

BIBLIOTHÈQUE DE L'INGÉNIEUR-ÉLECTRICIEN

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE L. BARBILLION .

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE, DIRECTEUR DE L'INSTITUT POLYTECHNIQUE

---

LA

# TRACTION ÉLECTRIQUE

## A COURANT CONTINU

PAR L. BARBILLION

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE, DIRECTEUR DE L'INSTITUT POLYTECHNIQUE

LAURÉAT DE L'INSTITUT (PRIX HÉBERT ET PRIX PLUMET)



PARIS

ALBIN MICHEL, ÉDITEUR

22, RUE HUYGHENS, 22

1923

# TABLE DES MATIÈRES

## PRÉLIMINAIRES

### Détermination du tracé des lignes. — Établissement d'un dossier de concession.

<i>Tracé des lignes</i> .....	1
Mode de procéder .....	1
Règle de l'égalité des remblais et des déblais .....	1
Connaissance du sous-sol .....	1
Etude des travaux d'art .....	2
Rampes .....	2
Courbes .....	2
Plan des traverses .....	2
Confection du plan des traverses .....	2
Profil en long .....	4
<i>Demande de concession</i> .....	4
<i>Régime ancien</i> .....	5
Mémoire descriptif .....	5
<i>Régime nouveau</i> .....	6
Avant-projet .....	7
Enquête d'utilité publique .....	7
Cahier des charges .....	8

## CHAPITRE PREMIER

<b>Efforts moteurs et efforts adhérents</b> .....	10
GÉNÉRALITÉS SUR LES EFFORTS MOTEURS ET LES EFFORTS ADHÉRENTS .....	10
<i>Relation entre les efforts moteurs et les efforts adhérents</i> .....	10
<i>Application numérique</i> .....	11
<i>Classification des différentes résistances intervenant dans la constitution des efforts de traction</i> .....	12
Forme générale de ces efforts résistants .....	13

ETUDE DES DIVERS EFFORTS RÉSISTANTS.....	13
<i>Résistances permanentes autres que celles dues à l'air</i> .....	13
<i>Frottement des fusées sur les coussinets</i> .....	14
<i>Frottement de roulement de la roue sur le rail</i> .....	14
<i>Résistance de l'air</i> .....	14
<i>Résistance de l'air aux très grandes vitesses</i> .....	15
<i>Formules empiriques donnant les résistances permanentes globales à la traction</i> .....	16
Formules de résistances proposées pour les chemins de fer.....	17
<i>Quelques formules relatives aux trains à vapeur</i> .....	17
<i>Formule de la Compagnie d'Orléans</i> .....	18
<i>Formules propres aux chemins de fer et tramways électriques</i> .....	18
<i>Résistances accidentelles</i> .....	20
Rampes.....	20
Courbes.....	21
Solidarité des roues.....	21
Solidarité et parallélisme des essieux.....	22
Remarque fondamentale.....	23
Effort de traction.....	23
Effet du vent.....	24
<i>Résultats pratiques relatifs aux résistances supplémentaires. Chemins de fer, Tramways</i> .....	24 25
GÉNÉRALITÉS SUR LA DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DES EFFORTS DE TRACTION.....	26
<i>Détermination expérimentale des efforts de traction</i> .....	26
Efforts de traction comparés en Amérique et en Europe.....	27
<i>Détermination des efforts de traction en marche</i> .....	28
<i>Régulateurs de vitesse employés</i> .....	31
DÉTERMINATION DES EFFORTS COMPLÉMENTAIRES DUS AUX DÉNIVELLATIONS DE LA VOIE.....	32
<i>Choix des efforts de traction</i> .....	33
Période de démarrage.....	33
Mode pratique de réalisation du démarrage.....	34
Espace nécessaire au démarrage.....	35
Période de marche en régime.....	36
Période de freinage.....	36
Limite de l'effort de freinage.....	37

## CHAPITRE DEUXIÈME

<b>Voies</b> .....	39
GÉNÉRALITÉS SUR LES VOIES EMPLOYÉES EN TRACTION.....	39
Voie Marsillon.....	40
Voie Broca.....	40
Voie Phoenix.....	41
Voie Vignole.....	41
Voie avec rails à double champignon.....	42

Rails sur longrines.....	42
Systèmes étrangers.....	42
Choix d'un type de voie.....	43
<i>Mode d'établissement des voies en courbe</i> .....	43
Rayons des courbes.....	44
<i>Déclivités</i> .....	45
<i>Voies de traverses et voies de bifurcations</i> .....	45

## CHAPITRE TROISIÈME

<b>Matériel roulant</b> .....	47
GÉNÉRALITÉS SUR LES VOITURES A ESSIEUX PARALLÈLES ET VOITURES A BOGIES.....	47
VOITURES A ESSIEUX RIGIDES.....	48
<i>Voitures à deux essieux</i> .....	49
<i>Voitures à trois essieux</i> .....	52
<i>Voitures ayant plus de trois essieux</i> .....	52
VOITURES A BOGIES.....	53
LOCOMOTIVES A MOTEURS MULTIPLES ET LOCOMOTIVES A GROS MOTEURS.....	56
LOCOMOTIVES A MOTEURS LENTS OU A MOTEURS RAPIDES.....	58
Essais en exploitation sur le tronçon Spiez-Frutigen.....	59
Locomotive Oerlikon du Loetschberg.....	59
Locomotive A.E.G. du Loetschberg.....	60
<i>Données générales sur la construction du truc et des essieux</i> .....	61
<i>Tendances actuelles en matière de construction des locomotives électriques</i> .....	62

## CHAPITRE QUATRIÈME

<b>Moteurs de traction</b> .....	69
PUISSANCE. — CONSTRUCTION.....	69
<i>Fixation des caractéristiques du choix de ces moteurs ; définition de la puissance d'un moteur de traction</i> .....	69
Mode d'enroulement.....	73
Carcasse.....	74
Inducteur.....	75
Usinage de la carcasse.....	76
Induit.....	77
Croisillons d'armature.....	78
Arbre.....	78
Collecteur.....	78
Balais et porte-balais.....	79
MOTEURS DE TRACTION THOMSON-HOUSTON A PÔLES DE COMMUTATION.....	79
Bobines d'excitation.....	81
Paliers et coussinets.....	82
SPÉCIFICATION ÉLECTRIQUE DU MOTEUR. TH. 219-750 V.....	83
SPÉCIFICATION ÉLECTRIQUE DU MOTEUR. GE.58-500 V.....	84

## CHAPITRE CINQUIÈME

<b>Liaison des moteurs à l'essieu. — Suspension</b> .....	88
TRANSMISSION DU MOUVEMENT A L'ESSIEU .....	88
Transmission directe du couple moteur à l'essieu .....	89
Moteurs à réduction de vitesse .....	94

## CHAPITRE SIXIÈME

<b>Régulation des moteurs (motrices isolées)</b> .....	101
GÉNÉRALITÉS SUR LA RÉGULATION .....	101
MODES DE RÉGULATION ADOPTÉS POUR LES VOITURES MOTRICES ISOLÉES ..	105
Action sur la tension effective aux bornes du moteur .....	106
Action sur le flux inducteur .....	108
Modification des vitesses par couplages différents des moteurs de traction, pour les équipements en comportant au moins deux .....	109
Effets produits sur les vitesses de marche d'un véhicule par une action sur le flux inducteur, par l'insertion d'un rhéostat et par le couplage série-pa- rallèle .....	110
Choix du mode de démarrage .....	115
Matériel complémentaire d'un équipement de tramway .....	117

## CHAPITRE SEPTIÈME

<b>Régulation des moteurs (unités multiples)</b> .....	118
SYSTÈMES DE RÉGULATION EMPLOYÉS POUR LES TRAINS COMPRENANT PLUSIEURS VOITURES MOTRICES .....	118
Cas de la régulation des deux motrices .....	119
Régulation d'un train comprenant un nombre quelconque d'unités motrices ..	119
Répartition différente des puissances dans les divers équipements ..	121
Divers modes de réalisation de la régulation par unités multiples ..	123
Commande mécanique .....	123
Commande pneumatique .....	124
Commande électrique et électro-pneumatique .....	124
Systèmes électriques de régulation par unités multiples .....	124
Classification des systèmes électriques proprement dits .....	125
SYSTÈME SPRAGUE .....	126
SYSTÈMES THOMSON ET DÉRIVÉS .....	130
SYSTÈMES THOMSON MULTIPLE .....	140
APPLICATION DES PRINCIPES QUI PRÉCÈDENT .....	146
Équipements à unités multiples. — Système Sprague-Thomson-Houston à contrôleur non automatique .....	146
Position 1 du contrôleur .....	147
Position 2 du contrôleur .....	148
Position 3 du contrôleur .....	148
Position 4 du contrôleur .....	148

Position 5 du contrôleur .....	149
Position 6 du contrôleur .....	149
Position 7 du contrôleur .....	150
Position 8 du contrôleur .....	150
Croisement des fils .....	150
Méthode défectueuse de couplage .....	151
RÉGULATION ÉLECTRO-PNEUMATIQUE WESTINGHOUSE .....	153
Westinghouse primitif .....	154
Système Westinghouse-Turret .....	154
Westinghouse H.L. non automatique .....	155
SYSTÈMES PNEUMATIQUES .....	155
LA RÉGULATION PAR UNITÉS MULTIPLES EN PRATIQUE ; COMPARAISON DES SYSTÈMES PNEUMATIQUES ET ÉLECTRIQUES .....	156

## CHAPITRE HUITIÈME

<b>Alimentation des moteurs de traction par lignes aériennes.</b> .....	159
GÉNÉRALITÉS SUR LES DISTRIBUTIONS AÉRIENNES .....	159
Principaux caractères d'une distribution aérienne .....	159
Fils conducteurs .....	162
Modes de suspension du fil conducteur .....	162
Suspension type rigide sur tube-console .....	163
Suspension élastique sur tube-console .....	166
Suspension par fils transversaux .....	167
Données spéciales aux fils transversaux .....	169
Fixation du fil conducteur au moyen de fils auxiliaires ou d'ancrage ..	172
Fils de tension .....	173
Aménagement d'un terminus de ligne .....	174
Tendeur isolant monté sur son collier .....	175
Poteaux .....	175
Poteaux en bois .....	175
Poteaux métalliques .....	175
Etablissement des poteaux en alignement droit .....	176
Cas des poteaux à console .....	176
Poteaux destinés à supporter des fils transversaux .....	176
Données pratiques sur l'établissement des poteaux pour fils trans- versaux .....	177
Installation des poteaux en courbe .....	178
PRISES DE COURANT .....	179
Trolley axial .....	180
Trolley latéral .....	181
Perche .....	181
Galet de contact ou trolley proprement dit .....	182
ARCHETS .....	183
SYSTÈMES DE PRISES SPÉCIAUX .....	185
Prise par cuiller Thury .....	185
Prise par pantographe articulé aérien .....	185
Prise par antennes .....	186

<i>Prise aérienne par rouleau</i> .....	188
AIGUILLAGES ET BIFURCATIONS .....	188
TYPES DIVERS DE LIGNES AÉRIENNES. — LEUR MODE D'ÉTABLISSEMENT EN COURBES .....	190
<i>Système axial</i> .....	191
Caractères du système axial .....	191
Méthode permettant de déterminer assez exactement les côtés du polygone funiculaire en courbe .....	191
Autre méthode .....	193
Polygones funiculaires .....	193
Rapprochement des poteaux dans les courbes ; lignes axiales .....	193
Emploi d'un câble auxiliaire (lignes axiales) .....	193
<i>Système désaxé</i> .....	194
Rappel du principe du Dickinson .....	194
Désaxement .....	194
Courbes .....	194
LIGNES AÉRIENNES A CONTACT GLISSANT .....	194
<i>Archets, rouleaux, etc.</i> .....	194
<i>Suspension caténaire</i> .....	195
Suspensions caténares systèmes Siemens et A. E. G. ....	197
PRIX D'UNE INSTALLATION DE TRACTION A COURANTS CONTINUS AVEC DISTRIBUTION AÉRIENNE .....	199
<i>Appareillage de suspension</i> .....	199
Cas d'une ligne simple fil .....	199
Cas d'une ligne double fil .....	200

## CHAPITRE NEUVIÈME

<b>Alimentation par caniveaux, par troisième rail et par contacts superficiels</b> .....	201
DISTRIBUTION SOUTERRAINE OU PAR CANIVEAU .....	201
<i>Généralités sur les caniveaux</i> .....	201
<i>Aiguillages et bifurcations</i> .....	204
<i>Prix de l'installation du caniveau</i> .....	206
Caniveau latéral .....	206
Caniveau axial .....	206
Caniveau mixte .....	206
CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA DISTRIBUTION PAR TROISIÈME RAIL .....	206
<i>Effet du verglas</i> .....	208
<i>Prises de courant dans le cas de distribution par troisième rail</i> .....	208
NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES DISTRIBUTIONS PAR CONTACTS SUPERFICIELS .....	209
SYSTÈMES MIXTES A CANIVEAU ET A CONTACTS SUPERFICIELS .....	212

## CHAPITRE DIXIÈME

<b>Circuits électriques de retour</b> .....	213
GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉCLISSAGE ÉLECTRIQUE DES VOIES .....	213
<i>Eclissage électrique des voies</i> .....	213

<i>Connecteurs plastiques</i> .....	215
<i>Joints soudés. Joints Falk. Procédés à l'aluminothermie. Dépenses provenant de l'établissement de joints électriques ordinaires (de tronçons à tronçons)</i> .....	216
<i>Liaisons électriques complémentaires</i> .....	216
Liaison transversale .....	216
Liaisons des voies entre elles .....	216
Coût de l'éclissage électrique .....	217
PREScriptions RÉGLEMENTAIRES DESTINÉES A DIMINUER LA CHUTE DE TENSION DANS LES VOIES. LEUR UTILITÉ .....	219
DISPOSITIFS DESTINÉS A LIMITER LES CHUTES DE TENSION DANS LES VOIES OU A LES RENDRE INOFFENSIVES .....	222
<i>Emploi de feeders de retour</i> .....	223
<i>Emploi de sous-volteurs</i> .....	224
<i>Chute de tension dans les chemins de fer à traction électrique</i> .....	225
<i>Résultats pratiques d'observations sur les phénomènes liés au retour du courant par les rails</i> .....	226

## CHAPITRE ONZIÈME

<b>Freinage des voitures électriques</b> .....	231
GÉNÉRALITÉS SUR LE FREINAGE DES VOITURES ÉLECTRIQUES .....	231
<i>Freins à commande directe</i> .....	231
<i>Freins à commande indirecte</i> .....	236
ÉTUDE D'UN FREIN A AIR COMPRIMÉ (SYSTÈME SOULBERN) .....	237
Nomenclature et disposition générale des appareils .....	238
Fonctionnement général .....	239
FREINS FAISANT APPEL A DIVERS PRINCIPES D'ÉLECTRICITÉ ET DE MAGNÉTISME .....	241
<i>Freins électriques proprement dits</i> .....	241
<i>Freins électromagnétiques</i> .....	241
<i>Freins électromagnétiques agissant sur le rail</i> .....	244

## CHAPITRE DOUZIÈME

<b>Application de la traction électrique aux chemins de fer de montagne, et à divers services spéciaux</b> .....	246
TRACTION SUR FORTES RAMPES .....	246
Généralités .....	246
APPLICATIONS DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE A DES SERVICES SPÉCIAUX .....	250
<i>Chemins de fer monorails</i> .....	250
<i>Trottoirs roulants</i> .....	250
<i>Omnibus à traction électrique</i> .....	253
Prises de courant .....	253

## CHAPITRE TREIZIÈME

<b>Traction mixte thermo-électrique</b> .....	262
<b>TRACTION PÉTROLÉO-ÉLECTRIQUE</b> .....	262
<i>Généralités sur la traction thermo-électrique</i> .....	262
<i>Traction thermo-électrique. Automotrices Drake</i> .....	263
Détail des automotrices .....	264
Autres applications des automotrices thermo-électriques .....	266
<i>Locotracteurs à transmission électrique pour voie de 0<sup>m</sup>60 de la C<sup>ie</sup> des</i> <i>Forges et Acieries de la Marine et d'Homécourt</i> .....	267
Description du locotracteur .....	269
Châssis .....	269
Frein mécanique .....	269
Groupe moteur et transmission électrique .....	269
Groupe moteur .....	270
Transmission électrique .....	271
Rôle de la transmission électrique .....	272
Génératrice .....	272
Moteurs électriques .....	272
Réducteur de vitesse .....	272
Appareils électriques de commande .....	273
Accumulateurs et éclairage .....	274
<i>Automotrices Diesel-électriques Brown-Boveri de Baden</i> .....	274
Construction des voitures .....	274
Moteur Diesel .....	275
Partie électrique de l'automotrice .....	276
Exploitation .....	277

## CHAPITRE QUATORZIÈME

<b>Traction des chemins de fer régionaux. — Système électro-vapeur.</b>	
— <b>Traction électrique industrielle</b> .....	278
APPLICATION AUX CHEMINS DE FER RÉGIONAUX DU CHAUFFAGE ÉLEC- TRIQUE DES LOCOMOTIVES A VAPEUR .....	278
<i>Le problème de l'électrification des chemins de fer régionaux</i> .....	278
<i>Le chauffage électrique des chaudières et des locomotives à vapeur</i> .....	279
<i>Essais de traction électro-vapeur à Brignoud</i> .....	280
RENDEMENT INDUSTRIEL DE LA LOCOMOTIVE ÉLECTRO-VAPEUR .....	280
<i>Comparaison avec la locomotive à foyer</i> .....	280
Inconvénients de la chaudière à foyer .....	280
Avantages de la traction « électro-vapeur » .....	280
<i>Comparaison avec la locomotive électrique</i> .....	281
APPLICATION DE LA TRACTION « ÉLECTRO-VAPEUR » SUR LES CHEMINS DE FER RÉGIONAUX .....	281
<i>Traction à chauffage électrique intermittent</i> .....	281
<i>Traction à chauffage électrique continu</i> .....	282
<i>Traction à chauffage électrique mixte</i> .....	282

<i>Chauffage auxiliaire à combustible</i> .....	282
La question du démarrage .....	283
Les immobilisations nouvelles .....	283
<i>Les frais d'exploitation</i> .....	283
APPLICATION DE LA TRACTION ÉLECTRO-VAPEUR A UN CHEMIN DE FER RÉGIONAL .....	284
<i>Traction à vapeur</i> .....	284
<i>Traction électrique</i> .....	285
<i>Traction électro-vapeur</i> .....	285
Conclusion .....	285
TRACTION PUREMENT THERMIQUE POUR LES LIGNES A FAIBLE TRAFIC .....	285
TRACTION ÉLECTRIQUE INDUSTRIELLE .....	286
<i>Locomotive à accumulateurs pour voies industrielles Brown-Boveri</i> .....	286
<i>Matériel spécial locomoteur pour mines, carrières, etc.</i> .....	287

## CHAPITRE QUINZIÈME

<b>Traction par courants continus haute tension</b> .....	290
<i>Généralités sur ce mode de traction. — Installations diverses</i> .....	290
<i>Répartition des moteurs</i> .....	291
<i>Premiers moteurs à haute tension</i> .....	291
Le moteur à 1.200 volts .....	293
<b>Application de la traction à courant continu à 3.000 volts sur la</b> <b>ligne de Chicago-Milwaukee et Saint-Paul Railway. — Électri-</b> <b>fication des tronçons Harlowton-Avery et Seattle-Othello</b> .....	297
<i>Généralités. — Station centrale et sous-stations</i> .....	297
Exploitation par locomotives .....	300
<i>Alimentation électrique des locomotives. — Régulation</i> .....	302
<i>L'électrification complète de la ligne des Montagnes Rocheuses (Rocked-</i> <i>Mountains)</i> .....	312
<i>Nouvelles locomotives de la deuxième section, Seattle et Tacoma à Othello</i> .....	313
TRACTION ÉLECTRIQUE PAR COURANT CONTINU 5.000 VOLTS .....	316

## CHAPITRE SEIZIÈME

<b>L'électrification partielle des chemins de fer français</b> .....	317
<i>Aperçu sur la nature du problème de l'électrification des grands réseaux</i> .....	317
<i>Quelques mots sur l'histoire de la traction électrique</i> .....	318
<i>Les divers systèmes de traction électrique possibles pour les chemins de fer</i> .....	320
<i>Deux anciennes installations françaises de traction à courant continu</i> .....	326
<i>La lutte entre le courant continu et le courant alternatif en Amérique</i> .....	327
<i>Principe de quelques autres systèmes de transformation de courants alterna-</i> <i>tifs en courants continus de traction</i> .....	328
<i>Le système Auvert et Ferrand</i> .....	333
Essais effectués avec une locomotive du système Auvert et Ferrand .....	333

<i>Etudes préliminaires relatives à l'électrification partielle du réseau français . .</i>	335
<i>L'électrification des chemins de fer français et l'utilisation de la houille blanche . . . . .</i>	336
<i>Nécessité de réseaux d'interconnexion entre les diverses régions productrices d'énergie . . . . .</i>	339
<i>Les premières fractions des chemins de fer français à électrifier . . . . .</i>	341
<i>Evaluation de la consommation d'énergie électrique correspondant à l'électrification . . . . .</i>	342
<i>Consistance des usines nouvelles . . . . .</i>	343
<i>Prévisions financières relatives à l'exploitation électrique d'une partie du réseau français . . . . .</i>	346

## CHAPITRE DIX-SEPTIÈME

<b>Les premiers essais de traction à courant continu sur les chemins de fer du Midi. — L'électrification sur le P.-L.-M. et sur le P.-O.</b>	351
LES PREMIÈRES INSTALLATIONS A COURANT CONTINU DU PROGRAMME GÉNÉRAL SUR LE RÉSEAU DU MIDI . . . . .	351
<i>La nouvelle locomotive électrique à courant continu du réseau du Midi.</i>	351
<i>Parties du réseau électrifié à courant continu actuellement en service . . . . .</i>	353
<i>Les convertisseurs à vapeur de mercure . . . . .</i>	354
ELECTRIFICATION PARTIELLE DU RÉSEAU DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER D'ORLÉANS . . . . .	360
PREMIÈRES ÉLECTRIFICATIONS DE SECTIONS SUR LA COMPAGNIE P.L.M. . . . .	364
TABLE DES MATIÈRES . . . . .	367