

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 .....