

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE BAILLIÈRE

ÉTUDE ET CONSTRUCTION
DES
**LIGNES, ÉLECTRIQUES
AÉRIENNES**

PAR

CH. LAVANCHY

Docteur de Sciences, Ingénieur E.S.E.,

J.-B. BAILLIÈRE ET FILS, ÉDITEURS - PARIS

TABLE DES MATIÈRES

PREMIERE PARTIE

CALCULS ELECTRIQUES DES LIGNES DE TRANSMISSION D'ENERGIE

CHAPITRE PREMIER

Caractéristiques des conducteurs utilisés dans la construction
des lignes aériennes.

- Généralités.	7
§ 1. — <i>Conducteurs de cuivre.</i>	
- Cuivre	8
- Alliages de cuivre	15
- Câbles de cuivre creux.	16
§ 2. — <i>Conducteurs d'aluminium.</i>	
- Aluminium	19
- Almelec.	22
- Conducteurs d'acier.	24
- Constantes des câbles homogènes de cuivre et d'aluminium.	27
§ 3. — <i>Conducteurs bimétalliques.</i>	
- Conducteurs mixtes cuivre-acier (bimétal).	28
- Câbles mixtes aluminium-acier	31
- Tableau comparatif des différentes jauges	35

CHAPITRE II

Calcul électrique des lignes à tension assez basse pour
que l'on puisse négliger les effets de capacité.

- Constantes caractéristiques des lignes	37
- Calculs graphiques par des épures	39
- Abaque de Mershon	47
- Abaque de Blondel	49
- Calcul algébrique	52
- Calcul par la méthode de séparation des puissances	54

7. — Echauffement des conducteurs. — Courants admissibles.	56
8. — Amélioration du facteur de puissance des installations	58
9. — Calcul de la puissance réactive nécessaire pour modifier le facteur de puissance d'une installation	63

CHAPITRE III

Grandeurs caractéristiques entrant dans le calcul des lignes à haute tension

1. — Les grandeurs caractéristiques; leur détermination mathématique.	65
2. — Calcul rapide des grandeurs caractéristiques des lignes au moyen d'abaques.	74
3. — Modification des grandeurs caractéristiques des lignes	76
4. — Détermination expérimentale des quatre grandeurs caractéristiques.	81

CHAPITRE IV

Calcul électrique des lignes à haute tension par des diagrammes et par des abaques

1. — Equations générales.	86
2. — Construction directe des épures des tensions et des courants...	89
3. — Construction des épures des tensions et des courants au moyen d'un abaque universel	92
4. — Calcul graphique par l'emploi d'abaques des fonctions hyperboliques	95
5. — Formules générales pour l'étude des lignes fonctionnant en parallèle.	102
6. — Application des méthodes précédentes à un exemple particulier.	104

CHAPITRE V

Méthodes algébriques de calcul électrique des lignes à haute tension

1. — Méthode de calcul par les imaginaires en partant des formules générales.	110
2. — Méthode de calcul par les imaginaires en partant des développements en série des fonctions hyperboliques vectorielles.	111
3. — Méthode de calcul par le développement en série des fonctions hyperboliques réelles	112

CHAPITRE VI

Les circuits équivalents des lignes à constantes réparties; leurs applications.

1. — Circuits équivalents	114
2. — Circuits équivalents généralisés	117
3. — Simplification des circuits en II et en T des transformateurs.	118
4. — Application du circuit équivalent en II au calcul d'une ligne ..	119
5. — Résumé des principales notations adoptées pour le calcul des lignes.	123

CHAPITRE VII

Calcul des réseaux de distribution et des courants de court-circuit

§ 1. — Réseaux de distribution non bouclés.

1. — Distribution à section constante.	126
2. — Distribution à sections variables avec la charge.	128
3. — Distribution autour d'un centre; poids de cuivre minimum ...	129
4. — Distribution simple alimentant plusieurs points	130

§ 2. — Calcul des réseaux bouclés.

5. — Formules générales de transfiguration	133
6. — Méthode générale de calcul des réseaux bouclés.	135
7. — Exemple de calcul d'un réseau maillé à courant continu	136
8. — Exemple de calcul d'un réseau maillé à courant alternatif	141

§ 3. — Calcul du courant de court-circuit
des réseaux à courant alternatif

9. — Méthode générale	145
10. — Méthode indirecte	147
11. — Cas d'un réseau alimenté par plusieurs génératrices	150

CHAPITRE VIII

Phénomènes transitoires. Protection des lignes
contre les surtensions

1. — Origine des surtensions	153
2. — Propagation des ondes libres	157
3. — Le câble de terre; son efficacité	168

CHAPITRE IX

Les isolateurs

1. — Description sommaire des types d'isolateurs utilisés	174
2. — Constitution et préparation de la porcelaine	176
3. — Influence des composants sur les qualités de la porcelaine	178
4. — Tracé des formes d'isolateurs	181
5. — Répartition du potentiel entre les éléments d'une chaîne d'isolateurs, constitution des chaînes	185
6. — Causes de détérioration et de mauvaise tenue des isolateurs.	193
7. — Détermination de l'isolement nécessaire	199
8. — Essais des isolateurs.	202

CHAPITRE X

Etude de quelques problèmes particuliers soulevés
par l'exploitation des lignes à haute tension.

1. — Mise sous tension de réseaux à haute tension	206
2. — Auto-amorçage des alternateurs débitant sur des réseaux à haute tension	210
3. — Mise en parallèle des lignes ou des réseaux triphasés	213

DEUXIEME PARTIE

ETUDE MECANIQUE DES LIGNES DE TRANSMISSION
D'ENERGIE

CHAPITRE PREMIER

Efforts agissant sur les lignes aériennes; conditions administratives

1. — Généralités	217
2. — Efforts dus au vent	217
3. — Efforts exercés par le vent sur les pylônes	220
4. — Efforts exercés par le vent sur les conducteurs	221
5. — Influence du verglas ou de la glace	221
6. — Conditions administratives admises dans le calcul des conducteurs.	222

CHAPITRE II

Calcul mécanique des conducteurs par des formules
et par des abaques

1. — Généralités	230
2. — Courbe prise par un fil tendu entre deux appuis au même niveau; relations algébriques entre ses divers éléments	231
3. — Equation du changement d'état d'un fil tendu	234
4. — Calcul algébrique des conducteurs en appliquant l'équation du changement d'état	235
5. — Exemple du calcul algébrique d'un conducteur	236
6. — Portée critique.	240
7. — Résolution de l'équation du changement d'état au moyen d'abaques	241
8. — Exemple du calcul graphique d'un conducteur (abaque Blondel).	245
9. — Polygone de sécurité	248
10. — Seconde forme de l'abaque Blondel	249
11. — Exemple d'application de l'abaque Blondel rectiligne à l'établissement du polygone de sécurité	254
12. — Constantes du métal; influence de leur variation sur les résultats des calculs.	257
13. — Graphiques et tableaux auxiliaires.	262
14. — Construction de la parabole d'un fil tendu.	265

CHAPITRE III

Calcul mécanique des conducteurs dans quelques cas spéciaux

1. — Généralités	268
2. — Etablissement des formules fondamentales; cas des supports à des niveaux différents	268
3. — Formules pratiques déduites des formules théoriques précédentes.	273

4. — Equation générale du changement d'état du fil; cas des supports à des niveaux différents	277
5. — Calcul mécanique des conducteurs dans le cas d'une ligne libre de jouer sur ses supports	280
6. — Calcul des très longues portées	281
7. — Considérations sur la précision des calculs mécaniques des conducteurs.	286

CHAPITRE IV

Effets transmis aux supports par les conducteurs

1. — Généralités	291
2. — Efforts transmis par les conducteurs aux supports dans les conditions normales.	291
3. — Efforts sur les supports d'alignement résultant des différences de contrainte dans les portées adjacentes.....	297
4. — Application à la recherche de l'équilibre de deux portées successives inégales, en tenant compte de la flexion du support.	304
5. — Etude de l'équilibre d'une ligne après rupture d'une portée, en tenant compte de la flexion des supports	307

CHAPITRE V

Disposition et écartement des conducteurs

1. — Considérations générales	315
2. — Disposition des conducteurs imposée par des conditions électriques	315
3. — Disposition des conducteurs imposée par des conditions mécaniques	320
4. — Exemples des dispositions généralement adoptées	324
5. — Inclinaison prise par une chaîne d'isolateurs placée à un support d'angle	330
6. — Considérations complémentaires sur les lignes avec conducteurs en faisceaux.	335

CHAPITRE VI

Supports en bois

1. — Généralités	341
2. — Caractéristiques des bois employés comme supports	342
3. — Préservation des poteaux par injection ou imprégnation d'antiseptiques	344
4. — Préservation des poteaux par emploi de socles	353
5. — Considérations générales sur le calcul de la résistance des poteaux de bois.	356
6. — Méthodes de calcul des poteaux de bois	358
7. — Considérations générales sur les formules à appliquer pour le calcul des pièces au flambage	369

CHAPITRE VII

Pylônes métalliques

1. — Considérations générales	374
2. — Considérations sur l'usinage des aciers	378
3. — Principe du calcul des pylônes en treillis	382
4. — Exemple de calcul d'un pylône en treillis	387
5. — Exemple de calcul d'un pylône flexible	395
6. — Principe du calcul graphique des pylônes	397
7. — Calcul des pylônes au moyen d'abaques	399
8. — Principe du calcul des pylônes à la torsion	406
9. — Mode de fixation des pylônes dans leurs massifs de fondation. ..	407
10. — Pylônes métalliques en tubes d'acier remplis de béton	407
11. — Procédés de protection contre la rouille des fers des pylônes	409

CHAPITRE VIII

Supports en béton armé

1. — Généralités	416
2. — Nature des matériaux employés dans la construction des poteaux en béton armé	423
3. — Fabrication des poteaux en ciment obtenus par moulage	429
4. — Caractéristiques particulières des poteaux en ciment armé centrifugé	431
5. — Hypothèses sur lesquelles est basé le calcul des supports en béton armé	433
6. — Principe du calcul basé sur la circulation ministérielle du 20 octobre 1906.	435
7. — Application au calcul d'un poteau de section rectangulaire	438
8. — Exemple de calcul de la section d'un poteau en ciment moulé ..	441
9. — Calcul complet d'un poteau en ciment armé	442
10. — Calcul graphique des poteaux en ciment	444
11. — Conditions d'essais des poteaux en béton armé	448

CHAPITRE IX

Ferrures et armements

1. — Généralités	451
2. — Ferrures murales	451
3. — Armements pour supports en bois et en ciment armé	458
4. — Calcul des ferrures coudées	469
5. — Calcul des ferrures à embase	470
6. — Calcul des ferrures à cône	476
7. — Calcul des bras des armements	487

CHAPITRE X

Fondations des supports

4. — Généralités	490
2. — Calcul d'un massif posé sur un sol indéformable	492

Calcul d'un massif posé sur un sol élastique	492
Calcul des socles à semelles sans massif	498
Calcul d'un massif en forme de dalle verticale supposée encastrée dans un terrain élastique de résistance constante indépendante de la profondeur	500
Calcul d'un massif en forme de dalle verticale encastrée dans un terrain élastique de résistance variable avec la profondeur. ..	503
Calcul d'un massif prismatique en terrain élastique (Andrée et Norsa)	506
Calcul d'un massif prismatique en terrain élastique d'après la méthode simplifiée de Schutz	511
Méthode de calcul basée sur les expériences effectuées par l'Association Suisse des Electriciens	513
Méthode de calcul basée sur les expériences de Frœhlich	522
Méthode de calcul basée sur l'hypothèse des terres pulvérulentes.	528
Comparaison des diverses méthodes de calcul des massifs	533
Application des diverses méthodes de calcul des fondations des supports.	539
Exemple de calcul des massifs des poteaux en ciment	546
Exemple de calcul des massifs des pylônes métalliques	548
Exemple de calcul de la stabilité d'un poteau de bois	548

CHAPITRE XI

Calcul des lignes caténaïres

— Généralités	551
— Principe et difficultés du calcul des lignes caténaïres	554
— Calcul d'une caténaire entravée	555
— Principe du calcul d'une ligne caténaire souple	564
— Considérations sommaires sur le matériel de construction des lignes caténaïres	565

TROISIEME PARTIE

ETUDE ECONOMIQUE ET PRINCIPES DE CONSTRUCTION DES LIGNES DE TRANSMISSION D'ENERGIE

CHAPITRE PREMIER

Considérations économiques générales

— Généralités.	569
— Relation entre la tension, la longueur de la ligne et la puissance transmise.	570
— Section des conducteurs. Règle de Lord Kelvin	573
— Détermination des pertes annuelles, courant moyen annuel, puissance moyenne annuelle	574

5. — Nature des conducteurs
6. — Types de supports, portées économiques
7. — Éléments permettant d'établir le devis d'une transmission ...
8. — Charges financières d'amortissement et d'entretien des installations

CHAPITRE II

Étude du tracé des lignes

1. — Généralités.
2. — Principes généraux de l'étude du tracé
3. — Piquetage.
4. — Conditions particulières aux lignes à haute tension
5. — Instruments utilisés pour les piquetages.

CHAPITRE III

Exécution des travaux; principes généraux

1. — Construction des lignes établies sur poteaux de bois
2. — Construction des lignes établies sur poteaux en ciment
3. — Construction des lignes établies sur pylônes métalliques
4. — Construction des lignes à très haute tension
5. — Observations sur la mise à la terre des supports