



Gestionnaire
du Réseau de Transport d'Electricité

Indice : 1

CAHIER DES CHARGES GENERAL LIGNES AERIENNES HTB (CCG - LA)

140 Pages

Résumé :

Ce document constitue le Cahier des Charges Général des Lignes Aériennes 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



05-09-00-LONG

SOMMAIRE

Partie 1 PRESENTATION DU CCG - LA	7
1 - 1 Objet	7
1 - 2 Positionnement	8
1 - 3 Structure	9
Partie 2 DIMENSIONNEMENT MECANIQUE	10
2 - 1 Introduction	10
2 - 2 Textes de référence	11
2 - 2.1 Réglementation	11
2 - 2.2 Normes	11
2 - 3 Hypothèses de dimensionnement	11
2 - 3.1 Hypothèses météorologiques	11
2 - 3.2 Hypothèse électrodynamique	15
2 - 3.3 Hypothèses complémentaires	17
2 - 4 Conditions à respecter	20
2 - 4.1 Hypothèses météorologiques	20
2 - 4.2 Autres hypothèses	20
2 - 4.3 Récapitulatif	21
2 - 5 Hypothèse anti-cascade et vérification de la coordination de résistance	22
2 - 5.1 Hypothèse anti-cascade	22
2 - 5.2 Coordination de résistance	23
Partie 3 DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE	25
3 - 1 Introduction	25
3 - 2 Contraintes diélectriques appliquées aux ouvrages	25
3 - 2.1 Présentation	25
3 - 2.2 Textes de référence	26
3 - 2.3 Tension de tenue et distances d'isolement associées	26
3 - 2.4 La pollution	28
3 - 2.5 La foudre	29
3 - 2.6 Coordination d'isolement	30
3 - 3 Dimensionnement des prises de terre	32
3 - 3.1 Présentation	32
3 - 3.2 Textes de référence	32
3 - 3.3 Dimensionnement vis-à-vis de la corrosion et de la résistance mécanique ...	32
3 - 3.4 Dimensionnement vis-à-vis de l'échauffement	33

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

3 - 3.5	Amorçage en retour et fonctionnement des protections	33
3 - 3.6	Limitation des perturbations apportées aux ouvrages tiers et aux installations électriques	33
3 - 3.7	Supports métalliques et bétons	33
3 - 3.8	Supports constitués de matériau non conducteur	33
3 - 4	Contraintes dues au courant-échauffement.....	35
3 - 4.1	Présentation.....	35
3 - 4.2	Textes de référence.....	35
3 - 4.3	Echauffement des conducteurs en régime de secours.....	36
3 - 4.4	Intensités admissibles en régime de court-circuit	36
3 - 5	Contraintes de proximités – induction magnétique et capacitive - conduction	39
3 - 5.1	Présentation.....	39
3 - 5.2	Textes de référence.....	39
3 - 5.3	Proximité avec d'autres réseaux électriques	40
3 - 5.4	Voisinage de lignes aériennes HTB avec les réseaux de télécommunications 40	
3 - 5.5	Proximité des ouvrages linéaires de type clôture, glissière d'autoroutes	41
3 - 5.6	Prévention des risques électriques vis-à-vis des personnes et des équipements des tiers	41
3 - 6	Champs magnétique et électrique à 50 Hz.....	43
3 - 6.1	Présentation.....	43
3 - 6.2	Normes et réglementation vis-à-vis des tiers.....	43
3 - 6.3	Recommandation vis-à-vis des matériels	43
3 - 7	Effet couronne : bruits radioélectriques, acoustiques et pertes	45
3 - 7.1	Présentation.....	45
3 - 7.2	Textes de référence.....	45
3 - 7.3	Perturbations radioélectriques	45
3 - 7.4	Bruits acoustiques	46
3 - 7.5	Pertes par effet couronne	46
Partie 4	DIMENSIONNEMENT GEOMETRIQUE	47
4 - 1	Introduction	47
4 - 2	Distances de sécurité	47
4 - 2.1	Présentation.....	47
4 - 2.2	Textes de référence.....	48
4 - 2.3	Les hypothèses de calcul des distances réalisées	49
4 - 2.4	Distances à respecter : cas général	50
4 - 2.5	Distances à respecter au-dessus des routes, voies ferrées et plans d'eau.....	54
4 - 2.6	Distances aux bâtiments résidentiels et autres	58
4 - 2.7	Distances de sécurité par rapport aux autres lignes aériennes.....	60
4 - 2.8	Autres zones ou établissements.....	66

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

4 - 2.9	Servitudes radioélectriques	69
4 - 2.10	Servitudes aéronautiques	69
4 - 2.11	Mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements.....	70
4 - 2.12	Identification pour la surveillance des lignes par hélicoptère.....	70
4 - 3	Distances internes	74
4 - 3.1	Présentation.....	74
4 - 3.2	Textes de référence.....	74
4 - 3.3	Distances entre câbles	74
4 - 3.4	Distance à la masse	81
4 - 3.5	Distances de travail	81
Partie 5	SUPPORTS	89
5 - 1	Introduction.....	89
5 - 1.1	Principaux termes, définitions et symboles.....	89
5 - 1.2	Fonctionnalité principale	89
5 - 1.3	Notion de famille de supports	89
5 - 2	Textes de référence.....	90
5 - 2.1	Réglementation.....	90
5 - 2.2	Normes	90
5 - 3	Règles génériques.....	91
5 - 3.1	Règles de conception	91
5 - 3.2	Essais	95
5 - 3.3	Assemblage - Levage	95
5 - 4	Supports métalliques treillis.....	96
5 - 4.1	Règles de conception	96
5 - 4.2	Essais	96
5 - 4.3	Assemblage - Levage	96
5 - 5	Supports monopodes métalliques	97
5 - 5.1	Règles de conception	97
5 - 5.2	Essais	98
5 - 5.3	Assemblage - Levage	98
5 - 6	Supports en béton	99
5 - 6.1	Règles de conception	99
5 - 6.2	Essais	100
5 - 6.3	Assemblage - Levage	100
5 - 7	Supports en bois.....	101
5 - 7.1	Règles de conception	101
5 - 7.2	Essais	102
5 - 7.3	Assemblage - Levage	102
5 - 8	Supports haubanés.....	103
5 - 8.1	Règles de conception	103

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

5 - 8.2	Essais	104
5 - 8.3	Assemblage - Levage	104
5 - 9	Supports aérosouterrains	105
5 - 9.1	Règles de conception	105
5 - 9.2	Essais	108
5 - 9.3	Assemblage - Levage	108
5 - 10	Autres supports.....	108
Partie 6	FONDATIONS	109
6 - 1	Introduction	109
6 - 1.1	Principaux termes, définitions et symboles.....	109
6 - 1.2	Fonctionnalité principale	109
6 - 1.3	Notion de famille de fondations	109
6 - 2	Textes de référence.....	110
6 - 2.1	Réglementation.....	110
6 - 2.2	Normes	110
6 - 2.3	Autres documents de référence, règles de l'art	111
6 - 3	Règles génériques.....	112
6 - 3.1	Règles de conception	112
6 - 3.2	Essais	115
6 - 3.3	Mise en oeuvre	115
6 - 3.4	Cas particuliers	115
6 - 4	Fondations superficielles	116
6 - 4.1	Généralités	116
6 - 4.2	Fondations superficielles pour support tétrapode.....	116
6 - 4.3	Fondations superficielles pour support monopode	118
6 - 5	Fondations spéciales.....	120
6 - 5.1	Généralités	120
6 - 5.2	Fondations spéciales pour support tétrapode.....	121
6 - 5.3	Fondations spéciales pour support monopode.....	121
Partie 7	CABLES, MATERIELS DE LIGNE, HAUBANS	122
7 - 1	Introduction	122
7 - 2	Câbles : Conducteurs, câbles de garde, câbles à fibres optiques.....	122
7 - 2.1	Présentation.....	122
7 - 2.2	Textes de référence.....	123
7 - 2.3	Fonctionnalités principales	123
7 - 2.4	Règles de conception	123
7 - 2.5	Essais	127
7 - 2.6	Mise en oeuvre	127
7 - 3	Chaînes et pièces pour conducteurs et câbles de garde, matériels divers pour identification, signalisation et MALT	128

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

7 - 3.1	Présentation.....	128
7 - 3.2	Textes de référence.....	129
7 - 3.3	Fonctionnalités principales	129
7 - 3.4	Règles de conception	130
7 - 3.5	Essais	134
7 - 3.6	Mise en oeuvre	136
7 - 3.7	Maintenance	136
7 - 4	Câbles de Haubans et pièces de haubans.....	137
7 - 4.1	Présentation.....	137
7 - 4.2	Textes de référence.....	137
7 - 4.3	Fonctionnalités principales	137
7 - 4.4	Règles de conception	137
7 - 4.5	Essais	139
7 - 4.6	Mise en oeuvre	139
7 - 4.7	Maintenance	140

Partie 1 PRESENTATION DU CCG - LA

1 - 1 OBJET

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

Le CCG – LA constitue le document technique de référence pour la conception et la construction d'ouvrages neufs ainsi que pour les travaux de modification importante d'ouvrages existants au sens de l'Arrêté Technique ⁽³⁾.

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 150 kV, sauf spécifications contraires ou précision dans le CCTP, les spécifications requises sont celles du niveau 225 kV.*

La réglementation nationale (lois, décrets, Arrêté Technique, ...), les normes internationales relatives à la ligne et à ses composants, et la norme NF EN 50341, constituent le référentiel du CCG-LA.

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 qui remplit ce rôle. Il est complété par un Cahier des Clauses Techniques Particulières spécifique à chaque ouvrage.

En outre, le CCG-LA 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

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.

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

CAHIER DES CHARGES GENERAL LIGNES AERIENNES HTB (CCG - LA)

- qualité de fourniture
- facilité d'exploitation et de maintenance.

1 - 2 POSITIONNEMENT

L'objet de ce paragraphe est de positionner le CCG-LA 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.
- 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.

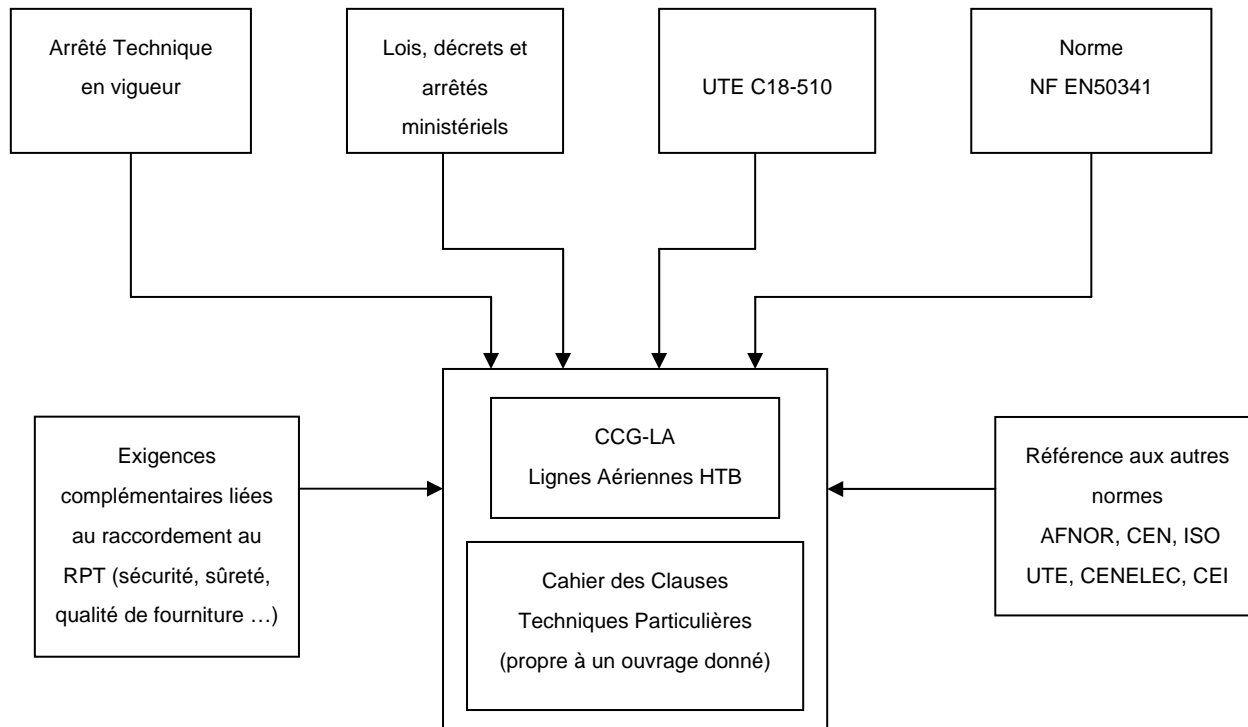


Figure 1 : référentiel du CCG-LA

1 - 3 STRUCTURE

Le CCG-LA s'organise en sept parties qui peuvent se regrouper en deux grands domaines, l'un concernant le dimensionnement de la ligne (parties 2 à 4) et l'autre concernant les spécifications des composants de la ligne (parties 5 à 7) :

- la présente partie 1 « Présentation du CCG-LA ».
- la partie 2 « Dimensionnement mécanique » définit les différentes hypothèses qui servent au dimensionnement mécanique des lignes aériennes HTB et les conditions à respecter.
- la partie 3 « 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 4 « 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 5 « Supports » définit les exigences techniques génériques auxquelles doivent répondre les supports de lignes aériennes HTB et celles spécifiques à chaque famille de supports.
- La partie 6 « Fondations » définit les conditions techniques et de dimensionnement des fondations des supports de lignes aériennes HTB.
- La partie 7 « Câbles, matériels de ligne, haubans » définit les exigences à respecter pour les conducteurs et câbles de garde, les matériels de lignes aériennes HTB ainsi que les câbles et pièces de haubans.

Partie 2 DIMENSIONNEMENT MECANIQUE

2 - 1 INTRODUCTION

La présente partie traite du dimensionnement mécanique des lignes aériennes HTB.

Elle est organisée en cinq chapitres dont cette introduction :

- le chapitre 2.2 « Textes de référence » rappelle les textes réglementaires et normatifs servant au dimensionnement mécanique des lignes aériennes HTB
- le chapitre 2.3 « Hypothèses de dimensionnement » définit les hypothèses à prendre en compte pour le calcul des efforts
- le chapitre 2.4 indique les « Conditions à respecter » pour chacune des hypothèses de dimensionnement
- le chapitre 2.5 « Hypothèse anti-cascade et vérification de la coordination de résistance » traite des vérifications à effectuer pour la mise en place de supports anti-cascade ainsi que pour la coordination des résistances entre supports.

2 - 1.1.1 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),

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.

- celles qui entraînent un dépassement de la limite élastique du matériau constituant l'élément étudié (endommagement irréversible).

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.

2 - 2 TEXTES DE REFERENCE

2 - 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 ».

2 - 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.

2 - 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'arrêt 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 support est équipé de câbles de part et d'autre,
- le support 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.

2 - 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.

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

2 - 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 supports de diamètre d (cm)			
$d \leq 15$ 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 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.

2 - 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 supports	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.

2 - 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 .

Suivant la situation géographique de l'ouvrage ou de la portion d'ouvrage étudiée, l'hypothèse à considérer peut être soit l'hypothèse de givre léger, soit l'hypothèse de givre moyen, soit l'hypothèse de givre lourd.

Les surcharges pondérales appliquées sont les suivantes :

TYPES DE TERRAIN	ALTITUDES H (m)	SURCHARGES DU MANCHON	EPAISSEURS (cm)
Plaine	H < 500 (*)	légère	2
	500 < H < 700	légère ou moyenne	2 3 ou 4
Montagne	700 < H < 2000	moyenne lourde exceptionnelle	3 ou 4 5 ou 6 > 6
	H > 2000	lourde	6

(*) Sauf pour les zones de neige collante où l'hypothèse complémentaire de givre 3 ou 4 cm est prise.

Tab. **Hypothèses de givre**

En cas de besoin, on se référera au CCTP de l'ouvrage pour la précision de l'épaisseur du manchon à prendre en compte.

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

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

Givre	léger	moyen	lourd(*)
Epaisseur du manchon (cm)	2	3 ou 4	5 ou 6
Température des câbles (°C)	-5		
Coefficient de poids propre sur les supports	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 supports 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 support 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 groupés en faisceau, la surcharge de givre doit s'appliquer de manière identique sur chacun des câbles.

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 :

- 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.

2 - 3.1.4 Récapitulatif des valeurs à prendre en compte

Désignation	Température des câbles °C	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

2 - 3.2 Hypothèse électrodynamique

2 - 3.2.1 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. 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.

2 - 3.2.2 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'I_{cc}, 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 support; ce dernier se situe dans ce cas entre le lieu du défaut et le poste source qui participe à l'I_{cc}.

Conditions et valeurs à prendre en compte

Type de défaut	<ul style="list-style-type: none"> • biphasé isolé • triphasé isolé (uniquement pour les vérifications au pincement des faisceaux)
Angle de phase de la tension électrique (à l'origine du défaut)	<ul style="list-style-type: none"> • 0° en biphasé • 165° en triphasé
Apport subtransitoire	nul
Conditions de vent et de température	<ul style="list-style-type: none"> • Vent A-ZVN sur tout l'ouvrage • Température des conducteurs avant défaut de 45°C (*)
(*) Cette température de 45 °C ne s'applique qu'aux conducteurs définis dans la norme EN 50182 (conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) ainsi qu'aux câbles dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins circulaires au centre et de brins de forme sur la couche extérieure (câbles de type Azalée utilisés par RTE). Pour les autres conducteurs, la température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.	

Conditions communes à tous les niveaux de tension.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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 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.

2 - 3.3 Hypothèses complémentaires

Ces hypothèses complémentaires s'appliquent :

- Soit pour la conception d'une nouvelle famille de supports,
- 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 supports, 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,
- dénivelée nulle (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.

2 - 3.3.1 Charges de sûreté

Hypothèse de torsion

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

- pour limiter les avaries de supports 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 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 supports (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 :

- conducteur ou câble de garde **en ancrage** : effort statique longitudinal réel agissant d'un côté du support et effort réduit ou nul de l'autre côté du point d'accrochage où le câble est supposé rompu.
- 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, il n'est pas limité dans le cas contraire.

Hypothèses de vent particulières

Ces hypothèses servent, pour les supports 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

2 - 3.3.2 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 supports ou le développement d'un pylône particulier ou l'emploi 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 conducteurs (ou mise en place pas encore faite) sur les supports de suspension (dissymétrie de charge)

Pour les pylônes nappe horizontale ou chat, on suppose qu'un ou deux conducteurs (ou faisceaux de 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 conducteur ou faisceau de conducteurs n'a pas été mis en place.

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

On suppose qu'un 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 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 supports : 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 supports : $h_1/a_1 = + 0,05$ 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 supports 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.

d) Montage des supports : 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.

2 - 4 CONDITIONS A RESPECTER

2 - 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 supports en 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 supports métalliques 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 6 « Fondations ».

2 - 4.2 Autres hypothèses

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

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

2 - 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)		supports et éléments métalliques		supports 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
		B	0,95x CRA/3	x	R/3	x	Rem/1,8	x	R/2,1
		givre léger, moyen, lourd, (symétrique et dissymétrique)	0,95x CRA/1,4	x	R/1,4	x	Rem	x	R/1,3
surcharge électrodynamique		vent A-ZVN température 45°C	0,95x CRA/1,4	0	R/1,4	0	Rem	0	R/1,3
Charges de sûreté	hypothèse de torsion	A-ZVN					Rem	/	R/1,3 (1)
	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 supports	+ 5°C vent nul					Rem/1,2	/	R/1,4
<p>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'un nouveau support (1) uniquement pour les supports de classe F</p> <p>(*) 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</p>									

2 - 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.

2 - 5.1 Hypothèse anti-cascade

On considère ici la rupture totale des conducteurs 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).

2 - 5.1.1 Calcul des efforts

Les pressions de vent à retenir sont celles de l'hypothèse de vent à considérer du paragraphe 2-3.1.1.

Le support doit être vérifié en hypothèse de vent dans une configuration de chargements issus de la rupture de tous les 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.

2 - 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 support considéré :

Cas de vérification	Conditions à respecter		
Hypothèses météorologiques standards (voir paragraphe 3.2.1.1)	Supports métalliques treillis	Supports métalliques monopodes	Supports 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

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 6 « Fondations ».

2 - 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,
- un support d'arrêt doit avoir une meilleure tenue qu'un support anti-cascade.

2 - 5.2.1 Calcul des efforts

Les pressions de vent à retenir sont les suivantes :

a) Supports métalliques

ZONE	Température °C	Vent sur les structures				Vent sur les câbles
		Surfaces planes (Pa)	Eléments cylindriques $d \leq 15$ 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) Supports béton

ZONE	Température °C	Vent sur les structures				Vent sur les câbles
		Surfaces planes (Pa)	Eléments cylindriques $d \leq 15$ 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

2 - 5.2.2 Conditions à respecter

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

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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

NOTA :

R : effort ou contrainte de rupture

Rem : contrainte de limite élastique minimale garantie

Partie 3 DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE

3 - 1 INTRODUCTION

Cette partie traite du dimensionnement électrique des lignes aériennes HTB.

Elle est organisée en sept chapitres dont cette introduction :

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

3 - 2 CONTRAINTES DIELECTRIQUES APPLIQUEES AUX OUVRAGES

3 - 2.1 Présentation

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

3 - 2.1.1 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 N_i** d'un lieu donné est le nombre de jours par an au cours desquels le tonnerre a été entendu,
- **La densité de foudroiement N_g** 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)

3 - 2.1.2 Les différents aspects

Les contraintes diélectriques rencontrées sont les suivantes :

- pollution,

- foudre,
- manoeuvre.

3 - 2.2 Textes de référence

3 - 2.2.1 Réglementation

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

3 - 2.2.2 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)

3 - 2.3 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.

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 manoeuvre des chaînes (en kV) à sec	480	710	1050

Tableau 1 Distance d'isolement et tension de tenue des chaînes (valeur correspondant aux chaînes de suspension)

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

Les **facteurs d'intervalle k_{foudre} et $k_{\text{manoeuvre}}$** 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.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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 :

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

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 manoeuvre

3 - 2.4 La pollution

3 - 2.4.1 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	<ul style="list-style-type: none"> -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	<ul style="list-style-type: none"> -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	<ul style="list-style-type: none"> -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	<ul style="list-style-type: none"> -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.

3 - 2.4.2 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 (porcelaine, 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 ≤ S < 20	20 ≤ S < 80	S ≥ 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 oeuvre 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 § 3-2.4.1). 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 § 3-2.4.1.

3 - 2.5 La foudre

On distingue deux types de défauts dus à la foudre :

- les défauts dus à des coups de foudre directs (défauts d'écran) : ils apparaissent lorsque la foudre atteint un 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 support (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 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. La valeur de la résistance de terre doit être suffisamment faible pour limiter le nombre d'amorçage en retour.

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 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 conducteurs, le concepteur de l'ouvrage devra utiliser le modèle électrostatique 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'oeuvre adoptera des dispositions constructives pour les prises de terre qui, pour la majorité des natures de sols, permettent d'obtenir une valeur de résistance de terre inférieure à 10 Ω (cf chapitre 3-3 « Dimensionnement des prises de terre »). Il devra s'assurer que la valeur et l'architecture de la prise de terre restent adaptées à l'environnement de l'ouvrage (sécurité des personnes et des biens).

3 - 2.6 Coordination d'isolement

3 - 2.6.1 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

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 63 ou 90 kV neuves et pour les lignes 225 kV exploitées en 63 ou 90 kV, le dispositif de protection sera obligatoirement un parafoudre.

3 - 2.6.2 Dimensionnement des chaînes d'isolateurs de lignes exploitées en dessous de leur tension nominale de construction

Des ouvrages neufs (ou anciens) 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 installés à l'entrée du poste,
- dans certains cas des parafoudres installés à proximité du transformateur de puissance.

Pour les lignes 63 ou 90 kV neuves ou anciennes ayant fait l'objet d'une amélioration de la qualité d'électricité par surisolation, on conservera le niveau d'isolement normalisé jusqu'au cellules postes, sachant que celles-ci doivent être équipées de parafoudres.

Pour les ouvrages anciens à 63 kV et d'un niveau d'isolement correspondant au 90 kV, l'isolement correspondant à la tension 63 kV doit être reconstitué pour les 3 derniers supports avant l'arrivée au poste (cas où le poste ne peut être équipé de parafoudres).

3 - 3 DIMENSIONNEMENT DES PRISES DE TERRE

3 - 3.1 Présentation

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

3 - 3.1.1 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.

3 - 3.2 Textes de référence

3 - 3.2.1 Réglementation

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

3 - 3.2.2 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).

3 - 3.3 Dimensionnement vis-à-vis de la corrosion et de la résistance mécanique

Les électrodes, étant en contact direct avec le sol, doivent être constituées de matériaux capables de supporter la corrosion (attaque chimique ou biologique, oxydation, électrolyse,...) et les contraintes mécaniques. La section minimale du conducteur de terre devra être :

- en 400 kV : conducteur en cuivre de 8 mm de diamètre,
- en 225 kV - 90 kV - 63 kV : conducteur en cuivre de 8 mm de diamètre si $I_{cc} > 20$ kA,
- en 225 kV - 90 kV - 63 kV : conducteur en cuivre ou en ARMCO de 8 mm de diamètre si $I_{cc} \leq 20$ kA

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.

3 - 3.4 Dimensionnement vis-à-vis de l'échauffement

Les prises de terre seront 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.

3 - 3.5 Amorçage en retour et fonctionnement des protections

3 - 3.5.1 Résistance de terre

Afin de limiter le nombre de défauts dus aux amorçages en retour, on adoptera des dispositions constructives pour les prises de terre qui, pour la majorité des natures de sols, permettent d'obtenir une valeur de résistance de terre inférieure à 10 Ω . On s'assurera que la valeur et l'architecture de la prise de terre restent adaptées à l'environnement de l'ouvrage (sécurité des personnes et des biens).

3 - 3.5.2 Inductance de la prise de terre

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

3 - 3.6 Limitation des perturbations apportées aux ouvrages tiers et aux installations électriques

Les dispositions constructives à respecter sont celles définies dans le chapitre 3-5 « *Contraintes de proximités-induction magnétique et capacitive-conduction* ».

3 - 3.7 Supports métalliques et bétons

Conformément à l'article relatif à la « Mise à la terre des supports » de l'Arrêté Technique, "les supports métalliques doivent être mis à la terre".

Les supports en béton sont considérés comme des supports métalliques et seront mis à la terre.

3 - 3.8 Supports constitués de matériau non conducteur

De manière générale, les supports constitués de matériau non conducteur ne nécessitent pas de mise à la terre. Par contre, les câbles de garde seront mis à la terre au niveau de chaque pylône.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

Toutefois, le maître d'ouvrage peut décider de raccorder les armements de certains supports constitués de matériau non conducteur à la terre. Il devra le préciser dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.

3 - 4 CONTRAINTES DUES AU COURANT-ECHAUFFEMENT

3 - 4.1 Présentation

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

Il s'applique aux conducteurs de phases, aux câbles de garde, aux matériels de jonction et aux mises à la terre.

3 - 4.1.1 Définitions

Régimes de secours

Pour les lignes HTB on distingue deux types de régimes de secours pour pallier la défaillance ou l'indisponibilité fortuite d'autres lignes ou éléments de réseau. A chaque régime de secours correspond une intensité calculée de manière à ce que les distances au sol et aux obstacles spécifiées dans la partie 4 « Dimensionnement géométrique » soient respectées. On définit alors :

- a) Un régime de secours qui n'est pas limité strictement dans le temps : c'est un régime de secours longue durée appelée « IMAP », Intensité Maximale Admissible en Permanence.
- b) Des régimes de secours à durée limitée: régime de surcharge temporaire généralement de 20 minutes et 10 minutes. Au bout de cette durée, si des dispositions (manoeuvres ou modification du plan de production) n'ont pas permis de descendre l'intensité en dessous de l'IMAP, la ligne est déclenchée par la protection de surcharge.

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.

3 - 4.1.2 Les différents aspects

Le dimensionnement des éléments tiendra compte des contraintes d'échauffement en régime de secours et en régime de court - circuit.

3 - 4.2 Textes de référence

3 - 4.2.1 Réglementation

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

3 - 4.2.2 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.

3 - 4.3 Echauffement des conducteurs en régime de secours

Les intensités en régime de secours sont calculées de manière à ce que la température maximale, au sens de l'Arrêté Technique (article relatif à la « Température maximale des conducteurs »), corresponde à celle atteinte par les conducteurs dans les conditions météorologiques défavorables (température, vent, ensoleillement, ...) les plus fréquemment rencontrées dans la région. C'est pour cette température que doivent être vérifiées les distances au sol et aux obstacles (cf partie 4 « Dimensionnement géométrique »), ceci pour les différentes saisons.

Les lignes 63 et 90 kV sont prévues pour le seul régime de secours longue durée appelé également « IMAP ».

Les lignes 225 et 400 kV doivent pouvoir assurer, en plus du régime de secours « IMAP », des régimes de secours de courte durée (durée généralement de 20 minutes et 10 minutes), à l'exception des lignes de raccordements de clients en antenne pour lesquelles les régimes de secours de courte durée ne sont pas pris en compte.

R.T.E. spécifiera dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage (CCTP) :

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

3 - 4.4 Intensités admissibles en régime de court-circuit

3 - 4.4.1 Domaine d'application

Ce paragraphe s'applique aux câbles de garde et conducteurs, aux mises à la terre et aux matériels de raccordement des lignes aériennes HTB.

3 - 4.4.2 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 :

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

Structure tension / courant de court - circuit du poste ($I_{cc \text{ poste}}$)	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 conducteur de phase est de 45°C (*).

(*) Cette température de 45 °C ne s'applique qu'aux conducteurs définis dans la norme EN 50182 (conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) ainsi qu'aux câbles dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins circulaires au centre et de brins de forme sur la couche extérieure (câbles de type Azalée utilisés par RTE). Pour les autres conducteurs, la température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.

3 - 4.4.3 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 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 conducteurs à brins ronds définis par la norme EN50182 (aluminium, aluminium-acier, alliage d'aluminium et alliage d'aluminium-acier) et les 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 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 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 4 « Dimensionnement géométrique »).

Pour les câbles bimétalliques en almélec-acier, la flèche maximale du 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 en aluminium-acier ou alliage d'aluminium-acier, la température maximale atteinte par le câble en régime de court-circuit doit rester inférieure à 200 °C.

Pour les câbles de garde en acier, cette température maximale est de 300°C.

On vérifie également qu'en cas de croisement avec les conducteurs, la distance entre câbles reste conforme aux valeurs définies dans la partie 4 « 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.

3 - 5 CONTRAINTES DE PROXIMITES – INDUCTION MAGNETIQUE ET CAPACITIVE - CONDUCTION

3 - 5.1 Présentation

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

3 - 5.1.1 Définitions

Induction : les courants circulants dans les 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, lorsque un courant de défaut s'écoule dans le sol.

3 - 5.1.2 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.

3 - 5.2 Textes de référence

3 - 5.2.1 Réglementation

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

3 - 5.2.2 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 5.6 *champs électriques et magnétiques*

3 - 5.2.3 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).

3 - 5.3 Proximité avec d'autres réseaux électriques

3 - 5.3.1 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.

3 - 5.3.2 Lignes électriques aériennes de domaine de tension différents 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 conducteurs de ces deux lignes sont les mêmes que celles définies pour le cas du croisement dans la partie 4 « Dimensionnement géométrique » § 4-2.7.

3 - 5.4 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.

3 - 5.4.1 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 ».

3 - 5.4.2 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 ».

3 - 5.5 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.

3 - 5.6 Prévention des risques électriques vis-à-vis des personnes et des équipements des tiers

3 - 5.6.1 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) ».

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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 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 support) 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.

3 - 5.6.2 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.

3 - 6 CHAMPS MAGNETIQUE ET ELECTRIQUE A 50 Hz

3 - 6.1 Présentation

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

3 - 6.1.1 Définitions

- **Le Champ d'induction magnétique** caractérise les forces électriques liées à l'intensité du courant qui circule dans les conducteurs.

Pour les lignes électriques, l'unité utilisée est le μT (10^{-6} T).

- **Le Champ électrique** caractérise les forces électriques liées à la tension portée par les conducteurs.

Pour les lignes électriques, l'unité utilisée est le kV/m (10^3 V/m).

3 - 6.1.2 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 3-5 « 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.

3 - 6.2 Normes et réglementation vis-à-vis des tiers

L'ouvrage devra respecter les dispositions de l'Arrêté Technique : article relatif à la « Limitation de l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques ».

Cet article définit les limites d'exposition aux champs électromagnétiques 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 d'exploitation normal :

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

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

3 - 6.3 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.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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 (1,25 μ T), et 3 A/m (3,75 μ T), 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.

3 - 7 EFFET COURONNE : BRUITS RADIOELECTRIQUES, ACOUSTIQUES ET PERTES

3 - 7.1 Présentation

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

3 - 7.1.1 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 proximité de ce conducteur qui est à l'origine de l'ionisation du gaz.

3 - 7.1.2 Les différents aspects

L'effet couronne génère 3 types de perturbations :

- perturbations radioélectriques,
- bruits acoustiques,
- pertes.

3 - 7.2 Textes de référence

3 - 7.2.1 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.

3 - 7.2.2 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 5.5 *Effet couronne*)

3 - 7.3 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 conducteurs et des matériels d'équipement
- les décharges et amorçages sur des parties des isolateurs fortement contraintes électriquement
- 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 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 conducteurs de cette portée.

3 - 7.4 Bruits acoustiques

Les perturbations acoustiques apparaissent fréquemment pendant les périodes de mauvais temps et de brouillard. Par beau temps, elles se manifestent le plus souvent pour des lignes soumises à une forte pollution.

Les lignes HTB ne devront en aucun cas dépasser les valeurs maximales de bruit définies par l'article relatif à la « Limitation de l'exposition des tiers au bruit des équipements » de l'Arrêté Technique. Les mesures de bruits seront effectuées conformément à la norme **NF S 31 010**.

3 - 7.5 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 superficiel au voisinage des conducteurs à une valeur efficace d'environ **18 kV/cm**.

Partie 4 DIMENSIONNEMENT GEOMETRIQUE

4 - 1 INTRODUCTION

Cette partie traite du dimensionnement géométrique des lignes aériennes HTB.

Elle est organisée en trois chapitres dont cette introduction :

- le chapitre 4-2 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 4-3 traite des distances internes (distances entre câbles, distances à la masse, distances de travail).

4 - 2 DISTANCES DE SECURITE

4 - 2.1 Présentation

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

4 - 2.1.1 Définitions

DISTANCE DE SECURITE

C'est la distance à respecter entre les 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

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" (température maximale des câbles en régime temporaire de secours),
- "vent nul",
- "vent réduit",
- "givre".

VERIFICATIONS

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

4 - 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, §4-2.4 de ce chapitre;
- Voies de circulation (routes, voies ferrées et plans d'eau) : §5.4.5.3 de la norme EN 50341, §4-2.5 de ce chapitre;
- Bâtiments résidentiels et autres : §5.4.5.2 de la norme EN 50341, §4-2.6 de ce chapitre;
- Autres lignes aériennes : §5.4.5.4 de la norme EN 50341, §4-2.7 de ce chapitre;
- Autres zones ou établissements : §4-2.8 de ce chapitre
- Servitudes radioélectriques et aéronautiques : §4-2.9 et §4-2.10 de ce chapitre.

4 - 2.2 Textes de référence

4 - 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 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.
- L'arrêté interministériel du 10 juillet 2006 relatif aux caractéristiques de certains aérodromes terrestres utilisés par les aéronefs à voilure fixe.

4 - 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.

4 - 2.3 Les hypothèses de calcul des distances réalisées

4 - 2.3.1 Hypothèse de "répartition"

Dans cette hypothèse, les câbles sont à la température atteinte lors du régime de secours à durée limitée. Leur position est à calculer pour cette température sans vent.

4 - 2.3.2 Hypothèse de "vent nul"

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

- + 15 °C, vent nul.

4 - 2.3.3 Hypothèse de "vent réduit"

La position des câbles est à calculer en fonction de la zone de vent (voir partie 2 « 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

4 - 2.3.4 Hypothèse de "givre"

Cette hypothèse ne concerne que les zones de givre **moyen et lourd** (voir définitions partie 2 « 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 2 « Dimensionnement mécanique »,
 - ◇ -5 °C, vent nul.
- givre dissymétrique :
 - ◇ le principe des surcharges est le même que celui défini dans la partie 2 « Dimensionnement mécanique », excepté les différences d'épaisseur à considérer :
 - dans le cas du givre moyen, épaisseur de givre de N cm d'un côté et 0 cm de l'autre côté (3 et 0 cm ou 4 et 0 cm),
 - dans le cas du givre lourd, épaisseur de givre de N cm d'un côté et (N-4) cm de l'autre côté (5 et 1 cm ou 6 et 2 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 (pour faciliter le calcul, on peut supposer la portée 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 2 « Dimensionnement mécanique »,
 - ◇ -5 °C, vent nul.

4 - 2.4 Distances à respecter : cas général

4 - 2.4.1 Au-dessus du sol

a) Introduction

Terrain ordinaire, terrain agricole

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 dans une zone de culture, doit être considéré comme un terrain agricole.

Silos

Les silos concernés sont ceux situés dans des exploitations agricoles affectés au stockage de produit desservis en vrac.

b) Distances à respecter

CONDITIONS SANS GIVRE

Les distances minimales suivantes sont à respecter :

- à la "répartition";
- au "vent réduit", seulement dans les cas de terrains à contre-pentes importantes accessibles aux personnes.

	Hauteurs en mètres au dessus des sols			
	Portée courante			Grande portée (***)
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	avec f = flèche médiane
Terrains ordinaires	6,50	7,00	7,50	$3 + 0,6\sqrt{f} + t1$
Terrains agricoles	7,00	7,50	8,50	$3 + 0,6\sqrt{f} + t2$
Aire d'évolution ou de passage d'engins agricoles ou industriels de grande hauteur (*)	$h + 2,0$	$h + 2,5$	$h + 3,5$	$h - 2 + 0,6\sqrt{f} + t2$
Proximité de silo (**)	$H + 5,5$	$H + 6,0$	$H + 6,5$	$H + 2 + 0,6\sqrt{f} + t1$

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

(*) h = hauteur des engins

(**) H = hauteur de la partie supérieure de l'ouverture de remplissage du silo

Sont considérés comme étant à proximité des silos les conducteurs, autres que ceux isolés sur façade, dont la projection horizontale, en l'absence de vent, est située à la fois :

1. à une distance inférieure à H + 5 mètres avec un maximum de 15 mètres, de l'axe des pistes d'accès normal des véhicules de livraison;
2. à une distance inférieure à H + 5 mètres, avec un maximum de 15 mètres, de la projection horizontale du centre de l'ouverture de remplissage des silos.

Cette distance n'est toutefois pas imposée 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).

(***) Les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes

TERRAINS AGRICOLES : 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 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 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.

SOL ENNEIGE

Dans les zones où la couche de neige est *habituellement* supérieure à 3 mètres, on doit effectuer la vérification complémentaire par rapport aux distances à respecter suivantes en considérant le sol recouvert de neige, les conducteurs à 30°C sans vent :

Distances minimales en mètres (hauteurs au-dessus de la couche de neige)			
Portée courante			Grande portée (*)
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	avec f = flèche médiane
3,50	4,00	4,50	$0,6\sqrt{f} + t1$

(*) Les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes

TERRAINS VITICOLES TRAITES PAR HELICOPTERES

Lorsque certains vignobles sont régulièrement traités par hélicoptères et que la pente du terrain dépasse 20 %, la distance de base au dessus du sol doit être augmentée. Une hauteur de base minimale de 8 m est en général suffisante.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

Distances minimales en mètres (hauteurs au-dessus du terrain viticole)			
Portée courante			Grande portée (*)
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	avec f = flèche médiane
9,00	9,50	10,50	$5+0,6\sqrt{f} + t_2$

(*) Les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes

CONDITIONS AVEC GIVRE (zones à givre moyen ou lourd)

Les distances minimales suivantes sont à respecter :

	Hauteurs en mètres au-dessus des sols		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
au "givre" symétrique	6,50	7,00	7,50
au "givre" dissymétrique	néant	néant	néant
au "givre" partiel (*)	0,50	1,10	2,0

(*) pour les portées supérieures à 800 m uniquement

4 - 2.4.2 Arbres

a) Introduction

Ces distances définissent les déboisements pour effectuer les travaux de construction d'une part, et pour réserver une exploitation future correcte de la ligne pendant une longue durée, d'autre part.

Le déboisement doit être parfaitement défini au moment de la construction de la ligne.

On se référera 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 supports.

"ZONES ROUGES"

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'électricité.

En sont exclues notamment, les zones urbanisées, cultivées ou pastorales ainsi que les plantations d'arbres fruitiers.

b) Distances à respecter

SURPLOMB

On n'oubliera pas la longueur des armements dans le calcul des distances réalisées ni les dimensions du faisceau s'il existe.

Les distances suivantes sont à respecter au dessus **des arbres considérés à leur hauteur à maturité**,

- à la "répartition",

Distances minimales en mètres (distance de garde verticale)			
f = flèche médiane (f en mètres)	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
$f < 22$	3,50	4,50	6,00
$22 \leq f \leq 50$	5,00	6,00	7,50
$f > 50$	6,50	7,50	9,00

Hauteur au-dessus des arbres considérés à leur hauteur à maturité à la "répartition"

et,

- dans les zones à **givre moyen ou lourd**, au "givre" **symétrique** (si portée ≤ 800 mètres) ou au "givre" **partiel** (si portée > 800 mètres) :

Distances minimales en mètres (distance de garde verticale)		
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
2,00	3,00	3,00

Hauteur au-dessus des arbres considérés à leur hauteur à maturité au "givre"

La définition au cas par cas des hauteurs "à maturité" (prise en compte de la croissance maximale des arbres en fonction de leur essence) est du ressort du maître d'ouvrage.

VOISINAGE LATERAL

Il s'agit ici de la distance horizontale entre l'axe du tronc du premier arbre et le conducteur extrême considéré dans sa position à la température de la "répartition" et pour les pressions du "vent réduit" (ou dans le cas d'une "zone rouge", ces pressions respectivement remplacées par 360 Pa en zone A-ZVN et 480 Pa en zone A-ZVF ou A-HPV). La pression du vent s'exerce dans le sens du rapprochement des câbles vers l'obstacle.

Les distances suivantes sont à respecter :

Distances minimales en mètres		
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
$5,00 (*) + 3,50 (**)$	$5,00 (*) + 4,50 (**)$	$5,00 (*) + 6,00 (**)$

(*) rayon moyen de ramure d'arbres

(**) distance de garde horizontale

Distance latérale à respecter

4 - 2.5 Distances à respecter au-dessus des routes, voies ferrées et plans d'eau

4 - 2.5.1 Tracé de la ligne, implantation des pylônes

DEFINITIONS

Routes : "autoroutes, routes nationales, routes départementales, voies communales de 6 mètres de largeur de chaussée au moins".

Voies ferrées : "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)".

Plans d'eau : "voies navigables, voies de circulation établies sur les dépendances d'un domaine public fluvial ou maritime".

DISPOSITIONS A RESPECTER

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), sauf pour les voies ferrées, pour lesquelles le surplomb longitudinal est autorisé.

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 ou du chemin.

4 - 2.5.2 Routes (voies de circulation publique et itinéraires pour transports de grande hauteur)

A la "répartition", les distances minimales à respecter sont les suivantes :

	Hauteurs en mètres au-dessus des voies de circulation			
	Portée courante			Grande portée (*)
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	avec f = flèche médiane
Voies de circulation	8,50	8,50	9,50	$3 + 0,6\sqrt{f} + t3$
Itinéraire pour véhicules de grande hauteur (h hauteur du véhicule)	$h + 2,0$	$h + 2,5$	$h + 3,5$	$h - 2 + 0,6\sqrt{f} + t2$

Hauteur au-dessus des voies routières à la "répartition"

(*) Les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

Au "givre" (zones à givre moyen ou lourd), les distances minimales à respecter sont les suivantes :

	Hauteurs en mètres au-dessus des voies de circulation		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
Voies de circulation	6,50	7,00	7,50

Hauteur au-dessus des voies routières au "givre"

Ces distances sont à vérifier aux hypothèses de givre symétrique, dissymétrique et partiel (au givre partiel, pour les portées supérieures à 800 m uniquement).

CONDITIONS LIEES AUX REGIMES DE COURT-CIRCUIT (ECHAUFFEMENT)

Les lignes HTB qui croisent une route importante doivent respecter les distances minimales en mètres suivantes dans les conditions d'échauffement entraînées par le régime de défaut.

	Hauteurs en mètres au-dessus des voies de circulation		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
Voies de circulation	6,50	7,00	7,50

Les conditions du défaut, qui permettent de calculer l'augmentation de flèche du conducteur inférieur, sont données dans la partie 3 « *Dimensionnement électrique* ».

4 - 2.5.3 Traversée et voisinage des chemins de fer et autres voies rigides pour véhicules guides (voies ferrées, aérotrains et trains suspendus)

CONDITIONS SANS GIVRE

Les distances minimales suivantes doivent être respectées :

- en cas de surplomb ou traversée, à la "répartition",
- en cas de voisinage latéral, au "vent réduit".

Nature de la traversée, du surplomb ou du voisinage	Distances minimales en mètres		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
Distance aux supports, fils de contact aériens, caténaires	4,00	4,50	5,50
Distance au gabarit cinématique du matériel (poutre supportant la voie pour véhicules suspendus)	3,50	4,50	5,00

Distances aux voies rigides

De plus, les traversées de voies équipées de lignes de contact (à suspension caténaire) doivent également 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.

CONDITIONS AVEC GIVRE (zones à givre moyen ou lourd)

Au "givre", les distances minimales à respecter sont les suivantes :

Hauteurs en mètres au-dessus des chemins de fer		
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
6,50	7,00	7,50

Hauteur au-dessus des voies rigides au "givre"

Ces distances sont à vérifier aux hypothèses de givre symétrique, dissymétrique et partiel (au givre partiel, pour les portées supérieures à 800 m uniquement).

4 - 2.5.4 Cours et plans d'eau

Les hauteurs à respecter au-dessus des cours d'eau et plans d'eau sont fonction de la hauteur autorisée des mâts des bateaux de commerce et du tirant d'air autorisé des bateaux de plaisance. Ces grandeurs sont fixées par arrêté préfectoral.

CONDITIONS SANS GIVRE

VERIFICATIONS POUR L'HYPOTHESE DE "REPARTITION"

Cours d'eau navigables et flottables sans navigation de plaisance à voile

Nature du surplomb	Distances minimales en mètres			avec f = flèche médiane
	Portée courante		Grande portée (*)	
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	
Hauteur au-dessus des plus hautes eaux navigables (PHEN) (h=hauteur maximale autorisée des mâts des bateaux de commerce)	$h + 2,0$	$h + 2,5$	$h + 3,5$	$h - 2 + 0,6 \sqrt{f} + t_2$
Hauteur minimale au-dessus des plus hautes eaux navigables (PHEN)	9,00	9,50	10,50	$5 + 0,6 \sqrt{f} + t_2$

Distances aux cours d'eau navigables et flottables, plans d'eau, sans navigation de plaisance

Cours d'eau navigables et flottables et plans d'eau avec navigation de plaisance

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.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

	Distances minimales en mètres			
	Portée courante			Grande portée (*)
Nature du surplomb	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	avec f = flèche médiane
Hauteur au-dessus des plus hautes eaux navigables (PHEN) (h'=hauteur autorisée du tirant d'air des bateaux de plaisance)	$h' + 2,0$	$h' + 2,5$	$h' + 3,5$	$h' - 2 + 0,6\sqrt{f} + t2$
Hauteur minimale au-dessus des plus hautes eaux navigables (PHEN)	10,00	10,50	11,50	$6 + 0,6\sqrt{f} + t2$

Distances aux cours d'eau navigables et flottables, plans d'eau, avec navigation de plaisance

(*) Les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes

Cours d'eau non navigables ni flottables

	Distances minimales en mètres			
	Portée courante			Grande portée (*)
Nature du surplomb	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	avec f = flèche médiane
Hauteur au-dessus des plus hautes eaux (PHE)	3,50	4,00	4,50	$0,6\sqrt{f} + t1$
Hauteur sur le niveau d'étiage	6,50	7,00	7,50	$3 + 0,6\sqrt{f} + t1$

Distances aux cours d'eau non navigables ni flottables

(*) Les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes

CONDITIONS AVEC GIVRE (zones à givre moyen ou lourd)

Au "givre", les distances minimales à respecter sont les suivantes :

Hauteurs en mètres au-dessus des plans d'eau		
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
6,50	7,00	7,50

Distances aux plans d'eau au "givre"

Ces distances sont à vérifier aux hypothèses de givre symétrique, dissymétrique et partiel (au givre partiel, pour les portées supérieures à 800 m uniquement).

4 - 2.6 Distances aux bâtiments résidentiels et autres

4 - 2.6.1 Bâtiments

DOMAINE D'APPLICATION

Ce chapitre concerne toutes parties **normalement accessibles à des personnes**, de constructions au sol dépassant 3 mètres de hauteur ou de parties saillantes de bâtiments susceptibles d'être escaladées.

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.

CONDITIONS SANS GIVRE

VERIFICATIONS

Les vérifications à réaliser sont les suivantes :

1. VERIFICATION 1 : à la "répartition",
2. VERIFICATION 2 : pour la température de 15°C et une pression de 240 Pa quelle que soit la zone de vent,
3. VERIFICATION 3 : dans le cas de portées supérieures à 400 mètres, pour la température de 15°C et les pressions de vent suivantes :

	Zone à vent normal (Pa)	Zone à vent fort (Pa)
Zone urbanisée	480	640
Zone non urbanisée	800	1080

Hypothèse de vent pour portées supérieures à 400 m

Les distances minimales sont les suivantes :

	Distances minimales en mètres		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
VERIFICATION 1	$1 + 2 \frac{x}{a} (0,6 \sqrt{f} - 1) + t3$ <p>avec un minimum égal à</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 4,00 5,50 6,50 </div>		
VERIFICATION 2	4,00	4,50	5,50
VERIFICATION 3	1,20	1,60	2,00

Distances aux maisons et immeubles

Pour l'application de la formule qui précède, les notations sont les suivantes :

- a : longueur de la portée (mètres),
- f : flèche de la portée pour la température de "répartition" (mètres),
- x : distance au support le plus proche (mètres).

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

CONDITIONS AVEC GIVRE (zones à givre moyen ou lourd)

Les distances minimales suivantes sont à respecter :

	Hauteurs en mètres au dessus des constructions		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
Au "givre" symétrique	3,50	4,00	4,50
Au "givre" dissymétrique	0,50	1,10	2,0
Au "givre" partiel (*)	0,50	1,10	2,0

(*) pour les portées supérieures à 800 m uniquement

CONDITIONS LIEES AUX REGIMES DE COURT-CIRCUIT (ECHAUFFEMENT)

Les lignes HTB qui surplombent une construction doivent respecter la distance minimale de 1,5 mètres dans les conditions d'échauffement entraînées par le régime de défaut.

Les conditions du défaut, qui permettent de calculer l'augmentation de flèche du conducteur inférieur, sont données dans la partie 3 « Dimensionnement électrique ».

4 - 2.6.2 Autres (obstacles divers)

DOMAINE D'APPLICATION

Ce chapitre concerne :

- toutes parties **non normalement accessibles à des personnes**, de constructions au sol (candélabres d'éclairage public, portiques et feux de signalisation, antennes, mâts, houblonnières, etc., et dans les installations d'équipements sportifs, poteaux, 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.
- terrains en très forte pente ou falaises **non normalement accessibles aux personnes**.

VERIFICATIONS

Les distances minimales (en mètres) suivantes doivent être respectées (pour le surplomb, à la "répartition", et pour le voisinage latéral, au "vent réduit") :

	Distances minimales en mètres		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
Surplomb	2,00	2,70	4,00
Voisinage latéral	1,20	1,60	2,00

Dans le cas de constructions pouvant être **entretenues fréquemment** (candélabres, portiques de signalisation...), ces distances minimales en mètres doivent être portées à :

	Distances minimales en mètres		
	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
Surplomb	4,00	4,70	7,00
Voisinage latéral	3,20	3,60	5,00

4 - 2.7 Distances de sécurité par rapport aux autres lignes aériennes

Ces prescriptions concernent les distances de sécurité des conducteurs par rapport aux éléments des **lignes aériennes de toute nature** dans le sens large du terme (**lignes de télécommunication, autres lignes électriques avec ou sans câble de garde, caténaires, câbles de téléphériques**) établies sur supports indépendants.

Les distances de sécurité sont à calculer de la façon suivante :

4 - 2.7.1 Distance de base b

La distance de base, fonction de la flèche et de la position du rapprochement, est donnée en mètres, par la formule :

$$b = 1 + 2 \frac{x}{a} (0,6 \sqrt{f} - 1)$$

a : longueur de la portée (mètres),

f : valeur maximale de la flèche (mètres) de la portée pour la température de "répartition" (ce peut être la flèche médiane ou la flèche au point bas),

x : distance au support le plus proche (mètres).

Lorsque les deux lignes sont électriques, la distance de base est déterminée par rapport à chacune des deux lignes et la plus grande valeur obtenue est retenue. **Cette valeur ne peut être inférieure à 1 mètre.**

4 - 2.7.2 Distance de tension t

CAS DU VOISINAGE LATERAL

La distance de tension (en mètres) est égale à t2.

CAS DU CROISEMENT

La distance de tension (en mètres) est égale à t3 en tenant compte des prescriptions spécifiques qui suivent pour calculer la tension nominale U (en kV) :

- pour le croisement de lignes HTB sans câble de garde :
 - ♦ $U = U1 + 0,4 U2$ 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 dans le tableau suivant (en mètres) :

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

<div><div><div><div><div></div><div><i>Ligne en projet</i></div></div><div><div><i>Ligne existante</i></div><div></div></div></div></div></div>	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
63 ou 90 kV	0,90 m	2,00 m	3,30 m
150-225 kV	2,00 m	2,10 m	3,70 m
400 kV	3,30 m	3,70 m	3,80 m

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

- pour le croisement des autres lignes (caténaires, câbles de téléphérique, BT, HTA, télécommunications, HTB surplombée munie d'un câble de garde), U est la tension de la ligne *HTB* qui surplombe.

4 - 2.7.3 Vérifications

CONDITIONS SANS GIVRE

A ce stade, on rappelle ici que la distance à respecter est la somme de la distance de base (§4-2.7.1) et de la distance de tension (§4-2.7.2).

Dans ces conditions sans givre, la distance à respecter ne peut être inférieure à deux mètres.

Les hypothèses à utiliser varient en fonction de la position respective des lignes et de leur nature.

LIGNES H.T.B

Croisement

Les deux hypothèses suivantes doivent être examinées successivement :

- ligne supérieure à la température de "répartition", ligne inférieure en "vent nul",
- ligne supérieure en "vent nul", ligne inférieure à - 20°C en l'absence de vent et de givre,

Voisinage latéral

- ligne étudiée en "vent réduit", ligne voisinée en "vent nul".

AUTRES LIGNES (CATENAIRES, CABLES DE TELEPHERIQUE, BT, HTA, TELECOMMUNICATIONS)

Croisement

- ligne étudiée à la température de "répartition", l'autre ligne (obligatoirement en dessous) en "vent nul".

Voisinage latéral

- ligne étudiée en "vent réduit" et ligne voisinée en "vent nul".

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

CONDITIONS AVEC GIVRE

Deux vérifications sont à réaliser :

* VERIFICATIONS PARTICULIERES A REALISER EN HYPOTHESE DE GIVRE MOYEN OU LOURD

Les distances minimales en mètres suivantes sont à respecter au "givre" **dissymétrique** et **partiel** (au givre partiel, uniquement pour portées > 800 m) (voir hypothèse de givre au § 4-2.3.4) :

<div style="text-align: center;">Ligne surplombante</div> <div style="text-align: center;">Ligne surplombée</div>	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
Lignes HTB <i>sans câble de garde</i>	$d = 0,005 U (= t_2)$ avec $U = U_1 + 0,4 U_2$ avec $U_1 > U_2$ $U = 1,25 U_1$ si $U_1 = U_2$ (voir explication § 4-2.7.2)		
Autres lignes (caténaires, câbles de téléphérique, BT, HTA, télécommunications, HTB munie d'un câble de garde)	0,50 m	1,10 m	2,00 m

Dans le cas de croisement entre deux lignes HTB (givre moyen ou lourd):

- au givre dissymétrique : la vérification est faite avec la ligne surplombante en hypothèse de givre dissymétrique (N cm / 0 cm en givre moyen et N cm / N-4 cm en givre lourd). A l'endroit du croisement, le câble inférieur de l'ouvrage surplombant est considéré avec une épaisseur de givre de N cm. Le câble supérieur de l'ouvrage surplombé est établi à – 5°C, sans vent et avec une épaisseur de givre uniforme de 0 cm (cas du givre moyen) ou N-4 cm (cas du givre lourd).
- au givre partiel (uniquement pour portées > 800 m de la ligne surplombante): la vérification est faite avec la ligne surplombante en hypothèse de givre partiel (on considère le cas de givre partiel qui correspond à la hauteur la plus basse du conducteur inférieur à l'endroit du croisement). Le câble supérieur de l'ouvrage surplombé est établi à – 5°C, sans vent et avec une épaisseur de givre uniforme de 0 cm (cas du givre moyen) ou N-4 cm (cas du givre lourd).

* VERIFICATIONS DE LA DECHARGE DE GIVRE (ZONES A GIVRE LEGER, MOYEN OU LOURD)

La vérification est à effectuer à l'endroit du croisement, entre le câble inférieur de l'ouvrage surplombant et le câble supérieur de l'ouvrage surplombé : voir conditions et distances minimales dans le chapitre 4-3.3.2 « Vérification au givre ».

CONDITIONS LIEES AUX REGIMES DE COURT-CIRCUIT (ECHAUFFEMENT)

Les lignes HTB qui surplombent (croisement) une autre ligne HTB sans ou avec câble de garde doivent respecter la distance de tension définie au § 4-2.7.2 dans les conditions d'échauffement entraînées par le régime de défaut.

Cette vérification est à faire à chaque cas de croisement de deux plans verticaux contenant respectivement un conducteur inférieur de la ligne étudiée et un conducteur supérieur (si absence de câble de garde) ou câble de garde de la ligne HTB surplombée objet du croisement.

Les conditions du défaut, qui permettent de calculer l'augmentation de flèche du conducteur inférieur, sont données dans la partie 3 « Dimensionnement électrique ».

4 - 2.7.4 Cas particulier des couloirs de lignes HTB

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

- éviter les amorçages entre les 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 support ne conduise à une défaillance seconde (consécutive) de la ligne voisine.

DISTANCES MINIMALES ENTRE LIGNES IMPOSEES PAR LE BALANCEMENT DES CONDUCTEURS

Dans leurs mouvements, les conducteurs les plus rapprochés de deux lignes voisines ne doivent jamais être à une distance inférieure à $(t_1 \sqrt{3})$ majorée de l'écartement des câbles du faisceau éventuel (par exemple câbles en faisceau pour une ligne et câble unique pour l'autre).

On considère qu'un pylône 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 conducteurs à prendre en compte se décomposent en :

- ligne 1 : des oscillations asynchrones du câble 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);
- ligne 2 : un balancement d'ensemble de la portée de l'une des lignes (en « vent réduit »).

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.

Distance minimale D_m entre conducteurs extrêmes de deux lignes parallèles (lignes 1 et 2)

$$\text{si } (f+l) \leq 80 \text{ m} \quad D_m = [(f_2 + l_2) \sin \alpha_2 + 0,6 \text{ m}'_1 \sqrt{f_1 + l_1}] + t_1 \sqrt{3}$$

$$\text{si } (f+l) > 80 \text{ m} \quad D_m = [(f_2 + l_2) \sin \alpha_2 + 0,6 \text{ m}'_1 \left(\frac{f_1 + l_1}{30} + 2,7 \right)] + t_1 \sqrt{3}$$

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

avec (i étant l'indice de la ligne) :

f_i : flèche médiane de la portée pour la température de "répartition" (m),

l_i : longueur de la chaîne de suspension (m),

m'_i : coefficient de surcharge du câble pour le vent réduit,

α_i : angle de balancement du câble sous le vent réduit $\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{1}{m'^2}}$

t_1 : distance de tension en mètre.

Cas des grandes portées

Dans les cas de grandes portées, il est en général nécessaire d'aligner les supports.

Ceci permet de considérer un balancement synchrone des conducteurs si leur nature et leur section sont semblables (si les conducteurs sont identiques ou ont des coefficients de surcharge voisins pour le vent réduit, D_m n'est plus théoriquement fonction que de l'amplitude des oscillations).

Si les conducteurs sont différents ou ont des coefficients de surcharge différents pour le vent réduit, il faut vérifier que le balancement synchrone des câbles (et donc, le principe de disposition en herse des supports) n'est pas remis en cause :

- si non, tenir compte de la différence d'angle de balancement des câbles sous le vent réduit;
- si oui, une étude particulière devra alors être effectuée.

DISTANCES DE TRAVAIL A 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 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".

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 oeuvre.

DISTANCES COMPLEMENTAIRES A RESPECTER RESERVEES AUX COULOIRS DE RACCORDEMENT AUX CENTRALES NUCLEAIRES

Ce paragraphe est réservée 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 support 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 support 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 support 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 de 3 mètres entre le support en question et la ligne d'alimentation des auxiliaires.

Ces prescriptions ne valent que pour le renversement des pylônes dont l'angle en ligne est supérieur à 5 grades, qu'ils soient de suspension, d'ancrage ou d'arrêt devant un poste. Elles ne concernent pas les pylônes d'angle inférieur ou égal à 5 grades ainsi que les pylônes d'arrêt aérosouterrains.

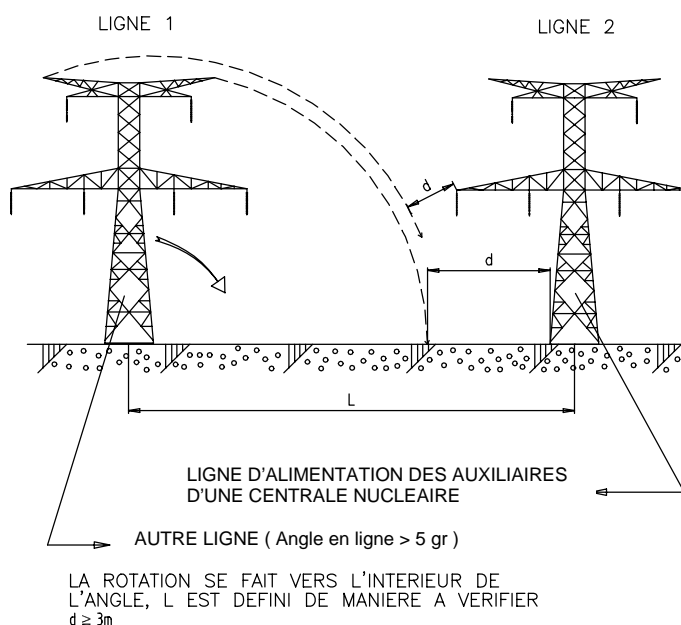


Figure 1 : Distance imposée par la rotation du support

4 - 2.8 Autres zones ou établissements

4 - 2.8.1 Pistes de ski et aires de rassemblement de skieurs

Les distances minimales (hauteurs en mètres au-dessus de la neige) suivantes doivent être respectées :

- les conducteurs à 30 °C sans vent:

Hauteurs en mètres au-dessus de la neige			
Portée courante			Grande portée (*)
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV	avec f = flèche médiane
6,00	7,00	8,00	$1,5 + 0,6 \sqrt{f} + t3$

(*) Les formules de calcul des distances applicables aux grandes portées ne sont retenues que si elles donnent des résultats supérieurs aux distances indiquées pour les portées courantes

- au "givre" **symétrique (zones à givre moyen ou lourd)** :

Hauteurs en mètres au-dessus de la neige		
63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
3,50	4,00	4,50

4 - 2.8.2 Téléphériques et remonte-pentes

On vérifie ici la position des conducteurs par rapport à la surface délimitant les installations fixes d'un téléphérique ou d'un remonte-pente, et par rapport à celle définie par le "gabarit cinématique" de ces engins et de leurs accessoires.

Déconseillé, le cas du croisement inférieur est néanmoins toléré.

CONDITIONS SANS GIVRE

Les vérifications obligatoires et leurs conditions (à prendre en compte pour les calculs des distances) sont les suivantes :

- CROISEMENT SUPERIEUR : à la "répartition",
- CROISEMENT INFERIEUR : pour la température de -20°C sans vent,
- VOISINAGE LATERAL : pour la température de 15°C et une pression de 300 Pa quelle que soit la zone de vent,
- BALANCEMENT DES CONDUCTEURS : pour la température de 30°C et la pression du "vent réduit".

Les distances à respecter par rapport aux téléphériques et remonte-pentes sont les suivantes (valeurs et formules en mètres) :

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

	63 ou 90 kV	225 kV	400 kV
CROISEMENT SUPERIEUR	$1 + 2 \frac{x}{a} (0,6 \sqrt{f} - 1) + t3$ <p>avec un minimum égal à</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 4,00 m 4,50 m 5,50 m </div>		
CROISEMENT INFERIEUR	$1 + 2 \frac{x}{a} (0,6 \sqrt{f} - 1) + t2$ <p>avec un minimum égal à</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 4,00 m 4,50 m 5,50 m </div>		
VOISINAGE LATERAL			
BALANCEMENT DES CONDUCTEURS			

Distances aux téléphériques et remonte-pentes

Pour l'application de la formule du tableau qui précède, les notations sont les suivantes :

a : longueur de la portée (mètres),

f : valeur maximale de la flèche (mètres) *de la portée* pour la température de "répartition" (*ce peut être la flèche médiane ou la flèche au point bas*),

x : distance au support le plus proche (mètres).

CONDITIONS AVEC GIVRE (zones à givre moyen ou lourd)

Les vérifications obligatoires et leurs conditions (à prendre en compte pour les calculs des distances) sont les suivantes :

1. CROISEMENT SUPERIEUR : au "givre",
2. CROISEMENT INFERIEUR : on doit considérer les câbles du téléphérique recouverts de givre, et les conducteurs au "vent nul".

Les distances minimales (en mètres) par rapport aux téléphériques et remonte-pentes sont les suivantes :

63 ou 90 kV	225 kV	400 Kv
4,00 m	4,50 m	5,50 m

Distances aux téléphériques et remonte-pentes au "givre"

Ces distances sont à vérifier aux hypothèses de givre symétrique et dissymétrique.

Des prescriptions relatives aux téléphériques et téléskis figurent au §4-2.11 en tant qu'elles s'appliquent aussi à certaines voies de communication.

4 - 2.8.3 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 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

4 - 2.8.4 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 1^{ère} 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 conducteurs en hypothèse « vent réduit ».

En cas de surplomb ou de voisinage immédiat des enceintes de ces établissements, les mesures définies au § 4-2.11 (« mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements ») doivent être appliquées.

4 - 2.8.5 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 3 « Dimensionnement électrique » § 3-5.6 (« 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 § 4-2.11 relatif aux « mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements » doivent être appliquées.

4 - 2.9 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.

4 - 2.10 Servitudes aéronautiques

Les servitudes aéronautiques sont destinées à assurer la protection d'un aéroport 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 aéroports :

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

Les servitudes aéronautiques de dégagement 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 radio-électriques 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 aéroports civils et militaires et de balisage des obstacles sont fixées par :

- un arrêté interministériel dont la dernière version est datée 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

- un arrêté interministériel du 10 juillet 2006 relatif aux caractéristiques de certains aérodromes terrestres utilisés par les aéronefs à voilure fixe.

Les définitions générales et les règles 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 référera à cette publication, et devra prendre contact avec les services responsables afin de définir précisément les limites de la servitude imposée aux lignes aériennes.

4 - 2.11 Mesures spéciales à certaines traversées et à certains croisements

A la traversée des voies de communication définies au chapitre 4-2.5.1, aux croisements par-dessus 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 supports 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 (sont considérés comme éprouvés les isolateurs en matériau composite des lignes 90 kV à encombrement réduit « LIERE »)
 - la ligne est protégée par des systèmes automatiques assurant l'extinction rapide de l'arc en cas de défaut
 - l'extrémité de la chaîne d'isolateurs comporte, côté conducteur, des cornes d'accrochage d'arc ou des anneaux pare-effluves
- à prévoir des bretelles de retenue ou un dispositif de protection du câble pour les conducteurs de sections suivantes :
 - câble homogène en alliage d'aluminium de section inférieure à 228 mm²
 - câble aluminium-acier ou alliage aluminium-acier de section inférieure à 147 mm²
 - câble cuivre de section inférieure à 75 mm²

4 - 2.12 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

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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 (Figure 3 et 4 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 5 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'autre du point de piquage (le support de piquage ne comporte pas ce dispositif),
- Angle important (supérieur à 80 grades) (Figure 5 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 support 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 support d'une plaque portant son numéro (chiffres noirs de 0,15 m sur fond jaune) :

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

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

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

Légendes et caractéristiques des plaques

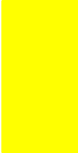



Identification des départs et des pylônes de piquage :	
	Nom du départ : lettres noires sur fond jaune support dimensionné pour 5 caractères taille des caractères : 15 cm
Identification (numérotation) des pylônes :	
	Numéro du pylône : chiffres noirs sur fond jaune support dimensionné pour 3 caractères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

Figure 2 : Récapitulatif des dispositifs de signalisation

Cas types

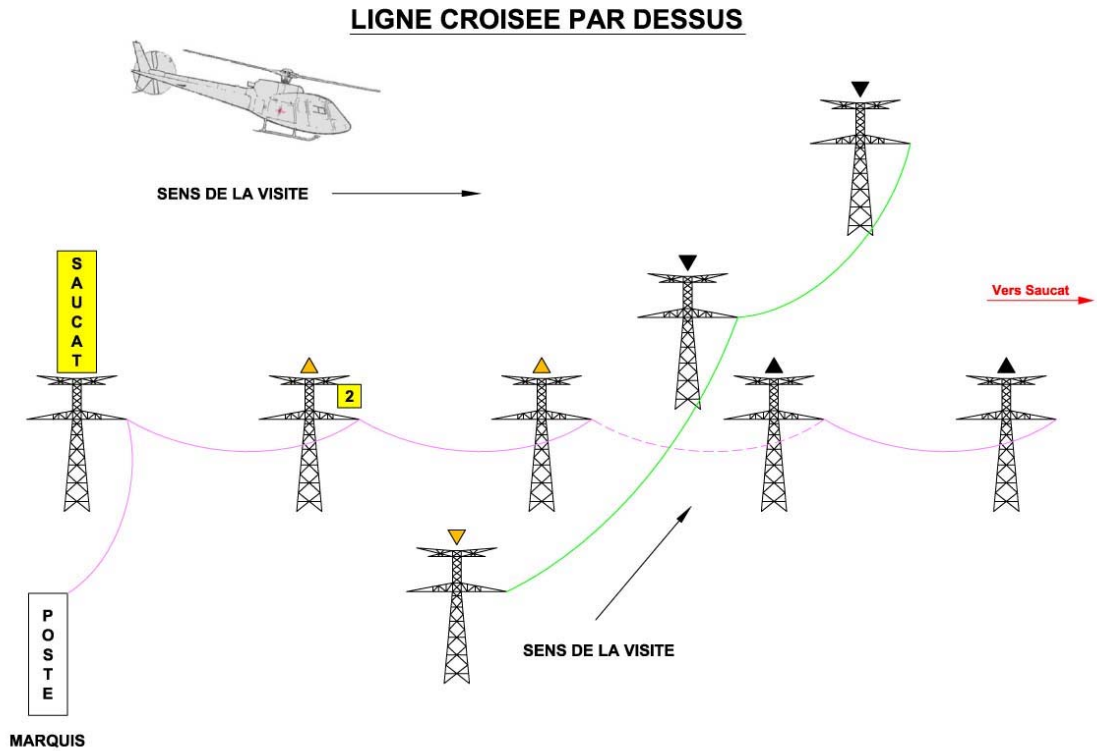


Figure 3 : Balisage des lignes croisées par dessus

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

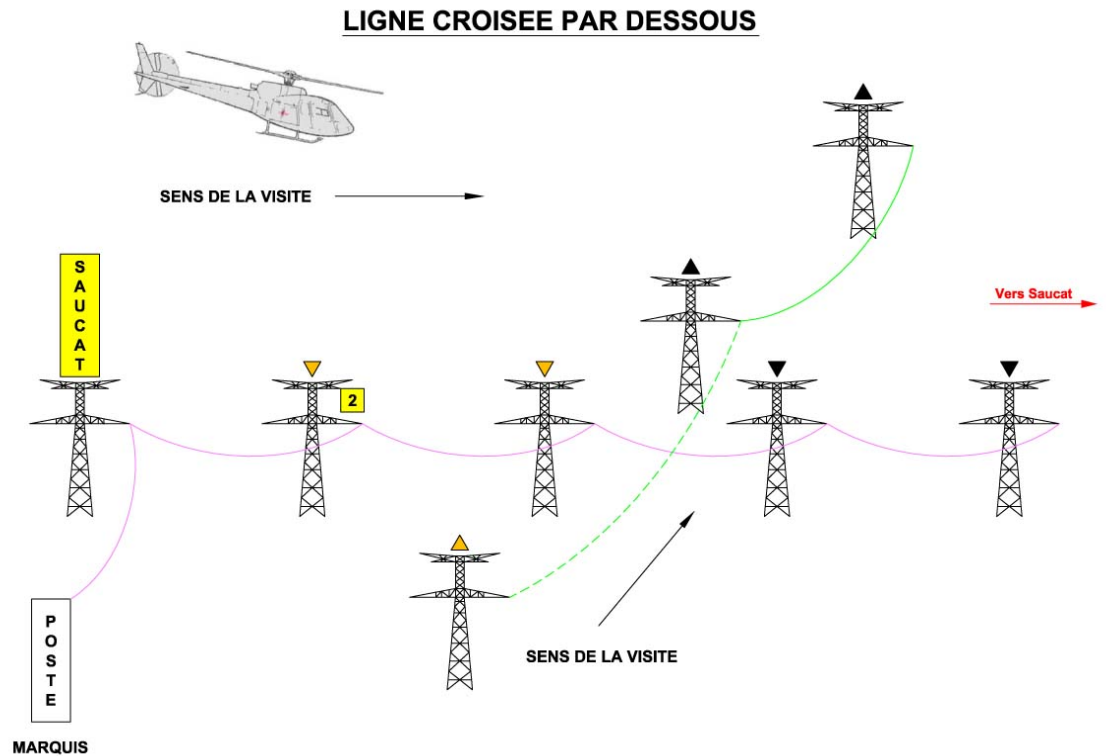


Figure 4 : Balisage des lignes croisées par dessous

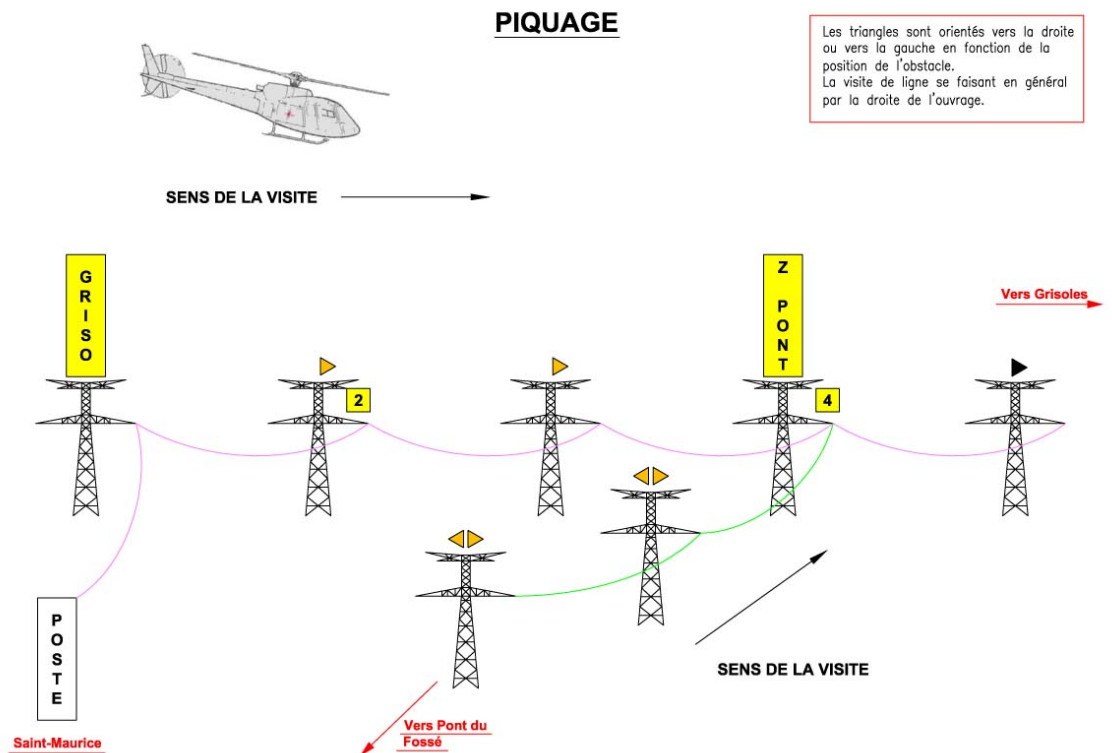


Figure 5 : Balisage des Piquages ou angles importants

4 - 3 DISTANCES INTERNES

4 - 3.1 Présentation

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

4 - 3.1.1 Principaux termes, définitions et symboles

DISTANCE "DE TENSION"

voir § 4-2.1.1

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.

4 - 3.2 Textes de référence

4 - 3.2.1 Réglementation

- NEANT

4 - 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.

4 - 3.3 Distances entre câbles

4 - 3.3.1 Vérification au vent

On ne vérifie ici que les distances à respecter entre les conducteurs eux-mêmes.

DISTANCE MINIMALE

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

$$t_1 \sqrt{3} + E_f$$

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

avec :

t_1 : voir §4-2.1.1,

Ef : écartement des câbles du faisceau éventuel,

- Ef = 0 pour un câble simple,
- Ef = 0,6 m ou 0,4 m, suivant le type du faisceau employé.

CALCUL DES DISTANCES REALISEES

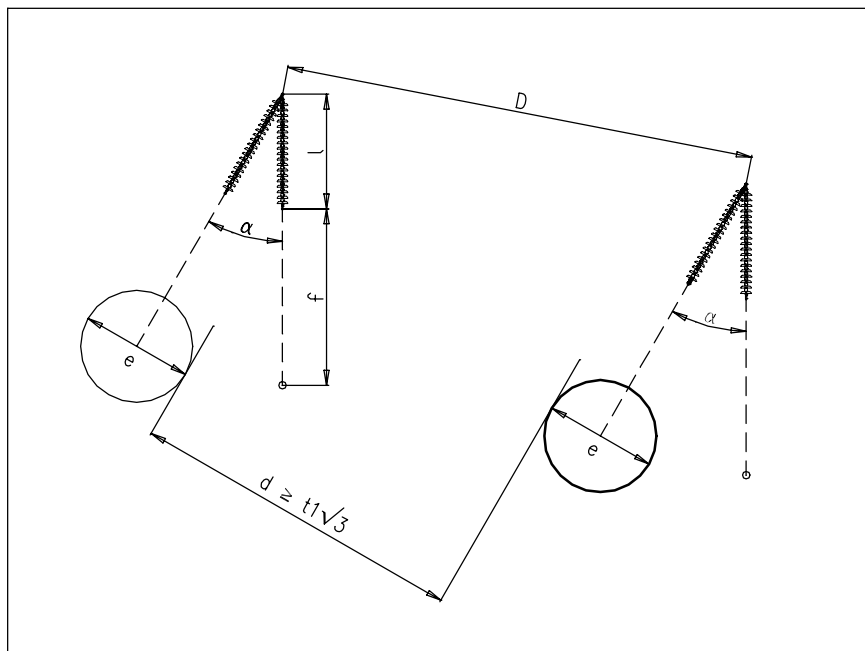


Figure 6 : Rapprochement des conducteurs sous vent réduit

D : distance séparant les axes des câbles en milieu de portée

e : amplitude des oscillations asynchrones 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

α : angle de balancement

Les mouvements des conducteurs soumis au vent sont modélisés par :

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

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

m' : coefficient de surcharge du câble en "vent réduit",

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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

$$\diamond \text{ pour } (f+l) \leq 80 \text{ m : } e = 0,6 \text{ m}' \sqrt{f+1} ,$$

$$\diamond \text{ pour } (f+l) > 80 \text{ m : } e = \text{m}' \left(\frac{(f+1)}{30} + 2,7 \right)$$

La distance réalisée d , entre les câbles, en "vent réduit", doit respecter la condition :

$$d = D - e \geq t_1 \sqrt{3} + Ef$$

Dans certains cas particuliers comme par exemple les changements d'armement, on se référera 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 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 conducteurs identiques car l'effet du vent n'est pas le même pour chacun des câbles (balancements asynchrones, inclinaisons différentes pour une même vitesse de vent).

La distance réalisée d entre les câbles en "vent réduit" devient :

$$d = D - e - (f+l) (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$$

$(f+l) (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$: distance correspondant à la différence des amplitudes de balancement de chaque chaînette sous le "vent réduit" (α_1 et α_2 sont les angles de balancement des conducteurs avec $\alpha_1 > \alpha_2$),

m' : la plus grande valeur des deux coefficients de surcharge en "vent réduit",

t_1 : distance de tension pour la plus grande des tensions nominales,

$(f+l)$: flèche médiane de la portée, pour le paramètre de répartition, augmentée de la longueur de chaîne (valeur la plus grande des deux lignes).

4 - 3.3.2 Vérification au givre

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

DISTANCES MINIMALES

Les distances minimales à respecter pour les câbles d'une même ligne sont:

- entre conducteurs : $t_1 \sqrt{3} + Ef$
- entre conducteur et câble de garde : $t_1 + \frac{Ef}{2}$

VERIFICATION ENTRE CONDUCTEURS

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

$$t_1 \sqrt{3} + Ef$$

Cette vérification est à effectuer dans les conditions suivantes :

- le conducteur supérieur est recouvert de l'épaisseur de givre N retenue pour le calcul de l'ouvrage (voir partie 2 « 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 conducteur (voir partie 2 « Dimensionnement mécanique »).

- le 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 CONDUCTEUR ET CÂBLE DE GARDE

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

$$t_1 + \frac{Ef}{2}$$

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 2 « 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 2 « Dimensionnement mécanique »).

- le conducteur est recouvert d'une épaisseur de givre de N/4 cm, et sa température est de - 5°C en l'absence de vent.

VERIFICATION A LA DECHARGE 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 conducteurs : $t_1 \sqrt{3} + Ef$
- entre conducteur et câble de garde : $t_1 + \frac{Ef}{2}$

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

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

b) VERIFICATION A LA DECHARGE DE GIVRE

Pour chaque couple de câbles (conducteur-conducteur ou 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:

- $t_1 \sqrt{3} + E_f$ entre axes des phases ou faisceaux
- $t_1 + \frac{E_f}{2}$ entre axe d'une phase ou faisceau et 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 2 « 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);

4 - 3.3.3 Vérification en régime de court-circuit

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

DISTANCES MINIMALES

Les distances minimales à respecter sont :

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

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 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 $\theta + 20^\circ\text{C}$ et du conducteur à 45°C , où :

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- 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 3 « Dimensionnement électrique »,
- 20°C représente la température ambiante
- la température de 45°C s'applique uniquement pour les conducteurs définies par la norme EN 50182 : conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier, ainsi que les câbles dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins ronds au centre et de brins de forme sur la couche extérieure : câbles de type Azalée utilisés par RTE. Pour les autres 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.

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 pendant le phénomène en question.

b) DEPLACEMENT DES CABLES 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 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 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 terme 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 I_{CC} , 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 support, ce dernier se situe dans ce cas entre le lieu du défaut et le poste source qui participe à I_{CC} .

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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 2 « dimensionnement mécanique »); température des conducteurs avant défaut de 45°C (*). 2. absence de vent; température des conducteurs avant défaut de 45°C (*).

Conditions communes à tous les niveaux de tension.

(*) Cette température de 45 °C ne s'applique qu'aux conducteurs définies dans la norme EN 50182 (conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) ainsi qu'aux conducteurs dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins ronds au centre et de brins de forme sur la couche extérieure (câbles de type Azalée utilisés par RTE). Pour les autres conducteurs, la température sera précisée dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières de l'ouvrage.

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 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 géométriques	- 120 ms - pour les distances entre câbles et à la masse, défaut correctement éliminé	- 120 ms - pour les distances entre câbles et à la masse, défaut correctement éliminé	- 120 ms pour les distances entre conducteurs du circuit en défaut - 120 ms / de 2 à 5 s (*) / 90 ms (réenclenchement lent) pour les distances entre conducteurs de circuits différents ou entre conducteur et masse (ou 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 pour les distances entre conducteurs du circuit en défaut - 210 ms / de 4,5 à 5,5 s (*) / 150 ms (réenclenchement lent) pour les distances entre conducteurs de circuits différents ou entre conducteurs et masse (ou câble de garde) - 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.

4 - 3.4 Distance à la masse

Ce sont les distances entre la masse d'un support et l'une quelconque des pièces sous tension de l'ouvrage (câbles, extrémité de chaînes isolantes, bretelles de continuité, contrepoids...).

Elles doivent être vérifiées en "vent nul" (voir § 4-2.3), en "vent réduit" (voir § 4-2.3), et, en complément dans le cas des supports 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

4 - 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 *multitermes* : 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.

4 - 3.5.1 Travaux dans l'environnement de la tension

Pour les lignes multitermes, 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,

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- ◇ 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 :
 - ◇ 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 consignait 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 conducteurs et câbles de garde est de 60 Pa.

1) Distances masse pour tous pylônes treillis

Un monteur peut travailler dans un fût, côté tene 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

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

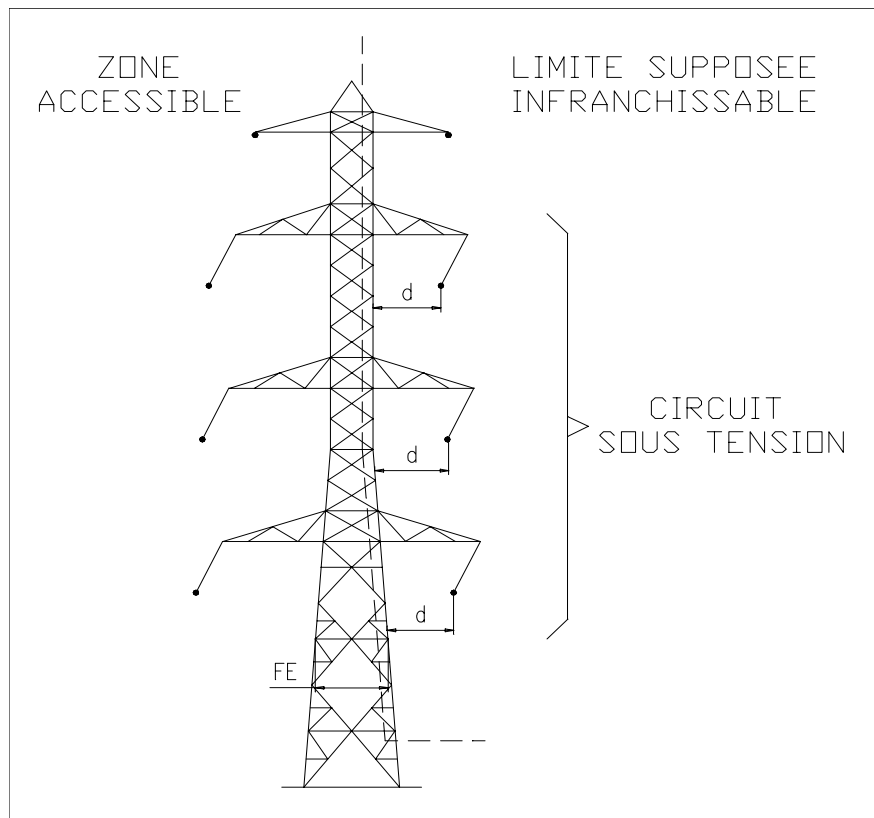


Figure 7 : Travaux à proximité de la tension

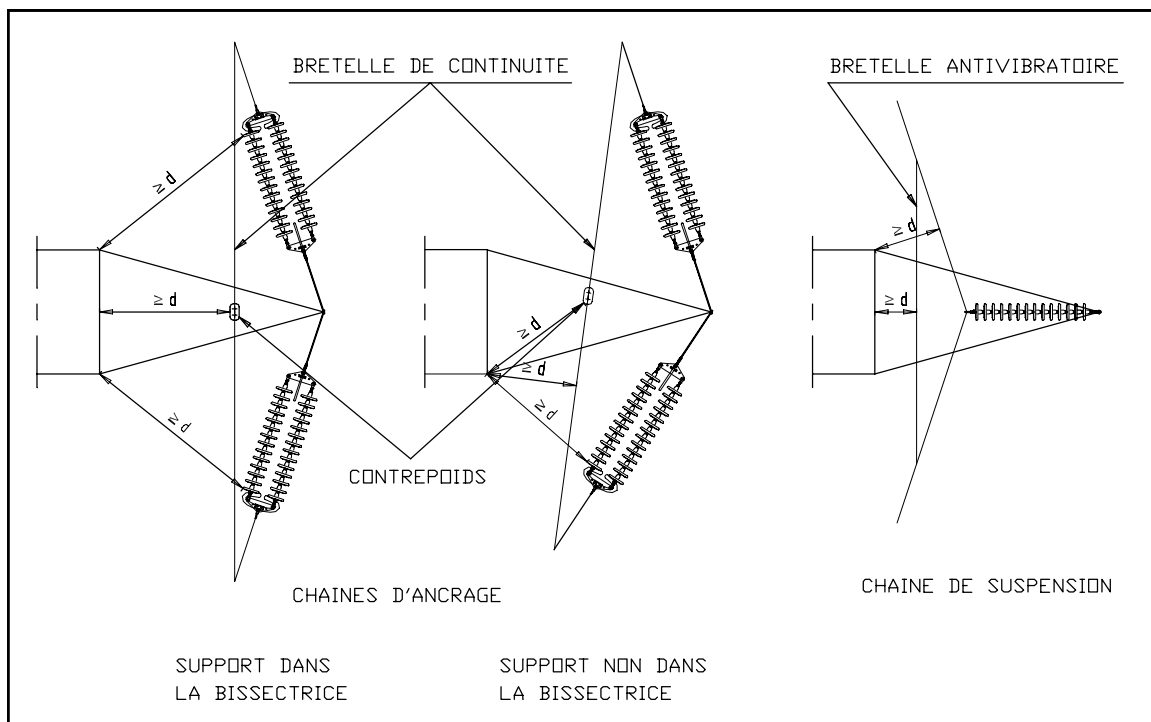


Figure 8 : Travaux à proximité de la tension chaînes isolantes

Les distances à la masse verticales doivent satisfaire aux conditions normales indiquées précédemment au § 4-3.4.

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

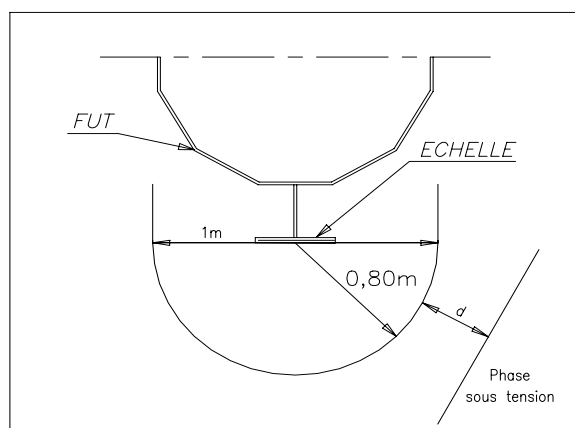


Figure 9 : Zone d'évolution lors de l'ascension des pylônes monopode

4 - 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 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

Distance 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.

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

- la longueur de la suspension du 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.

CAHIER DES CHARGES GENERAL LIGNES AERIENNES HTB (CCG - LA)

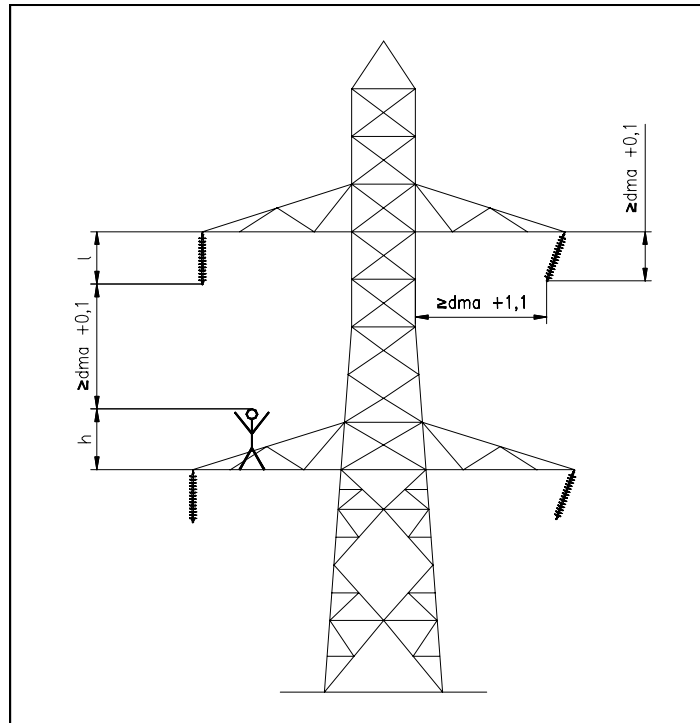


Figure 10 : Pylône présentant des consoles superposées

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 multitermes) 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.

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.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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 :

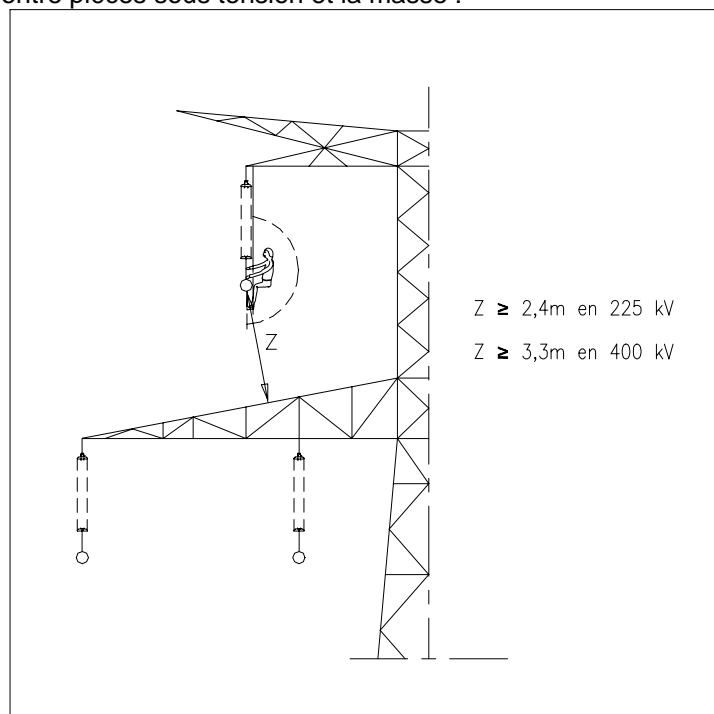


Figure 11 : Distance entre pièce sous tension et masse

CAHIER DES CHARGES GENERAL LIGNES AERIENNES HTB (CCG - LA)

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

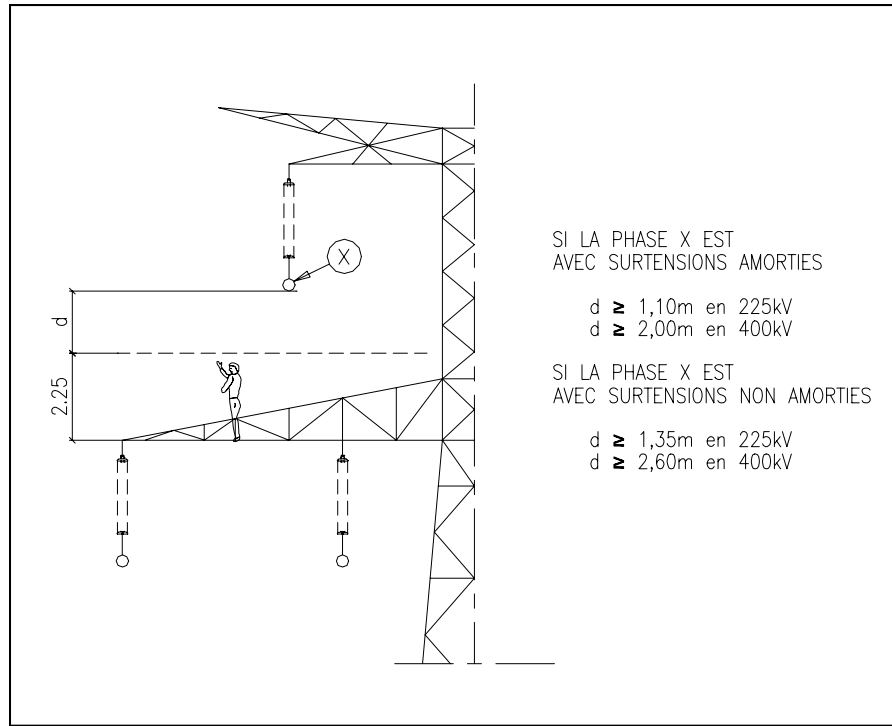


Figure 12 : Distance verticale avec monteur

Ascension du support

Lors de l'ascension 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 :

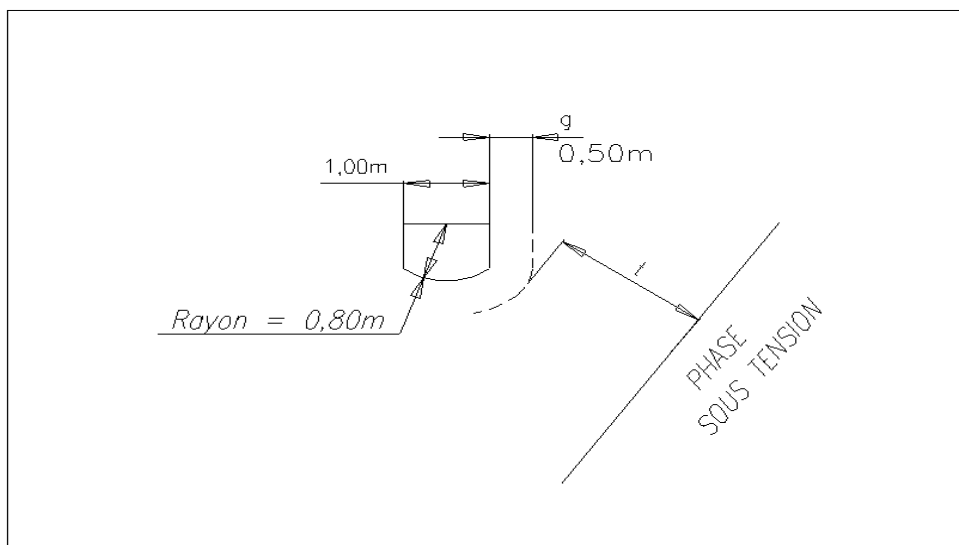


Figure 13 : Zone d'évolution du monteur

Partie 5 SUPPORTS

5 - 1 INTRODUCTION

Cette partie définit les exigences techniques auxquelles doivent répondre les supports de lignes aériennes HTB.

Elle est organisée en dix chapitres :

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

5 - 1.1 Principaux termes, définitions et symboles

Le terme de support regroupe des structures variées, qu'il s'agisse de pylônes, portiques ou poteaux.

Le terme de pylônes est plus particulièrement destiné aux structures multipodes, celui de poteaux aux supports monopodes.

Un support 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 support ; il est subdivisé en tronçons successifs,
- les consoles permettent l'accrochage des conducteurs ; elles sont généralement fixées au fût,
- les chevalets permettent l'accrochage des câbles de garde,
- les embases assurent la liaison entre le support et la fondation.

5 - 1.2 Fonctionnalité principale

Les supports ont pour rôle de soutenir les câbles 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.

5 - 1.3 Notion de famille de supports

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

On distingue essentiellement les familles de supports suivantes :

- les supports métalliques treillis,

- les supports monopodes métalliques,
- les supports en béton,
- les supports en bois,
- les supports haubanés.

Les supports aérosouterrains constituent une variante sur la base d'un support appartenant à l'une des familles précitées.

Tous les ouvrages du Réseau Public de Transport devront utiliser des familles de supports qualifiées par RTE.

5 - 2 TEXTES DE REFERENCE

5 - 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.
- Décret n° 65-48 du 8 janvier 1965 et textes d'application, modifié par le décret n° 95-608 du 6 mai 1995, relatif aux mesures particulières de protection et de salubrité applicables aux établissements dont le personnel exécute des travaux du bâtiment, des travaux publics et tous autres travaux concernant les immeubles.
- Décret n° 2004-924 du 1^{er} septembre 2004 relatif à l'utilisation des équipements de travail mis à disposition pour des travaux temporaires en hauteur et modifiant le décret n° 65-48 du 8 janvier 1965

5 - 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.

5 - 3 REGLES GENERIQUES

Les règles énoncées dans ce paragraphe sont communes aux familles de supports définies dans le § 5-1.3.

Les spécificités propres à chaque famille sont traitées dans les paragraphes respectifs (§ 5-4 à 5-9).

5 - 3.1 Règles de conception

5 - 3.1.1 Généralités

Aspect traité dans les § 5-4 à 5-9.

5 - 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 § 5-4 à 5-9.

5 - 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 conducteurs et câbles de garde).

- **Charges dues aux 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 2 « Dimensionnement mécanique ».

Ils sont appliqués aux points d'accrochage des câbles, définis pour chaque support.

- **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 2 « 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 le support (100 daN si monteur seul, 300 daN si monteur sur échelle),
- le levage du support (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.

Les supports utilisés seront des supports qualifiés par RTE.

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 2 « Dimensionnement mécanique »).

Calcul de flèche

La flèche des supports monopodes métalliques, en béton et en bois doit être calculée. Les valeurs maximales à respecter sont précisées respectivement dans les § 5-5.1.3, 5-6.1.3 et 5-7.1.3.

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

Des compléments sont apportés dans les § 5-4 à 5-9.

5 - 3.1.4 Dimensionnement géométrique

Le dimensionnement d'un support doit respecter les contraintes géométriques imposées par la tenue diélectrique des supports (application pratique des règles d'isolement) 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 du support (notamment longueur de consoles ou espacement entre celles-ci) ; elles font l'objet de la partie 4 « Dimensionnement géométrique ».

5 - 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.

5 - 3.1.6 Anti-corrosion et finition

Les supports doivent être protégés 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 § 5-6.1.6 et 5-7.1.6.

5 - 3.1.7 Marquage - Identification

a) Marquage

Les différentes pièces constitutives du support, 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 supports doivent être identifiés et numérotés durablement.

5 - 3.1.8 Interchangeabilité - interface

a) Interface support / câbles

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

Ces aménagements doivent être :

- communs à chaque type de supports : ancrage ou suspension,
- compatibles avec les dispositifs de connexion à la charpente spécifiés dans la partie 7 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

b) Interface support / fondation

La liaison entre le support 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 6 « Fondations ».

5 - 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 supports métalliques doivent être mis à la terre. Aussi, ils 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 le support, soit par des aménagements appropriés.

Toutes les parties métalliques constituant un support doivent également être reliées à la terre.

Des compléments sont apportés dans la partie 3 « Dimensionnement électrique ».

5 - 3.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

a) Ascension

Les supports doivent être munis 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 aux articles 5 et 16 du décret du 8 janvier 1965 et aux modifications apportées par le décret n° 2004-924 du 1er septembre 2004 relatif à l'utilisation des équipements de travail mis à disposition pour des travaux temporaires en hauteur.

Aussi, les supports doivent être équipés 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 supports 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 supports (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 supports 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 le support.

b) Montage et maintenance

Des dispositifs doivent être prévus sur les supports afin de :

- faciliter le montage et le levage des supports,

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- 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 § 5-8.1.10.

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 à 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.

5 - 3.2 Essais

Afin de valider la résistance mécanique calculée d'une famille de supports, 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 supports 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.

Des compléments sont apportés dans le § 5-6.2 pour les supports en béton et le § 5-7.2 pour les supports en bois.

5 - 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 § 5-5.3 et 5-8.3.

5 - 4 SUPPORTS METALLIQUES TREILLIS

5 - 4.1 Règles de conception

5 - 4.1.1 Généralités

Les supports (ou 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.

5 - 4.1.2 Matériaux

Aspect traité dans le § 5-3.1.2.

5 - 4.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité dans le § 5-3.1.3.

5 - 4.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 5-3.1.4.

5 - 4.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 5-3.1.5.

5 - 4.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité dans le § 5-3.1.6.

5 - 4.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 5-3.1.7.

5 - 4.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 5-3.1.8.

5 - 4.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 5-3.1.9.

5 - 4.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 5-3.1.10.

5 - 4.2 Essais

Aspect traité dans le § 5-3.2.

5 - 4.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 5-3.3.

5 - 5 SUPPORTS MONOPODES METALLIQUES

5 - 5.1 Règles de conception

5 - 5.1.1 Généralités

Les supports monopodes métalliques sont constitués d'un fût et de consoles, réalisés en tubes en acier.

Les fûts peuvent être composés de plusieurs tronçons emboîtés.

5 - 5.1.2 Matériaux

Aspect traité dans le § 5-3.1.2.

5 - 5.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.3.

Calcul de flèche

La flèche maximale ne doit pas excéder 4,5 % et 6 % de la hauteur hors sol du support 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 le support 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.

5 - 5.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 5-3.1.4.

5 - 5.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 5-3.1.5.

5 - 5.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité dans le § 5-3.1.6.

5 - 5.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 5-3.1.7.

5 - 5.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 5-3.1.8.

5 - 5.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 5-3.1.9.

5 - 5.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 5-3.1.10.

5 - 5.2 Essais

Aspect traité dans le § 5-3.2.

5 - 5.3 Assemblage - Levage

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.3.

Dans le cas de tronçons emboîtés, la détermination des efforts d'emboîtement doit prendre en compte les charges appliquées au support afin de respecter les contraintes de dimensionnement géométrique définies dans le § 5-3.1.4.

5 - 6 SUPPORTS EN BETON

5 - 6.1 Règles de conception

5 - 6.1.1 Généralités

Les supports en béton (ou 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.

5 - 6.1.2 Matériaux

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.2.

Les bétons et armatures en acier utilisés doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 50341.

5 - 6.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.3.

Calcul de flèche

La flèche maximale doit être conforme aux exigences de la norme NF EN 50341

5 - 6.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 5-3.1.4.

5 - 6.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 5-3.1.5.

5 - 6.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.6.

Les épaisseurs d'enrobage des armatures doivent être conformes aux prescriptions normatives citées dans la norme NF EN 50341.

5 - 6.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 5-3.1.7.

5 - 6.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 5-3.1.8.

5 - 6.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 5-3.1.9.

5 - 6.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 5-3.1.10.

5 - 6.2 Essais

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.2.

La définition du programme d'essais spécifique aux supports en béton doit être conforme aux prescriptions normatives citées dans la norme NF EN 50341.

5 - 6.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 5-3.3.

5 - 7 SUPPORTS EN BOIS

5 - 7.1 Règles de conception

5 - 7.1.1 Généralités

Les supports en bois (ou poteaux bois) sont constitués d'un fût réalisé en bois et de consoles réalisées en bois ou en acier.

5 - 7.1.2 Matériaux

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.2.

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.

5 - 7.1.3 Dimensionnement mécanique

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.3.

Calcul de flèche

La flèche maximale doit être conforme aux exigences de la norme NF EN 50341

5 - 7.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 5-3.1.4.

5 - 7.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 5-3.1.5.

5 - 7.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.6.

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.

5 - 7.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 5-3.1.7.

5 - 7.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 5-3.1.8.

5 - 7.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 5-3.1.9.

5 - 7.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité dans le § 5-3.1.10.

5 - 7.2 Essais

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.2.

Les composants en bois doivent impérativement faire l'objet d'essai mécanique pour l'obtention de la contrainte de rupture moyenne.

5 - 7.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 5-3.3.

5 - 8 SUPPORTS HAUBANES

5 - 8.1 Règles de conception

5 - 8.1.1 Généralités

Les supports haubanés sont constitués d'une structure 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 7 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

5 - 8.1.2 Matériaux

Les matériaux des structures de base doivent être conformes aux exigences des § 5-4 à 5-7 apparentés.

Les caractéristiques des haubans et de leurs accessoires doivent être conformes aux exigences du § 7-4 de la partie 7 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

5 - 8.1.3 Dimensionnement mécanique

Les structures de base doivent être dimensionnées conformément aux exigences des § 5-4 à 5-7 apparentés.

Dimensionnement mécanique des haubans

Les haubans sont dimensionnés de la même façon que les éléments constitutifs d'un support (aspect traité dans le § 5-3.1.3).

5 - 8.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité dans le § 5-3.1.4.

5 - 8.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 5-3.1.5.

5 - 8.1.6 Anti-corrosion et finition

Aspect traité dans le § 5-3.1.6.

5 - 8.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 5-3.1.7.

5 - 8.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité dans le § 5-3.1.8.

5 - 8.1.9 Mise à la terre

Aspect traité dans le § 5-3.1.9.

5 - 8.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.10.

Des compléments sont apportés dans la partie 7 « Câbles, matériels de ligne, haubans ».

5 - 8.2 Essais

Aspect traité dans le § 5-3.2.

5 - 8.3 Assemblage - Levage

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.3.

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.

5 - 9 SUPPORTS AEROSOUTERRAINS

5 - 9.1 Règles de conception

5 - 9.1.1 Généralités

Un support aérosouterrain est l'élément de transition entre une ligne aérienne et une ligne souterraine.

Il est constitué d'une structure de base (pylône treillis, monopode métallique, poteaux bois ou béton) qui comporte des adaptations permettant l'installation de matériels spécifiques :

- **Boîtes d'extrémité** (exigences définies dans le Cahier des Charges Général - Lignes Souterraines) :

Elles assurent le lien entre câble 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 support.

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 doit respecter les limites mécaniques prescrites par le câblage.

- **Matériel d'équipement pour le raccordement aérien** (exigences définies dans la partie 7 « Câbles, matériels de ligne, haubans ») :

Le raccordement électrique doit être assuré entre les 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).

- **Matériel BT** :

Les matériels HT installés sur les supports aérosouterrains 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 supports 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 un support aérosouterrain peut être installé :

- soit sur une plate-forme rapportée sur le fût,
- soit directement sur les consoles, moyennant des adaptations.

5 - 9.1.2 Matériaux

Les matériaux des structures de base doivent être conformes aux exigences des § 5-4 à 5-7 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 § 5-3.1.2.

5 - 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 2 « 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 du support. C'est cette longueur de câble qui sera reprise par le balcon en phase chantier, avant fixation du câble le long du fût du support.

- **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 4 et 6 cm : la surcharge de givre sur le balcon est prise égale à 350 daN / m²

b) appliquée à la structure de la plate-forme :

La prise en compte du givre se fait conformément à la partie 2 « 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 2 « Dimensionnement mécanique ».

- **Hypothèse de vent**

On considère l'hypothèse de vent définie dans la partie 2 « 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 2 « 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 § 5-3.1.3.

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 leur charges propres (comme définies au § 5-3.1.3) et aux efforts dus aux matériels. Ils doivent être vérifiés dans les hypothèses définies dans la partie 2 « 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 § 5-3.1.3-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 § 5-3.1.3-b.

5 - 9.1.4 Dimensionnement géométrique

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.4.

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 § 5-3.1.4.

On tiendra compte des gabarits des différents matériels installés sur le support aérosouterrain.

A ces dispositions s'ajoutent certaines particularités spécifiques aux supports aérosouterrains :

- 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 support 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 § 4-2 de la partie 4 « Dimensionnement géométrique ».

5 - 9.1.5 Durabilité

Aspect traité dans le § 5-3.1.5.

5 - 9.1.6 Anticorrosion et finition

Aspect traité dans le § 5-3.1.6.

5 - 9.1.7 Marquage - Identification

Aspect traité dans le § 5-3.1.7.

5 - 9.1.8 Interchangeabilité - interface

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.8.

Toutefois, les supports 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.

5 - 9.1.9 Mise a la terre

Aspect traité dans le § 5-3.1.9.

5 - 9.1.10 Aménagements relatifs au montage et à la maintenance

Aspect traité partiellement dans le § 5-3.1.10.

D'autre part, dans le cas de la présence d'une plate-forme sur le fût du support et pour assurer la sécurité des personnes y intervenant, elle devra être équipée d'un caillebotis et d'un garde-corps amovible répondant :

- aux articles 141 à 145 du décret du 8 janvier 1965,
- 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 du support le long des membrures équipées des dispositifs d'assujettissement.

5 - 9.2 Essais

Aspect traité dans le § 5-3.2.

5 - 9.3 Assemblage - Levage

Aspect traité dans le § 5-3.3.

5 - 10 AUTRES SUPPORTS

Les autres supports doivent être conçus conformément aux exigences des § 5-3 à 5-9 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.

Partie 6 FONDATIONS

6 - 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 6-1 « Introduction » rappelle les principales définitions générales de fondations
- le chapitre 6-2 « Textes de référence » est relatif aux textes réglementaires et normatifs et autres textes liés aux règles de l'art
- le chapitre 6-3 « Règles génériques » définit les règles de conception génériques à toutes les familles de fondations
- les chapitres 6-4, 6-5 viennent compléter le chapitre 6-3 en décrivant les spécificités propres à chaque famille de fondations, respectivement les fondations superficielles et les fondations spéciales.

6 - 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.

6 - 1.2 Fonctionnalité principale

Une fondation est un ouvrage enterré dont le rôle est d'ancrer dans le sol la superstructure constituée par le support des conducteurs et des câbles de garde, et d'en assurer la stabilité sous les sollicitations appliquées à l'ouvrage (cf. partie 2 « dimensionnement mécanique »).

6 - 1.3 Notion de famille de fondations

On distingue deux grandes catégories de fondations :

- les fondations superficielles appelées aussi massifs,
- les fondations spéciales ou profondes.

Une distinction est ensuite faite suivant le type de support tétrapode ou monopode.

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.
- 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'Equipeement, 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.

6 - 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.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

➤ **Essais de fondation**

- * NF EN 61773 : Lignes aériennes : essais de fondations des supports.

6 - 2.3 Autres documents de référence, règles de l'art

Règles CM 66 et additif 80 - Règle de calcul des constructions en acier.

6 - 3 REGLES GENERIQUES

Les règles énoncées dans ce paragraphe sont communes aux fondations superficielles et spéciales.

6 - 3.1 Règles de conception

6 - 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 §6-2. 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.

6 - 3.1.2 Matériaux

Les matériaux mis en oeuvre 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.

6 - 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 :

- 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.

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	$S_{C,Gi} = V'_{C,Gi}$	$H_{Gi} = H'_{Gi}$, $L_{Gi} = L'_{Gi}$	$M_{H,Gi} = M'_{H,Gi}$, $M_{L,Gi} = M'_{L,Gi}$

Tableau : Détermination des sollicitations

c) Conditions à respecter

Les conditions à respecter dépendent du type de fondation et sont présentées dans les paragraphes 6-4.2.3, 6-4.3.5, 6-5.1.5.

6 - 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.

6 - 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.

6 - 3.1.6 Interface support / fondation

La liaison entre le support et la fondation peut être réalisée soit au moyen d'éléments intermédiaires (embases, cage d'écureuil), soit par scellement direct.

6 - 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...).

Des compléments sont apportés dans la partie 3 « dimensionnement électrique ».

6 - 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.

6 - 3.3 Mise en oeuvre

La mise en oeuvre 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 oeuvre doit être établi et inclure les tolérances de mise en oeuvre (par exemple : réglage d'embase, fouille, dimension des fondations).

6 - 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.

6 - 4 FONDATIONS SUPERFICIELLES

6 - 4.1 Généralités

6 - 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).

6 - 4.1.2 Tenue géotechnique

➤ Déjaugage

Le déjàugage 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.

6 - 4.1.3 Tenue intrinsèque

Le calcul de la tenue intrinsèque de la fondation est basé sur le BAEL (Cf. § 6-2) 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.

6 - 4.2 Fondations superficielles pour support tétrapode

6 - 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 Q_{ft} comme étant la somme du poids propre de la fondation P_t et de la résistance au cisaillement du sol Q_1 au droit du massif.

➤ 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,

$d > 2D \tan(\phi/4)$ avec **D** profondeur de la fondation, ϕ angle de frottement interne du sol,

il 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, 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.

6 - 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.

6 - 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 $> S_{A,i}$** 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.

6 - 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.

6 - 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 ferrailée et sa tenue justifiée par une note de calcul.

6 - 4.3 Fondations superficielles pour support monopode

6 - 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 § 6-2. 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.

$$\alpha = \Sigma \text{Moments résistants} / \Sigma \text{Moments renversants.}$$

6 - 4.3.2 Tenue intrinsèque

La tenue intrinsèque du massif doit être justifiée.

6 - 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.

6 - 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 le support.

6 - 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**

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

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.

6 - 5 FONDATIONS SPECIALES

6 - 5.1 Généralités

6 - 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.

6 - 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. Leur emploi est de plus 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.

6 - 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.

6 - 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. § 6-2). La prise en compte de la corrosion du profilé métallique doit être effectuée pour la durée de vie de l'ouvrage précisée au § 6-3.1.4.

6 - 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** > **S_{Ai}** avec i dans [V, F, Gi, Ac].
à la compression, **Tenue géotechnique à la compression** > **S_{ci}** avec i dans [V, F, Gi, Ac].

Le déplacement en tête de la fondation ne doit pas dépasser les valeurs admissibles.

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.

6 - 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.

6 - 5.3 Fondations spéciales pour support monopode

6 - 5.3.1 Monopieu

Les méthodes de calcul utilisées doivent modéliser le pieu comme une poutre continue reposant sur un appui élastique.

6 - 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.

Partie 7 CABLES, MATERIELS DE LIGNE, HAUBANS

7 - 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 7.2 définit les règles de conception pour les conducteurs, câbles de garde et câbles à fibres optiques
- le chapitre 7.3 définit les caractéristiques que doivent satisfaire les chaînes et pièces pour conducteurs et câbles de garde, les matériels divers pour l'identification, la signalisation et la mise à la terre
- le chapitre 7.4 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 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.

7 - 2 CABLES : CONDUCTEURS, CABLES DE GARDE, CABLES A FIBRES OPTIQUES

7 - 2.1 Présentation

Le présent chapitre définit les caractéristiques et les exigences auxquelles doivent répondre les conducteurs nus (conducteurs ou câbles de garde) et les conducteurs à fibres optiques (CFO) constituant les lignes aériennes HTB

7 - 2.1.1 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

7 - 2.2 Textes de référence

7 - 2.2.1 Réglementation

- l'Arrêté Technique relatif aux conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique (articles « Identification », « Mise à la terre et liaisons équipotentiels », « 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
- la note d'Instruction Technique sur les Aérodomes Civils - Fascicule 9 - 4^{ème} partie – Chapitre 3 relatif au balisage

7 - 2.2.2 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 propre à ce matériel.

7 - 2.3 Fonctionnalités principales

Les 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 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 boîtiers d'épissures assurent le logement des jonctions de fibres provenant de deux à trois CFO, ou d'un CFO et d'un câble optique souterrain, et la protection de ces raccordements vis à vis des contraintes extérieures. Ils doivent également pouvoir accueillir un Câble Optique Enroulé.

7 - 2.4 Règles de conception

7 - 2.4.1 Spécifications générales

Les conducteurs, les câbles de garde et les câbles à fibres optiques doivent être qualifiés par RTE.
En outre les conducteurs doivent présenter :

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- 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 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.

Pour les CFO :

- les CFO doivent pouvoir supporter sans dégradation des caractéristiques du module optique les contraintes d'échauffement en régime de secours et en régime de court-circuit définies dans la partie 3 « 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 composants 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.

7 - 2.4.2 Matériaux

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 pour les conducteurs nus, une graisse de protection anti-corrosion est utilisée pour les câbles à fibres optiques

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

Le fournisseur devra s'engager sur la DMACC et la TMACC pour chaque élément constitutif du module optique.

Boîtier 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.

7 - 2.4.3 Dimensionnement mécanique

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.

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.

7 - 2.4.4 Dimensionnement électrique

Les caractéristiques électriques des conducteurs, ainsi que les méthodes de calculs associées, sont définies dans la norme EN 50182.

7 - 2.4.5 Durabilité

Les conducteurs, 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.

7 - 2.4.6 Anticorrosion et finition

Graisse

Les dispositions exposées ci-dessous concernent les conducteurs définis dans la norme EN 50182 (conducteurs à brins ronds en aluminium, en aluminium-acier, en alliage d'aluminium et en alliage d'aluminium-acier) ainsi que les câbles dits à économie d'énergie en almélec constitués de brins circulaires au centre et de brins de forme sur la couche extérieure (câbles 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.

Les couches intérieures des câbles doivent être recouvertes d'une graisse neutre vis-à-vis des brins en aluminium, en alliage d'aluminium et en acier zingué et chimiquement pure.

De plus, les dispositions suivantes doivent être appliquées :

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- la couche extérieure des conducteurs de lignes aériennes HTB ne doit pas être graissée, afin d'éviter de trop fortes pertes par effet Couronne,
- la graisse doit avoir un point de goutte supérieur à 105°C.

Par ailleurs, sur un échauffement de très courte durée (court-circuit), la graisse doit pouvoir conserver ses caractéristiques.

7 - 2.4.7 Interchangeabilité - interface

Les boîtiers d'épissures doivent permettre le raccordement de :

- deux CFO
- trois CFO (point de piquage)
- jusqu'à deux CFO et un câble de prolongement (câble optique souterrain)

7 - 2.4.8 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.

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.

7 - 2.4.9 Caractéristiques des fibres optiques et boîtiers d'épissure

Module optique

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:
 - * $\leq 0,35$ dB/km à 1310 nm
 - * $\leq 0,22$ dB/km à 1550 nm
 - Affaiblissement linéique moyen de l'ensemble des fibres optiques du câble :
 - * $\leq 0,35$ dB/km à 1310 nm
 - * $\leq 0,22$ dB/km à 1550 nm
 - Longueur d'onde de coupure maximale sur fibre nue :
 - * < 1280 nm
 - Dispersion chromatique :

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- * < 18 ps/nm.km à 1550 nm
- Dispersion de mode de polarisation (PMD) maximale mesurée :
 - * ≤ 0,2 ps/km^{1/2} à 1550 nm
- Dispersion moyenne de mode de polarisation (PMD) moyenne mesurée :
 - * < 0,10 ps/km^{1/2} à 1550 nm

Boîtier d'épissures

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.

7 - 2.5 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.

7 - 2.6 Mise en oeuvre

L'installation des boîtiers d'épissure 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.

7 - 3 CHAINES ET PIECES POUR CONDUCTEURS ET CABLES DE GARDE, MATERIELS DIVERS POUR IDENTIFICATION, SIGNALISATION ET MALT

7 - 3.1 Présentation

Le présent chapitre s'attache à définir les caractéristiques et les exigences auxquelles doivent répondre :

- les chaînes isolantes pour conducteurs et chaînes d'accrochage pour câbles de garde
- les pièces de câbles pour conducteurs et câbles de garde
- les matériels divers pour identification, signalisation et Mise A La Terre (MALT)

des lignes aériennes HTB.

7 - 3.1.1 Définitions

Selon les normes en vigueur.

7 - 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 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
- 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.

7 - 3.2 Textes de référence

7 - 3.2.1 Réglementation

Néant.

7 - 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.

7 - 3.3 Fonctionnalités principales

Les chaînes isolantes assurent le lien mécanique entre le support et les 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.

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.

7 - 3.4 Règles de conception

7 - 3.4.1 Spécifications générales

Les chaînes pour conducteurs et câbles de garde, leurs constituants, les pièces de câbles conducteurs et câbles de garde, les matériels divers pour identification, signalisation et mise à la terre doivent être qualifiés par RTE.

Les chaînes isolantes pour 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, manoeuvre, court-circuit) et conçu pour canaliser les arcs électriques sans endommager ni les 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.

Exigences applicables aux accessoires porteurs de courant

Les accessoires destinés à supporter le transit du courant de fonctionnement du 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 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 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 aux instructions techniques sur les aéroports civils (ITEC - Fascicule 9 - 4^{ème} partie - chapitre 3).

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.

7 - 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.

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 conducteur doivent, lorsque c'est approprié, être tel que les pertes magnétiques soient conformes à la partie 3 « Dimensionnement électrique ».

La méthode d'essai et les critères d'acceptation doivent être conformes à la norme EN 61284.

7 - 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 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.).

7 - 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 3 « 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 3 « 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 3 « 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.

Les sections droites minimales doivent être :

- **cuivre** : 16 mm²
- **aluminium** : 35 mm²
- **acier** : 50 mm²

7 - 3.4.5 Durabilité

Les chaînes pour conducteurs et câbles de garde, leurs constituants, les pièces de câbles conducteurs et 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.

7 - 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.

7 - 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.

7 - 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.

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- pour les chaînes de suspension équipés 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.

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 5 « Supports ».

La connexion entre les matériels doit être accessible pour les opérations de construction et de maintenance.

7 - 3.4.9 Sécurité

En matière de sécurité les exigences définies au paragraphe 7-3.4.3 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.

7 - 3.4.10 Autres

Les nuisances sonores des chaînes, de leurs constituants, des conducteurs 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 3 « Dimensionnement électrique ».

7 - 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

CAHIER DES CHARGES GENERAL
LIGNES AERIENNES HTB
(CCG - LA)

- 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 3 « Dimensionnement électrique » §3-2.3.

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 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.

7 - 3.6 Mise en oeuvre

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.

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.

7 - 3.7 Maintenance

La conception des isolateurs doit permettre :

- depuis le support, 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 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.

7 - 4 CABLES DE HAUBANS ET PIECES DE HAUBANS

7 - 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 supports haubanés dont la structure de base peut être notamment un pylône treillis, un monopode métallique ou un poteau bois ou béton.

7 - 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.

7 - 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

7 - 4.2 Textes de référence

7 - 4.2.1 Réglementation

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

7 - 4.2.2 Normes

- les normes EN 12385-1, EN 61284, EN 10264-2, EN 10244-2, EN 10285-1.

7 - 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 le support ou la fondation.

7 - 4.4 Règles de conception

7 - 4.4.1 Spécifications générales

Les systèmes de haubanage doivent être conformes à l'article « Haubanage des supports » de l'Arrêté Technique.

7 - 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.

7 - 4.4.3 Dimensionnement mécanique

Les haubans doivent être dimensionnés conformément à la partie 5 « Supports » § 5-8.1.3.

Pièces de haubans

Les caractéristiques mécaniques des pièces de haubans doivent être a minima celles du hauban lui-même.

7 - 4.4.4 Dimensionnement électrique

Sans objet.

7 - 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 ».

7 - 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.

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.

7 - 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 fabricant 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.

7 - 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.

7 - 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.

7 - 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.

7 - 4.6 Mise en oeuvre

Des instructions de montage et de mise en tension doivent être fournies avec les produits.

Des indications sur les règles de mise en oeuvre des supports haubanés sont explicitées dans la partie 5 « Supports ».

7 - 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