

CHAPITRE 3: REGLES DE CALCUL GEOMETRIQUE

Sommaire

3.1	GENERALITES	113
3.2	DISTANCES DE SECURITE	113
3.3	HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT GEOMETRIQUE	115
3.3.1	HYPOTHESE DE REPARTITION	115
3.3.2	HYPOTHESE DE VENT NUL	115
3.3.3	HYPOTHESE DE VENT REDUIT	117
3.3.4	HYPOTHESE DE TRAVAIL	117
3.3.5	RECAPITULATIF DES HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT GEOMETRIQUE DES OUVRAGES	119
3.4	DISTANCES MINIMALES AU SOL ET AUX OBSTACLES	121
3.4.1	GENERALITES	121
3.4.2	HAUTEURS AU-DESSUS DU SOL	121
3.4.3	DISTANCES AUX MAISONS ET IMMEUBLES	123
3.4.4	DISTANCES AUX ARBRES - DELIMITATION DES DEBOISEMENTS	125
3.4.4.1	TRAVERSEES DE FORETS, FUTAIES OU TAILLIS	127
3.4.4.2	TRANCHEE MINIMALE	129
3.4.4.3	CAS DE BALANCEMENT	133
3.4.5	TRAVERSEES DES VOIES DE CIRCULATION	135
3.4.5.1	VOIES ROUTIERES	135
3.4.5.2	VOIES FERREES	137
3.4.5.2.1	VOIES ELECTRIFIEES PAR LIGNE DE CONTACT	137
3.4.5.2.2	VOIES AVEC FEEDERS DISTINCTS	139
3.4.5.2.3	ESPACE DE GARDE "g"	139
3.4.5.3	COURS D'EAU ET PLANS D'EAU	141
3.4.6	TRAVERSEES DE LIGNES D'ENERGIE	145
3.4.6.1	LIGNES HT ET THT	145
3.4.6.2	LIGNES MT ET BT	147
3.4.7	VOISINAGE ET TRAVERSEES DE LIGNES DE TELECOMMUNICATIONS	147
3.4.7.1	VOISINAGE DES LIGNES DE TELECOMMUNICATION	147
3.4.7.2	CROISEMENT DE LIGNES DE TELECOMMUNICATION	149

3.4.8	VERIFICATIONS PARTICULIERES IMPOSEES PAR L'HYPOTHESE DE GIVRE	151
3.5	DISTANCES ENTRE CABLES D'UN MEME OUVRAGE OU D'OUVRAGES DIFFERENTS	153
3.5.1	DISTANCES ENTRE LES CABLES D'UN MEME OUVRAGE	153
3.5.1.1	DISTANCES ENTRE CONDUCTEURS EUX MEMES.	153
3.5.1.2	DISTANCES VERTICALES ENTRE CONDUCTEURS ET CABLES DE GARDE	157
3.5.2	DISTANCES ENTRE LES CABLES D'OUVRAGES DIFFERENTS.	157
3.5.2.1	DISTANCES MINIMALES ENTRE LIGNES IMPOSEES PAR LE BALANCEMENT DES CONDUCTEURS	157
3.5.2.2	DISTANCES MINIMALES AUX LIMITES DE COULOIRS	161
3.5.2.3	DISTANCES DE TRAVAIL ENTRE DEUX LIGNES VOISINES	161
3.5.2.4	DISTANCES MINIMALES ENTRE LIGNES VOISINES IMPOSEES PAR LE RENVERSEMENT	161
3.6	DISTANCES A LA MASSE	163
3.7	DISTANCES DE TRAVAIL	163
3.7.1	TRAVAUX A PROXIMITE DE LA TENSION	163
3.7.2	TRAVAUX SOUS TENSION	171
3.7.3	TRAVAUX SUR LES OUVRAGES SUPPORTANT PLUS DE DEUX TERNES	171
3.7.4	TRAVAUX SUR DES OUVRAGES DANS UN COULOIR DE LIGNE ..	171

COMMENTAIRES

Paragraphe 3.2. : DISTANCES DE SECURITE

- Probabilités de voisinage :

La distance de tension est la marge qu'il faut réserver, au-delà de la zone d'évolution possible de personnes ou d'objets, pour éviter l'amorçage d'arcs électriques entre ces personnes ou objets et les lignes qu'ils avoisinent.

Pour qu'il y ait risque d'amorçage, il faut qu'il existe entre la ligne et la personne ou l'objet situé à proximité une tension suffisante qui est fonction de la distance entre cette ligne et cette personne ou cet objet.

La tension d'une ligne n'étant pas constante, il peut se manifester des surtensions à diverses occasions : défauts de régulation, manoeuvres, foudres.

Ces surtensions ont une probabilité d'autant plus faible que leur valeur est plus élevée.

- Relation entre la distance d'amorçage et la tension

La prudence consiste à se placer dans des hypothèses défavorables et à se référer au dispositif qui, pour une tension donnée, permet l'amorçage à la plus grande distance. Ce dispositif est l'éclateur pointe-plan, pour lequel les expérimentations ont permis d'établir le tableau suivant et correspondant à des conditions atmosphériques normales.

Tension (Valeur efficace en kV)	100	100	100	400	500	600	700
d (en m)	0,24	0,50	0,79	1,10	1,42	1,77	2,15

Ce tableau permet de déduire la formule empirique :

$$d = 0,0024V + 10^{-6} V^2$$

avec:

d = distance d'amorçage, en mètres,

V = valeur efficace de la tension entre phase et terre, en kilovolts.

En rapportant cette distance à la tension composée $U = V\sqrt{3}$ la formule devient :

$$d = 0,0014U + 10^{-6} U^2$$

Pour les tensions usuelles jusqu'à 380 kV, la formule peut être réduite à :

$$d = 0,0015 U$$

- Surtension à prendre en compte

Le coefficient de surtension qui n'a pratiquement aucun risque de se produire est de 5.

Le coefficient 5 a été retenu, car une surtension atteignant une telle valeur serait largement écrétée par contournement des isolateurs dont la tension de tenue au choc de foudre est la suivante d'après la publication CEI 71-1.

U nominale	63	225	400
U la plus élevée	72,5	245	420
U foudre	325	1 050	1 425
Rapport	4,48	4,28	3,39

Ce coefficient 5 permet donc de fixer la distance de tension pour une fréquence de proximité grande.

$$\text{Soit : } t3 = 5 \times 0,0015 U$$

Pour les fréquences de proximité moyenne et faible, on a adopté la répartition suivante (cf Arrêté Technique français 1981) :

$$\text{Probabilité moyenne } t2 = \frac{2}{3} \times 5 \times 0,0015 U$$

$$\text{Probabilité faible } t1 = \frac{1}{3} \times 5 \times 0,0015 U$$

3.1 GENERALITES

Les règles de dimensionnement géométrique des lignes aériennes sont imposées par trois types de considérations :

- les dispositions fixées par l'Arrêté Technique du 15 mars 1963 et concernant les distances aux obstacles et au sol.
- la tenue diélectrique des ouvrages conformément aux règles d'isolement définies au paragraphe "CONSTRAINTES DIELECTRIQUES APPLIQUEES AUX OUVRAGES " des présentes Directives .
- Les règles définissant les distances de travail à respecter sur les ouvrages en cas d'intervention.

Les distances indiquées dans le présent chapitre sont toujours égales ou supérieures aux distances prescrites par l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963.

Lorsque celui-ci n'impose aucune condition (distances à la masse, distances entre phases, etc), les distances à respecter sont déterminées à partir des distances de sécurité.

3.2 DISTANCES DE SECURITE

Les distances de sécurité ou distances de tension sont définies en fonction de la probabilité d'apparition d'une surtension et de la présence simultanée d'une personne ou d'un objet au voisinage de la ligne .

Ces distances sont calculées à partir de la distance de tenue diélectrique de l'air soit :

$$d = 0,0015 U.$$

On définit trois valeurs pour les distances de sécurité.

- t1 = 0,0025 U pour une probabilité de voisinage faible
- t2 = 0,0050 U pour une probabilité de voisinage moyenne
- t3 = 0,0075 U pour une probabilité de voisinage forte

t1 , t2 et t3 sont exprimés en mètres et U est la tension entre phases exprimée en kV .

U	60 kV	90 kV	150 kV	225 kV	400 kV
t1	0,20	0,25	0,40	0,60	1,00
t2	0,35	0,50	0,75	1,10	2,00
t3	0,50	0,70	1,15	1,10	2,00

Paragraphe 3.3.1. : HYPOTHESE DE REPARTITION

La température de répartition, prise égale à + 55°C jusqu'à la rédaction des présentes Directives, est portée à 70°C qui est la température des câbles en régime de surcharge.

Cette température, prise en compte dans la gestion du réseau par le Service Mouvement d'Energie de l'O.N.E. et donnée par les fournisseurs, se répartit en :

- température ambiante : + 30°C en moyenne,*
- température due au transit dans le câble : + 40°C en moyenne.*

Cette répartition peut varier en fonction de la région traversée et de l'utilisation réelle de la ligne (cf Brochure Aluminium Français, éditée par Pechiney en novembre 1985).

3.3 HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT GEOMETRIQUE

La vérification des distances minimales à respecter sur les ouvrages est directement fonction de la position des câbles dans l'espace.

Or, cette position d'équilibre peut être influencée par un grand nombre de facteurs, par exemple :

- la température du câble et/ou la surcharge de givre qui entraînent des variations de flèche du câble,
- la présence de vent qui peut entraîner l'oscillation des câbles et des chaînes autour de leur position d'équilibre.

Il est donc nécessaire de définir des hypothèses de température ainsi que des hypothèses météorologiques pour le calcul géométrique des ouvrages.

3.3.1 HYPOTHESE DE REPARTITION

L'étude de la répartition des câbles sur le profil en long de la ligne est essentiellement destinée à s'assurer que les distances minimales aux obstacles et au sol sont respectées, elle doit être effectuée dans le cas où la flèche est maximale, c'est à dire lorsque les câbles sont à leur température maximale de fonctionnement sans vent .

En conséquence, l'hypothèse de répartition présente les caractéristiques suivantes :

- . température de répartition + 70°C (sauf cas particulier)
- . vent nul

Les températures de fonctionnement en régime normal et de surcharge sont définies dans le paragraphe 2.5.1.1 "REGIME DE FONCTIONNEMENT" des présentes directives.

3.3.2 HYPOTHESE DE VENT NUL

Cette hypothèse est à utiliser en général pour vérifier les distances minimales à la masse sur les supports.

Elle présente les caractéristiques suivantes :

- température + 25°C,
- vent nul.

COMMENTAIRES

Paragraphe 3.3.3. : HYPOTHESE DE VENT REDUIT

La relation approchée entre la pression et la vitesse du vent est donnée dans le commentaire du chapitre 1, paragraphe 1.2.1.1., des présentes Directives.

Le choix de la vitesse du vent, donc de sa pression, à prendre en compte pour les balancements des chaînes doit être issu d'une observation statistique des vents pour que la vérification des distances à la masse puisse être faite à partir de la pression du vent la plus courante sur une période relativement courte.

Pour le cas de la France, communiqué par E.D.F., sur deux ans, 90 % des pressions de vent sont inférieures ou égales à 240 Pa.

Les statistiques reçues de la Météorologie Nationale au moment de la rédaction des présentes Directives semblent corroborer cette observation.

Elles feront l'objet d'une note technique.

3.3.3 HYPOTHESE DE VENT REDUIT

Cette hypothèse est utilisée en général pour vérifier les distances minimales entre phases ou à la masse des supports.

Les caractéristiques de cette hypothèse, fonction de la zone d'implantation de l'ouvrage, sont les suivantes :

Ouvrage implanté en zone d'hypothèse	Pression du vent réduit sur les câbles	Température
A	240 Pa	+ 25 °C
HPV	240 Pa	

Les pressions de 240 et 360 Pa sont produites respectivement par des vents de 90 km/h (25m/s) et 110 km/h (30m/s) environ .

3.3.4 HYPOTHESE DE TRAVAIL

Cette hypothèse est utilisée en général pour vérifier les distances minimales de travail sur les supports.

Elle présente les caractéristiques suivantes :

- température + 25°C,
- Pression du vent : 60 Pa correspondant à une vitesse de vent de 45 km/h (12,5m/s) environ.

3.3.5 RECAPITULATIF DES HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT GEOMETRIQUE DES OUVRAGES

Désignation de l'hypothèse	Temp (°C)	Pression de vent (Pa)	Vérification associées
Hypothèse de répartition	+ 70 + (1)	nulle	Distances au sol et aux obstacles
Hypothèse de vent nul	+ 25	nulle	Distances à la masse des supports
Hypothèse de vent réduit	+ 25	A : 240 HPV: 360	Distances entre câbles Distances à la masse
Hypothèse de Travail	+ 25	60	Distances de travail

(1) Sauf indication particulière dûment précisée .

Paragraphe 3.4.2. : HAUTEURS AU-DESSUS DU SOL (TABLEAU)

- La formule de majoration des distances de surplomb des terrains agricoles est la suivante :

$$6,00 + t_2 + 0,50$$

6,00 m : distance prescrite par l'Arrêté Technique,

t_2 : distance de tension pour une probabilité de voisinage moyenne (cf paragraphe 3.2. ci-avant),

0,50 m : majoration tenant compte des imprécisions de profil et de réglage.

- Pour les terrains ordinaires, la distance de tension à prendre en compte est t_1 .

- Les distances de surplomb au-dessus des terrains d'évolution ou de passage des engins agricoles de grande hauteur sont données en fonction de la hauteur des engins agricoles, mais ne peuvent être inférieures aux distances données par la formule ci-avant.

- Les distances de surplomb pour les grandes portées sont données en fonction du terme $0,6\sqrt{f}$, pour tenir compte des oscillations asynchrones des câbles.

3.4 DISTANCES MINIMALES AU SOL ET AUX OBSTACLES

3.4.1 GENERALITES

Les hauteurs de surplomb au-dessus du sol, des constructions et des voies de communications ou de constructions doivent être respectées en l'absence de givre pour l'hypothèse de répartition définie ci-avant et vérifiées en hypothèse de givre.

Les distances minimales qui doivent être respectées dans les projets sont celles de l'Arrêté Technique du 15 mars 1963, majorées pour tenir compte des surcharges temporaires mécanique ou électrique, des imprécisions du profil en long ou du réglage des conducteurs.

3.4.2 HAUTEURS AU-DESSUS DU SOL

Les distances minimales à respecter au-dessus du sol, sont définies par l'article 56 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963.

Ces distances minimales sont à respecter au-dessus des sols, dans l'hypothèse de répartition (ou de givre).

- Dans le cas de terrains présentant des contrepentes (contre profils) importantes et accessibles aux personnes, la distance au sol doit également être vérifiée pour le balancement des conducteurs dans l'hypothèse de vent réduit (240 Pa en zone à vent d'hypothèse A et 360 Pa en zone à haute pression de vent).

HAUTEURS AU-DESSUS DU SOL	Distances de L'Arrêté Technique du 15 mars 1963 (en mètre)	DISTANCES MINIMALES (en mètre)				
		PORTEES COURANTES				GRANDES PORTEES (2)
		63kV	90kV	225kV	400kV	f flèche médiane (en m)
Terrains agricoles	6.00 m	7.00 (1)	7.00 (1)	7.50 (1)	8.50 (1)	$3 + 0.6\sqrt{f} + t2$ (1)
Terrain d'évolution ou de passage d'engins agricoles de grande hauteur (h)	non précisée	h + 2.00	h + 2.50	h + 2.50	h + 3.50	$h - 2 + 0.6\sqrt{f} + t2$

(1) Pour les "terrains ordinaires" (sols non susceptibles d'être cultivés et sur lesquels la présence des personnes est peu fréquente, en montagne, par exemple), cette distance de surplomb peut être réduite sur justificatif, mais ne peut être inférieure à 6m.

(2) Les distances à considérer pour les grandes portées doivent être retenues lorsqu'elles sont supérieures aux distances indiquées pour les portées courantes.

COMMENTAIRES

Paragraphe 3.4.3. : DISTANCES AUX MAISONS ET IMMEUBLES (TABLEAU)

- La formule de majoration des distances de surplomb dans l'hypothèse de répartition est la suivante :

$$4,00 + t_3 + 0,50$$

4,00 m : distance prescrite par l'Arrêté Technique,

t_3 : distance de tension pour une probabilité de voisinage forte (cf paragraphe 3.2. ci-avant),

0,50 m : majoration tenant compte des imprécisions de profil et de réglage.

- Pour l'hypothèse de vent réduit, la distance de tension à prendre en compte est t_2 .

- La formule de calcul de la distance à l'obstacle en fonction de la portée, de la flèche du câble et de la position de l'obstacle a été communiquée par E.D.F.

3.4.3 DISTANCES AUX MAISONS ET IMMEUBLES

Les distances minimales verticales et horizontales aux maisons et immeubles sont fixées par l'article 56 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963 .

Pour les parties accessibles, la distance doit être vérifiée pour toutes les portées dans les hypothèses suivantes :

- pour la température de répartition en l'absence de vent et de givre, en prenant en compte la distance de sécurité t3.
- pour la température de 25°C et sous le vent réduit exerçant une pression de 240 Pa quelle que soit la zone de vent, en prenant en compte la distance de sécurité t2.

HYPOTHESES	distances de l'Arrêté Technique	Distances minimales (en mètres)			
		63 kV	90 kV	225 kV	400 kV
Température de répartition vent nul	4.00	5.00	5.50	6.50	7.50
+ 25°C vent de 240 Pa	4.00	4.50	5.00	5.50	6.50

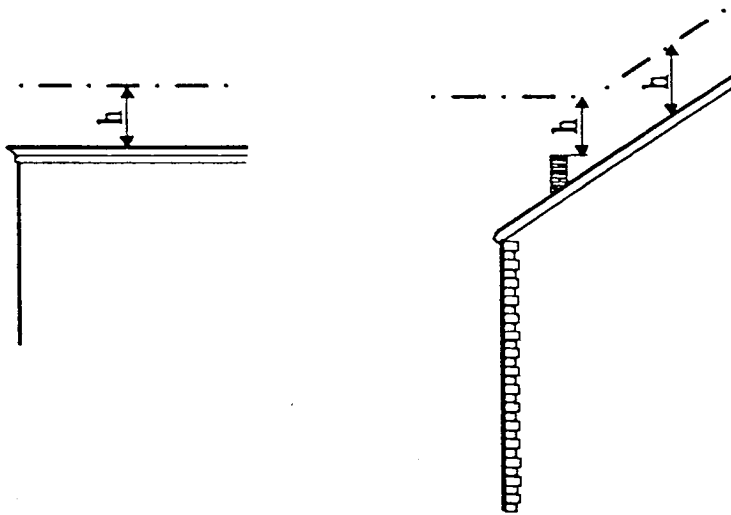


fig 1 - distances aux maisons et immeubles

Dans l'hypothèse de répartition, la distance h à l'obstacle doit être vérifiée à l'aide de la formule suivante avec un minimum égal à la distance indiquée dans le tableau ci-dessus :

$$h = 1 + \frac{2x}{a} (0,6\sqrt{f} - 1) + r_3$$

avec :

a : longueur de la portée en mètre

f : flèche de la portée pour la température de répartition en mètres

x : distance au support le plus proche en mètre

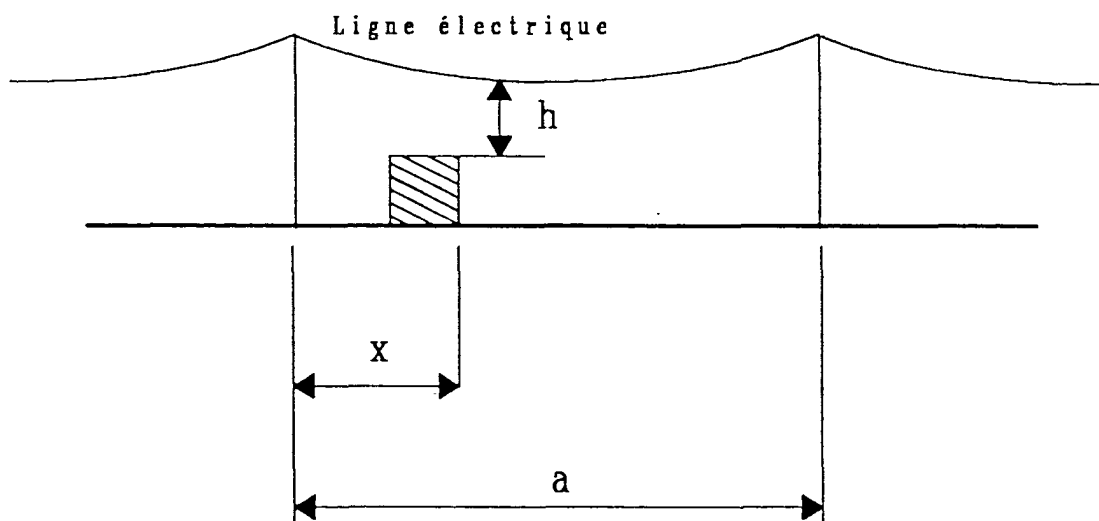


fig 2 - distances aux maisons et immeubles en fonction de la portée

3.4.4 DISTANCES AUX ARBRES - DELIMITATION DES DEBOISEMENTS

Les dispositions concernant l'élagage et l'abattage des arbres au voisinage des lignes aériennes sont définies par l'article 69 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963.

L'élagage des arbres situés au voisinage des lignes aériennes et plantés soit sur le sol des voies publiques, soit sur les propriétés particulières, doit être effectué aussi souvent que la sécurité l'exige

Il en est de même pour l'abattage .

3.4.4.1 TRAVERSEES DE FORETS, FUTAIES OU TAILLIS

Pour les abattages aux traversées de forêts, futaias ou taillis , la largeur de la tranchée à déboiser est déterminée de telle façon qu'un arbre en tombant ne puisse s'approcher à moins de 5 mètres d'un conducteur de ligne aérienne.

Pour les arbres ayant une rapidité de croissance variable suivant les essences et les âges , la hauteur à considérer pour un arbre donné est sa hauteur présumée 5 ans après la construction de la ligne .

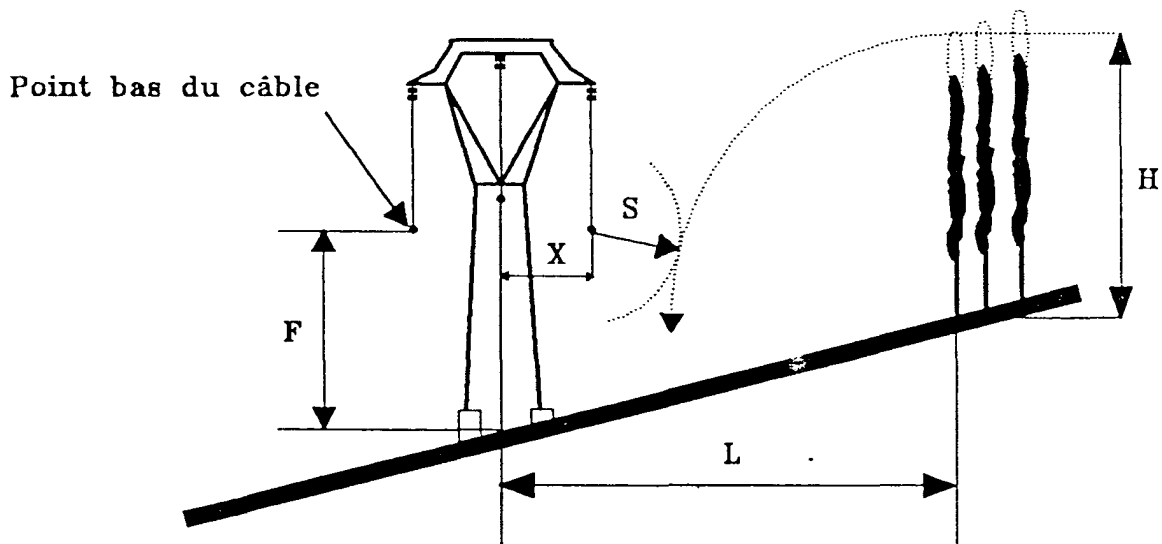


Fig 3 - Haute futaie et arbres isolés.

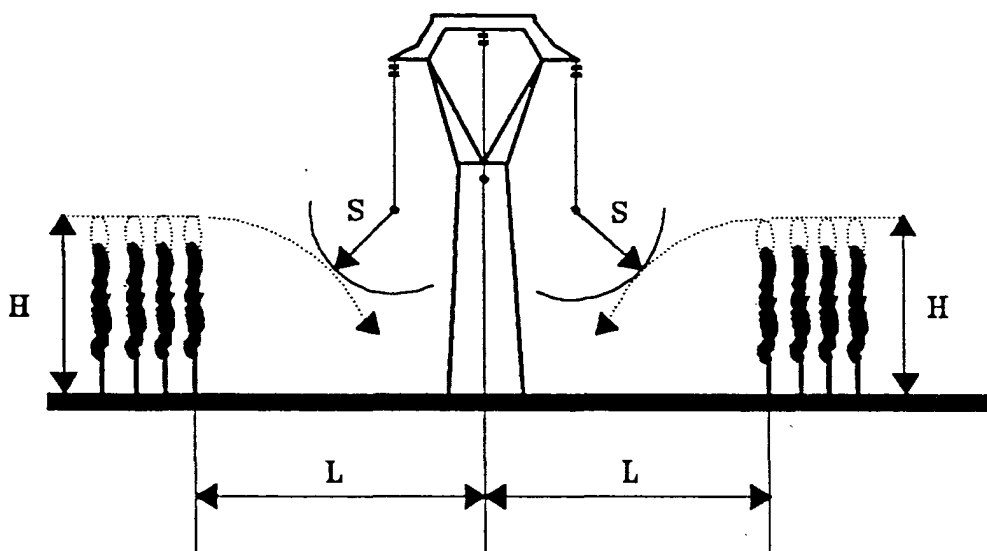


Fig 4 - Taillis.

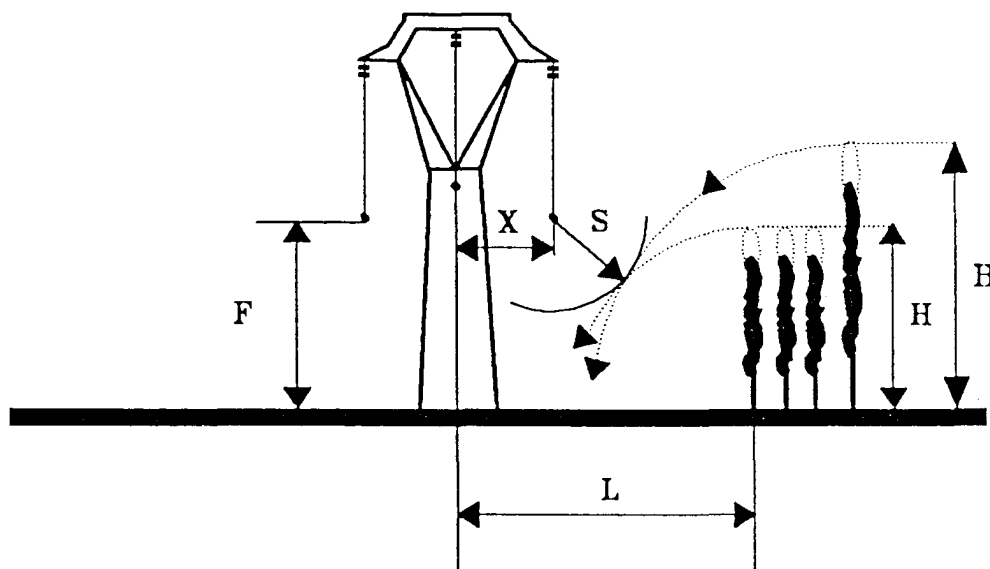


Fig 5 - Arbres isolés dans du taillis.

La demi-largeur de la tranchée ou la distance, des arbres à l'axe de la ligne sera déterminée par la formule suivante :

$$L = X + \sqrt{(H + S)^2 - F^2} \quad (F < H + S)$$

avec :

L :Demi-largeur d'abattage

H :Hauteur présumée des arbres ou des taillis dans la tranchée environ 5 ans après la construction de la ligne .

F :Hauteur des conducteurs au-dessus du sol .

X :Distance horizontale des conducteurs extrêmes à l'axe de la ligne .

S :Distance de sécurité (5 mètres) .

Une fois la tranchée exécutée , il est strictement interdit de procéder à de nouvelles plantations dans son emprise .

3.4.4.2 TRANCHEE MINIMALE

Sur les tronçons de ligne où aucun abattage n'est à exécuter d'après la règle précédente (hauteur des conducteurs supérieure de plus de 5 mètres à la hauteur des arbres) il est réalisé malgré tout dans l'axe de la ligne , une tranchée de déroulage d'au moins 5 mètres à ciel ouvert, exception faite pour certains cas particuliers définis par les services d'exploitation.

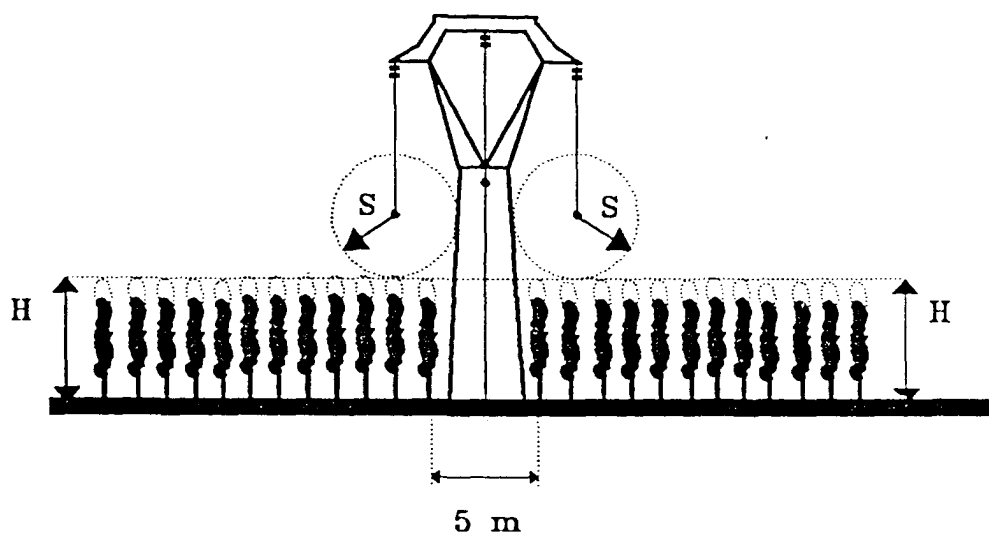


fig 6 - Tranchée minimale

COMMENTAIRES

Paragraphe 3.4.4.3. : DISTANCES AUX ARBRES - CAS DE BALANCEMENT

Pour les câbles normalisés au moment de la rédaction des présentes Directives, les angles de balancement sont calculés par application de la formule suivante :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{Effort transversal}}{\text{Effort vertical}} = \frac{T}{V}$$

T : effort transversal dû au vent réduit de 240 Pa sur conducteur et chaîne,

V : poids du câble et de la chaîne.

La portée considérée est la portée courante pour chaque type de ligne, sans dénivellation.

La pression du vent réduit prise en compte est de 240 Pa, quelle que soit la zone traversée par la ligne.

3.4.4.3 CAS DE BALANCEMENT

Pour les grandes portées et les arbres isolés, les câbles sont considérées en position de balancement extrême suivants :

a) Arrêté Technique du 15 Mars 1963

Câbles conducteurs Alu - Acier ou analogues

- de section $\geq 293 \text{ mm}^2$:	$\alpha = 30^\circ$
- de section comprise entre 150 et 293 mm^2 :	$\alpha = 40^\circ$
- de section $\leq 150 \text{ mm}^2$:	$\alpha = 45^\circ$
- câbles conducteurs en <u>cuivre</u> :	$\alpha = 25^\circ$

b) 'Câbles usuels actuels'

Alu - Acier ou Alu - Alumoweld

$S = 147,11 \text{ mm}^2$: $\alpha = 45^\circ$

$S = 181,6 \text{ mm}^2$: $\alpha = 40^\circ$

Almelec ou Almelec-Acier

$S = 148 \text{ mm}^2$: $\alpha = 45^\circ$

$S = 181 \text{ mm}^2$: $\alpha = 40^\circ$

$S = 366 \text{ mm}^2$: $\alpha = 30^\circ$

$S = 570 \text{ mm}^2$: $\alpha = 25^\circ$

$S = 612 \text{ mm}^2$: $\alpha = 25^\circ$

Cette disposition n'est pas applicable aux forêts et aux taillis.

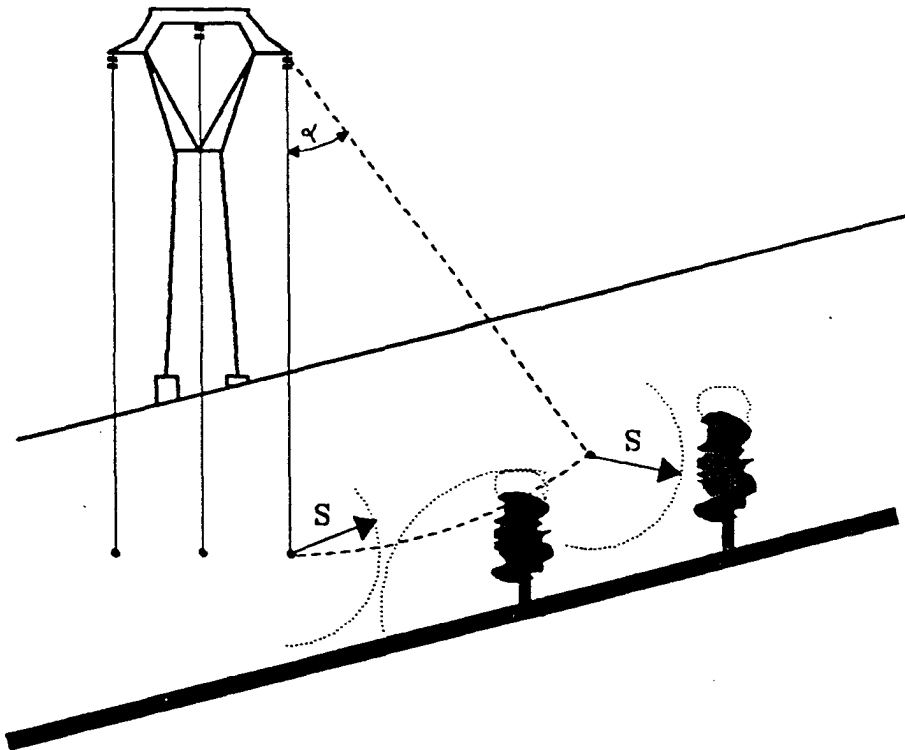


Fig 7 - Cas de balancement

COMMENTAIRES

Paragraphe 3.4.5.1. : TRAVERSEES DES VOIES DE CIRCULATION - VOIES ROUTIERES TABLEAU :

- La formule de majoration des distances de surplomb dans l'hypothèse de répartition est la suivante :

$$6,00 + t3 + 0,50 > 8,00$$

8,00 m : distance prescrite par l'Arrêté Technique pour les distances de surplomb des voies de circulation,

6,00 m : distance prescrite par l'Arrêté Technique pour les distances de surplomb des terrains ordinaires ou agricoles,

t3 : distance de tension pour une probabilité de voisinage forte,

0,50 : majoration tenant compte des imprécisions de profil et de réglage.

- Les distances de surplomb pour les grandes portées sont données en fonction du terme $0,6 \sqrt{l}$, pour tenir compte des oscillations asynchrones des câbles.

3.4.5 TRAVERSEES DES VOIES DE CIRCULATION

3.4.5.1 VOIES ROUTIERES

Les dispositions concernant les traversées des voies routières sont fixées par les articles 5 et 56 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963.

< < Dans la traversée d'une route principale, d'un chemin secondaire ou classé ainsi que d'une voie de circulation établie sur les dépendances du domaine public, fluvial ou maritime, l'angle de la direction des conducteurs et l'axe de la voie est égal 'au moins à 15 degrés' pour les lignes HT et THT à moins que les conducteurs ne soient établis le long d'une seconde voie publique traversant la première sous un angle moindre. > >

Les distances minimales de surplomb sont indiquées dans le tableau ci-après.

Ces distances minimales sont celles de l'Arrêté Technique majorées de la distance de sécurité t2 ou t3 et sont à respecter dans l'hypothèse de répartition ou de givre.

HAUTEURS AU-DESSUS DES VOIES DE CIRCULATION	Distances de l'Arrêté Technique (1)	DISTANCES MINIMALES EN METRES			
		PORTEES COURANTES			GRANDE PORTEE
		63kV	225kV	400kV	(flèche médiane en mètre)
Voie de circulation	8,00 m	8.50	8.50	9,50	$3 + 0,6\sqrt{f} + t3$
Itinéraire pour véhicules de grande hauteur (h)	8,00 m	$h + 2,00$	$h + 2,50$	$h + 3,50$	$h - 2 + 0,6\sqrt{f} + t2$

(1) L'Arrêté Technique n'impose pas de destruction

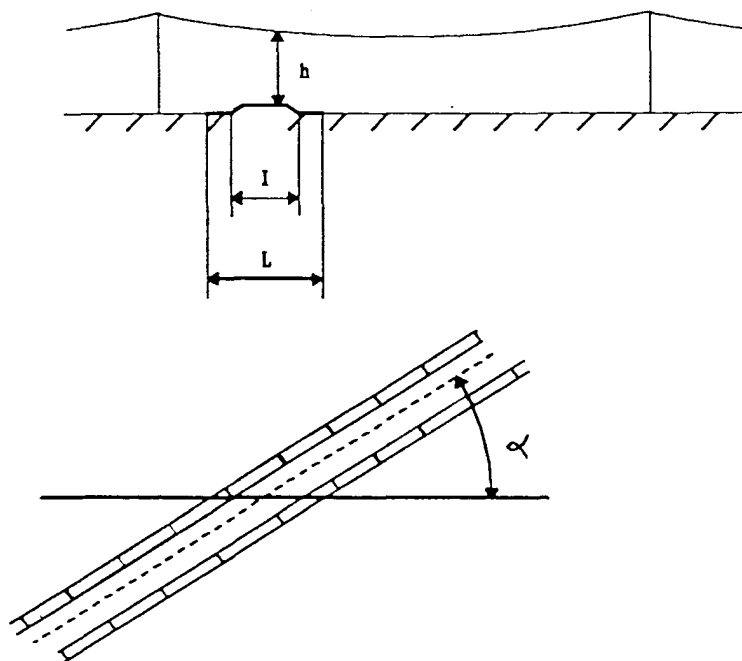


Fig 8 - Traversée de voie de circulation

L: Largeur de la voie comprenant l'emprise, fonction de la catégorie de la voie

l: Largeur de la voie

3.4.5.2 VOIES FERREES

Les dispositions concernant les traversées de chemins de fer sont définies par les articles 20 et 50 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963 .

Toutes les voies ferrées doivent être considérées comme électrifiées

3.4.5.2.1 VOIES ELECTRIFIEES PAR LIGNE DE CONTACT

<< Dans le cas de voies ferrées électrifiées par ligne de contact aérienne, le point le plus bas des conducteurs devra se trouver en dehors de l'espace de garde "g" protégeant la zone dans laquelle est appelé à se déplacer le personnel d'entretien des caténaires, zone ainsi définie >>:

- 'au droit du support' : la hauteur de cette zone est de 1 mètre au-dessus du support sur une distance de 2 mètres de part et d'autre de celui-ci.

- 'en pleine portée' : la hauteur de la zone est de 2 mètres. Elle peut exceptionnellement atteindre 3 mètres dans certains cas de constitution particulière de ligne de contact qui sont précisés par le service de la voie intéressée.

Paragraphe 3.4.5.2.3. : TRAVERSEES DES VOIES DE CIRCULATION - VOIES FERREES - ESPACE DE GARDE "g"

Pour les portées de la ligne traversante supérieures à 300 m, l'Arrêté Technique définit comme suit les majorations de l'espace "g" :

- traversée en milieu de portée de la ligne électrique :

$$g = 2 + 0,015U + \frac{0,1(a - 300)}{15}$$

- traversée en un point quelconque de la ligne électrique :

$$g = 2 + 0,015U + \frac{0,1(a - 300)}{15} \times \frac{X}{a/2}$$

d'où la formule générale adoptée dans les présentes Directives :

$$g = 2 + 0,015U + 0,2 \frac{X}{a} \times \frac{(a - 300)}{15}$$

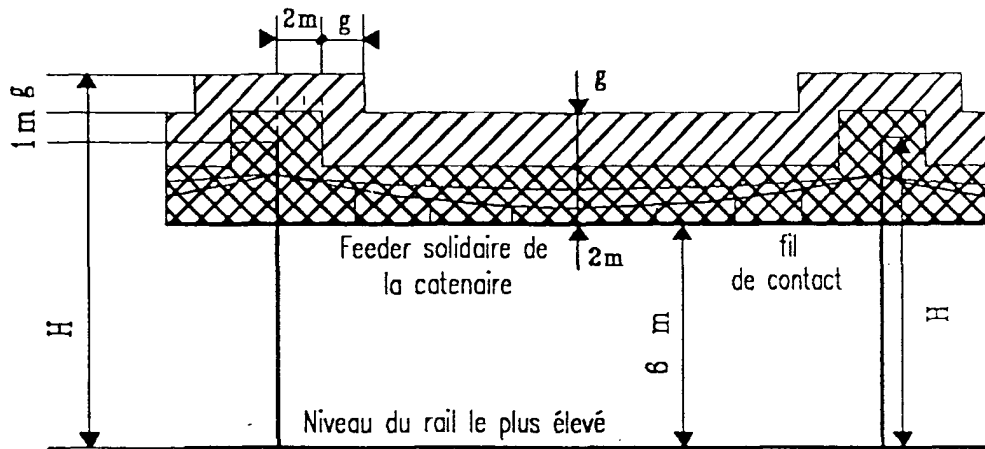


Fig 9 - Voies ferrées électrifiées par ligne de contact aérienne

3.4.5.2.2 VOIES AVEC FEEDERS DISTINCTS

Dans le cas de traversée de voies ferrées électrifiées comportant un ou plusieurs feeders distincts de la caténaire ou d'autres conducteurs d'énergie ne faisant pas partie de la ligne de contact mais posés sur les supports de celle-ci, les prescriptions à observer aux points de croisement avec ces conducteurs sont celles relatives aux croisements de lignes d'énergie, étant bien entendu que la hauteur au-dessus du rail devra rester au moins égale à celle résultant de l'application des dispositions des paragraphes précédents pour le croisement avec la caténaire proprement dite. Notamment dans la zone des supports, l'espace de garde "g" sera conservé.

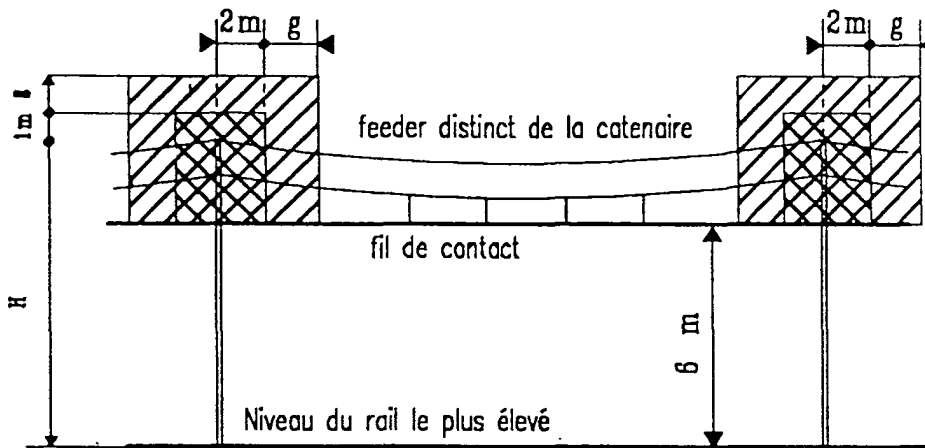


Fig 10 - Voies ferrées électrifiées par feeders distincts de la caténaire

3.4.5.2.3 ESPACE DE GARDE "G"

Les valeurs de l'espace de garde "g", sont définies comme suit par l'article 50 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963 :

- Si le croisement a lieu au voisinage d'un pylône de la ligne traversante, ou en un point quelconque d'une portée n'excédant pas 300 mètres de cette ligne :

$$g = 2 + 0,015U \text{ (en mètres)}$$

U : Tension entre phases de la ligne traversante en kV.

Paragraphe 3.4.5.3. : TRAVERSEES DES VOIES DE CIRCULATION - COURS D'EAU ET PLANS D'EAU

A défaut d'expérience de l'O.N.E., le texte des Directives sur les cours d'eau et plans d'eau reprend largement celui des articles 14 et 15 de l'Arrêté Technique.

Une mise à jour sera effectuée après consultation du Ministère de l'Équipement sur ce sujet.

- Si le croisement a lieu en un point quelconque d'une portée supérieure à 300 mètres de la ligne traversante.

$$g = 2 + 0,015 U + 0,20 \frac{X}{a} \frac{(a - 300)}{15} \text{ (en mètres)}$$

U : Tension entre phases de la ligne traversante en kV.

X : Distance par rapport au support le plus proche en mètre .

a : Portée de la ligne traversante en mètre

Exemple : ligne 225 kV, portée 450 m, traversée au point $x = 150$ m

g sera de 6,04 m

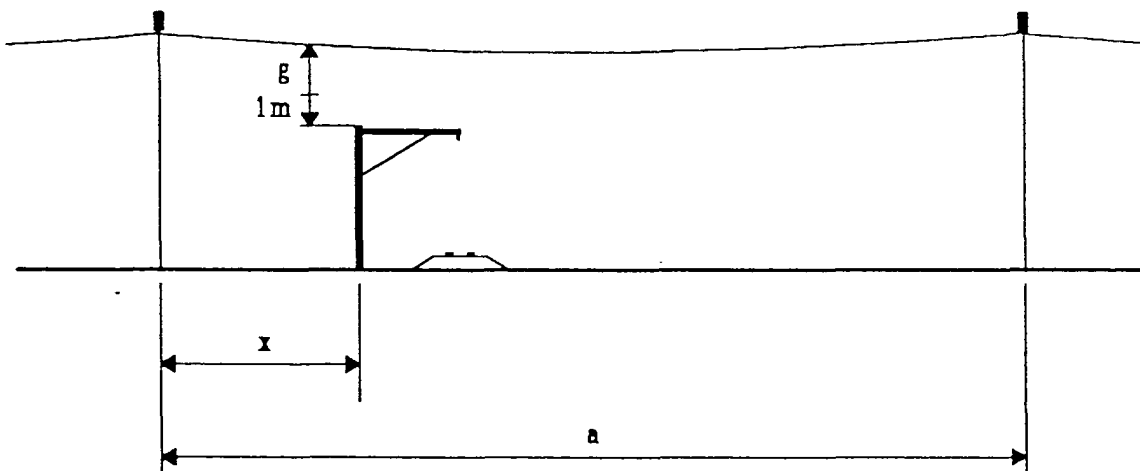


Fig 11 - $a > 300$ m traversée au droit d'un support de caténaire

3.4.5.3 COURS D'EAU ET PLANS D'EAU

Les dispositions relatives aux traversées des cours d'eau et plans d'eau par des lignes électriques sont définies par les articles 14 et 15 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963 qui font référence à l'article premier (3ème alinéa) du Dahir du 11 Moharrem 1344 (1er Aout 1925) sur le régime des eaux et des canaux de navigation.

a) Cours d'eau non navigables et non flottables :

Pour les cours d'eau non navigables ni flottables, pour les grands canaux d'irrigation et pour les grands cours d'eau où la navigation n'est pas effectivement pratiquée, les hauteurs au-dessus de l'étiage et des plus hautes eaux ne doivent pas être inférieures respectivement à 6 et 3 mètres .

b) Cours d'eau navigables et flottables :

A la traversée des grands cours d'eau et des canaux de navigation, la hauteur minimale des conducteurs au-dessus du plan d'eau est fixée, dans chaque cas suivant le type et le mode de navigation et de traction.

Toutefois, cette hauteur ne peut être inférieure à 8 mètres au dessus des plus hautes eaux navigables.

c) Bras d'eau :

COMMENTAIRES

TABLEAU :

- Les formules de majoration des distances de surplomb dans l'hypothèse de répartition sont les suivantes :
Pour les cours d'eau non navigables et non flottables

$$3,00 + t1 + 0,50$$

$$6,00 + t1 + 0,50$$

3,00 m : distance prescrite par l'Arrêté Technique pour la hauteur au-dessus des plus hautes eaux,

6,00 m : distance prescrite par l'Arrêté Technique pour la hauteur au-dessus du niveau de l'étiage,

t1 : distance de tension pour une probabilité de voisinage faible,

0,50 m : majoration tenant compte des imprécisions de profil et de réglage.

Pour les cours d'eau navigables ou flottables

$$8,00 + t2 + 0,50$$

8,00 m : distance prescrite par l'Arrêté Technique pour la hauteur au-dessus des plus hautes eaux,

t2 : distance de tension pour une probabilité de voisinage moyenne,

0,50 m : majoration tenant compte des imprécisions de profil et de réglage.

- Les distances de surplomb pour les grandes portées sont données en fonction du terme $0,6 \sqrt{l}$, pour tenir compte des oscillations asynchrones des câbles.

Les prescriptions des paragraphes a et b ci-dessus, sont applicables également aux bras d'eau qui font partie du domaine public comme dépendance d'une voie navigable.

d) Cours d'eau fréquentés par des bâtiments de mer :

Pour ce cas, le service du contrôle devra imposer, pour les traversées, les conditions spéciales nécessaires dans l'intérêt de la navigation et de la sécurité.

La hauteur des conducteurs est fixée à 17 mètres au-dessus des plus hautes eaux navigables pour les voies de navigation intérieures.

Pour les voies d'eau accessibles aux bâtiments de mer, cette hauteur est portée à 65 mètres.

e) Cours d'eau servant de chenal d'accès :

Aucune traversée aérienne ne pourra être installée lorsque le lit des cours d'eaux servira de chenal d'accès à des installations portuaires.

Le tableau ci-après résume, les distances fixées par les présentes Directives et qui sont déduites des distances minimales définies par l'Arrêté Technique et énoncées ci-dessus.

Ces distances sont majorées par les distances de sécurité t1 ou t2 et doivent être vérifiées pour la température de répartition et en l'absence de givre et de vent.

COURS D'EAU	NATURE DU SURPLOMB	Distances de l'Arrêté Technique (en mètre)	DISTANCES MINIMALES (en mètre)			
			PORTEES COURANTES			GRANDES PORTEES
			63/90kV	225kV	400kV	f:flèche médiane (en mètre)
non navigable non flottable	Hauteur au-dessus des plus hautes eaux	3.00 m	3.50	4.00	4,50	$0.6\sqrt{f} + t1$
flottable	Hauteur au-dessus du niveau d'étiage	6.00m	6.50	7.00	7.50	$0.6\sqrt{f} + t1$
navigable ou flottable	Hauteur au-dessus des plus hautes eaux navigables	8.00 m	9.00	9.50	10.50	$5 + 0.6\sqrt{f} + t2$
accessibles au bâtiments de mer	Hauteur au-dessus des plus hautes eaux navigables	17,00 pour les voies intérieures				
		65,00 pour les voies accessibles aux bâtiments de mer				
Chenal		Traversée interdite				

3.4.6 TRAVERSEES DE LIGNES D'ENERGIE

3.4.6.1 LIGNES HT ET THT

Les dispositions concernant les traversées de lignes HT et THT par d'autres lignes HT et THT sont fixées par l'article 63 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963.

Les hauteurs de surplomb doivent être vérifiées dans les deux hypothèses suivantes :

-La ligne supérieure à la température de répartition sans vent et la ligne inférieure à 25 °C sans vent ,

-La ligne supérieure à 25 °C sans vent et la ligne inférieure à - 5 °C sans vent et sans givre.

Les hauteurs minimales de surplomb à respecter sont les suivantes:

a) Croisement au voisinage immédiat d'un support (avec $a \leq 300$ m)

$$h = 1 + 0,015 U, \text{ avec } h \geq 2 \text{ m}$$

U : tension entre phases de la ligne à la plus haute tension (en kV)

h : distance de croisement (en mètre)

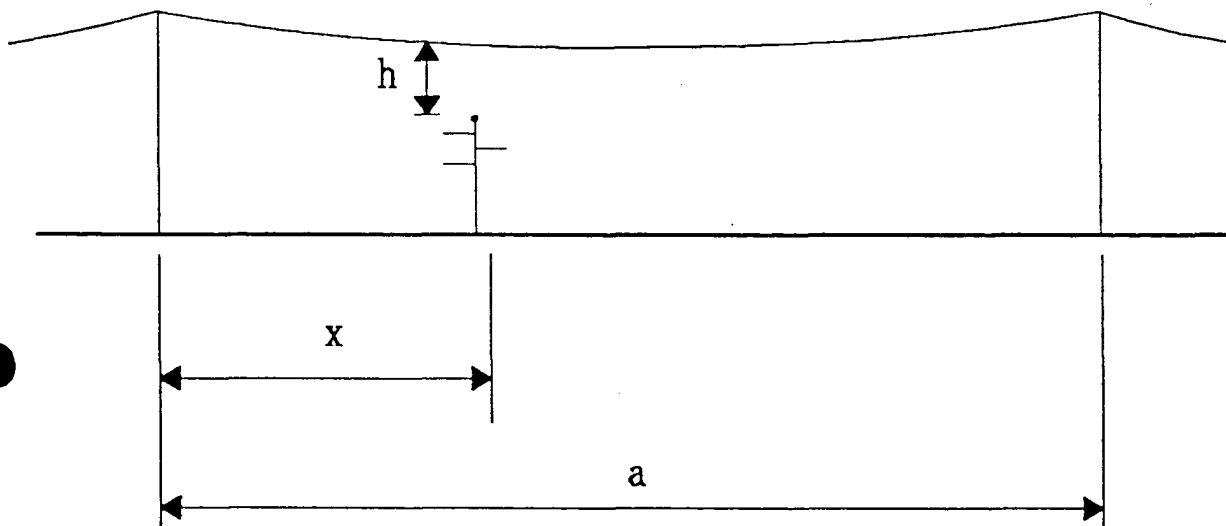


Fig 12 - Traversées de lignes HT et THT

b) Croisement en un point quelconque d'une portée supérieure à 300 m. ($a > 300$ m)

$$h = 1 + 0,015 U + 0,20 \frac{X}{a} \frac{(a - 300)}{15}$$

U : tension entre phases de la ligne à la plus haute tension (en kV).

X : La distance entre le point de croisement et le support le plus proche (en mètre)

a : portée de la ligne traversante (en mètre)

h : distance de croisement (en mètre)

Exemple: ligne 225 kV, $a = 450$ m $X = 150$ m
h sera égal à 5,04 m

COMMENTAIRES

Paragraphe 3.4.7.1. : VOISINAGE DES LIGNES DE TELECOMMUNICATIONS

Compte tenu des dimensions des lignes électriques HT, le respect de la distance de proximité d_m (> 2 m) entraîne le respect des autres distances de la figure 12, qui doivent néanmoins être vérifiées par le projeteur.

Les conditions de voisinage des câbles souterrains de télécommunications sont définies dans le paragraphe 2.6.1 INDUCTION DANS LES CIRCUITS DE TELECOMMUNICATION des présentes Directives.

3.4.6.2 LIGNES MT ET BT

Les dispositions concernant le croisement des lignes MT et BT par des lignes HT et THT sont définies par les articles 48 et 63 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963.

Les distances à respecter sont définies dans le paragraphe précédent et sont égales aux distances imposées par les croisements des lignes HT et THT.

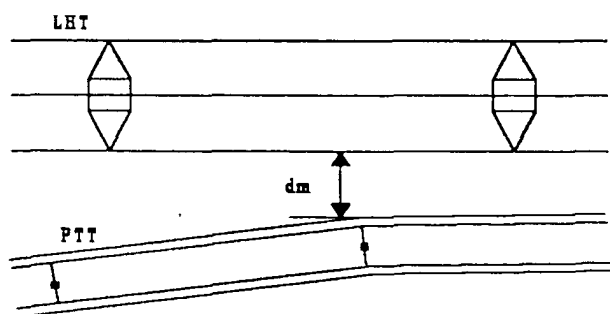
3.4.7 VOISINAGE ET TRAVERSEES DE LIGNES DE TELECOMMUNICATIONS

3.4.7.1 VOISINAGE DES LIGNES DE TELECOMMUNICATION

Les dispositions relatives au risque d'induction électromagnétique sur une ligne de télécommunication par une ligne électrique du fait de leur voisinage (ou parallélisme), sont définies par l'article 66 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963 et le paragraphe 2.6.1 : INDUCTION DANS LES CIRCUITS DE TELECOMMUNICATION des présentes Directives.

Celles concernant le risque de contact par voisinage sont définies par l'article 67 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963 .

La distance minimale d_m prise de conducteur LHT à fil PTT , en projection horizontale , au-dessous de laquelle,il convient de ne pas descendre,pour éviter tout contact accidentel,est fixée comme suit :



$$d_m = 2/3 \text{ écartement entre phase LHT}$$

avec : $d_m \geq 2m$

Les distances des parties les plus saillantes des poteaux ou pylônes des lignes électriques (fig 13) au plan vertical des fils PTT les plus proches son fixées comme suit :

- pylônes métalliques : 3,00 m
- pylônes en béton ou en bois : 1,50 m

Paragraphe 3.4.7.2. : CROISEMENT DES LIGNES DE TELECOMMUNICATIONS

La majoration δ de la distance de croisement dm est obtenue par l'application des textes des articles 63 et 67 :

$$dm = \frac{2}{3} \left[1 + 0,015 U + 0,20 \frac{X}{a} \times \frac{(a - 300)}{15} \right]$$

pour $X = \frac{a}{2}$

$$dm = \frac{2}{3} \left[1 + 0,015 U + 0,10 \frac{(a - 300)}{15} \right]$$

soit : $dm = \frac{2}{3} (2 + 0,015 U) + \frac{2}{3} \left[\frac{0,10(a - 300)}{15} - 1 \right]$

ou $dm = \frac{2}{3} (2 + 0,015 U) + \frac{0,20(a - 450)}{45}$

Par ailleurs, la distance, mesurée verticalement, entre les conducteurs LHT les plus bas et les fils PTT les plus hauts doit être toujours supérieure à 3 mètres.

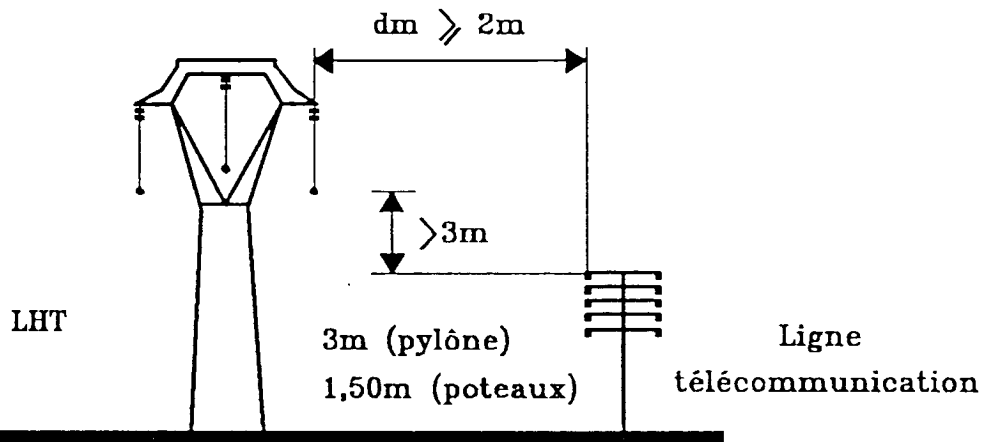


Fig 13 - voisinage d'un support de ligne de télécommunication

3.4.7.2 CROISEMENT DE LIGNES DE TELECOMMUNICATION

Les dispositions relatives aux traversées de lignes de télécommunication par des lignes électriques sont définies par l'article 67 de l'Arrêté Technique du 15 Mars 1963.

Au point de croisement, les conducteurs d'énergie seront placés au-dessus des fils de télécommunication.

Dans le cas où la ligne de télécommunication ne peut être remplacée par une canalisation souterraine, la distance minimale à maintenir entre les conducteurs d'énergie et les fils de télécommunication doit satisfaire à la double condition suivante :

- *En dehors de l'hypothèse de rupture d'un conducteur* de la ligne d'énergie dans une portée contigue à la portée de croisement, la distance minimale à respecter est celle fixée précédemment pour les croisements de lignes aériennes HT, THT sans jamais être inférieure à 2 mètres.

- *Dans l'hypothèse de la rupture d'un conducteur* de la ligne d'énergie dans une portée contigue à la portée de croisement, la distance minimale à respecter est fixée de la façon suivante :

a) *Croisement au droit d'un support quelle que soit la portée ou en un point X quelconque d'une portée $a \leq 450m$*

$$dm = \frac{2}{3}(2 + 0,015U)$$

b) *Croisement au milieu d'une portée $a > 450m$*

$$dm = \frac{2}{3}(2 + 0,015U) + \delta \quad \text{avec} \quad \delta = \frac{0,20(a - 450)}{45}$$

Exemples :

$a = 600 \text{ m}$	$\delta = 0,67m$
$a = 750 \text{ m}$	$\delta = 1,33m$
$a = 900 \text{ m}$	$\delta = 2,00m$

c) Croisement en un point (X) quelconque d'une portée a > 450m

$$dm = \frac{2}{3}(2 + 0,015U) + \frac{2 X \delta}{a}$$

avec $\delta = \frac{0,20(a - 450)}{45}$

X étant la distance entre le point de croisement et le support le plus proche.

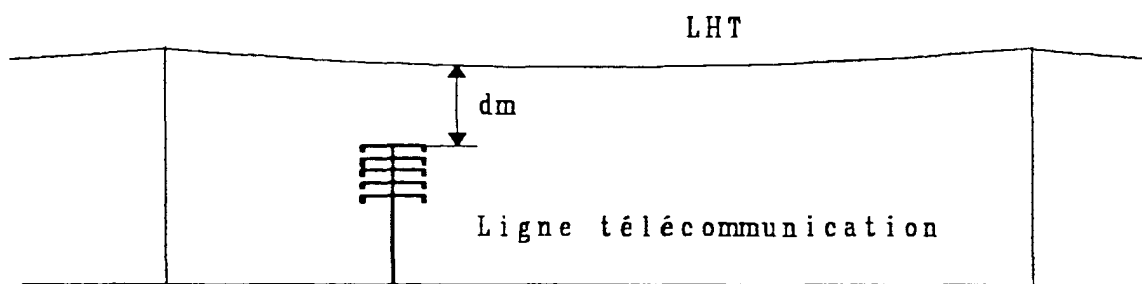


Fig 14 - Croisement de ligne de télécommunication a > 450 m

3.4.8 VERIFICATIONS PARTICULIERES IMPOSEES PAR L'HYPOTHESE DE GIVRE

Dans le cas de givre moyen ou lourd des dispositions particulières sont à appliquer pour tenir compte de la déformation de la chainette sous l'effet de la surcharge .

Elles sont définies dans le FASCICULE GIVRE annexé aux présentes Directives .

3.5 DISTANCES ENTRE CABLES D'UN MEME OUVRAGE OU D'OUVRAGES DIFFERENTS

3.5.1 DISTANCES ENTRE LES CABLES D'UN MEME OUVRAGE

La tenue diélectrique des ouvrages impose de respecter les distances de tensions entre les câbles supportés par une même file de pylônes. Des distances minimales à respecter entre les câbles doivent donc être définies pour les différentes hypothèses météorologiques auxquelles peuvent être soumis les ouvrages.

On distinguera les deux cas suivants :

- les distances à respecter entre les conducteurs eux-mêmes,
- les distances à respecter entre les conducteurs et les câbles de garde.

3.5.1.1 DISTANCES ENTRE CONDUCTEURS EUX MEMES.

a) Distance minimale

La distance minimale (D_{mini}) à respecter entre l'axe des phases d'un même ouvrage a pour valeur :

$$D_{\text{mini}} = t_1 \sqrt{3} + df$$

avec :

t_1 : distance de tension (0,0025 U)

df : écartement des sous-conducteurs

b) Rapprochement des conducteurs sous vent réduit

Sous l'effet du vent les conducteurs prennent une position d'équilibre caractérisée par un angle α .

avec : $\text{tg } \alpha = \frac{T}{V}$

T = effort transversal

V = effort vertical

Autour de ce point d'équilibre, les câbles sont le siège d'oscillations asynchrones dont l'amplitude a pour valeur :

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

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

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

l : longueur de la chaîne de suspension (en mètre)

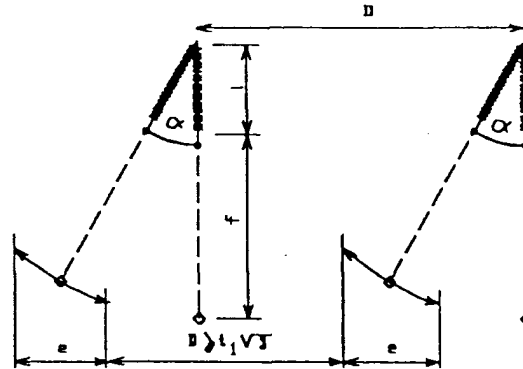
m : coefficient de surcharge du câble en hypothèse de vent réduit.

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

$$d = (D - e) \geq t1\sqrt{3} + df$$

D : distance entre l'axe des câbles aux points d'accrochage.

e : amplitude de l'oscillation asynchrone des câbles.



Pour les ouvrages étudiés en givre moyen ou lourd (4 ou 6 cm) où sous l'effet des décharges de givre, les mouvements des câbles peuvent être importants on effectuera des vérifications complémentaires définies au fascicule givre annexé aux présentes Directives .

c) Cas particulier de ligne à plusieurs ternes équipés de conducteurs différents

Sur ces lignes, le risque d'amorçage entre deux phases voisines appartenant à deux ternes différents est plus important que sur les ouvrages équipés de conducteurs identiques car l'inclinaison des câbles sous l'effet du vent n'est pas la même.

La distance minimale entre phases, à l'accrochage, sera prise égale à la somme :

- de la distance en milieu de portée calculée par les formules précédentes en prenant pour:

- m : la plus grande valeur des deux coefficients de surcharge pour le vent réduit

- t1 : 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)

- et d'une distance correspondant à la différence des amplitudes de balancement de chaque chaînette sous le vent réduit, égale à :

$$(f + l)(\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$$

avec α_1 et α_2 : angles de balancement des conducteurs.

Dans le cas de grandes portées, il peut s'avérer plus économique d'équiper tous les ternes du même type de conducteur plutôt que d'augmenter exagérément les dimensions des supports.

3.5.1.2 DISTANCES VERTICALES ENTRE CONDUCTEURS ET CABLES DE GARDE

La distance verticale minimale à respecter entre un conducteur et un câble de garde à la température de répartition est également calculée avec les formules indiquant les distances horizontales entre conducteurs, mais la distance de tension $t_1 \sqrt{3}$ doit être remplacée par t_1 . Le paramètre du câble de garde étant supérieur à celui des conducteurs, la flèche médiane à prendre en compte dans les formules est celle des conducteurs.

Dans le cas particulier d'un croisement des plans verticaux contenant les conducteurs et les câbles de garde, qui peut se produire lors d'un changement d'armement ou d'un dédoublement de câble de garde (qui n'a pu être évité), on vérifiera, en plus, que :

dans l'hypothèse d'un court-circuit phase terre se produisant dans une portée voisine du point de croisement, la distance reste supérieure ou égale à $t_1 + df/2$.

On suppose que la température ambiante est de 25°C.

Dans le cas où la ligne doit être calculée en hypothèse de givre on se reportera au fascicule givre annexé aux présentes Directives.

3.5.2 DISTANCES ENTRE LES CABLES D'OUVRAGES DIFFERENTS.

Les lignes aériennes sont fréquemment regroupées dans des couloirs, aussi 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,

3.5.2.1 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 du diamètre du faisceau éventuel.

On considère qu'un pylône de la ligne n° 1 peut être placé au droit de la flèche médiane d'une portée de la ligne n° 2 ou, ce qui est équivalent du point de vue du balancement, qu'une portée de la ligne n° 1 se trouve dans sa position d'équilibre alors que la portée voisine de la ligne n° 2 est déviée au maximum sous le vent réduit (240 ou 360 Pa)

On admet donc, en pratique, que les mouvements des conducteurs se décomposent en :

- un balancement d'ensemble de la portée de l'une des lignes,
- des oscillations non synchrones des câbles des deux lignes autour de leur position d'équilibre, résultant des irrégularités du vent ; ces oscillations sont d'autant plus importantes que la flèche et la longueur de chaîne sont plus grandes et leur amplitude est calculée par la formule utilisée pour le calcul des distances entre phases d'une même ligne.

Les distances entre axes de lignes sont modulées, en fonction des difficultés probables d'implantation, pour réduire les effets des couplages électrostatique ou électromagnétique entre lignes voisines.

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

si $(f + l) < 80$ m :

$$D_m = (f_1 + l_1) \sin \alpha_1 + 0,3 m'_1 \sqrt{f_1 + l_1} + 0,3 m'_2 \sqrt{f_2 + l_2} + t_1 \sqrt{3} + df$$

ou :

$$D_m = (f_2 + l_2) \sin \alpha_2 + 0,3 m'_1 \sqrt{f_1 + l_1} + 0,3 m'_2 \sqrt{f_2 + l_2} + t_1 \sqrt{3} + df$$

si $(f + l) \geq 80$ m

$$D_m = (f_1 + l_1) \sin \alpha_1 + \frac{m'_1}{2} \left(\frac{f_1 + l_1}{30} + 2,7 \right) + \frac{m'_2}{2} \left(\frac{f_2 + l_2}{30} + 2,7 \right) + t_1 \sqrt{3}$$

ou :

$$D_m = (f_2 + l_2) \sin \alpha_2 + \frac{m'_1}{2} \left(\frac{f_1 + l_1}{30} + 2,7 \right) + \frac{m'_2}{2} \left(\frac{f_2 + l_2}{30} + 2,7 \right) + t_1 \sqrt{3}$$

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 $\text{tg } \alpha = \frac{T}{V}$

t_1 : distance de tension (probabilité faible) en mètre

i étant l'indice de la ligne

Cas des grandes portées

Les distances applicables aux grandes portées doivent être retenues lorsqu'elles sont supérieures aux distances indiquées pour les portées courantes .

Les pylônes équipant les différentes lignes du couloir devront, dans la mesure du possible, être alignés. Deux cas peuvent se présenter :

- si les conducteurs sont identiques ou ont des coefficients de surcharge voisins pour le vent réduit, D_m n'est plus théoriquement déterminé que par l'amplitude des oscillations. Il en résulte que la flèche et par voie de conséquence la portée, peut être notablement augmentée. Dans ce cas, la valeur de D_m , déterminée précédemment, couvre toutes les longueurs de portée rencontrées dans les couloirs,

- si les conducteurs sont différents, il faut alors tenir compte de la différence d'inclinaison des câbles sous le vent réduit. Cependant, dans ce cas, l'alignement des pylônes permet, pour la distance minimale D_m calculée précédemment, une augmentation de la flèche pouvant atteindre 50 %.

Lorsque les pylônes ne peuvent être alignés, une étude particulière devra être effectuée.

3.5.2.2 DISTANCES MINIMALES AUX LIMITES DE COULOIRS

Les bâtiments et les arbres (forêts, taillis, etc) constituent les obstacles les plus fréquents. On admet, pour calculer les distances aux limites de couloir, les règles de distances exposées dans les chapitres précédents.

3.5.2.3 DISTANCES DE TRAVAIL ENTRE DEUX LIGNES VOISINES

Travail à proximité de la tension

Pour l'entretien courant : changement d'une chaîne d'isolateurs ou réparation d'un câble, la distance minimale entre deux conducteurs de ligne voisine doit être supérieure à la distance de travail indiquée dans le paragraphe 3.7.4 "Travaux sur les ouvrages dans un couloir de ligne" des présentes Directives pour la tension considérée . Comme précédemment, le conducteur de la ligne n° 1 est supposé en équilibre, celui de la ligne n° 2 étant dévié au maximum sous le vent exerçant une pression de 60 Pa (correspond approximativement à une vitesse de 45 km/heure, vitesse maximale retenue pour le travail sur les supports à deux ternes).

Les distances de travail sont toujours suffisantes lorsque la condition concernant le balancement des câbles est respectée.

Pour les travaux : construction d'une ligne voisine ou 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.

3.5.2.4 DISTANCES MINIMALES ENTRE LIGNES VOISINES IMPOSEES PAR LE RENVERSEMENT

La distance à respecter entre lignes voisines doit être telle qu'il n'y ait :

- aucun amorçage possible entre câbles conducteurs des lignes voisines en cas de balancement dans toutes les portées, quel que soit le type de support (voir précédemment "Distances minimales imposées par le balancement des câbles"),
- aucun amorçage possible entre le support ruiné et les lignes voisines au cours du renversement éventuel de ce support .

3.6 DISTANCES A LA MASSE

Les distances entre la masse d'un support et l'une quelconque des pièces sous tension de l'ouvrage (câbles, chaînes isolantes, contrepoids...) doivent être vérifiées à +25°C et pour :

- l'hypothèse sans vent,
- l'hypothèse de vent réduit.

Dans ces hypothèses, elles ne doivent pas être inférieures aux valeurs (m) ci-après :

	Tension (kV)				
	63	90	150	225	400
hypothèse sans vent	0,50	0,70	1,15	1,70	3,00
hypothèse vent réduit	0,35	0,50	0,75	1,10	2,00

Ces valeurs (m) sont respectivement égales aux distances de sécurité t3 et t2 (Cf paragraphe 3.2).

3.7 DISTANCES DE TRAVAIL

Outre les distances à la masse, il est nécessaire de vérifier le respect des distances nécessaires à la réalisation de travaux d'entretien sur l'ouvrage. Plusieurs possibilités peuvent être utilisées pour effectuer ces travaux sur les lignes aériennes :

- travail sur la ligne, après consignation,
- pour les ouvrages supportant plusieurs ternes, travail sur un terne consigné, l'autre (ou les autres) étant sous tension (travail "à proximité de la tension"),
- travail sous tension (méthode à distance avec outils isolants, ou méthode au potentiel).

Les deux dernières possibilités ne peuvent être envisagées par l'exploitant que si des distances de travail suffisantes et adaptées à la méthode employée ont été réservées au moment de la conception des pylônes et de l'étude de la ligne. La possibilité d'intervenir sur un ouvrage, totalement ou partiellement sous tension, constitue donc une hypothèse géométrique supplémentaire, les distances de travail ou de sécurité à respecter étant supérieures aux distances minimales à la masse, quelle que soit la méthode d'intervention.

Les dispositions suivantes ont été étudiées avec les Services d'Exploitation et doivent être appliquées dans les projets.

3.7.1 TRAVAUX A PROXIMITE DE LA TENSION

La possibilité de travailler sur les pylônes des lignes à deux ternes, un terne étant consigné et l'autre étant sous tension, doit obligatoirement être réservée.

Les équipes intervenant sur les ouvrages concernés doivent respecter les prescriptions de sécurité. Deux cas sont à considérer :

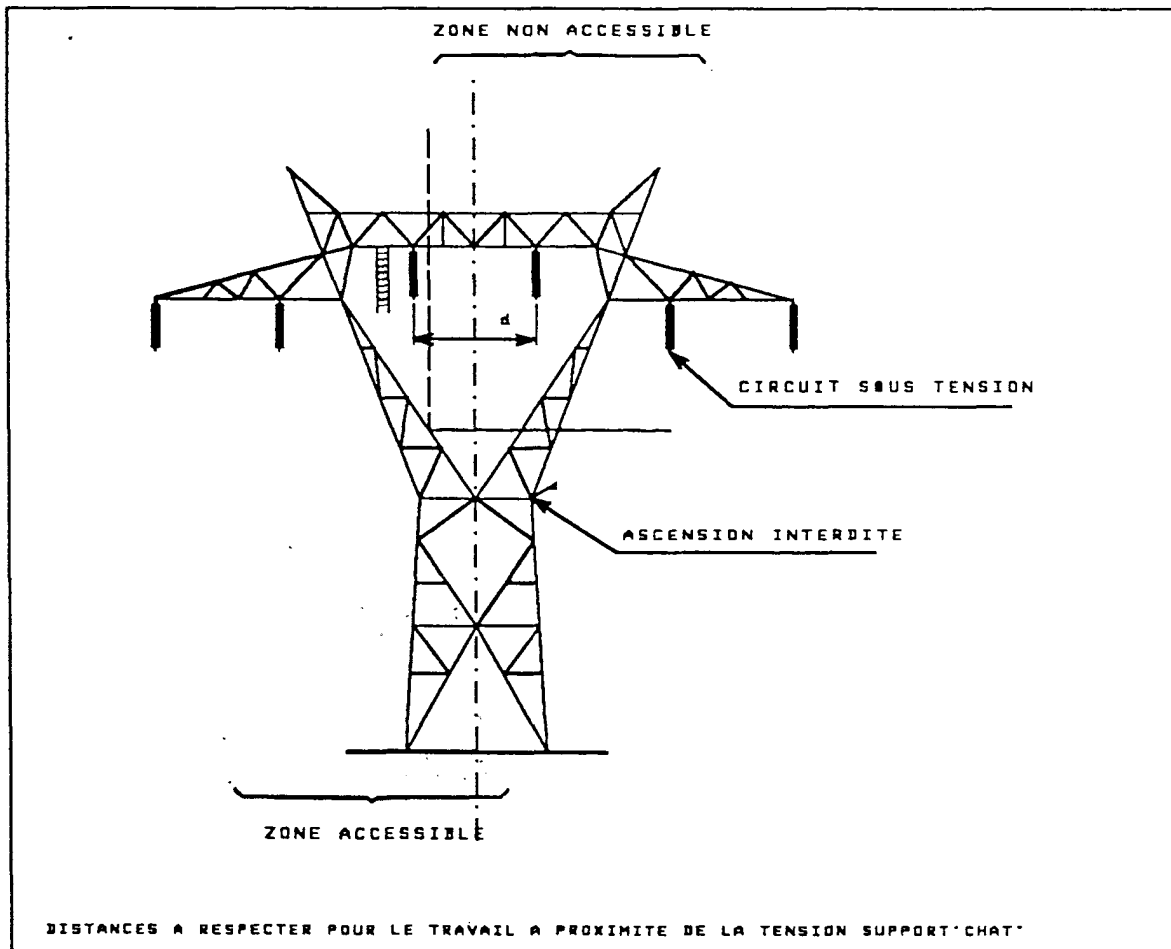
- les opérateurs, compte tenu des objets qu'ils doivent manipuler, n'ont pas à s'approcher à une distance inférieure aux distances ci-après :

- . 3 m pour les ouvrages 63 kV ou 225 kV,
- . 4 m pour les ouvrages de tension supérieure à 225 kV.

- les opérateurs, compte tenu des objets qu'ils doivent manipuler, doivent s'approcher à des distances inférieures aux distances de sécurité précédentes. On se trouve alors dans le cas particulier de travaux au voisinage de la tension et différentes prescriptions particulières sont prévues (installation d'un écran ou consigne écrite).

Distances à respecter

Pylône à deux ternes "Chat" ou nappe horizontale



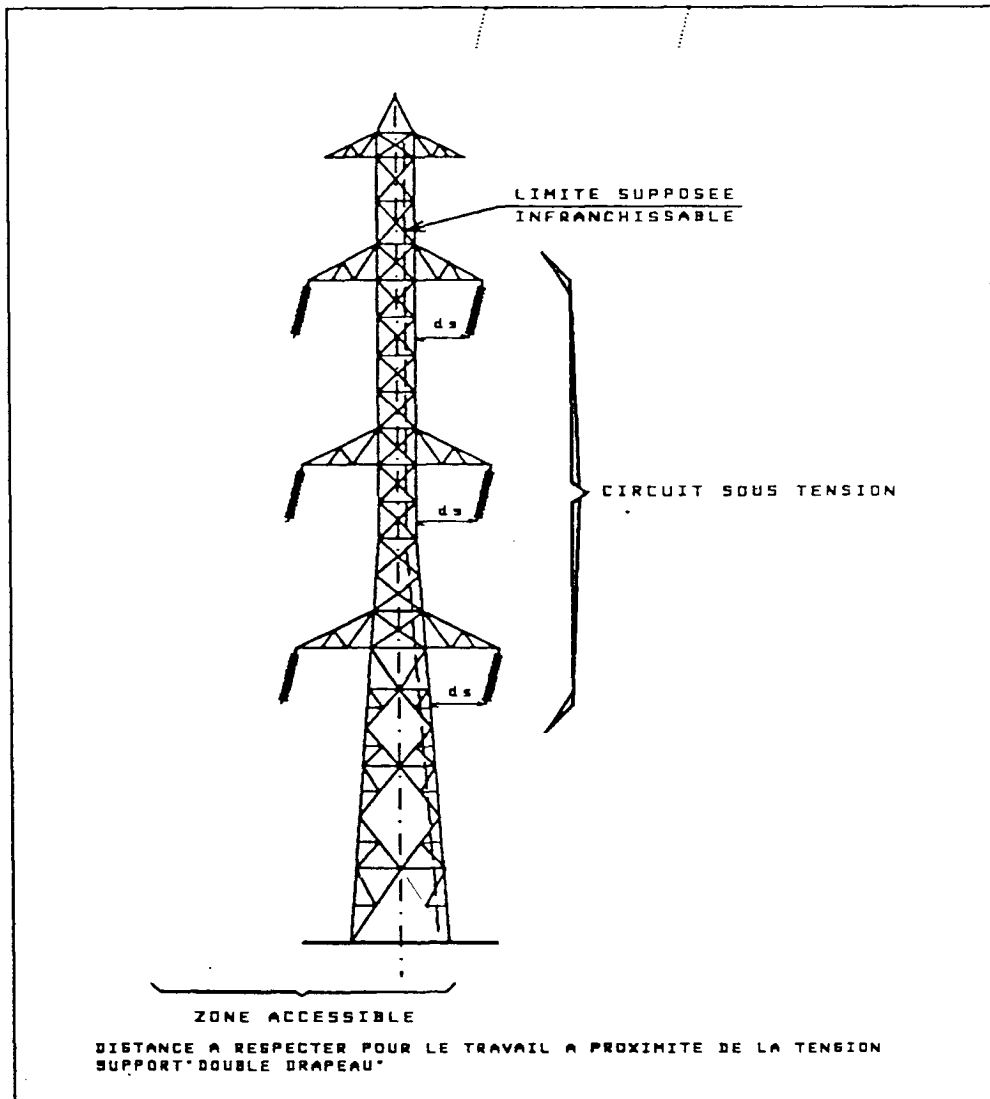
La distance entre les pièces sous tension de deux phases de ternes différents doit être supérieure aux distances fixées à :

- 3,25 mètres pour les lignes 63 kV,
- 3,50 mètres pour les lignes 225 kV,
- 4,50 mètres pour les lignes de tension supérieure à 225 kV.

Le respect de ces distances lors de l'étude de la ligne ne dispense pas l'exploitant de vérifier pour toute intervention que l'opérateur, compte tenu des objets qu'il doit manipuler, n'a pas à s'approcher de la tension à des distances inférieures aux distances minimales de sécurité définies ci-avant.

Pylônes à armement double drapeau

On se place volontairement dans le cas particulier des travaux au voisinage de la tension nécessitant des prescriptions particulières (consigne écrite).



- la face profil du fût du pylône, côté du terre sous tension, constitue une limite à ne pas franchir,

- la distance au fût des pièces sous tension (distance à la masse horizontale ou oblique dans les conditions de l'hypothèse de travail de 25°C avec un vent de 60Pa de pression) devient une distance de sécurité ds et doit être supérieure à :

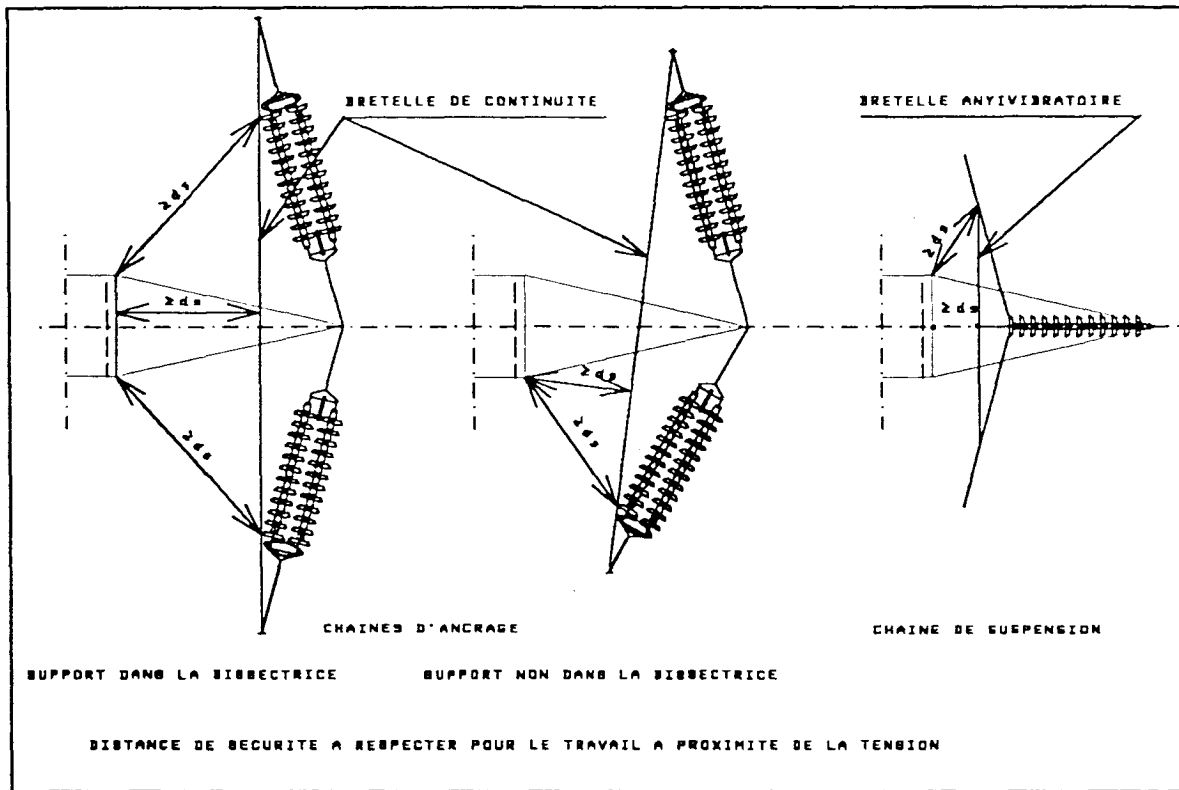
. 1,80 m pour les lignes 63 kV

(. 2,60 m pour les lignes 225 kV

. 3,40 m pour les lignes 400 kV

Les pylônes à deux ternes doivent donc être équipés d'échelons d'ascensions sur deux diagonales opposées du fût du pylône.

Ces distances sont égales aux distances d'approche admises pour le travail sous tension.



(Pour les pylônes d'ancrage, il est possible d'installer une chaîne de guidage pour éloigner la bretelle du fût du pylône).

Dans le cas d'un armement double drapeau, la vérification de la distance de sécurité à 25°C avec vent de 60 Pa remplace la vérification de la distance à la masse, au fût du pylône, à 25°C sans vent.

Le projeteur devra donc vérifier que les distances au fût du pylône, horizontales ou obliques, ne sont pas inférieures aux valeurs suivantes :

	Distance à la masse horizontale ou oblique (mètres) en fonction de la tension nominale de la ligne, dans le cas d'un armement double drapeau		
	63kV	225kV	400kV
25°C avec vent de 60Pa	1,80	2,60	3,40
25°C avec vent réduit (240 ou 360 Pa)	0,30	1,10	2,00

Les distances à la masse verticales doivent satisfaire aux conditions normales indiquées au paragraphe "Distance à la masse à respecter".

3.7.2 TRAVAUX SOUS TENSION

Cette hypothèse géométrique est définie en annexe 2 des présentes Directives.

Son adoption est précisée au moment de la conception de l'ouvrage pour le choix des supports et matériels permettant les travaux sous tension.

3.7.3 TRAVAUX SUR LES OUVRAGES SUPPORTANT PLUS DE DEUX TERNES

L'intervention sur les ouvrages supportant plus de deux ternes doit obligatoirement faire l'objet d'une étude particulière, la disposition des ternes et les distances de travail devant être approuvées par l'exploitant.

3.7.4 TRAVAUX SUR DES OUVRAGES DANS UN COULOIR DE LIGNE

L'intervention, pour entretien, sur une ligne consignée dans un couloir, est assimilable à l'intervention sur une ligne multiterne, un terne étant consigné et les autres étant sous tension.

Les distances à respecter par la création d'un couloir de ligne étant toujours supérieures à la distance de travail, les interventions sur une ligne consignée dans un couloir sont donc possibles.

Toutefois, le projeteur devra vérifier que les distances entre conducteurs de lignes voisines ne sont pas inférieures aux distances minimales à respecter pour le travail à proximité de la tension.

Les distances minimales sont fixées à :

- . 3,25 m en 60kV
- . 3,50 m en 225kV
- . 4,50 m en 400kV .