Réseau de transport d'électricité

Indice : 1

CAHIER DES CHARGES GENERAL
Lignes Aériennes HTB - Ouvrages Neufs
(CCG - LA Ouvrages Neufs)

164 Pages

Résumé :
Ce document constitue le Cahier des Charges Général des Lignes Aériennes Neuves HTB du Réseau Public de Transport d'Electricité.

CENTRE NATIONAL D'EXPERTISE RÉSEAUX
ADRESSE GEOGRAPHIQUE : IMMEUBLE AMPERE - LA DEFENSE 6 - 34-40, RUE HENRI REGNAULT - 92400 COURBEVOIE
ADRESSE POSTALE : IMMEUBLE AMPERE - 34, RUE HENRI REGNAULT - 92068 PARIS LA DEFENSE CEDEX
TEL : 01.41.02.10.00 FAX : 01.41.02.26.69

www.rte-france.com

AFAQ ISO 14001

05-09-00-LONG

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

SOMMAIRE

Partie 1. Présentation du CCG - LA Ouvrages Neufs 8
1 - 1 Eléments de langage 8
1 - 2 Objet 8
1 - 3 Positionnement 9
1 - 4 Structure 10
Partie 2. Développement Durable 12
Partie 3. Dimensionnement mécanique 15
3 - 1 Introduction 15
3 - 1.1 Définitions 15
3 - 2 Textes de référence 16
3 - 2.1 Réglementation 16
3 - 2.2 Normes 16
3 - 3 Hypothèses de dimensionnement 16
3 - 3.1 Hypothèses météorologiques 16
3 - 3.2 Hypothèse de l'EDS 21
3 - 3.3 Hypothèse électrodynamique 22
3 - 3.4 Hypothèses complémentaires 24
3 - 4 Conditions à respecter 27
3 - 4.1 Hypothèses météorologiques 27
3 - 4.2 Autres hypothèses 28
3 - 4.3 Récapitulatif 29
3 - 5 Hypothèse anti-cascade et vérification de la coordination de résistance 30
3 - 5.1 Hypothèse anti-cascade 30
3 - 5.2 Coordination de résistance 31
Partie 4. Dimensionnement Electrique 33
4 - 1 Introduction 33
4 - 2 Régimes d'exploitation d'un ouvrage et échauffement des câbles conducteurs 33
4 - 2.1 Présentation 33
4 - 2.2 Textes de référence 36
4 - 2.3 Echauffement des câbles conducteurs en régime de secours temporaire et en régime de surcharge transitoire 36
4 - 2.4 Cas particulier du surplomb de panneaux photovoltaïques 37

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 3 Contraintes diélectriques appliquées aux ouvrages 38
4 - 3.1 Présentation 38
4 - 3.2 Textes de référence 38
4 - 3.3 Tension de tenue et distances d'isolement associées 38
4 - 3.4 La pollution 40
4 - 3.5 La foudre 41
4 - 3.6 Coordination d'isolement 42
4 - 4 Dimensionnement des prises de terre 44
4 - 4.1 Critères de dimensionnement d'une prise de terre 44
4 - 4.2 Textes de référence 44
4 - 4.3 Dimensionnement des mises à la terre 44
4 - 4.4 Limitation des perturbations apportées aux ouvrages tiers et aux installations électriques 46
4 - 5 Contraintes et echauffement dus au courant de court-circuit 47
4 - 5.1 Textes de référence 47
4 - 5.2 Intensités admissibles en régime de court-circuit 47
4 - 6 Contraintes de proximités – induction magnétique et capacitive - conduction 50
4 - 6.1 Présentation 50
4 - 6.2 Textes de référence 50
4 - 6.3 Proximité avec d'autres réseaux électriques 51
4 - 6.4 Voisinage de lignes aériennes HTB avec les réseaux de télécommunications 51
4 - 6.5 Proximité des ouvrages linéaires de type clôture, glissière d'autoroutes 52
4 - 6.6 Prévention des risques électriques vis-à-vis des personnes et des équipements des tiers 52
4 - 7 Champs magnétique et électrique à 50 Hz 54
4 - 7.1 Présentation 54
4 - 7.2 Textes de référence 54
4 - 7.3 Limitation de l'exposition des tiers aux champs électrique et magnétique 55
4 - 7.4 Recommandation vis-à-vis des matériels 55
4 - 8 Effet couronne : bruits radioélectriques, acoustiques et pertes 56
4 - 8.1 Présentation 56
4 - 8.2 Textes de référence 56
4 - 8.3 Perturbations radioélectriques 56
4 - 8.4 Bruits acoustiques 57
4 - 8.5 Pertes par effet couronne 57
4 - 8.6 Paramètres influents 58
Partie 5. Dimensionnement géométrique 59
5 - 1 Introduction 59
5 - 2 Distances de sécurité au sol et aux obstacles 59

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 2.1 Présentation 59
5 - 2.2 Textes de référence 60
5 - 2.3 Les hypothèses de calcul des distances réalisées 61
5 - 2.4 Distances à respecter 62
5 - 2.5 Servitudes radioélectriques 88
5 - 2.6 Servitudes aéronautiques 88
5 - 2.7 Mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements 89
5 - 2.8 Identification pour la surveillance des lignes par hélicoptère 90
5 - 3 Distances Internes 93
5 - 3.1 Présentation 93
5 - 3.2 Textes de référence 93
5 - 3.3 Distances entre câbles 93
5 - 3.4 Distance à la masse 100
5 - 3.5 Distances de travail 101
Partie 6. Pylônes et Poteaux 110
6 - 1 Introduction 110
6 - 1.1 Principaux termes, définitions et symboles 110
6 - 1.2 Fonctionnalité principale 110
6 - 1.3 Notion de famille de pylônes et de poteaux 111
6 - 2 Textes de réference 111
6 - 2.1 Réglementation 111
6 - 2.2 Normes 111
6 - 3 Règles génériques 112
6 - 3.1 Règles de conception 112
6 - 3.2 Essais 116
6 - 3.3 Assemblage - Levage 117
6 - 4 Pylônes treillis 117
6 - 4.1 Règles de conception 117
6 - 4.2 Essais 118
6 - 4.3 Assemblage - Levage 118
6 - 5 Monopodes metalliques 119
6 - 5.1 Règles de conception 119
6 - 5.2 Essais 120
6 - 5.3 Assemblage - Levage 120
6 - 6 Poteaux béton 121
6 - 6.1 Règles de conception 121
6 - 6.2 Essais 122
6 - 6.3 Assemblage - Levage 122
6 - 7 Poteaux bois 123

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 7.1 Règles de conception 123
6 - 7.2 Essais 124
6 - 7.3 Assemblage - Levage 124
6 - 8 Superstructures haubanées 125
6 - 8.1 Règles de conception 125
6 - 8.2 Essais 126
6 - 8.3 Assemblage - Levage 126
6 - 9 Superstructures aérosouterraines 127
6 - 9.1 Règles de conception 127
6 - 9.2 Essais 131
6 - 9.3 Assemblage - Levage 131
6 - 10 Autres Superstructures 131
Partie 7. Fondations 132
7 - 1 Introduction 132
7 - 1.1 Principaux termes, définitions et symboles 132
7 - 1.2 Fonctionnalité principale 132
7 - 1.3 Notion de famille de fondations 132
7 - 2 Textes de référence 134
7 - 2.1 Réglementation 134
7 - 2.2 Normes 134
7 - 2.3 Autres documents de référence, règles de l'art 135
7 - 3 Règles génériques 136
7 - 3.1 Règles de conception 136
7 - 3.2 Essais 139
7 - 3.3 Mise en œuvre 139
7 - 3.4 Cas particuliers 139
7 - 4 Fondations superficielles 140
7 - 4.1 Généralités 140
7 - 4.2 Fondations superficielles pour support tétrapode 140
7 - 4.3 Fondations superficielles pour support monopode 142
7 - 5 Fondations spéciales 144
7 - 5.1 Généralités 144
7 - 5.2 Fondations spéciales pour support tétrapode 145
7 - 5.3 Fondations spéciales pour support monopode 145
Partie 8. Câbles, Matériels de ligne, Haubans 146
8 - 1 Introduction 146
8 - 2 Câbles conducteurs, câbles de garde, câbles à fibres optiques 146
8 - 2.1 Présentation 146
8 - 2.2 Définitions 146

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

8 - 2.3 Textes de référence 147
8 - 2.4 Fonctionnalités principales 147
8 - 2.5 Règles de conception 147
8 - 3 Chaînes et pièces pour câbles conducteurs et câbles de garde, matériels divers pour identification, signalisation et MALT 152
8 - 3.1 Présentation 152
8 - 3.2 Textes de référence 153
8 - 3.3 Fonctionnalités principales 153
8 - 3.4 Règles de conception 154
8 - 3.5 Essais 158
8 - 3.6 Mise en œuvre 159
8 - 3.7 Maintenance 160
8 - 4 Câbles de Haubans et pièces de haubans 161
8 - 4.1 Présentation 161
8 - 4.2 Textes de référence 161
8 - 4.3 Fonctionnalités principales 161
8 - 4.4 Règles de conception 162
8 - 4.5 Essais 163
8 - 4.6 Mise en œuvre 164
8 - 4.7 Maintenance 164

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 1. Présentation du CCG - LA Ouvrages Neufs

1 - 1 ELEMENTS DE LANGAGE

Les définitions ci-dessous sont valables pour l'intégralité de ce document :

Ouvrages Neufs

Par la dénomination "Ouvrages Neufs", on désigne tout ouvrage LA construit en site vierge et :

- encadré par deux postes ou deux pylônes d'arrêt précédant ces postes, ou
- encadré par un poste ou un pylône d'arrêt à l'une de ses extrémités et en situation de piquage ou d'entrée en coupure à l'autre extrémité.

Support

Le terme « Support » est utilisé pour désigner l'ensemble constitué par la superstructure (pylône treillis, monopode métallique, poteau béton, etc.) et les fondations.

Câbles conducteurs

Dans ce document, on utilisera le terme unique de "Câbles conducteurs" pour désigner les conducteurs aériens de phase permettant l'acheminement du transit. Il s'agit exclusivement de câbles conducteurs nus. Le terme "Câble de garde" est conservé.
Lorsque le terme "câbles" est employé seul, il désigne, sauf indication contraire, à la fois les câbles conducteurs et les câbles de garde.

1 - 2 OBJET

Le CCG Lignes Aériennes [1] Ouvrages Neufs est le cahier des charges qui recense toutes les exigences techniques et réglementaires que doivent satisfaire les lignes aériennes neuves HTB [2] du Réseau Public de Transport d'Electricité (RPT).

Ce document annule et remplace le CCG Lignes Aériennes HTB référencé NA-IMR-CNER-SETP-LA-07-00037.

1. La ligne aérienne est limitée à ses deux extrémités par les charpentes des postes encadrants (charpentes non comprises). La ligne aérienne va donc jusqu'aux accrochages sur les charpentes poste. Néanmoins, les tendues câbles situées entre la charpente du poste et le support d'arrêt ligne (en sortie du poste) sont définies par les règles mécaniques définies dans le CCG – Postes. Dans le cas d'une liaison mixte aéro-souterraine, les limites de la ligne aérienne sont les extrémités des câbles souterrains (non comprises).

2. Valeur de la tension en courant alternatif strictement supérieure à 50 kV.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Le CCG – LA Ouvrages Neufs constitue le document technique de référence pour la conception et la construction d'ouvrages neufs.
Les niveaux de tension pour le raccordement au RPT sont 63 kV *, 90 kV, 150 kV *, 225 kV et 400 kV en courant alternatif.
** pour le 63kV et le 150 kV, sauf spécifications contraires ou précision dans le CCTP, les spécifications requises sont respectivement celles des niveaux 90KV et 225 kV.*

La réglementation nationale (lois, décrets, Arrêté Technique[3], ...), les normes internationales relatives à la ligne et à ses composants, et la norme NF EN 50341, constituent le référentiel du CCG-LA Ouvrages Neufs.
Ce cahier des charges reprend l'essentiel des dispositions qui figurent dans la norme **NF EN 50341** relative aux lignes électriques aériennes de niveau de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif. En effet, cette norme prévoit que pour la réalisation de chaque ouvrage, certains points doivent être précisés dans une Spécification de Projet: c'est le CCG Lignes Aériennes Ouvrages Neufs qui remplit ce rôle. Il est complété par un Cahier des Clauses Techniques Particulières spécifique à chaque ouvrage.

En outre, le CCG-LA Ouvrages Neufs spécifie également les dispositions supplémentaires exigées par RTE et nécessaires au raccordement des lignes aériennes HTB au RPT afin de satisfaire aux critères de :

- sécurité des personnes et des biens
- sûreté du Système Electrique
- respect de l'environnement
- qualité de fourniture
- facilité d'exploitation et de maintenance.

A sa mise sous tension définitive, l'ouvrage neuf doit être conforme à l'intégralité des prescriptions définies dans le CCG-LA Ouvrages Neufs.

1 - 3 POSITIONNEMENT

L'objet de ce paragraphe est de positionner le CCG-LA Ouvrages Neufs par rapport au référentiel réglementaire concernant la conception et la réalisation de lignes aériennes HTB.
Les textes suivants sont opposables dans leur intégralité à toutes les lignes HTB :

- l'Arrêté Technique en vigueur fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

3. Arrêté Interministériel fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- la norme NF EN 50341 relative aux lignes électriques aériennes de niveau de tension supérieur à 45 kV en courant alternatif. Celle-ci définit les prescriptions qui doivent être appliquées à la conception et à la construction de lignes aériennes HTB neuves. Cette norme est composée d'une partie principale commune à tous les pays européens (Main Body) et d'une annexe normative nationale (NNA).
- l'UTE C18-510. Il définit les prescriptions permettant d'assurer la sécurité des personnes contre les dangers d'origine électrique, lorsqu'elles effectuent des opérations sur ou au voisinage des ouvrages électriques en exploitation ou sur les mêmes ouvrages électriques en construction, lorsqu'ils se trouvent au voisinage d'autres ouvrages électriques en exploitation.

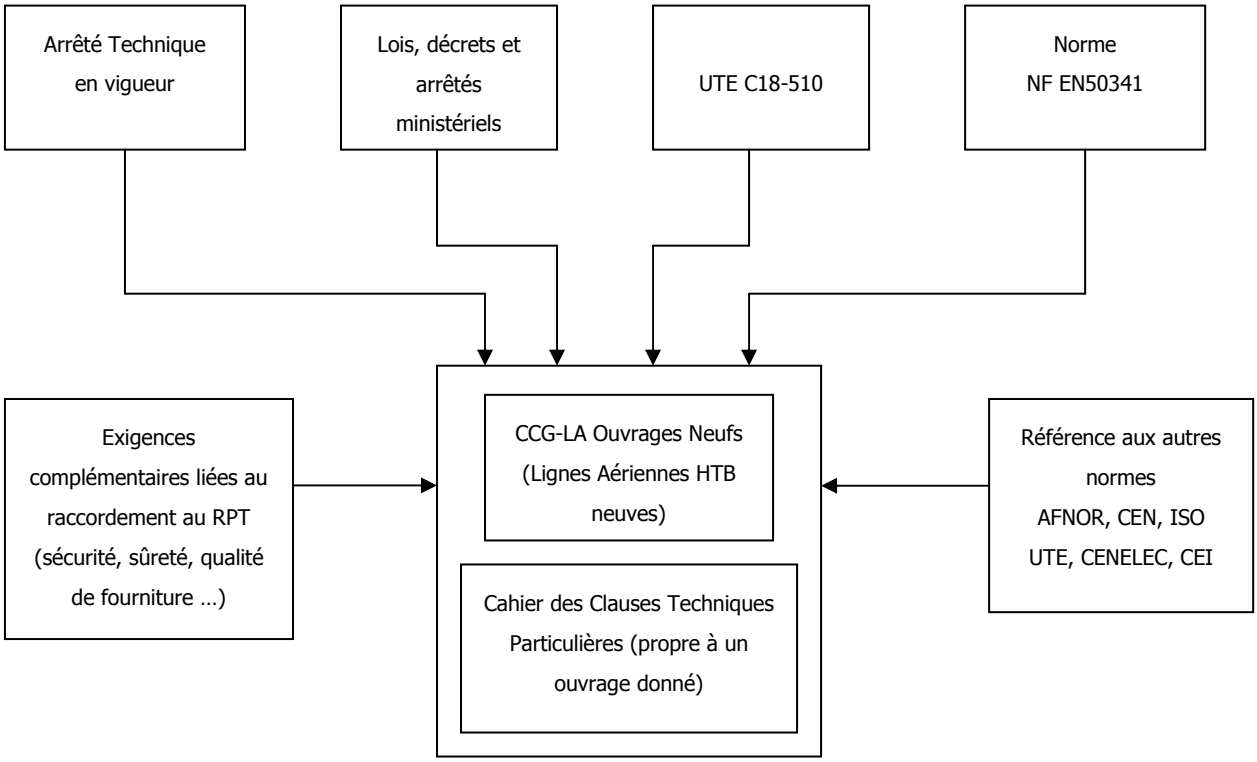


Figure 1 : référentiel du CCG-LA Ouvrages Neufs

1 - 4 STRUCTURE

Le CCG-LA Ouvrages Neufs s'organise en huit parties qui peuvent se regrouper en deux grands domaines, l'un concernant le dimensionnement de la ligne (parties 2 à 5) et l'autre concernant les spécifications des composants de la ligne (parties 6 à 8) :

- la présente Partie 1 « Présentation du CCG-LA Ouvrages Neufs ».
- la Partie 2 « Développement durable » définit le concept de développement durable appliqué à la construction de lignes aériennes HTB.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- la Partie 3 « Dimensionnement mécanique » définit les différentes hypothèses qui servent au dimensionnement mécanique des lignes aériennes HTB et les conditions à respecter.
- la Partie 4 « Dimensionnement électrique » aborde les différents aspects du dimensionnement électrique d'une ligne aérienne HTB, à savoir : les contraintes diélectriques appliquées aux ouvrages, les prises de terre, les contraintes dues au courant-échauffement, les contraintes de proximités-induction magnétique et capacitive-conduction, les champs magnétique et électrique à 50 Hz, l'effet couronne : bruits radioélectriques, acoustiques et pertes.
- la Partie 5 « Dimensionnement géométrique » définit les différentes distances que doit respecter une ligne aérienne HTB : tout d'abord, les distances de sécurité par rapport aux personnes et aux biens, puis les distances internes.
- la Partie 6 « Pylônes et poteaux » définit les exigences techniques génériques auxquelles doivent répondre les superstructures de lignes aériennes HTB (pylônes ou poteaux) et celles spécifiques à chaque famille.
- la Partie 7 « Fondations » définit les conditions techniques et de dimensionnement des fondations des supports de lignes aériennes HTB.
- la Partie 8 « Câbles, matériels de ligne, haubans » définit les exigences à respecter pour les câbles conducteurs et câbles de garde, les matériels de lignes aériennes HTB ainsi que les câbles et pièces de haubans.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 2. Développement Durable

Le principe de développement durable est basé sur le développement harmonieux des sphères économiques, sociales et environnementales, les trois piliers qui en sont le fondement.
L 'objectif est que le développement économique concilie le progrès économique et social et la préservation de l'environnement, considérant ce dernier comme un patrimoine à transmettre aux générations futures.
Le principe du développement durable consiste à développer ses activités en tenant compte de leurs impacts à court, moyen et long terme sur l'environnement, les conditions sociales et l'éthique et ce, au niveau mondial.
Ce concept repose sur la nécessité de préserver les ressources pour les générations futures tout en maintenant un objectif de croissance.

La construction d'une ligne aérienne doit intégrer les principes de développement durable aussi bien au niveau de sa conception que de sa réalisation. Les domaines dans lesquels des décisions « durables » peuvent être privilégiées sont : les pertes électriques, les champs électriques et magnétiques, l'impact visuel, le bruit, l'utilisation de matières premières, la biodiversité, le transport des hommes et d'engins, la tenue mécanique, les besoins en maintenance, la gestion des déchets.

Les pertes électriques : D'un point de vue environnemental, les pertes électriques constituent l'impact le plus important du réseau de transport. En effet, elles doivent être considérées comme une production d'électricité perdue, elle-même consommatrice d'énergie primaire et productrice de déchets et autres émissions polluantes. Les pertes électriques sont la somme des pertes dues à l'effet Joule et des pertes dues à l'effet couronne.
Les pertes Joule, qui représentent environ 92% du volume total de pertes sur le réseau, sont avant tout régies par l'intensité circulant dans les câbles conducteurs. Limiter les valeurs maximales de transit sur les ouvrages HTB constitue donc un moyen efficace de diminuer les pertes du réseau.
Le choix de la configuration des câbles conducteurs est également essentiel à l'optimisation des pertes électriques. En effet, qu'elles soient dues à l'effet Joule ou à l'effet couronne, les pertes électriques varient en fonction :

- de la résistance linéique du câble conducteur utilisé (pertes Joule uniquement),
- de la section du câble conducteur (les diamètres importants favorisent la diminution des pertes électriques), et
- du nombre de sous-conducteurs par faisceau (un nombre important de sous-conducteurs favorisent fortement la diminution des pertes électriques).

Dans une moindre mesure, le choix du repérage horaire sur les ouvrages double ternes permet d'optimiser les pertes, qu'elles soient dues à l'effet Joule ou à l'effet couronne.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Il est donc possible de réduire les pertes électriques d'un ouvrage, et donc son empreinte écologique, en optimisant son dimensionnement.

Les champs électriques et magnétiques : Les champs électriques et magnétiques 50Hz (CE&M50) générés par les lignes aériennes HTB de RTE constituent un sujet sensible lors de la phase de concertation. Toutefois, on peut, lors de la phase projet, optimiser la valeur de ces champs en augmentant la distance au sol des câbles conducteurs et en adoptant les armements (disposition géométrique des câbles conducteurs) et repérages horaires (dans le cas d'ouvrages double ternes) qui permettent de minimiser leur impact.

L'impact visuel: Il est difficile de recommander une configuration d'ouvrages limitant l'aspect visuel tant chaque projet est particulier. Toutefois, il est possible de recommander l'usage de pylônes ou poteaux s'intégrant au mieux dans leurs environnements respectifs, voire permettant l'absorption de l'ouvrage dans son environnement direct. Pour exemple : des monopodes en milieux urbains et des poteaux bois en milieux forestiers.

Le bruit : L'effet couronne est un phénomène apparaissant sur les lignes aériennes à haute et très haute tension. Ce phénomène se concrétise par des claquements diélectriques à la surface des câbles conducteurs. Ces claquements secs dans l'air produisent un grésillement caractéristique, semblable à un bourdonnement d'abeilles. L'effet couronne, et le **bruit** ainsi engendré, est avant tout fonction de la tension de l'ouvrage, ce phénomène se manifestant essentiellement sur les ouvrages 225kV et 400kV.
L'effet couronne (et donc le bruit) dépend également :

- de l'état de surface des câbles conducteurs (aspérités, dépôts, gouttelettes d'eau, …) ; ce phénomène augmentant pendant les précipitations et les périodes de vent fort,
- du diamètre équivalent des câbles conducteurs ; ce phénomène diminuant en cas d'augmentation du diamètre équivalent (augmentation du diamètre des câbles conducteurs et/ou multiplication des câbles conducteurs en faisceaux).

Les aspérités à la surface des câbles conducteurs peuvent être notamment dues à un manque de soin lors de l'installation des câbles conducteurs et à des dépôts extérieurs (poussière, insectes,…).

L'utilisation de matières premières : Le patrimoine de RTE représente 705 000 Tonnes équivalent de CO2, dont les lignes aériennes et les différents métaux qui les composent (aluminium, acier, cuivre, zinc, …) représentent 87% (Source : Travail réalisé pour le Bilan Carbone de RTE 2010). L'équivalent carbone représente la conversion en équivalence d'émissions de CO2 (unité de référence des gaz à effet de serre).
L'emploi de matériaux correspondant au plus faible tonnage équivalent de CO2 sera privilégié lors du choix entre deux solutions techniquement équivalentes.

La biodiversité : L'impact principal du réseau sur la biodiversité se situe au niveau des travaux réalisés pour la construction des ouvrages (déboisement, élagage, présence d'hommes et d'engins de chantier) et leur maintenance (travaux sur la végétation, peinture des pylônes).
Outre l'acte de débroussaillage et de coupe de la végétation, ces travaux ont également un impact fort sur les espèces floristiques et faunistiques à proximité, pouvant être piétinées et/ou écrasées par les engins ; effarouchées et/ou dérangées durant leur période de reproduction et/ou de nidification

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

(oiseaux). Dans le cadre d'intervention en espaces naturels protégés il est indispensable que les équipes contactent les organismes de gestion de ces espaces (organismes des parcs et réserves naturelles, associations de protection de la nature, …) afin de se renseigner sur les espèces protégées pouvant s'y trouver, sur les périodes d'intervention à privilégier (ce qui nécessite une forte anticipation), sur les bonnes pratiques à adopter.

Les émissions liées au transport d'hommes, de fournitures et d'engins : La limitation du kilométrage réalisé par les fournitures, engins et hommes pour un chantier est un moyen de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il est donc important dans la mesure du possible de privilégier un approvisionnement local et d'éviter les déplacement inutiles.

Le besoin en maintenance : Les interventions de maintenance sur ouvrage aérien, peuvent causer des gênes et/ou dommages à l'environnement et au voisinage. D'un point de vue environnemental et social, il est donc important de tenter de limiter ces interventions. Il est possible de tenter de limiter ces interventions en intégrant cette préoccupation aux prises de décisions techniques sur le choix des matériaux et/ou des techniques utilisées.

La gestion des déchets : La production de déchets lors de travaux sur les ouvrages de transport d'électricité est source de pollution pour l'environnement. Ces déchets sont de plusieurs natures : métaux (pylônes, câbles,…), verre (isolateurs), gravats (excavation de fondations, pistes,…), bois (création ou entretien de tranchées forestières), etc. Le producteur de déchets est tenu par la loi de les éliminer ou d'en faire assurer l'élimination dans des conditions respectueuses de la santé de l'homme et de l'intégrité de l'environnement.
On s'attachera donc, dans la mesure du possible, à générer le moins de déchets lors de phases travaux et on s'efforcera de mettre en œuvre les matériaux les moins polluants et le plus facilement recyclables.

Les choix concernant les différents critères techniques de l'ouvrage sont à réaliser en tenant compte des différents impacts environnementaux. En effet, on ne cherchera pas à élaborer un ouvrage qui optimise un seul critère, mais on s'efforcera de faire des choix qui constitueront un compromis dans l'optimisation de ces différents impacts.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 3. Dimensionnement mécanique

3 - 1 INTRODUCTION

La présente partie traite du dimensionnement mécanique des lignes aériennes HTB.
Elle est organisée en cinq chapitres dont cette introduction :

- le chapitre 3 - 2 « Textes de référence » rappelle les textes réglementaires et normatifs servant au dimensionnement mécanique des lignes aériennes HTB
- le chapitre 3 - 3 « Hypothèses de dimensionnement » définit les hypothèses à prendre en compte pour le calcul des efforts
- le chapitre 3 - 4 indique les « Conditions à respecter » pour chacune des hypothèses de dimensionnement
- le chapitre 3 - 5 « Hypothèse anti-cascade et vérification de la coordination de résistance » traite des vérifications à effecteur pour la mise en place de supports anti-cascade ainsi que pour la coordination des résistances entre supports.

3 - 1.1 Définitions

RESISTANCE MECANIQUE

La résistance mécanique d'un ouvrage et, par conséquent, sa sécurité en service est définie par le rapport entre les efforts entraînant la ruine ou un endommagement irréversible de l'ouvrage et les sollicitations résultant des efforts de service. Ce rapport est appelé par la suite coefficient de pondération.

EFFORTS DE SERVICE

Les efforts de service résultent :

- des charges permanentes,
- des charges dues au vent, à la température et au givre, [4]
- des charges apparaissant lors de la construction, l'entretien et l'exploitation (court-circuit) de la ligne.

CONTRAINTES ENTRAINANT LA RUINE

Selon les composants considérés, deux principaux types de contraintes sont pris en compte :

- celles conduisant à la rupture totale d'un élément (ruine),
- celles qui entraînent un dépassement de la limite élastique du matériau constituant l'élément étudié (endommagement irréversible).

---

4. Dans l'ensemble du présent document et sauf dérogation explicite, on désignera sous le nom de "givre" l'une quelconque des formes solides de l'eau : neige collante, verglas ou givre proprement dit.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

COEFFICIENTS DE PONDERATION

La valeur adoptée pour le "coefficient de pondération", dépend :

- des cas de vérifications (incluant les conditions climatiques),
- des matériaux et matériels employés pour lesquels les critères de ruine peuvent avoir des définitions différentes.

3 - 2 TEXTES DE REFERENCE

3 - 2.1 Réglementation

La réglementation actuelle en matière de dimensionnement mécanique repose sur :

- l'Arrêté Technique en vigueur relatif aux « conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique ».

3 - 2.2 Normes

- Norme NF EN 50341-1 (Chapitres 3 et 4) relative aux lignes électriques aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif et les Aspects Normatifs Nationaux.

3 - 3 HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

Les hypothèses à retenir pour le dimensionnement mécanique des ouvrages sont :

- les hypothèses météorologiques (vent, froid et givre),
- l'hypothèse électrodynamique (court-circuits biphasés ou triphasés sans terre),
- les hypothèses complémentaires (conditions de conception, de construction et d'entretien des ouvrages).

CAS PARTICULIERS DES SUPPORTS D'ARRET AU POSTE

Pour ces supports, il est nécessaire de vérifier les deux états de chargement suivants, dans chacune des hypothèses retenues pour le calcul mécanique de l'ouvrage :

- le pylône est équipé de câbles de part et d'autre,
- le pylône n'est équipé de câbles que du côté "ligne", on suppose donc que les connexions de la portée du côté poste ne sont pas encore mises en place.

3 - 3.1 Hypothèses météorologiques

D'une manière générale, les efforts exercés par le vent dans chacune des hypothèses météorologiques sont déterminés en multipliant les pressions indiquées par la surface offerte au vent :

- des cornières ou des éléments plans,
- des surfaces diamétrales pour les câbles chargés ou non de givre, des éléments cylindriques ou de révolution.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Quand une phase est composée de plusieurs câbles conducteurs groupés en faisceau, la pression du vent doit être appliquée intégralement sur chacun des câbles conducteurs, avec ou sans givre.

3 - 3.1.1 Hypothèses de vent

Selon la situation géographique de l'ouvrage ou de la portion d'ouvrage étudiée, l'hypothèse de vent à considérer est l'hypothèse "A-ZVN" (zone à vent normal), l'hypothèse "A-ZVF" (zone à vent fort) ou l'hypothèse "A-HPV" (zone à haute pression de vent).

La zone à vent fort comprend :

- La vallée du Rhône, en aval de Lyon,
- La région de Perpignan, la Corse, les départements des Côtes d'Armor, du Finistère et du Morbihan,
- Les zones côtières sur environ 20 km de profondeur.

La zone à haute pression de vent comprend :

- Les estuaires et le voisinage immédiat du Rhône jusqu'à Lyon,
- Le littoral sur une bande de 2 km.

Par complémentarité, la zone à vent normal comprend toutes les autres zones du territoire national.

Dans le cas de sites particulièrement exposés tels que les crêtes montagneuses séparant deux vallées, l'hypothèse A-HPV pourra également être retenue, se référer dans ce cas au CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) de l'ouvrage.

Les valeurs à prendre en compte pour ces hypothèses sont les suivantes :

	A-ZVN	A-ZVF	A-HPV
TEMPERATURE DES CABLES (°C)	+15	+15	+15
Pression du vent (Pa) sur :			
- Cornières, éléments plans	1200	1330	1515
- Les éléments cylindriques des superstructures de diamètre d (cm)			
d≤15 cm	855 - (19xd)	960 - (21,3 x d)	1080 - (24xd)
d>15 cm	570	640	720
- Les poteaux cylindriques	475	530	600
- Les câbles d'une portée (*)	570	640	720

(*) Pour le calcul des portiques des postes, les valeurs de la pression exercée par le vent sur les câbles de la portée comprise entre le pylône d'arrêt et le portique sont celles indiquées dans le Cahier des Charges Général - Postes.

Nota : les pressions indiquées ne sont valables, pour des pylônes, que sur des tronçons situés à moins de 60 m au-dessus du sol et pour des câbles conducteurs jusqu'à une hauteur moyenne au-dessus du sol de 30 m. Pour des hauteurs supérieures, une étude particulière est nécessaire afin de déterminer les pressions de vent.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3 - 3.1.2 Hypothèse de froid

Les valeurs à prendre en compte pour cette hypothèse sont les suivantes :

TEMPERATURE DES CABLES (°C)	- 20
Pression du vent (Pa) sur :	
- Les éléments plans	300
- Les éléments cylindriques des superstructures	180
- Les câbles d'une portée	180 (*)

(*) Pour le calcul des portiques des postes, les valeurs de la pression exercée par le vent sur les câbles de la portée comprise entre le pylône d'arrêt et le portique sont celles indiquées dans le Cahier des Charges Général – Postes.

3 - 3.1.3 Hypothèses de givre

Les surcharges pondérales prises en compte dans l'hypothèse de givre revêtent les trois aspects distincts que sont la neige collante, le verglas déposé lors d'un épisode de pluie verglaçante et le givre proprement dit.
On suppose que la surcharge de givre est identique pour chaque câble d'une même portée. Elle est définie conventionnellement par l'épaisseur du manchon de givre uniformément réparti le long de la portée et de masse volumique prise égale à 600 kg/m^3.

La valeur de surcharge de givre à prendre en compte dépend de la situation géographique de l'ouvrage ou de la portion d'ouvrage étudié. Deux types de zones sont à considérer :

- zone de plaine : altitude < 700 m
- zone de montagne : altitude $\geqslant$ 700 m.

L'épaisseur du manchon de givre dépend donc directement de l'altitude. Dans les zones de plaine, la présence ou non de risque de neige collante va également être déterminante dans la valeur de l'épaisseur de givre à prendre en compte.

Dans les zones de pluie verglaçante, il n'y a pas lieu de considérer une épaisseur de givre particulière.

Suivant la situation géographique de l'ouvrage, l'hypothèse à considérer peut être soit l'hypothèse de givre léger (2 cm), soit l'hypothèse de givre moyen (3 ou 4 cm), soit l'hypothèse de givre lourd (5 ou 6 cm).

On détermine les surcharges pondérales à appliquer en fonction du tableau ci-dessous :

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Types de terrain	Altitude de la zone H (en m)	Surcharges du manchon	Epaisseurs (en cm)
Plaine	H < 500 sans risque de neige collante	légère	2
	500 ⩽ H < 700 sans risque de neige collante	moyenne	3
	H < 700 avec risque de neige collante	moyenne	4
Montagne	700 ⩽ H < 850	moyenne (*)	4
	850 ⩽ H < 1700	lourde (*) (**)	5
	1700 ⩽ H		6

Valeurs d'épaisseur du manchon de givre

(*) Exceptionnellement, en zone de montagne, il est possible d'envisager une épaisseur du manchon supérieure à 6 cm.

(**) Pour les portées de longueur supérieure à 2000 m et situées à une altitude supérieure à 1500 m, on admet que la surcharge de givre sur la portée n'est pas uniforme et que l'épaisseur moyenne équivalente du manchon vaut 4 cm.

Les valeurs à prendre en compte pour les hypothèses de givre sont les suivantes :

Givre	léger	moyen	lourd(*)
Epaisseur du manchon (cm)	2	3 ou 4	5 ou 6
Température des câbles (℃)	-5		
Coefficient de poids propre sur les pylônes/poteaux	1	2(**)	2(**)
Pression du vent (Pa) sur :			
- Les éléments plans	300	1000(**)	1000(**)
- Les éléments cylindriques	180	180	180
- Le manchon recouvrant les câbles d'une portée	180	180	180

(*) Exceptionnellement, il est possible d'envisager une épaisseur du manchon supérieure à 6 cm.
(**) Pour les pylônes treillis, on suppose que les barres ne sont pas recouvertes de givre dans les zones de givre léger. Dans le cas de givre moyen ou lourd, on prend en compte un dépôt de givre sur les barres en multipliant les efforts dus au poids permanent et au vent propre du pylône respectivement par un coefficient forfaitaire approprié; c'est pourquoi la pression de vent est à appliquer sur les barres non givrées.

Quand une phase est composée de plusieurs câbles conducteurs groupés en faisceau, la surcharge de givre doit s'appliquer de manière identique sur chacun des câbles conducteurs.

Hypothèse de givre symétrique

Dans les conditions définies ci–dessus, on considère les câbles de l'ensemble des portées de l'ouvrage ou de la portion d'ouvrage, uniformément recouverts du manchon de givre.

Hypothèse de givre dissymétrique

Dans les conditions de température et de vent définies ci-dessus, on considère une différence d'épaisseur de givre égale à 2 cm sur les câbles des portées du canton situées de part et d'autre du support à calculer, c'est-à-dire :

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- 2 et 0 cm pour les zones à givre léger,
- 3 et 1 cm ou 4 et 2 cm pour les zones à givre moyen,
- 5 et 3 cm ou 6 et 4 cm pour les zones à givre lourd.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3 - 3.1.4 Récapitulatif des valeurs à prendre en compte

Désignation	Température des câbles ℃	Vent sur les structures				Vent sur les câbles		manchon de givre sur les câbles
		surface plane (Pa)	éléments cylindriques d ≤ 15 cm (Pa)	éléments cylindriques d >15 cm (Pa)	poteau cylindrique (Pa)	câbles nus (Pa)	manchon de givre (Pa)	
A-ZVN	+ 15	1200	855-19d	570	475	570	***	***
A-ZVF	+ 15	1330	960-21,3d	640	530	640	***	***
A-HPV	+ 15	1515	1080-24d	720	600	720	***	***
B	- 20	300	180	180	180	180	***	***
Givre léger	- 5	300	180	180	180	***	180	2 cm
Givre moyen	- 5	1000	180	180	180	***	180	3 cm ou 4 cm
Givre lourd	- 5	1000	180	180	180	***	180	5 cm ou 6 cm ou > 6 cm

3 - 3.2 Hypothèse de l'EDS

Nota : L'hypothèse de l'EDS est à vérifier pour tout ouvrage appartenant au RPT.

3 - 3.2.1 Les vibrations éoliennes

Le vieillissement des lignes aériennes qui résulte de l 'action du vent est principalement dû à l'apparition de phénomènes vibratoires au niveau des câbles.
Il s'agit en particulier des vibrations éoliennes qui sont des vibrations à haute fréquence se produisant dans un plan vertical et générées par des vents faibles, de direction transversale à la ligne.
L'utilisation de dispositifs amortisseurs tels que les bretelles antivibratoires ou les stockbridges permet d'atténuer l'amplitude des vibrations éoliennes.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Cependant, la vulnérabilité des câbles aux vibrations éoliennes augmente avec la tension mécanique dans le câble. Cela reste vrai même si les câbles sont équipés de dispositifs d'amortissement.
Il est donc nécessaire, notamment pour les ouvrages dont les câbles sont particulièrement tendus et même en présence de dispositifs d'amortissement, d'intégrer une hypothèse de dimensionnement mécanique qui permet de contrôler le niveau de tension des câbles et de maintenir ainsi le risque d'exposition aux vibrations éoliennes à un niveau acceptable.
C'est le rôle de l'hypothèse dite de l'EDS (Every Day Stress).

3 - 3.2.2 Règle de vérification de l'EDS

L'EDS (Every Day Stress) est la contrainte de « tous les jours », celle à laquelle est généralement soumis le câble la plupart du temps tout au long de sa vie.
L'hypothèse de l'EDS correspond à une température de 15°C en l'absence de vent et de givre.

La vérification mécanique à l'hypothèse de l'EDS s'établit comme suit :
La tension mécanique horizontale dans le câble calculée à 15°C sans vent et sans givre doit rester inférieure à 23 % de la CRA (Charge de Rupture Assignée) du câble.

Autrement dit, si l'on note T_0 la tension horizontale dans le câble, la vérification de l'EDS s 'écrit :
A 15°C, en l'absence de vent et de givre : **$T_0 < 0,23 \times CRA$**

La tension mécanique horizontale du câble doit être considérée dans son état final, c'est-à-dire sans prendre en compte la correction de température prévue pour le calcul de la flèche de pose.

Ce seuil de 23 % constitue une limite à ne pas dépasser pour contenir l'importance des vibrations éoliennes et se prémunir ainsi contre leur effet. Ce seuil doit être pris comme une limite maximale et non comme un objectif. La capacité amortissante du câble décroît avec l'augmentation de la tension mécanique. Une tension mécanique plus faible est donc préférable pour garantir une meilleure protection contre les vibrations éoliennes.

Cette règle s'applique à la fois sur les câbles conducteurs et les câbles de garde.

3 - 3.3 Hypothèse électrodynamique

3 - 3.3.1 Généralités

Les efforts engendrés lors d'un court-circuit sont dus, dans un premier temps, aux forces de Laplace puis, à la fin du défaut, au "coup de fouet" provoqué par la chute libre des câbles conducteurs. La durée du défaut varie suivant le niveau de tension de l'ouvrage.
En fonction de la valeur du courant de court-circuit triphasé (se référer au CCTP) prévue en étape finale pour le poste sur lequel se raccorde la ligne aérienne étudiée, il est nécessaire de vérifier la tenue mécanique des portées de l'ouvrage aux charges dues aux efforts électrodynamiques.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3 - 3.3.2 Surcharges dues aux efforts électrodynamiques

Calcul des efforts dus au court-circuit

Le court-circuit à prendre en considération pour le calcul des efforts est le court-circuit biphasé (sauf pour le pincement des faisceaux pour lequel on retient des défauts triphasés) sans terre à l'endroit du défaut, à savoir :

$$I_{CC}\,\text{biphasé} = \frac{\sqrt{3}}{2}\ I_{CC}\,\text{triphasé}$$

Application des vérifications mécaniques

Pour la vérification mécanique des matériels et des structures, on doit considérer les efforts instantanés maximaux engendrés sur deux phases (si défaut biphasé) ou sur trois phases (si défaut triphasé) :

- soit par un court-circuit correctement éliminé (correspondant au temps de 120 ms par exemple pour le 400 kV),
- soit par un court-circuit pour lequel on retrouve le défaut au réenclenchement (par exemple pour la HT, cycle : 120 ms de défaut suivi de 2 à 5 s d'isolement puis de nouveau 90 ms de défaut).

Pour les supports, le dimensionnement porte sur les deux cas suivants :

- le court-circuit ne parcourt la ligne que d'un seul côté du pylône; le pylône est dans ce cas le lieu du défaut et l'Icc, dû au poste le plus proche, s'écoule vers ce dernier; de l'autre côté du pylône, on néglige l'apport des autres extrémités.
- le court-circuit parcourt la ligne de chaque côté du pylône; ce dernier se situe dans ce cas entre le lieu du défaut et le poste source qui participe à l'Icc.

Conditions et valeurs à prendre en compte

Type de défaut	• biphasé isolé • triphasé isolé (uniquement pour les vérifications au pincement des faisceaux)
Angle de phase de la tension électrique (à l'origine du défaut)	• 0° en biphasé • 165° en triphasé
Apport subtransitoire	nul
Conditions de vent et de température	• Vent A-ZVN sur tout l'ouvrage • Température des câbles conducteurs avant défaut de 40℃ (*) – température en régime de service permanent.(voir définition § 4 - 2.1.1)
(*) Cette température de 40 ℃ ne s'applique qu'aux câbles conducteurs définis dans la norme EN 50182 (câbles conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) ainsi qu'à ceux définis dans la norme CEI 62219 (câbles conducteurs dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins circulaires au centre et de brins de forme sur les couches extérieures – câbles conducteurs de type Azalée utilisés par RTE). Pour les autres câbles conducteurs, la température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.	

Conditions communes à tous les niveaux de tension.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Afin de réduire la multiplicité des cycles d'élimination possibles, compte tenu de leur probabilité d'occurrence (défaillance de disjoncteur ou des dispositifs de protection) et des réductions du courant durant les cycles d'élimination, les notions de temps mécanique équivalent ont été introduites pour fixer simplement le temps d'élimination de dimensionnement électrodynamique.
Un temps mécanique équivalent est défini par sa durée t_e et en cas de réenclenchement par le temps d'isolement t_i et la durée de l'élimination du défaut éventuellement retrouvé, soit sous forme synthétique : t_{e1} / t_i / t_{e2}.

	400 kV	225 kV	63 ou 90 kV (plan 225 kV et HT)	63 ou 90 kV (plan électromécanique)
Critère de prise en compte de l'hypothèse électrodynamique	I_{CC} triphasé réel à l'année N+5 ou en phase finale doit être > 40 kA	I_{CC} > 31,5 kA	I_{CC} > 20 kA	I_{CC} > 20 kA
Constante de temps du réseau	70 ms	160 ms	200 ms	200 ms
Durée du défaut Vérifications mécaniques	- 120 ms	- 120 ms pour les lignes à faisceaux - 120 ms / de 2 à 5 s (*) / 90 ms (réenclenchement) pour les lignes à câble conducteur unique	- 120 ms / de 2 à 5 s (*) /90 ms (réenclenchement lent) - 120 ms / 300 ms / 90 ms (vérification supplémentaire pour les lignes prévues pour le réenclenchement rapide)	- 210 ms / de 4,5 à 5,5 s (*) / 150 ms (réenclenchement lent) - 210 ms /300 ms / 150 ms (vérification supplémentaire pour les lignes prévues pour le réenclenchement rapide)

Conditions spécifiques à chaque niveau de tension.

(*) pour le réenclenchement lent, la durée d'isolement à considérer est la plus pénalisante dans la fourchette indiquée.

3 - 3.4 Hypothèses complémentaires

Ces hypothèses complémentaires s'appliquent :

- Soit pour la conception d'une nouvelle famille de pylônes,
- Soit pour le développement d'un pylône particulier ou l'emploi d'un pylône issu d'une famille dont ces hypothèses complémentaires n'ont pas été vérifiées lors de la conception.

Dans le cas de la conception d'une nouvelle famille de pylônes, ces hypothèses correspondent aux cas d'utilisation la plus courante des pylônes (bases d'établissement), à savoir :

- câbles et paramètres usuels, pour le type de pylônes considéré,
- portées égales au 1/4 du paramètre de réglage,
- angle usuel pour le type de pylône,
- dénivelé nul (sauf pour les hypothèses de construction et d'entretien).

Dans les autres cas (développement d'un pylône particulier ou emploi d'un pylône issu d'une famille dont les hypothèses complémentaires n'ont pas été vérifiées lors de sa conception), elles sont à vérifier pour l'ouvrage spécifique sur lequel le pylône sera installé.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3 - 3.4.1 Charges de sûreté

Hypothèse de torsion

Cette hypothèse définit une résistance minimale à la torsion, nécessaire :

- pour limiter les avaries de pylônes en cas de rupture d'un câble ou d'un manchon de jonction ou d'ancrage. Pour les faisceaux, on considère la rupture d'un seul des câbles conducteurs constituant le faisceau.
- pour supporter la dissymétrie transversale provoquée par des charges inégales de givre ou de neige sur les câbles d'une même portée.

Elle consiste à appliquer successivement à chaque point d'accrochage l'effort statique résultant de la rupture, dans une portée adjacente, du câble qui y est fixé.

L'effort longitudinal correspondant est calculé :

- en hypothèse de vent A-ZVN dans le cas de la conception d'une nouvelle famille de pylônes (selon les indications des bases d'établissement)
- en hypothèse de vent A-ZVN, A-ZVF ou A-HPV, selon la zone d'implantation du pylône, dans le cas du développement d'un pylône particulier ou de l'emploi d'un pylône issu d'une famille dont les hypothèses complémentaires n'ont pas été vérifiées lors de sa conception

et en supposant :

- câble conducteur ou câble de garde **en ancrage** : effort statique longitudinal réel agissant d'un coté du support et effort réduit ou nul de l'autre côté du point d'accrochage où le câble est supposé rompu.
- câble conducteur ou câble de garde **en suspension** : effort statique longitudinal d'un côté en tenant compte de la détente due à l'inclinaison de la chaîne. L'effort en question est limité à 3000 daN dans le cas de l'utilisation de pinces à glissement contrôlé ou à seuils, il n'est pas limité dans le cas contraire.

Hypothèses de vent particulières

Ces hypothèses servent, pour les pylônes treillis de suspension en alignement et en angle léger, à assurer une tenue minimale aux efforts longitudinaux.

Les 4 conditions de calcul qui suivent sont à prendre en compte dans les hypothèses de vent correspondant à celles d'une zone A-ZVN (selon les indications des bases d'établissement):

- Pylône non équipé de ses câbles :
  - vent longitudinal
  - vent à 45°
- Pylône équipé de ses câbles :
  - vent longitudinal sur le pylône et vent nul sur les câbles
  - vent à 45° sur le pylône et vent moitié sur les câbles

3 - 3.4.2 Charges de construction et d'entretien des ouvrages

Nous rappelons que les hypothèses définies ici sont à prendre en compte uniquement pour la conception d'une nouvelle famille de pylônes ou le développement d'un pylône particulier ou l'emploi

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

d'un pylône issu d'une famille dont les hypothèses complémentaires n'ont pas été vérifiées lors de sa conception.

Les conditions météorologiques à prendre en compte sont les suivantes :

- température : + 5°C,
- absence de vent.

Les cas de charge à retenir pour le calcul des supports sont les suivants :

a) Décrochage d'un ou plusieurs câbles conducteurs (ou mise en place pas encore faite) sur les pylônes de suspension (dissymétrie de charge)

Pour les pylônes nappe horizontale ou chat, on suppose qu'un ou deux câbles conducteurs (ou faisceaux de câbles conducteurs) n'ont pas été mis en place ou sont décrochés.
Pour les pylônes armés en triangle, danube, ou double drapeau, on suppose qu'un seul câble conducteur ou faisceau de câbles conducteurs n'a pas été mis en place.

b) Haubanage d'un câble (câble conducteur ou câble de garde) retenu par un hauban ancré au sol

On suppose qu'un câble (câble conducteur ou câble de garde) est retenu par un hauban ancré au sol.
Les conditions particulières de haubanage suivantes s'appliquent :

- la détente admise correspond à une inclinaison de 10° de la chaîne de suspension d'un câble conducteur ; elle est supposée nulle pour un câble de garde
- la pente du hauban est égale à :
  - dans le cas de la conception d'une famille de pylônes : 1/3 pour le type le plus léger de la série et 1/2 pour les autres types
  - dans le cas du développement d'un pylône particulier : 1/3
- la dénivellation de la portée précédant le haubanage est égale à :
  - dans le cas de la conception d'une famille de pylônes : $h_1/a_1 = + 0,05$ pour le type le plus léger de la série et $h_1/a_1 = + 0,10$ pour les autres types de la série
  - dans le cas du développement d'un pylône particulier : $h_1/a_1 = + 0,05$
    où a_1 est la portée et h_1 est la dénivellation entre les points d'accrochage.
- la dénivellation de la portée succédant au haubanage est nulle.

Dans les cas de haubanage d'un pylône d'angle, on suppose que les haubans sont situés dans le plan de la portée contenant les câbles détendus.

Des graphiques sont à établir pour indiquer les possibilités de haubanage des pylônes de suspension dans des utilisations différentes. Ils sont remis aux Exploitants.

c) Haubanage de la totalité des câbles

On suppose que tous les câbles supportés par le pylône sont retenus par des haubans ancrés au sol.
Les conditions qui s'appliquent sont les mêmes que précédemment à l'exception de la pente du hauban égale à 1/3 pour tous les types de la famille.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

d) Montage des pylônes : prise en compte de la présence du monteur sur les barres

On applique successivement au milieu de toutes les barres, autres que les membrures, une force verticale de 100 daN correspondant au poids d'un monteur et de son petit outillage. Cette force est portée à 300 daN pour les barres susceptibles de supporter une échelle.

3 - 4 CONDITIONS A RESPECTER

3 - 4.1 Hypothèses météorologiques

Les conditions à respecter pour assurer la résistance mécanique des ouvrages sont définies pour des cas de vérification caractérisés par les états de chargement des structures, la nature des charges appliquées et les conditions climatiques.
Les conditions à respecter sont de trois types, selon les matériaux et matériels considérés qui constituent les ouvrages :

- conditions de résistance à l'**effort** maximal admissible,
- conditions de résistance à la **contrainte** maximale admissible,
- conditions de stabilité des **massifs** de fondation et de pression maximale admissible en fond de fouille.

Cas de respect de l'effort maximal admissible

L'effort maximal admissible pour une hypothèse particulière est défini par l'effort entraînant la **ruine** d'une structure (charge de rupture) divisé par le coefficient de pondération propre à cette hypothèse.
Dans ce cas, les calculs justificatifs doivent montrer que les charges dans chacune des hypothèses restent inférieures à cet effort maximal admissible.
Cette condition concerne :

- les câbles,
- les haubans,
- les armements et les manchons d'ancrage,
- les poteaux béton.

Cas de respect de la contrainte maximale admissible

La contrainte maximale admissible est définie par la **limite élastique ou la contrainte de rupture (minimale garantie)** du matériau divisée par le coefficient de pondération du cas de vérification étudié.
Dans ce cas, les calculs justificatifs doivent montrer que les contraintes dues aux charges dans chacune des hypothèses restent inférieures à cette contrainte maximale admissible.
Cette condition concerne les structures métalliques des pylônes ou poteaux réalisées en matériaux à limite d'élasticité minimale garantie.

Massifs de fondation

Les conditions de stabilité que doivent respecter les massifs de fondations sont explicitées dans la Partie 7 « Fondations ».

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3 - 4.2 Autres hypothèses

Dans l'hypothèse électrodynamique, le coefficient de stabilité utilisé pour les fondations est de 1.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3 - 4.3 Récapitulatif

Les conditions à respecter pour les matériaux et les matériels constituant les lignes aériennes sont récapitulées ci-après :

Cas de vérification			Conditions à respecter							
Nature des surcharges		Hypothèses météorologiques	câbles haubans manchons (*)		armements (matériel d'équipement)		Pylônes treillis, monopodes et éléments métalliques		poteaux béton	
			effort maximal admissible		effort maximal admissible		contrainte maximale admissible		effort maximal admissible	
charges statiques		A-ZVN, A-ZVF, A-HPV	0,95x CRA/3	x	R/3	x	Rem/1,8	x	R/2,1	x
		B	0,95x CRA/3	x	R/3	x	Rem/1,8	x	R/2,1	x
		givre léger, moyen, lourd, (symétrique et dissymétrique)	0,95x CRA/1,4	x	0,6 x R	x	Rem (1)	x	R/1,3	x
surcharge électrodynamique		vent A-ZVN température 45°C	0,95x CRA/1,4	0	0,6 x R	0	Rem	0	R/1,3	0
Charges de sûreté	hypothèse de torsion	A-ZVN					Rem	/	R/1,3 (**)	/
	Hypothèses de vent particulières	A-ZVN					Rem/1,8	/	R/2,1	/
Charges de construction et d'entretien	hypothèse de déroulage des câbles	+ 5°C vent nul					Rem/1,8	/	R/2,1	/
	hypothèse de montage des pylônes	+ 5°C vent nul					Rem/1,2 (hypothèse définie au § 3 - 3.4.2- d)	/	R/1,4	/

CRA : charge de rupture assignée
R : effort ou contrainte de rupture
Rem : contrainte de limite élastique minimale garantie

x : vérification à effectuer dans chaque projet
0 : vérification particulière à effectuer selon les conditions de court-circuit
/ : vérification à effectuer lors de l'étude d'une nouvelle superstructure
(**) uniquement pour les supports de classe F

(*) Pour les manchons, on prendra le minimum entre cette colonne et la colonne armements
Le facteur 0,95 tient compte de la perte de tenue du câble et du manchon lors de l'opération de matriçage

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

(1) Cette condition concerne les conceptions futures de pylônes et les familles de pylônes de RTE conçues à partir de 1992. Pour les autres familles de pylônes de RTE conçues avant 1992, la condition à respecter est : Ref.
Ref est la contrainte de limite élastique moyenne.

3 - 5 HYPOTHESE ANTI-CASCADE ET VERIFICATION DE LA COORDINATION DE RESISTANCE

La mise en place de supports anti-cascade, ainsi que la coordination des résistances entre supports, ont pour unique but de limiter la ruine de l'ouvrage. On rappelle qu'un support anti-cascade peut être soit un support de suspension ou un support d'ancrage.

3 - 5.1 Hypothèse anti-cascade

On considère ici la rupture totale des câbles d'un côté puis de l'autre du support.
On doit mettre en place des supports anti-cascades à intervalles réguliers (tous les 10 supports environ).

3 - 5.1.1 Calcul des efforts

Les pressions de vent à retenir sont celles de l'hypothèse de vent à considérer du paragraphe 3 - 3.1.1.
Le support doit être vérifié en hypothèse de vent dans une configuration de chargements issus de la rupture de tous les câbles conducteurs et de tous les câbles de garde dans la portée adjacente alternativement à droite puis à gauche avec un coefficient de 1 par rapport à la limite élastique minimale garantie.

3 - 5.1.2 Conditions à respecter

Le coefficient de pondération à retenir est de 1 par rapport à la limite de contrainte maximale admissible du pylône/poteau considéré :

Cas de vérification	Conditions à respecter		
Hypothèses météorologiques standards (voir paragraphe 3 - 3.1.1)	Pylônes métalliques treillis	Monopodes métalliques	Poteaux béton
	contrainte maximale admissible	contrainte maximale admissible	effort maximal admissible
A-ZVN, A-ZVF, A-HPV	Rem	Rem	R

NOTA : R : effort ou contrainte de rupture

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Rem : contrainte de limite élastique minimale garantie

Les efforts obtenus sur les massifs de fondations dans cette hypothèse sont à considérer pour le dimensionnement des massifs. Les modalités de calcul des fondations sont définies dans la Partie 7 « Fondations ».

3 - 5.2 Coordination de résistance

La coordination mécanique est exigée seulement entre les supports.
On doit vérifier, en hypothèse **de tenue au vent ultime** (pressions ultimes de la zone de vent considérée), que les divers types de supports présentent entre eux une bonne coordination des résistances, c'est à dire que :

- un support anti-cascade doit présenter une meilleure tenue qu'un support de suspension ou d'ancrage,
- un support d'arrêt doit avoir une meilleure tenue qu'un support anti-cascade.

3 - 5.2.1 Calcul des efforts

Les pressions de vent à retenir sont les suivantes :

a) Superstructures métalliques

ZONE	Température ℃	Vent sur les structures				Vent sur les câbles
		Surfaces planes (Pa)	Eléments cylindriques d ≤15 cm (Pa)	Eléments cylindriques d >15 cm (Pa)	Poteaux cylindriques (Pa)	Câbles nus (Pa)
A-ZVN	+15	2160	1539-34,2d	1026	855	1026
A-ZVF	+15	2394	1728-38,4d	1152	954	1152
A-HPV	+15	2727	1944-43,2d	1296	1080	1296

b) Poteaux béton

ZONE	Température ℃	Vent sur les structures				Vent sur les câbles
		Surfaces planes (Pa)	Eléments cylindriques d ≤15 cm (Pa)	Eléments cylindriques d >15 cm (Pa)	Poteaux cylindriques (Pa)	Câbles nus (Pa)
A-ZVN	+15	2520	1796-39,9d	1197	997	1197
A-ZVF	+15	2829	2016-44,8d	1344	1120	1344
A-HPV	+15	3183	2268-50,4d	1512	1260	1512

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3 - 5.2.2 Conditions à respecter

On doit retenir les coefficients de pondération précisés ci-dessous :

Cas de vérification	Conditions à respecter			
Hypothèses météorologiques ultimes	Types de supports	Pylônes treillis	Monopodes métalliques	Poteaux béton
		contrainte maximale admissible	contrainte maximale admissible	effort maximal admissible
A-ZVN	non anti-cascades	Rem	Rem	R
A-ZVF	anti-cascades	Rem/1,1	Rem/1,1	R/1,1
A-HPV	arrêts	Rem/1,2	Rem/1,2	R/1,2

NOTA :
R : effort ou contrainte de rupture
Rem :contrainte de limite élastique minimale garantie

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 4. Dimensionnement Electrique

4 - 1 INTRODUCTION

Cette partie traite du dimensionnement électrique des lignes aériennes HTB.
Elle est organisée en sept chapitres dont cette introduction :

- le chapitre 4 - 2 « Régimes d'exploitation d'un ouvrage et échauffement des câbles conducteurs » définit les différents régimes d'exploitation d'un ouvrage et les exigences auxquelles doivent répondre les lignes aériennes HTB vis-à-vis des contraintes d'échauffement entraînées par le passage de courant
- le chapitre 4 - 3 « Contraintes diélectriques appliquées aux ouvrages » définit les exigences de coordination d'isolement des lignes aériennes HTB
- le chapitre 4 - 4 est relatif au « Dimensionnement des prises de terre »
- le chapitre 4 - 5 « Contraintes et échauffement dus au courant de court-circuit » définit les exigences auxquelles doivent répondre les lignes aériennes HTB vis-à-vis des contraintes d'échauffement entraînées par le passage de courant de court-circuit
- le chapitre 4 - 6 « Contraintes de proximité-induction magnétique et capacitive-conduction » traite des contraintes d'induction et de conduction générées par les lignes aériennes HTB
- le chapitre 4 - 7 « Champs magnétique et électrique à 50 Hz » traite des champs magnétique et électrique générés par le courant et la tension
- le chapitre 4 - 8 « Effet couronne : bruits radioélectriques, acoustiques et pertes » traite de l'effet couronne généré par les lignes aériennes HTB et des perturbations qui en résultent.

4 - 2 REGIMES D'EXPLOITATION D'UN OUVRAGE ET ECHAUFFEMENT DES CABLES CONDUCTEURS

4 - 2.1 Présentation

Ce chapitre définit les différents régimes d'exploitation d'un ouvrage et les exigences auxquelles doivent répondre les lignes aériennes HTB vis - à - vis des contraintes d'échauffement entraînées par le passage de courant.

4 - 2.1.1 Définitions

Pour les lignes HTB, il existe plusieurs types de régime de transit (ou régime d'exploitation). Parmi-ceux-ci, on distingue un régime de secours temporaire et des régimes de surcharge transitoires. Ces deux types de régime permettent de pallier la défaillance ou l'indisponibilité fortuite d'autres lignes ou éléments de réseau et correspondent à une intensité calculée de manière à ce que les distances au sol

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

et aux obstacles spécifiées dans la Partie 5 « Dimensionnement géométrique » soient respectées. On définit ces deux régimes tels que :

Régime de secours temporaire

L'**Intensité de Secours Temporaire (IST)** associée à ce régime de secours est calculée en régime établi, ce qui signifie que le conducteur est en équilibre thermique. Par conséquent, la durée de fonctionnement d'un conducteur à valeur d'IST n'est pas limitée dans le temps.
Cependant, les ouvrages fonctionnent généralement avec une intensité bien plus faible que l'IST, pour permettre à tout instant de respecter la règle du N-k, mais aussi pour contenir les pertes par effet Joule à un niveau économiquement acceptable. Ce régime de secours intervient de l'ordre de 1 fois par an et par ouvrage. Pour les ouvrages les plus chargés, on estime la durée annuelle de fonctionnement à ce régime à 4 heures maximum.

Régime de surcharge transitoire

L'**Intensité Transitoire (IT)** est calculée en régime de surcharge transitoire caractéristique d'un déséquilibre thermique du conducteur. Il correspond à une exploitation à durée limitée.
On distingue principalement deux régimes d'IT :

- **IT20** : Intensité Transitoire admissible pendant 20 minutes,
- **IT10** : Intensité Transitoire admissible pendant 10 minutes.

Au bout de cette durée, si des dispositions (manœuvres) n'ont pas permis de descendre l'intensité en dessous de l'IST, l'ouvrage est déclenché automatiquement par les automates prévus à cet effet.

Ces régimes sont, par nature, rares : fréquence inférieure à 1 fois tous les 10 ans pour le régime 20 minutes, et à 1 fois tous les 100 ans pour le régime 10 minutes (par ouvrage). La probabilité d'entrer dans le régime de surcharge transitoire, conséquence de la défaillance fortuite d'un ou plusieurs ouvrages proches (cas du N-1, voire du N-2), est bien plus faible que celle d'atteindre l'IST. Ce régime, à l'instar du régime de secours temporaire, engendre des pertes importantes du fait de transits élevés, mais RTE accepte ce mode de fonctionnement compte tenu de sa très faible occurrence.
Ce régime de surcharge transitoire est généralement défini en 225kV et 400kV.

Les autres régimes rencontrés pour les lignes HTB sont :

Régime de court - circuit

Ce régime résulte d'une connexion accidentelle au travers d'une impédance relativement faible de deux ou trois phases entre elles ou d'une ou deux phases à la terre.

Régime de service permanent

Le régime de service permanent caractérise « la pointe de la charge en régime normal d'exploitation » d'un ouvrage. Compte tenu des conditions d'exploitation des lignes aériennes (hors raccordements de producteurs, de clients en antenne et certaines lignes d'interconnexion avec l'étranger), ce régime de fonctionnement n'est pas dépassé plus de 5% du temps.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

D'une manière générale et quel que soit le niveau de tension, pour les câbles conducteurs aériens utilisés en France, la température associée à ce régime de fonctionnement est de 40°C pour les câbles conducteurs conventionnels, tels que définis dans les normes EN 50182 (câbles conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) et CEI 62219 (câbles conducteurs dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins circulaires au centre et de brins de forme sur les couches extérieures – câbles conducteurs de type Azalée utilisés par RTE).

4 - 2.1.2 Les différents aspects

Le dimensionnement des éléments tiendra compte des contraintes d'échauffement en régime de secours temporaire, en régime de surcharge transitoire et en régime de court - circuit. Les contraintes et l'échauffement dus au courant de court-circuit sont présentés au § 4 - 5.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 2.2 Textes de référence

4 - 2.2.1 Réglementation

Arrêté Technique en vigueur relatif aux « conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique ».

4 - 2.2.2 Normes

- NF EN 50341 : lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif (Chapitre 5) et le cas échéant les annexes nationales normatives s'y rapportant.

4 - 2.3 Echauffement des câbles conducteurs en régime de secours temporaire et en régime de surcharge transitoire

4 - 2.3.1 Température de répartition

La température de répartition est définie comme la température maximale, au sens de l'Arrêté Technique (article relatif à la « Température maximale des conducteurs »), atteinte par les câbles conducteurs en régime de secours temporaire ou en régime de surcharge transitoire. L'association entre la température de répartition et l'un de ses deux régimes est déterminée selon le niveau de tension de l'ouvrage, comme cela est explicité au § 4 - 2.3.2.

Les températures maximales de répartition associées aux différents niveaux de tension des ouvrages HTB sont les suivantes :

- 90°C en 400 kV,
- 75°C en 225 kV,
- 65°C en 63 et 90 kV.

Les intensités en régime de secours temporaire (IST) et en régime de surcharge transitoire (IT) sont calculées de manière à ce que la température maximale atteinte par les câbles conducteurs corresponde à la température de répartition dans des conditions météorologiques défavorables (température ambiante, vent, ensoleillement) les plus fréquemment rencontrées dans la région concernée. C'est pour cette température que doivent être vérifiées les distances au sol et aux obstacles (cf. Partie 5 « Dimensionnement géométrique »), ceci pour les différentes saisons.

4 - 2.3.2 Niveau de tension, régime de secours temporaire et régime de surcharge transitoire

Les lignes 63 et 90 kV sont prévues pour le seul régime de secours temporaire appelé également « IST ».
Les lignes 225 et 400 kV doivent pouvoir assurer, en plus du régime de secours temporaire « IST », des régimes de surcharge transitoires « IT » (généralement de 20 minutes et 10 minutes), à l'exception des lignes de raccordements de clients en antenne pour lesquelles les régimes de surcharge transitoires ne sont pas pris en compte.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

RTE spécifiera dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage (CCTP) :

- les transits en régime de secours temporaire et de surcharge transitoire,
- la nature du câble conducteur à utiliser et sa température de répartition.

4 - 2.4 Cas particulier du surplomb de panneaux photovoltaïques

La présence d'un parc ou d'une ferme de panneaux photovoltaïques, à l'exclusion des installations individuelles, sous une ligne HTB provoque une augmentation de la température ambiante à hauteur des câbles conducteurs. Cette augmentation peut atteindre 10°C dans les conditions les plus défavorables et provoque, à IST et IT données, une augmentation de la température maximale atteinte par les câbles conducteurs. Les distances réglementaires au sol et aux obstacles peuvent alors ne plus être respectées.

Pour se prémunir de ce risque, on ajoutera, en cas de surplomb d'un parc ou d'une ferme photovoltaïque et pour les portées concernées, une valeur de 10°C à la température ambiante de l'air pour tenir compte de l'impact thermique des panneaux. Cette condition n'est valable que pour les portées qui surplombent sur toute leur longueur les installations photovoltaïques.
Ce surplus de température ambiante sur la portion d'ouvrage concernée sera intégré aux calculs des IST/IT, réalisés par RTE.
Cette condition complémentaire amènera le maître d'ouvrage à prendre des mesures afin de garantir les distances réglementaires au sol et aux obstacles. Le cas échéant, il pourra être amené :

- A mettre en œuvre un câble conducteur de section plus importante sur la portion d'ouvrage considérée (dont la dilatation plus faible permettra de compenser le surplus de température ambiante),
- A mettre en œuvre des pylônes ou poteaux plus hauts sur la portion d'ouvrage concernée par le surplomb,
- A adopter, sur cette portion d'ouvrage, des paramètres de câbles plus importants.

On considèrera qu'il n'y a plus aucune perturbation de la température ambiante si la hauteur des câbles conducteurs au point bas de la ou des portées concernées est supérieure ou égale à 30 m.

Toutefois, dans le cadre d'une création de ligne à proximité de panneaux photovoltaïques il est nécessaire de prendre en compte :

- les contraintes électriques auxquelles seront soumis les panneaux (cf. § 4 - 6),
- les phénomènes d'ombrage dus à la présence des pylônes/poteaux : en effet, ceux-ci sont susceptibles de perturber le fonctionnement desdits panneaux.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 3 CONTRAINTES DIELECTRIQUES APPLIQUEES AUX OUVRAGES

4 - 3.1 Présentation

Ce chapitre définit les exigences de coordination d'isolement des lignes aériennes HTB.

4 - 3.1.1 Définitions

- **La tension de tenue** est la valeur de l'amplitude de l'onde de tension qui appliquée à un intervalle d'air entraîne une probabilité d'amorçage inférieure à 1%,
- **Le niveau kéraunique Ni** d'un lieu donné est le nombre de jours par an au cours desquels le tonnerre a été entendu,
- **La densité de foudroiement Ng** est égale au nombre d'impacts au sol par an par km^2.
- **La tension normalisée de choc de manoeuvre** est la tension de choc ayant une durée jusqu'à la crête de 250 µs et une durée jusqu'à la mi-valeur de 2500 µs. (Cf. CEI 60071-1)
- **La tension normalisée de choc de foudre** est la tension de choc ayant une durée de front de 1,2 µs et une durée jusqu'à la mi-valeur de 50 µs. (Cf. CEI 60071-1)

4 - 3.1.2 Les différents aspects

Les contraintes diélectriques rencontrées sont les suivantes :

- pollution,
- foudre,
- manœuvre.

4 - 3.2 Textes de référence

4 - 3.2.1 Réglementation

Arrêté Technique en vigueur relatif aux « conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique » (article relatif aux « Isolateurs »)

4 - 3.2.2 Normes

- CEI 60815 : guide pour le choix des isolateurs sous pollution,
- CEI 60060-1 : techniques des essais à haute tension,
- EN 60071-1 et EN 60071-2 : coordination de l'isolement.
- NF EN 50341 : lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif (Chapitre 5.3 coordination d'isolement et l'annexe E)

4 - 3.3 Tension de tenue et distances d'isolement associées

Les tensions de tenue adoptées sur les réseaux devront respecter les valeurs du tableau ci-après et seront validées par des essais de tenue diélectrique selon les conditions définies dans la norme CEI 60060-1.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Tension nominale du réseau	63 / 90 kV	225 kV	400 kV
Distance d'isolement des chaînes (en m) (distance minimale entre cornes)	0,97	1,54	2,54
Tension la plus élevée entre phases pour le matériel (kV valeur efficace)	100	245	420
Tension de tenue crête aux chocs de foudres des chaînes (en kV) à sec	580	890	1425
Tension de tenue crête aux chocs de manœuvre des chaînes (en kV) à sec	480	710	1050

Tableau 1 : Distance d'isolement et tension de tenue des chaînes[5]

Les **distances d'isolement d** associées (distance entre cornes ou entre corne et anneau) seront calculées au moyen des formules de l'annexe E de la norme EN 50341 :

- tension de tenue à la foudre : $U_{0\ foudre} = 0{,}96\ k_{foudre}\ 530\ d$
- tension de tenue au choc de manoeuvre: $U_{0\ manoeuvre} = 0{,}88\ k_{manoeuvre}\ 1080\ Ln\ (0{,}46\ d + 1)$

Les **facteurs d'intervalle k_{foudre} et $k_{manoeuvre}$** des chaînes d'isolateurs caractérisent la géométrie de l'intervalle d'air. Ils doivent être déterminés par des essais de tenue diélectriques selon la publication CEI 60060-1.

Les valeurs sont données pour des conditions atmosphériques normales; au-delà de 1000 m d'altitude on adoptera la correction préconisée par la norme EN 60071-2 à savoir :

$U_{alt} = \frac{1}{ka} U_{normal}$

avec $k_a = e^{m \frac{(h-1000)}{8150}}$ où h est l'altitude en mètre et m un paramètre en fonction du type d'onde considérée avec

m=1 pour le choc de foudre

m=0,75 pour le choc de manœuvre

[5] Ces valeurs sont associées à des chaînes de suspension. Pour les chaînes d'ancrage, les tensions de tenue aux chocs de foudre et de manœuvre diffèrent car les facteurs d'intervalle ne sont pas les mêmes.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 3.4 La pollution

4 - 3.4.1 Niveaux de sévérité définis par la norme EN 60071-2

Le niveau de pollution d'un site peut être déterminé suivant le tableau publié dans la norme EN 60071-2 :

Niveaux de pollution	exemples d'environnement caractéristiques
I – faible	-zones sans industrie et à faible densité d'habitations équipées d'installations de chauffage. -zones à faible densité d'industries ou d'habitations mais soumises fréquemment aux vents et/ou pluies. -régions agricoles(*). -régions montagneuses. -toutes ces zones doivent être situées à des distances d'au moins 10 à 20 km de la mer et ne doivent pas être exposées aux vents venant directement de la mer.(**)
II – moyen	-zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ou ayant une densité moyenne d'habitations équipées d'installations de chauffage. -zones à forte densité d'industries et/ou d'habitations mais soumises fréquemment aux vents et/ou des chutes de pluies. -zones exposées au vent de mer, mais pas trop proches de la côte (distantes d'au moins quelques kilomètres).(**)
III – fort	-zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes à fortes densité d'installations de chauffage polluantes. -zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement forts venant de la mer.(**)
IV - très fort	-zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais. -zones généralement peu étendues, très proches de la côte et exposées aux embruns ou aux vents très forts et polluants venant de la mer. -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.

Tableau 2 Niveaux de pollution

(*) 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.

(**) Les distances au rivage dépendent de la topographie de la zone côtière et des conditions extrêmes de vent.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 3.4.2 Longueur minimale de la ligne de fuite des chaînes isolantes (norme EN 60071-2)

Pour chacun des 4 niveaux de pollution, la longueur minimale de la ligne de fuite des isolateurs, est définie en fonction de la tension nominale de l'ouvrage. Cette ligne de fuite minimale est exigée quelle que soit la nature de la matière de l'isolateur (verre, composite, autre).

tension nominale entre phases (en kV)	tension la plus élevée pour le matériel (en kV)	Longueur minimale de la ligne de fuite des chaînes isolantes en mm			
		niveau de pollution			
		I - faible	II - moyen	III - fort	IV - très fort
63 / 90	100	1600	2000	2500	3100
225	245	3920	4900	6130	7600
400	420	6720	8400	10500	13020
ligne de fuite spécifique (mm/kV)		16	20	25	31
Concentration saline (S) en kg/m^3		S<7	7 $\leq$ S < 20	20 $\leq$ S < 80	S $\geq$ 80

Tableau 3 Longueur de la ligne de fuite minimale

Le choix du niveau de pollution est une décision qui relève du maître d'ouvrage, qu'il précisera dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières. L'évaluation de la sévérité de la pollution pourra être mise en œuvre de la façon suivante :

- **Pollution saline** : pour les ouvrages exposés au vent de la mer, les zones de pollution 2, 3, 4 correspondent à des niveaux de pollution minimum (Cf. tableau 2 § 4 - 3.4.1). L'augmentation de la sévérité est à préciser par le maître d'ouvrage dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) de l'ouvrage. Pour une évaluation quantitative du niveau de pollution du site, des informations sont disponibles dans la publication CEI 60815.
- **Pollution industrielle** : la pollution industrielle est un phénomène très local et évolutif dans le temps. Les contraintes locales de pollution sont à préciser par le maître d'ouvrage dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières et s'ajoutent aux contraintes minimales définies précédemment dans le tableau 2 § 4 - 3.4.1.

4 - 3.5 La foudre

On distingue deux types de défauts dus à la foudre :

- les défauts dus à des coups de foudre directs (appelés défauts d'écran lorsque l'ouvrage est muni de câble de garde) : ils apparaissent lorsque la foudre atteint un câble conducteur et que la valeur du courant de foudre est suffisante pour provoquer un amorçage au niveau des chaînes isolantes. Ils sont généralement monophasés.
- les défauts dus à un amorçage en retour : lorsque la foudre atteint un pylône/poteau (ou un câble de garde), l'écoulement du courant de foudre vers la terre entraîne une élévation de potentiel des structures métalliques. Lorsque l'élévation de potentiel dépasse la tension de

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

tenue de la chaîne d'isolateurs, un amorçage (en retour) se produit. Ce type d'amorçage peut conduire à un défaut polyphasé.

Les objectifs de qualité d'électricité à atteindre sont les suivants : (Ni : niveau kéraunique)

tension d'exploitation de l'ouvrage en kV	nombre de défaut/an/100 km (*)	tronçons concernés
400 (Ni=25)	1,5	Par circuit
225 (Ni=25)	2,5	par circuit équipé de câble de garde
90 (Ni=25)	3,5	par circuit équipé de câble de garde
63 (Ni=25)	5,4	par circuit équipé de câble de garde

Tableau 4 : Objectifs de nombre de défauts dus à la foudre

(*) Sont pris en compte ici à la fois les défauts dus à un coup de foudre direct et ceux dus à un amorçage en retour.

Pour atteindre ces objectifs, le maître d'ouvrage adoptera les dispositions constructives suivantes :

- mise en place de câble(s) de garde afin de limiter le nombre de défauts sur coups de foudre directs (défauts d'écran)
- mise en œuvre d'une prise de terre adaptée à l'environnement de l'ouvrage.

Mise en place de câble(s) de garde

Toutes les lignes HTB neuves doivent être équipées de câble(s) de garde. La mise en place de câbles de garde au-dessus des câbles conducteurs permet d'assurer la protection de l'ouvrage contre les coups de foudre directs. Chaque câble de garde est relié électriquement à la terre. Sa fonction est de capter les coups de foudre directs afin qu'ils n'atteignent le câble conducteur actif que dans une proportion limitée. Afin de déterminer la position optimum des câbles de garde par rapport aux câbles conducteurs, le concepteur de l'ouvrage devra utiliser le modèle électrogéométrique décrit dans la publication CIGRE 63 *« guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines ».*

Mise en œuvre de prises de terre adaptées

Afin de limiter le nombre de défauts dus aux amorçages en retour, le maître d'œuvre adoptera des dispositions constructives pour assurer des valeurs de prises de terre appropriées à l'environnement de l'ouvrage (sécurité des personnes et des biens) – cf. § 4 - 4.

4 - 3.6 Coordination d'isolement

4 - 3.6.1 Rôle et installation des éclateurs et parafoudres d'entrée de poste

Tandis que les lignes sont protégées contre les atteintes de la foudre par des câbles de garde et des mises à la terre convenables des pylônes et parfois par des parafoudres en ligne, les matériels de poste sont protégés contre les surtensions sur les lignes, par des parafoudres ou des éclateurs. Le

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

choix et le réglage du dispositif de protection seront déterminés de manière à protéger les matériels de liaisons aériennes, souterraines et de postes.
Pour les lignes neuves construites en technique 90kV (qu'elles soient exploitées en 63 ou 90 kV) et pour les lignes 225 kV exploitées en 63 ou 90 kV, le dispositif de protection sera obligatoirement un parafoudre. Pour les lignes exploitées en 225 ou en 400 kV, le dispositif de protection sera constitué d'éclateurs d'entrée de poste.

4 - 3.6.2 Dimensionnement des chaînes d'isolateurs de lignes exploitées en dessous de leur tension nominale de construction

Des ouvrages neufs sont parfois exploités à une tension différente et inférieure à la tension de construction.
Pour protéger des coups de foudre les postes électriques raccordés à de tels ouvrages, il est nécessaire d'équiper un certain nombre de pylônes situés aux abords des postes des chaînes d'isolateurs réduites. Ces chaînes doivent tenir compte des contraintes mécaniques. Pour les lignes exploitées en 225 kV et de tension de construction de 400 kV, il faudra équiper notamment les 3 derniers pylônes de chaînes d'isolateurs réduites, correspondant à la tenue de la tension d'exploitation normalisée. Les calculs de coordination d'isolement seront faits en supposant :

- des éclateurs ou parafoudres de poste installés à l'entrée du poste,
- dans certains cas des parafoudres de poste installés à proximité du transformateur de puissance.

Pour les lignes neuves construites en technique 90kV et exploitées en 63 kV, on conservera le niveau d'isolement normalisé jusqu'aux cellules postes, celles-ci devant être équipées de parafoudres de poste.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 4 DIMENSIONNEMENT DES PRISES DE TERRE

Ce chapitre traite des prises de terre des supports des lignes aériennes HTB.

4 - 4.1 Critères de dimensionnement d'une prise de terre

La conception des installations de mise à la terre doit répondre à 5 exigences :

- résister aux contraintes mécaniques et à la corrosion,
- supporter, d'un point de vue thermique, le courant de défaut le plus élevé calculé,
- limiter les perturbations apportées aux ouvrages tiers et aux installations électriques,
- assurer la sécurité des personnes vis-à-vis des tensions apparaissant sur l'installation de mise à la terre lors du défaut à la terre,
- assurer la fiabilité de la ligne vis-à-vis de la foudre

Les paramètres pertinents pour le dimensionnement des installations de mise à la terre sont :

- la valeur du courant de défaut,
- la durée du défaut,
- les caractéristiques du sol,
- la distance vis-à-vis des ouvrages tiers ou des personnes.

4 - 4.2 Textes de référence

4 - 4.2.1 Réglementation

Arrêté Technique en vigueur relatif aux « conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique ».

4 - 4.2.2 Normes

- CEI 60479-1 : effets du courant passant par le corps humain.
- NF EN 50341 : lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif (chapitre 6 : installation de mise à la terre).

4 - 4.3 Dimensionnement des mises à la terre

Les dispositions constructives des mises à la terre doivent être appropriées à l'environnement de l'ouvrage et ceci pour garantir la sécurité des personnes et des biens et limiter le nombre de défauts dus aux amorçages en retour.
La mise à la terre peut être assurée soit par la nature même des matériaux constituant la fondation (par exemple : pieu battu lisse), soit par des aménagements appropriés (boucle de terre, piquet de terre...). Une liaison équipotentielle doit être réalisée entre la mise à la terre, les pieux et la virole ou l'armature métallique noyée dans le béton armé. Plus généralement, et quelle que soit la configuration de la fondation et de la prise de terre, il est nécessaire d'interconnecter tous les éléments métalliques enterrés.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Cependant, pour limiter la composante inductive de la prise de terre, la longueur maximale des éventuelles antennes ou piquets ne doit pas dépasser 15 mètres.

D'autre part, les prises de terre doivent être dimensionnées, vis-à-vis de l'échauffement, de manière à éviter la diminution de leur résistance mécanique et la détérioration des matériaux environnants. La taille du conducteur doit être déterminée à partir des valeurs de courants de défaut de la ligne en tenant compte de la structure du réseau à long terme. En pratique, il est d'usage de retenir des conducteurs cuivre de 8 mm de diamètre, compatibles avec les macarons MC1 ou MC2. Les électrodes, étant en contact direct avec le sol, celles-ci doivent être constituées de matériaux capables de supporter la corrosion (attaque chimique ou biologique, oxydation, électrolyse,...) et les contraintes mécaniques. Ainsi, pour des sols à teneur élevée en chlorure, il y aura lieu d'utiliser des conducteurs en acier inoxydable spéciaux adaptés aux caractéristiques du sol.

4 - 4.3.1 Mise à la terre des superstructures métalliques

Conformément à l'article relatif à la « Mise à la terre des supports » de l'Arrêté Technique 2001, les superstructures métalliques doivent être mises à la terre.
Pour se prémunir contre les vols, les raccordements de câbles de mise à la terre avec les superstructures seront enfouis en intégralité sous 5 cm minimum dans le béton des fondations. Une plaque signalétique portant la mention « *Prise de terre protégée* » sera alors apposée sur le pylône/poteau.
Les raccordements entre les parties cuivre et acier des mises à la terre devront se faire par le biais de plaquettes bimétalliques.

4 - 4.3.2 Mise à la terre des poteaux bétons

Les poteaux bétons doivent être mis à la terre. L'ensemble des pièces métalliques les équipant (paliers de fixation, consoles, armements, ferrures des poteaux, etc.) doivent être interconnectées et reliées à la terre. La descente de terre sera réalisée soit par un câble d'une section appropriée noyé dans le béton, soit par un méplat en acier galvanisé d'une section de 500 mm² fixé sur le poteau. Pour autoriser les mesures de prises de terre tout en limitant le risque de vol, le raccordement avec les mises à la terre doit rester accessible mais à raz du sol. Une plaque signalétique portant la mention « *Prise de terre protégée* » sera alors apposée sur le poteau. Le raccordement entre les parties cuivre et acier des mises à la terre devra se faire par le biais de plaquettes bimétalliques.

Nota : La descente de terre ne doit pas être en contact avec la plaque signalétique du poteau (ou du pylône).

4 - 4.3.3 Mise à la terre des superstructures constituées de matériau non-conducteur

Les câbles de garde et, le cas échéant, l'armement métallique des superstructures constituées de matériau non-conducteur, doivent être mis à la terre. La descente de terre sera réalisée par un méplat en acier galvanisé d'une section de 500 mm².

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Pour autoriser les mesures de prises de terre tout en limitant le risque de vol, le raccordement avec les mises à la terre doit rester accessible mais à raz du sol. Une plaque signalétique portant la mention « *Prise de terre protégée* » sera alors apposée sur la superstructure. Le raccordement entre les parties cuivre et acier des mises à la terre devra se faire par le biais de plaquettes bimétalliques.

4 - 4.4 Limitation des perturbations apportées aux ouvrages tiers et aux installations électriques

Les dispositions constructives à respecter sont celles définies dans le chapitre 4 - 6 *« Contraintes de proximités-induction magnétique et capacitive-conduction ».*

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 5 CONTRAINTES ET ECHAUFFEMENT DUS AU COURANT DE COURT-CIRCUIT

Ce chapitre définit les exigences auxquelles doivent répondre les lignes aériennes HTB vis - à - vis des contraintes d'échauffement entraînées par le passage d'un courant de court-circuit.
Il s'applique aux câbles conducteurs, aux câbles de garde, aux matériels de jonction et aux mises à la terre.
On rappelle que le dimensionnement des éléments tiendra compte des contraintes d'échauffement en régime de secours temporaire, en régime de surcharge transitoire et en régime de court - circuit.

4 - 5.1 Textes de référence

4 - 5.1.1 Réglementation

Arrêté Technique en vigueur relatif aux « conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique ».

4 - 5.1.2 Normes

- Norme EN 60 865 : courants de court-circuit – calcul des effets (mécaniques et thermiques),
- Norme EN 60 909 : courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif.

- NF EN 50341 : lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif (Chapitre 5) et le cas échéant les annexes nationales normatives s'y rapportant.

4 - 5.2 Intensités admissibles en régime de court-circuit

4 - 5.2.1 Hypothèses retenues pour le calcul des échauffements en régime de court - circuit

Temps d'élimination thermique équivalent
Les temps d'élimination thermique équivalent à considérer et les valeurs de courants de court -circuits triphasés au niveau des postes d'extrémités pour les échauffements sont :

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Structure tension / courant de court - circuit du poste ($I_{cc\ poste}$)	Temps d'élimination thermique (protection statique)		Temps d'élimination thermique (protection électromécanique)
400 kV - 63 kA	0,25 s		
400 kV - 40 kA	0,25 s		
	Sans protection différentielle de barres	Avec protection différentielle de barres	
225 kV - 31,5 kA	0,5 s	0,25 s	0,7 s
90 kV - 31,5 kA	0,5 s	0,25 s	-
90 kV - 20 kA	0,5 s	0,25 s	0,9 s
63 kV - 31,5 kA	0,5 s	0,25 s	-
63 kV - 20 kA	0,5 s	0,25 s	0,9 s

Tableau 5 Temps d'élimination thermique équivalent

Calcul des courants de défaut monophasé et triphasé

Les valeurs d'intensités de court - circuit monophasé et triphasé au niveau d'un support en défaut seront calculées selon la norme EN 60 909.

Répartition du courant de court - circuit

On considère :

- pour les câbles de garde, que le courant parcourant le ou les câbles de garde est égal à 75% du courant de défaut monophasé. On suppose que le défaut se produit à un kilomètre du poste et on ne considère que l'apport du poste le plus contraignant ;

- pour les mises à la terre, que le courant qui parcourt les prises de terre est égal à 25 % du courant de défaut monophasé apporté au niveau du support par les postes d'extrémités dans le cas d'un ouvrage avec câble de garde ou à 100 % du courant de défaut monophasé dans le cas d'un ouvrage sans câble de garde.

Conditions initiales

Pour les calculs d'échauffements, on considère que :

- la température initiale du câble de garde est de 20°C,
- la température initiale du câble conducteur de phase est de 40°C (*).

(*) Cette température de 40 °C ne s'applique qu'aux câbles conducteurs définis dans la norme EN 50182 (câbles conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) ainsi qu'à ceux définis dans la norme CEI 62219 (câbles conducteurs dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins circulaires au centre et de brins de forme sur les couches extérieures - câbles conducteurs de type Azalée utilisés par RTE). Pour les autres câbles conducteurs, la température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 5.2.2 Spécifications concernant le matériel

Le calcul des échauffements en régime de court - circuit se fait conformément à la norme EN 60-865. En particulier, on calculera selon la norme EN 60-865 les échauffements relatifs de l'acier et de l'alliage d'aluminium en régime de court- circuit.
Le calcul des échauffements se fera avec les hypothèses définies au Tableau 5.

Câbles conducteurs
Pour les câbles conducteurs à brins ronds définis par la norme EN50182 (aluminium, aluminium-acier, alliage d'aluminium et alliage d'aluminium-acier) et les câbles conducteurs à économie d'énergie type Azalée utilisés par RTE, la température maximale atteinte par le câble en régime de court-circuit doit rester inférieure à 200 °C (limite fixée par la tenue thermique des matériaux constitués par les fils d'aluminium ou d'alliage d'aluminium).
Pour tout autre câble conducteur, cette température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières établi par le maître d'ouvrage.

Il sera nécessaire de tenir compte des augmentations de la flèche des câbles conducteurs liées à ces échauffements et s'assurer que les distances sont respectées aux croisements d'autres lignes aériennes, aux traversées de routes et au-dessus des constructions (cf Partie 5 « Dimensionnement géométrique »).

Pour les câbles conducteurs bimétalliques en almélec-acier, la flèche maximale du câble conducteur sera calculée pour une température égale à la température maximale prise par les fils d'acier. En effet, en ce qui concerne les échauffements des fils d'acier, la température de l'acier augmente en même temps que la couche d'almélec, qui après avoir été soumise à un échauffement important (après un court-circuit), se refroidit. La flèche maximale est atteinte lorsque les températures de l'almélec et de l'acier sont égales ; elle correspond approximativement à la température maximale atteinte par les fils d'acier.

Câbles de garde
Pour les câbles de garde, l'augmentation de température du câble en régime de court-circuit devra être au maximum de 170°C. La température maximale atteinte par le câble de garde restera ainsi inférieure à 190°C (le câble étant à 20°C en condition initiale).

On vérifie également qu'en cas de croisement avec les câbles conducteurs, la distance entre câbles reste conforme aux valeurs définies dans la Partie 5 « Dimensionnement géométrique ».

La flèche maximale des câbles de garde bimétalliques sera calculée pour une température égale à la température maximale prise par les fils d'acier.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 6 CONTRAINTES DE PROXIMITES – INDUCTION MAGNETIQUE ET CAPACITIVE - CONDUCTION

4 - 6.1 Présentation

Ce chapitre traite des contraintes d'induction et de conduction générées par les lignes aériennes HTB.

4 - 6.1.1 Définitions

Induction : les courants circulants dans les câbles conducteurs de l'ouvrage perturbateur créent un champ d'induction magnétique qui génère une force électromotrice induite dans l'ouvrage perturbé.
Conduction : le phénomène de conduction correspond à l'élévation de potentiel du sol à proximité du support en défaut, lorsqu'un courant de défaut s'écoule dans le sol.

4 - 6.1.2 Les différentes contraintes

Les contraintes de conduction et d'induction seront à prendre en considération dans les cas suivants :

- proximité de réseaux électriques BT et HTA,
- proximité de réseaux de télécommunications,
- proximité du réseau de chemins de fer,
- proximité de canalisations de transport de fluide,
- proximité des dépôts de produits inflammables liquides ou gazeux de première classe
- proximité des ouvrages linéaires de type clôture, glissière d'autoroutes,
- proximité des téléphériques et remonte-pentes,
- prévention des risques électriques vis-à-vis des personnes et des équipements des tiers.

Le maître d'ouvrage se chargera d'étudier les problèmes de voisinage entre les différents réseaux en respectant la législation en vigueur et les éventuelles conventions. Il devra également informer les différentes parties des perturbations occasionnées par leur voisinage et obtenir leur accord sur les dispositions constructives étudiées qui minimisent ces perturbations.

4 - 6.2 Textes de référence

4 - 6.2.1 Réglementation

Dispositions imposées par l'Arrêté Technique en vigueur relatif aux conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

4 - 6.2.2 Norme

- CEI 60479-1 : effets du courant passant par le corps humain.
- NF EN 50341 : lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif : chapitre « *champs électriques et magnétiques* »

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 6.2.3 UIT-T

Concernant les effets de l'élévation de potentiel du sol et la protection des signaux, il y a lieu d'appliquer les dispositions résultant des accords pris entre les différents gestionnaires de réseaux ou, à défaut, de suivre les directives du CCITT édition 1989 (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) complétées par les recommandations de l'UIT-T (Union Internationale des Télécommunications – Secteur de la normalisation des télécommunications).

4 - 6.3 Proximité avec d'autres réseaux électriques

4 - 6.3.1 Proximités avec des réseaux BT

En cas de rapprochement d'un pylône d'une ligne HTB avec un support de ligne BT sur lequel la mise à la terre est réalisée, il convient de prendre des dispositions telles qu'en cas de défaut à la terre sur la ligne HTB, la montée en potentiel du neutre BT soit inférieure à 1500 V.

4 - 6.3.2 Lignes électriques aériennes de domaine de tension différent placées sur les mêmes supports

Lorsqu'une ligne aérienne HTA ou BT est établie sur les mêmes supports qu'une ligne HTB, ou bien si les deux lignes ont un support commun, l'ouvrage devra être conforme aux dispositions définies par l'Arrêté Technique, article relatif aux « Lignes électriques aériennes de domaines de tension différents placées sur les mêmes supports ».
En particulier, les distances à respecter entre les câbles conducteurs de ces deux lignes sont les mêmes que celles définies pour le cas du croisement dans la Partie 5 « Dimensionnement géométrique » § 5 - 2.4.1. – voir "*Croisement d'une ligne HTB avec un autre type de ligne*".

4 - 6.4 Voisinage de lignes aériennes HTB avec les réseaux de télécommunications

Les lignes de télécommunications sont des lignes servant uniquement à des transmissions de signaux ou d'informations. Il s'agit notamment des lignes téléphoniques, télégraphiques ou de transmission de données, des lignes de télédistribution et des lignes de télécommande à courant faible. Ces lignes sont exploitées soit par France Télécom, soit par d'autres opérateurs de télécommunication, soit par la SNCF, les gestionnaires des ouvrages d'énergie, les sociétés d'autoroutes, des industriels, etc…
Les conditions de voisinage d'une ligne électrique et d'une ligne de télécommunications doivent être déterminées de manière que les phénomènes d'induction électromagnétique, d'influence électrique et d'élévation de potentiel accidentels ou permanents, causés par la ligne électrique, n'entraînent sur l'ouvrage de télécommunications voisin aucun danger pour les personnes ni aucune dégradation de l'ouvrage lui-même. Les signaux qu'il véhicule ne doivent pas être perturbés en régime de fonctionnement normal de la ligne électrique.
Pour les calculs d'interférence et pour les mesures à prendre afin d'éliminer ces effets ou les réduire à des niveaux acceptables, le maître d'ouvrage appliquera les dispositions de l'Arrêté Technique (article relatif au « Voisinage de lignes de télécommunications, induction électromagnétique, influence électrique et élévation de potentiel du sol »), les directives du CCITT édition 1989 complétées par les recommandations de l'UIT-T et les conventions entre les parties concernées.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 6.4.1 Induction magnétique et influence électrique

Arrêté Technique, article relatif au « Voisinage de lignes de télécommunications, induction électromagnétique, influence électrique et élévation de potentiel du sol » :
« En matière de danger dû aux effets de l'induction électromagnétique et de l'influence électrique, il y a lieu de suivre les directives du CCITT qui fixent actuellement les limites admissibles de la valeur efficace de la force électromotrice induite à :

- 430 volts (650 volts pour les lignes électriques « à grande sécurité de service », au sens du CCITT ; les lignes HTB sont en général considérées comme telles) en cas de défaut ;
- 60 volts en régime normal.

4 - 6.4.2 Elévation de potentiel

Arrêté Technique, article relatif au « Voisinage de lignes de télécommunications, induction électromagnétique, influence électrique et élévation de potentiel du sol » :
« Concernant les effets des élévations de potentiel du sol, il y a lieu d'appliquer les accords éventuels entre les services concernés ou, à défaut, les textes du CCITT s'ils existent ou, à défaut encore, la limite de 1500 volts, sauf pour certains ouvrages de France Télécom.
Les calculs doivent être effectués pour les cas les plus défavorables et en tenant compte des conditions dans lesquelles il peut être prévu que la ligne électrique sera exploitée dans l'avenir. Une étude complémentaire peut être nécessaire afin de déterminer les conditions particulières à observer en vue d'éliminer les perturbations nuisibles aux transmissions ».

4 - 6.5 Proximité des ouvrages linéaires de type clôture, glissière d'autoroutes

Les structures métalliques linéaires qui sont connectées électriquement avec le sol en un ou quelques points et qui sont parallèles à une ligne HTB doivent être raccordées au sol à intervalles adéquates et/ou séparées par des éléments isolants afin de réduire la taille des boucles. Une étude particulière dont la finalité est de garantir la sécurité des personnes est exigée.

4 - 6.6 Prévention des risques électriques vis-à-vis des personnes et des équipements des tiers

4 - 6.6.1 Prévention des risques électriques vis-à-vis des personnes

Il convient de respecter les dispositions de l'Arrêté Technique relatif au « Voisinage d'un établissement d'enseignement ou d'une installation d'équipement sportif ».
En particulier, « les distances à respecter pour les supports par rapport à une piscine en plein air et aux zones d'évolution des baigneurs sont, sauf dispositions spéciales prises dans ces zones, de 20 m pour les lignes à 400 kV avec câbles de garde (80 m sans), 15 m pour les lignes à 225 kV avec câbles de garde (50 m sans), 10 m pour les lignes 90 ou 63 kV avec câbles de garde (30 m sans) ».

Au voisinage des ouvrages HTB, il convient de garantir la sécurité des personnes vis-à-vis de la montée en potentiel des installations de mise à la terre apparaissant lors de l'écoulement d'un défaut

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

d'isolement à la terre. Le risque d'électrocution est lié non à la valeur de l'élévation du potentiel de terre, mais au courant traversant le corps humain. Il est donc nécessaire de limiter le courant traversant une personne à une valeur n'entraînant normalement aucun risque organique, lorsque cette personne est placée dans une position caractéristique (debout, couchée, en contact avec le pylône/poteau) qui dépend du lieu. La valeur maximale de ce courant en fonction de la durée du défaut est définie dans la norme CEI 60479-1.

On définit deux types de zones :
- La zone de contrainte est la zone au sein de laquelle le courant admissible est susceptible d'être dépassé. Elle dépend du lieu et des caractéristiques électriques de l'ouvrage.
- La zone d'évolution des personnes est la zone où la probabilité de présence d'une personne au voisinage du pylône peut être considérée y compris dans des conditions météorologiques dégradées (orage, fortes pluies, vent fort ou brouillard qui sont les causes principales du défaut). Cette zone est à apprécier au cas par cas. Elle peut être confondue avec les limites de l'installation (cas des maisons d'habitation où l'on peut considérer que la probabilité de présence d'une personne dans un jardin est faible en cas d'intempérie). Mais, elle peut être étendue à l'ensemble de la zone d'activité (cas des campings par exemple).

La condition à respecter consiste à ce que la zone de contrainte de l'ouvrage HTB n'empiète pas sur la zone d'évolution des personnes.

Dans le cas où l'implantation du support conduit à ce que la zone de contrainte empiète sur la zone d'évolution des personnes, il convient de procéder à des aménagements de la ligne ou du voisinage de l'ouvrage afin de limiter les contraintes aux personnes.

4 - 6.6.2 Prévention des risques électriques vis-à-vis des équipements des tiers

L'élévation de potentiel de la prise de terre d'un support HTB suite à un défaut est susceptible d'être transférée en partie à la prise de terre des masses des bâtiments situés au voisinage. Cette montée en potentiel risque de compromettre la tenue diélectrique des équipements électriques installés chez les tiers. Le concepteur de l'ouvrage devra donc prendre des dispositions constructives telles que la différence de potentiel entre les masses de l'installation des tiers et la prise de terre des masses lointaines ramenées sur l'installation par les réseaux de distribution (neutre du réseau de distribution BT, par exemple) n'excède pas 1500 V.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 7 CHAMPS MAGNETIQUE ET ELECTRIQUE A 50 HZ

4 - 7.1 Présentation

Ce chapitre traite des champs magnétique et électrique générés respectivement par le courant et la tension supportés par les câbles conducteurs et, plus précisément, des normes en vigueur concernant l'exposition des tiers à ces champs.

4 - 7.1.1 Définitions

- **Le Champ magnétique** permet de caractériser, en tout point de l'espace, les forces électriques engendrées par le courant qui circule dans les câbles conducteurs. Le champ magnétique est proportionnel à l'intensité du courant. Son unité est le Tesla (T), mais on utilise plus communément le microTesla (µT soit 10^{-6} T).
- **Le Champ électrique** permet de caractériser, en tout point de l'espace, les forces électriques engendrées par la tension portée par les câbles conducteurs. Son unité est le V/m, mais on utilise plus communément le kV/m (10^3 V/m).

4 - 7.1.2 Les différents aspects

Les champs électrique et magnétique nécessitent la prise en compte de trois types de contraintes :

- **La compatibilité** avec le fonctionnement et la sûreté des matériels.
- **Les courants et tensions induites** dans les éléments conducteurs générés par les couplages inductifs et électrostatiques,

Ces deux premiers points font l'objet du paragraphe 4 - 6 « contraintes de proximités-induction magnétique et capacitive-conduction ».

- **L'exposition des tiers à ces champs**, qui est basée sur une limitation du courant induit dans les tissus nerveux et musculaires.

4 - 7.2 Textes de référence

4 - 7.2.1 Réglementation

Article de l'Arrêté Technique relatif à la « Limitation de l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques ».

4 - 7.2.2 Normes

NF EN 50341-3 : lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif (chapitre *Champs électrique et magnétique sous une ligne*)

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 7.3 Limitation de l'exposition des tiers aux champs électrique et magnétique

L'ouvrage devra respecter les dispositions de l'article « Limitation de l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques » de l'Arrêté Technique qui définit les limites d'exposition aux champs électrique et magnétique dans des lieux normalement accessibles aux tiers. Elles sont données dans le tableau suivant et doivent être vérifiées dans les conditions de fonctionnement en régime de service permanent (cf. § 4 - 2.1.1) :

	Champ Electrique kV/m	**Champ Magnétique µT**
Limite d'exposition publique	5	100

Tableau 6 Limite de l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques

Lors de la construction d'un nouvel ouvrage électrique, le maître d'ouvrage doit chercher les dispositions optimales qui permettent de minimiser les valeurs des champs électriques et magnétiques.

4 - 7.4 Recommandation vis-à-vis des matériels

En ce qui concerne les champs électrique et magnétique à 50 Hz, aucune limite d'émission n'est spécifiée.
Par contre, le champ d'induction magnétique 50 Hz peut perturber les écrans d'ordinateur. La norme générique NF EN 50082-1 retient deux seuils : 1 A/m (1,25µT), et 3 A/m (3,75µT), en soulignant qu'une perturbation des écrans à tube cathodique est admise à partir de 1 A/m. C'est pourquoi ces valeurs figurent dans l'annexe A de cette norme (qui est une annexe informative et non normative) et, bien qu'elles n'aient pas aujourd'hui de caractère obligatoire, doivent être prise compte en cas de voisinage possible de la ligne avec une densité importante d'ordinateurs de bureau.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 8 EFFET COURONNE : BRUITS RADIOELECTRIQUES, ACOUSTIQUES ET PERTES

4 - 8.1 Présentation

Ce chapitre traite de l'effet couronne généré par les lignes HTB et des perturbations qui en résultent.

4 - 8.1.1 Définition

L'effet de couronne désigne l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité d'un gaz dans l'environnement d'un conducteur porté à une très haute tension. C'est l'importance du champ électrique à la surface de ce conducteur qui est à l'origine de l'ionisation du gaz, phénomène provoquant l'apparition de conductivité.

4 - 8.1.2 Les différents aspects

L'effet couronne génère 3 types de perturbations :

- perturbations radioélectriques,
- bruits acoustiques,
- pertes.

4 - 8.2 Textes de référence

4 - 8.2.1 Réglementation

La réglementation actuelle en matière de bruits acoustiques repose sur :

- L'article de l'Arrêté Technique relatif à la « Limitation de l'exposition des tiers au bruit des équipements »: cet article est défini dans l'arrêté du 26 janvier 2007 publié au journal officiel du 13 février 2007.

4 - 8.2.2 Normes

- EN 60437 : essais de perturbations radioélectriques sur les isolateurs haute tension,
- NF S 31 010 (Acoustique, Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement).
- NF EN 50341 : lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif (chapitre *Effet couronne*)

4 - 8.3 Perturbations radioélectriques

Les perturbations radioélectriques dues aux lignes aériennes HTB peuvent être provoquées sur une large bande de fréquence par :

- les décharges dues à l'effet couronne dans l'air à la surface des câbles conducteurs et des matériels d'équipement
- les décharges et amorçages sur des parties des isolateurs fortement contraintes électriquement

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- l'amorçage sur de mauvais contacts.

L'effet nuisible des lignes électriques, et plus généralement de toutes sources perturbatrices, sur la qualité des réceptions radioélectriques est dû à la superposition d'un bruit radioélectrique et de l'onde porteuse du signal utile.
La qualité de la réception ou, si l'on préfère, l'effet perturbateur, dépend essentiellement du rapport entre les intensités respectives du signal et du bruit (on dit rapport signal sur bruit).
Le **C.I.S.P.R. 18** (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) définit les limites d'émission des champs électromagnétiques de fréquence supérieure à 150 kHz, ce qui correspond à la bande de fréquence des perturbations radioélectriques dues à l'effet couronne. Il conviendra donc de suivre les recommandations du **C.I.S.P.R**. dans la conception des ouvrages HTB.
Généralement, le niveau de perturbations dû à l'effet couronne ne devient un élément de conception déterminant que pour les lignes de tension égale ou supérieure à 225 kV. Le champ perturbateur engendré par l'effet couronne des câbles conducteurs est alors prépondérant.
Pour tous les niveaux de tension, le niveau perturbateur du matériel équipant une portée de ligne aérienne doit rester négligeable devant le niveau perturbateur produit par les câbles conducteurs de cette portée.

4 - 8.4 Bruits acoustiques

L'ouvrage doit respecter les dispositions de l'article de l'Arrêté Technique relatif à la « Limitation de l'exposition des tiers au bruit des équipements »:
Cet article impose de respecter l'une des deux limites suivantes :

- soit le niveau de bruit ambiant, correspondant à l'ensemble des bruits y compris celui de l'ouvrage électrique, est inférieur à 30 dB(A).
- soit l'émergence du bruit, mesurée de façon continue (conformément à la norme **NF S 31 010**), est inférieure à 5 dB(A) le jour (de 7h00 à 22h00) et à 3 dB(A) la nuit (de 22h00 à 7h00).

L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit de l'ouvrage électrique ou bruit particulier, et celui du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements.

L'émergence du bruit est mesurée de façon continue sur chacune des périodes considérées (période diurne et période nocturne). C'est donc l'émergence mesurée sur la totalité de la période concernée qui doit être prise en compte pour apprécier le respect des valeurs de 5 dB(A) le jour et 3 dB(A) la nuit.

4 - 8.5 Pertes par effet couronne

Afin de maintenir les pertes dues à l'effet de couronne à des valeurs acceptables, il convient de limiter le champ électrique à la surface des câbles conducteurs à une valeur efficace d'environ **16 kV/cm**.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

4 - 8.6 Paramètres influents

C'est le champ électrique à la surface des câbles conducteurs qui détermine l'intensité de l'effet couronne (cf. § 4 - 8.1.1). Il y a apparition du phénomène lorsque le champ électrique à la surface du câble conducteur dépasse un certain seuil appelé « champ critique ».
Le champ électrique à la surface du câble conducteur dépend :

- du niveau de tension de la ligne,
- du diamètre des câbles conducteurs,
- du nombre de câbles conducteurs par faisceau,
- de l'état de surface des câbles conducteurs (les périodes de mauvais temps, de brouillard et les zones de fortes pollutions sont propices à l'apparition de l'effet couronne),
- de l'armement du pylône ou poteau (disposition géométrique des câbles conducteurs),

Et, dans une moindre mesure :

- de la hauteur des câbles conducteurs par rapport au sol,
- du repérage horaire des phases dans le cas d'ouvrages multi-circuits.

Lors de la construction d'un nouvel ouvrage, le maitre d'ouvrage devra prendre en compte l'ensemble de ces paramètres afin de déterminer une configuration d'ouvrage qui limite au maximum les perturbations liées à l'effet couronne, dont, en premier lieu, les nuisances sonores.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 5. Dimensionnement géométrique

5 - 1 INTRODUCTION

Cette partie traite du dimensionnement géométrique des lignes aériennes HTB.
Elle est organisée en trois chapitres dont cette introduction :

- le chapitre 5 - 2 traite des distances de sécurité pour le respect de la sécurité des personnes et des biens (distances par rapport au sol ou à une installation quelconque).
- Le chapitre 5 - 3 traite des distances internes (distances entre câbles, distances à la masse, distances de travail).

5 - 2 DISTANCES DE SECURITE AU SOL ET AUX OBSTACLES

5 - 2.1 Présentation

Ce chapitre traite du dimensionnement géométrique des lignes aériennes HTB pour le respect de la sécurité des personnes et des biens.

5 - 2.1.1 Définitions

DISTANCE DE SECURITE

C'est la distance à respecter entre les câbles conducteurs nus sous tension d'une ligne aérienne et le sol ou une installation quelconque.

PRINCIPE DES DISTANCES DE SECURITE

La distance de sécurité est égale à la somme :

- d'une **distance dite "de base"** (b) qui prend en compte la nature du surplomb (affectation du sol, nature des installations qu'il comporte, encombrements);
- d'une **distance dite "de tension"** (t), qui prend en compte la probabilité d'apparition d'une surtension et de la présence simultanée d'une personne ou d'un objet au voisinage de la ligne.

  Trois distances de tension sont définies :

  - t_1 = 0,0025 U pour une faible probabilité de voisinage,
  - t_2 = 0,0050 U pour une probabilité de voisinage moyenne,
  - t_3 = 0,0075 U pour une probabilité de voisinage forte.

  t_1, t_2, t_3 sont exprimés en mètres et U, la tension nominale (entre phases) du réseau, en kV.

  Les valeurs numériques suivantes sont données pour les niveaux communs de tension :

U	63 / 90 kV	225 kV	400 kV
t_1	0,2 m	0,6 m	1,0 m
t_2	0,5 m	1,1 m	2,0 m
t_3	0,7 m	1,7 m	3,0 m

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

CALCUL DES DISTANCES REALISEES

Les distances réalisées sont obtenues en calculant la position des câbles dans l'espace.

Les **principales** hypothèses utilisées pour ce calcul sont les suivantes :

- "répartition" (cf. § 4 - 2.3.1),
- "vent nul",
- "vent réduit",
- "givre".

VERIFICATIONS

Elles consistent à s'assurer que les distances réalisées sont supérieures aux distances à respecter.

5 - 2.1.2 Les différents aspects

Les distances de sécurité sont classées en reprenant les rubriques du plan de la norme CENELEC EN 50341 :

- Cas général (par rapport au sol et aux arbres) : § 5.4.4 de la norme EN 50341, § 5 - 2.4. de ce chapitre;
- Voies de circulation (routes, voies ferrées et plans d'eau) : § 5.4.5.3 de la norme EN 50341, § 5 - 2.4. de ce chapitre;
- Bâtiments résidentiels et autres : § 5.4.5.2 de la norme EN 50341, § 5 - 2.4. de ce chapitre;
- Autres lignes aériennes : § 5.4.5.4 de la norme EN 50341, § 5 - 2.4. de ce chapitre;
- Autres zones ou établissements : § 5 - 2.4. de ce chapitre
- Servitudes radioélectriques et aéronautiques : § 5 - 2.5. et § 5 - 2.6. de ce chapitre.

5 - 2.2 Textes de référence

5 - 2.2.1 Réglementation

La réglementation actuelle en matière de dimensionnement géométrique pour le respect des distances aux personnes et aux biens repose sur:

- L'Arrêté Technique en vigueur relatif aux « conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique ».

Pour ce qui concerne la réglementation relative aux servitudes aéronautiques :

- L'arrêté interministériel du 7 juin 2007 relatif aux spécifications techniques destinées à servir de base à l'établissement des servitudes aéronautiques associées aux aérodromes terrestres (à l'exclusion des aérodromes militaires et des hélistations), et à l'exclusion des servitudes radioélectriques,
- L'arrêté interministériel du 31 décembre 1984, modifié par les arrêtés techniques du 20 août 1992 et du 30 mai 1997, relatif aux spécifications techniques destinées à servir de base à l 'établissement des servitudes aéronautiques pour les aérodromes militaires, hélistations et hydrobases,
- L'arrêté interministériel du 7 décembre 2010 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 2.2.2 Normes

- Le chapitre 5 de la norme NF EN 50341-1 (lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif) et les aspects Normatifs Nationaux (NNAs) indiquent un dimensionnement géométrique pour le respect des distances de sécurité.
- L'UTE C18-510.

5 - 2.3 Les hypothèses de calcul des distances réalisées

5 - 2.3.1 Hypothèse de "répartition"

Dans cette hypothèse, les câbles conducteurs sont à la température atteinte lors du régime de surcharge transitoire. Leur position est à calculer pour cette température sans vent.

5 - 2.3.2 Hypothèse de "vent nul"

La position des câbles est à calculer dans les conditions suivantes :

- + 15 °C, vent nul.

5 - 2.3.3 Hypothèse de "vent réduit"

La position des câbles est à calculer en fonction de la zone de vent (voir Partie 3 « Dimensionnement mécanique ») dans laquelle se situe l'ouvrage, dans les conditions suivantes :

Ouvrage implanté en zone	Pression du vent sur les câbles	Température
A-ZVN	240 Pa	+ 15°C
A-ZVF ou A-HPV	360 Pa	

Hypothèses de vent réduit

5 - 2.3.4 Hypothèse de "givre"

Cette hypothèse ne concerne que les zones de givre **moyen et lourd** (voir définitions Partie 3 « Dimensionnement mécanique »).
La position des câbles est à calculer dans les configurations et conditions suivantes :

- givre symétrique :
  - ◊ les surcharges sont les mêmes que celles définies dans la Partie 3 « Dimensionnement mécanique »,
  - ◊ -5 °C, vent nul.
- givre dissymétrique :
  - ◊ le principe des surcharges est le même que celui défini dans la Partie 3 « Dimensionnement mécanique », excepté les différences d'épaisseur à

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

considérer. Deux vérifications sont à effectuer dans les cas de givre moyen (3 ou 4 cm) et de givre lourd (5 ou 6 cm) :

- les portées situées à gauche de la portée considérée sont recouvertes d'un manchon de givre N cm et les portées situées à droite sont recouvertes d'un manchon de givre (N-4) cm (les couples d'épaisseur correspondants sont donc 3/0, 4/0, 5/1 ou 6/2),
- les portées situées à gauche de la portée considérée sont recouvertes d'un manchon de givre (N-4) cm et les portées situées à droite sont recouvertes d'un manchon de givre N cm (les couples d'épaisseur correspondants sont donc 0/3, 0/4, 1/5 ou 2/6),

Dans les deux cas, la portée à vérifier est recouverte d'un manchon de givre d'une épaisseur N cm.

◊ -5 °C, vent nul.

- givre partiel (seulement pour les portées supérieures à 800 m) :
  - ◊ principe : on fait varier la longueur givrée de 30% à 100% de la portée à partir de l'un ou l'autre des supports (on suppose par convention que la portée est ancrée à ses 2 extrémités) pour déterminer l'enveloppe des positions basses successivement calculées,
  - ◊ les surcharges sont les mêmes que celles définies dans la Partie 3 « Dimensionnement mécanique »,
  - ◊ -5 °C, vent nul.

5 - 2.4 Distances à respecter

5 - 2.4.1 Tableaux des distances à respecter

On trouvera dans ce paragraphe un tableau contenant l'intégralité des distances à respecter en fonction de la nature du sol et des obstacles.

On précise par ailleurs :

- que la flèche f utilisée dans plusieurs configurations pour le calcul de la distance de base correspond à la **valeur maximale de la flèche** (en mètres) **de la portée étudiée à la température de répartition** (flèche médiane ou flèche au point bas)
- que les distances listées ci-dessous doivent tenir compte
  - du diamètre des câbles,
  - des accessoires éventuels dont les câbles peuvent être équipés,
  - de l'écartement et de la hauteur entre sous-conducteurs dans le cas de faisceau,
  - de l'épaisseur des manchons de givre.
- les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées (> 800 m) ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes.

Des renvois vers des précisions complémentaires (cf. § 5 - 2.4.2.) sont indiqués pour certains types d'obstacles.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Distances minimales par rapport au sol et aux obstacles à vérifier

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
			Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
						63/90 kV	225 kV	400 kV	
SOLS									
Terrains ordinaires (non cultivés, présence de personne exceptionnelle) (cf. § 5 - 2.4.2.1)	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	6,5	7	7,5	$3+0,6\sqrt{f}+t1$ f = valeur maximale de la flèche (m) de la portée
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	6,5	7	7,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit (uniquement cas des terrains à contre-pentes importantes accessibles aux personnes)	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	6,5	7	7,5	$3+0,6\sqrt{f}+t1$
Terrains agricoles et terrains occupés ou utilisés de façons diverses (cf. § 5 - 2.4.2.2)	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	7	7,5	8,5	$3+0,6\sqrt{f}+t2$
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	6,5	7	7,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit (uniquement cas des terrains à contre-pentes importantes accessibles aux personnes)	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	7	7,5	8,5	$3+0,6\sqrt{f}+t2$

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
			Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
						63/90 kV	225 kV	400 kV	
Aire d'évolution d'engins agricoles ou industriels de grande hauteur (H = hauteur des engins > 5m)	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	H+2	H+2,5	H+3,5	H-2+0,6 $\sqrt{f}$ +t2
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	H+1,5	H+2	H+2,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit (uniquement cas des terrains à contre-pentes importantes accessibles aux personnes)	15	240/360	0	H+2	H+2,5	H+3,5	H-2+0,6 $\sqrt{f}$ +t2
Sol enneigé (sol recouvert de neige dont l'épaisseur est habituellement supérieure à 3 m) *Nota : Les distances pour les sols libres de neige sont également à vérifier en fonction du type de sol*	Surplomb (distance au-dessus de la couche de neige)	Vérification complémentaire	30	0	0	3,5	4	4,5	0,6 $\sqrt{f}$ +t1
Proximité de silos (H = hauteur de la partie supérieure de l'ouverture de remplissage du silo) (cf. § 5 - 2.4.2.4)	Surplomb (distance par rapport au sol)	Répartition	Trep	0	0	H+5,5	H+6	H+6,5	H+2+0,6 $\sqrt{f}$ +t1
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	H+5,5	H+6	H+6,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	H+1	H+1,5	H+2,5	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	H+5,5	H+6	H+6,5	Néant

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
			Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
						63/90 kV	225 kV	400 kV	
Cas particulier : Terrains viticoles traités par hélicoptère (avec pente terrain > 20%)	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	9	9,5	10,5	$5+0,6\sqrt{f}+t2$
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	8,5	9	9,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	9	9,5	10,5	$5+0,6\sqrt{f}+t2$
OBSTACLES DIVERS (cf. § 5 - 2.4.2.5)									
Constructions au sol et parties saillantes des bâtiments non normalement accessibles aux personnes (candélabres d'éclairage public, feux de signalisation, antennes, mâts…) Terrains en très forte pente ou falaises non normalement accessibles aux personnes	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	2	2,7	4	Néant
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	1,2	1,6	2	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	1,2	1,6	2	Néant
Constructions non normalement accessibles aux personnes pouvant être entretenues fréquemment (candélabres, portiques de signalisation…)	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	3	3	4	Néant
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	3	3	4	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	3	3	4	Néant

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
			Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
						63/90 kV	225 kV	400 kV	
VOIES ROUTIERES (cf. § 5 - 2.4.2.8)									
Voies de circulation	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	8,5	8,5	9,5	$3+0,6\sqrt{f}+t3$
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	6,5	7	7,5	Néant
		Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	6,5	7	7,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	6,5	7	7,5	Voir ci-contre
Itinéraire pour véhicule de grande hauteur (H=hauteur du véhicule) *Nota : Vérifier également les distances pour les voies de circulation*	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	H+2	H+2,5	H+3,5	$H-2+0,6\sqrt{f}+t2$
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	H+1,5	H+2	H+2,5	Néant
		Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	H+1,5	H+2	H+2,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	H+1,5	H+2	H+2,5	Voir ci-contre
TRAVERSEE ET VOISINAGE DES CHEMINS DE FER ET AUTRES VOIES RIGIDES POUR VEHICULES GUIDES (VOIES FERREES, AEROTRAINS ET TRAINS SUSPENDUS) (cf. § 5 - 2.4.2.8)									
Traversée et voisinage de chemins de fer et autres voies rigides pour véhicules guidés (voies ferrées, aérotrains et trains suspendus) : distance aux supports, fils de contact aériens, caténaires *Nota : Les traversées équipées de lignes de contact (à suspension caténaire) doivent également être considérées comme une traversée de ligne aérienne BT (respecter les*	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	4	4,5	5,5	Néant
		Givre symétrique	-5	0	≥ 3	3,5	4	4,5	Néant
		Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	3,5	4	4,5	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	3,5	4	4,5	Voir ci-contre

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification		Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
				Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
							63/90 kV	225 kV	400 kV	
distances minimales prescrites pour ce type de traversée)	Voisinage latéral		Vent réduit	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	4	4,5	5,5	Néant
Traversée et voisinage de chemins de fer : distance au gabarit cinématique du matériel ou de la poutre supportant la voie pour véhicules suspendus	Surplomb		Répartition	Trep	0	0	3,5	4,5	5	Néant
			Givre symétrique	-5	0	≥3	3,2	3,7	4,2	Néant
			Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	3,2	3,7	4,2	Néant
			Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥3	3,2	3,7	4,2	Voir ci-contre
TRAVERSEES ET VOISINAGE DE TELEPHERIQUES, REMONTE-PENTES ET PISTES DE SKI										
Téléphériques et remonte-pente (distance à respecter par rapport à la surface délimitant les installations fixes d'un téléphérique ou d'un téléski et à celle définie par le gabarit cinématique de ces engins et de leurs accessoires)	SURPLOMB	Croisement supérieur (ligne HTB au-dessus)	Conducteur : Répartition	Trep	0	0	$1+2x/a\ (0,6\sqrt{f}-1)+t3$ avec : - x = distance au support le plus proche (m), - a = longueur de la portée (m), - f = valeur maximale de la flèche (m) de la portée à la température de répartition (flèche médiane ou flèche au point bas). avec un minimum égal à :			Néant
			Câble téléphérique	15	0	0	4	4,5	5,5	
			Conducteur : Givre symétrique	-5	0	≥3	4	4,5	5,5	Néant
			Câble téléphérique	15	0	0				

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification		Hypothèse à considérer		Condition climatique			Distances à respecter			
					Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
								63/90 kV	225 kV	400 kV	
Téléphériques et remonte-pente (distance à respecter par rapport à la surface délimitant les installations fixes d'un téléphérique ou d'un téléski et à celle définie par le gabarit cinématique de ces engins et de leurs accessoires) *Nota : Pour les distances à respecter par rapport aux câbles téléphériques, ceux-ci doivent être considérés comme un câble BT (distances à respecter prescrites pour ce type de traversée)*	Croisement supérieur (ligne HTB au-dessus)		Conducteur : Givre dissymétrique		-5	0	N/N-4	4	4,5	5,5	Néant
			Câble téléphérique		15	0	0				
	Croisement inférieur (ligne HTB en dessous) *Nota : Déconseillé mais néanmoins toléré*	1ère Vérification	Conducteur		-20	0	0	$1+2x/a\ (0,6\sqrt{f}-1)+t3$ avec : - x, a et f, idem ci-dessus. avec un minimum égal à :			Néant
			Câble téléphérique		15	0	0	4	4,5	5,5	
		2ème Vérification	Conducteur		15	0	0	4	4,5	5,5	Néant
			Câble téléphérique		-5	0	≥ 3				
	Voisinage latéral		*1ère Vérification* Conducteur		30	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	$1+2x/a\ (0,6\sqrt{f}-1)+t2$ avec : - x, a et f, idem ci-dessus avec un minimum égal à :			$1+2x/a\ (0,6\sqrt{f}-1)+t2$
								4	4,5	5,5	

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle		Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
				Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
							63/90 kV	225 kV	400 kV	
Téléphériques et remonte-pente (distance à respecter par rapport à la surface délimitant les installations fixes d'un téléphérique ou d'un téléski et à celle définie par le gabarit cinématique de ces engins et de leurs accessoires)		Voisinage latéral	*2ème Vérification* Conducteur	15	300	0	$1+2x/a\ (0,6\sqrt{f}-1)+t2$ avec : - x, a et f, idem ci-dessus avec un minimum égal à :			$1+2x/a\ (0,6\sqrt{f}-1)+t2$
							4	4,5	5,5	
Piste de ski et aire de rassemblement de skieurs *Nota : Vérifier également les distances pour les sols non enneigés en fonction du type de sol*		Surplomb (distance au-dessus de la couche de neige)	Vérification complémentaire	30	0	0	6	7	8	$1,5+0,6\sqrt{f}+t3$
			Givre symétrique	-5	0	≥ 3	3,5	4	4,5	Néant
COURS D'EAU ET PLANS D'EAU (cf. § 5 - 2.4.2.8)										
Cours d'eau navigables et flottables sans navigation de plaisance à voile	Hauteur au-dessus des plus hautes eaux navigables en présence d'un règlement de police (H = hauteur maximale autorisée des mâts au-dessus du plan de flottaison à vide)	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	H+2	H+2,5	H+3,5	$H-2+0,6\sqrt{f}+t2$
			Givre symétrique	-5	0	≥ 3	H+1,5	H+2	H+2,5	Néant
			Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	H+1,5	H+2	H+2,5	Néant
			Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	H+1,5	H+2	H+2,5	Voir ci-contre

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle		Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
				Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
							63/90 kV	225 kV	400 kV	
Cours d'eau navigables et flottables sans navigation de plaisance à voile	Hauteur minimale au-dessus des plus hautes eaux navigables en l'absence d'un règlement de police	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	9	9,5	10,5	$5+0,6\sqrt{f}+t2$
			Givre symétrique	-5	0	≥ 3	8,5	9	9,5	Néant
			Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	8,5	9	9,5	Néant
			Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	8,5	9	9,5	Voir ci-contre
Cours d'eau navigables et flottables avec navigation de plaisance à voile	Hauteur au-dessus des plus hautes eaux navigables (H = hauteur maximale autorisée du tirant d'air des bateaux de plaisance à voile prescrite par le règlement de police)	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	H+2	H+2,5	H+3,5	$H-2+0,6\sqrt{f}+t2$
			Givre symétrique	-5	0	≥ 3	H+1,5	H+2	H+2,5	Néant
			Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	H+1,5	H+2	H+2,5	Néant
			Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	H+1,5	H+2	H+2,5	Voir ci-contre
	Hauteur minimale au-dessus des plus hautes eaux navigables en l'absence de prescription de hauteur de mât par le règlement de police	Surplomb	Répartition	Trep	0	0	10	10,5	11,5	$6+0,6\sqrt{f}+t2$
			Givre symétrique	-5	0	≥ 3	9,5	10	10,5	Néant
			Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	9,5	10	10,5	Néant
			Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥ 3	9,5	10	10,5	Voir ci-contre

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle		Type de vérification	Hypothèse à considérer		Condition climatique			Distances à respecter			
					Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
								63/90 kV	225 kV	400 kV	
Cours d'eau non navigables ni flottables	Hauteur au-dessus des plus hautes eaux	Surplomb	1ère Vérification	Répartition	Trep	0	0	3,5	4	4,5	$0,6\sqrt{f}$ +t1
				Givre symétrique	-5	0	≥3	3,5	4	4,5	Néant
				Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	3,5	4	4,5	Néant
				Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥3	3,5	4	4,5	Voir ci-contre
	Hauteur au-dessus du niveau d'étiage	Surplomb	2ème Vérification	Répartition	Trep	0	0	6,5	7	7,5	3+0,6$\sqrt{f}$ +t1
				Givre symétrique	-5	0	≥3	6,5	7	7,5	Néant
				Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	6,5	7	7,5	Néant
				Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥3	6,5	7	7,5	Voir ci-contre
DISTANCES AUX MAISONS ET IMMEUBLES (cf. § 5 - 2.4.2.6)											
Bâtiments (Constructions au sol dépassant 3 m de hauteur normalement accessibles à des personnes)		Surplomb	Répartition		Trep	0	0	$1+2x/a\ (0,6\sqrt{f}-1)$+t3 avec : - x = distance au support le plus proche (m), - a = longueur de la portée (m), - f = valeur maximale de la flèche (m) de la portée à la température de répartition (flèche médiane ou flèche au point bas). avec un minimum égal à :			Néant
								4	5,5	6,5	

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer		Condition climatique			Distances à respecter			
				Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
							63/90 kV	225 kV	400 kV	
Bâtiments (Constructions au sol dépassant 3 m de hauteur normalement accessibles à des personnes) (Par extension : passerelles, balcons, terrasses et pour les installations d'équipements sportifs : portiques d'agrès, installations de saut à la perche, plongeoir…)	Surplomb	Givre symétrique		-5	0	≥ 3	3,5	4	4,5	Néant
		Givre dissymétrique		-5	0	N/N-4	0,5	1,1	2	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)		-5	0	≥ 3	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Vent réduit		15	240	0	4	4,5	5,5	Néant
		Vérification complémentaire (uniquement portée > 400m)		15	<u>zones urbanisées :</u> 480 (ZVN) / 640 (ZVF ou HPV) <u>zones non urbanisées :</u> 800 (ZVN) / 1080 (ZVF ou HPV)	0	1,2	1,6	2	Néant
TRAVERSEES ET VOISINAGES DE LIGNES AERIENNES (cf. § 5 - 2.4.2.9)										
Croisement de 2 lignes HTB	Surplomb	1ère Vérification	Ligne supérieure	Trep	0	0	b+t3 avec : - b=1+2x/a (0,6 $\sqrt{f}$ -1) >1, - x= distance du point de croisement au support le plus proche (m), - a= longueur de la portée (m), - f= valeur maximale de la flèche (m) de la portée à la température de répartition (flèche médiane ou flèche au point bas),			
			Ligne inférieure	15	0	0				

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer		Condition climatique			Distances à respecter			
				Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
							63/90 kV	225 kV	400 kV	
Croisement de 2 lignes HTB	Surplomb	2ème Vérification	Ligne supérieure	15	0	0	- t3=0,0075U, - U= tension de l'ouvrage qui surplombe si la ligne inférieure possède un cdg - U= U1+0,4.U2 si U1>U2 ou U=1,25.U1 si U1=U2 si la ligne inférieure ne possède pas de cdg			
			Ligne inférieure	-20	0	0	On calculera la distance de base par rapport à chacune des 2 lignes et on retiendra la plus grande valeur obtenue.			
		Pas de vérification en givre symétrique. Cette hypothèse est couverte par les hypothèses de décharge de givre et de givre dissymétrique								
		Givre dissymétrique Ligne sup : dissymétrique Ligne inf : uniforme		 -5 -5	 0 0	 N/N-4 N/2	t2 avec : - t2=0,0050.U, - U= tension de l'ouvrage qui surplombe si la ligne inférieure possède un cdg - U= U1 +0,4.U2 si U1>U2 ou U=1,25.U1 si U1=U2 si la ligne inférieure ne possède pas de cdg **Au givre dissymétrique**, à l'endroit du croisement, le câble conducteur inférieur de l'ouvrage surplombant est considéré avec une épaisseur de givre N. **Au givre partiel**, à l'endroit du croisement on considère le cas qui correspond à la hauteur la plus basse du câble conducteur inférieur de l'ouvrage surplombant.			
		Givre partiel (uniquement pour portées > 800 m de la ligne surplombante) Ligne sup : givre partiel Ligne inf : givre uniforme		 -5 -5	 0 0	 ≥3 N/2				
		Décharge de givre		cf. § 5 - 3.3.2.2						

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer		Condition climatique			Distances à respecter			
				Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
							63/90 kV	225 kV	400 kV	
Croisement de 2 lignes HTB	Voisinage latéral	1ère Vérification	Ligne 1	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	b+t2 avec : - b =1+2x/a (0,6 $\sqrt{f}$ -1) >1, - x = distance du point de croisement au support le plus proche (m), - a = longueur de la portée (m), - f = valeur maximale de la flèche (m) de la portée à la température de répartition (flèche médiane ou flèche au point bas), - t2 = 0,0050.U, et : - U = U1+0,4.U2 si U1>U2 ou U=1,25.U1 si U1=U2 (b+t2 représente alors la distance entre phase ligne 1 et phase ligne 2 et inversement), ou - U = tension de l'ouvrage qui surplombe (b+t2 représente alors la distance entre phase ligne 1 et cdg ligne 2 et inversement). On calculera la distance de base par rapport à chacune des 2 lignes et on retiendra la plus grande valeur obtenue.			
			Ligne 2	15	0	0				
		2ème Vérification	Ligne 1	15	0	0				
			Ligne 2	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0				
Cas particulier : Couloirs de ligne (entre lignes HTB)	Voisinage latéral	cf. § 5 - 2.4.4								
Croisement d'une ligne HTB avec un autre type de ligne (télécommunication, ligne H.T.A, BT, caténaire, câble téléphérique, etc.)	Surplomb	Ligne HTB		Trep	0	0	b+t3 avec : - b = 1+2x/a (0,6 $\sqrt{f}$ -1) >1, - x = distance du point de croisement au support le plus proche (m), - a = longueur de la portée (m),			

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
			Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
						63/90 kV	225 kV	400 kV	
Croisement d'une ligne HTB avec un autre type de ligne (télécommunication, ligne H.T.A, BT, caténaire, câble téléphérique, etc.)	Surplomb	Ligne surplombée	15	0	0	- f = valeur maximale de la flèche (m) de la portée à la température de répartition (flèche médiane ou flèche au point bas), - t3 = 0,0075.U, - U = tension de l'ouvrage HTB. Si les deux lignes sont électriques, on calculera la distance de base par rapport à chacune des 2 lignes et on retiendra la plus grande valeur obtenue. Cette valeur ne peut être inférieure à 1 mètre.			
		Pas de vérification en givre symétrique. Cette hypothèse est couverte par les hypothèses de décharge de givre et de givre dissymétrique							
		Givre dissymétrique	-5	0	N/N-4	0,5	1,1	2	Néant
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m) Ligne sup : givre partiel Ligne inf : sans givre	-5 15	0 0	≥ 3 0	0,5	1,1	2	Voir ci-contre
	Voisinage latéral	Ligne HTB	15	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV)	0	b+t2 avec : - b = 1+2x/a (0,6 $\sqrt{f}$ -1) >1, - x = distance du point de croisement au support le plus proche (m), - a = longueur de la portée (m), - f = valeur maximale de la flèche (m) de la portée à la température de répartition (flèche médiane ou flèche au point bas), - t2 = 0,0050.U, - U = tension de l'ouvrage HTB.			
		Ligne surplombée	15	0	0	Si les deux lignes sont électriques, on calculera la distance de base par rapport à chacune des 2 lignes et on retiendra la plus grande valeur obtenue. Cette valeur ne peut être inférieure à 1 mètre.			

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Type d'obstacle	Type de vérification	Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
			Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (> 800m)
						63/90 kV	225 kV	400 kV	
DELIMITATION DE DEBOISEMENT									
Arbres (cf. § 5 - 2.4.2.7)	Surplomb (distance par rapport à la cime de l'arbre)	Répartition (flèche médiane < 22m)	Trep	0	0	G1			Néant
						3,5	4,5	6	
		Répartition (22 ≤ flèche médiane ≤ 50m)	Trep	0	0	5	6	7,5	Néant
		Répartition (flèche médiane > 50m)	Trep	0	0	6,5	7,5	9	Néant
		Givre symétrique	-5	0	≥3	G3			Néant
						2	3	3	
		Givre partiel (uniquement portée > 800 m)	-5	0	≥3	2	3	3	Voir ci-contre
	Voisinage latéral (distance entre le câble conducteur extrême et l'extrémité de la ramure de l'arbre (pour une distance par rapport au tronc de l'arbre, il est d'usage de considérer un rayon moyen de ramure d'arbre de 5 m))	Répartition+Vent réduit	Trep (pour mémoire 15 °C dans l'article 26 de l'AT 2001)	240 (ZVN) / 360 (ZVF et HPV) [si zones rouges : 360 (ZVN) / 480 (ZVF et HPV)]	0	G2			Néant
						3,5	4,5	6	

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Distances minimales aux conditions de régime de court-circuit (échauffement)

Type d'obstacle	Type de vérification		Hypothèse à considérer	Condition climatique			Distances à respecter			
				Température des câbles (°C)	Pression de vent sur les câbles (Pa)	Epaisseur du manchon de givre (cm)	Portées courantes			Grandes portées (>800m)
							63/90 kV	225 kV	400 kV	
Routes importantes	Surplomb		Condition de court-circuit	Tcc	0	0	6,50	7	7,50	Néant
Bâtiments (cf. § 5 - 2.4.2.6) (Par extension : passerelles, balcons, terrasses et pour les installations d'équipements sportifs : portiques d'agrès, installations de saut à la perche, plongeoir…)	Surplomb		Condition de court-circuit	Tcc	0	0	1,5	1,5	1,5	Néant
Croisement de 2 lignes HTB	Surplomb	Ligne inférieure sans cdg	Ligne supérieure	Tcc	0	0	0,5	1,1	2,0	Néant
			Ligne inférieure	15	0	0				
		Ligne inférieure avec cdg	Ligne supérieure	Tcc	0	0	t2 avec : - t2=0,0050.U, - U= U1 +0,4.U2 si U1>U2 et U =1,25.U1 si U1=U2			Néant
			Ligne inférieure	15	0	0				

Les conditions du défaut, qui permettent de calculer l'augmentation de flèche du câble conducteur inférieur, sont données dans la Partie 4 « Dimensionnement électrique ».

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 2.4.2 Précisions et compléments explicatifs sur les tableaux des distances minimales à respecter par rapport au sol et aux obstacles

5 - 2.4.2.1 Terrain ordinaire

Sont considérés comme « terrains ordinaires » les sols non susceptibles d'être cultivés et sur lesquels la présence de personnes est exceptionnelle (zones de haute montagne, garrigues du Midi, etc.).
Un terrain en friche, situé en zone de culture, doit être considéré comme un terrain agricole.

5 - 2.4.2.2 Terrain agricole et terrain occupé ou utilisé de façons diverses

Un terrain en friche, situé dans une zone de culture, doit être considéré comme un terrain agricole. Un jardin ou une prairie est également considéré comme un terrain agricole.

Les terrains suivants sont considérés comme des terrains occupés ou utilisés de façons diverses :

- campings,
- parcs de stationnement,
- embarcadères non utilisés par les véhicules poids lourds,
- terrains des établissements d'enseignement,
- terrains des installations d'équipements sportifs.

5 - 2.4.2.3 Terrain agricole : arrosage au jet canon

En dessous de 26 mm d'ajutage, il n'y a aucune précaution à prendre pour l'emplacement de l'arroseur au voisinage des lignes établies à la hauteur minimale réglementaire.
Pour des diamètres d'ajutage supérieurs à 26 mm, il y a absence de contrainte quant au positionnement de l'arroseur, lorsque la hauteur minimale des câbles conducteurs est supérieure à :

- 11 m pour diamètre d'ajutage compris entre 26 mm et 33 mm, limites comprises,
- 12 m si le diamètre est supérieur à 33 mm.

Dans le cas où ces hauteurs précédentes ne peuvent pas être appliquées, l'Arrêté Technique définit les distances minimales entre l'arroseur et l'aplomb du câble conducteur extrême pour éviter tout risque pour les personnes :

- 20 m si le diamètre d'ajutage est compris entre 26 et 33 mm, limites comprises,
- 25 m si ce diamètre est supérieur à 33 mm.

5 - 2.4.2.4 Silos

Les silos concernés sont ceux situés dans des exploitations agricoles affectées au stockage de produits desservis en vrac.
Le silo est inclus partiellement ou entièrement dans un volume de protection représenté par un cylindre dont l'axe est la verticale passant par le centre de l'orifice de remplissage du silo et dont la hauteur est H+5 mètres et le rayon H+5 mètres avec un maximum de 15 mètres (pour rappel, H est

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

la hauteur de la partie supérieure de l'ouverture de remplissage du silo). Aucun câble conducteur HTB ne doit se trouver dans ce volume.
Si une zone de manœuvre de matériel ou d'engin de manutention aux abords du silo est matérialisée durablement (exemple : piste d'accès pour véhicules de livraison), aucun câble conducteur HTB ne doit se trouver en projection horizontale à moins de H+5 mètres, avec un maximum de 15 mètres, des limites de la matérialisation.
Ces distances ne sont toutefois pas imposées dans les directions où se situent, par rapport aux orifices de remplissage ou de vidange, des obstacles permanents rendant impossible tout contact accidentel des matériels avec les lignes électriques (clôtures, bâtiments, murs…).
La voie d'accès à la zone de manœuvre doit être traitée comme une voie ouverte à la circulation.

5 - 2.4.2.5 Constructions ou obstacles non normalement accessibles aux personnes

Cela concerne toutes parties non normalement accessibles à des personnes, de constructions au sol (candélabres d'éclairage public, feux de signalisation, antennes, houblonnières, etc., et dans les installations d'équipement sportif, les poteaux, mâts, etc.) ou de parties saillantes de bâtiments (antennes, paratonnerres, mâts, enseignes, appareils d'éclairage extérieurs, portiques, etc.) lorsque ces diverses installations atteignent un niveau de plus de 3 mètres au-dessus du sol. Elles concernent également les terrains en très forte pente ou falaises non normalement accessibles aux personnes.

Dans le cas de constructions pouvant être entretenues fréquemment (candélabres, portiques de signalisation,…), les distances à considérer sont à minima les Distances Limites de Voisinage définies dans l'UTE C18-510. Cela dit, afin de permettre l'entretien de ces constructions par du personnel généralement non habilité au sens de l'UTE C18-510, on cherchera à respecter la distance de 5,00 mètres prescrite dans l'article R4534-108 du Code du Travail relatif aux distances minimales de sécurité dans le cadre de travaux au voisinage de lignes, canalisations et installations électriques de tension supérieure ou égale à 50000 volts.

5 - 2.4.2.6 Bâtiments

Est considérée comme un bâtiment toute construction au sol dépassant 3 mètres de hauteur normalement accessible à des personnes, ou toute partie saillante de bâtiment normalement accessible par des personnes. On devra donc s'assurer, qu'en tout point du bâtiment, les distances de sécurité associées sont respectées.
Il concerne aussi par extension les passerelles, balcons, terrasses, etc., et dans les installations d'équipements sportifs, les portiques d'agrès, les installations de saut à la perche, les plongeoirs, etc.

Les distances aux bâtiments indiquées dans les tableaux sont issues de l'AT 2001. Cependant, afin de permettre l'accès à la toiture du bâtiment par des personnes non habilitées au sens de l'UTE C18-510 et d'éviter une consignation de l'ouvrage, le maître d'ouvrage fera respecter une distance minimale de 5,00 m, conformément à l'article R4534-108 du Code du Travail relatif aux distances minimales de sécurité dans le cadre de travaux au voisinage d'installations électriques de tension supérieure ou égale à 50000 volts. Cette distance de 5,00 m est à vérifier par rapport à l'enveloppe d'évolution des personnes.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 2.4.2.7 Arbres

Ces distances définissent les déboisements à entreprendre afin de pouvoir effectuer, d'une part, les travaux de construction, et afin de réserver, d'autre part, une exploitation future correcte de la ligne pendant une longue durée.
Le déboisement doit être parfaitement défini au moment de la construction de la ligne.
On se réfèrera au CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) de l'ouvrage pour la définition au cas par cas :

- des zones où l'abattage est permis,:
- des largeurs des éventuelles tranchées de déroulage et/ou des surfaces d'éventuels déboisements aux emplacements des pylônes/poteaux.

La végétation devra être entretenue de manière à ce que les distances spécifiées soient à tout moment respectées entre les câbles conducteurs et la cime des arbres. Au besoin ces derniers pourront être étêtés.

Les zones dites « rouges » correspondent à des **zones forestières particulièrement exposées aux risques d'incendie** (massifs forestiers, zones brûlées, maquis, garrigues, peuplements jeunes) et n'intéressent que le pourtour méditerranéen.
Elles sont définies dans les circulaires des 20 avril 1972 et 15 octobre 1973 du Ministre Chargé de l'Electricité.
En sont exclues notamment, les zones urbanisées, cultivées ou pastorales ainsi que les plantations.

5 - 2.4.2.8 Routes, voies ferrées, plans d'eau

Définitions générales

- Sont considérées comme des « routes » toutes les voies ouvertes à la circulation publique (article 24 § 3 de l'AT2001), sans notion de largeur minimale. Celles-ci peuvent être aussi bien goudronnées, empierrées ou de terre. Ce sont des voies affectées à l'usage du public et ouvertes à la circulation générale. Ceci exclut en revanche tous les chemins ne présentant pas d'intérêt général, n'établissant aucune communication entre hameaux, voies publiques, chemin de fer, etc… ou ne donnant pas accès à une mairie, une église, une école, une fontaine publique, etc…c'est par exemple le cas du chemin d'exploitation traversant des propriétés rurales et se perdant dans les terres.
- Sont considérés comme des « voies ferrées », les chemins de fer et autres voies rigides pour véhicules guidés (hors voies déclassées ou en instance de déclassement, ainsi que hors voies ferrées de quais, embranchements industriels ou autres voies analogues).
- Sont considérées comme « plans d'eau » ou « cours d'eau », les voies navigables, voies de circulation établie sur les dépendances d'un domaine public fluvial ou maritime.

Compléments propres à la traversée et au voisinage des chemins de fer et autres voies rigides pour véhicules guidés
L'article de l'Arrêté Technique en vigueur relatif au "Voisinage de chemins de fer et autres voies rigides pour véhicules guidés" précise que le gabarit cinématique est défini comme l'encombrement qu'un véhicule en mouvement ne doit pas dépasser, en tenant compte des jeux, des déplacements

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

latéraux sous l'effet du dévers et de la force centrifuge non compensée, des inclinaisons autour de l'axe de suspension, etc.
Par ailleurs, les traversées de voies équipées de lignes de contact (à suspension caténaire) doivent être considérées, dans tous les cas, comme une traversée de ligne aérienne BT et les distances minimales ne doivent pas être inférieures aux distances minimales prescrites pour ce type de traversée.

Précision sur les cours d'eau et plans d'eau navigables et flottables avec navigation de plaisance à voile
Les lignes électriques ne doivent pas être implantées dans les zones spécialement aménagées pour la mise à l'eau des voiliers ou dans les zones permettant cette opération par leurs dispositions naturelles. S'il n'est pas possible d'éviter le surplomb de ces zones, la hauteur minimale à respecter, dans ce cas, devra être égale à celle prévue au-dessus du plan d'eau, majorée de 1 mètre.

Spécificités de la traversée d'une voie de communication
La traversée doit se faire avec un angle supérieur ou égal à 5 degrés (pris entre l'axe de la ligne et l'axe de la bande de circulation). Cette prescription concerne :

- les autoroutes, les routes nationales, les routes départementales, les voies communales de 6 mètres de largeur de chaussée au moins,
- les plans d'eau.

En sont exclues les voies ferrées pour lesquelles le surplomb longitudinal est autorisé (Article "Voisinage des voies de communication, des téléphériques et des téléskis" de l'Arrêté Technique 2001).

En outre, l'implantation d'un pylône n'est pas autorisée sur un terre-plein central (exemple : autoroutes, voies ferrées sur plate-forme indépendante).
En dehors des agglomérations, le long des nationales et des départementales importantes, les pylônes doivent être implantés au-delà des fossés, parapets ou glissières de sécurité, s'il en existe et, à défaut, à la limite de l'emprise de la route.

5 - 2.4.2.9 Croisement d'une ligne HTB avec une autre ligne aérienne (ligne de télécommunication, ligne HTB, HTA, BT, caténaire, câbles de téléphérique)

Les prescriptions ci-dessous, ainsi que les distances minimales indiquées dans le tableau, concernent uniquement des lignes aériennes établies sur supports indépendants.

Cas du croisement de 2 lignes HTB où la ligne surplombée est pourvue de câble(s) de garde
Comme cela est indiqué dans le tableau des distances minimales par rapport au sol et aux obstacles, si la ligne inférieure (surplombée) est pourvue de câble(s) de garde, la tension nominale U (en kV), utilisée pour calculer la distance de tension, sera prise égale à la tension nominale de la ligne supérieure (surplombante).

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Cas du croisement de 2 lignes HTB où la ligne surplombée est dépourvue de câble(s) de garde

Si ligne inférieure (surplombée) est dépourvue de câble(s) de garde, la tension nominale U (en kV), utilisée pour calculer la distance de tension, sera définie telle que :

- U = U1 + 0.4 U2 avec U1 > U2 (croisement d'une ligne 400 kV avec une ligne 225 kV par exemple)
- U = 1.25 U1 si U1 = U2 (croisement de deux lignes 90 kV par exemple)

Les valeurs numériques des distances de tension correspondantes sont indiquées ci-dessous :

	Ligne en projet / *Ligne existante*	**63 ou 90 kV**	**225 kV**	**400 kV**
Surplomb t3	**63 ou 90 kV**	0,90 m	2,00 m	3,30 m
	150 ou 225 kV	2,00 m	2,10 m	3,70 m
	400 kV	3,30 m	3,70 m	3,80 m
Voisinage latéral t2	**63 ou 90 kV**	0.60 m	1.30 m	2.20 m
	150 ou 225 kV	1.30 m	1.40 m	2.50 m
	400 kV	2.20 m	2.50 m	2.50 m

Distances de tension pour le croisement de lignes aériennes HTB sans CdG

Ce cas de figure ne peut se produire qu'en cas de ligne neuve surplombant une ligne existante dépourvue de câble(s) de garde. En effet, en cas de ligne neuve surplombée par une ligne existante, la tension nominale U sera automatiquement égale à la tension de la ligne surplombante, car toute ligne neuve est obligatoirement munie de câble(s) de garde.

Croisement d'une ligne HTB avec une autre ligne électrique aérienne

Pour toutes les vérifications sans condition de givre, la distance minimale à respecter ne peut être inférieure à deux mètres, conformément à l'article « Voisinage de lignes électriques aériennes placées sur supports indépendants » de l'AT 2001.

Croisement d'une ligne HTB avec une ligne aérienne de télécommunication

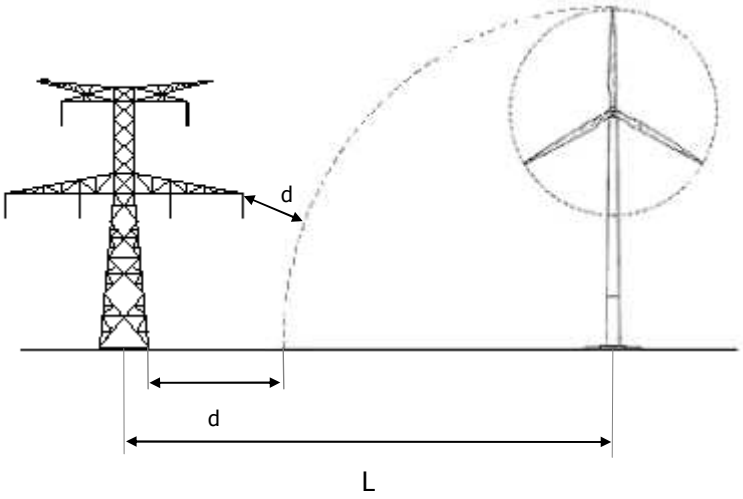
La distance de base est prise égale à 1 m conformément à l'article « Voisinage de lignes aériennes de télécommunications » de l'AT 2001.

5 - 2.4.3 Cas particulier des voisinages d'éoliennes

En cas de proximité d'éolienne, on s'assurera, lors de la définition du tracé de l'ouvrage neuf, que les distances de sécurité entre l'ouvrage et la partie la plus proche de l'éolienne (pales comprises) sont supérieures ou égales à une distance de 5,00 m, telle que prescrite dans l'article R4534-108 du Code du Travail relatif aux distances minimales de sécurité dans le cadre de travaux au voisinage d'installations électriques de tension supérieure ou égale à 50000 volts.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Toutefois, dans le cadre de lignes dites « **stratégiques** » - c'est-à-dire toute ligne dont la perte, en cas de chute d'une éolienne, compromettrait la sécurité du réseau, telle que les lignes de sortie de centrale, les lignes double ternes 225kV, les lignes 400kV et les couloirs de ligne - on adoptera une distance d'éloignement **supérieure à la hauteur de l'éolienne, pales comprises**. En effet, on doit s'assurer qu'il n'y ait aucun contact entre la ligne et l'éolienne ruinée, au cours et après le renversement éventuel. Le calcul de la distance d'éloignement doit comprendre une distance de garde d supérieure ou égale à 3 mètres entre l'axe de l'éolienne et la partie la plus proche de la ligne (voir figure 2 ci-après).



L est défini de manière à vérifier $d \geq 3m$

Figure 2 : distance d'éloignement imposée par la ruine d'une éolienne

5 - 2.4.4 Cas particulier des couloirs de lignes HTB

5 - 2.4.4.1 Cas général

Les lignes aériennes HTB sont fréquemment regroupées dans des couloirs, dans ce cas les distances entre lignes voisines doivent satisfaire les conditions suivantes :

- éviter les amorçages entre les câbles conducteurs les plus rapprochés, en cas de balancement des câbles,
- permettre l'exécution et l'entretien courant d'une ligne, sans qu'il soit nécessaire de mettre hors service les lignes adjacentes,
- dans le cas des lignes de raccordement des centrales nucléaires, éviter que la chute d'un pylône ne conduise à une défaillance seconde (consécutive) de la ligne voisine.

Distances minimales entre lignes imposées par le balancement des câbles conducteurs

Dans leurs mouvements, les câbles conducteurs les plus rapprochés de deux lignes voisines ne doivent jamais être à une distance inférieure à $(t1\sqrt{3})$ majorée de l'écartement des câbles

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

conducteurs du faisceau éventuel (par exemple câbles conducteurs en faisceau pour une ligne et câble conducteur unique pour l'autre), des valeurs des rayons des câbles conducteurs et de l'encombrement des accessoires éventuels sur les câbles conducteurs (COE, balises avifaunes, balises diurnes, balises nocturnes…).
On considère qu'un support de la ligne 1 peut être placé au droit de la flèche médiane d'une portée de la ligne 2 ou, ce qui est équivalent, du point de vue du balancement, qu'une portée de la ligne 1 se trouve dans sa position d'équilibre en vent nul alors que la portée voisine de la ligne 2 est déviée au maximum sous le vent réduit.
En pratique, les mouvements des câbles conducteurs à prendre en compte se décomposent en :

- ligne 1 : des oscillations asynchrones du câble conducteur de la portée autour de sa position d'équilibre (en « vent nul »), résultant des irrégularités du vent (ces oscillations sont calculées en considérant la flèche médiane de la portée à la température de répartition). La position d'équilibre sans vent est celle qui correspond au paramètre à la répartition ;
- ligne 2 : un balancement d'ensemble de la portée de l'une des lignes (en « vent réduit »), en considérant la flèche médiane de la portée calculée à la température de répartition. Des oscillations asynchrones du câble conducteur autour de sa position d'équilibre sous le vent réduit sont également à considérer.

On doit considérer chaque ligne par rapport à l'autre pour ne garder que le cas le plus contraignant.
En outre, les distances entre axes de lignes sont adaptées, en fonction des difficultés probables d'implantation, pour réduire les effets des couplages électrostatiques ou électromagnétiques entre lignes voisines.

La distance minimale Dm entre les plans verticaux contenant les points d'accrochage des câbles conducteurs extrêmes de deux lignes parallèles (lignes 1 et 2) est :

$$Dm = [\,(f_2 + l_2)\sin\alpha_2 + \frac{e_1 + e_2}{2}\,] + t_1\sqrt{3} + \frac{E_{f1} + E_{f2}}{2} + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} + acc$$

avec (i étant l'indice de la ligne, 1 ou 2) :

- e_i : amplitude des oscillations asynchrones des câbles conducteurs. Pour le calcul de e_i, on utilise la valeur de la flèche médiane à la température de répartition et le coefficient de surcharge du câble conducteur en vent réduit.
  - si $(f_i+l_i) \le 80$ m $\quad e_i = 0{,}6\ m'_i\ \sqrt{f_i + l_i}$
  - si $(f_i+l_i) > 80$ m $\quad e_i = m'_i\,(\frac{f_i+l_i}{30} + 2{,}7)$
- f_i : flèche médiane de la portée calculée à la température de répartition (m),
- l_i : longueur de la chaîne de suspension (m),
- m'_i : coefficient de surcharge du câble conducteur pour le vent réduit, tel que :

$$m' = \frac{\sqrt{(p_v \varnothing)^2 + (P + \frac{P_{acc}}{a})^2}}{P + \frac{P_{acc}}{a}}$$

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

avec :

- p_v : pression de vent (daN/m^2 ; 1 daN/m^2 = 10 Pa),
- Ø : diamètre du câble conducteur en m,
- P : poids propre du câble conducteur par unité de longueur (daN/m : 0,981×masse du câble au mètre linéaire en kg/m),
- P_{acc} : poids total des accessoires sur la portée (COE, contrepoids anti giratoires, balises avifaunes, balises diurnes, balises nocturnes),
- a : longueur de la portée (m).

- α_i : angle de balancement du câble conducteur sous le vent réduit $\sin \alpha_i = \sqrt{1 - \frac{1}{m'_i{}^2}}$
- t1 : distance de tension en mètre,
- E_{fi} : écartement des câbles conducteurs du faisceau éventuel double, triple ou quadruple (0,6 m ou 0,4 m suivant le type de faisceau employé)
- ϕ_i : diamètre du câble conducteur
- acc : épaisseur des accessoires éventuels sur les câbles conducteurs (COE, contrepoids anti giratoires, balises avifaunes, balises diurnes, balises nocturnes,…).

Cas des grandes portées supérieures à 800 m

Dans les cas de grandes portées, il est en général nécessaire d'aligner les supports.
Ceci permet de bénéficier du balancement synchrone des câbles conducteurs si leur nature et leur section sont semblables. Les câbles conducteurs des deux lignes sont alors vérifiés au « vent réduit » et leurs angles de balancement α sont identiques.
Il faut toutefois tenir compte de la différence d'angle de balancement des câbles conducteurs sous le vent réduit lorsque les câbles conducteurs sont différents ou ont des coefficients de surcharge différents.
Dans ces deux cas de figure, on devra respecter les distances prescrites au § 5 - 3.3.1.

Distances de travail à respecter pour travail dans l'environnement de la tension

Pour une ligne dans un couloir, le CCTP peut demander de prévoir de réserver la possibilité d'intervention pour entretien courant (par exemple, changement d'une chaîne d'isolateurs ou réparation d'un câble) sur la ligne en question consignée.
En conséquence, les distances entre deux câbles conducteurs de lignes voisines doivent être supérieures aux distances minimales à respecter pour le travail dans l'environnement de la tension dans le cadre de la publication UTE C18-510.
Les distances à respecter sont fixées à :

- 3,25 m en 63 ou 90 kV,
- 3,50 m en 225 kV,
- 4,50 m en 400 kV.

Les distances réalisées doivent être calculées pour des conducteurs de la ligne 1 en équilibre à + 15°C avec le vent exerçant une pression de 60 Pa, les conducteurs de la ligne 2 étant dans leur position en "vent nul".

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Pour les travaux plus conséquents de construction d'une ligne voisine ou de déplacement d'un support à l'intérieur du couloir, aucune règle précise ne peut être énoncée, les distances variant avec l'organisation du chantier et les moyens mis en œuvre.

5 - 2.4.4.2 Distances complémentaires à respecter réservées aux couloirs de raccordement aux centrales nucléaires

Ce paragraphe est réservé aux lignes d'alimentation des auxiliaires des centrales nucléaires et est lié aux spécificités de sécurité exigées pour ce type de production.
L'objectif est d'éviter qu'une ruine de pylône se produisant sur une ligne du couloir ait une répercussion, en cas de **renversement, sur les lignes d'alimentation électrique des auxiliaires d'une centrale nucléaire** (lignes à 225 kV dans le cas des groupes de 900 MW, lignes à 400 kV dans le cas des groupes de 1 200 MW ou plus).
Cette éventualité de rotation à prendre en compte pour le calcul de la distance réalisée concerne uniquement le renversement d'un pylône d'une ligne du couloir (il peut s'agir d'une ligne d'interconnexion, de raccordement des groupes ou d'alimentation des auxiliaires de la centrale) sur une ligne d'alimentation des auxiliaires de la centrale.

La distance à respecter doit être telle qu'il n'y ait aucun contact entre le pylône ruiné et la ligne d'alimentation des auxiliaires de la centrale nucléaire, au cours et après le renversement éventuel : son calcul doit comprendre **une distance de garde d de 3 mètres** entre le pylône en question et la ligne d'alimentation des auxiliaires.
Ces prescriptions sont valables pour tout pylône, quel que soit son angle en ligne et qu'il soit de suspension, d'ancrage ou d'arrêt devant un poste. Elles ne concernent pas les pylônes d'arrêt aérosouterrains.

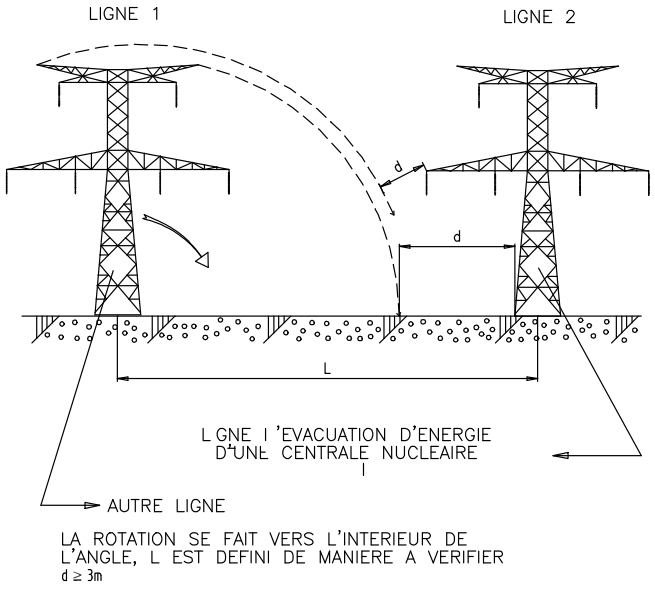


Figure 3 : Distance imposée par la rotation du pylône

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 2.4.5 Etablissements pyrotechniques

Ce chapitre concerne les établissements ou parties d'établissements où l'on fabrique, charge, encartouche, conserve, conditionne, travaille, étudie, essaie ou détruit des matières ou des objets explosibles destinés à être utilisés pour les effets de leur explosion ou à des fins pyrotechniques.
La distance minimale entre l'établissement et l'aplomb du câble conducteur extrême est de 100 m. Cette condition doit être vérifiée en hypothèse « vent réduit ».
La distance se compte horizontalement :

- en ce qui concerne les établissements soumis au décret n° 79-844 du 28 septembre 1979, à partir de la limite de l'enceinte pyrotechnique
- en ce qui concerne les dépôts, à partir du bâtiment ou de l'aplomb extérieur de la clôture qui entoure le magasin

5 - 2.4.6 Dépôts de produits inflammables liquides ou gazeux de première classe

Les classes considérées sont définies par la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 modifiée relative aux établissements classés pour la protection de l'environnement et au décret d'application n° 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié. La première classe correspond aux établissements soumis à autorisation et la deuxième classe à ceux qui ne sont soumis qu'à déclaration.
Le surplomb des zones classées des dépôts de produits inflammables liquides ou gazeux de 1ère classe, ainsi que des raffineries de pétrole brut et de ses dérivées ou résidus, par des lignes électriques aériennes, est interdit. Cette condition doit être vérifiée en tenant compte du balancement des câbles conducteurs en hypothèse « vent réduit ».
En cas de surplomb ou de voisinage immédiat des enceintes de ces établissements, les mesures définies au § 5 - 2.7 (« mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements ») doivent être appliquées.

5 - 2.4.7 Etablissements d'enseignement et installation d'équipement sportif

Les supports ne doivent pas être implantés à l'intérieur des établissements d'enseignement et des installations d'équipement sportif.
Si, exceptionnellement, cette condition ne peut être remplie, toute disposition doit être prise pour que les abords des supports implantés à l'intérieur soient rendus inaccessibles.
Aucun support ne doit être implanté près d'une piscine en plein air, les distances à respecter pour les supports par rapport à une piscine et aux zones d'évolution des baigneurs sont définies dans la Partie 4 « Dimensionnement électrique » § 4 - 6.6.1 (« Prévention des risques électriques vis-à-vis des personnes »).
En cas de surplomb d'un établissement d'enseignement ou d'une installation d'équipement sportif, les mesures définies au § 5 - 2.7 relatif aux « mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements » doivent être appliquées.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 2.5 Servitudes radioélectriques

Ces servitudes sont réglementées par les articles L54 et L64 du Code des Postes et des Communications Electroniques dont les dispositions sont précisées par les R21 à R42 du même code et différents arrêtés ministériels.
Ces servitudes « non aedificandi » ou « non altius tollendi » interdisent l'édification des ouvrages ou réglementent leur hauteur dans des zones définies autour des centres radioélectriques.
Les obstacles susceptibles de perturber la propagation des ondes peuvent être de toute nature. Pour éviter que de tels obstacles puissent être construits, les plans de servitudes précisent des zones dans lesquelles il est interdit, sauf dérogation, de créer des obstacles fixes ou mobiles dont la partie la plus haute excéderait la cote définie par ce plan.
Ces zones, suivant le type de station, sont :

- une zone primaire de dégagement d'un rayon de 400 mètres maximum, elle-même entourée d'une zone secondaire de dégagement pouvant porter la distance protégée à 2000 mètres ; ou bien un secteur de dégagement pouvant s'étendre jusqu'à 5000 mètres de l'installation ;
- sur le trajet d'une liaison utilisant des fréquences supérieures à 30 MHz , une zone spéciale de dégagement affectant la forme d'un couloir axé sur la projection au sol du trajet des ondes.

5 - 2.6 Servitudes aéronautiques

Les servitudes aéronautiques sont destinées à assurer la protection d'un aérodrome contre les obstacles, de façon à ce que les aéronefs puissent y atterrir et en décoller dans de bonnes conditions de sécurité et de régularité.

Deux catégories de servitudes protègent les aérodromes :

- les servitudes aéronautiques de dégagement,
- les servitudes aéronautiques de balisage .

Les servitudes aéronautiques de dégagement comportent l'interdiction de créer ou l'obligation de supprimer les obstacles susceptibles de constituer un danger pour la circulation aérienne ou nuisibles au fonctionnement des dispositifs de sécurité établis dans l'intérêt de la navigation aérienne (code de l'aviation civile, article R241-1). Elles se déterminent à partir de surfaces au-dessus desquelles aucun obstacle ne doit être créé. S'il existe déjà, celui-ci peut être supprimé.
Les servitudes aéronautiques de balisage comportent l'obligation d'équiper les obstacles de dispositifs visuels ou radioélectriques destinés à signaler leur présence aux navigateurs aériens ou à en permettre l'identification.
Les lignes électriques font partie des obstacles dits « filiformes », les limitations de hauteur qui s'appliquent aux lignes aériennes ainsi que les règles de balisage sont donc celles liées à ce type d'obstacles.

Les règles de dégagement des divers aérodromes civils et militaires et de balisage des obstacles sont fixées par :

- l'arrêté du 7 juin 2007 qui fixe les spécifications techniques destinées à servir de base à l'établissement des servitudes aéronautiques, à l'exclusion des servitudes radioélectriques. Il

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

concerne les servitudes aéronautiques associées aux aérodromes terrestres (à l'exception des aérodromes militaires et des hélistations),

- l'arrêté interministériel du 31 décembre 1984, modifié par les arrêtés techniques du 20 août 1992 et du 30 mai 1997, relatif « aux spécifications techniques destinées à servir de base à l'établissement des servitudes aéronautiques, à l'exclusion des servitudes radioélectriques », continue à s'appliquer aux aérodromes militaires, aux hélistations et aux hydrobases.
- l'arrêté interministériel du 7 décembre 2010 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

Les définitions et règles générales de dégagement et de balisage des obstacles à proximité des aérodromes sont abordées dans la publication de l'ITAC « Instructions Techniques sur les Aérodromes Civils ».
Dans tous les cas, le maître d'ouvrage se réfèrera aux arrêtés interministériels précités et à la publication de l'ITAC, et devra prendre contact avec les services responsables afin de définir précisément les limites de la servitude imposée aux lignes aériennes.

5 - 2.7 Mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements

Dans les situations suivantes :

- traversée de voies de communication de type :
  - autoroutes, routes nationales, routes départementales, voies communales de 6 mètres de largeur de chaussée au moins,
  - voies ferrées (cf. définition au § 5 - 2.4.2.8)
  - plans d'eau (cf. définition au § 5 - 2.4.2.8)
- croisements supérieurs de téléphériques et de téléskis, de lignes électriques aériennes BT ou de lignes aériennes de télécommunications,

des dispositions spéciales sont nécessaires.

Ces mesures spéciales consistent, sur les pylônes/poteaux encadrant la traversée ou le croisement :

- si l'une des conditions suivantes n'est pas respectée, à utiliser des chaînes doubles :
  - les isolateurs sont conformes aux normes ou d'un type éprouvé
  - la ligne est protégée par des systèmes automatiques assurant l'extinction rapide de l'arc en cas de défaut
  - la chaîne d'isolateurs comporte des cornes d'accrochage d'arc ou des anneaux de protection aux arcs
- à prévoir des bretelles de retenue ou un dispositif de protection du câble conducteur pour les sections suivantes :
  - câble conducteur homogène en alliage d'aluminium de section inférieure à 228 mm²
  - câble conducteur aluminium-acier ou alliage aluminium-acier de section inférieure à 147 mm²
  - câble conducteur cuivre de section inférieure à 75 mm²

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 2.8 Identification pour la surveillance des lignes par hélicoptère

Généralités

Par souci de cohérence et d'homogénéité, toutes les lignes HTB devront être équipées de plaques d'identification pour la surveillance par hélicoptère.

Pour faciliter leur lecture, les plaques d'identification sont placées à l'extérieur des charpentes des pylônes.

Balisage des croisements, piquages ou angles importants

Des dispositifs d'avertissement sont installés sur la ligne pour signaler un croisement, un piquage ou un angle important.

Ils ont la forme d'un triangle équilatéral de 40 cm de côté, de couleur rouge sur une face (recto) et noire de l'autre (verso). Ils sont installés sur les deux pylônes situés de part et d'autre du croisement, du piquage ou du pylône d'angle important. Ils sont orientés de telle manière que pour l'observateur se déplaçant le long de la ligne, le triangle est rouge avant le croisement, le piquage ou l'angle important et noir après ceux-ci.

- Croisement (Figures 5 et 6 ci-après) : les dispositifs d'avertissement (triangle tête en haut pour la ligne inférieure et triangle tête en bas pour la ligne supérieure) sont installés, pour chacune des deux lignes, sur les deux pylônes de part et d'autre du croisement,
- Piquage (Figure 7 ci-après) : les dispositifs d'avertissement (triangle pointant vers la droite pour un piquage vers la droite et triangle pointant vers la gauche pour un piquage vers la gauche) sont installés sur les deux pylônes de part et d'autres du point de piquage (le pylône de piquage ne comporte pas ce dispositif),
- Angle important (supérieur à 80 grades) (Figure 7 ci-après) : les dispositifs d'avertissement (triangle pointant vers la droite pour un angle vers la droite et triangle pointant vers la gauche pour un angle vers la gauche) sont installés sur les deux pylônes de part et d'autre du pylône d'angle (le pylône d'angle ne comporte pas ce dispositif).

Les dispositions prévues ci-dessus peuvent se cumuler et amener à disposer plusieurs triangles sur un même pylône (plusieurs croisements sur une même portée, sur deux portées successives,…)

Identification des départs postes et des pylônes de piquage

Pose d'une plaque d'identification par ouvrage sur le premier pylône après les charpentes d'arrêt poste, lorsque le nombre et la configuration des lignes peut entraîner une confusion entre les départs (désignation en abrégé de la destination de l'ouvrage – lettres noires de 0,15 m sur fond jaune).

La même disposition s'applique systématiquement aux pylônes de piquage.

Identification des pylônes

Mise en place en tête de pylône d'une plaque portant son numéro (chiffres noirs de 0,15 m sur fond jaune) :

- tous les 20 pylônes à partir de l'origine de la ligne,
- tous les pylônes singuliers (ancrage, piquage,…).

La face arrière de la plaque est également jaune et numérotée.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Légendes et caractéristiques des plaques

Identification des départs et des pylônes de piquage :	
	Nom du départ : lettres noires sur fond jaune support dimensionné pour 5 caractères taille des caractères : 15 cm
Identification (numérotation) des pylônes :	
	Numéro du pylône : chiffres noirs sur fond jaune support dimensionné pour 3 caractères tailles des caractères : 15 cm
Balisage des lignes :	
 (recto)  (verso)	Rouge (**recto**) : sens de la visite avant croisement Noir (**verso**) :sens de la visite après croisement taille du support : 40 cm de côté

Figure 4 : Récapitulatif des dispositifs de signalisation

Cas types

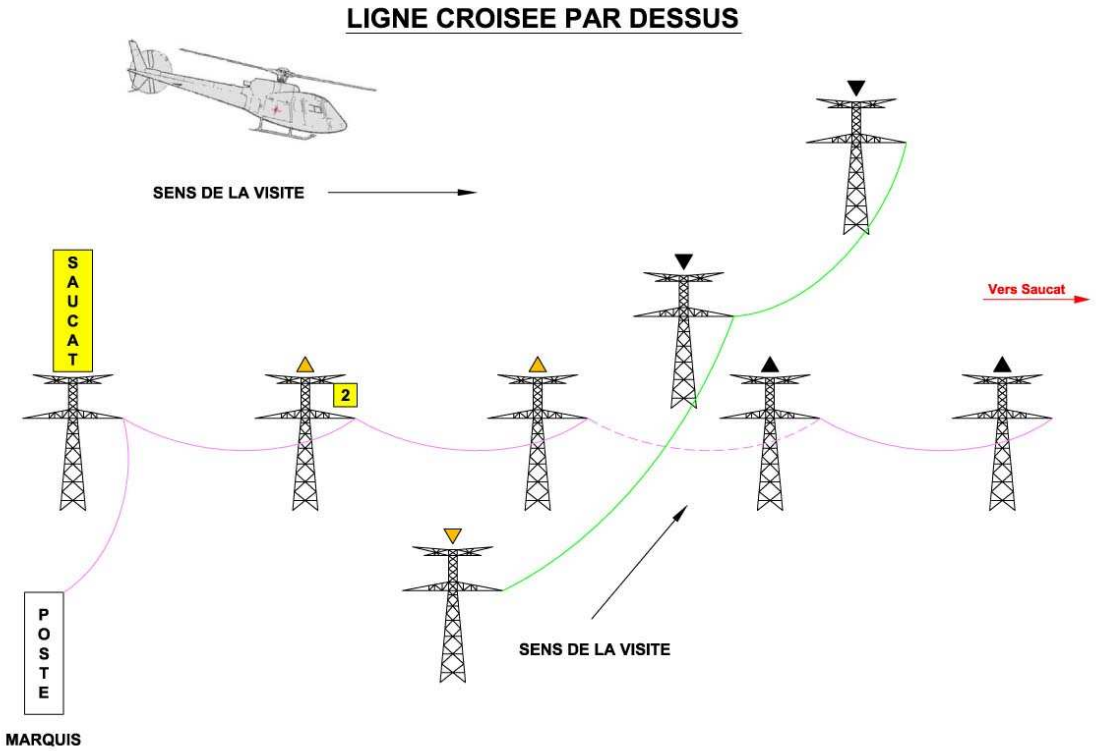


Figure 5 : Balisage des lignes croisées par dessus

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

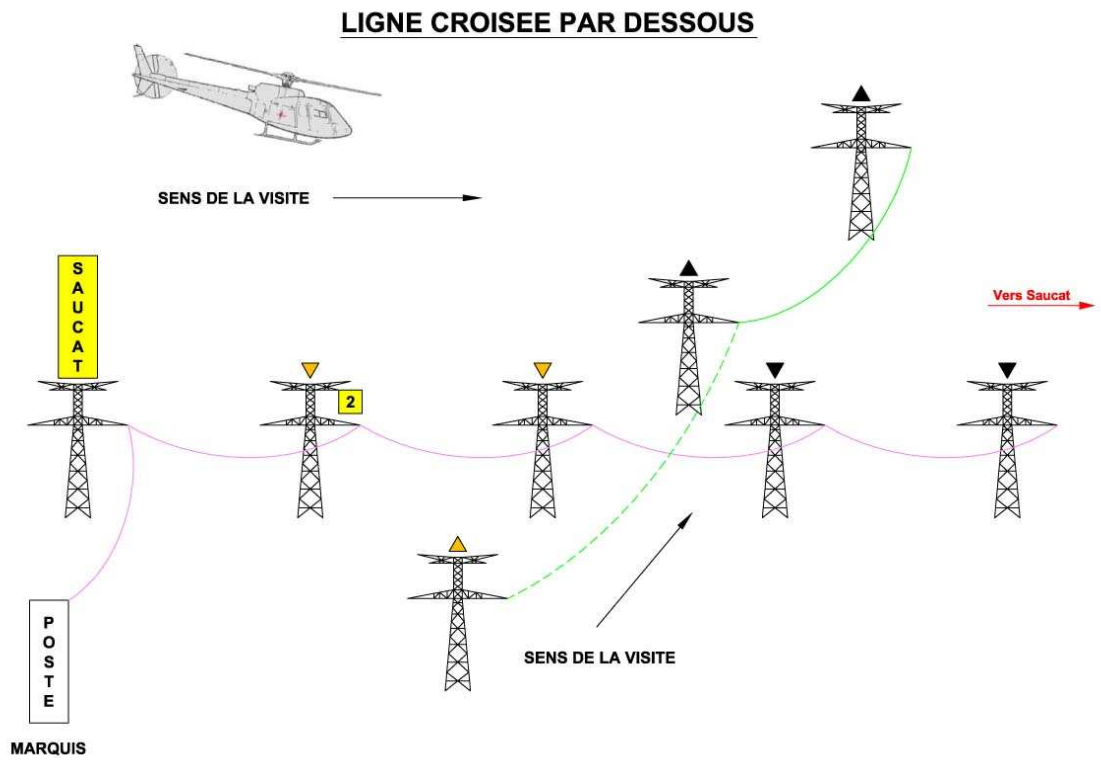


Figure 6 : Balisage des lignes croisées par dessous

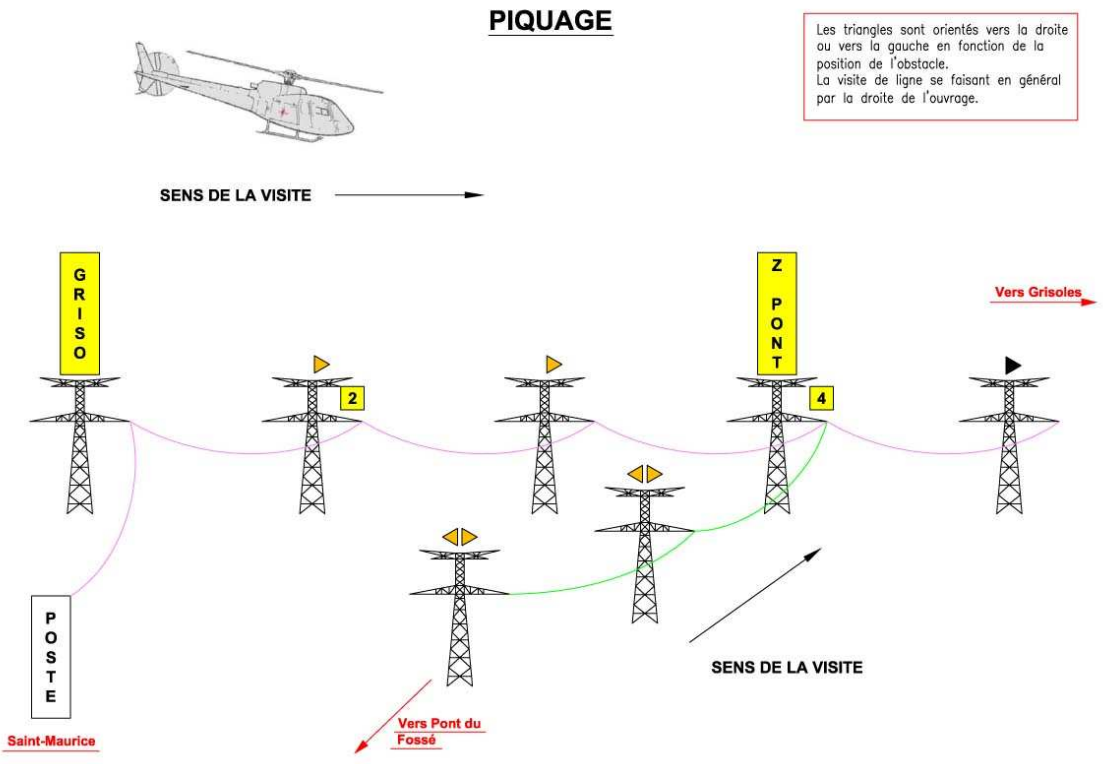


Figure 7 : Balisage des Piquages ou angles importants

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 3 DISTANCES INTERNES

5 - 3.1 Présentation

Ce chapitre traite du dimensionnement géométrique des lignes aériennes HTB pour le respect des distances relatives à leur propre tenue diélectrique et coordination d'isolement ainsi qu'aux interventions alors qu'elles restent en exploitation.

5 - 3.1.1 Principaux termes, définitions et symboles

DISTANCE "DE TENSION"

voir § 5 - 2.1.1

CALCUL DES DISTANCES REALISEES

Les distances réalisées sont obtenues en calculant la position des câbles dans l'espace.
On appellera "Ef" l'écartement entre deux sous-conducteurs dans le cas d'un faisceau.

VERIFICATIONS

Elles consistent à s'assurer que les distances réalisées sont supérieures aux distances à respecter.

5 - 3.2 Textes de référence

5 - 3.2.1 Réglementation

- NEANT

5 - 3.2.2 Normes

- UTE C18-510
- Le chapitre 5 de la norme NF EN 50341-1 (lignes aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif) et les Aspects Normatifs Nationaux (NNAs) indiquent un dimensionnement géométrique pour le respect des distances internes.

5 - 3.3 Distances entre câbles

5 - 3.3.1 Vérification au vent réduit

On vérifie ici uniquement les distances à respecter entre câbles conducteurs.

Distance minimale

La distance minimale à respecter entre les axes des phases *d'une même ligne équipée de câbles conducteurs identiques* a pour valeur :

$$e + t_1\sqrt{3} + E_f + \phi + acc$$

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

avec :

- e : amplitude des oscillations asynchrones,
- t_1 : distance de tension - voir § 5 - 2.1.1,
- Ef : écartement des câbles conducteurs du faisceau éventuel,
  - Ef = 0 pour un câble conducteur simple,
  - Ef = 0,6 m ou 0,4 m, suivant le type du faisceau employé.
- ϕ : diamètre du câble conducteur
- acc : épaisseur des accessoires éventuels sur les câbles conducteurs (COE, contrepoids anti giratoires, balises avifaunes, balises diurnes, balises nocturnes)

VERIFICATION AU VENT REDUIT

CALCUL DES DISTANCES REALISEES

La figure ci-dessous représente le mouvement des câbles conducteurs soumis au vent réduit.

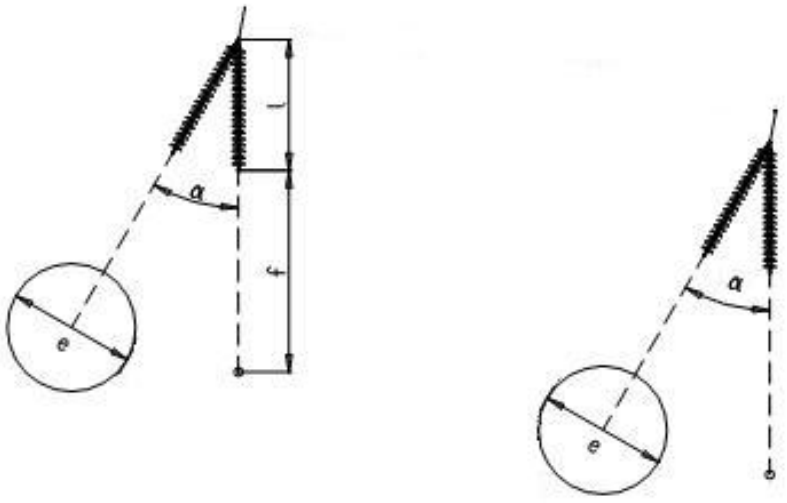


Figure 8 : Rapprochement des câbles conducteurs sous vent réduit

e : amplitude des oscillations asynchrones des câbles conducteurs autour du point d'équilibre

f : flèche médiane de la portée (m) pour la température de répartition

l : la demi–somme des longueurs des chaînes de suspension encadrant la portée (m)

α : angle de balancement

Les mouvements des câbles conducteurs soumis au vent réduit sont modélisés par :

- une position d'équilibre caractérisée par un angle α, avec :

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{1}{m'^2}}$$

m' : coefficient de surcharge du câble conducteur en "vent réduit" (cf. définition au § 5 - 2.4.4.1),

- des oscillations asynchrones autour du point d'équilibre, dont l'amplitude e a pour valeur :

  ◊ pour (f+l) ≤ 80 m : $e = 0{,}6\ m'\sqrt{f + l}$,

  ◊ pour (f+l) > 80 m : $e = m' \left(\frac{(f + l)}{30} + 2{,}7 \right)$

Dans certains cas particuliers comme par exemple les changements d'armement, on se réfèrera au CCTP pour la prescription de vérifications en d'autres points de la portée par adaptation des formules précédentes (remplacer la flèche médiane par la flèche au point considéré).

Cas particulier d'une ligne à plusieurs circuits équipée de câbles conducteurs différents

Sur ces lignes, le risque d'amorçage entre deux phases voisines appartenant à deux circuits différents est plus important que sur les ouvrages équipés de câbles conducteurs identiques car l'effet du vent n'est pas le même pour chacun des câbles conducteurs (balancements asynchrones, inclinaisons différentes pour une même vitesse de vent).
La distance minimale à respecter, sous vent réduit, *entre les axes des phases* devient :

$$\frac{e_1 + e_2}{2} + t_1\sqrt{3} + \frac{E_{f1} + E_{f2}}{2} + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} + acc$$

Avec :

- e_1 et e_2 : amplitudes des oscillations asynchrones des câbles conducteurs 1 et 2. Pour le calcul de e_1 et e_2 on utilise la valeur de la flèche médiane à la température de répartition et le coefficient de surcharge du câble conducteur en vent réduit,
- t_1 : distance de tension pour la plus grande des tensions nominales,
- E_{f1} et E_{f2} : écartement des câbles conducteurs du faisceau éventuel double, triple ou quadruple pour les câbles conducteurs 1 et 2 (0,6 m ou 0,4 m suivant le type de faisceau employé),
- ϕ_1 et ϕ_2 : diamètre des câbles conducteurs 1 et 2.

5 - 3.3.2 Vérification au givre

On vérifie ici les distances à respecter entre les câbles conducteurs eux-mêmes, ainsi qu'entre câbles conducteurs et câbles de garde.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 3.3.2.1 Givre différentiel

Cette vérification est à effectuer pour chaque couple de câbles (câble conducteur-câble conducteur ou câble conducteur-câble de garde) et quelle soit la zone de givre (léger, moyen ou lourd).

DISTANCES MINIMALES

Les distances minimales à respecter entre les axes des phases *d'une même ligne équipée de câbles conducteurs identiques* sont:

- entre câbles conducteurs : $t_1\sqrt{3} + E_f + \phi + acc + ép_{manchon}$
- entre câble conducteur et câble de garde : $t_1 + \frac{E_f}{2} + \frac{\phi_{cond} + \phi_{cdg}}{2} + acc + ép_{manchon}$

avec : $ép_{manchon}$: somme des épaisseurs de givre sur les câbles du couple étudié

VERIFICATION ENTRE CABLES CONDUCTEURS

On doit vérifier que la distance verticale entre les axes des phases ou des faisceaux situés sur des consoles différentes est supérieure à la valeur définie précédemment, soit :

$$t_1\sqrt{3} + E_f + \phi + acc + ép_{manchon}$$

Cette vérification est à effectuer dans les conditions suivantes :

- le câble conducteur supérieur est recouvert de l'épaisseur de givre N retenue pour le calcul de l'ouvrage (voir Partie 3 « Dimensionnement mécanique »), et sa température est de - 5°C en l'absence de vent;
  Dans le cas des portées calculées en hypothèse de givre supérieure à 3 cm et de longueur supérieure à 800 m, on considère aussi un givre partiel sur ce câble conducteur (voir Partie 3 « Dimensionnement mécanique »).
- le câble conducteur inférieur est recouvert d'une épaisseur de givre de N/2 cm, et sa température est de - 5°C en l'absence de vent.

VERIFICATION ENTRE CABLE CONDUCTEUR ET CABLE DE GARDE

On doit vérifier que la distance verticale entre l'axe d'une phase ou d'un faisceau et l'axe d'un câble de garde est supérieure à la valeur définie précédemment :

$$t_1 + \frac{E_f}{2} + \frac{\phi_{cond} + \phi_{cdg}}{2} + acc + ép_{manchon}$$

Cette vérification est à effectuer dans les conditions suivantes :

- le câble de garde est recouvert de l'épaisseur de givre N retenue pour le calcul de l'ouvrage (voir Partie 3 « Dimensionnement mécanique »), et sa température est de - 5°C en l'absence de vent;
  Dans le cas des portées calculées en hypothèse de givre supérieure à 4 cm et de longueur supérieure à 800 m, on considère aussi un givre partiel sur ce câble de garde (voir Partie 3 « Dimensionnement mécanique »).
- le câble conducteur est recouvert d'une épaisseur de givre de N/4 cm, et sa température est de - 5°C en l'absence de vent.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 3.3.2.2 Décharge de givre

a) VERIFICATION PREALABLE DE LA DISPOSITION DES CABLES

Si les distances relatives à cette vérification préalable sont respectées, alors la vérification à la décharge de givre définie ci-après (paragraphe b) n'est pas nécessaire.

On doit vérifier ici qu'en aucun endroit de la portée, la distance horizontale entre plans verticaux contenant les câbles situés sur des consoles superposées n'est inférieure à la distance minimale à respecter définie précédemment, soit :

- entre câbles conducteurs : $t_1\sqrt{3} + E_f + \phi + acc + ép_{manchon}$
- entre câble conducteur et câble de garde : $t_1 + \frac{E_f}{2} + \frac{\phi_{cond} + \phi_{cdg}}{2} + acc + ép_{manchon}$

Par ailleurs, cette distance minimale à respecter ne peut être inférieure à :

- câble conducteur-câble conducteur : 70 cm
- câble conducteur-câble de garde : 40 cm

b) VERIFICATION A LA DECHARGE DE GIVRE

Pour chaque couple de câbles (câble conducteur-câble conducteur ou câble conducteur-câble de garde) d'une même portée pour lequel la condition précédente n'est pas respectée, on doit vérifier que la distance verticale entre les 2 câbles en question est supérieure à :

- $t_1\sqrt{3} + E_f + \phi + acc + ép_{manchon}$ entre axes des phases ou faisceaux
- $t_1 + \frac{E_f}{2} + \frac{\phi_{cond} + \phi_{cdg}}{2} + acc + ép_{manhon}$ entre l'axe d'une phase ou d'un faisceau et l'axe d'un câble de garde

Cette vérification est à effectuer :

- en considérant le câble supérieur au repos recouvert de l'épaisseur de givre N retenue pour le calcul de l'ouvrage (voir Partie 3 « Dimensionnement mécanique »), et sa température de -5°C en l'absence de vent;
- en considérant le câble inférieur dans la position supérieure extrême correspondant à sa remontée, au moment de la chute du manchon de givre (épaisseur de givre N retenue pour le calcul de l'ouvrage, à la température de – 5 °C en l'absence de vent), la remontée est égale au double de l'écart séparant sa position de repos avec et sans la surcharge (température – 5 °C en l'absence de vent).

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 3.3.3 Vérification en régime de court-circuit

On vérifie ici les distances entre les câbles conducteurs (du même circuit ou non), ainsi qu'entre câble conducteur et masse (ou câble de garde).

DISTANCES MINIMALES

Les distances minimales à respecter sont :

- entre câbles conducteurs : $t_1\sqrt{3} + E_f + \phi + acc$
- entre câble conducteur et masse (ou câble de garde) : $t_1 + \frac{E_f}{2} + \frac{\phi_{cond} + \phi_{cdg}}{2} + acc$

VERIFICATION A L'ECHAUFFEMENT DU CABLE DE GARDE

Cette vérification est à faire à chaque cas de croisement de deux plans verticaux contenant respectivement un câble conducteur et un câble de garde.
Elle prend en compte l'hypothèse d'un court-circuit phase-terre se produisant dans une portée voisine du point de croisement.
La distance réalisée est calculée avec la position du câble de garde à θ + 20°C et du câble conducteur à 40°C , où :

- θ représente la variation de température liée à l'échauffement du câble de garde provoqué par le courant de défaut, sa valeur est donnée dans la Partie 4 « Dimensionnement électrique »,
- 20°C représente la température ambiante
- la température de 40°C (Régime de Service Permanent – cf. § 4 - 2.1.1) s'applique uniquement pour les câbles conducteurs définies par la norme EN 50182 (câbles conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier), ainsi qu'aux câbles conducteurs définis par la norme CEI 62219 (câbles conducteurs dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins ronds au centre et de brins de forme sur les couches extérieures : câbles conducteurs de type Azalée utilisés par RTE). Pour les autres câbles conducteurs, la température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage

VERIFICATION A L'EFFET ELECTRODYNAMIQUE

a) INTRODUCTION, DOMAINE D'APPLICATION

Les efforts engendrés lors d'un court-circuit sont dus, dans un premier temps, aux forces de Laplace puis, à la fin du défaut, au "coup de fouet" provoqué par la chute libre des câbles conducteurs.
La durée du défaut varie suivant le niveau de tension de l'ouvrage.
En fonction de la valeur du courant de court-circuit triphasé (se référer au CCTP) prévu en étape finale pour le poste sur lequel se raccorde la ligne aérienne étudiée, il est nécessaire de vérifier les distances entre câbles conducteurs pendant le phénomène en question.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

b) DEPLACEMENT DES CABLES CONDUCTEURS DUS AUX EFFORTS ELECTRODYNAMIQUES

Calcul au court-circuit

Le court-circuit à prendre en considération pour le calcul est le **court-circuit biphasé sans terre** à l'endroit du défaut, à savoir :

$$I_{CC}\,\text{biphasé} = \frac{\sqrt{3}}{2}\ I_{CC}\,\text{triphasé}$$

Vérifications

- on doit vérifier le **respect des distances entre les câbles conducteurs du circuit en défaut**, à partir de la fin du défaut, pour un court-circuit correctement éliminé; cette vérification permet aussi de s'assurer que la probabilité de réussir le réenclenchement est importante;
- on doit vérifier le **respect de la distance de tenue diélectrique entre les câbles conducteurs de circuits différents en cas de réenclenchement non réussi** ; cette vérification permet aussi de s'assurer que l'on ne propage pas le défaut au terne adjacent.

Pour les supports, le dimensionnement porte sur les deux cas suivants :

- le court-circuit ne parcourt la ligne que d'un seul côté du pylône; le pylône est dans ce cas le lieu du défaut et Icc, dû au poste le plus proche, s'écoule vers ce dernier; de l'autre côté du pylône, on néglige l'apport des autres extrémités.
- Le court-circuit parcourt la ligne de chaque côté du pylône, ce dernier se situe dans ce cas entre le lieu du défaut et le poste source qui participe à Icc.

Conditions et valeurs à prendre en compte

Type de défaut	Biphasé isolé
Angle de phase de la tension électrique (à l'origine du défaut)	0° en biphasé
Apport subtransitoire	nul
Conditions de vent et de température	1. vent AZVN sur tout l'ouvrage (voir pressions dans Partie 3 « dimensionnement mécanique »); température des câbles conducteurs avant défaut de 40°C (*) – température en régime de service permanent (cf. 4-4.1.1). 2. absence de vent; température des câbles conducteurs avant défaut de 40°C (*).

Conditions communes à tous les niveaux de tension.

(*) Cette température de 40 °C ne s'applique qu'aux câbles conducteurs définies dans la norme EN 50182 (câbles conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) ainsi qu'aux câbles conducteurs définis dans la norme CEI 62219 (câbles conducteurs dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins ronds au centre et de brins de forme sur les couches extérieures - câbles conducteurs de type Azalée utilisés par RTE). Pour les autres câbles conducteurs, la température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

On introduit la notion de temps mécanique équivalent pour fixer simplement le temps d'élimination de dimensionnement électrodynamique. Il est défini par sa durée t_e et en cas de réenclenchement par le temps d'isolement t_i et la durée du défaut éventuellement retrouvé, soit sous forme synthétique t_{e1} / t_i / t_{e2}.

	400 kV	225 kV	63 ou 90 kV (plan 225 kV et HT)	63 ou 90 kV (plan électromécanique)
Critère de prise en compte de l'hypothèse électro–dynamique	I_{CC} triphasé réel à l'année N+5 ou en phase finale doit être > 40 kA	I_{CC} > 31,5 kA	I_{CC} > 20 kA	I_{CC} > 20 kA
Constante de temps du réseau	70 ms	160 ms	200 ms	200 ms
Durée du défaut				
Vérifications géométriques	- 120 ms	- 120 ms	- 120 ms pour les distances entre câbles conducteurs du circuit en défaut	- 210 ms pour les distances entre câbles conducteurs du circuit en défaut
	- pour les distances entre câbles conducteurs ou entre câble conducteur et câble de garde, défaut correctement éliminé	- pour les distances entre câbles conducteurs ou entre câble conducteur et câble de garde, défaut correctement éliminé	- 120 ms / de 2 à 5 s (*) / 90 ms (réenclenchement lent) pour les distances entre câbles conducteurs de circuits différents ou entre câble conducteur et câble de garde	- 210 ms / de 4,5 à 5,5 s (*) / 150 ms (réenclenchement lent) pour les distances entre câbles conducteurs de circuits différents ou entre câbles conducteurs et câble de garde
			- 120 ms / 300 ms / 90 ms pour les lignes prévues pour le réenclenchement rapide, en plus de la vérification précédente	- 210 ms / 300 ms / 150 ms pour les lignes prévues pour le réenclenchement rapide, en plus de la vérification précédente

Conditions spécifiques à chaque niveau de tension.

(*) Pour le réenclenchement lent, la durée d'isolement à considérer est la plus pénalisante dans la fourchette indiquée.

5 - 3.4 Distance à la masse

Ce sont les distances entre la masse d'un pylône/poteau et l'une des quelconques pièces sous tension de l'ouvrage (câbles conducteurs, extrémité de chaînes isolantes, bretelles de continuité, contrepoids...).
Elles doivent être vérifiées en "vent nul" (voir § 5 - 2.3.2), en "vent réduit" (voir § 5 - 2.3.3), et, en complément dans le cas des pylônes ou poteaux en suspension, en "vent extrême" (15°C et 800 Pa).
Elles ne doivent pas être inférieures aux valeurs ci-après :

HYPOTHESES	Distances à la masse (m)		
	63 kV ou 90 kV	225 kV	400 kV
"Vent nul"	1,10	1,70	3,00
"Vent réduit"	0,8	1,10	2,00
"Vent extrême"	0,15	0,4	0,7

Distances à la masse

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

5 - 3.5 Distances de travail

Ce chapitre examine les distances constructives à respecter pour permettre d'effectuer des travaux d'entretien sur les lignes aériennes dans les deux cas suivants :

- **travail dans l'environnement de la tension** (uniquement pour les ouvrages *multiternes* : travail sur un terne consigné, les autres étant sous tension),
- **travail sous tension** (méthode **à distance** avec outils isolants, ou travail **"au potentiel"**).

Sauf indication contraire formulée dans le CCTP, ces deux cas seront intégrés dans la conception de l'ouvrage.

5 - 3.5.1 Travaux dans l'environnement de la tension

Pour les lignes multiternes, le CCTP peut mentionner que la possibilité de travailler sur les pylônes un terne étant consigné et *le ou les* autre*(s)* étant sous tension, doit être réservée.
Dans la suite de ce paragraphe, on ne traitera que du cas le plus courant des lignes double ternes.

Rappel des prescriptions de sécurité TRANSPORT dans le cadre de la publication UTE C18-510

- si les opérateurs, compte tenu des objets qu'ils doivent manipuler, n'ont pas à s'approcher des pièces conductrices nues sous tension à une distance inférieure à la distance appelée "Distance Limite de Voisinage (DLV)" définie ci-après :
    - 3 m pour les ouvrages 90 kV ou 225 kV,
    - 4 m pour les ouvrages 400 kV,

  alors, les prescriptions générales de la "zone 1" de la publication UTE C18-510 s'appliquent;
- si les opérateurs, compte tenu des objets qu'ils manipulent, doivent s'approcher des pièces nues sous tension à des distances comprises entre la DLV et la distance appelée "Distance Minimale d'Approche Corrigée (DMAC)" définie ci-après (pour prendre en considération les surtensions susceptibles d'apparaître sur le réseau) :
    - 0,95 m pour les ouvrages 63 kV,
    - 1,1 m pour les ouvrages 90 kV,
    - 1,85 m pour les ouvrages 225 kV,
    - 3,1 m pour les ouvrages 400 kV,

  alors, ils se trouvent dans une zone où les différentes prescriptions particulières prévues par la publication UTE C18-510 pour sa « zone 2 » s'appliquent;

- si les opérateurs, compte tenu des objets qu'ils manipulent, doivent s'approcher des pièces nues sous tension à des distances comprises entre la DMAC et la distance appelée "Distance Minimale d'Approche (DMA)" définie ci-après :
    - 0,8 m pour les ouvrages 63 kV,
    - 1,0 m pour les ouvrages 90 kV,
    - 1,60 m pour les ouvrages 225 kV,
    - 2,5 m pour les ouvrages 400 kV,

  et/ou la distance appelée "Distance d'Ecran (DE)" définie ci-après :

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- 0,55 m pour les ouvrages 63 kV,
- 0,7 m pour les ouvrages 90 kV,
- 1,45 m pour les ouvrages 225 kV,
- 2,70 m pour les ouvrages 400 kV,

alors, ils se trouvent dans une zone où les travaux ne peuvent être effectués qu'en appliquant les règles relatives aux travaux sous tension (différentes prescriptions particulières sont prévues par la publication UTE C18-510) ou en consignant le circuit, à moins :

- qu'ils travaillent dans le cadre d'un "REGIME PARTICULIER D'EXPLOITATION (RPE)" entre la DMAC et la DMA, ou
- qu'ils travaillent derrière un écran entre la DMAC et la DE,

auxquels cas les différentes prescriptions particulières prévues par la publication UTE C18-510 pour sa "zone 2" s'appliquent.

Distances constructives à respecter

Les distances sont à respecter pour *la mise en place et* les positions conventionnelles des échelles de travail indiquées au CCTP.
La pression maximale de vent sur les câbles conducteurs et câbles de garde est de 60 Pa.

1) Distances masse pour tous pylônes treillis

Un monteur peut travailler dans un fût, côté terne consigné. Sa zone d'évolution étant considérée au plus égale à 1,50 m, elle ne peut être supérieure à la largeur de la Face d'Elévation (FE) du pylône.
C'est pourquoi on distingue deux cas en fonction de la Face d'Elévation (FE) du pylône :

- FE > 2 m : la face élévation comprend la zone d'évolution du monteur plus la zone de garde.
- FE < 2 m : on prend alors une distance à respecter supérieure.

La distance minimale d en mètres à respecter est :

	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
FE > 2 m	0,7 m	1,7 m	3 m
FE < 2 m	1,2 m	2,2 m	3,5 m

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

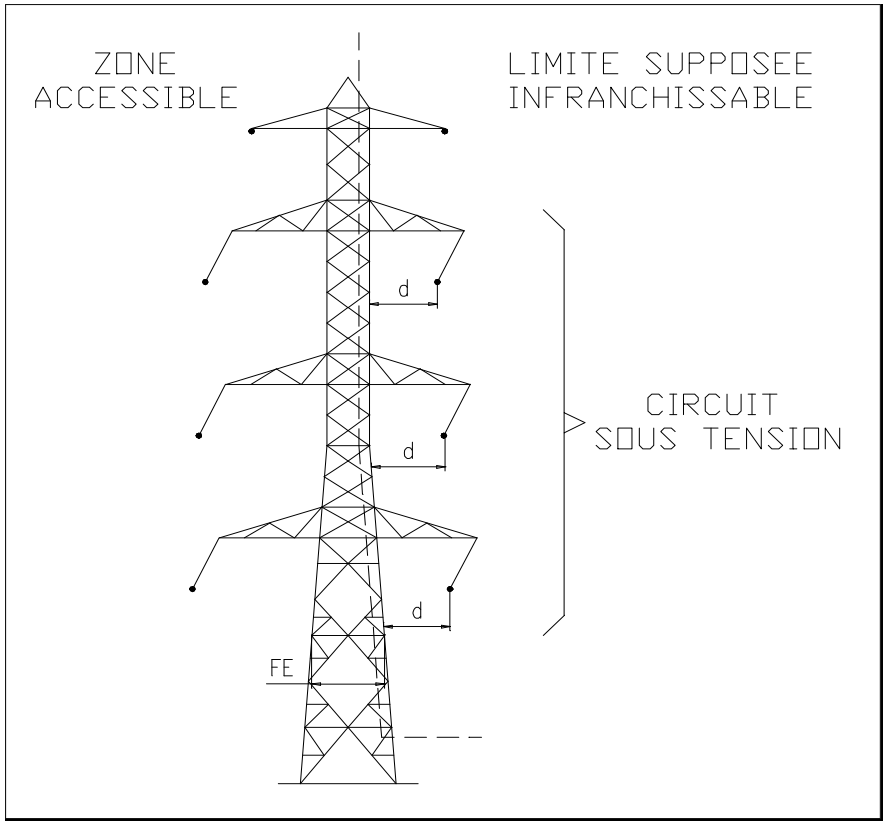


Figure 1 : Travaux à proximité de la tension

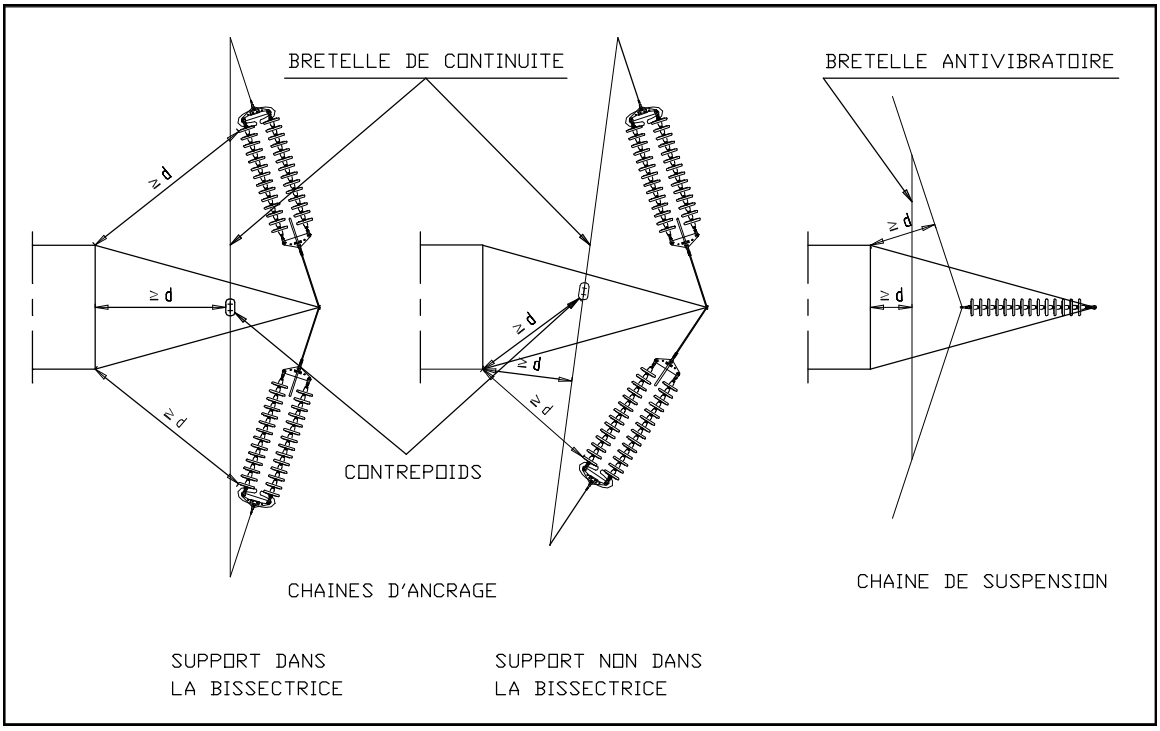


Figure 2 : Travaux à proximité de la tension chaînes isolantes

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Les distances à la masse verticales doivent satisfaire aux conditions normales indiquées précédemment au § 5 - 3.4.

2) Cas des pylônes monopodes (ascension) : distance à la zone d'évolution du monteur

On définit l'enveloppe d'évolution du monteur par une distance de 0,50 m de part et d'autre de l'axe de l'échelle d'ascension et un arc de cercle de rayon 0,80 m.
A partir de cette zone d'évolution, la distance d en mètres à respecter doit être supérieure à :

63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
1,2 m	2,2 m	3,5 m

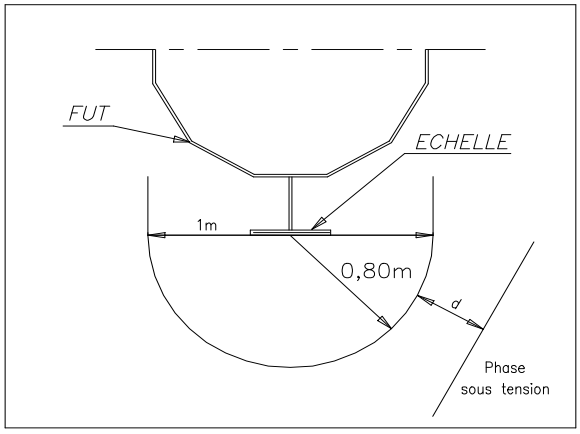


Figure 3 : Zone d'évolution lors de l'ascension des pylônes monopode

5 - 3.5.2 Travaux sous tension

La technique de travail sous tension au potentiel ne s'applique qu'aux lignes 225 et 400 kV.

Rappel des prescriptions de sécurité dans le cadre de la publication UTE C18-510 :

Travail au contact
Dans cette méthode, l'opérateur, lui-même correctement protégé en fonction du niveau de tension des pièces sur lesquelles il intervient pénètre dans la zone située entre les pièces sous tension et la DMA.
Cette méthode ne peut pas s'effectuer en HTB.
Travail à distance
Dans cette méthode, l'opérateur se tient, sauf emploi de dispositifs de protection appropriés et agréés, au-delà de la DMA et travaille sur les pièces sous tension à l'aide d'outils fixés à l'extrémité de perches ou de cordes isolantes ayant un isolement approprié au niveau de tension des pièces sur lesquelles il intervient.
Cette méthode peut s'effectuer quel que soit le niveau de tension.
Travail au potentiel
Dans cette méthode, l'opérateur se met au potentiel des pièces sur lesquelles il intervient. A chaque instant, avec les outils et pièces conductrices qu'il manipule et en l'absence de protections appropriées

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

et agréées, il doit conserver, par rapport à toutes les pièces de son environnement qui sont à un potentiel différent de celui sur lesquelles il intervient, une distance supérieure ou égale à la DMA.
Pendant son transfert du potentiel de la terre au potentiel des pièces sous tension, et vice versa, l'opérateur n'est relié à aucun potentiel. On dit qu'il est à potentiel flottant.
Cette méthode peut s'effectuer quel que soit le niveau de tension.

1) Calcul des distances *réalisées*

Les distances réalisées sont calculées pour la température de + 15°C et le vent de 60 Pa.

2) Distances permettant les travaux sous tension à distance

On se place dans le cas où les surtensions sont *amorties*.

(Très globalement, on peut dire qu'une phase est dans un régime de surtensions amorties si sa mise hors tension par un fonctionnement normal des protections n'est pas suivie de sa remise sous tension automatique.
Une phase qui reste sous tension lors d'un cycle déclenchement-réenclenchement sur un ouvrage voisin n'est soumise qu'à des surtensions amorties lors de ce cycle.)
Les distances à respecter entre les pièces conductrices nues sous tension et la masse sont alors égales à :

- (DMA + *0,1 m*) pour la distance verticale entre les pièces sous tension et le panneau inférieur de la console considéré comme un écran ne pouvant être franchi par l'opérateur situé sur cette console,
- (DMA *+ 1,1 mètre*) pour la distance horizontale ou oblique entre les pièces sous tension et le fût ou la fourche du pylône pour permettre le passage d'un opérateur (zone d'évolution du monteur) et d'une pièce métallique de *30 cm*.

Ces différentes distances sont indiquées, en mètres, en fonction de la tension dans le tableau ci-après:

	DISTANCE MINIMALE D'APPROCHE (DMA)	DISTANCE POUR LE TRAVAIL A DISTANCE	
		A la console (DMA + 0,1) supérieure	Au fût (DMA + 1,1)
90 kV	1,00 m	1,10 m	2,10 m
225 kV	1,60 m	1,70 m	2,70 m
400 kV	2,50 m	2,60 m	3,60 m

Distances pour le travail à distance

La distance minimale entre les pièces sous tension de deux phases voisines doit être supérieure à (2 DMA + 1m). Cette distance supplémentaire de 1 mètre correspond à l'enveloppe d'un homme situé sur une échelle placée entre les deux phases.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

L'écartement vertical entre deux consoles doit être égal ou supérieur à la somme des trois distances suivantes :

- la longueur de la suspension du câble conducteur (soit l) en tenant compte éventuellement de la bretelle antivibratoire et des contrepoids,
- la DMA + 0,1
- la hauteur h d'un opérateur évoluant sur le panneau inférieur de la console située au–dessous, soit 1,75 m.

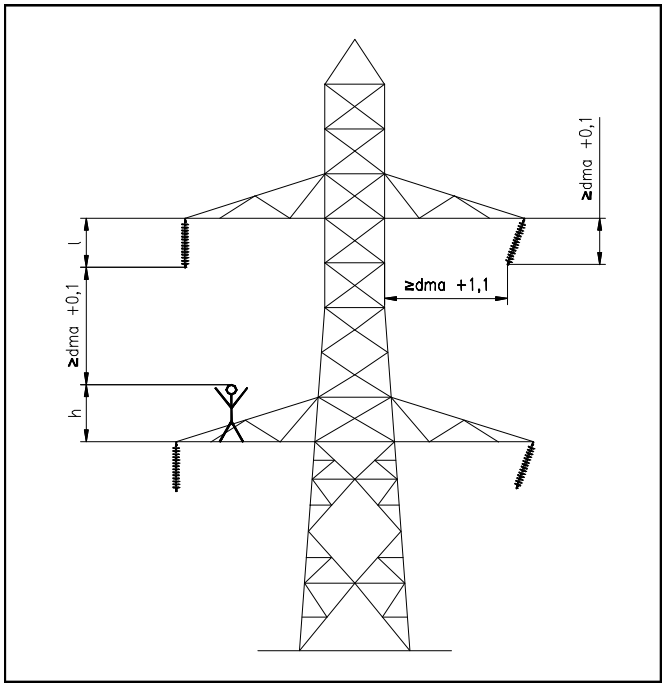


Figure 4 : Pylône présentant des consoles superposées

3) Distances permettant le travail au potentiel

Les distances constructives minimales imposées dans le présent paragraphe supposent le choix du type de phases suivant :

- les phases du circuit sur lequel on travaille sont avec des surtensions amorties (voir définition précédemment),
- les phases des circuits voisins (lignes multiternes) sont avec des surtensions non amorties.

Distance constructive à respecter

Deux types de distance sont à vérifier : les distances phase-masse et phase-phase. Cela permet de réserver les "distances au poste de travail" et "celles lors du transfert monteur".
Les tableaux suivants donnent des distances constructives à respecter permettant le travail au potentiel en tenant compte du moyen utilisé.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Distance phase-masse (en mètres, entre pièce sous tension et la masse)

Distance par rapport au fût Chaînes en SUSPENSION	225 kV	400 KV
Echelle pivotante	3,35 m	4,45 m
Tirant + siège ou échelle de corde	2,70 m	3,75 m

Distance phase-masse (surtensions amorties)

Lorsqu'une console supporte plusieurs phases, il n'est pas nécessaire de respecter cette distance pour la phase la plus voisine du fût à condition d'avoir les distances phase–phase nécessaires.

Distance phase-phase en mètre, (entre pièces sous tension)

- Phase voisine du même circuit (surtensions amorties)

Distance entre 2 phases amorties		225 kV	400 kV
SUSPENSION	Tirant + siège	5,10 m	7,05 m
	Echelle pivotante	5,75 m	7,75 m
ANCRAGE	Poutre pivotante	3,25 m	5,10 m
	Echelle de corde	3,20 m	4,60 m

Distance phase–phase (surtensions amorties)

- Phase voisine du circuit voisin (surtensions non amorties)

		225 kV	400 kV
SUSPENSION	Tirant + siège	5,35 m	7,65 m
	Echelle pivotante	6,00 m	8,35 m
ANCRAGE	Poutre pivotante	3,55 m	6,10 m
	Echelle de corde	3,45 m	5,35 m

Distance phase-phase (surtensions non amorties)

4) Conditions de distances complémentaires

Les distances verticales suivantes doivent vérifier :

- Une distance Z entre pièces sous tension et la masse :

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

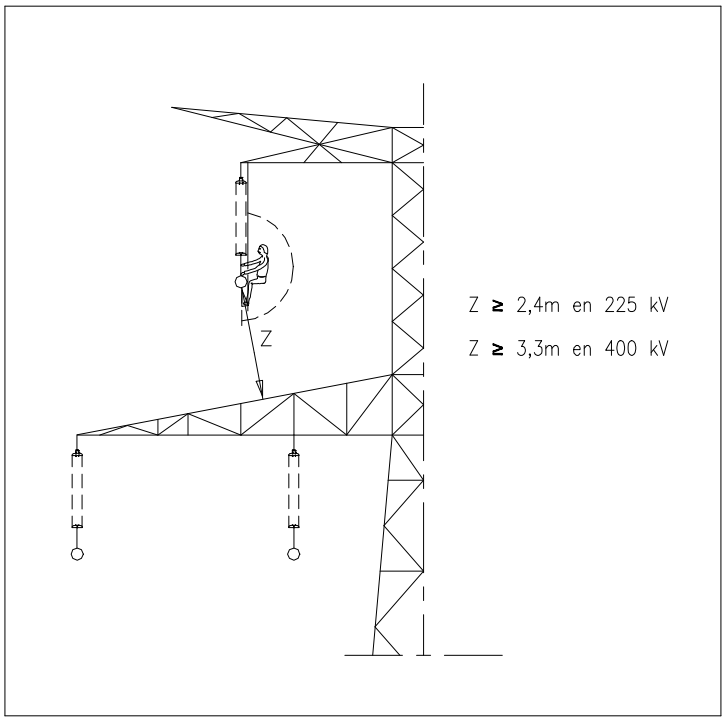


Figure 5 : Distance entre pièce sous tension et masse

- Une distance verticale d variable selon la tension et l'amortissement :

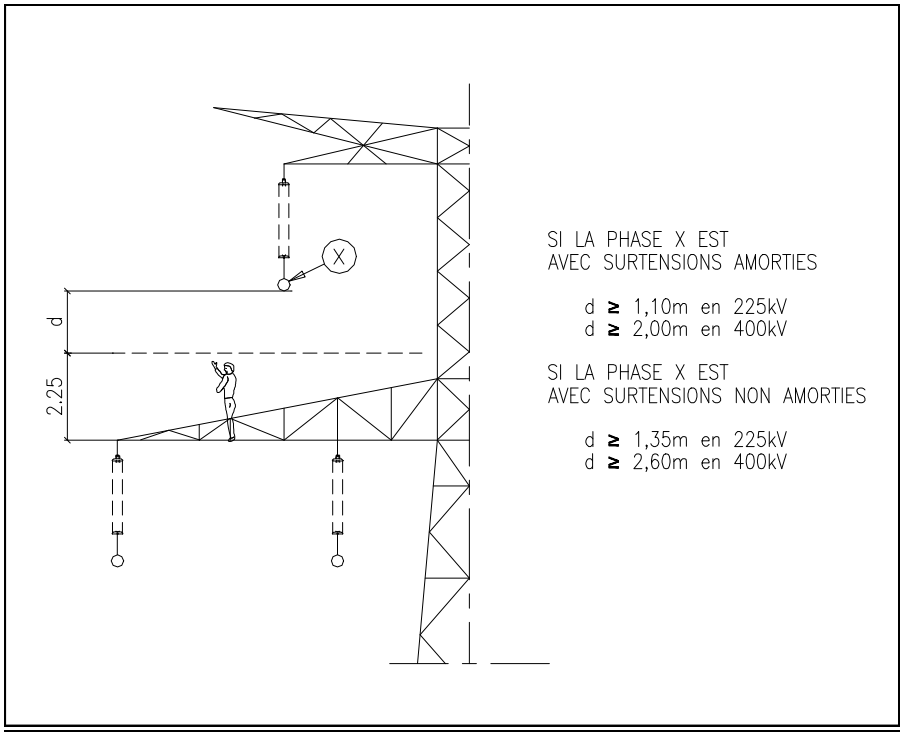


Figure 6 : Distance verticale avec monteur

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Ascension de la superstructure

Lors de l'ascension de la superstructure du support, le monteur devra toujours respecter la distance de t' + g vis–à–vis du circuit sur lequel il devra intervenir soit 1,85 m en 225 kV - 3,10 m en 400 kV,

où g = distance de garde fixée à 0,5 mètre

t' = distance de tension qui tient compte de surtensions non amorties (1,35 m en 225 kV, 2,6 m en 400 kV)

La zone d'évolution du monteur à prendre en compte est la suivante :

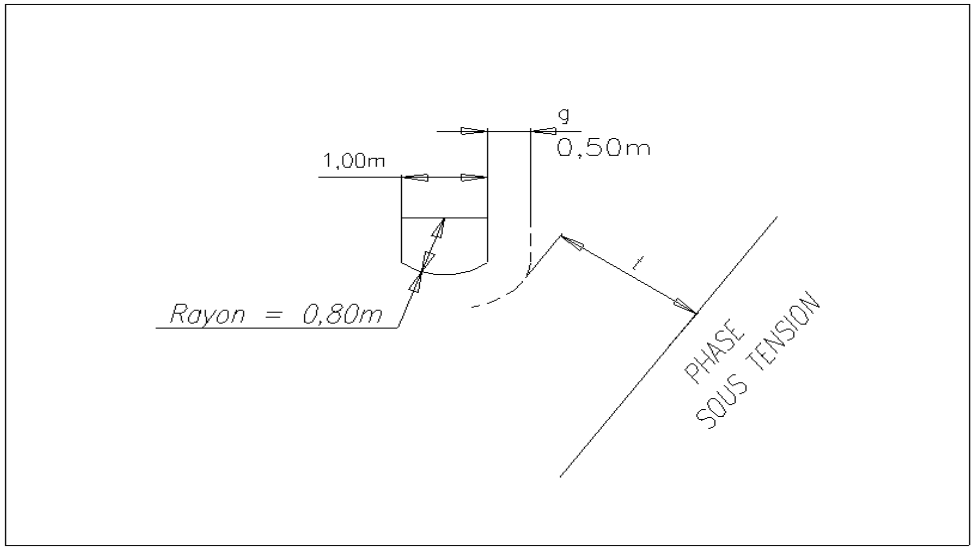


Figure 7 : Zone d'évolution du monteur

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 6. Pylônes et Poteaux

6 - 1 INTRODUCTION

Cette partie définit les exigences techniques auxquelles doivent répondre les pylônes et poteaux de lignes aériennes HTB.

Elle est organisée en dix chapitres :

- le chapitre 6 - 1 « Introduction » rappelle les principales définitions générales
- le chapitre 6 - 2 « Textes de référence » est relatif aux textes réglementaires et normatifs
- le chapitre 6 - 3 « Règles génériques » définit les règles de conception génériques à toutes les familles de pylônes et poteaux
- les chapitres 6 - 4, 6 - 5, 6 - 6, 6 - 7, 6 - 8, 6 - 9, 6 - 10 viennent compléter le chapitre 6 - 3 en décrivant les spécificités propres à chaque famille, respectivement les pylônes treillis, les monopodes métalliques, les poteaux béton, les poteaux bois, les superstructures haubanées, les superstructures aérosouterraines et autres superstructures.

6 - 1.1 Principaux termes, définitions et symboles

Le terme de pylônes est plus particulièrement destiné aux superstructures multipodes, celui de poteaux aux superstructures monopodes (monopode métallique, poteau béton ou poteau bois).

Pour rappel, le terme support désigne la superstructure (pylône ou poteau) et les fondations.

Un pylône ou un poteau est conçu en plusieurs éléments assemblés.

Chacun de ces éléments porte une appellation spécifique. Les principales appellations sont les suivantes :

- le fût constitue l'élément principal du pylône/poteau ; il est subdivisé en tronçons successifs,
- les consoles permettent l'accrochage des câbles conducteurs ; elles sont généralement fixées au fût,
- les chevalets permettent l'accrochage des câbles de garde (pylônes),
- les embases assurent la liaison entre la superstructure et la fondation.

6 - 1.2 Fonctionnalité principale

Les pylônes et poteaux ont pour rôle de soutenir les câbles conducteurs HTB à une certaine distance du sol et des obstacles rencontrés afin de garantir la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes électriques.

Ils doivent pouvoir supporter un ou plusieurs circuits.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 1.3 Notion de famille de pylônes et de poteaux

Une famille regroupe un ensemble de pylônes/poteaux ayant des silhouettes voisines, mais présentant des résistances mécaniques et des hauteurs différentes.

On distingue essentiellement les familles suivantes :

- les pylônes treillis (métalliques),
- les monopodes métalliques,
- les poteaux béton,
- les poteaux bois,
- les superstructures haubanées.

Les superstructures aérosouterraines constituent une variante sur la base d'une superstructure appartenant à l'une des familles précitées.

Tout nouvel ouvrage du Réseau Public de Transport devra utiliser des familles de pylônes/poteaux qualifiées par RTE pour la construction d'ouvrages neufs.

6 - 2 TEXTES DE REFERENCE

6 - 2.1 Réglementation

- Arrêté Technique en vigueur relatif aux conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique
- Arrêté du 14 mai 1963 du Ministre de l'Industrie : Caractéristiques des plaques de sécurité à placer sur les supports de lignes électriques
- Code du travail

6 - 2.2 Normes

- NF EN 50341 : Lignes électriques Aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif.
  - ⇒ Partie 1 : Règles générales - Spécifications communes.
  - ⇒ Partie 2 : Index des Aspects Normatifs Nationaux.
  - ⇒ Partie 3 : Aspects Normatifs Nationaux.
- NF A 35-503 : Produits sidérurgiques - Aciers pour galvanisation par immersion à chaud
- NF EN 795 : Protection contre les chutes de hauteur - Dispositifs d'ancrage - Exigences et essais.
- UTE C 18-510 : Recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 3 REGLES GENERIQUES

Les règles énoncées dans ce paragraphe sont communes aux familles de pylônes et poteaux définies dans le § 6 - 1.3.

Les spécificités propres à chaque famille sont traitées dans les paragraphes respectifs (§ 6 - 4 à 6 - 9).

6 - 3.1 Règles de conception

6 - 3.1.1 Généralités

Aspect traité dans les § 6 - 4 à 6 - 9.

6 - 3.1.2 Matériaux

Les matériaux utilisés doivent être en mesure de :

- respecter les contraintes imposées par l'exploitation de l'ouvrage,
- satisfaire aux contraintes environnementales conformément à la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975.

Les aciers de construction et leur moyen d'assemblage doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 50341.

En particulier, les aciers formés à froid doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 50341.

D'une manière générale, les aciers utilisés doivent présenter de bonnes aptitudes à la galvanisation conformément à la norme NF A 35-503 (Produits sidérurgiques - Aciers pour galvanisation par immersion à chaud).

Des compléments sont apportés dans les § 6 - 4 à 6 - 9.

6 - 3.1.3 Dimensionnement mécanique

Les supports doivent être dimensionnés conformément à l'article relatif à la « Résistance mécanique des ouvrages » de l'Arrêté Technique.

a) Charges appliquées au support

Elles sont de quatre natures :

- **Charges permanentes du support**

On désigne par ces termes les charges dues au poids de tous les éléments constitutifs du support, une fois isolé du reste de l'ouvrage (c'est-à-dire hors charges câbles conducteurs et câbles de garde).

- **Charges dues aux câbles conducteurs et aux câbles de garde**

Ces efforts dépendent du domaine d'utilisation du support et sont liés aux hypothèses météorologiques prises en compte. Ces hypothèses sont définies dans la Partie 3 « Dimensionnement mécanique ».

Ils sont appliqués aux points d'accrochage des câbles, définis pour chaque pylône/poteau.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- **Charges météorologiques sur le support**

Elles correspondent à la prise en compte des effets induits par les hypothèses météorologiques sur le support.

Elles sont calculées conformément à la Partie 3 « Dimensionnement mécanique ».

- **Charges apparaissant lors de la construction, l'entretien et l'exploitation de la ligne**

Elles correspondent notamment à la prise en compte des efforts induits par :

- le poids des monteurs travaillant sur la superstructure (100 daN si monteur seul, 300 daN si monteur sur échelle),
- le levage du pylône (haubanage éventuel des consoles, ...),
- le déroulage des câbles,
- la rupture d'un câble.

Elles doivent être calculées suivant les prescriptions des parties 1 et 3 de la norme NF EN 50341.

b) Conditions à respecter

- **Résistance mécanique du support**

Conformément à l'Arrêté Technique, la résistance mécanique du support est définie par le rapport entre les efforts statiques entraînant la ruine des éléments qui le constituent, ou un endommagement irréversible de ceux-ci, et les efforts statiques correspondant à la combinaison des charges appliquées au support.

On rappelle que tout nouvel ouvrage du Réseau Public de Transport devra utiliser des familles de pylônes/poteaux qualifiées par RTE pour la construction d'ouvrages neufs.

En l'absence de spécifications contraires précisées dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières, il n'est pas nécessaire de prendre en considération les effets sismiques, de fatigue ou de résistance au feu.

La résistance mécanique doit être déterminée pour tout élément constitutif du support et dans chaque cas de chargement.

Les conditions à respecter sont de deux types, selon les matériaux et technologies considérés qui constituent les supports :

- conditions de résistance à l'effort maximal admissible (dans le cas de sollicitations simples),

- conditions de résistance à la contrainte maximale admissible (dans le cas de sollicitations composées).

(cf. Partie 3 « Dimensionnement mécanique »).

Calcul de flèche

La flèche des monopodes métalliques, des poteaux béton et des poteaux bois doit être calculée.

Les valeurs maximales à respecter sont précisées respectivement dans les § 6 - 5.1.3, 6 - 6.1.3 et 6 - 7.1.3.

Pour les autres superstructures, cet aspect peut être précisé dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Des compléments sont apportés dans les § 6 - 4 à 6 - 9.

6 - 3.1.4 Dimensionnement géométrique

Le dimensionnement d'une superstructure doit respecter les contraintes géométriques imposées par les règles d'isolement (tenue diélectrique de l'ouvrage) d'une part, et les possibilités d'intervention sur les ouvrages en exploitation d'autre part.

Ces contraintes définissent :

- les distances à la masse,
- les distances entre câbles,
- les distances de travail à respecter sur les ouvrages.

Ces distances permettent de déterminer certaines caractéristiques de la superstructure (notamment longueur de consoles ou espacement entre celles-ci) ; elles font l'objet de la Partie 5 « Dimensionnement géométrique ».

6 - 3.1.5 Durabilité

La durabilité d'un support ou d'une partie de celui-ci dans son environnement doit être telle qu'il reste opérationnel pendant la durée de vie de l'ouvrage moyennant un entretien adéquat.

La durée de vie pour laquelle la ligne aérienne est conçue est définie dans le CCG Présentation générale.

Les conditions environnementales doivent être évaluées au stade de la conception afin d'estimer leur influence sur la durabilité et de permettre de prendre les dispositions adéquates pour la protection des matériaux.

6 - 3.1.6 Anti-corrosion et finition

Les superstructures doivent être protégées contre la corrosion afin de satisfaire la durée de vie minimale attendue.

Les éléments en acier doivent être galvanisés à chaud. Les propriétés caractéristiques de ce revêtement et les méthodes d'essai permettant de le contrôler sont définies dans les normes citées au paragraphe « protection contre la corrosion » de la norme NF EN 50341.

Lorsque des éléments en acier possèdent des dimensions ou des formes qui rendent difficile voire impossible la galvanisation, ils peuvent être protégés contre la corrosion par pulvérisation thermique d'une couche de zinc conformément aux exigences des normes citées au paragraphe « protection contre la corrosion » de la norme NF EN 50341.

La peinture ne peut être utilisée qu'en complément de la protection anti-corrosion pour une amélioration de la longévité des revêtements, pour des raisons environnementales ou pour des contraintes techniques dues au voisinage de l'ouvrage.

Quel que soit le type de protection utilisé, l'aspect du revêtement extérieur doit être soigné, d'une couleur uniforme (sauf exceptions liées à des contraintes environnementales).

Des compléments sont apportés dans les § 6 - 6.1.6 et 6 - 7.1.6.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 3.1.7 Marquage - Identification

a) Marquage

Les différentes pièces constitutives de la superstructure, à l'exception des boulons et rondelles, doivent comporter un marquage permettant leur identification et garantissant leur traçabilité.

b) Identification

Conformément à l'article relatif à l' « Identification » de l'Arrêté Technique, les pylônes et poteaux doivent être identifiés et numérotés durablement.

6 - 3.1.8 Interchangeabilité - interface

a) Interface superstructure / câbles

Les superstructures doivent comporter des aménagements permettant l'accrochage des câbles.

Ces aménagements doivent être :

- communs à chaque type de pylônes/poteaux : ancrage ou suspension,
- compatibles avec les dispositifs de connexion à la charpente spécifiés dans la Partie 8 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

b) Interface superstructure / fondation

La liaison entre la superstructure et la fondation peut être réalisée soit au moyen d'éléments intermédiaires (embases boulonnées, cages d'ancrage, ...), soit par scellement direct.

Des compléments sont apportés dans la Partie 7 « Fondations ».

6 - 3.1.9 Mise à la terre

Conformément à l'article relatif à la « Mise à la terre des supports » de l'Arrêté Technique, les superstructures métalliques doivent être mises à la terre. Aussi, elles doivent pouvoir écouler sans dommage l'intensité d'un courant électrique de défaut (choc de foudre par exemple). Cette mise à la terre peut être assurée soit par la nature même des matériaux constituant la superstructure, soit par des aménagements appropriés.

Toutes les parties métalliques constituant un pylône ou poteau doivent également être reliées à la terre.

Des compléments sont apportés dans la Partie 4 « Dimensionnement électrique » (cf. § 4 - 4).

6 - 3.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

a) Ascension

Les superstructures doivent être munies de dispositifs d'ascension permettant l'accès en sécurité du personnel autorisé.

Des dispositifs destinés à prévenir les chutes de hauteur doivent être mis en place conformément au Code du Travail, et plus particulièrement aux articles R4323-58 à R4323-68.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Aussi, les superstructures doivent être équipées de dispositifs d'assujettissement montés à demeure et ce, sur chaque voie d'ascension. Ces dispositifs doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 795 de classe A ou D (selon les particularités des pylônes/poteaux sur lesquels ils sont installés).

Ils doivent permettre des accès avec support d'assurage et être adaptés à l'ensemble des interventions ultérieures sur les pylônes et poteaux (maintenance électrique, travaux de peinture, ...).

Les dispositifs retenus doivent être précisés dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières.

Par contre et conformément aux articles « Mise hors de portée » et « Mise hors de portée par éloignement » de l'Arrêté Technique, des mesures doivent être prises afin d'éviter que les superstructures soient faciles à escalader par les tiers. Cette mise hors de portée doit être réalisée par le seul éloignement des dispositifs d'ascension et d'assujettissement par rapport au sol.

Le système d'assujettissement des ouvrages du RPT se fera par ligne de vie avec Double Queue de Cochon sur la superstructure.

b) Montage et maintenance

Des dispositifs doivent être prévus sur les pylônes/poteaux afin de :

- faciliter leur montage et levage,
- faciliter l'accès aux points d'accrochage des câbles,
- permettre un éventuel haubanage des consoles,
- permettre des reprises d'efforts.

Des compléments sont apportés dans le § 6 - 8.1.10.

c) Recommandations de sécurité

Conformément à l'article « Avertissement sur les supports » de l'Arrêté Technique, des recommandations destinées à garantir la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes électriques doivent être apposées sur les supports. Chaque support doit donc porter a minima et durablement les indications définies dans cet article sur des plaques de sécurité dont les caractéristiques doivent être conformes à l'Arrêté du 14 mai 1963 du Ministre de l'Industrie.

6 - 3.2 Essais

Afin de valider la résistance mécanique calculée d'une famille de pylônes/poteaux, une vérification doit être réalisée :

- soit par des essais de conception réalisés sur un ou plusieurs supports représentatifs de la famille,
- soit au moyen d'un essai numérique réalisé par un code de calcul prenant en compte les effets de second ordre (plasticité des éléments et des assemblages, flambement, ...) et certifié par un organisme indépendant. Dans ce cas, un essai de conception doit être réalisé à minima sur un type de support de la famille afin de vérifier la bonne adéquation du logiciel et du modèle numérique à la famille de pylônes/poteaux envisagés.

La résistance réelle du support, prenant en compte les véritables caractéristiques de l'élément ayant entraîné la ruine, doit être calculée. Il suffit ensuite de vérifier que la valeur de ruine est supérieure ou égale à cette valeur réelle calculée.

Les essais de conception doivent être réalisés conformément à la publication CEI 60652 mentionnée par la norme NF EN 50341.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Des compléments sont apportés dans le § 6 - 6.2 pour les poteaux béton et le § 6 - 7.2 pour les poteaux bois.

6 - 3.3 Assemblage - Levage

Le concepteur doit spécifier le mode opératoire de levage pris en compte dans la conception.

Les opérations de levage et d'assemblage doivent être conduites de façon à ce qu'en aucun cas, les supports, ainsi que l'ensemble de leurs éléments constitutifs, ne subissent des efforts pour lesquels ils ne sont pas conçus.

Ces opérations doivent être réalisées conformément aux exigences minimales données pour chaque type de support par la norme NF EN 50341.

Des compléments sont apportés dans les § 6 - 5.3 et 6 - 8.3.

6 - 4 PYLONES TREILLIS

6 - 4.1 Règles de conception

6 - 4.1.1 Généralités

Les pylônes treillis consistent en un ensemble structuré de profilés (ou cornières) en acier, assemblés par boulonnage, soit directement, soit par l'intermédiaire de plaques (ou goussets) en acier.

6 - 4.1.2 Matériaux

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.2.

6 - 4.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.3.

6 - 4.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.4.

6 - 4.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.5.

6 - 4.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.6.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 4.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.7.

6 - 4.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.8.

6 - 4.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.9.

6 - 4.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.10.

6 - 4.2 Essais

Aspect traité dans le § 6 - 3.2.

6 - 4.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 6 - 3.3.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 5 MONOPODES METALLIQUES

6 - 5.1 Règles de conception

6 - 5.1.1 Généralités

Les monopodes métalliques sont constitués d'un fût et de consoles, réalisés en tubes en acier.

Les fûts peuvent être composés de plusieurs tronçons emboîtés.

6 - 5.1.2 Matériaux

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.2.

6 - 5.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.3.

Calcul de flèche

La flèche maximale ne doit pas excéder 4,5 % et 6 % de la hauteur hors sol de la superstructure respectivement pour les supports d'ancrage et les supports de suspension.

Cages d'ancrage

Les cages d'ancrage sont constituées de brides et de boulons d'ancrage.

Ces éléments doivent être à même de reprendre les efforts appliqués à l'interface entre la superstructure et la fondation ou la structure d'appui, conformément aux exigences de la norme NF EN 50341.

La longueur d'ancrage des boulons doit être calculée conformément à l'annexe K de la norme NF EN 50341-1.

6 - 5.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.4.

6 - 5.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.5.

6 - 5.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.6.

6 - 5.1.7 Marquage - Identification

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.7.

6 - 5.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.8.

6 - 5.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.9.

6 - 5.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.10.

6 - 5.2 Essais

Aspect traité dans le § 6 - 3.2.

6 - 5.3 Assemblage - Levage

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.3.

Dans le cas de tronçons emboîtés, la détermination des efforts d'emboîtage doit prendre en compte les charges appliquées au support afin de respecter les contraintes de dimensionnement géométrique définies dans le § 6 - 3.1.4.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 6 POTEAUX BETON

6 - 6.1 Règles de conception

6 - 6.1.1 Généralités

Les poteaux béton sont constitués d'un fût réalisé en béton (armé ou précontraint) et de consoles réalisées en béton (armé ou précontraint) ou en acier.

6 - 6.1.2 Matériaux

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.2.

Les bétons et armatures en acier utilisés doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 50341.

6 - 6.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.3.

Calcul de flèche

La flèche maximale doit être conforme aux exigences de la norme NF EN 50341.

6 - 6.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.4.

6 - 6.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.5.

6 - 6.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.6.

Les épaisseurs d'enrobage des armatures doivent être conformes aux prescriptions normatives citées dans la norme NF EN 50341.

6 - 6.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.7.

6 - 6.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.8.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 6.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.9.

6 - 6.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.10.

6 - 6.2 Essais

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.2.

La définition du programme d'essais spécifique aux poteaux béton doit être conforme aux prescriptions normatives citées dans la norme NF EN 50341.

6 - 6.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 6 - 3.3.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 7 POTEAUX BOIS

6 - 7.1 Règles de conception

6 - 7.1.1 Généralités

Les poteaux bois sont constitués d'un fût réalisé en bois et de consoles réalisées en bois ou en acier.

6 - 7.1.2 Matériaux

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.2.

Les essences utilisées pour la fabrication des poteaux en bois et les boulons, écrous et les plaquettes utilisés dans les assemblages d'éléments en bois doivent être conformes aux prescriptions normatives citées dans la norme NF EN 50341.

6 - 7.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.3.

Calcul de flèche

La flèche maximale doit être conforme aux exigences de la norme NF EN 50341

6 - 7.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.4.

6 - 7.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.5.

6 - 7.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.6.

Les poteaux bois doivent être protégés contre la détérioration, le pourrissement et les agressions par les oiseaux et insectes.

Une attention particulière doit être apportée aux perçages et assemblages réalisés avant ou après installation des supports.

Les normes applicables sont indiquées dans la norme NF EN 50341.

6 - 7.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.7.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 7.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.8.

6 - 7.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.9.

6 - 7.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.10.

6 - 7.2 Essais

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.2.

Les composants en bois doivent impérativement faire l'objet d'essai mécanique pour l'obtention de la contrainte de rupture moyenne.

6 - 7.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 6 - 3.3.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 8 SUPERSTRUCTURES HAUBANEES

6 - 8.1 Règles de conception

6 - 8.1.1 Généralités

Les superstructures haubanées sont constituées d'une superstructure de base (pylône treillis, monopode métallique, poteaux bois ou béton, ...) dont la tenue se trouve améliorée par l'adjonction de haubans en acier. Les exigences relatives aux haubans sont traitées dans la Partie 8 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

6 - 8.1.2 Matériaux

Les matériaux des structures de base doivent être conformes aux exigences des § 6 - 4 à 6 - 7 apparentés.

Les caractéristiques des haubans et de leurs accessoires doivent être conformes aux exigences du § 8 - 4 de la Partie 8 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

6 - 8.1.3 Dimensionnement mécanique

Les structures de base doivent être dimensionnées conformément aux exigences des § 6 - 4 à 6 - 7 apparentés.

Dimensionnement mécanique des haubans

Les haubans sont dimensionnés de la même façon que les éléments constitutifs d'un support (aspect traité dans le § 6 - 3.1.3).

6 - 8.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.4.

6 - 8.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.5.

6 - 8.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.6.

6 - 8.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.7.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 8.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.8.

6 - 8.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.9.

6 - 8.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.10.

Des compléments sont apportés dans la Partie 8 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

6 - 8.2 Essais

Aspect traité dans le § 6 - 3.2.

6 - 8.3 Assemblage - Levage

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.3.

Le réglage des haubans doit être systématiquement accompagné d'un contrôle optique de verticalité du support :

- pendant le réglage des haubans (avant la pose des câbles),
- après la mise en tension des câbles.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

6 - 9 SUPERSTRUCTURES AEROSOUTERRAINES

6 - 9.1 Règles de conception

6 - 9.1.1 Généralités

Une superstructure aérosouterraine est l'élément de transition entre une ligne aérienne et une ligne souterraine.

Elle est constituée d'une superstructure de base (pylône treillis, monopode métallique, poteaux bois ou béton) qui comporte des adaptations permettant l'installation de matériels spécifiques :

- **Boites d'extrémité** (exigences définies dans le Cahier des Charges Général - Lignes Souterraines) :

  Elles assurent le lien entre câble conducteur aérien et câble souterrain.

- **Câbles souterrains** (exigences définies dans le Cahier des Charges Général - Lignes Souterraines) :

  Ils doivent être guidés et maintenus à intervalles réguliers le long du fût du pylône ou du poteau.

  Ils doivent être protégés mécaniquement conformément à l'article relatif aux « Distances au-dessus du sol » de l'Arrêté Technique. Une plaque " DANGER DE MORT ", dont les caractéristiques générales sont fixées par l'Arrêté du 14 mai 1963 du Ministre de l'Industrie, doit être fixée sur cette protection.

  Le rayon de courbure des câbles souterrains doit respecter les limites mécaniques prescrites par le câblier.

- **Matériel d'équipement pour le raccordement aérien** (exigences définies dans la Partie 8 « Câbles, matériels de ligne, haubans ») :

  Le raccordement électrique doit être assuré entre les câbles conducteurs aériens et les boîtes d'extrémité.

  Afin d'améliorer la qualité de service ou pour des besoins d'exploitation, d'autres matériels peuvent être installés sur le support. Citons par exemple :

  - **Matériel HT** :
    - ⇒ Parafoudres (exigences définies dans le Cahier des Charges Général des Postes),
    - ⇒ Circuits bouchons et condensateurs de couplage (exigences définies dans le Cahier des Charges Général des Postes),
    - ⇒ Transformateur Condensateur de Tension (exigences définies dans le Cahier des Charges Général des Postes).

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- **Matériel BT** :

  Les matériels HT installés sur les superstructures aérosouterraines peuvent nécessiter la mise en place de matériels BT (exigences définies dans le Cahier des Charges Général des Postes). L'installation de ces matériels sur les pylônes/poteaux doit être prévue.

Le type et les quantités de ces matériels doivent être définis dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières.

Tout ou partie des matériels installés sur une superstructure aérosouterraine peut être installé :

- soit sur une plate-forme rapportée sur le fût,
- soit directement sur les consoles, moyennant des adaptations.

6 - 9.1.2 Matériaux

Les matériaux des structures de base doivent être conformes aux exigences des § 6 - 4 à 6 - 7 apparentés.

Les plates-formes et les éléments de fixation des matériels doivent être en acier. Les exigences relatives aux aciers de construction et leur moyen d'assemblage sont définies dans le § 6 - 3.1.2.

6 - 9.1.3 Dimensionnement mécanique

a) Dimensionnement mécanique de la plate-forme

La plate-forme doit être dimensionnée indépendamment du support.

- **Hypothèses à prendre en compte**

Le dimensionnement de la plate-forme doit satisfaire aux hypothèses définies dans la Partie 3 « dimensionnement mécanique ».

Elles sont appliquées à l'ensemble des barres de la plate-forme et à l'ensemble du matériel dans la configuration la plus contraignante.

- **Hypothèse de construction et entretien**

En hypothèses de construction et entretien, les plates-formes doivent supporter les charges engendrées par le poids des monteurs avec leur outillage.

Il faut également ajouter le poids du câble souterrain (en fonction de ses caractéristiques) en considérant la longueur du câble jusqu'au sol pour la hauteur maximum de la superstructure. C'est cette longueur de câble qui sera reprise par le balcon en phase chantier, avant fixation du câble le long du fût du pylône ou du poteau.

- **Hypothèse de givre**

a) appliquée à la plate-forme :

La présence de givre ou de neige sur l'ensemble de la surface de la plate-forme doit être prise en compte.

On applique une surcharge de givre sur le balcon calculée en fonction de ses dimensions :

- En zone de givre 2 cm : la surcharge de givre sur le balcon est prise égale à 125 daN / m²
- En zone de givre 3 à 6 cm : la surcharge de givre sur le balcon est prise égale à 350 daN / m²

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

b) appliquée à la structure de la plate-forme :

La prise en compte du givre se fait conformément à la Partie 3 « Dimensionnement mécanique ».

c) appliquée aux matériels :

Les matériels implantés sont considérés entourés d'un manchon de givre augmentant leur surface de prise au vent et leur poids propre.

Sa prise en compte se fait conformément à la Partie 3 « Dimensionnement mécanique ».

- **Hypothèse de vent**

On considère l'hypothèse de vent définie dans la Partie 3 « Dimensionnement mécanique ».

Le dimensionnement mécanique de la plate-forme devra prendre en compte l'application du vent sur l'ensemble des barres ainsi que sur l'ensemble du matériel, en considérant les pressions de vent définies dans la Partie 3 « Dimensionnement mécanique », en fonction de la forme du matériel.

- **Hypothèse d'élancement**

Les barres de la plate-forme doivent respecter les élancements maximaux recommandés par la norme NF EN 50341.

- **Dimensionnement mécanique des barres de la plate-forme**

Il est réalisé selon les mêmes dispositions que celles définies au § 6 - 3.1.3.

b) Dimensionnement des aménagements sur les consoles

Les aménagements rapportés sur les consoles et destinés à recevoir les matériels, doivent être justifiés mécaniquement.

Ils sont soumis à leurs charges propres (comme définies au § 6 - 3.1.3) et aux efforts dus aux matériels. Ils doivent être vérifiés dans les hypothèses définies dans la Partie 3 « Dimensionnement mécanique ».

En hypothèse de construction et d'entretien, ces éléments doivent supporter, en plus du poids du matériel, les charges engendrées par le poids de plusieurs monteurs avec leur outillage. Celles-ci doivent être définies dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières.

c) Charges appliquées au support

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.3-a.

Nota : les charges dues aux équipements aérosouterrains doivent être prises en compte dans chaque cas de chargement.

d) Conditions à respecter

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.3-b.

6 - 9.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.4.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Concernant les équipements aérosouterrains sur plateforme, les distances entre phases et les distances à la masse à prendre en compte sont celles applicables aux Postes et définies dans le Cahier des Charges Général des Postes.

Pour la partie aérienne, les distances sont vérifiées selon les dispositions définies au § 6 - 3.1.4.

On tiendra compte des gabarits des différents matériels installés sur la superstructure aérosouterraine.

A ces dispositions s'ajoutent certaines particularités spécifiques aux superstructures aérosouterraines :

- le matériel sous tension doit se situer à une hauteur minimale permettant de respecter les critères de distance au sol définis à l'article relatif aux « Distances au-dessus du sol » de l'Arrêté Technique,
- le dimensionnement géométrique du pylône/poteau doit prendre en compte le rayon de courbure minimal des câbles isolés,
- toute partie sous tension, y compris les éléments de la plate-forme, doit respecter les distances de sécurité telles que définies au § 5 - 2 de la Partie 5 « Dimensionnement géométrique ».

6 - 9.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.5.

6 - 9.1.6 Anticorrosion et finition

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.6.

6 - 9.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.7.

6 - 9.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.8.

Toutefois, les pylônes/poteaux aérosouterrains doivent disposer des pièces adaptées à la fixation de l'ensemble des matériels définis dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières, susceptibles d'être mis en place pour l'exploitation.

6 - 9.1.9 Mise a la terre

Aspect traité dans le § 6 - 3.1.9.

6 - 9.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité partiellement dans le § 6 - 3.1.10.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

D'autre part, dans le cas de la présence d'une plate-forme sur le fût de la superstructure et pour assurer la sécurité des personnes y intervenant, elle devra être équipée d'un caillebotis et d'un garde-corps amovible répondant :

- au Code du Travail (en particulier aux articles R4534-75, R4534-76, R4534-77, R4534-78 et R4534-79).
- à la EN 12-437-2 (Sécurité des machines - Moyens d'accès permanents aux machines et installations industrielles – Plate-formes de travail et passerelles).
- à la EN 12-437-3 (Sécurité des machines - Moyens d'accès permanents aux machines et installations industrielles - Escaliers, échelles à marches et garde-corps).

De plus, conformément aux articles « Mise hors de portée » et « Mise hors de portée au moyen d'obstacles » de l'Arrêté Technique, un écran de protection doit interdire l'accès à la plate-forme aux personnes non autorisées. Il ne devra pas gêner l'ascension de la superstructure le long des membrures équipées des dispositifs d'assujettissement.

6 - 9.2 Essais

Aspect traité dans le § 6 - 3.2.

6 - 9.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 6 - 3.3.

6 - 10 AUTRES SUPERSTRUCTURES

Les autres superstructures doivent être conçues conformément aux exigences des § 6 - 3 à 6 - 9 apparentés.

Le calcul et la conception d'autres supports spécifiques, non-pris en compte dans les paragraphes précités, doivent faire l'objet d'un Cahier des Clauses Techniques Particulières.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 7. Fondations

7 - 1 INTRODUCTION

Cette partie définit les conditions techniques et de dimensionnement des fondations des supports des lignes aériennes HTB.

Elle est organisée en cinq chapitres :

- le chapitre 7 - 1 « Introduction » rappelle les principales définitions générales de fondations
- le chapitre 7 - 2 « Textes de référence » est relatif aux textes réglementaires et normatifs et autres textes liés aux règles de l'art
- le chapitre 7 - 3 « Règles génériques » définit les règles de conception génériques à toutes les familles de fondations
- les chapitres 7 - 4, 7 - 5 viennent compléter le chapitre 7 - 3 en décrivant les spécificités propres à chaque famille de fondations, respectivement les fondations superficielles et les fondations spéciales.

7 - 1.1 Principaux termes, définitions et symboles

- **Fondation superficielle** : massif enterré en béton armé ou non, supportant un ouvrage. Il existe des massifs à dalles, avec ou sans redans, pour support tétrapode et des massifs monoblocs pour support monopode.
- **Fondation spéciale** : appelée aussi fondation profonde, elle est constituée d'un ou plusieurs pieux reliés ensemble par un massif de liaison.
- **Pieu et micropieu** : profilé métallique mis en place dans le sol soit par battage soit dans un forage. Un micropieu est un pieu dont le diamètre de forage est inférieur à 250mm.
- **Sollicitations** : combinaisons des efforts appliqués aux fondations.
- **Tenue géotechnique** : tenue de la fondation vis à vis des caractéristiques du sol environnant.
- **Tenue intrinsèque** : tenue de la fondation vis à vis des caractéristiques des matériaux la constituant.

7 - 1.2 Fonctionnalité principale

Une fondation est un ouvrage enterré dont le rôle est d'ancrer dans le sol la superstructure (pylône ou poteau) supportant les câbles conducteurs et les câbles de garde, et d'en assurer la stabilité sous les sollicitations appliquées à l'ouvrage (cf. Partie 3 « dimensionnement mécanique »).

7 - 1.3 Notion de famille de fondations

On distingue deux grandes catégories de fondations :

- les fondations superficielles appelées aussi massifs,

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- les fondations spéciales ou profondes.

Une distinction est ensuite faite suivant le type de support tétrapode ou monopode.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

7 - 2 TEXTES DE REFERENCE

7 - 2.1 Réglementation

- Arrêté Technique en vigueur relatif aux conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.
- Fascicule 62- Titre V du CCTG applicables aux marchés publics de travaux n° 93-3 T.O. - Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil du Ministère de l'Equipement, du Logement et des Transports.
- DTU 18-702- Règles BAEL 91 révisé 99 - Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites.

7 - 2.2 Normes

- **CENELEC**

* Norme NF 50341-1 : Lignes Aériennes de tension supérieure à 45 kV en courant alternatif (chapitre 8 : fondations), et ses Aspects Normatifs Nationaux (NNAs).

- **DTU 13.2 – Fondations profondes pour le bâtiment.**
- **Essais de sols**

* NF P 94 500 : Missions géotechniques

Essais in-situ :

* NF P 94-115 : Sondage par pénétromètre dynamique type B.
* NF P 94-110 : Essai au pressiomètre Ménard.
* NF P 94-120 : Essai au Phicomètre.

Essais en laboratoire :

* NF P 94-057 : Détermination de la granulométrie.
* NF P 94-053 : Détermination de la masse volumique des sols fins.
* NF P 94-059 : Détermination de la masse volumique des sols non cohérents.
* NF P 94-050 : Détermination de la teneur en eau.
* NF P 94-051 : Détermination des limites d'Atterberg.

Détermination de la cohésion effective c' et de l'angle de frottement interne φ' :

* NF P 94-071-1 : Essai de cisaillement rectiligne direct.
* NF P 94-074 : Essai triaxial CU + U.

- **Béton**

* NF EN 206 - 1: Béton prêt à l'emploi.

- **Acier**

* NF EN 10080: Acier pour l'armature du béton. Armature pour béton armé soudable à verrous.
* NF A 35 – 19 / 1 et 2: Aciers Haute Adhérence (HA) pour béton armé.
* NF A 35-016 : Barre et couronnes soudables à verrous de nuance FeE500 - Treillis soudés constitués de ces armatures.
* NF A 35-027 : Armatures industrielles pour le béton.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

➢ **Essais de fondation**

* NF EN 61773 : Lignes aériennes : essais de fondations des supports.

7 - 2.3 Autres documents de référence, règles de l'art

Règles CM 66 et additif 80 - Règle de calcul des constructions en acier.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

7 - 3 REGLES GENERIQUES

Les règles énoncées dans ce paragraphe sont communes aux fondations superficielles et spéciales.

7 - 3.1 Règles de conception

7 - 3.1.1 Etude de sol

Une étude de sol doit être réalisée avant toute réalisation de fondation. Les essais effectués doivent déterminer les caractéristiques de sols nécessaires au dimensionnement des fondations. Ces essais doivent être adaptés au type de fondations envisagées et réalisés conformément aux normes du § 7 - 2. Il est conseillé de réaliser une étude de sol en deux phases.

La première phase est d'ordre qualitative et déterminera le type de fondation envisageable par support et les essais de sols nécessaires. La deuxième phase est d'ordre quantitative et déterminera les caractéristiques de sols nécessaires au dimensionnement des fondations.

Les paramètres de sols pris en compte dans le calcul de tenue de la fondation seront vérifiés lors de la réalisation des travaux.

7 - 3.1.2 Matériaux

Les matériaux mis en œuvre dans la réalisation des fondations sont :

- pour les fondations superficielles : le béton, l'acier des armatures et des embases,

- pour les fondations spéciales : le béton, le coulis d'injection, le mortier, l'acier des tubes, des embases et des armatures.

Les bétons utilisés pour les fondations des supports des lignes aériennes HTB sont des Bétons Prêts à l'Emploi (B.P.E), préparés en usine, de type Bétons à Propriétés Spécifiées (B.P.S). Ils doivent répondre aux spécifications de la norme NF EN 206-1.

Les armatures pour les structures en béton armé sont constituées de barres à haute adhérence.

7 - 3.1.3 Dimensionnement des fondations

Les fondations doivent être dimensionnées conformément à l'article relatif à la « Résistance mécanique des ouvrages » de l'Arrêté Technique en vigueur et à la norme NF EN 50341-1 et 3.

Pour les supports tétrapodes, les 4 fondations doivent être identiques sauf dérogation.

a) Efforts appliqués aux fondations

La nature des efforts est fonction du type de support (tétrapode ou monopode). On distingue ainsi :

- **Pour les supports tétrapodes**

- les efforts verticaux : V',

- les efforts tranchants : transversal H', longitudinal L'.

- **Pour les supports monopodes**

- l'effort vertical : V',

- les efforts tranchants : transversal H', longitudinal L',

- les moments de renversements : dans le plan transversal M'_H, dans le plan longitudinal M'_L.

- **Notation en fonction de la nature de l'effort :**

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- à l'arrachement : indice A

- à la compression, indice C

➢ **Notation en fonction de l'hypothèse de dimensionnement :**

- en hypothèse de vent, de froid: indice VF,

- en hypothèse de givre : indice Gi,

- en hypothèse anticascade : indice Ac.

b) Sollicitations

Les sollicitations utilisées dans les calculs résultent des combinaisons des efforts appliqués par superstructure. Ces combinaisons sont fonction de la nature de l'effort appliqué, de l'hypothèse climatique considérée et des caractéristiques des supports.

Les efforts en hypothèse de vent et froid sont pondérés d'un coefficient 2 imposé par l'Arrêté Technique en vigueur.

On distingue ainsi :

➢ **Pour les supports tétrapodes**

- les sollicitations verticales S,

- les sollicitations horizontales : transversal H, longitudinal L.

➢ **Pour les supports monopodes**

- la sollicitation verticale S,

- les sollicitations horizontales : transversal H, longitudinal L,

- les moments de renversements : dans le plan transversal M_H, dans le plan longitudinal $M_{L.}$

➢ **Notation en fonction de la nature de l'effort :**

- à l'arrachement : indice A,

- à la compression, indice C.

➢ **Notation en fonction de l'hypothèse de dimensionnement :**

- en hypothèse de vent, de froid: indice VF,

- en hypothèse de givre : indice Gi,

- en hypothèse anticascade : indice Ac.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Nature de l'effort	Hypothèse	Sollicitation Verticales	Sollicitations horizontales	Moment
Arrachement	Vent, Froid	$S_{A,VF} = 2\ V'_{A,VF}$	$\Rightarrow H_{A,VF} = 2\ H'_{A,VF}$ $\Rightarrow L_{A,VF} = 2\ L'_{A,VF}$	
	Anti-cascade	$S_{A,Ac} = V'_{A,Ac}$	$\Rightarrow H_{A,Ac} = H'_{A,Ac}$ $\Rightarrow L_{A,Ac} = L'_{A,Ac}$	
	Givre	$S_{A,Gi} = V'_{A,Gi}$	$\Rightarrow H_{A,Gi} = H'_{A,Gi}$ $\Rightarrow L_{A,Gi} = L'_{A,Gi}$	
Compression	Vent, Froid	$S_{C,VF} = 2\ V'_{C,VF}$	$\Rightarrow H_{C,VF} = 2\ H'_{C,VF}$ $\Rightarrow L_{C,VF} = 2\ L'_{C,VF}$	
	Anti-cascade	$S_{C,Ac} = V'_{C,Ac}$	$\Rightarrow H_{C,Ac} = H'_{C,Ac}$ $\Rightarrow L_{C,Ac} = L'_{C,Ac}$	
	Givre	$S_{C,Gi} = V'_{C,Gi}$	$\Rightarrow H_{C,Gi} = H'_{C,Gi}$ $\Rightarrow L_{C,Gi} = L'_{C,Gi}$	
Renversement	Vent, Froid	$S_{C,VF} = 2\ V'_{C,VF}$	$H_{VF} = 2\ H'_{VF}$, $L_{VF} = 2\ L'_{VF}$	$M_{H,VF} = 2\ M'_{H,VF}$, $M_{L,VF} = 2\ M'_{L,VF}$
	Anti-cascade	$S_{C,Ac} = V'_{C,Ac}$	$H_{Ac} = H'_{Ac}$, $L_{Ac} = L'_{Ac}$	$M_{H,Ac} = M'_{H,Ac}$, $M_{L,Ac} = M'_{L,Ac}$
	Givre	$S_{C,Gi} = V'_{C,Gi}$	$H_{Gi} = H'_{Gi}$, $L_{Gi} = L'_{Gi}$	$M_{H,Gi} = M'_{H,Gi}$, $M_{L,Gi} = M'_{L,Gi}$

Détermination des sollicitations

c) Conditions à respecter

Les conditions à respecter dépendent du type de fondation et sont présentées dans les paragraphes 7 - 4.2.3, 7 - 4.3.5, 7 - 5.1.5.

7 - 3.1.4 Durabilité

La durée de vie pour laquelle la ligne aérienne est conçue est définie dans le CCG – Présentation générale.

Les conditions environnementales doivent être évaluées au stade de la conception afin d'estimer leur influence sur la durabilité et de permettre de prendre les dispositions adéquates pour la protection des matériaux.

7 - 3.1.5 Anticorrosion et finition

La finition de la partie aérienne de la fondation doit être soignée de telle sorte qu'il n'existe pas de rétention d'eau sur la surface (par exemple : pointe de diamant, raccordement embase/béton). La réalisation d'une pointe de diamant est recommandée.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

7 - 3.1.6 Interface superstructure / fondation

La liaison entre la superstructure et la fondation peut être réalisée soit au moyen d'éléments intermédiaires (embases, cage d'écureuil), soit par scellement direct.

7 - 3.1.7 Mise à la terre

Les supports doivent comporter une mise à la terre. Cette mise à la terre peut être assurée soit par la nature même des matériaux constituant la fondation (par exemple : pieu battu lisse), soit par des aménagements appropriés (boucle de terre, piquet de terre...).

Une liaison équipotentielle doit être réalisée entre la mise à la terre, les pieux et la virole ou l'armature métallique noyée dans le béton armé. Plus généralement, et quelle que soit la configuration de la fondation et de la prise de terre, il est nécessaire d'interconnecter tous les éléments métalliques enterrés.

Des compléments sont apportés dans la Partie 4 « dimensionnement électrique ».

7 - 3.2 Essais

Les essais (de conception, en vraie grandeur, à échelle réduite ou de routine) doivent être opérés suivant la norme NF EN 61773.

7 - 3.3 Mise en œuvre

La mise en œuvre doit être réalisée suivant les règles de l'art, en particulier en ce qui concerne la protection du fond de fouilles pour les massifs avec redans, les conditions de bétonnage et le compactage du remblai. Il est nécessaire de s'assurer que la réalisation de la fondation correspond aux hypothèses de calcul (par exemple présence ou absence de redans). En cas de différence, la tenue de la fondation doit être calculée à nouveau en prenant en compte les conditions de réalisation.

Un programme de contrôle de la mise en œuvre doit être établi et inclure les tolérances de mise en œuvre (par exemple : réglage d'embase, fouille, dimension des fondations).

7 - 3.4 Cas particuliers

Une attention particulière sera apportée lors de l'étude des fondations pour tout ouvrage traversant une zone d'aléa géologique (zones karstiques, glissement de terrain...). Des solutions particulières devront être prévues pour assurer la pérennité de l'ouvrage.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

7 - 4 FONDATIONS SUPERFICIELLES

7 - 4.1 Généralités

7 - 4.1.1 Etude de sols

Les essais les plus utilisés pour déterminer les paramètres de sols nécessaires au dimensionnement des fondations superficielles sont les essais pressiométriques et les essais en laboratoire (essai de cisaillement, analyse granulométrique).

7 - 4.1.2 Tenue géotechnique

- **Déjaugeage**

Le déjaugeage éventuel du massif doit être pris en compte. Le niveau le plus défavorable de la nappe sera pris en compte.

- **Contrainte admissible du sol**

Le calcul de la contrainte admissible du sol est basée sur le CCTG "Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil" fascicule 62 titre V.

Il convient de noter que les coefficients partiels de sécurité utilisés pour la pression admissible dépendent de la méthode d'analyse.

- **Paramètres de sols court terme et long terme**

En hypothèse de vent, de froid et anticascade, les paramètres de sols court terme seront utilisés dans le calcul de la tenue à l'arrachement des fondations ; en hypothèse de givre, les paramètres de sols long terme seront utilisés dans le calcul de la tenue à l'arrachement.

7 - 4.1.3 Tenue intrinsèque

Le calcul de la tenue intrinsèque de la fondation est basé sur le BAEL (Cf. § 7 - 2) lorsque les massifs sont en béton armé. Les massifs peuvent être non armés et dans ce cas, il est nécessaire de vérifier que les contraintes de traction et/ou de compression dans le béton ne dépassent pas les valeurs admissibles.

7 - 4.2 Fondations superficielles pour support tétrapode

7 - 4.2.1 Tenue géotechnique

a) Tenue à l'arrachement

- **Méthode générale de calcul**

La tenue géotechnique à l'arrachement des fondations superficielles est obtenue à partir du poids propre de la fondation, du poids de terre et de la résistance au cisaillement du sol.

On pourra distinguer les massifs avec redans des massifs sans redan.

La tenue à l'arrachement des fondations superficielles est obtenue à partir de la méthode EPRI (réf. EPRI EL-2870 RP1493-1) en utilisant des paramètres de sols court ou long terme. La méthode décrit le cisaillement du sol d'après les théories du cercle de Mohr et de la loi de Coulomb.

Cette méthode décompose la résistance à l'arrachement **Qft** comme étant la somme du poids propre de la fondation **Pt** et de la résistance au cisaillement du sol $\mathbf{Q_1}$ au droit du massif.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

➢ **Distance entre fouille**

L'utilisation de la méthode EPRI implique la vérification suivante :

Si la distance **d** entre les bords de fouille ne respecte pas la relation suivante,

$$d > 2D\ tg(\varphi/4)$$

avec :

- **D** profondeur de la fondation,
- φ angle de frottement interne du sol,

il est nécessaire de ne prendre en compte le cisaillement du sol que sur la moitié du périmètre de la fondation.

➢ **Pylônes aérosouterrains**

Pour les pylônes aérosouterrains, la réalisation de tranchées destinées à enfouir le câble isolé, rendant une bande de terrain mécaniquement inactive, doit être prise en considération pour le calcul de la résistance à l'arrachement du massif.

➢ **Massifs pour terrain rocheux**

Le calcul de la tenue à l'arrachement des massifs en terrain rocheux est identique au calcul de la tenue des pieux. La hauteur dans le rocher est diminuée de 30 cm afin de tenir compte d'une éventuelle altération du rocher.

b) Tenue à la compression

➢ **Contrainte sous la semelle**

La contrainte **p** sous la semelle induite par les efforts est calculée suivant la méthode de Hahn.

L'inclinaison de la cheminée est prise en compte dans ce calcul.

7 - 4.2.2 Tenue intrinsèque

La tenue intrinsèque des massifs se rapporte au comportement interne de la structure en béton. La tenue intrinsèque du massif doit être justifiée.

7 - 4.2.3 Conditions à respecter

La fondation superficielle doit vérifier les conditions suivantes pour tous les cas de charge :

- l'arrachement : **Tenue géotechnique à l'arrachement** > $\mathbf{S_{A,i}}$ avec i dans [V, F, Gi, Ac].

- à la compression : **contrainte sous la semelle < contrainte admissible du sol**

Les sollicitations ne doivent pas dépasser la tenue intrinsèque de la fondation.

7 - 4.2.4 Scellement des supports tétrapodes

Le scellement des embases dans le massif est assuré par la résistance au cisaillement du système d'ancrage. L'adhérence entre l'embase et le béton est négligée. D'autres valeurs peuvent être utilisées sous réserve d'essais concluants.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

7 - 4.2.5 Adaptation des massifs et surélévation de cheminée

Les massifs peuvent être adaptés en cours de chantier suite à des anomalies géotechniques. Cela peut se traduire par une surprofondeur, un élargissement de la semelle, etc. Le massif réalisé doit être justifié en prenant en compte ses nouvelles caractéristiques.

La cheminée de la fondation dépasse normalement le terrain naturel de 30 cm. La cheminée peut être surélevée en cas de besoin. La cheminée sera alors ferraillée et sa tenue justifiée par une note de calcul.

7 - 4.3 Fondations superficielles pour support monopode

7 - 4.3.1 Tenue géotechnique

- **Méthode de calcul**

La tenue au renversement d'une fondation superficielle est calculée suivant la méthode du Réseau d'Etat. Cette méthode détermine notamment les actions des terres sur le massif (effort de poussée et de butée). L'influence de la cohésion du sol est prise en compte dans la détermination de ces efforts.

D'autres méthodes de calcul des fondations superficielles au renversement peuvent être utilisées en conformité avec les normes et règlements du § 7 - 2. Ces méthodes devront être validées.

Tous les cas de charges doivent être vérifiés.

- **Contrainte sous la semelle**

La contrainte **p** sous la semelle induite par les efforts de renversement et l'action des terres est calculée suivant la méthode de Hahn.

- **stabilité au renversement**

La stabilité du massif doit être vérifiée dans le sens longitudinal et transversal. On détermine α le coefficient de stabilité.

α = ΣMoments résistants / ΣMoments renversants.

7 - 4.3.2 Tenue intrinsèque

La tenue intrinsèque du massif doit être justifiée.

7 - 4.3.3 Scellement des supports monopodes

Le scellement des supports monopodes se fait soit par scellement direct soit par cage d'ancrage.

- **Scellement direct**

Dans le cas de scellement direct, il faut vérifier que la contrainte sur le béton ne dépasse pas les valeurs admissibles. L'intérieur du support doit être bétonné.

- **Scellement par cage d'ancrage**

Dans le cas d'un scellement par cage d'ancrage, les efforts sont repris pour moitié par les tiges constituant la cage et pour moitié par la bride inférieure de la cage.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

7 - 4.3.4 Massif particulier pour sol cultivable

La cote d'arase (niveau de la surface supérieure du parallélépipède homogène de béton) du massif peut être située en dessous du niveau du terrain naturel (en général -0.8m). La partie du massif située au dessus de la côte d'arase doit participer à la résistance mécanique de la fondation quand l'encastrement du support (fiche d'implantation) l'exige. Dans ce cas, elle doit être dimensionnée pour reprendre les sollicitations transmises par la superstructure.

7 - 4.3.5 Conditions à respecter

Une fondation superficielle au renversement doit respecter les conditions suivantes pour tous les cas de charge :

- Condition de non poinçonnement du sol : **contrainte sous la semelle < contrainte admissible du sol**

Il convient de noter que les coefficients partiels de sécurité utilisés pour la pression admissible dépendent de la méthode d'analyse.

- Vérification de la stabilité au renversement
- Les sollicitations ne doivent pas dépasser la tenue intrinsèque de la fondation.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

7 - 5 FONDATIONS SPECIALES

7 - 5.1 Généralités

7 - 5.1.1 Etude de sol

Les essais les plus utilisés pour déterminer les paramètres de sols nécessaires au dimensionnement des fondations spéciales sont les essais pressiométriques et les essais d'identification du sol.

7 - 5.1.2 Technologies

Les technologies de pieux et micropieux utilisées pour la réalisation de fondations spéciales sont :

- les pieux et micropieux battus lisses et injectés,
- les pieux et micropieux forés injectés,
- les micropieux autoforés,
- les pieux et micropieux vissés lisses ou injectés.

D'autres technologies peuvent être employées sous réserve d'essais concluants.

Les pieux battus lisses sont interdits dans les sables carbonatés et dans la craie. De plus leur emploi est limité à des supports d'alignement et à des efforts d'arrachement inférieurs à 700 kN.

Les tubes lisses servant d'armature de pieux injectés (pieux battus et forés) doivent être équipés de renforts d'adhérence.

7 - 5.1.3 Tenue géotechnique

Le calcul de la tenue géotechnique des pieux et micropieux est basé sur le fascicule 62 titre V. Le frottement latéral **qs** peut être déterminé à partir des essais au pressiomètre Ménard. Les efforts limites mobilisables sous la pointe **Qpu** et par frottement latéral **Qsu** sont déterminés à partir du qs.

Il convient de noter que les coefficients partiels de sécurité utilisés pour la pression admissible, l'arrachement, etc. dépendent de la méthode d'analyse.

7 - 5.1.4 Tenue intrinsèque

La vérification de la tenue intrinsèque est faite suivant le fascicule 62 (à défaut le DTU 13.2), le BAEL et le CM66 (cf. § 7 - 2). La prise en compte de la corrosion du profilé métallique doit être effectuée pour la durée de vie de l'ouvrage précisée au § 7 - 3.1.4.

7 - 5.1.5 Conditions à respecter

La fondation spéciale doit vérifier les conditions suivantes dans tous les cas de charge:

à l'arrachement, **Tenue géotechnique à l'arrachement** > $\mathbf{S_{A\,i}}$ avec i dans [V, F, Gi, Ac].

à la compression, **Tenue géotechnique à la compression** > $\mathbf{S_{C\,i}}$ avec i dans [V, F, Gi, Ac].

Le déplacement en tête de la fondation ne doit pas dépasser les valeurs admissibles.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Le déplacement en tête doit rester inférieur à 20 mm.

La liaison entre le ou les pieux et le support doit être justifiée.

La pression maximale du pieu sur le sol ne doit pas dépasser les valeurs admissibles.

Il convient de noter que les coefficients partiels de sécurité utilisés pour la pression admissible, l'arrachement, etc. dépendent de la méthode d'analyse.

7 - 5.2 Fondations spéciales pour support tétrapode

Dans le cas d'une fondation multipieux, l'effet de groupe doit être pris en compte le cas échéant.

7 - 5.3 Fondations spéciales pour support monopode

7 - 5.3.1 Monopieu

Les méthodes de calcul utilisées doivent modéliser le pieu comme une poutre continue reposant sur un appui élastique.

7 - 5.3.2 Multipieux

Les efforts de renversement pondérés suivant les hypothèses induisent des efforts d'arrachement et de compression dans les pieux constituant la fondation. Les efforts maximaux d'arrachement et de compression sont alors considérés comme étant les sollicitations.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Partie 8. Câbles, Matériels de ligne, Haubans

8 - 1 INTRODUCTION

Cette partie définit les exigences à respecter pour les câbles, les matériels de lignes aériennes HTB ainsi que les pièces de câbles et de haubans.
Elle est organisée en quatre chapitres dont cette introduction :

- le chapitre 8 - 2 définit les règles de conception pour les câbles conducteurs, câbles de garde et câbles à fibres optiques
- le chapitre 8 - 3 définit les caractéristiques que doivent satisfaire les chaînes et pièces pour câbles conducteurs et câbles de garde, les matériels divers pour l'identification, la signalisation et la mise à la terre
- le chapitre 8 - 4 concerne les exigences auxquelles doivent répondre les câbles et pièces de haubans.

Il est rappelé que pour les ouvrages du Réseau Public de Transport, les câbles conducteurs, câbles de garde, câbles à fibres optiques ainsi que les chaînes et matériels d'équipement, haubans et câbles de haubans doivent être qualifiés par RTE.

8 - 2 CABLES CONDUCTEURS, CABLES DE GARDE, CABLES A FIBRES OPTIQUES

8 - 2.1 Présentation

Le présent chapitre définit les caractéristiques et les exigences auxquelles doivent répondre les câbles conducteurs, les câbles de garde et les conducteurs à fibres optiques (CFO) constituant les lignes aériennes HTB.

8 - 2.2 Définitions

Pour les Câbles aériens à fibres optiques

DMACC : Déformation Maximale Admissible par un Constituant du Câble

TMACC : Température Maximale Admissible par un Constituant du Câble

Boîtier d'épissure : Elément assurant le logement des jonctions de fibres optiques. Ils permettent le raccordement de :

- deux CFO,
- trois CFO (point de piquage),

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- un ou deux CFO avec un câble de prolongement (câble optique souterrain).

Par ailleurs, ils garantissent la protection de ces raccordements vis-à-vis des contraintes extérieures. Ils doivent également pouvoir accueillir un Câble Optique Enroulé (COE).

8 - 2.3 Textes de référence

8 - 2.3.1 Réglementation

- l'Arrêté Technique relatif aux conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique (articles « Identification », « Mise à la terre et liaisons équipotentielles », « Résistance mécanique des ouvrages », « Haubanage des supports », « Isolateurs », « Mise à la terre des supports », « Avertissement sur les supports »)
- l'Arrêté Technique (article relatif à la « Limitation de l'exposition des tiers au bruit des équipements ») : cet article est défini dans l'arrêté du 26 janvier 2007 publié au journal officiel du 13 février 2007 relatif à la limitation de l'exposition des tiers au bruit des équipements

8 - 2.3.2 Normes

- de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), en particulier CEI 62219.
- du CENELEC, en particulier EN 50182 et ses Aspects Normatifs Nationaux NNAs (Annexe A), EN 50183 et 50189 ainsi que EN 60889.
- de l'UTE (NF).

Ces normes permettent de couvrir l'ensemble du domaine considéré. Néanmoins, certains matériels ne font actuellement l'objet d'aucune normalisation au niveau international, européen et national. Dans ce cas, le maître d'ouvrage fournira les spécifications particulières propres à ce matériel.

8 - 2.4 Fonctionnalités principales

Les câbles conducteurs de phase des lignes aériennes assurent le transit de l'énergie électrique. Ils doivent pouvoir supporter sans détérioration ni rupture, les contraintes extérieures auxquelles ils sont soumis.

Les câbles de garde ont pour vocation de protéger les câbles conducteurs de phase contre les effets de la foudre, d'améliorer la circulation des courants de défaut à la terre et de diminuer les effets d'induction sur les installations voisines. Certains d'entre eux peuvent incorporer des fibres optiques et permettre une liaison point à point.

Les CFO sont des câbles conducteurs ou des câbles de garde dont un brin est aménagé pour contenir des fibres optiques.

8 - 2.5 Règles de conception

8 - 2.5.1 Spécifications générales

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Les câbles conducteurs, les câbles de garde et les câbles à fibres optiques doivent être qualifiés par RTE.
En outre les câbles conducteurs doivent présenter :

- une section adaptée à la capacité de transit requise,
- un diamètre suffisant pour que, sous tension d'exploitation, l'effet couronne n'entraîne pas de pertes ou de perturbations inadmissibles,
- une résistance mécanique à la rupture suffisante pour supporter, compte tenu des coefficients de pondération, toutes les contraintes résultant des charges permanentes et des surcharges accidentelles (variation de température, surcharge de givre),

D'une manière générale, leur conception doit permettre de résister à des atmosphères corrosives ou polluées.
Les câbles conducteurs doivent être conformes à la norme EN 50182 et aux Aspects Normatifs Nationaux NNAs (Annexe A de la EN 50182) ou à la norme CEI 62219.

Nota : La norme EN 50182 concerne les câbles conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier. La norme CEI 62219 concerne quant à elle les câbles conducteurs dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins circulaires au centre et de brins de forme sur les couches extérieures (câbles conducteurs de type Azalée utilisés par RTE).
Pour tout autre câble, des dispositions spécifiques s'appliquent et seront précisées dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.

Produit de protection des câbles (graissage)
Les éléments de ce paragraphe constituent des spécifications particulières de RTE en matière de produit de protection (graisse). Elles ne concernent pas les CFO, ni les câbles conducteurs définis dans la norme CEI 62219 (câbles conducteurs de type "Azalée").

La masse moyenne linéique du produit de protection pour les câbles conducteurs en alliage d'aluminium, en aluminium-acier et en alliage d'aluminium-acier comportant 37 brins ou plus est défini par un cas complémentaire à l'annexe B de la norme NF EN 50182, à savoir : tout le conducteur est enduit de produit de protection à l'exception de la dernière et de l'avant-dernière-couche.
La masse moyenne linéique du produit de protection des câbles de garde ou des câbles conducteurs de moins de 37 brins est déterminée par le cas 2 de l'annexe B de la norme NF EN 50182, à savoir : tout le câble est enduit de produit de protection à l'exception de la couche extérieure.

La mise en œuvre du produit de protection doit également être réalisée en tenant compte des éléments suivants :

- Le produit de protection doit être de type A et de qualité minimale 20A110 définie par la norme NF EN 50326 (point de goutte supérieur à 110°C).
- La fabrication du câble doit garantir :
    1. Une enduction uniforme des brins par le produit de protection. En particulier, il ne doit pas y avoir d'absence de produit de protection sur tout ou une partie du brin.
    2. Une section quelconque de câble doit comporter du produit de protection sur la surface complète de tous les brins qui constituent les N-2 couches inférieures (N : nombre total de couches du câble).

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

3. Le produit de protection ou un de ses composants ne doit pas apparaître à la surface du câble ou entre les brins de la dernière couche.

- Au cours de l'exploitation du câble sur une ligne électrique aérienne, le produit de protection doit rester à l'intérieur de celui-ci. En aucun cas le produit de protection, ou un de ses composants, ne doit être présent à la surface du câble.

Soudures

Les prescriptions en matière de soudures sont celles de la norme EN 50182 et des Aspects Normatifs Nationaux, ainsi que les compléments apportés par les normes EN 50183 et 50189, et des Aspects Normatifs Nationaux. Ces dispositions sont également applicables aux brins en aluminium conformes à la norme EN 60889.

8 - 2.5.2 Spécifications particulières pour les CFO

Concernant les CFO :

- les CFO doivent pouvoir supporter, sans dégradation des caractéristiques du module optique, les contraintes d'échauffement en régime de secours temporaire, en régime de surcharge transitoire et en régime de court-circuit définies dans la Partie 4 « Dimensionnement électrique ».
- les CFO doivent intégrer au minimum 36 fibres optiques ;
- la constitution du module optique doit être telle que, pour la durée de vie de l'ouvrage, les caractéristiques optiques des fibres n'évoluent pas au-delà des limites fixées ;
- les matériaux synthétiques composant le module optique doivent être conçus pour protéger les fibres optiques vis à vis des conditions d'exploitation de l'ouvrage ;
- les boîtiers d'épissures doivent être conçus en prenant en compte les contraintes imposées par le CFO lors de sa pose et celles subies en exploitation.

Les CFO utilisés pour équiper les lignes aériennes des ouvrages HTB du Réseau Public de Transport doivent être constituées d'un minimum de deux couches de brins. Les brins constituant la couche extérieure doivent majoritairement contribuer aux performances électriques. Les brins constituant la(les) couche(s) interne(s) doivent majoritairement contribuer aux performances mécaniques, et participer pour partie aux performances électriques. En conséquence, les brins constitutifs de la couche extérieure ne doivent pas être constitués d'acier.

Les brins en alliage d'aluminium, en aluminium et en acier zingué constituent les câbles de garde à fibres optiques (CFO). L'utilisation de brins en acier recouverts d'aluminium est autorisée. Conformément à la norme EN 50182, un produit de protection anti-corrosion est utilisé pour les câbles à fibres optiques.

8 - 2.5.2.1 Spécifications pour le module optique

La structure du module optique doit garantir :

- les performances optiques fixées dans ce document compte tenu des contraintes d'exploitation de l'ouvrage fixées par le donneur d'ordre : mécaniques, électriques, climatiques...
- l'aptitude du CFO au déroulage sous tension mécanique

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Le fournisseur devra s'engager sur la DMACC et la TMACC pour chaque élément constitutif du module optique.

Les fibres optiques ne doivent jamais travailler en traction jusqu'à l'allongement maximal du câble. Les conditions d'allongement maximal sont celles correspondant à un effort sur le câble égal à 70% de sa CRA.

Les fibres optiques des CFO devront respecter ce qui suit :

- Fibres optiques de type unimodale à dispersion non décalée
- caractéristiques de transmission satisfaisant les critères suivants :

- Affaiblissement linéique maximal de la fibre optique câblée:
  - ≤ **0,35** dB/km à 1310 nm
  - ≤ **0,22** dB/km à 1550 nm
- Affaiblissement linéique moyen de l'ensemble des fibres optiques du câble :
  - ≤ 0,35 dB/km à 1310 nm
  - ≤ 0,22 dB/km à 1550 nm
- Longueur d'onde de coupure maximale sur fibre nue :
  - < 1280 nm
- Dispersion chromatique :
  - < 18 ps/nm.km à 1550 nm
- Dispersion de mode de polarisation (PMD) maximale mesurée :
  - ≤ **0,2** ps/km^{½} à 1550 nm
- Dispersion moyenne de mode de polarisation (PMD) moyenne mesurée :
  - < **0,10** ps/km^{½} à 1550 nm

8 - 2.5.2.2 Spécifications pour les boîtiers d'épissures

Les matériaux constitutifs des boîtiers d'épissures doivent garantir :

- l'intégrité des différents constituants sous l'effet de contraintes mécaniques : traction, vibration, chocs, torsion ;
- la résistance aux agressions environnementales extérieures (UV, humidité, pollution saline ou industrielle, corrosion...) ;
- une compatibilité physico-chimique entre les différents matériaux.

Sécurité

Les boîtiers d'épissures doivent systématiquement être équipés, au niveau du bâti, d'un dispositif leur permettant d'être reliés à une mise à la terre ; son dimensionnement devra être proportionnel à l'énergie de court circuit de l'ouvrage concerné. En amont immédiat du boîtier, un dispositif de mise à la terre devra relier le CGFO au châssis support.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Les boîtiers d'épissures doivent être équipés d'un dispositif de verrouillage permettant un accès rapide lors des interventions tout en assurant une protection contre le vandalisme.

Essais

Les boîtiers d'épissure devront être testés suivant les dispositions définies dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières établi par le maître d'ouvrage.

Mise en œuvre

L'installation des boîtiers d'épissures doit être effectuée à une distance suffisante du sol pour ne pas autoriser un accès aisé pour des tiers, tout en restant accessible à des monteurs lors des opérations d'entretien. Une hauteur nominale de 5 mètres est préconisée.

La conception des boîtiers d'épissures doit permettre une accessibilité simple et rapide aux épissures lors des opérations d'entretien de l'ouvrage.

8 - 2.5.3 Durabilité

Les câbles conducteurs, les câbles de garde, les CFO et boîtiers d'épissures des lignes aériennes HTB doivent être dimensionnés et conçus pour la durée de vie de conception de l'ouvrage définie au paragraphe 3 du CCG - Présentation générale.

8 - 2.5.4 Sécurité

Tous les matériaux susceptibles de rentrer en contact avec du personnel, et plus particulièrement les gels de remplissage des tubes contenant les fibres des CGFO, ne doivent présenter aucun risque de toxicité pour l'organisme. Cette garantie devra se traduire par la fourniture d'attestation délivrée par un laboratoire accrédité par le Ministère du Travail.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

8 - 3 CHAINES ET PIECES POUR CABLES CONDUCTEURS ET CABLES DE GARDE, MATERIELS DIVERS POUR IDENTIFICATION, SIGNALISATION ET MALT

8 - 3.1 Présentation

Le présent chapitre s'attache à définir les caractéristiques et les exigences auxquelles doivent répondre :

- les chaînes isolantes pour câbles conducteurs et chaînes d'accrochage pour câbles de garde
- les pièces de câbles pour câbles conducteurs et câbles de garde
- les matériels divers pour identification, signalisation et Mise A La Terre (MALT) des lignes aériennes HTB.

8 - 3.1.1 Définitions

Selon les normes en vigueur.

8 - 3.1.2 Désignation

La désignation des **matériels de chaîne**, en vue de leur identification comporte successivement :

- une lettre ou groupe de lettres rappelant le nom et la fonctionnalité de la pièce
- un chiffre ou un groupe de lettres indiquant le type mécanique et/ou géométrique de la pièce
- toute autre information permettant d'identifier la pièce.

Chaque type d'isolateur devra être identifié par :

- sa classe mécanique d'appartenance
- un indicateur du niveau de pollution pour lequel il est identifié
- le niveau de tension pour lequel il est destiné (isolateur composite uniquement)
- les types d'accouplement aux extrémités (isolateur composite uniquement)

La dénomination des chaînes isolantes doit permettre l'identification :

- du niveau de tension d'exploitation de l'ouvrage
- du nombre de câbles conducteurs par phase
- de l'écartement entre files isolantes
- du type de chaîne isolante (ancrage, suspension...)
- de la quantité de files isolantes constituant la chaîne
- du niveau de sévérité de pollution (CEI 60815)
- de la charge de rupture de la chaîne

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

- autres informations utiles.

Le système de désignation adopté devra permettre de distinguer si la chaîne est constituée d'isolateurs en verre ou en matériau composite.
La désignation des **pièces de câble, des matériels d'identification**, de signalisation et de MALT comporte successivement :

- une lettre ou groupe de lettres rappelant le nom et la fonctionnalité de la pièce
- éventuellement la désignation normalisée de la famille de câble
- éventuellement la section du câble
- éventuellement un chiffre ou une lettre indiquant le niveau de tension d'exploitation
- éventuellement une lettre indiquant la couleur
- toute autre information permettant d'identifier la pièce ou le type de pièce.

8 - 3.2 Textes de référence

8 - 3.2.1 Réglementation

- L'Arrêté Interministériel du 7 décembre 2010 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

8 - 3.2.2 Normes

Les définitions applicables aux chaînes isolantes et leurs constituants sont celles mentionnées dans:

- les Publications CEI 60120, 60372, 60815 et 61109
- les normes EN 60305, 60383-1 & 2, 61284 et 61466-1 & 2

Les définitions relatives aux pièces de câble sont mentionnées dans les normes EN 61284 et CEI 61854.

8 - 3.3 Fonctionnalités principales

Les chaînes isolantes assurent le lien mécanique entre le support et les câbles conducteurs constitutifs de la ligne tout en garantissant l'isolement électrique entre ces deux éléments. De plus, elles doivent être en mesure d'écouler les courants de défaut sans dégradation de leurs caractéristiques électriques et mécaniques.

Les chaînes d'accrochage pour câbles de garde assurent le lien mécanique et électrique entre la charpente du support et le conducteur de terre (ou câble de garde).

Les pièces de câble assurent :

- la jonction des câbles entre eux
- la liaison entre la chaîne de suspension ou d'ancrage (partie en contact avec les câbles) et les câbles
- l'écartement des câbles entre eux.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Les matériels pour identification contribuent à la prévention des risques électriques, à la désignation et la localisation des lignes aériennes HTB.

Les matériels de mise à la terre ont pour but de :

- protéger les chaînes isolantes contre les effets des arcs de court-circuit
- d'améliorer la répartition du potentiel
- de protéger les appareillages de postes.

8 - 3.4 Règles de conception

8 - 3.4.1 Spécifications générales

Les chaînes pour câbles conducteurs et câbles de garde, leurs constituants, les pièces de câbles conducteurs et de câbles de garde, les matériels divers pour identification, signalisation et mise à la terre doivent être qualifiés par RTE.

Les chaînes isolantes pour câbles conducteurs équipant les lignes aériennes HTB doivent présenter:

- un dimensionnement diélectrique compatible avec la tension d'exploitation et les conditions environnementales, notamment de pollution, de l'ouvrage concerné ;
- une résistance à la rupture suffisante pour supporter, compte tenu des coefficients de pondération, toutes les contraintes résultant des charges permanentes et des surcharges accidentelles ;
- une géométrie d'assemblage des accessoires compatible avec les mouvements de balancement des chaînes sous l'effet du vent ;
- un dispositif permettant l'écoulement des courants de défaut (foudre, manœuvre, court-circuit) et conçu pour canaliser les arcs électriques sans endommager ni les câbles conducteurs ni les isolateurs.

Les chaînes d'accrochage pour câbles de garde équipant les lignes aériennes HTB doivent présenter :

- une résistance à la rupture suffisante pour supporter, compte tenu des coefficients de pondération, toutes les contraintes résultant des charges permanentes et des surcharges accidentelles ;
- une géométrie d'assemblage des accessoires compatible avec les mouvements de balancement des chaînes ;
- un dimensionnement électrique garantissant l'écoulement des courants de défauts susceptibles de transiter par le câble de garde.

Les accessoires pour les lignes aériennes HTB doivent être conçus, fabriqués et installés de manière à satisfaire aux exigences de mise en service, maintenance et contraintes d'environnement. Sauf indication contraire mentionnée dans le CCTP, la conception des pièces doit autoriser les Travaux Sous Tension.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Exigences applicables aux accessoires porteurs de courant

Les accessoires destinés à supporter le transit du courant de fonctionnement du câble conducteur ne doivent pas, lorsqu'ils sont soumis au courant continu maximum autorisé ou à des courants de court-circuit, donner lieu à des élévations de température correspondantes supérieures à celles du câble conducteur associé. De la même façon, la chute de tension sur les accessoires porteurs de courant ne doit pas être supérieure à la chute de tension qui peut se produire sur une longueur équivalente de câble conducteur.

Les matériels pour identification doivent être conformes aux articles « Identification » et « Avertissement sur les supports » de l'Arrêté Technique.

La signalisation des lignes aériennes HTB doit être conforme à l'Arrêté interministériel du 7 décembre 2010 relatif au balisage des ouvrages.

Les matériels de Mise A La Terre doivent être conformes à l'article « Mises à la terre et liaisons équipotentielles » de l'Arrêté Technique.
La conception des installations de Mise A La Terre doit répondre à cinq exigences :

- résister aux contraintes mécaniques et à la corrosion
- supporter, d'un point de vue thermique, le courant de défaut le plus élevé calculé
- éviter les dommages aux biens et équipements
- assurer la sécurité des personnes vis à vis des tensions apparaissant sur l'installation Mise A La Terre lors du défaut à la terre
- assurer la fiabilité de la ligne vis à vis de la foudre.

8 - 3.4.2 Matériaux

Les matériaux isolants utilisés doivent être conformes à l'article « Isolateurs » de l'Arrêté Technique.

Le matériau polymère constitutif du revêtement des isolateurs composites doit être en mesure de résister aux contraintes mécaniques, électriques et climatiques imposées par l'exploitation de l'ouvrage et l'environnement.

Les aciers utilisés :

- pour les pièces forgées, doivent être conformes à la norme EN 10083-2
- pour les éléments plats, doivent être conformes à la norme EN 10025-2
- pour les axes, doivent être conformes à la norme EN 10083-2.

Les aluminium et alliages d'aluminium doivent être conformes

- à la série de normes EN 573 et à la norme EN 515 pour les produits corroyés. L'alliage d'aluminium référencé EN AW 6060 est recommandé
- à la norme NF EN 1706 pour les pièces moulées.
- à la norme NF 755 pour les barres, tubes et profilés filés.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

La boulonnerie doit être conforme aux normes NF EN ISO 898-1, NF EN 20898-2 ; NF EN 4014, 4016, 4017, 4018, 4032, 4034 et 4035. Quand elle est mise en œuvre pour les matériels intervenant directement dans la tenue mécanique des ouvrages elle doit être de classe 8.8 mini, et de classe 5-6 pour les autres cas.

Caractéristiques magnétiques

Le choix des matériaux et /ou la conception des accessoires liés au câble conducteur doivent, lorsque c'est approprié, être tel que les pertes magnétiques soient conformes à la Partie 4 « Dimensionnement électrique ».
La méthode d'essai et les critères d'acceptation doivent être conformes à la norme EN 61284.

8 - 3.4.3 Dimensionnement mécanique

Les classes de tenue mécanique des isolateurs équipant les chaînes isolantes sont celles des normes EN 60305 et 61466-1. Conformément à la Publication CEI 60797 les isolateurs en verre doivent présenter une tenue résiduelle à 70 % de la charge de rupture nominale. La présence de bague en zinc sur les isolateurs en verre ne doit pas altérer sa tenue mécanique.
Les chaînes isolantes doivent être conformes à l'article « Résistance mécanique des ouvrages » de l'Arrêté Technique.
Les pièces de câbles pour câbles conducteurs et câbles de garde des lignes aériennes HTB doivent être conformes à l'article « Résistance mécanique des ouvrages » de l'Arrêté Technique.
Les matériels pour identification, signalisation et MALT doivent être conçus de manière à supporter les contraintes mécaniques rencontrées sur les lignes aériennes (traction, torsion, vibration, choc, etc.).

8 - 3.4.4 Dimensionnement électrique

La conception des éléments de chaînes isolantes et la constitution de celles-ci devra être conforme aux exigences de coordination d'isolement fixées par la Partie 4 « Dimensionnement électrique ».

Les niveaux de perturbations radioélectriques provoquées par l'activité électrique des chaînes isolantes et leurs constituants doivent respecter les dispositions de la Partie 4 « Dimensionnement électrique ».

Les isolateurs composites, pour des tensions supérieures à 150 kV, doivent être équipés de dispositifs répartiteurs de champ, côté phase (en 225 et 400 kV) et côté terre (en 400 kV). Ces dispositifs ne devront en aucun cas se substituer au dispositif de garde des chaînes.

Tension de perturbations radioélectriques et d'extinction de l'effet couronne

Les accessoires pour lignes aériennes, y compris les entretoises et amortisseurs de vibrations, doivent être conçus de manière à ce que, en condition d'essai, les niveaux de perturbations radioélectriques soient conformes à la Partie 4 « Dimensionnement électrique ». La méthode d'essai est spécifiée dans la norme EN 61284.

Les matériels pour Mise A La Terre doivent être conformes à l'article « Mise à la terre des supports » de l'Arrêté Technique.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Les sections droites minimales doivent être :

- **cuivre : 16 mm²**
- **aluminium : 35 mm²**
- **acier : 50 mm²**

8 - 3.4.5 Durabilité

Les chaînes pour câbles conducteurs et câbles de garde, leurs constituants, les pièces de câbles conducteurs et de câbles de garde, les matériels divers pour identification, signalisation et mise à la terre doivent être dimensionnés et conçus pour la durée de vie de l'ouvrage définie dans le CCG – Présentation générale.

8 - 3.4.6 Anticorrosion et finition

Les ferrures d'isolateurs de chaînes isolantes doivent subir un traitement surfacique conforme aux dispositions à la norme EN 60383-1. La présence de bague en zinc sur les tiges d'isolateurs doit être conforme aux dispositions de la norme EN 61325.

Tous les matériaux ferreux, autres que les aciers inoxydables, utilisés dans la fabrication des pièces de chaîne, de haubans, pièces de câble conducteur et câble de garde devront être protégés contre la corrosion par une galvanisation à chaud. Cette opération devra satisfaire aux conditions fixées par les normes EN ISO 1461 et EN 61284.

8 - 3.4.7 Marquage – Identification

Le marquage et l'identification des isolateurs de chaîne isolante doivent être conformes aux Publications CEI 60305 ou 61466-1.

Le marquage des pièces devra être conforme à la norme EN 61284.

8 - 3.4.8 Interchangeabilité - interface

Les files isolantes des chaînes peuvent être composées :

- soit d'un assemblage d'isolateurs de type capot-tige, à rotule et logement de rotule, conformes aux Publications CEI 60120 et 60372 et à la norme EN 60305
- soit d'isolateurs de type long fût en matériau composite, dont les connectiques d'extrémités doivent être conformes aux normes EN 61466-1 & 2.
- pour les chaînes de suspension équipées d'isolateurs en matériau composite, au moins une des ferrures d'extrémité, doit être de type rotule (côté phase) ou logement de rotule (côté terre) afin de ne pas limiter le degré de liberté des chaînes.

Le verrouillage des assemblages à rotule et logement de rotule des isolateurs de type capot-tige est assuré par une goupille dont les dimensions doivent être conformes à la CEI 60372.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

La connexion entre les matériels doit être accessible pour les opérations de construction et de maintenance.

Le dispositif de connexion à la charpente du support doit être compatible avec les dispositions de la Partie 6 « Pylônes et Poteaux ».

La connexion entre les matériels doit être accessible pour les opérations de construction et de maintenance.

8 - 3.4.9 Sécurité

En matière de sécurité les exigences définies au paragraphe 8 - 3.4.3 du présent document demeurent valable, pour ce qui est de la tenue résiduelle des isolateurs en verre.

Les chaînes isolantes doivent être garanties contre un desserrage involontaire.

Tous les accessoires devant supporter le poids d'un homme doivent résister à une charge caractéristique ponctuelle de 1.5 kN.

8 - 3.4.10 Autres

Les nuisances sonores des chaînes, de leurs constituants, des câbles ou matériels de ligne, provoquées par l'activité électrique ou le vent, doivent être inférieure aux exigences fixées par l'article « Limitation de l'exposition des tiers au bruit des équipements » de l'Arrêté Technique et qui sont définies dans la Partie 4 « Dimensionnement électrique ».

8 - 3.5 Essais

Les isolateurs de chaîne isolante doivent être testés suivant les prescriptions de la norme EN 60383-1 ou de la Publication de la CEI 61109. Les résultats des essais doivent être conformes aux sanctions fixées par ces Publications.

Concernant cette dernière norme, et compte tenu du caractère évolutif des isolateurs composites dans le temps, les compléments suivants sont à prendre en compte :

- en plus de l'essai de cheminement et d'érosion, un essai de vieillissement climatique conforme à l'annexe C de la CEI 61109 doit être effectué et les résultats conformes aux dispositions de la norme
- la courbe de tenue de l'isolateur, résultat de l'essai charge-temps de la CEI 61109, doit en tout point de son tracé demeurer au-dessus de la charge de rupture nominale
- un essai vérifiant l'impossibilité de glissement des ferrures devra être présenté.

Les chaînes isolantes équipées devront être testées suivant les dispositions des normes EN 60383-2 et 60437.

Les tenues diélectriques des chaînes seront vérifiées selon les valeurs indiquées dans la Partie 4 « Dimensionnement électrique » § 4 - 3.3.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

De plus, chacune des chaînes devra subir un essai d'arcs de puissance conforme aux prescriptions de la CEI 61467 avec les caractéristiques suivantes :

Tension de l'exploitation de l'ouvrage	Intensité du court-circuit	Temps d'application du court-circuit
63 ou 90 KV	20 kA	1 s
63 ou 90 KV	31,5 kA	0,5 s
225 kV	31,5 kA	0,5 s
400 kV	63 kA	0,2 s

Les essais sur les matériels de chaîne isolante, sur les pièces de câbles pour câbles conducteurs et câbles de garde doivent être conformes à la norme EN 61284.

Les essais réalisés sur les pièces doivent garantir :

- les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés (analyse chimique, résistance élastique, résistance à la rupture, allongement, résilience) conformément aux normes en vigueur
- la résistance en traction conformément à la classe mécanique pour laquelle elles ont été conçues et conformément aux normes en vigueur
- le comportement aux courants de court-circuit
- le comportement aux vibrations des lignes aériennes.

Dans les cas des matériels équipant les câbles de garde à circuit de télécommunication incorporé à fibres optiques, les essais doivent se faire en contrôlant l'affaiblissement linéique du signal. Les limites d'acceptation de l'ouvrage doivent faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.
Les essais réalisés sur les matériels pour signalisation doivent garantir le comportement aux vibrations des lignes aériennes.
Les essais réalisés sur les matériels pour mise à la terre doivent garantir :

- les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés (analyse chimique, résistance élastique, résistance à la rupture, allongement, résilience) conformément aux normes en vigueur
- le comportement aux courants de court-circuit.

8 - 3.6 Mise en œuvre

Les matériels assemblés, dont les couples de serrage doivent être précis, pourront être équipés de boulonnerie de type "fusible".

Les isolateurs doivent être emballés de façon à être livrés sur site sans risque de dégradations (bris des jupes d'isolateurs, entailles du revêtement d'isolateurs composites). Le poids et la taille des emballages doivent être compatibles avec les moyens de transport et de manutention utilisés sur site.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Lors de leur installation, les isolateurs doivent être manipulés avec soins pour éviter tous dommages de leur isolant. Lors du levage des chaînes d'isolateurs, il est recommandé d'utiliser un berceau ou un autre dispositif minimisant les efforts de flexion et d'éliminer tout risque de déformation des accrochages des éléments de chaîne et de dommages des isolateurs composites.

8 - 3.7 Maintenance

La conception des isolateurs doit permettre :

- depuis la superstructure, une accessibilité aux goupilles d'isolateurs ; cette disposition est indispensable pour permettre les opérations d'entretien circuits sous tension
- une évolution des monteurs par les éléments de chaînes isolantes pour l'accès aux câbles conducteurs
- les efforts (traction et pression) nécessaires aux verrouillage et déverrouillage des assemblages à rotule et logement de rotule d'isolateurs doivent être conformes aux dispositions de la norme EN 60383-1.

Pour les matériels, des points d'accrochage spécifiques devront être prévus afin d'autoriser les reprises d'efforts pendant les opérations de travaux et d'entretien.

Pour permettre la réalisation de la maintenance par l'intermédiaire des Travaux Sous Tension, les écrous, rondelles et goupilles devront être orientés vers la charpente du pylône la plus proche.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

8 - 4 CABLES DE HAUBANS ET PIECES DE HAUBANS

8 - 4.1 Présentation

Le présent chapitre s'attache à définir les caractéristiques et les exigences auxquelles doivent répondre les câbles de haubans et pièces de haubans équipant les lignes aériennes HTB.
Ils sont utilisés sur des superstructures haubanées dont la superstructure de base peut être notamment un pylône treillis, un monopode métallique ou un poteau bois ou béton.

8 - 4.1.1 Définitions

Hauban Ensemble composé d'un câble de hauban équipé de ses pièces de haubans assurant la liaison avec l'amarrage sur le pylône ou sur la fondation.

Câble rond monotoron Ensemble composé de plusieurs fils d'acier galvanisés, de même diamètre nominal ou non. Les fils sont câblés en couches concentriques.

8 - 4.1.2 Désignation

La désignation des câbles de haubans et pièces de haubans, en vue de leur identification comporte successivement :

- une lettre ou groupe de lettres rappelant le nom et la fonctionnalité de la pièce ;
- éventuellement une lettre indiquant une particularité ou un indice de modification ;
- un nombre indiquant la charge de rupture nominale.

8 - 4.2 Textes de référence

8 - 4.2.1 Réglementation

- Arrêté Technique en vigueur relatif aux conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

8 - 4.2.2 Normes

- les normes EN 12385-1, EN 61284, EN 10264-2, EN 10244-2, EN 10285-1.

8 - 4.3 Fonctionnalités principales

Les haubans permettent de reprendre tout ou partie des efforts imposés à la structure par des charges horizontales, longitudinales ou transversales.
Les pièces de haubans assurent la liaison entre le câble de hauban et la superstructure ou la fondation.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

8 - 4.4 Règles de conception

8 - 4.4.1 Spécifications générales

Les systèmes de haubanage doivent être conformes à l'article « Haubanage des supports » de l'Arrêté Technique.

8 - 4.4.2 Matériaux

Câbles de haubans

Les câbles de haubans sont de type monotoron en fil d'acier galvanisés conformes aux exigences de la norme EN 12385-1.

Pièces de haubans

Les aciers utilisés :

- pour les pièces forgées, doivent être conformes à la norme EN 10083-2 ;
- pour les éléments plats, doivent être conformes à la norme EN 10025-2 ;
- pour les axes, doivent être conformes aux normes EN 10083-2.

La boulonnerie doit être conforme aux normes ISO 4014, 4016, 4017, 4018, 4032 et 4034. Quand elle est mise en œuvre pour les matériels intervenant directement dans la tenue mécanique des ouvrages elle doit être de classe 8.8 mini, et de classe 5-6 pour les autres cas suivant les exigences des normes ISO 898-1 et 898-2.

8 - 4.4.3 Dimensionnement mécanique

Les haubans doivent être dimensionnés conformément à la Partie 6 « Pylônes et Poteaux » § 6 - 8.1.3.

Pièces de haubans

Les caractéristiques mécaniques des pièces de haubans doivent être à minima celles du hauban lui-même.

8 - 4.4.4 Dimensionnement électrique

Sans objet.

8 - 4.4.5 Durabilité

Les câbles de haubans et pièces de haubans des lignes aériennes HTB doivent être dimensionnés et conçus pour la durée de vie de l'ouvrage définie dans le « CCG Présentation générale ».

8 - 4.4.6 Anti-corrosion et finition

Câbles de haubans

Les câbles de haubans doivent être graissés avec une graisse conforme à la norme ISO 4346.

Les revêtements zingués des fils d'acier seront conformes à la norme EN 10264-2 et contrôlés conformément à la norme EN 10244-2.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Pièces de haubans

Tous les matériaux ferreux, autres que les aciers inoxydables, utilisés dans la fabrication des pièces de haubans doivent être protégés contre la corrosion atmosphérique par une galvanisation à chaud. Cette opération devra satisfaire aux conditions fixées par les normes ISO 1461 et EN 61284.

8 - 4.4.7 Marquage - Identification

Câbles de haubans

Chaque longueur de câble doit comporter une marque, ou, si un marquage n'est pas possible, une plaquette ou une bague fixée qui doit porter les références du fabriquant et le numéro du certificat de conformité (§7 EN 12385-1)

Pièces de haubans

Le marquage des pièces de haubans doit être conforme à la norme EN 61284.

8 - 4.4.8 Interchangeabilité - interface

Les haubans doivent être équipés de dispositifs pour la remise en tension.
La connexion entre le câble de hauban et le dispositif d'ancrage doit être accessible pour les opérations de construction et de maintenance.

8 - 4.4.9 Sécurité

Les pièces de haubans doivent être garanties contre un desserrage involontaire.
Tous les accessoires devant supporter le poids d'un homme doivent résister à une charge caractéristique ponctuelle de 1.5 kN.

8 - 4.5 Essais

Câbles de haubans

Les essais mécaniques doivent garantir les caractéristiques mécaniques du câble et des fils extraits du câble conformément aux normes EN 10285-1 et EN 1024-1.
Aucune soudure ne doit être effectuée sur les fils d'acier après la dernière opération de tréfilage.

Pièces de haubans

Les essais réalisés sur les pièces de haubans doivent garantir :

- les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés (analyse chimique, résistance élastique, résistance à la rupture, allongement, résilience) conformément aux normes en vigueur ;
- la résistance en traction conformément à la classe mécanique pour laquelle elles ont été conçues et conformément aux normes en vigueur.

Quand des manchons en aciers moulés ou des cales de manchons en acier moulés sont utilisés aux extrémités des haubans, l'absence de défaut dans le moulage doit être assuré par un essai non destructif acceptable ou par un certificat du constructeur.

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

8 - 4.6 Mise en œuvre

Des instructions de montage et de mise en tension doivent être fournies avec les produits.

Des indications sur les règles de mise en œuvre des superstructures haubanées sont explicitées dans la Partie 6 « Pylônes et Poteaux ».

8 - 4.7 Maintenance

Pour les matériels, des points d'accrochage spécifiques doivent être prévus afin d'autoriser les reprises d'efforts pendant les opérations de travaux et d'entretien.
Pour permettre la réalisation de la maintenance par l'intermédiaire des Travaux Sous Tension, les écrous, rondelles et goupilles doivent être orientés vers la charpente du pylône la plus proche.

FIN DU DOCUMENT

Copyright RTE. Ce document est la propriété de RTE. Toute communication, reproduction, publication même partielle est interdite sauf autorisation écrite du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE)