

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondée par M.-C. LECHALAS, Insp^r gén^{al} des Ponts et Chaussées en retraite

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT

RÉSISTANCE DES TRAINS
TRACTION

PAR

E. DEHARME

Ingénieur principal du Service central
de la Compagnie du Midi,
Professeur du cours de Chemins de fer
à l'École centrale des Arts et Manufactures.

A. PULIN

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ingénieur Inspecteur principal de l'Atelier
central du Chemin de fer du Nord.

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES, ETC.
55, Quai des Grands-Augustins, 55

TABLE DES MATIÈRES

MATÉRIEL ROULANT

RÉSISTANCE DES TRAINS. — TRACTION.

	Pages
AVANT-PROPOS.	V
INTRODUCTION.	VII

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS.

§ 1. — La voie.

1. Largeur de la voie normale	1
2. Déclivités et courbes.	3

§ 2. — Caractères distinctifs du matériel roulant des chemins de fer.

3. Considérations générales.	4
4. Mentonnets ou boudins	5
5. Calage des roues sur les essieux	6
6. Conicité des bandages	7
7. Parallélisme des essieux	7
8. Position des roues sous les caisses	8
9. Application de la charge sur les fusées extérieures aux roues	9
10. Dispositions générales du matériel de transport.	9

§ 3. — Description sommaire d'une locomotive.

11. Véhicule.	12
12. Générateur	13
13. Machine à vapeur	13
14. Tender	14

CHAPITRE II

RÉSISTANCE DES TRAINS

SECTION I. — *Etude des diverses causes de résistance à la traction prises séparément. Recherche des conditions de résistance minimum.*

§ 1. Résistance propre des véhicules.

15. Évaluation de la résistance due au frottement des fusées.	17
16. Valeurs pratiques du coefficient de frottement.	22
A. Essais au frein	23
B. Observations directes.	26

§ 2. — Résistance au roulement.

17. Considérations générales.	30
18. Roulement proprement dit	31
19. Flexion du rail entre ses points d'appui.	33
20. Rencontre des joints des rails	34
21. Présence d'un corps étranger sur le rail.	35
22. Recherches expérimentales sur la résistance au roulement.	36

§ 3. — Résistance de l'air.

23. Considérations théoriques	39
24. Résistance des surfaces de front.	42
A. Surfaces normales	43
B. Surfaces d'attaque obliques.	46
C. Surfaces échelonnées	47
25. Résistance des surfaces latérales	47
26. Résistance à l'arrière	48
27. Résistance des surfaces partiellement masquées.	48
28. Résistance due au vent extérieur.	51

§ 4. — Résistances accidentelles.

29. Résistance due à la gravité.	53
30. Résistance spéciale due aux courbes	55
A. Formules théoriques.	55
B. Observations sur la résistance réelle.	58

SECTION II. — *Évaluation de la résistance totale des trains.*

§ 1. — Étude théorique.

31. Mouvement de lacet.	62
32. Influence de la longueur du train à poids égal.	64
33. Formule générale de la résistance des véhicules d'un train.	65

§ 2. — Description des méthodes expérimentales.

34. Exposé du sujet.	67
35. Evaluation par la gravité.	68
36. Emploi du dynamomètre de traction.	69
37. Wagon d'expériences de la Compagnie de l'Est.	71
A. Dynamomètre.	71
B. Inscription automatique des résultats.	73
C. Appareil totaliseur.	76
D. Tachymètre et appareils manométriques.	77
38. Wagon dynamomètre de la Compagnie du Nord.	79
39. Fourgon d'expériences de la Compagnie de l'Ouest.	81
A. Dynamomètre.	81
B. Appareil enregistreur.	83
C. Inscription de la vitesse.	83
D. Enregistrement du travail totalisé.	86
40. Wagons dynamomètres de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.	90
A. Attelages et ressorts d'expériences.	91
B. Mouvement du papier.	101
C. Enregistrement des efforts de traction et de compression.	103
D. Enregistrement des temps écoulés.	103
E. Enregistrement des espaces parcourus	104
F. Enregistrement du vent relatif	104
41. Méthode rationnelle.	105
A. Dynamomètre à force d'inertie, ou pendule <i>Desdouits</i>	106
B. Observations chronométriques	110
42. Comparaison des méthodes expérimentales.	111

§ 3. — Résultats d'expériences. Formules diverses.

43. Division du sujet.	114
44. Résistance des trains bruts en alignement droit	115
A. Formule de Harding	115
B. Formules anciennes du chemin de fer de l'Est	116
45. Résistance des voitures et wagons en alignement droit	118
A. Expériences du chemin de fer d'Orléans	118
B. Expériences du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée	120
C. Formule du chemin de fer de l'Est pour les trains de voyageurs (expériences de 1880):	120
D. Formules de <i>Fink</i>	122
E. Expériences du chemin de fer du Nord sur les trains de marchandises	123
F. Expériences des chemins de fer de l'État français	125

46. Surcroît réel de résistance des voitures et wagons dû aux courbes	128
A. Résultats d'expériences.	128
B. Coefficients à adopter.	130
C. Formule de M. <i>Desdouits</i>	131
D. Expériences des Commissions françaises sur les courbes de faibles rayons (1860 et 1891).	132

§ 4. — Résistance des locomotives et tenders.

47. Résistance des tenders seuls.	141
48. Résistance des locomotives, accompagnées ou non de leur tender.	142
A. Expériences de MM. <i>Vuillemin, Guebhard et Dieu-donné</i>	
1° Essais chronométriques	143
2° Essais dynamométriques.	144
B. Expériences du chemin de fer du Nord.	147
C. Expériences des chemins de fer de l'État français	151
1° Résistance à faible vitesse	151
2° Résistance en marche.	152
3° Résistance du mécanisme des locomotives.	152
D. Formules de <i>Welkner</i>	154
E. Formules de <i>Frank</i> . Résistance des locomotives et des trains.	155
F. Résistance spéciale des locomotives dans les courbes	158

§ 5. — Résistance des trains des chemins de fer à voie étroite.

49. Résistance en alignement droit.	160
50. Surcroît de résistance dans les courbes.	161

§ 6. — Conclusions.

51. Observations générales.	162
52. Lois des résistances fixes	164
53. Importance des résistances accidentelles.	168
54. Remarques sur l'influence réelle du mouvement de lacet.	168
55. Nécessité de procéder à de nouvelles expériences	171

CHAPITRE TROISIÈME

TRACTION.

§ 1. — Préliminaires.

56. Exposé du sujet.	175
57. Définition de la puissance	176

§ 2. — Du Moment de rotation.

58. Formation du moment de rotation	177
59. Variations du moment de rotation	179
A. Manivelle simple.	180
B. Manivelle double.	187

§ 3. — De l'Adhérence.

60. Définition de l'adhérence.	198
61. Rôle de l'adhérence.	199
A. Propulsion des roues porteuses.	199
B. Adhérence des roues motrices.	203
C. Rotation transformée en locomotion.	205
D. Point d'application de l'effort de traction	213
E. Démonstration pratique de l'adhérence.	215
F. Découverte de l'adhérence.	217
62. Variations de l'adhérence.	219
A. Obliquité des bielles	219
B. Inclinaison des cylindres	220
C. Déplacement de l'eau dans la chaudière et consommation de la machine.	221
D. Différence de niveau des efforts de traction exercés par l'essieu moteur et par la barre d'attelage.	222
E. Inertie des pièces du mécanisme	223
F. Dénivellements de la voie	223
63. Utilisation de l'adhérence.	224
64. Action des freins.	230
65. Evaluation du coefficient d'adhérence.	231
A. Méthodes et résultats d'observations	232
B. Coefficients pratiques d'adhérence	234
66. Moyens employés pour augmenter l'adhérence des roues motrices.	236
A. Systèmes divers	236
B. Emploi du sable	237
C. Lavage des rails, système <i>Riggenbach</i>	238
D. Appareil Gresham	238
67. Augmentation de l'adhérence par l'accouplement des essieux	239

§ 4. — Effort maximum théorique de traction des locomotives.

68. Equation de la locomotive.	242
69. Discussion de la condition d'adhérence	245
A. Module de traction.	245
B. Relation entre l'effort de traction, le volume des cylindres et le diamètre des roues motrices.	245

C. Relation entre le volume des cylindres et l'adhérence.	247
D. Relation entre le diamètre des roues motrices et la vitesse des trains.	247
E. Limite pratique du diamètre des roues motrices . . .	249

§ 5. — Production du travail moteur.

70. Variation des facteurs du travail.	250
71. Limite inférieure de la vitesse	252
72. Fraction utilisée de l'adhérence.	253
A. En pleine marche	253
B. Au démarrage	254
1° Trains de voyageurs.	256
2° Trains de marchandises	257
73. Evaluation de l'effort maximum pratique de traction . . .	259
A. Pression moyenne maxima dans les cylindres . . .	260
B. Résistances passives du mécanisme	261
74. Effort de traction déduit de la consommation de vapeur. .	262
A. Evaluation de la pression moyenne en marche. . . .	262
B. Discussion du coefficient α	266
C. Limitation de la puissance par la vitesse	271
D. Considérations sur la vitesse de régime	272
E. Valeur du coefficient α	273
74 ^{bis} Corrélation des éléments de la puissance	275
75. Influence des déclivités sur l'effort de traction disponible à la barre d'attelage.	279
A. Voies en pente	279
B. Voies en rampe. Réduction de l'effet utile.	280
76. Limite des rampes admissibles sur les voies ferrées. . . .	283
77. Exemples de lignes à fortes rampes.	287
78. L'inclinaison des rampes n'est pas limitée, en pratique, par l'adhérence	290
79. Influence des rampes sur la vitesse des trains	292
80. Rendement des locomotives.	294
81. Locomotives électriques	296
A. Emploi de conducteurs de courant parallèles à la voie	297
B. Emploi des accumulateurs.	298
C. Locomotive <i>Heilmann</i>	298
D. Avantages de la traction électrique	299
E. Difficulté d'obtenir une solution prochaine.	300

§ 6. — Classification des locomotives d'après la nature des lignes desservies.

82. Relation entre le profil de la voie et les types de machines. .	302
1° Lignes principales à grand trafic et à profil facile . . .	302

A. Trains express.	303
B. Trains omnibus et mixtes.	307
C. Trains omnibus de banlieue	310
D. Trains de marchandises	311
2° Lignes secondaires	312
3° Lignes à fortes rampes ou de montagne	313
4° Lignes d'intérêt local	314

§ 7. — Les locomotives compound.

83. Origine et caractères distinctifs du fonctionnement compound.	316
84. Avantages des fonctionnements Woolf et compound.	318
A. Avantages thermiques	318
B. Avantages mécaniques.	325
85. Aperçu historique sur les locomotives compound	327
86. Application du principe compound aux locomotives	329
A. Formules fondamentales.	331
B. Rapport des volumes des cylindres	336
C. Variation de la pression au réservoir intermédiaire	338
D. Chute de pression au réservoir intermédiaire.	340
87. Admission directe au réservoir intermédiaire	345
88. Effort maximum théorique de traction des locomotives compound.	347
A. Effort maximum avec admission directe au réservoir.	347
B. Effort maximum de traction en compound.	348
C. Discussion des formules théoriques de l'effort de traction	356
89. Effort maximum pratique de traction des locomotives compound.	361
A. Formule de M. de <i>Borries</i>	366
B. Formule de M. <i>Mallet</i>	368
C. Effort maximum de traction des locomotives Woolf	372
90. Types de locomotives compound	375
A. Locomotives à deux cylindres	375
Locomotives du chemin de fer de Bayonne à Biarritz.	376
Locomotives à grande vitesse du Great Eastern Railway.	379
Locomotives compound à 3 essieux accouplés de la compagnie de l'Est.	380
Locomotives compound à 4 essieux accouplés de l'Etat de Hanovre	380
B. Locomotives compound à trois cylindres	381
Locomotives compound à essieux indépendants, système <i>Webb</i>	382

Locomotives compound à 3 essieux accouplés du chemin de fer du Nord.	384
C. Locomotives compound à quatre cylindres.	385
Locomotives compound à quatre cylindres pour trains de grande vitesse du chemin de fer du Nord.	386
Locomotives compound à grande vitesse de la Compagnie P.-L.-M.	390
Locomotives compound à quatre essieux accouplés, de la compagnie P.-L.-M.	392
Locomotives Woolf, à quatre essieux accouplés, du chemin de fer du Nord.	393
Locomotives compound articulées, système <i>Mallet</i> (voie de 0 ^m 60, voie de 1 ^m 00, voie normale).	395
91. Développement du système compound.	
§ 8. — Calcul de l'effort de traction nécessaire pour un train de composition donnée.	
92. Train express de ligne principale.	410
93. Train de houille sur une ligne principale.	415
94. Train de marchandises sur une ligne à fortes rampes.	417
§ 9. — Remarque sur l'évaluation de la vitesse des trains. Calcul de l'effort moyen	
95. Evaluation de la vitesse.	419
96. Effort moyen de la traction.	419
§ 10. — Recherche des conditions d'établissement d'une locomotive.	
97. Difficulté du problème de la traction.	423
98. Choix du type et des dimensions principales de la machine.	423
99. Recherche du minimum de poids.	425