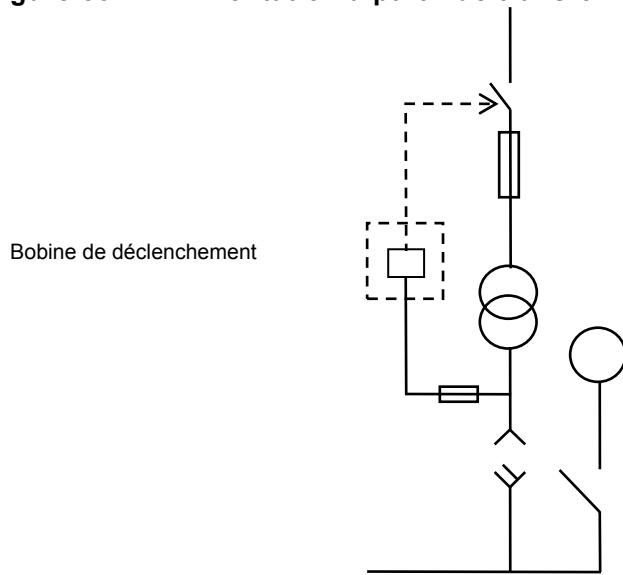


Figure 53B – Alimentation à partir du secondaire d'un transformateur HTA/BT

L'ensemble des dispositions décrites ci-dessus sont résumées dans le Tableau 53A.

Tableau 53A – Alimentations auxiliaires

DISPOSITIFS ALIMENTÉS	ALIMENTATION AUXILIAIRE		
	Entre phases d'un transformateur de tension	Secondaire Transformateur de puissance	Sans interruption
Relais avec alimentation auxiliaire (défaut phase-phase et phase-terre) et bobine d'ouverture.	non	non	oui
Relais avec alimentation auxiliaire (défaut phase-terre HT seulement) et bobine d'ouverture.	oui	non	oui
Réarmement d'un dispositif de coupure.	oui	oui	oui
Relais de protection de surcharge d'un transformateur de puissance (y compris le thermostat) et bobine d'ouverture.	oui	oui	oui
Relais de protection contre les défauts internes du transformateur de puissance (déttection de gaz, de surpression, de température, etc.) et bobine d'ouverture.	oui ou non (*)	oui ou non (*)	oui
(*) Oui si la protection HT est assurée par un combiné interrupteur-fusibles, non si la protection HT est assurée par un disjoncteur.			

538.3 Dispositifs de protection sans alimentation auxiliaire

Les dispositifs de protection sans alimentation auxiliaire prélèvent l'énergie nécessaire à leur fonctionnement sur les transformateurs de courant auxquels ils sont associés. Lorsque ces dispositifs sont utilisés, il doit être vérifié que le courant de défaut minimum de l'installation permet de garantir leur fonctionnement.

538.4 Alimentation des systèmes de contrôle-commande, conduite et surveillance

Les systèmes utilisés pour la surveillance de l'installation, les télécommandes de l'appareillage ainsi que les automatismes d'exploitation et de sauvegarde doivent être alimentés par des alimentations sans interruption. L'autonomie des alimentations doit être en adéquation avec les contraintes fixées par les niveaux de disponibilité et de sûreté spécifiés pour l'installation.

Partie 5-54 – Mises à la terre, conducteurs de protection

541 Prises de terre	202
542 Conducteurs de protection.....	202
543 Types de conducteurs de protection	203
544 Conservation de la continuité électrique des conducteurs de protection.....	204
Annexe 54A (normative) – Détermination du facteur k.....	205

541 Prises de terre

541.1 Réalisation des prises de terre

Les prises de terre sont établies conformément aux dispositions de l'article 412 du présent document et de la section 542 de la norme NF C 15-100.

541.2 Masses et éléments conducteurs à relier à une prise de terre

Conformément à 412.2, un système équipotentiel raccordé à la prise de terre de l'installation doit être réalisé entre toutes les masses et tous les éléments conducteurs.

Outre les masses et éléments conducteurs cités en 412.2, les panneaux pleins, perforés ou grillagés, constituant des obstacles doivent également être reliés à la prise de terre de l'installation, (voir 411.4).

Le boulonnage entre eux des différents écrans ou panneaux peut assurer une continuité électrique suffisante ; par contre, les écrans ou panneaux pivotants, non boulonnés, doivent être raccordés aux écrans ou panneaux fixes par une tresse métallique souple.

Doivent, par ailleurs, être reliés à cette même prise de terre :

- le point neutre des enroulements primaires des transformateurs de tension ;
- le point neutre des circuits secondaires des transformateurs de mesure ;
- les bornes de terre des parafoudres ;
- les couteaux des sectionneurs de mise à la terre ;
- les extrémités des diviseurs capacitifs.

Dans le cas des matériels préfabriqués sous enveloppes, le raccordement à la terre de ces équipements est généralement réalisé par l'intermédiaire des conducteurs de protections intégrés aux cellules.

Une attention particulière doit être apportée à l'impédance de la liaison à la terre des parafoudres qui doit être la plus faible possible pour ne pas altérer leur efficacité.

Pour les installations HTB, les mêmes matériels doivent être directement reliés à la prise de terre.

542 Conducteurs de protection

Les conducteurs de protection comprennent :

- les conducteurs de mise à la terre des masses ;
- les conducteurs d'équipotentialité ;
- les conducteurs de terre.

542.1 Sections des conducteurs de mise à la terre des masses et des conducteurs de terre

La section des conducteurs de mise à la terre des masses et celle des conducteurs de terre doivent être aptes à supporter les courants présumés de défaut. Cette section doit être au moins égale à la valeur déterminée par la formule :

$$S = \frac{I \sqrt{t}}{k}$$

avec un minimum de :

- 25 mm² en cuivre ;
- 35 mm² en aluminium ;
- 50 mm² en acier galvanisé ou en inox.

dans laquelle :

S (mm²) est la section du conducteur de protection, en mm² ;

I (A) est la valeur efficace du courant maximal de défaut, en ampères ;

t (s) est le temps de fonctionnement du dispositif de coupure, en secondes ;

k étant un facteur déterminé par la formule indiquée en annexe 54A.

Si l'application de la formule conduit à des valeurs non normalisées, il y a lieu d'utiliser les conducteurs ayant la section normalisée immédiatement supérieure.

Il peut être utilisé des conducteurs en cuivre de section réduite à :

- 2,5 mm² en cuivre pour le raccordement des extrémités des diviseurs capacitifs au conducteur de protection ;
- 4 mm² en cuivre pour le raccordement des masses des transformateurs de mesures au conducteur de protection.

542.2 Section des conducteurs d'équipotentialité

La section des conducteurs réalisant l'équipotentialité doit présenter les valeurs minimales suivantes :

- 25 mm² en cuivre ;
- 35 mm² en aluminium.

Les portes, fenêtres et huisseries métalliques des locaux comportant des matériaux électriques à haute tension doivent être reliés au système équipotentiel par un conducteur en cuivre de section minimale de 6 mm².

542.3 Les raccordements des conducteurs de terre aux prises de terre doivent être réalisés par soudure exothermique,

Les dispositifs de connexion ou de fixation par soudure non exothermique n'apportent pas une tenue mécanique appropriée.

543 Types de conducteurs de protection

Ne peuvent être utilisés comme conducteurs de protection que des conducteurs séparés isolés ou nus.

544 Conservation de la continuité électrique des conducteurs de protection

544.1 Les conducteurs de protection doivent être convenablement protégés contre les détériorations mécaniques et chimiques et les efforts électrodynamiques.

544.2 Les connexions doivent être accessibles pour vérification et essais, à l'exception :

- des connexions avec matière de remplissage ;
- des soudures enterrées.

544.3 Aucun appareillage ne doit être inséré dans un conducteur de protection .Seules sont autorisées les connexions démontables à l'aide d'un outil utilisées pour des mesures et essais.

544.4 Les masses des matériels à relier aux conducteurs de protection ne doivent pas être connectées en série dans un circuit de protection. La déconnexion de la masse d'un matériel ne doit pas entraîner la déconnexion d'un autre matériel.

La connexion de chacun des conducteurs doit être indépendante.

Les conducteurs de protection internes aux équipements peuvent être utilisés pour réaliser l'interconnexion des masses des matériels et récepteurs alimentés par ces équipements.

Annexe 54A (normative)

Détermination du facteur k

Le facteur k est déterminé par la formule :

$$k = \sqrt{\frac{Qc(\beta + 20)}{\rho_{20}} \ln\left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{\beta + \theta_i}\right)}$$

où

- Qc ($J/\text{°C.mm}^3$) est la capacité volumétrique de chaleur du matériau du conducteur à 20 °C
 β ($^{\circ}\text{C}$) est l'inverse du coefficient de température de la résistivité à 0 °C du conducteur
 ρ_{20} ($\Omega.\text{mm}$) est la résistivité du conducteur à 20 °C
 θ_i ($^{\circ}\text{C}$) est la température initiale du conducteur
 θ_f ($^{\circ}\text{C}$) est la température finale du conducteur

Les valeurs du facteur k sont en pratique les suivantes :

Tableau 54A.A – Valeurs de k pour les conducteurs de protection isolés non incorporés aux câbles, et non regroupés avec d'autres câbles

Isolation du conducteur de protection	Température °C		Matériau du conducteur		
			Cuivre	Aluminium	Acier
	Initiale	Finale	Valeurs de k		
70 °C PVC	30	160/140 ⁽¹⁾	143/133 ⁽¹⁾	95/88 ⁽¹⁾	52/49 ⁽¹⁾
90 °C PVC	30	160/140 ⁽¹⁾	143/133 ⁽¹⁾	95/88 ⁽¹⁾	52/49 ⁽¹⁾
90 °C EPR ou PR	30	250	176	116	64

(1) La valeur la plus faible est applicable aux conducteurs isolés de section supérieure à 300 mm²

Tableau 54A.B – Valeurs de k pour un conducteur de protection nu en contact avec une gaine de câble, mais non regroupé avec d'autres câbles

Gaine du câble	Température °C		Matériau du conducteur		
			Cuivre	Aluminium	Acier
	Initiale	Finale	Valeurs de k		
PVC	30	150	159	105	58
PR/EPR	30	200	138	91	50

Tableau 54A.C – Valeurs de k pour un conducteur de protection comme une gaine métallique d'un câble, par exemple armure, conducteur concentrique, etc.

Matériau d'isolation	Température °C		Matériau du conducteur		
			Cuivre	Aluminium	Acier
	Initiale	Finale	Valeur de k		
70 °C PVC	60	150	141	93	51
90 °C PVC	80	150	128	85	46
90 °C EPR ou PR	80	200	128	85	46

Tableau 54A.D – Valeurs de k pour conducteurs nus ne risquant pas d'endommager les matériaux voisins par les températures indiquées

Conditions	Température initiale	Matériau du conducteur					
		Cuivre		Aluminium		Acier	
	° C	Valeur de k	Temp max °C	Valeur de k	Temp max °C	Valeur de k	Temp max °C
Visibles et dans des zones restreintes	30	228	500	125	300	82	500
Conditions normales	30	159	200	105	200	58	200
Risque d'incendie et d'explosion	30	138	150	91	150	50	150

Partie 5-55 – Autres matériels

551 Transformateurs.....	208
552 Générateurs.....	210
553 Moteurs	212
554 Transformateurs de mesures	213
555 Condensateurs de puissance.....	216

551 Transformateurs

Les transformateurs doivent répondre aux normes en vigueur(13).

551.1 Dimensionnement des transformateurs

La puissance nominale d'un transformateur doit être déterminée en prenant en compte :

- les résultats du bilan de puissance concernant les charges que le transformateur doit alimenter en fonctionnement normal, en tenant compte de leur facteur de simultanéité ;
- les surcharges temporaires que le transformateur doit supporter sans déclencher ;
- les charges que le transformateur doit alimenter en secours pour pallier la défaillance d'un autre transformateur ou d'une autre source d'alimentation ;
- les déclassements qu'il y a lieu de lui appliquer en présence de charges non linéaires ou de conditions d'exploitation particulières ;
- les régimes transitoires pour lesquels l'impédance interne du transformateur joue un rôle non négligeable ;
- les déclassements éventuels dus aux conditions d'installation du transformateur.

Le rapport de transformation d'un transformateur doit être déterminé en prenant en compte :

- la tension nominale du réseau amont avec ses valeurs minimale et maximale ;
- la tension nominale des récepteurs que le transformateur doit alimenter avec ses limites minimale et maximale.

Lorsque, les variations de la tension amont sont telles que la tension aval ne peut plus être maintenue dans la plage acceptable par les récepteurs, un dispositif de réglage en charge ou hors charge (sous ou hors tension) doit être installé.

La détermination de l'étendue de la plage de réglage d'un régulateur en charge doit tenir compte :

- des variations de tension affectant le réseau amont ;
- de plage de tension à garantir sur le réseau aval ;
- de la chute de tension interne au transformateur ;
- de la réversibilité éventuelle du transformateur ;
- des puissances traversant le transformateur en mode export et en mode import dans le cas d'un transformateur réversible.

La tension de court circuit d'un transformateur doit être déterminée en prenant en compte :

- la valeur maximale admissible du courant de court circuit en aval du transformateur ;
- la valeur maximale des chutes de tension acceptables lors des régimes transitoires ;
- la puissance de court-circuit requise pour garantir les performances de récepteurs particuliers.

Le couplage d'un transformateur doit être défini en prenant en compte :

- la nécessité de disposer de un ou plusieurs points neutres accessibles ;
- la nécessité de coordonner les indices horaires de plusieurs sources ;
- la nécessité de réduire les niveaux des harmoniques générées par des charges non linéaires ;
- le rééquilibrage des charges monophasées.

(13) NF EN 60076-1, NF EN 60076-3, NF EN 60076-5, NF EN 60076-13, C 52-111, NF EN 50464 et NF EN 60289

Une attention particulière doit être apportée au dimensionnement d'un transformateur associé à un ou plusieurs alternateurs. Le bon fonctionnement du transformateur doit en effet être garanti sur toute la plage de variation de la tension des alternateurs. Il doit en particulier être vérifié que pour les régimes de fonctionnement les plus contraignants, le niveau d'induction du transformateur n'excède pas la valeur pour laquelle le circuit magnétique a été calculé.

Une concertation préalable doit être engagée avec le gestionnaire du réseau public pour la définition des transformateurs destinés à équiper les centrales de production débitant sur le réseau public.

Lorsque les conditions d'exploitation et d'entretien des transformateurs le nécessitent, leurs cuves doivent être conçues pour résister au vide.

La tenue au vide des cuves est nécessaire lorsqu'il est envisagé de procéder au traitement de l'huile sur le site.

Lorsqu'un point neutre n'est pas relié à la terre l'enroulement correspondant doit être spécifié à isolation uniforme.

Lorsque des transformateurs sont amenés à fonctionner en parallèle, les prescriptions de la norme NF EN 60076-1 doivent être appliquées.

551.2 Protection des transformateurs de puissance

Les protections contre les défauts internes entre phases et entre phase et terre doivent être insensibles au courant d'enclenchement du transformateur.

La protection contre les défauts internes entre phases des transformateurs dont la puissance n'est pas supérieure à 2 500 kVA et dont la tension nominale primaire est inférieure ou égale à 36 kV peut être réalisée au moyen de combinés interrupteur-fusibles.

La protection contre les surcharges est assurée en fonction du type et de la puissance du transformateur, par l'un ou la combinaison des moyens ci dessous :

- mesure de la température du diélectrique ;
- mesure de la température des bobinages ;
- dispositifs à image thermique.

Ces dispositifs comportent généralement un seuil alarme et un seuil déclenchement.

En complément, il y a lieu de noter que les éléments thermiques des disjoncteurs basse tension installés aux secondaires des transformateurs HTA/BT protègent ceux-ci contre les surcharges.

Le déclenchement des équipements auxiliaires tels que les ventilateurs, les aéroréfrigérants, les hydoréfrigérants et les pompes de circulation du diélectrique liquide doivent générer des alarmes et éventuellement entraîner la mise hors tension du transformateur.

551.2.1 Protection des transformateurs de puissance à diélectrique liquide

Les transformateurs de puissance à diélectrique liquide doivent être au minimum protégés contre :

- les défauts internes entre phases et entre phases et terre ;
- les surcharges ;
- les élévations de la température du diélectrique ;
- les émissions de gaz résultant de la décomposition des isolants ;
- les surpressions internes ;
- les baisses du niveau du diélectrique.

Ils peuvent, en complément, être protégés contre :

- *les élévations de la température des bobinages ;*
- *les élévations du niveau de l'induction ;*
- *les surtensions de manœuvre et les surtensions d'origine atmosphérique.*

Un ou deux seuils peuvent être associés à chacune de ces informations :

- *un seuil alarme ;*
- *un seuil déclenchement.*

Ces informations doivent au minimum pouvoir être facilement identifiables localement par les exploitants. Lorsque les conditions d'exploitation de l'installation le nécessitent, elles doivent être regroupées dans un local réservé aux exploitants.

Pour les transformateurs munis de changeurs de prises en charge en cuve séparée, une protection dédiée au commutateur doit être intégrée (généralement un dispositif de détection de gaz et de surpression interne).

Les mesures de protections de ce paragraphe ne s'appliquent pas aux transformateurs autoprotégés relevant de la norme NF EN 60076-13.

551.2.2 Protection des transformateurs de puissance secs

Les transformateurs secs doivent être au minimum protégés contre :

- les défauts internes entre phases et entre phases et terre ;
- les surcharges ;
- les élévations de la température interne avec un seuil alarme et un seuil déclenchement.

Ils peuvent, en complément, être protégés contre :

- les élévations du niveau de l'induction ;
- les surtensions de manœuvre et les surtensions d'origine atmosphérique.

552 Générateurs

552.1 Sélection et installation des générateurs

Les générateurs doivent être conformes aux normes en vigueur.

L'installation des générateurs et de leur machines d'entraînement doit satisfaire, aux réglementations applicables aux locaux où ils sont installés ainsi qu'aux réglementations applicables aux installations qu'ils alimentent.

Le degré de protection des alternateurs doit être adapté à l'environnement dans lequel ils sont installés.

Les locaux où sont installés les moteurs thermiques, quelle que soit la puissance de ces derniers, doivent être largement ventilés sur l'extérieur.

Toutes dispositions doivent être prises pour que les gaz de combustion soient évacués directement sur l'extérieur et ne puissent en aucun cas se répandre dans les autres locaux.

Les conduits d'évacuation des gaz de combustion doivent être réalisés en matériaux incombustibles, être étanches et présenter un degré coupe-feu égal au degré de stabilité au feu du bâtiment.

Les règlements de sécurité relatifs respectivement aux établissements recevant du public et aux immeubles de grande hauteur indiquent les conditions de mise en œuvre des générateurs dans les bâtiments. Les règles d'alimentation en combustible de leurs machines d'entraînement ainsi que les conditions de stockage des combustibles liquides y sont également spécifiées.

Le dimensionnement d'un générateur doit prendre en compte les puissances nécessaires aux démarriages des moteurs qu'ils alimentent, aux mises sous tension des transformateurs de puissance et plus généralement garantir les performances qu'il y a lieu de maintenir durant tous les régimes transitoires auxquels l'installation peut être soumise.

Les générateurs doivent pouvoir fournir un courant de court circuit permettant de garantir le fonctionnement et toutes les performances de l'ensemble des dispositifs de protection contre les courants de défaut.

Le maintien d'un courant de court circuit minimum apte à garantir les performances d'un système de protection peut conduire à la mise en place de dispositions adéquates sur les systèmes d'excitation des alternateurs

Le fonctionnement des dispositifs de protection contre les défauts à la terre doit être garanti pour tous les modes d'exploitation de l'installation. A cet effet, le schéma des liaisons à la terre doit être adapté lorsque les générateurs alimentent seuls l'installation.

Lorsque les générateurs sont destinés à fonctionner en parallèle temporairement ou en permanence avec le réseau public de distribution, des dispositifs de découplage doivent être mis en place conformément aux dispositions du guide UTE C 15-400. Les prescriptions de l'arrêté [16] doivent également être prises en compte.

Pour les installations de production raccordées sur le réseau HTB, il y a lieu de tenir compte des prescriptions de 131 et de 133.5. Les prescriptions de l'arrêté [15] doivent également être prises en compte.

Des asservissements électriques ou mécaniques doivent être installés si les générateurs ne sont pas prévus pour fonctionner en parallèle avec le réseau d'alimentation.

La détermination du pouvoir de coupure des disjoncteurs situés à proximité des générateurs ainsi que celle de leur niveau de tenue électrodynamique doit tenir compte de la contribution des générateurs et plus particulièrement de leur impact sur le régime transitoire du courant de court-circuit, notamment sur le niveau de la composante continu. L'effet des réactances subtransitoires et transitoires et de leurs constantes de temps doit être pris en compte conformément aux prescriptions de la norme NF EN 60909. Cette contrainte s'applique également à l'appareillage et aux équipements situés plus en aval dans l'installation. Les calculs des courants de court-circuit doivent préciser quels matériels sont concernés par cette disposition.

552.2 Protection des générateurs synchrones

Les générateurs synchrones doivent être au minimum protégés contre :

- les défauts internes entre phases et entre phases et masse ;
- les surcharges et les élévations de la température interne avec un seuil alarme et un seuil déclenchement.

Les générateurs synchrones peuvent en complément être protégés contre :

- *Les défauts d'isolement du rotor ;*
- *Les pertes d'excitation ;*
- *Les retours de puissance active ;*
- *Les déséquilibres du courant ;*
- *Les baisses et les élévations de tension ;*
- *Les baisses et les élévations de fréquence ;*
- *Les élévations de la température des paliers avec un seuil alarme et un seuil déclenchement.*

Le déclenchement des équipements auxiliaires contribuant au refroidissement et à la lubrification d'un générateur doit générer des alarmes et éventuellement entraîner la mise hors tension du générateur.

Ces protections doivent être coordonnées avec les protections de découplage du réseau public de transport ou de distribution. Pour les fonctions concernées, les protections des générateurs ne doivent pas intervenir avant les protections de découplage.

553 Moteurs

553.1 Sélection et installation des moteurs

Les moteurs doivent répondre aux normes en vigueur(14).

Les moteurs doivent être définis en prenant en compte les contraintes des machines qu'ils entraînent. Leur degré de protection doit être adapté à l'environnement dans lequel ils sont installés.

Dans les installations à faible niveau de puissance de court-circuit, le démarrage des moteurs doit faire l'objet d'une attention particulière, des études doivent préciser les conditions de démarrage des moteurs et déterminer l'influence de ces démarriages sur le fonctionnement de l'installation.

Les études doivent définir le type de démarreur à installer lorsque les moteurs ne sont pas aptes à démarrer conformément aux performances attendues ou que les démarriages génèrent des niveaux de perturbations inacceptables.

553.2 Protection des moteurs

Les moteurs doivent être protégés contre :

- les défauts internes entre phases et entre phase et masse ;
- les surcharges et les élévations de la température interne avec un seuil alarme et un seuil déclenchement ;
- le blocage du rotor ;
- les déséquilibres de courant ;
- les baisses de la tension d'alimentation ;
- les démarriages trop longs ;
- un nombre excessif de démarriages à froid, à chaud et sur une période donnée ;
- les surtensions atmosphériques ou de manœuvre si nécessaire ;
- les remises sous tension en présence de tension rémanente si nécessaire ;
- une protection de découplage appropriée dans le cas des machines à fortes inerties ou pouvant être entraînées par la machine accouplée avec un risque d'auto-excitation.

La protection contre les courts circuits internes peut être assurée par des dispositifs à maximum de courant, ou différentiels associés à des disjoncteurs. Elle peut aussi être réalisée par des fusibles associés à des contacteurs. Ces dispositifs doivent être insensibles au courant de démarrage des moteurs.

La protection contre les surcharges est assurée par l'un ou la combinaison des dispositifs suivants :

- *dispositif à image thermique ;*
- *mesure de la température des bobinages.*

En complément, une mesure de la température des paliers peut être mise en œuvre.

(14) NF EN 60034-1 - Machines électriques tournantes - Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement

Le déclenchement des équipements auxiliaires contribuant au refroidissement et à la lubrification du moteur doit générer des alarmes et éventuellement entraîner la mise hors tension du moteur.

Les moteurs ne sont normalement pas isolés pour fonctionner dans un réseau à neutre isolé en présence d'un défaut à la terre.

Lorsque des moteurs sont installés dans une installation à neutre isolé dans laquelle l'alimentation est maintenue en présence d'un premier défaut à la terre, leur isolement doit être prévu en conséquence.

554 Transformateurs de mesures

554.1 Dispositions communes

Les transformateurs de mesure de tension ou de courant doivent être conformes aux normes en vigueur (15).

Leur puissance de précision doit être choisie pour la charge la plus élevée à prévoir.

Les transformateurs de mesure doivent être facilement accessibles en vue de leur vérification ou de leur remplacement éventuel, la plaque signalétique d'au moins l'un d'eux doit être visible de l'avant de la cellule, après ouverture de celle-ci.

554.2 Transformateurs de tension

554.2.1 Transformateurs de tension destinés à l'alimentation des dispositifs de mesures

Les classes de précision des transformateurs de tension destinés à l'alimentation des dispositifs de mesures doivent être sélectionnées parmi les valeurs suivantes :

- la classe 0,2 pour les transformateurs destinés aux mesures précises de tension de puissance et d'énergie ;
- la classe 0,5 ou 1 pour les transformateurs destinés aux mesures courantes de tension, de puissance et d'énergie ;
- les classes 3 et 5 pour les mesures de tension, de puissance et d'énergie sans imposition de précision.

554.2.2 Transformateurs de tension destinés à l'alimentation des dispositifs de protection

Les transformateurs de tension destinés à l'alimentation des dispositifs de protection doivent être de classe 3P ou 6P. Pour ces transformateurs, il est nécessaire de définir le facteur de surtension en présence d'un défaut à la terre.

554.2.3 Mise en œuvre des transformateurs de tension

Le secondaire des transformateurs de tension doit être protégé contre les défauts aval.

Jusqu'à 33 kV, le primaire des transformateurs de tension peut être protégé par des fusibles à haut pouvoir de coupure.

Lorsque les transformateurs de tension alimentent la bobine d'ouverture du disjoncteur, le circuit de cette bobine ne doit comprendre que des barrettes de sectionnement branchées immédiatement en amont des fusibles à basse tension du comptage, à l'exclusion de tout dispositif de protection.

(15) NF C 42-501 : Transformateurs de tension monophasés: Caractéristiques et NF C 42-502, NF EN 60044-5, NF EN 60044-2, NF EN 60044-1

Pour que le fonctionnement du comptage ne soit pas affecté, il est nécessaire que la somme des puissances permanentes des différents composants alimentés par le ou les transformateurs de tension ne dépasse pas 75 % de la puissance de précision assignée.

L'accès aux transformateurs de tension ne doit être possible qu'après sectionnement et consignation de leur circuit secondaire.

Dans les installations dont le neutre n'est pas relié à la terre, des dispositions doivent être prévues pour éviter les dangers dus aux surtensions générées par ferro-résonance. Ces dispositions peuvent être, par exemple, l'utilisation de transformateurs de tension spéciaux ou la mise en place de dispositifs d'amortissement.

554.3 Transformateurs de courant

554.3.1 Transformateurs de courant destinés à l'alimentation des dispositifs de mesures

Les classes de précision des transformateurs de courant destinés à l'alimentation des dispositifs de mesures doivent être sélectionnées parmi les valeurs suivantes :

- la classe 0,2 pour les transformateurs destinés aux mesures précises de courant de puissance et d'énergie ; elle est généralement requise pour le comptage contractuel des énergies ;
- la classe 0,5 ou 1 pour les transformateurs destinés aux mesures courantes de courant, de puissance et d'énergie ;
- les classes 3 et 5 pour les mesures de courant, de puissance et d'énergie sans imposition de précision.

Les transformateurs de courant destinés aux mesures doivent être choisis de telle sorte que les appareils qu'ils alimentent ne soient pas endommagés lorsque le courant primaire atteint la valeur du courant de court circuit présumé.

554.3.2 Transformateurs de courant destinés à l'alimentation des dispositifs de protection

Les transformateurs de courant destinés à l'alimentation des dispositifs de protection doivent être de classe 5PXX ou 10PXX. Pour ces transformateurs, il y a lieu de vérifier que durant la phase transitoire du courant de court circuit leur réponse permet de garantir le fonctionnement des dispositifs de protection qu'ils alimentent. Les effets de la composante continue de courant de court-circuit doit à cette fin être prise en compte.

554.3.3 Mise en œuvre des transformateurs de courant

La valeur de la limite thermique du courant de courte durée d'un transformateur de courant doit être choisie en fonction de la valeur maximale du courant de court-circuit présumé à l'endroit où le transformateur est installé, et de l'éventuel pouvoir limiteur du dispositif de protection placé en amont.

Les circuits secondaires des transformateurs de courant doivent être équipés de dispositifs permettant de les court-circuiter à leur origine et en tout point où ils peuvent être ouverts pour des interventions de maintenance.

554.3.4 Autres dispositifs pour les mesures des courants et des tensions

Les mesures des tensions peuvent être réalisées au moyen de diviseurs capacitatifs conformes à la NF EN 60044-5.

Les mesures des courants et tensions peuvent être effectuées au moyen de transformateurs de mesure basse énergie conformes à la NF EN 60044-8.

La compatibilité de ces dispositifs avec les appareils de mesure et de protection qu'ils alimentent doit être vérifiée.

554.4 Circuits en aval des transformateurs de mesure

Les liaisons entre, d'une part :

- les transformateurs de mesure, ou les borniers-frontière éventuels des équipements , dans le cas des matériels sous enveloppe métallique ;

et, d'autre part :

- les tableaux de comptage ;
- les dispositifs de protection avec ou sans alimentation auxiliaire si ceux-ci ne sont pas installés dans les équipements ;

doivent être constituées de conducteurs en cuivre de section minimale 4 mm², sous forme soit de conducteurs isolés, des séries H 07 V-U ou R, posés dans des conduits, IRL, ICA ou ICTA/CSA gris, soit de câbles de la série U-1000 R2V.

Un conducteur doit être dédié à chacune des phases ainsi qu'au neutre, les mises à la terre des points neutre doivent être réalisées au niveau des transformateurs de mesure. Si on utilise des conducteurs multibrins, les extrémités raccordées aux différents borniers doivent être équipées d'embouts sertis.

Les câblages doivent respecter les préconisations des constructeurs des équipements alimentés (compteurs, dispositifs de protection, etc.). Une attention particulière doit être apportée à la protection contre les perturbations électromagnétiques.

Les mises à la terre des écrans de câbles doivent être réalisées par des tresses en cuivre de section minimale 4 mm².

554.5 Tableau de comptage

Le tableau de comptage des énergies doit être placé dans le poste de livraison au plus près possible de transformateurs de mesure ou dans un local dédié.

La sécurité des agents du gestionnaire du réseau d'alimentation, chargés de relever les consommations et de procéder aux opérations d'entretien ou de vérification des compteurs, ne doit pas être compromise par des difficultés d'accès ni de mauvaises conditions de travail.

La paroi sur laquelle est fixé le tableau de comptage ne doit pas être exposée aux vibrations. En particulier, les appareils de comptage ne doivent pas être placés sur les enveloppes de l'appareillage sous enveloppe métallique.

Les indications des appareils de comptage doivent toujours être lisibles par l'utilisateur.

Le gestionnaire du réseau de distribution doit faire figurer de manière lisible et durable les indications des rapports de transformation des transformateurs de mesure et les coefficients multiplicateurs de chacun des compteurs. Ces informations doivent être tenues à jour.

Devant le tableau de comptage, un espace d'au moins 0,80 m doit être réservé par rapport au point le plus saillant des appareils ; s'il existe des pièces actives nues à basse tension, cet espace est porté à 1,20 m.

Des butées limitant l'ouverture des portes susceptibles de battre sur le tableau ou sur ses appareils de mesure doivent être prévues.

Les graduations et cadrans doivent se trouver à une distance du sol comprise entre 0,70 m et 1,80 m.

Un espace libre d'au moins 8 cm doit exister autour de chaque appareil supporté par le tableau.

554.6 Limitation de puissance

Lorsqu'une limitation de la puissance échangée avec le réseau public est demandée, celle-ci doit être réalisée au moyen d'un relais indirect à maximum de courant.

Ce relais provoque le délestage de tout ou partie des charges de manière à maintenir la puissance appelée en dessous de la puissance contractuelle souscrite.

555 Condensateurs de puissance

Les condensateurs de puissance doivent satisfaire aux règles en vigueur⁽¹⁶⁾.

Les condensateurs doivent être sélectionnés en tenant compte des surtensions pouvant se développer dans l'installation et du taux de distorsion harmonique. Leur association avec des selfs anti-harmonique doit être envisagée si nécessaire.

Des études appropriées doivent confirmer la nécessité des selfs anti-harmonique et leurs valeurs. Une attention particulière doit être apportée à l'impact de ces selfs sur les signaux tarifaires.

Les condensateurs sont conçus pour supporter un niveau de surtension égal à 10 % de leur tension assignée, ils peuvent en complément accepter une surcharge en courant de 30 %. Ces deux contraintes ne sont pas cumulables, l'énergie réactive qu'ils fournissent ne devant pas excéder 30 % de leur puissance réactive nominale.

(16) NF C 54-110 - Condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs. (HD 597 S1 - 1992)

Partie 5-56 – Equipements de comptage en HTB

561 Les transformateurs de mesure.....	218
562 Les compteurs.....	219

561 Les transformateurs de mesure

Les transformateurs de mesure ainsi que leurs liaisons de connexion aux compteurs font partie de l'installation. Ils sont fournis et installés par le propriétaire.

561.1 Transformateurs de courant

Un jeu de trois transformateurs de courant (un par phase) est installé en chaque point de comptage. Ils doivent être conformes à la NF EN 60044-1 de novembre 2000.

La définition et le choix de ces transformateurs doivent s'effectuer avec les règles suivantes :

- le calibre de l'enroulement primaire doit correspondre, au minimum à la puissance maximale à mesurer du point de comptage, et au maximum à deux fois cette puissance ;
- un enroulement secondaire de type mesure doit être exclusivement réservé à l'alimentation des compteurs installés par le gestionnaire du réseau :
 - calibre : 5 A ;
 - classe de précision :
 - 0,2 lorsque la puissance maximale à mesurer du point de comptage est supérieure ou égale à 100 MVA ;
 - 0,2 ou 0,5 lorsque la puissance maximale à mesurer du point de comptage est inférieure à 100 MVA ;
 - lorsque les échanges d'énergie au point de comptage correspondent à un courant inférieur à 5 % (valeur nulle exclue) du calibre de l'enroulement primaire, pendant plus de 10% de l'année, les classes de précision doivent être de 0,2 S si la puissance maximale à mesurer est supérieure ou égale à 100 MVA, elles doivent être de 0,2 S ou 0,5 S si la puissance maximale à mesurer est inférieure à 100 MVA ;
 - puissance de précision : elle est définie et choisie telle que la somme :
 - de la consommation des compteurs installés ;
 - de la consommation des circuits de raccordement entre les compteurs et les transformateurs de courant, soit comprise entre 25 % et 100 % de cette puissance de précision.

561.2 Transformateurs de tension

Un jeu de trois transformateurs de tension est installé en chaque point de comptage. Ils doivent être conformes à la NF EN 60044-2 de novembre 2000, et son complément 60044-1/A1 de novembre 2001, ou à la NF EN 60044-5 pour les transformateurs condensateurs de tension.

Le choix des transformateurs de tension doit s'effectuer conformément aux règles suivantes :

- en règle générale, l'enroulement secondaire est exclusivement réservé à l'alimentation des compteurs installés par le gestionnaire de réseau. Le circuit secondaire doit comporter un dispositif de protection spécifique (fusible ou disjoncteur) dont le fonctionnement doit être signalé ;
- exceptionnellement, l'enroulement secondaire peut être partagé avec des charges additionnelles. Les caractéristiques de ces charges doivent être approuvées et vérifiées par le gestionnaire du réseau, elles ne doivent pas être modifiées sans son accord. Chaque charge additionnelle doit constituer un circuit séparé avec son propre dispositif de protection (fusible ou disjoncteur) ;

- l'enroulement secondaire alimentant les compteurs doit respecter les caractéristiques suivantes :
 - calibre : $100/\sqrt{3}$ V ;
 - classe de précision :
 - 0,2 lorsque la puissance maximale à mesurer du point de comptage est supérieure ou égale à 100 MVA ;
 - 0,2 ou 0,5 lorsque la puissance maximale à mesurer du point de comptage est inférieure à 100 MVA ;
 - puissance de précision : elle est définie et choisie pour que l'ensemble des charges (y compris les circuits de raccordement) soit compris entre 25 % et 100 % de la puissance de précision ;
- les circuits de raccordement entre les enroulements secondaires et les compteurs doivent être définis tel que la chute de tension soit inférieure à 0,1 % pour les transformateurs de tension de classe 0,2 et à 0,25 % pour les transformateurs de tension de classe 0,5.

Dans le cas où des charges additionnelles sont autorisées, les raccordements des enroulements secondaires des trois transformateurs de tension doivent être réalisés dans un coffret de regroupement comportant les dispositifs de protection des circuits.

Ce coffret doit permettre la pose d'un scellé par le gestionnaire du réseau.

562 Installations de comptage

562.1 Généralités

Les compteurs sont fournis par le gestionnaire de réseau et sont sa propriété. Le propriétaire de l'installation a toutefois accès aux données de comptage en local et à distance. La mesure de chaque point de comptage est réalisée par deux compteurs redondants à quatre quadrants (actif/réactif, import export).

Chaque compteur mesure les puissances active et réactive. Il est conforme aux normes NF EN 62053-22 et NF EN 62053-23. Il est de classe 0,2 S en puissance active et de classe 2 en puissance réactive.

562.2 Interfaces de communication

Chaque compteur est complété par un dispositif de communication permettant le télérelevé, au moyen d'un accès au réseau téléphonique public commuté. Le protocole de communication est conforme à la normalisation CEI.

Les interfaces de communication sont installées par le gestionnaire de réseau qui en est propriétaire.

562.3 Structures d'accueil

Les compteurs et les interfaces de communication sont intégrés dans des armoires reliées :

- aux coffrets de regroupement des transformateurs de mesure alimentant les compteurs ;
- aux services auxiliaires nécessaires ;
- au réseau téléphonique public commuté.

Ces armoires comportent les dispositifs d'isolement permettant les vérifications et entretiens nécessaires.

Une armoire peut intégrer les compteurs et interfaces de communication correspondant à un ou plusieurs points de comptage du même utilisateur. Elle est installée par le gestionnaire de réseau qui en est propriétaire.

Chaque armoire contient une horloge locale mise à l'heure par trame radio "France Inter" ou par signal GPS. L'horloge assure la synchronisation de tous les compteurs intégrés dans l'armoire.

Lorsque des armoires sont contiguës, une seule horloge est installée dans l'une des armoires, elle synchronise l'ensemble des compteurs.

562.4 Local d'installation des comptages

Les armoires de comptage doivent être installées dans un local clos, sec et propre (hors poussières industrielles), chauffé et ventilé de façon à conserver une température comprise entre 5° C et 40° C.

Si l'installation comporte plusieurs armoires de comptage, celles-ci peuvent être regroupées dans un même local ou placées dans des locaux différents.

562.5 Alimentations auxiliaires

Pour chaque armoire il doit être mis à disposition des alimentations présentant les caractéristiques suivantes :

- une alimentation monophasée 230 V - 16 A fournie pour chaque point de comptage ;
- la disponibilité des alimentations auxiliaires est au moins équivalente à celle du réseau d'alimentation générale du site ;
- chaque alimentation doit faire l'objet d'un circuit spécifique conçu conformément à la NF C 15 100 et pouvant être consigné sur toute demande du gestionnaire du réseau.

562.6 Accès téléphonique

Chaque armoire est raccordée à au moins un accès au réseau téléphonique public commuté. Cet accès est mis à disposition dans le local où est installée l'armoire.

Plusieurs armoires peuvent être raccordées au même accès téléphonique si elles sont dans le même local et dans un rayon de 5 m autour de l'accès téléphonique mis à disposition. Les équipements éventuellement nécessaires à la gestion des appels des différentes interfaces de communication sont intégrés dans les armoires.

La définition et le choix des accès téléphoniques doivent s'effectuer conformément aux règles suivantes :

- Ils sont directs au réseau téléphonique public commuté, sans passage par des équipements autocommutateurs autres que ceux appartenant à l'opérateur de télécommunications ou au gestionnaire de réseau ;
- Ils comportent les dispositifs de protection exigés par l'opérateur de télécommunication compte tenu de l'environnement électromagnétique du poste.

Partie 5-57 – Equipements de téléconduite en HTB

571 Caractéristiques des équipements de téléconduite	222
572 Protocole d'échanges	222

571 Caractéristiques des équipements de téléconduite

Les téléréinformations à échanger avec le gestionnaire du réseau sont définies en 134.4.3. Les signaux transmis doivent répondre aux règles suivantes :

- les changements d'état des télésignalisations doivent être mis à disposition en moins de 1 s. Les changements d'état des organes de coupure doivent être datés à 10 ms près ;
- les puissances active et réactive doivent être mesurées toutes les 10 s et mises à disposition dans un délai maximum de 10 s ;
- les réserves de puissance réactive des groupes de production doivent être calculées à la fréquence de 0,1 Hz et mises à disposition cycliquement, toutes les 10 s ;
- les réserves primaires de puissance active instantanée et minimale ainsi que la participation au réglage secondaire de fréquence doivent être calculées et mises à disposition au maximum toutes les minutes ou chaque fois qu'elles subissent une modification de 0,5 % de la puissance de l'installation ;
- l'application aux groupes de production, des modifications de consigne (puissance ou tension) dues à l'action des télérégagements (respectivement de fréquence-puissance ou de tension), doit intervenir dans un délai inférieur à 10 s à compter de la réception des signaux sur le site ;
- les ordres de sauvegarde doivent être exécutés dans un délai inférieur à 10 s après leur réception sur le site.

572 Protocole d'échanges

Tous les messages échangés entre un site de production ou de consommation et un centre de conduite du gestionnaire de réseau de transport s'effectuent en utilisant les services du protocole IP (Internet Protocol).

Ces messages sont structurés selon leur nature en respectant les dispositions suivantes :

- *les informations de téléconduite (télémesures, télésignalisations, ainsi que les niveaux de téléréglage) sont transmises par paquets structurés en respectant un format dont les spécifications sont fournies par le Gestionnaire du Réseau du Transport ;*
- *les échanges téléphoniques d'exploitation sont numérisés puis compressés et décompressés selon la norme U 723.1 ;*
- *les ordres de sauvegarde sont spécifiés dans la note d'échange technique disponible auprès du gestionnaire de réseau ;*
- *les informations relatives aux modifications des programmes de marche des groupes sont échangées via les réseaux publics de communication (non dédiés à l'exploitation du système électrique).*

Partie 5.58 – Equipements et systèmes de mesures, conduite, surveillance et supervision

581 Equipements et systèmes de mesures, conduite, surveillance et supervision 224

581 Equipements et systèmes de mesures, conduite, surveillance et supervision

Lorsque la nature de l'installation ou son usage le nécessite, des équipements et systèmes de mesures, contrôle, commande, surveillance et supervision doivent être mis en place ; leur définition doit prendre en compte :

- l'étendue et la complexité de l'installation ;
- le niveau de sûreté requis ;
- le niveau de disponibilité requis ;
- le besoin de contrôler les consommations d'énergie ;
- les temps d'action autorisés pour réagir à tout événement affectant le fonctionnement de l'installation, sa disponibilité et son niveau de sûreté ;
- etc.

Les équipements et systèmes de mesures, contrôle, commande, surveillance et supervision regroupent :

- *les mesures des grandeurs électriques (courants, tensions, puissances actives, puissances réactives, facteur de puissance, énergies actives et réactives) ;*
- *les dispositifs de mesure de la qualité de l'énergie (creux de tension, coupures, harmoniques) ;*
- *les systèmes de gestion des alarmes et évènements ;*
- *les systèmes d'affichage et d'enregistrement des mesures, alarmes ;*
- *les enregistrements d'évènements, de changements d'états, etc.*
- *les automatismes de réalimentation de l'installation ;*
- *les systèmes de délestage ;*
- *toute autre fonction, système ou asservissement contribuant à la souplesse de l'installation ainsi qu'au maintien de son niveau de disponibilité et de sûreté.*

TITRE 6

EXPLOITATION, VÉRIFICATION ET ENTRETIEN

Partie 6-61 : Vérifications et Examens visuels

Partie 6-62 : Matériels d'exploitation et d'entretien

Partie 6-61 – Vérifications et examens visuels

610 Généralités	235
611 Vérification du gestionnaire du réseau public	236
612 Vérification à la mise sous tension.....	236
613 Vérification initiale	236
614 Vérifications périodiques.....	236
615 Examens visuels, essais et mesurages	237
616 Maintenance.....	242
617 Conditions de réalisations des examens visuels, essais, mesurages et opérations de maintenance.....	242

610 Généralités

Les examens, essais et mesurages doivent être pratiqués dans toute installation lorsqu'elle est terminée, lorsqu'elle a subi des modifications et plus généralement en cours d'exploitation.

Les examens, essais et mesurages sont réalisés selon le cas par l'installateur, l'exploitant, les organismes agréés ou le gestionnaire du réseau public.

Les opérations de maintenances doivent être effectuées périodiquement et chaque fois que nécessaire, elles ont pour objectif de préserver l'état et les performances de l'installation. Elles peuvent être réalisées par l'exploitant, l'installateur ou les constructeurs des matériels électriques.

611 Vérification du gestionnaire du réseau public

Avant son raccordement au réseau public, le poste de livraison de l'installation fait l'objet d'une vérification de conformité par le gestionnaire du réseau public auquel est raccordée l'installation.

L'objectif de cette action est de vérifier que les prescriptions réglementaires exigibles pour le raccordement au réseau public ainsi que les exigences déclarées pour l'étude du raccordement ont été respectées. La nature des vérifications dépend du type d'installation (production ou consommation) et de son impact prévisible sur le fonctionnement du réseau public. La documentation à fournir et les essais à réaliser sont spécifiés, préalablement au raccordement, par le gestionnaire du réseau dans le cadre d'une convention particulière.

612 Vérification à la mise sous tension

La mise sous tension par le gestionnaire du réseau de distribution HTA est subordonnée à la remise de l'attestation de conformité visée par le CONSUEL.

613 Vérification initiale

Avant sa première mise en service, la conformité de toute installation doit être vérifiée par un organisme agréé conformément aux textes en vigueur.

Le rapport attestant la conformité de l'installation constitue l'une des pièces du dossier de demande de conformité de CONSUEL.

Le texte en vigueur est, à ce jour, l'arrêté du 10 octobre 2000.

614 Vérifications périodiques

Toute installation doit être vérifiée périodiquement conformément aux textes en vigueur.

Le texte en vigueur est, à ce jour, l'arrêté du 10 octobre 2000.

615 Examens visuels, essais et mesurages

615.1 Examens visuels

615.1.1 L'examen visuel doit précéder les essais.

615.1.2 L'examen visuel est destiné à vérifier si le matériel électrique :

- est conforme aux normes qui lui sont applicables ;
NOTE Cela peut être vérifié par examen du marquage ou du certificat.
- est choisi et installé conformément au présent document et aux instructions des constructeurs ;
- ne présente aucun dommage visible pouvant affecter la sécurité.

615.1.3 L'examen visuel doit comprendre au moins la vérification des conditions suivantes, dans la mesure où elles s'appliquent :

- mesures de protection contre les chocs électriques, y compris la mesure des distances, par exemple en ce qui concerne la protection par obstacles, par enveloppes ou par éloignement (voir Partie 4-41) ;
- présence de barrières résistantes au feu et d'autres dispositions empêchant la propagation du feu et assurant la protection contre les effets thermiques (voir Partie 4-42) ;
- choix et mise en œuvre des matériels dans les emplacements à risque d'explosion (voir article 422) ;
- choix des conducteurs pour les courants admissibles et la chute de tension admissible (voir article 523) ;
- choix et réglage des dispositifs de protection et de surveillance (voir Partie 5-53) ;

Le choix des sections de conducteurs et le réglage des dispositifs de protection sont vérifiés d'après les notes de calcul établies par le concepteur conformément aux règles du présent document, et notamment des Parties 4-41, 4-43, 5.52, 5-53 et 5-54.

- présence des dispositifs appropriés de sectionnement et de commande (voir Partie 4-46 et article 533) ;
- choix des matériels et des mesures de protection appropriés aux influences externes (voir paragraphe 512.2 et article 522) ;

Il doit être vérifié que les caractéristiques des matériels ne sont pas altérées par leur mise en œuvre.

- conformité des lignes de fuite des isolateurs ;
- identification des conducteurs de protection (voir paragraphe 514.2) ;
- présence de schémas, notices d'avertissement et informations analogues (voir paragraphe 514.2) ;
- identification des matériels et des circuits (voir paragraphe 514.2) ;
- réalisation des connexions des conducteurs (voir article 526) ;
- accessibilité et identification pour commodité de manœuvre.

615.2 Essais et mesurages

615.2.1 Généralités

Les essais et mesurages ci-après doivent être effectués dans la mesure où ils s'appliquent et de préférence dans l'ordre suivant :

- vérification par sondage du serrage des connexions ;
- continuité des conducteurs de mise à la terre et d'équipotentialité (voir 615.2.2),
- essais diélectriques (voir 615.2.3) ;
- ordre et concordance des phases ;
- vérification du niveau de rigidité diélectrique des liquides isolants (voir 615.2.4) ;
- coupure automatique de l'alimentation (voir 615.2.5) ;
- essais fonctionnels (voir 615.2.6).

Lorsqu'un essai donne un résultat négatif, cet essai et tous les essais qui l'ont précédé, s'ils ont une influence sur l'essai en cours, doivent être répétés après l'élimination du défaut.

Les méthodes d'essais décrites dans cette partie sont des méthodes de référence ; d'autres méthodes ne sont pas exclues à condition qu'elles donnent des résultats équivalents.

Les appareils de mesure doivent être conformes aux normes de la série NF EN 61557 les concernant. Si d'autres appareils de mesure sont utilisés, ils doivent procurer un degré de performance et de sécurité équivalents. Les appareils de mesure doivent périodiquement être contrôlés et étalonnés par un organisme agréé.

615.2.2 Continuité des conducteurs de protection et des liaisons équipotentielles

La continuité des circuits de terre est vérifiée par un examen visuel.

En cas de doute, ou lorsque l'examen visuel n'est pas réalisable, un essai de continuité doit être effectué.

L'essai est effectué sous une tension continue de 12 V maximum ou en alternatif, avec un courant d'au moins 2 A.

615.2.3 Essais diélectriques

Le matériel à haute tension doit avoir subi auparavant tous les essais individuels prévus par les normes en vigueur les concernant.

Pour l'appareillage haute tension, et lorsque des unités de transport ont été assemblées sur place, l'isolation peut être vérifiée sur place par un essai de tenue à la fréquence industrielle pendant une minute sous une tension d'essai égale à 80 % de la tension assignée de tenue à fréquence industrielle.

Pour les câbles, l'un des essais suivants peut être réalisé :

- *pendant 24 h à la tension normale de service du réseau ;*
- *pendant 5 min à la tension entre phases du réseau, appliquée entre âme et écran ou gaine métallique ;*
- *sous tension continue égale à 4 U₀ entre âme et écran pendant 15 mn.*

L'essai pendant 24 h à la tension normale du réseau convient dans la majorité des cas pour les installations HTA. Celui sous tension continue peut altérer la qualité de l'isolant du câble, il n'est pas recommandé ; d'autres méthodes d'essai sont à l'étude.

615.2.4 Vérification de la rigidité diélectrique des liquides isolants

Lorsque l'installation comporte des appareils contenant des isolants liquides, la rigidité diélectrique de ces isolants est vérifiée, si nécessaire, conformément aux règles en vigueur (17).

Le niveau du liquide doit être vérifié même si les appareils sont à remplissage intégral.

615.2.5 Mesure de la résistance des prises de terre

Si la mesure de la résistance des prises de terre a un sens, elle doit être effectuée à l'aide d'une méthode appropriée.

615.2.5.1 Mesure de la résistivité apparente des sols, Méthode de Wenner

La méthode de mesure de la résistivité apparente des sols la plus utilisée est celle de Wenner dans laquelle les quatre électrodes sont disposées en ligne et équidistantes.

L'appareil de mesure est un tellurohmètre classique. Les deux électrodes extrêmes sont celles d'injection du courant de mesure I ; les deux centrales sont les électrodes de mesure du potentiel ΔV (voir Figure 61A)

Le point O de mesure de la résistivité se trouve au milieu d'un système symétrique, entre les électrodes de mesure du potentiel.

La distance « a » entre deux électrodes adjacentes est appelée « base de mesure »

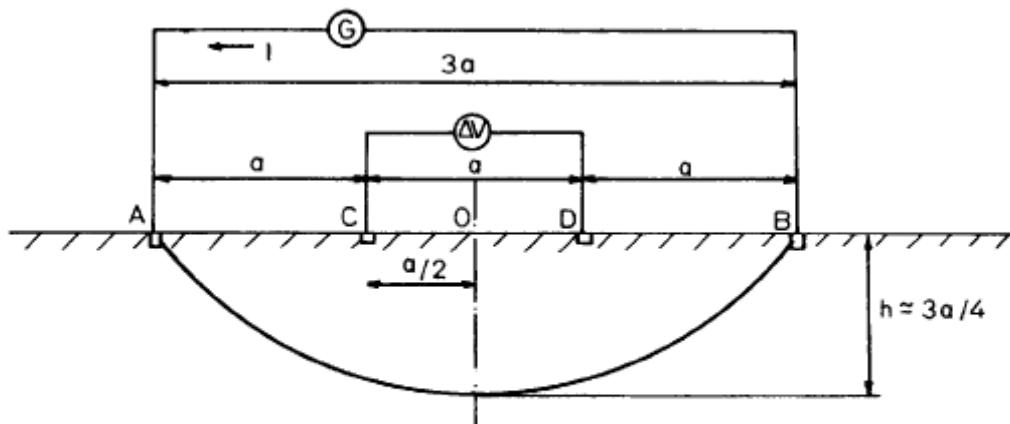


Figure 61A – Méthode de Wenner

La formule donnant la valeur de la résistivité cumulée des couches de terrain situées sous le point de mesure est la suivante :

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R$$

ρ ($\Omega \cdot m$) résistivité apparente cumulée

a (m) base de mesure

R (Ω) valeur lue sur le tellurohmètre, pour obtenir l'équilibre du galvanomètre.

(17) NF EN 60156 : Isolants liquides - Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle - Méthode d'essai.

615.2.5.2 Principe de mesure d'une prise de terre

A titre d'exemple, la méthode suivante peut être utilisée lorsque la mesure de la résistance de la prise de terre est prescrite.

Un courant alternatif d'intensité constante circule entre la prise de terre T et une prise de terre auxiliaire T_1 placée à une distance de T telle que les surfaces d'influence des deux prises de terre ne se chevauchent pas.

Une deuxième prise de terre auxiliaire T_2 , qui peut être un piquet métallique enfoncé dans le sol, est alors disposée à mi-chemin entre T et T_1 , et la chute de tension entre T et T_2 est mesurée.

La résistance de la prise de terre est égale à la tension entre T et T_2 divisée par le courant circulant entre T et T_1 , à condition qu'il n'y ait pas d'influence mutuelle entre les prises de terre.

Afin de vérifier que la résistance des prises de terre est correcte, deux autres lectures sont effectuées en déplaçant la prise de terre T_2 d'environ 6 m plus loin, puis 6 m plus près de sa position initiale. Si les trois résultats sont sensiblement en accord, la moyenne des trois lectures est prise comme résistance de la prise de terre T . Sinon, les essais sont répétés en augmentant la distance entre T et T_1 .

Si l'essai est effectué avec un courant à la fréquence industrielle, l'impédance interne du voltmètre utilisé doit être d'au moins 200 Ω/V .

La source de courant utilisée pour l'essai doit être séparée du réseau de distribution (par exemple par un transformateur à deux enroulements).

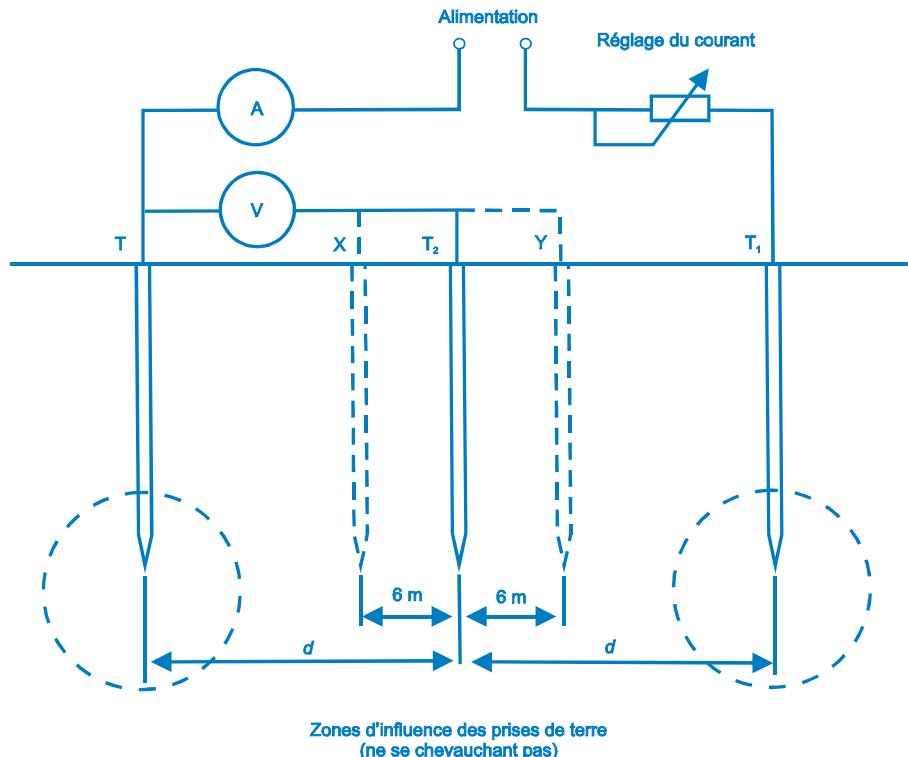
Indication : la zone d'influence d'une prise de terre est approximativement un cercle dont le rayon vaut entre 5 fois et 20 fois la dimension de la plus grande diagonale du circuit de terre à mesurer (ex: 5 m à 20 m pour un piquet de terre de 1 m de long, et 250 m à 1000 m pour un réseau de terre maillé de 30 m x 30 m).

Dans le cas de mesure de prises de terre étendues, dont la résistance est faible (autour de 1 Ω et moins), la disposition alignée des terres T , T_1 , T_2 est à éviter car il y a mutuelle induction par le parallélisme entre le fil d'injection du courant et le fil de mesure de tension. Il est alors recommandé que l'angle $T_1 T T_2$ soit supérieur à 80°.

Plusieurs mesures sont effectuées en éloignant progressivement T_2 , jusqu'à atteindre l'asymptote.

On vérifiera que :

$$\text{distance } (T, T_1) > 1,5 \times \text{distance } (T, T_2 \text{ finale})$$



T : prise de terre en essai, déconnectée de toutes les autres sources d'alimentation
 T_1 : prise de terre auxiliaire

T_2 : deuxième prise de terre auxiliaire

X : autre position de T_2 pour la mesure de contrôle

Y : autre position de T_2 pour les autres mesures de contrôle

d : distance d'au moins 20 m et dans tous les cas au moins cinq fois la plus grande dimension verticale ou horizontale de la prise de terre

Figure 61B – Mesure de la résistance de terre

615.2.6 Essais fonctionnels

Les dispositifs de protection doivent être soumis à des essais fonctionnels afin de vérifier qu'ils sont correctement installés et réglés.

Les ensembles d'appareillage, les circuits de commande, les asservissements, les automatismes, les verrouillages, les inter-déclenchements, les moteurs et leurs auxiliaires, les régulateurs en charge des transformateurs, etc., doivent être soumis à des essais fonctionnels afin de vérifier qu'ils assurent correctement leurs fonctions.

616 Maintenance

Les installations doivent être constamment maintenues de manière à garantir la sécurité et les performances attendues. Leurs schémas doivent être tenus à jour.

Toute défectuosité ou anomalie constatée dans l'état du matériel électrique ou dans son fonctionnement doit être signalé au chef d'établissement.

Il y a lieu de veiller en particulier :

- *au maintien des dispositions mettant hors de portée les parties actives ;*
- *aux connexions et à l'état des conducteurs de protection ;*
- *au serrage des connexions ;*
- *aux élévations de températures des matériels ;*
- *au réglage correct des dispositifs de protection ;*
- *au bon fonctionnement des organes de commande mécanique et des dispositifs de verrouillage ;*
- *au bon fonctionnement des dispositifs de protection et des chaînes de déclenchement ;*
- *au bon fonctionnement des asservissements et des automatismes ;*
- *à la qualité des diélectriques liquides ;*
- *au niveau de propreté et à l'état des équipements ;*
- *à l'évolution des influences externes et à l'adéquation des matériels avec celles-ci.*

Toute installation qui apparaît dangereuse doit être immédiatement mise hors tension et n'être réalimentée qu'après remise en état satisfaisante.

Les opérations de maintenance ne doivent être confiées qu'à des personnes qualifiées pour les effectuer. Elles doivent être effectuées conformément aux notices des constructeurs. Une attention particulière doit être apportée aux appareils fonctionnant peu souvent.

Toutes les opérations de maintenance doivent être réalisées en respectant les règles de sécurité de la publication UTE C18-510.

617 Conditions de réalisations des examens visuels, essais, mesurages et opérations de maintenance

617.1 Les schémas de l'installation et autres documents techniques tenus à jour doivent être mis à la disposition des personnes effectuant les examens visuels, essais, mesurages et opérations de maintenance.

617.2 Les examens visuels, essais, mesurages et opérations de maintenance doivent être réalisées par des personnes qualifiées ayant une connaissance approfondie des dispositions du présent document et de celles de la réglementation.

617.3 Des précautions doivent être prises pendant les vérifications, les essais et les opérations de maintenance pour éviter des dangers pour les personnes et des dommages aux biens et aux matériels installés. Le personnel qui exécute ces opérations doit être habilité et appliquer les prescriptions de la publication UTE C 18-510.

Partie 6-62 – Matériels d'exploitation et d'entretien

621 Généralités	244
622 Matériels d'exploitation et de sécurité	244
623 Matériels d'extinction.....	244
624 Affichages et inscriptions.....	245
625 Mesures particulières pour les locaux et emplacement contenant des matériels isolés au SF ₆	247

621 Généralités

Les locaux de service électrique doivent être équipés :

- des matériels permettant d'assurer l'exploitation et les manœuvres nécessaires dans les conditions de sécurité (622) ;
- des matériels d'extinction appropriés (623) ;
- des signaux, affiches et pancartes de sécurité (624).

622 Matériels d'exploitation et de sécurité

Dans chaque local où peuvent être effectuées des manœuvres sur l'installation, il y a lieu de prévoir :

- une paire de gants isolants jusqu'à 36 kV ;
Les gants isolants en élastomère naturel ayant une durée de vie limitée dans le temps, d'environ 6 mois, il est nécessaire de les vérifier ou de les remplacer régulièrement.
- un tabouret jusqu'à 63 kV ou un tapis isolant jusqu'à 36 kV ;
Les tapis isolants sont limités à 36 kV ; ils ont aussi une durée de vie limitée.
- un dispositif de vérification de l'absence de tension ;
- les dispositifs de mise à la terre et en court-circuit ;
- une perche de sauvetage, dite perche à corps.

Les gants isolants sont placés dans une boîte fixée à demeure, ils sont utilisables jusqu'à une tension de 36 kV.

Les dispositifs de vérification d'absence de tension et les perches à corps sont utilisables jusqu'à une tension de 225 kV.

Les dispositifs de mise à la terre ne sont pas nécessaires dans les locaux équipés d'appareillage à haute tension sous enveloppe métallique avec dispositif de mise à la terre intégré.

Les tabourets, tapis isolants, gants, perches à corps et dispositifs de vérification de l'absence de tension doivent être appropriés à la tension nominale d'alimentation du poste.

623 Matériels d'extinction

Des matériels d'extinction pour feu d'origine électrique (de type B) et de capacité appropriée doivent être disposés dans des endroits convenablement choisis, notamment à proximité des portes d'accès.

Le nombre d'extincteurs doit être au minimum de deux par local électrique, avec un extincteur à proximité de chaque accès au local. De plus, leur nombre doit être tel que l'utilisateur n'ait pas à parcourir une distance supérieure à 15 m pour atteindre l'un d'eux depuis n'importe quel point du local.

Pour les postes préfabriqués en usine, conformes à la norme NF EN 62271-202, un seul extincteur peut être admis lorsque la surface du poste est réduite et qu'il n'existe qu'un seul accès ; les autres accès lorsqu'ils existent étant réservés à la manutention des matériels.

Sont prescrits en présence d'installation électrique et conformément à la publication UTE C 18-510 :

- les extincteurs à neige carbonique (CO₂) ;
- les extincteurs à poudre (bicarbonate de soude hydrofugé) ;
- éventuellement les extincteurs à jet d'eau pulvérisée avec additifs.

Sont interdits les extincteurs portant la mention « A ne pas utiliser sur courant électrique ».

Les extincteurs doivent être adaptés au niveau de tension des matériels électriques à protéger ; ils doivent porter la mention « A ne pas utiliser sur tension supérieure à ... volts. »

Au-delà de 50 kV, il ne peut être fait usage d'extincteurs que si l'on est certain que la partie d'ouvrage sinistrée est hors tension, sans qu'elle soit obligatoirement consignée et sans être tenu de vérifier l'absence de tension.

Quel que soit le niveau de tension, jusqu'à 250 kV, l'usage de lances de pulvérisation permet l'extinction sans condition de mise hors tension. Le type de lance à employer et leur mode d'utilisation sont précisés au chapitre 11 de la publication UTE C 18-510.

Les lances doivent obligatoirement être munies de Diffuseurs Haute Tension (DHT) conformes à la norme en vigueur, à l'exclusion de tout autre type de diffuseurs.

Pour le choix des matériels d'extinction, on pourra se référer au guide INRS ED802 (Les extincteurs d'incendie portatifs et mobiles).

Des dispositions complémentaires d'extinction automatique par brouillard d'eau basse pression ou par diffuseurs de CO₂, mélange argon-azote, etc. peuvent être envisagées suivant l'appréciation du risque.

En matière de détection et de prévention de l'incendie, l'installation de dispositifs comportant des détecteurs avec renvoi d'alarme et coupure automatique de l'installation est conseillée. D'autres moyens plus sophistiqués peuvent être mis en œuvre.

L'installation de dispositifs de type sprinklers au-dessus et à proximité de matériels électriques est interdite.

Lorsque dans un local électrique il existe un risque de feu d'origine non électrique, l'installation d'extincteurs à poudres ABC (poudres polyvalente) utilisable sur tout type de feu doit être prévue.

On distingue les feux de classe A, de classe B et de classe C.

Les feux de Classe A (dits « Feux secs ») sont des feux de matières solides inflammables : papier, carton, bois, textile, etc.

Les feux de Classe B (dits « Feux Gras ») sont des feux d'origine électrique ou feux de liquides inflammables : huile, produits pétrolier, solvants, alcool, etc.

Les feux de Classe C sont des feux de gaz : propane, butane, méthane, acétylène, etc.

624 Affichages et inscriptions

624.1 Tout local de service électrique doit être muni des affiches et pancartes ci-après :

- à l'intérieur du local, les schémas électriques unifilaires et les schémas de verrouillage de l'installation ou autres documents équivalents ;
- à l'intérieur du local, une affiche précisant les personnes à prévenir :
 - en cas d'incident ou d'accident ;
 - lors de la constatation d'une anomalie sur les matériels ou dans l'installation ;
- Les procédures et les numéros d'appel relatifs à chaque situation doivent être mentionnés sur l'affiche ;
- à l'extérieur du local et sur chaque porte d'accès, une pancarte d'avertissement et d'interdiction d'accès. Cette pancarte doit comporter l'identification du local ou du poste ;
- sur les portes d'accès, à l'intérieur et à l'extérieur du local, une affiche décrivant les consignes relatives aux premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques.

L'affiche décrivant les consignes relatives aux premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques est conforme au modèle annexé à l'arrêté interministériel du 14 février 1992 [8], pris en application du décret n°78-72 du 20 janvier 1978 [1].

La pancarte d'avertissement et d'interdiction d'accès doit être conforme au modèle suivant :



624.2 Un panneau triangulaire d'avertissement doit être disposé :

- pour les postes du type ouvert, sur les faces externes des murs ou cloisons assurant la séparation avec des locaux d'usage général ;
- pour les installations équipées d'appareillage à haute tension sous enveloppe métallique, sur tout panneau démontable à l'aide d'un outil et donnant accès à des pièces sous tension ;
- plus généralement, quel que soit le matériel électrique haute tension, sur tout élément démontable à l'aide d'un outil et donnant accès à des pièces sous tension.

Le panneau triangulaire d'avertissement doit être conforme au modèle suivant, le dessin étant en noir sur fond jaune :



Dimension du côté 100 mm, 200 mm ou 400 mm.

624.3 Les portes des cellules des installations HT du type ouvert réalisées à l'intérieur d'un bâtiment doivent être munies d'une pancarte indiquant l'ordre des manœuvres à effectuer pour déverrouiller les portes et accéder à l'intérieur des compartiments.

La pancarte placée sur la porte présente les dimensions minimales suivantes :

Hauteur 300 mm.
Largeur 200 mm.

Pour les matériels sous enveloppe métallique, le schéma des verrouillages propre à chaque cellule est indiqué par le constructeur sur la face avant de la cellule.

624.4 Lorsque l'installation comporte une ou des source(s) interne(s) d'énergie, ou des circuits bouclés ou en parallèle, des pancartes appropriées doivent être placées en tout point d'intervention où des retours de tension sont possibles.

Un exemple de pancarte peut être le suivant :

SOURCE D'ENERGIE Retour de courant possible	Dimensions en millimètres	400 x 120 200 x 60
--	---------------------------	-----------------------

624.5 Lorsque l'installation comporte des condensateurs de puissance (voir 555), les portes des cellules correspondantes doivent être munies d'une pancarte rappelant la présence de ces condensateurs et les précautions à prendre pour accéder à l'intérieur des cellules.

624.6 Les pancartes et affiches placées à l'extérieur doivent être imprimées en caractères indélébiles sur un support présentant une bonne tenue aux intempéries.

625 Mesures particulières pour les locaux et emplacement contenant des matériels isolés au SF₆

625.1 Mesures de sécurité en cas d'incidents concernant le matériel isolé au SF₆

En cas d'incident concernant un matériel SF₆ dans un local ou emplacement, il y a lieu de procéder à une ventilation totale.

Lorsque l'aération du local aura été jugée suffisante, il y aura lieu de procéder à la réparation ou à l'évacuation du matériel endommagé et au nettoyage nécessaire des équipements et des abords par du personnel habilité.

Dans le cas d'un important dommage sur l'appareil ou l'équipement contenant le SF₆, il est possible que des produits de décomposition solides de toutes sortes, impliquant des gaz, des matières plastiques et des matières métalliques aient été dispersés. Ils devront alors être neutralisés.

Ces dépôts solides pouvant avoir des actions irritantes sur la peau il est impératif de se munir de gants, de lunettes de protection et d'un masque anti poussières lors de cette opération.
L'utilisation d'un aspirateur est nécessaire pour neutraliser les dépôts solides présents au sol.
Après usage, ces équipements seront lavés et rincés abondamment.

625.2 Récupération du gaz SF₆

Le SF₆ doit être manipulé par du personnel habilité possédant un certificat suivant le règlement européen (CE) N° 305/2008 et extrait grâce à un groupe de transfert de gaz conformément aux préconisations du rapport technique CEI/TR 62271-303 : Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Le groupe de transfert de gaz doit être capable de stocker le gaz SF₆ dans des containers dédiés selon le coefficient de remplissage préconisé par le rapport technique CEI/TR 62271-303.

Le SF₆ est un gaz fluoré à effet de serre mentionné dans le protocole de Kyoto.

Afin d'éviter toute libération dans l'atmosphère, la manipulation du SF₆ doit être assurée par du personnel habilité possédant un certificat suivant le règlement européen (CE) N° 305/2008.

Les appareils contenant du SF₆ retirés du service doivent être collectés et traités par une organisation habilitée.

(page blanche)

TITRE 7

RÈGLES POUR LES INSTALLATIONS ET EMPLACEMENTS SPÉCIAUX

- Partie 7-71 :** Locaux ou emplacements destinés à abriter des équipements électriques
- Partie 7-72 :** Installations temporaires

Partie 7-71 – Locaux ou emplacements destinés à abriter des équipements électriques

710 Introduction.....	250
711 Prescriptions générales.....	250
712 Locaux et emplacements établis à l'intérieur d'un bâtiment.....	251
713 Emplacements extérieurs	257

710 Introduction

La présente partie constitue un rappel des principales conditions que doivent remplir les locaux et emplacements où sont installés les matériels électriques des installations à haute tension.

Les postes de transformation préfabriqués en usine doivent répondre aux prescriptions de la NF EN 62271-202 (C 64-471-202) et à celles du présent document pour ce qui concerne son installation.

711 Prescriptions générales

711.1 Passages de manutention

La largeur des passages qui servent à la manutention du matériel à proximité des parties sous tension de l'installation, est déterminée par la largeur du gabarit maximal susceptible d'être occupée par ce matériel, à laquelle est ajoutée de part et d'autre, une distance égale à celle fixée à la Figure 41D. Il est entendu que la largeur du gabarit maximal comprend celle du matériel, augmentée, s'il y a lieu, de la latitude de déplacement du véhicule transporteur.

711.2 Sols

Le niveau des sols finis des emplacements où l'eau est susceptible de pénétrer doit être établi à 10 cm au-dessus du niveau du sol extérieur fini.

Dans le cas des zones inondables, le niveau des sols finis doit se situer au-dessus du niveau des plus hautes eaux prévisibles.

Les sols et planchers doivent être plans, horizontaux et stables ; ils doivent pouvoir supporter les charges fixes et roulantes qu'impliquent la mise en place et la présence du matériel.

711.3 Planchers ou plates-formes d'exploitation

Les planchers et plates-formes d'exploitation doivent être conçus pour supporter des charges au moins égales à 500 daN/m².

Les planchers et plates-formes d'exploitation peuvent être réalisés, par exemple, en béton armé ou en structure métallique.

Le ferraillage du béton et les structures métalliques constituant les planchers et plates-formes d'exploitation doivent être raccordés par un ou plusieurs conducteurs de section minimale 25 mm² cuivre au système équipotentiel.

L'ensemble des dispositions qui précèdent participe à la réalisation de l'équipotentialité des masses et des éléments conducteurs, prévue par le paragraphe 412.2.

711.4 Récupération des diélectriques liquides

Pour la protection de l'environnement, des mesures doivent être prises pour la récupération de la totalité des diélectriques liquides, qu'ils soient inflammables ou non. A cet effet, les transformateurs doivent être munis d'une fosse individuelle ou d'une combinaison fosse et réservoir de récupération.

Les modalités pratiques de ces dispositions de récupération sont données en 422.1.3 ; dans le cas des diélectriques non inflammables, les dispositions concernant la non-propagation de l'incendie ne sont pas à prendre en compte.

711.5 Eclairage

L'éclairage électrique doit être suffisant pour permettre une exploitation sûre et facile de l'installation. Les foyers lumineux sont disposés de façon que l'appareillage ne se trouve pas dans une zone d'ombre et que soit permise la lecture correcte des appareils de mesure.

L'emplacement et le mode de fixation des foyers lumineux doit être tel que le remplacement des lampes puisse s'effectuer en respectant les distances de travail (DT) du sous-paragraphe 411.5.4.4.

L'installation d'éclairage est réalisée en basse tension conformément à la norme NF C 15-100. Les dispositifs de commande d'éclairage sont disposés au voisinage immédiat des accès.

Les circuits d'éclairage sont alimentés par la ou les sources basse tension de l'installation. Lorsque ces sources sont secourues, elles assurent aussi l'alimentation en secours de l'éclairage.

712 Locaux et emplacements établis à l'intérieur d'un bâtiment

712.1 Dispositions constructives

712.1.1 Généralités

Tous les matériaux constitutifs des parois des locaux doivent présenter une catégorie de réaction au feu minimale M1 ou A2.

L'Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement mentionne les correspondances entre les Euroclasses et les catégories de type M correspondant à l'Arrêté du 30 juin 1983.

En fonction des critères de sécurité (Voir 422.1.4), il peut être exigé une tenue au feu des parois intérieures et/ou extérieures.

Les locaux ne doivent être traversés par aucune canalisation non nécessaire à leur exploitation, à moins que des dispositions compensatrices soient prises lors de la construction.

Si cette prescription ne peut être respectée, des précautions spéciales doivent être prises, pour éviter que les conséquences d'une fuite ou de condensations n'affectent la sécurité de l'exploitation. Si des canalisations de chauffage par eau chaude ou vapeur sont installées, leur tracé doit être tel qu'elles soient accessibles en toute sécurité et en tous leurs points, même lorsque l'installation est sous tension.

Le passage de canalisations dans des gaines constitue une disposition compensatrice permettant la traversée des locaux du poste.

712.1.2 Parois extérieures et toiture du bâtiment

Les parois extérieures et la toiture du bâtiment doivent présenter une résistance mécanique suffisante par rapport aux contraintes permanentes d'environnement et aux contraintes d'exploitation qui leur sont associées selon la série des normes NF P 06-XXX en vigueur.

A titre d'exemple, ces contraintes sont, les descentes de charge associées à la toiture, avec ou sans neige, au poids propre des parois, aux contraintes de vent selon les normes NF EN 1991-1-3 (Neige) et NF EN 1991-1-4 (Vent) et aux contraintes du matériel fixé.

712.1.3 Parois en maçonnerie

Les parois doivent présenter une protection au moins équivalente à IP23D selon la NF EN 60529 et une résistance aux chocs mécaniques au moins équivalente à IK10 (20 J) selon la NF EN 62262.

Le passage des canalisations ne doit pas compromettre les caractéristiques des parois.

Lorsque le bâtiment doit recevoir l'ancrage de lignes aériennes ou lorsqu'il doit supporter du matériel d'une masse importante, il doit être calculé en fonction des efforts qui en résultent.

Dans de tels cas, la norme de réseaux de distribution publique NF C 11-201 peut servir de guide.

Le tableau ci-après donne des exemples de parois présentant une résistance mécanique équivalente à IK10.

Tableau 72A – Parois présentant une résistance mécanique équivalente à IK10

<i>Nature des parois</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>
Pierres naturelles : dimensions en usage dans la région avec minimum de	30
Maçonnerie de briques pleines	22
Maçonnerie d'agglomérés pleins.....	20
Béton armé monolithé ou à éléments préfabriqués	7
Béton banché	20
Piliers d'angle et ossature en béton armé, avec remplissage de briques pleines	11
Piliers d'angle et ossature en béton armé, avec remplissage de briques creuses ou agglomérés : largeur de la brique de la région posée à plat avec un minimum de	15

Dans le cas d'utilisation de matériaux sensibles à l'humidité, un soubassement exécuté en matériau offrant des garanties d'étanchéité est nécessaire.

712.1.4 Parois métalliques

Les parois métalliques doivent présenter une protection au moins équivalente à IP23D selon la NF EN 60529 et une résistance aux chocs mécaniques au moins équivalente à IK10 (20 J) selon la NF EN 62262.

Aucune commande mécanique d'appareils ne doit être possible de l'extérieur.

Aucun des panneaux constituant la surface extérieure du bâtiment ne doit être démontable, même partiellement, de l'extérieur.

Les parois métalliques extérieures du bâtiment ne peuvent pas constituer des parties d'enveloppes des matériels à haute tension. Cette disposition ne s'applique pas aux enveloppes métalliques utilisées pour abriter des transformateurs HTA/BT.

Si les matériaux constitutifs des enveloppes extérieures n'ont pas individuellement de propriétés d'inaltérabilité aux intempéries, leur revêtement doit être prévu pour résister aux attaques des éléments atmosphériques (pluie, soleil, air salin, etc.) auxquelles ils peuvent normalement être soumis.

Il en est ainsi si les éléments constitutifs du bâtiment ont subi l'essai de tenue au brouillard salin conformément à l'essai NSS (Neutral Salt Spray Test) de la norme NF EN ISO 9227 pendant une durée de 720 h. A l'issue de l'essai, l'enrouillage doit correspondre à la performance 9/5 s E selon la norme NF EN ISO 10289 ou au degré d'enrouillage Ri1 de la norme NF EN ISO 4628-3.

Dans les bâtiments métalliques, afin de limiter les dangers pour les personnes s'approchant du poste, un ceinturage d'équipotentialité est réalisé entre 0,50 m et 1 m autour du poste ; il est constitué d'un conducteur de section minimale de 25 mm² en cuivre , ou de 95 mm² en acier galvanisé, enfoui à une profondeur d'environ 0,30 m. Ce conducteur est raccordé à la prise de terre réalisée en fond de fouille.

712.1.5 Locaux renfermant des appareillages sous enveloppes métalliques

Les appareillages sous enveloppes métalliques peuvent être installés dans un local non spécialement affecté. Cependant, la tenue des enveloppes aux conditions d'influences externes peuvent nécessiter d'installer les matériels dans un local approprié. Certaines parois d'un tel local peuvent seulement être constituées par un grillage.

L'implantation de l'appareillage sous enveloppe métallique doit être réalisée selon les recommandations du constructeur.

712.1.6 Plafonds

Les plafonds doivent présenter une protection au moins équivalente à IP23D selon la NF EN 60529 et une résistance aux chocs mécaniques au moins équivalente à IK10 (20 J) selon la NF EN 62262.

Les plafonds doivent être exécutés de façon à éviter tout défaut d'étanchéité et tout risque d'infiltration.

712.1.7 Toitures

Les toitures doivent présenter un bon niveau d'étanchéité et doivent en outre répondre aux exigences des règles de l'art relatives à la neige de la NF EN 1991-1-3.

712.2 Portes

712.2.1 Dispositions générales

Les portes doivent être conçues pour accéder aux locaux d'exploitation et pour permettre la manutention du matériel. Elles doivent respecter les degrés d'indice de protection et de résistance aux impacts mécaniques du local. Toute porte dont le plan se situe sur une paroi pour laquelle une tenue au feu est exigée, devra présenter le même niveau de protection au regard du feu.

Les portes doivent :

- s'ouvrir vers l'extérieur ;
- dégager complètement (angle d'ouverture > 90°) ;
- être pourvues d'un dispositif les maintenant en position d'ouverture ;
- être équipées d'une serrure pouvant s'ouvrir sans clef de l'intérieur, par exemple serrure avec dispositif anti-panique.

En complément, elles sont équipées d'un moraillon de cadenassage ou d'un système d'interverrouillage, si les conditions d'exploitation ou de sécurité l'exigent.

712.2.2 Portes de secours

Une porte de secours est nécessaire lorsqu'une avarie importante affectant le matériel électrique risque d'entraver l'évacuation des personnes par la porte principale ; c'est le cas, lorsque toute personne se trouvant à l'intérieur du local a à parcourir plus de 12 m pour parvenir à la porte principale. Elle doit être équipée d'un dispositif anti-panique permettant de l'ouvrir de l'intérieur du local par simple pression du corps.

712.3 Conditionnement et ventilation

712.3.1 Dispositions générales

Les locaux doivent être, si nécessaire, pourvus de moyens (chauffage, assécheurs d'air, ventilation mécanique, conditionnement d'air, etc.) pour éviter la formation éventuelle de condensation, quelles que soient les dispositions prévues pour assurer le refroidissement des matériels.

La ventilation d'une enceinte renfermant un transformateur est déterminée en fonction du cycle de charge (CEI 60076-7) moyen du transformateur et de la température ambiante extérieure au local.

Le nombre, l'emplacement et la section des ouvertures de ventilation doivent être fixés en fonction de la disposition des matériels et de la chaleur dégagée.

Pour assurer la circulation de l'air, il est recommandé que les arrivées d'air frais se trouvent sous les transformateurs, que les sorties d'air chaud soient disposées au-dessus du transformateur et que les espaces d'air entre les transformateurs et les parois ne soient pas inférieurs à 0,10 m.

Les entrées d'air ne doivent pas être prises dans des locaux à température déjà élevée ou contenant des poussières nuisibles, des vapeurs ou des poussières inflammables.

Les dispositifs d'aération doivent être établis de façon que, sans nuire à une bonne ventilation, soient évités :

- toute possibilité de contact ou d'amorçage avec les pièces nues sous tension par l'introduction dans le local de tiges ou de fils conducteurs d'un diamètre supérieur à 2,5 mm venant de l'extérieur ;
- les pénétrations d'eau et de neige ;
- l'entrée d'animaux et d'insectes susceptibles de provoquer des dégradations et des incidents ;
- le collage d'affiche.

Les ouvertures de ventilation comprennent, par exemple, des doubles lames de persiennes en tôle, munies d'un grillage à mailles de 10 mm au plus en fil de 2,2 mm au moins, ou de tôles perforées dont les orifices ont une section maximale de 100 mm² (trous circulaires de 11 mm de diamètre), doublées intérieurement par une tôle pleine, de dimensions légèrement supérieures à celles de la surface perforée, située à une distance suffisante de celle-ci de façon à assurer convenablement la ventilation. Un autre procédé consiste à disposer en chicanes des cornières dont les arêtes sont enchevêtrées les unes dans les autres.

712.3.2 Ventilation naturelle

Tout local doit comporter :

- à la partie inférieure, une ou plusieurs prises d'air extérieures au local dont le bord inférieur est situé à 10 cm au-dessus du sol du local ;
- à la partie supérieure, des grilles de ventilation voire des cheminées ou lanterneaux, voire des baies ouvrant de préférence à l'air libre. Il y a lieu de s'assurer que la circulation de l'air contribue effectivement au refroidissement désiré dans toutes les conditions.

Les dimensions des orifices sont généralement déterminées par le calcul. On peut prévoir, en première approximation pour un facteur de charge égal à 1 et un suréchauffement de l'air de 20° C entre l'entrée et la sortie, une section à donner aux ouvertures de ventilation de 0,7 m² de surface nette pour 10 kW de pertes. Pour un transformateur de 1 000 kVA, la section nette correspondante est de 1 m².

712.3.3 Ventilation mécanique

Lorsque la disposition des locaux ou la puissance thermique à évacuer ne permettent pas d'utiliser la ventilation naturelle, il est nécessaire d'avoir recours à une ventilation mécanique.

Une ventilation mécanique doit également être installée lorsqu'il est nécessaire de maintenir une surpression à l'intérieur des locaux contenant les matériels électriques, pour y garantir la qualité de l'air.

Le débit d'air de ventilation doit être déterminé à partir des données suivantes :

- quantité de chaleur à évacuer ;
- écart admissible entre les températures du local et de l'air extérieur moyen durant les trois mois les plus chauds ;
- Suppression à maintenir à l'intérieur des locaux , tenant compte de la limite maximum à ne pas excéder pour réduire les effort sur les portes à des valeurs raisonnables.

Si nécessaire, des filtres doivent être mis en œuvre sur les prises d'air neuf.

L'installation des gaines d'aménée et d'évacuation d'air et leurs sections doivent tenir compte des possibilités offertes par les caractéristiques du bâtiment et des nuisances sonores générées.

Le système de ventilation mécanique, y compris son système de filtration, doit être maintenu en bon état de fonctionnement ; les défaillances doivent être signalées aux exploitants.

712.3.4 Conditionnement d'air

Lorsqu'un conditionnement d'air est mis en œuvre pour les locaux électriques, il doit être indépendant des systèmes de climatisation utilisés pour les autres locaux.

Un système de conditionnement d'air permet de s'affranchir des ventilations naturelles ; il permet en outre d'éviter l'introduction de poussière et de contrôler, éventuellement, le degré hygrométrique.

Il doit être maintenu en bon état de fonctionnement, et sa défaillance doit être signalée aux exploitants.

712.3.5 Ventilation des locaux contenant des matériels isolés au SF₆

Dans les locaux situés au-dessus du sol naturel où se trouvent des matériels isolés au SF₆, une ventilation naturelle est suffisante selon les conditions du sous-paragraphe 712.3.2. En cas d'impossibilité une ventilation mécanique doit être prévue.

Dans les locaux situés entièrement au-dessous du sol naturel où se trouvent des matériels isolés au SF₆ une ventilation mécanique doit être prévue si le volume de gaz susceptible de se répandre présente un danger pour la santé et la sécurité du personnel.

La ventilation mécanique n'est pas nécessaire lorsque le gaz, contenu dans le plus grand compartiment des matériels, susceptible de se répandre à la pression atmosphérique, ne constitue pas sur la surface du local une couche de plus de 10 cm.

C'est notamment le cas pour tous les matériels HTA dans lesquels le volume de SF₆ est faible.

La mise en œuvre de la ventilation mécanique doit prendre en compte le fait que le gaz SF₆ se concentre au niveau du sol et dans les parties basses des locaux et bâtiments.

Conformément à l'article 625, les locaux doivent, si nécessaire, pouvoir être ventilés vers l'extérieur lors d'une intervention.

Les conduits, fosses, puits, vides techniques, faux planchers, etc., situés sous les locaux contenant des installations SF₆ et qui communiquent avec ces derniers doivent pouvoir être ventilés vers l'extérieur lors d'une intervention.

712.4 Éclairage

712.4.1 Eclairage normal

Voir 711.5.

712.4.2 Eclairage naturel

S'il est prévu, l'éclairage naturel est réalisé à l'aide de baies protégées, si nécessaire, par un grillage extérieur.

Dans la mesure du possible, la partie inférieure des baies ne doit pas être à moins de 2 m au-dessus du sol. Cette hauteur peut néanmoins être diminuée si des dispositions constructives sont prises pour éviter les risques d'accident ou d'avarie du matériel, par exemple, emploi de pavés de verre.

712.4.3 Eclairage de sécurité

Un éclairage de sécurité fixe doit être prévu. Il est constitué par un ou des blocs autonomes ou luminaire alimentés par la source centralisée d'éclairage de sécurité, d'une part, et par un ou des blocs autonomes portables d'intervention (BAPI), d'autre part.

Il n'est pas nécessaire de prévoir un dispositif de mise au repos pour les blocs autonomes de sécurité.

712.5 Prises de courant

En complément de la prise de courant destinée au BAPI, au moins une prise de courant de courant assigné 16A doit être prévue dans chaque local contenant de l'appareillage électrique.

712.6 Mise à la terre des éléments métalliques du bâtiment

Dans les locaux renfermant des matériels électriques, les portes, fenêtres et huisseries, quand elles sont métalliques, doivent être reliées au système équipotentiel prescrit à l'article 412.2 par un conducteur en cuivre de section minimale de 6 mm².

713 Emplacements extérieurs

713.1 Résistance mécanique des ouvrages

Les ouvrages doivent être calculés conformément aux règles BAEL 91 DTU P18-702, ou aux Eurocodes NF P 06-111-2 et NF P 06-100-2.

Les contraintes à prendre en compte pour les calculs sont une combinaison des contraintes normales et des contraintes occasionnelles.

Il convient d'analyser plusieurs de ces combinaisons pour retenir les plus contraignantes pour la tenue mécanique des ouvrages.

Les contraintes normales comprennent :

- le poids propre des équipements ;
- la traction des conducteurs ;
- les charges liées au montage des matériels ;
- les charges liées à l'entretien du matériel ;
- les charges dues à la neige et à la glace ;
- les charges dues au vent.

Pour les charges liées à l'entretien du matériel, on doit retenir une charge verticale de 150 daN appliquée à l'endroit le plus contraignant d'un support, portique, etc.

Pour les charges liées aux conditions climatiques (neige, glace, vent et température), on doit se référer à l'arrêté du 17 mai 2001 modifié [9].

Les contraintes occasionnelles comprennent :

- les forces dues aux manœuvres ;
- les forces dues aux courants de court-circuit ;
- la rupture d'un conducteur.

Les forces dues aux manœuvres doivent être indiquées par les constructeurs du matériel.

Pour les forces dues aux courants de court-circuit, les méthodes de calculs présentées dans la norme NF EN 60865-1 doivent être appliquées.

Les dispositions du présent paragraphe s'appliquent aux calculs des charpentes supportant les matériels et aux massifs en béton sur lesquels sont fixées les charpentes. Lorsqu'il existe un risque sismique, les contraintes associées doivent être rangées dans la catégorie des contraintes occasionnelles.

713.2 Clôtures

Les emplacements extérieurs doivent être entourés d'une clôture constituée d'un mur ou d'un grillage ayant une hauteur de 2,5 m au minimum par rapport au niveau du sol extérieur, au périmètre définissant la limite de l'ouvrage.

Les distances à respecter entre clôture et parties actives sont précisées en 411.5.6.1.

Dans le cas de clôtures métalliques, les conditions d'équipotentialité sont définies en 412.4.

713.3 Portails et portillons

Les portails et portillons sont des parties mobiles de la clôture et doivent respecter le 713.2.

Les portails et portillons doivent être munis d'un verrouillage mécanique. En position verrouillée, leur manœuvre doit être impossible de l'intérieur comme de l'extérieur.

Les portails et portillons doivent respecter la norme NF P 25-362. En particulier, ils doivent être manœuvrables par une seule personne.

Lorsqu'un portail ou portillon est fermé, la hauteur libre entre la membrure inférieure et le sol fini doit être inférieure à 5 cm.

Le démontage des portails et portillons, en particulier des gonds, ne doit pas être possible depuis l'extérieur du poste.

Lorsque la clôture est raccordée à une liaison équipotentielle enterrée, les parties métalliques des portails et portillons doivent être raccordées à cette même liaison.

La mise à la terre de la partie mobile d'un portail à refoulement ou roulant doit être réalisé par l'intermédiaire de ses dispositifs de roulement et de guidage.

L'équipement électrique associé au portail doit être alimenté conformément au 412.4.4.

Partie 7-72 – Installations temporaires

720 Généralités.....	260
----------------------	-----

720 Généralités

Les matériaux électriques doivent être installés et protégés de manière à être à l'abri des influences externes prévisibles.

Les câbles, lorsqu'ils ne sont pas enterrés, doivent être posés de telle façon qu'ils soient à l'abri de toutes formes de dégradation (écrasements, chocs, etc.). A cette fin, ils ne doivent pas être posés dans des passages de piétons, de véhicules ou d'engins. Si une telle pose est nécessaire, une protection spéciale contre les dommages mécaniques et contre les contacts avec les engins doit être prévue.

(page blanche)

BIBLIOGRAPHIE

CEI 60331-1, *Essais pour câbles électriques soumis au feu – Intégrité des circuits – Partie 1 : Méthode d'essai au feu avec chocs pour les câbles de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV et de diamètre externe supérieur à 20 mm, à une température d'au moins 830 °C*

CEI 60331-21, *Essais de câbles électriques soumis au feu – Intégrité des circuits – Partie 21 : Procédures et prescriptions – Câbles de tension assignée jusqu'à et y compris 0,6/1,0 kV*

CEI 60364-5, *Installations électriques des bâtiments - Partie 5 : Choix et mise en oeuvre des matériels électriques*

CEI/TS 60479 (série), *Spécification Technique - Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques*

CEI 60617 (Base de données), *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 60721-2 (toutes les parties), *Classification des conditions d'environnement*

CEI 60754 (série), *Essais sur les gaz émis lors de la combustion de matériaux prélevés sur câbles*

CEI 60815/TS (série) *Technical Specification – Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions*

CEI 60826, *Critères de conception des lignes aériennes de transport*

NF EN 50281-1 (C 23-581-1-X) (série), *Matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières combustibles - Partie 1 : Matériels électriques protégés par enveloppes*

NF EN 60068 (série), *Essais d'environnement*

NF EN 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement - Partie 1 : Définitions, principes et règles*

NF EN 60071-2:2006, *Coordination de l'isolement - Partie 2 : Guide d'application*

NF EN 60076-11 (C 52-176-11), *Transformateurs de puissance - Partie 11 : Transformateurs de puissance de type sec*

NF EN 60255 (C 45-2XX-X) (série), *Relais électriques*

NF EN 60480 (C 27-602), *Lignes directrices relatives au contrôle et au traitement de l'hexafluorure de soufre (SF_6) prélevé sur le matériel électrique et spécification en vue de sa réutilisation*

NF EN 60664-1 (C 20-040-1), *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1 : Principes, exigences et essais*

NF EN 61100 (C 27-301), *Classification des isolants liquides selon le point de feu et le pouvoir calorifique inférieur*

NF EN 61140 (C 20-230), *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*

NF EN 61219 (C 18-445), *Travaux sous tension – Appareils de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit utilisant des cannes comme dispositif de mise en court-circuit – Mise à la terre au moyen de cannes*

NF EN 61230 (C 18-446), *Travaux sous tension – Dispositifs portables de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit*

NF C 13-200

NF EN 61243 (C 18-3XX) (série), *Travaux sous tension – DéTECTeurs de tension*

NF EN 62271-2:2004 (C 64-471-2), *Appareillages à haute tension - Partie 2 : Qualification sismique de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV*

NF EN 62271-201:2006 (C 64-471-201), *Appareillage à haute tension - Partie 201 : Appareillage sous enveloppe isolante pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

Publication 3130511 d'octobre 2000, regroupe les normes XP ENV 1991-2-1 (P06-102-1) – XP ENV 1991-2-2 (P 06-102-2)- XP ENV 1991-2-3 (P 06-102-3) - XP ENV 1991-2-4 (P 06-102-4)

Guide ISO/CEI 51, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

Guide CEI 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*

CISPR 18-1 (toutes les parties), *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques*

ISO 1996-1:2003, *Acoustique – Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement - Partie 1 : grandeurs fondamentales et méthodes d'évaluation*

Guide IEEE 80-2000, *Guide pour la sécurité dans la mise à la terre de postes c.a.*

Guide IEEE 980-1994, *Guide pour le stockage et le contrôle des fuites d'huiles dans les postes*

Guide IEEE 998-1996, *Guide pour la protection des postes contre les coups de foudre directs*

Rapport CIGRÉ 23-04:1972, *Manipulation du SF₆ et ses produits de décomposition dans les appareillages isolés au gaz*

Rapport CIGRÉ 23-07:1991, *Adaptation des postes à leur environnement en zones rurales ou urbaines, y compris les problèmes de bruit et de pollution du sous-sol par l'huile*

Norme industrielle globale 3990 du 06/1997: *Liquide non inflammable des transformateurs d'isolation*

Journal officiel des communautés européennes, N° C 62/23 du 28.02.1994: *Document d'interprétation. Prescriptions essentielles N° 2: «sécurité en cas d'incendie»*