

# LA TRACTION ÉLECTRIQUE

ET LE

## CHEMIN DE FER

PAR

**H. PARODI**

DIRECTEUR HONORAIRE DU SERVICE D'ÉLECTRIFICATION  
DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS  
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS  
LAURÉAT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

ET

**A. TÉTREL**

INGÉNIEUR HONORAIRE DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS  
PROFESSEUR A L'ÉCOLE D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

PRÉFACE DE

**P. RICHEMOND**

PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA C<sup>ie</sup> DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS

TOME I

## CINÉMATIQUE ET DYNAMIQUE DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER

PARIS

**DUNOD, ÉDITEUR**  
92, RUE BONAPARTE

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE  
**LÉON EYROLLES, ÉDITEUR**  
3, RUE THÉNARD

1935

# TABLE DES MATIÈRES

---

## TOME I

### CINÉMATIQUE ET DYNAMIQUE DE L'EXPLOITATION

---

#### PREMIÈRE PARTIE

#### CINÉMATIQUE DE L'EXPLOITATION

---

#### CHAPITRE PREMIER

#### GÉNÉRALITÉS SUR L'EXPLOITATION

	Pages.
<i>Organisation générale de l'Exploitation</i> .....	1
Mouvement .....	1
<i>Conception européenne et américaine de l'exploitation ferroviaire. — Composition des trains</i> .....	3
Poids des trains .....	3
Attelages entre véhicules .....	4
Freinage des trains .....	8
Freinage mécanique .....	8
Freinage électrique .....	8
Formation des trains .....	9
Service des voyageurs .....	9
Service des marchandises .....	9
Mise en marche des trains .....	10
Armement des voies .....	11
Aménagement des voies. — Signalisation .....	11
Espacement des voies. — Cantonnement .....	11
Répétition des signaux sur les locomotives .....	13
Réalisation de la signalisation .....	14
Réglage du mouvement .....	15
Mouvement d'horlogerie. — Dispatching system .....	15
<i>Profil et tracé des lignes de chemins de fer</i> .....	16
Déclivités .....	16
Courbes .....	16

	Pages.
Degré de continuité du tracé des lignes de chemin de fer.....	18
Profil .....	18
Écartements des voies.....	19

## CHAPITRE II

## LES PROGRAMMES D'EXPLOITATION

<i>Définition du mouvement</i> .....	21
Mouvements individuels des trains.....	21
Tableaux de charge des machines.....	21
Marche d'un train .....	21
Équation du mouvement .....	22
Équations aux variations. — Écarts par rapport à la marche théorique....	23
Courbes de vitesse et de temps en fonction de l'espace parcouru.....	25
Relevé des courbes de vitesse et de temps au moyen du chronotachy- mètre .....	26
Résultats d'essais et précision du système de traction.....	27
Classement des lignes d'après leur profil. — Rampe fondamentale.....	30
Classification des vitesses des trains.....	30
Tableaux de charge des machines.....	32
Tableaux de charge des locomotives américaines. — Emploi du « tonnage computer ».....	32
Mouvement d'un système de trains.....	35
Généralités .....	35
Graphique de marche des trains.....	36
Représentation des trains.....	36
Représentation des éléments caractéristiques des voies.....	38
Stabilité des graphiques.....	38
Diagrammes de performance.....	39
Diagramme de performance relatif à l'exploitation de l'ensemble des chemins de fer américains. — Service de route et service de triage..	41
Roulement des machines et du matériel.....	43
Roulement des machines.....	43
Roulement du matériel.....	44
Statistiques d'exploitation.....	44
Statistiques de trafic.....	44
Définition du trafic.....	45
Trafic utile.....	46
Trafic brut remorqué.....	47
Trafic brut total.....	49
Observations sur la définition du trafic.....	51

## CHAPITRE III

## LES PROGRAMMES D'EXPLOITATION. — ÉTABLISSEMENT DU « MOUVEMENT »

Variations du trafic avec les conditions économiques.....	53
Trafic et population.....	53
Trafic global et intensité de trafic des chemins de fer français.....	55
Volume approximatif des transports de toute nature en France et aux États-Unis.....	58
Évolution des conditions générales d'exploitation.....	61
Accroissement de la vitesse des trains. — Vitesse maxima. — Vitesse moyenne.....	61
Allègement des trains et du matériel.....	66

	Pages.
Matériel remorqué.....	66
Matériel tracteur.....	69
Accroissement du nombre de trains.....	70
Caractéristiques spéciales de la traction électrique utilisables dans l'étude d'un programme d'exploitation.....	72
Données générales à recueillir pour l'étude d'un programme d'électrification...	72
Représentation du mouvement réel sur un graphique simplifié.....	72
Représentation de la croissance du trafic sur les lignes à électrifier.....	73
Représentation du trafic journalier. — Courbes de fréquentation.....	74
Renseignements statistiques nécessaires pour l'étude d'une électrification.....	76

## CHAPITRE IV

**RÉALISATION DU MOUVEMENT. — ÉQUIPEMENT DES TRAINS  
ET AMÉNAGEMENT DES VOIES**

Principes observés dans la circulation des trains.....	79
Généralités.....	79
Espacement par le temps.....	80
Block-system.....	80
Espacement par la distance. — Block-system.....	80
Cantonement par sémaphores à trois indications et à trois feux. — Block-system intéressant trois cantons.....	80
Cantonement par sémaphores à quatre indications. — Block-system intéressant quatre cantons.....	82
Block conditionnel. — Block permissif.....	82
Voie normalement libre. — Voie normalement fermée.....	84
Réalisation du block-system.....	84
Généralités.....	84
Block-system automatique.....	85
Circuit de voie.....	86
Caractéristiques du circuit de voie.....	88
Impédance.....	88
Admittance. — Conductance.....	90
Calcul des circuits de voie.....	90
Répartition du courant entre les essieux et les appareils de voie....	91
Réglage du circuit de voie.....	92
Exemples d'organisation de circuits de voie.....	92
Block à courant continu.....	92
Block à courant alternatif.....	93
Block à courant alternatif à joint à impédance.....	94
Différents types de relais à courant alternatif.....	95
Méthodes modernes de signalisation.....	96
Généralités.....	96
Répétition des signaux sur les locomotives. — Conception française. — Pointage de la vigilance.....	97
Répétition continue des signaux sur les locomotives.....	99
Signaux de cabine.....	99
Contrôle impératif de la marche des trains.....	101
Train contrôle.....	101
Situation actuelle de la signalisation dans les réseaux français et améri- cains.....	102

## CHAPITRE V

**RÉALISATION DU MOUVEMENT. — ÉQUIPEMENT DES TRAINS  
AMÉNAGEMENT DES GARES**

	Pages.
Généralités .....	103
Variabilité du trafic. — Utilisation des aménagements de gare.....	103
Service des voyageurs.....	105
A. Transports en commun et lignes de banlieue.....	105
Organisation générale du service.....	105
Méthodes des zones et régions isochrones.....	106
Vitesses des divers types de transports en commun.....	110
Capacité de débit des divers moyens de transports en commun.....	111
Aménagement des gares terminus de voyageurs. — Équipement des trains.	112
Disposition des voies de gare.....	112
Quais hauts et portes coulissantes.....	112
Service de banlieue.....	112
Trains réversibles à traction multiple. — Disposition corres-	
pondante des quais dans les gares terminus.....	112
B. Grandes lignes et banlieue. — Gares souterraines.....	116
Dispositions diverses des gares souterraines.....	116
Service des marchandises.....	121
Gares de triage et de formation.....	121
Disposition générale des gares de triage et de formation.....	121

## CHAPITRE VI

**CAPACITÉ DE DÉBIT DES LIGNES DE CHEMINS DE FER. — STABILITÉ DU MOUVEMENT**

Généralités.....	125
Nombre des trains.....	125
Méthodes américaines d'analyse du trafic.....	128
Capacités relatives des lignes à voie simple et à voie double.....	131
Capacités théoriques.....	131
Doublement des voies ou électrification des lignes à fortes déclivités.....	132
Capacité d'une ligne à voie double à cantons multiples entre gares.....	134
Application du calcul des probabilités à la recherche de la capacité pratique de	
débit des lignes à voie simple.....	136
Capacité de débit d'une ligne à voie unique en fonction de l'écart probable	
de durée des mouvements élémentaires.....	138
Conditions de possibilité du mouvement dans le cas des lignes à voie double.	
Espacement. — Cas du cantonnement avec signal annonciateur.....	140

## DEUXIÈME PARTIE

## DYNAMIQUE DE L'EXPLOITATION

## CHAPITRE VII

## ÉTUDE THÉORIQUE DE LA MARCHÉ D'UN TRAIN

	Pages.
<i>Équations du mouvement</i> .....	147
I. Équations mécaniques du mouvement .....	147
Masse d'inertie $M'$ . Influence de l'inertie des pièces tournantes sur la masse apparente d'un train en mouvement .....	149
Caractéristiques mécaniques .....	152
Effort de traction $F_1(v)$ produit par les moteurs .....	152
Caractéristiques efforts-vitesses des machines électriques .....	153
Caractéristiques électromécaniques .....	154
Caractéristiques des locomotives à vapeur .....	155
Résistances à l'avancement .....	156
Effort résistant $F_2(v)$ dû à l'air, au roulement, etc. ....	156
Résistances locales .....	156
Effort résistant $F_3(s)$ dû aux rampes et aux courbes .....	156
II. Équations électriques du mouvement .....	157
Puissance .....	157
III. Équations thermiques .....	158
Échauffement des moteurs de traction .....	158
Moteur considéré comme ensemble de deux blocs isothermes .....	158
Caractéristiques thermiques .....	159
<i>Intégration des équations du mouvement</i> .....	160
Observations générales sur les méthodes de résolution des équations diffé- rentielles du mouvement .....	160
Régularisation des valeurs numériques .....	162
A. <i>Méthodes de mécanique rationnelle</i> .....	166
Intégration exacte .....	166
A <sub>1</sub> . Méthode des intégrales définies .....	166
Variante A' <sub>1</sub> .....	167
Intégration approximative .....	168
A <sub>2</sub> . Calcul par arcs successifs .....	168
Exposé général de la méthode de calcul par arcs successifs .....	168
Méthode des courbes de substitution ayant un contact donné au point initial .....	169
a) Tangente. Approximation du second ordre .....	170
b) Cercle osculateur. Approximation du troisième ordre .....	170
Méthode des moyennes tangentes ou méthode de la moyenne généralisée ..	171
Approximation du troisième ordre .....	173
Approximation du quatrième ordre .....	174
Approximation du cinquième ordre .....	175
Observations sur les calculs par arcs successifs .....	176
Résolution graphique des équations mécaniques et électriques par la mé- thode des arcs successifs .....	176
Courbe des vitesses en fonction des espaces .....	177
Construction de la courbe des vitesses au moyen du cercle osculateur ..	180
Méthode des isoclines .....	181
Application de la méthode des moyennes tangentes .....	183

	Pages.
Courbe des temps en fonction des espaces .....	185
Cercle osculateur à la courbe des temps .....	187
Allure de la courbe des temps. — Détermination de la vitesse moyenne.	187
Courbe de consommation d'énergie .....	188
<b>Cercle osculateur à la courbe de consommation d'énergie</b> .....	189
Courbe des pertes .....	189
Détermination d'un système cohérent d'échelles .....	189
Application .....	191
Observations générales sur la méthode graphique et le calcul des échelles.	192
<b>Méthode analytique approchée</b> .....	193
Application .....	196
Appréciation des erreurs commises par la méthode analytique précédente.	202
Application au moteur 551 .....	204
Méthode analytique simplifiée .....	208
Combinaison de la méthode analytique simplifiée et de la méthode $A_1'$ ...	211
<b>Intégration approximative</b> .....	214
<b>A.</b> Intégration avec fonctions de substitution .....	214
Caractéristiques moyennes des moteurs de traction .....	214
Allure hyperbolique des caractéristiques des moteurs série .....	216
Vérification graphique de la légitimité de cette assimilation .....	217
Intégration de l'équation différentielle du mouvement dans le cas d'une	
résistance moyenne constante .....	218
Calcul de l'espace $s$ .....	220
Relation entre l'espace et le temps .....	221
Relation approchée entre l'espace et le temps. Courbe de substitution .	223
Application .....	226
<b>B. Méthodes mécaniques pratiques pour calculs préliminaires</b> .....	230
Observations générales .....	230
<b>B<sub>1</sub>. Diagrammes simplifiés</b> .....	232
Diagrammes triangulaires .....	232
Diagrammes quadrangulaires .....	234
Diagramme applicable à la traction triphasée (Diagramme trapézoïdal) .....	236
Application à la traction triphasée .....	238
Mode d'emploi du diagramme au courant triphasé .....	238
<b>Diagrammes vitesse-temps afférents aux moteurs à caractéristique série</b> (Traction à courant continu et à courant monophasé) .....	240
Forme générale des diagrammes .....	240
Calcul de la durée de trajet et de l'espace parcouru .....	241
Généralisation du graphique .....	244
<b>B<sub>2</sub>. Détermination approximative de la consommation d'énergie. — Méthode des</b>	
<i>déclivités classées. — Longueurs virtuelles</i> .....	246
Considérations générales .....	246
Méthode des déclivités classées .....	248
Parcours équivalents .....	248
Calcul de l'énergie dépensée .....	249
Traction à vapeur .....	250
Traction électrique sans récupération .....	251
Traction électrique avec récupération .....	251
<b>Résumé des formules</b> .....	252
Diagrammes de consommation .....	253
Consommations d'énergie d'un train formé de matériel hétérogène .....	256
Tonnages fictifs .....	257
Utilisation de la notion de longueur virtuelle et de tonnage fictif dans	
l'établissement des statistiques des réseaux .....	258
Consommation d'énergie mécanique déduite du dépouillement systé-	
matique des bandes d'enregistreurs de vitesse .....	259
<b>Marche d'un système de trains</b> .....	260
<b>Charges totales et partielles correspondant à un service donné</b> .....	260
Graphiques de puissance .....	260
Système simplifié de trains .....	261
Répartition de la charge entre sous-stations .....	262
Méthode maxigraphique .....	264

	Pages.
Détermination de la puissance des groupes de transformation.....	265
Courbes de charge à la ou aux centrales.....	266

## CHAPITRE VIII

## CHARGE DES ESSIEUX ET ADHÉRENCE

<i>Charge des essieux</i> .....	268
Pesanteur. — Surhaussement en courbe.....	269
Vent.....	269
Efforts moteurs et retardateurs.....	270
Réactions.....	271
Résistance de la voie de roulement.....	272
Résistance verticale des voies (Résistance suivant la binormale).....	272
Action des charges fixes sur les voies.....	273
Graphique des charges statiques admissibles par roue pour un type de voie donné.....	278
Comparaison des taux de travail du métal constituant le rail sous charges statiques et sous charges mobiles.....	279
Résistance longitudinale des voies. — Recul élastique.....	283
Cheminement.....	285
Résistance transversale des voies.....	286
Essais de ripement.....	286
Essais de déformation sous l'action d'efforts transversaux mobiles... ..	288
Conditions dans lesquelles se produisent des efforts transversaux dans les voies. — Continuité géométrique des voies.....	288
Conicité des bandages et mouvement de lacet d'un essieu libre.....	290
Mouvement de roulement pur d'un essieu libre.....	291
Observation sur les jeux existant dans le matériel de traction.....	294
Réaction transversale des rails dans le guidage.....	295
<i>Adhérence</i> .....	296
Coefficient de frottement au démarrage (Marche en traction).....	298
Coefficient de frottement en vitesse (Marche en traction ou en récupération). ..	301
Variation du coefficient de frottement dans le cas du freinage.....	302
Surface du contact et pression au contact.....	303
Contact de deux corps au repos.....	303
Contact des corps en mouvement.....	308
Équation de l'adhérence.....	311
Influence de l'inclinaison sur l'adhérence.....	312
Équation de l'adhérence. — Équation de la puissance.....	312
Influence de la rampe sur le poids que peut remorquer un tracteur... ..	313
Comparaison des poids adhérents nécessaires en traction électrique et en traction à vapeur, pour remorquer une charge donnée.....	316
Poids adhérent P nécessaire pour remorquer une charge donnée Q. Application à un tracteur électrique.....	317

## CHAPITRE IX

## RÉSISTANCE DES TRAINS A L'AVANCEMENT

Généralités.....	319
<i>Étude des résistances élémentaires</i> .....	321
A. Résistance de frottement dans les boîtes d'essieu.....	321
Boîtes d'essieu.....	321
Boîtes à huile avec manchon graisseur.....	323
Boîtes d'essieu à film d'huile.....	325



	Pages.
Variation de la résistance due aux frottements dans les boîtes d'essieu en fonction du poids du véhicule .....	327
Boîtes d'essieux à roulements sphériques sur rouleaux .....	331
B. Résistances dues aux pertes d'énergie dans les trains roulants et les rails par déformations et par chocs .....	334
Frottement de roulement .....	334
Détermination expérimentale de la résistance due au frottement de roulement .....	335
Résistance due au fléchissement de la voie .....	336
Frottement des boudins. — Choc des bandages .....	337
C. Résistances dues aux pertes d'énergie dans les attelages et la suspension du fait des mouvements parasites .....	337
D. Résistance de l'air .....	338
Translation d'une surface plane perpendiculairement à son plan .....	339
Translation d'un solide .....	340
Résistance de l'air à la traction des trains .....	341
Calcul pratique de la résistance de l'air .....	342
Formes aérodynamiques .....	343
Mouvement d'un train dans l'air en mouvement .....	345
Action du vent. — Vent debout .....	345
Vent latéral perpendiculaire au train .....	345
Application .....	346
Vent oblique .....	347
Expériences de MM. Ch. Maurain, A. Toussaint et R. Pris relatives à la résistance de l'air sur le matériel de chemins de fer .....	347
Résistance des trains dans les tunnels .....	349
E. Résistances locales .....	352
Résistances dues aux déclivités. Composante tangentielle de la pesanteur ..	352
Résistance due aux courbes .....	354
1° Solidarité des roues et des essieux .....	354
2° Parallélisme des essieux .....	355
3° Force centrifuge .....	356
Résistance totale due aux courbes .....	356
Formules pratiques donnant la résistance due aux courbes .....	357
Étude des résistances globales au mouvement d'un train en palier et alignement droit .....	361
Généralités. — Méthodes de mesure des résistances globales .....	361
Méthodes d'accélération ou de retardation .....	362
Méthodes de relevés électriques directs .....	362
Méthodes de relevés mécaniques. Wagons dynamomètres .....	363
Formules empiriques représentant la résistance globale au mouvement, à vitesse constante, en palier et en alignement droit .....	363
Influence du poids à vide et de la charge des véhicules remorqués sur la résistance au roulement .....	364
Influence du nombre de voitures .....	370
Influence des conditions atmosphériques .....	372
Principales formules empiriques donnant la résistance totale d'un train, en palier et alignement droit .....	374
Formules françaises .....	375
Formules autrichiennes .....	376
Chemins de fer fédéraux suisses .....	376
Chemins de fer hongrois .....	377
Formules allemandes .....	377
Formules anglaises .....	379
Formules américaines .....	382
Formules de la G. E. Co (1926) .....	387
Rames automotrices. Trains à unités multiples .....	390
Formules de la G. E. Co .....	390
Automotrices à pétrole .....	393
Résistance des locomotives .....	394
Résistance des locomotives à vapeur .....	394
Essais du P.-O. ....	395
Formules diverses .....	399

	Pages.
Résistance des locomotives électriques.....	402
Locomotives P.-O. ....	402
Société d'études allemande .....	403
Formule de Markt .....	403
Formules de la G. E. Co (1926) .....	404
Comparaison entre les résistances des locomotives à vapeur et électriques..	406
Décroissance de la résistance au roulement.....	406
Conclusion.....	408
Formules à adopter pour l'établissement d'un projet.....	408

## CHAPITRE X

## FREINS MÉCANIQUES

Généralités sur les freins.....	410
Rôle et utilité des freins.....	410
Puissance mise en jeu pendant le freinage.....	412
Différents types de freins.....	413
<i>Le frottement</i> .....	414
Définition du frottement.....	414
Premières expériences .....	415
Expériences de Douglas Galton et C. Westinghouse .....	417
Essais du Pennsylvania Railroad.....	420
Résultats des essais .....	422
Expériences de Metzkwow .....	421
Essais de l'Université d'Illinois .....	427
Résultats des essais .....	428
Conclusions générales des essais .....	431
Formules diverses exprimant le coefficient de frottement en fonction de la vitesse et du temps.....	432
Formules proposées pour le coefficient de frottement applicables au freinage des trains modernes.....	433
Constitution des sabots de frein.....	434
Théorie du freinage mécanique.....	437
Valeurs que peut prendre avant calage le rapport de la pression Q des sabots à la charge P .....	438
Équation du freinage .....	440
Cas d'un coefficient de frottement variant avec la vitesse et le temps..	442
Cas d'un coefficient du frottement variant seulement avec la vitesse..	446
Remarques sur la courbe de freinage.....	447
Réalisation des freins mécaniques. — Classification des freins mécaniques..	448
Puissance mise en jeu et énergie dépensée pour la commande des freins.	451
<i>Freins de roues</i> .....	453
Caractéristiques générales des freins de roues.....	453
Freins individuels .....	454
Freins à main des wagons de chemins de fer.....	454
Freins à tambour ou à disques des voitures de tramways ou de chemins de fer spéciaux.....	456
Freins électromagnétiques .....	457
Freins collectifs des trains de chemins de fer.....	458
Freins continus.....	458
Avantages du frein continu .....	459
Conditions essentielles que doit remplir un bon frein continu.....	459
Classification des freins continus.....	460
Frein hydraulique .....	460
Freins oléo-pneumatiques.....	460
Freins pneumatiques .....	461
Freins directs .....	462
Procédés d'accélération du frein direct.....	463
Commande électrique du frein direct. Frein électro-pneumatique...	464

	Pages.
Freins automatiques.....	465
Freins différentiels.....	465
Freins à distributeur.....	467
Frein double.....	469
Décéléromètre au Decelakron.....	469
Appareils communs à tous les freins continus.....	470
Description de quelques freins continus.....	471
Freins à air comprimé.....	471
Frein direct Westinghouse.....	471
Frein Westinghouse à distributeur.....	472
Robinet du mécanicien.....	472
Robinet du mécanicien à décharge égalisatrice.....	474
Triples valves.....	478
Triple valve ordinaire.....	478
Triple valve à action rapide.....	480
Triple valve Lu-R.....	483
Freins à vide.....	486
Avantages respectifs du vide et de l'air comprimé.....	488
Freinage des trains de marchandises.....	489
Conditions que doit remplir un frein continu pour trains de marchandises.....	489
Freins admis en service international.....	494
Frein Westinghouse.....	495
Frein Kunze-Knorr.....	497
Frein Drolshammer.....	498
Frein Bozic.....	499
Comparaison des quatre freins internationaux.....	499
Freinage à main des trains de marchandises.....	500
Formules de freinage.....	501
Arrêt des trains sur une pente.....	501
Arrêt d'une rame en dérive abandonnée sur une pente.....	505
Règles du freinage au poids.....	510
Calcul d'une timonerie de frein à main.....	514
Freins électro-pneumatiques.....	516
Freins pneumatiques à commande électrique.....	516
<i>Freins de voie</i> .....	517
Freins à patins électromagnétiques ou à adhérence supplémentaire.....	517
Conditions de fonctionnement des patins électromagnétiques.....	519
Freins à adhérence naturelle et à semelle abrasive.....	525
Freins solénoïdes.....	527

---

## ANNEXES

---

### *Annexe I*

Les relevés statistiques. Applications du calcul des probabilités aux données statistiques.....	529
---	-----

### *Annexe II*

<i>Équations aux variations</i> .....	533
Probabilité des variations.....	533
Exemple. Variation du poids d'un train.....	534
Valeurs moyennes. « Unités d'écart ». Écarts probables.....	535
Démonstration de la loi de composition des « unités d'écart » et des écarts probables.....	537

*Annexe III*

	Pages.
<i>Application des règles du calcul des probabilités aux diagrammes d'exploitation.</i>	539
Variation de la longueur de parcours .....	540
Variation du nombre de trains N mis en circulation dans chacune des périodes de temps considérées.....	540
Variation de la vitesse de marche.....	541
Étude d'une section à voie unique de 106 kilomètres de longueur....	542
Comparaison des caractéristiques d'exploitation d'une ligne à fortes déclivités. ....	543
Observation .....	545

*Annexe IV*

<i>Application de la méthode des moindres carrés à la recherche des lois statistiques.</i>	546
Cas de la relation linéaire.....	547
Extension au cas de trois variables.....	547