

LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

PAR

ANDRÉ CHAPELON

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
INGÉNIEUR CHEF DES ÉTUDES DU MATÉRIEL AU P.-O.-MIDI
LAURÉAT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE
ET DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

PRÉFACE DE

ÉDOUARD SAUVAGE

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES EN RETRAITE
PROFESSEUR HONORAIRE AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS-ET-MÉTIERS

*Avec 361 figures dans le texte — 2 figures et 14 planches hors texte
1 diagramme entropique*

PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS, ÉDITEURS
19, RUE HAUTEFEUILLE, 19

1938

Tous droits réservés.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE DE M. ÉDOUARD SAUVAGE.....	XV
PRÉFACE DE L'AUTEUR.....	XIX
AVERTISSEMENT.....	XXIV
ABRÉVIATIONS.....	XXIV
TABLEAU D'ÉQUIVALENCE DES UNITÉS DE MESURES ANGLAISES ET FRANÇAISES LES PLUS USUELLES.....	XXV
ERRATUM.....	XXVII

I

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

II

ÉVOLUTION RÉCENTE DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

A. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

1° ÉVOLUTION DES TYPES EN EUROPE ET EN AMÉRIQUE DE 1907 A 1937 :	
a. — CLASSIFICATION ET NOTATION.....	11
b. — LE DÉVELOPPEMENT DE LA LOCOMOTIVE.....	12
2° LE MODE D'UTILISATION DE LA VAPEUR :	
a. — LA PRESSION DE MARCHÉ (MACHINES A BASSE, MOYENNE ET HAUTE PRESSION).....	21
b. — LA SURCHAUFFE.....	23
c. — LA SIMPLE EXPANSION. LE COMPOUNDAGE.....	27
d. — LES DISTRIBUTIONS.....	38
e. — LA CONDENSATION. LES TURBINES.....	41
3° LA PRODUCTION DE LA VAPEUR :	
a. — CHAUDIÈRES A BASSE ET A MOYENNE PRESSION.....	43
b. — CHAUDIÈRES A HAUTE PRESSION.....	51
c. — FOYERS AU CHARBON, STOKERS, CHARBON PULVÉRISÉ.....	52
d. — FOYERS AU MAZOUT.....	53
4° LE VÉHICULE. LE CHASSIS.....	54
5° ACCESSOIRES.....	59
6° BOOSTERS.....	63
7° TENDERS.....	64
8° FREINAGE.....	65

9° PROGRÈS RELATIFS A L'ÉCHAPPEMENT, A LA SUR-CHAUFFE ET AU CIRCUIT DE VAPEUR APPORTÉS DANS LA TRANSFORMATION RÉCENTE DES LOCOMOTIVES COMPOUND FRANÇAISES A GRANDE VITESSE	67
Performances : Locomotives 240-700	96
Locomotives 231-700	101
10° LES MACHINES A TRÈS GRANDE VITESSE	105

B. — EXAMEN DES PRINCIPAUX TYPES

1° GRANDE VITESSE	118
a. — LOCOMOTIVES A DEUX ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 220	118
Type 221	119
Type 222	123
b. — LOCOMOTIVES A TROIS ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 230	127
Type 231	133
Type 232	159
c. — LOCOMOTIVES A QUATRE ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 240	175
Type 241	180
Type 242	192
Type 142	198
Type 141	200
2° LOCOMOTIVES MIXTES :	
a. — LOCOMOTIVES A TROIS ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 230	202
Types 130 et 131	205
b. — LOCOMOTIVES A QUATRE ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 240	208
Type 140	210
Type 141	211
c. — LOCOMOTIVES A CINQ ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 251	215
3° LOCOMOTIVES A MARCHANDISES :	
a. — LOCOMOTIVES A TROIS ET QUATRE ESSIEUX COUPLÉS :	
Types 030 et 040	217
Type 140	218
Type 141	223
Type 142	225
b. — LOCOMOTIVES A CINQ ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 050	227
Type 051	228
Type 150	229

Types 151 et 152.....	235
Type 160	242
Type 261	244
Type 272	246
4° LOCOMOTIVES ARTICULÉES :	
a. — LOCOMOTIVES MALLET	247
b. — LOCOMOTIVES GARRATT	255
c. — LOCOMOTIVES GOLWÉ	259
d. — LOCOMOTIVES FRANCO	261
5° LOCOMOTIVES-TENDERS :	
a. — LOCOMOTIVES A TROIS ESSIEUX COUPLÉS :	
Types 131 et 132.....	264
Types 232 et 233.....	266
b. — LOCOMOTIVES A QUATRE ESSIEUX COUPLÉS :	
Type 141	268
Type 242	272
c. — LOCOMOTIVES A CINQ ESSIEUX COUPLÉS :	
Types 050 et 151.....	274
Types 060 et 161.....	277
6° LOCOMOTIVES LÉGÈRES	278
C. — PERFORMANCES ACTUELLES DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR.....	285

III

ÉTUDES THERMIQUE ET THERMO-DYNAMIQUE DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

A. — LES FLUIDES EN MOUVEMENT DANS LA LOCOMOTIVE EN ACTION.

Relations fondamentales liant les éléments de la chaudière du moteur et de l'échappement à l'effort de traction, à la vitesse et à la puissance.....	297
LOIS I	300
LOIS II	303
LOIS III	304
LOIS IV	305
LOIS V.....	322
LOIS VI	332
LOIS VII	334
LOIS VIII	349

1 ^o RELATION ENTRE LA PUISSANCE INDIQUÉE, LA CONTRE-PRESSION DANS LA COLONNE D'ÉCHAPPEMENT ET LE VIDE DANS LA BOÎTE A FUMÉE.....	349
2 ^o RELATION ENTRE LA PRESSION AUX BOÎTES A VAPEUR, LE CRAN DE MARCHE, LA VITESSE ET LA PUISSANCE INDIQUÉE	352

B. — PRODUCTION DE LA CHALEUR

1^o LES COMBUSTIBLES :

a. — NATURE	356
Charbon.....	356
Coke.....	359
Schiste	359
Lignite	359
Tourbe	360
Bois	360
Pétrole	360
b. — TEMPÉRATURE D'INFLAMMATION DES DIVERS COMBUSTIBLES.....	361
c. — CONSTITUANTS PÉTROGRAPHIQUES DU CHARBON.....	361
Constituants α , β , γ	362
d. — FORME PHYSIQUE	363
1 ^o Forme solide (gros, tout venant, menu, pulvérisé).....	363
2 ^o Forme liquide (pétrole, mazout).....	364
e. — MODES DE CHARGEMENT	364
1 ^o A la main.....	364
α . — Porte du foyer.....	365
β . — Pelle de chargement.....	366
γ . — Niveau et distance de la sole de chargement, par rapport à la porte du foyer.....	366
2 ^o Stokers.....	367
3 ^o Brûleurs pour charbon pulvérisé	371
4 ^o Brûleurs pour pétrole et mazout	373
d. — LE POUVOIR CALORIFIQUE	376
1 ^o Pouvoir calorifique supérieur (eau condensée).....	378
2 ^o Pouvoir calorifique inférieur (eau non condensée).....	378
e. — LA VALEUR D'USAGE	380
1 ^o La cokéfaction. Étude dilatométrique.....	380
2 ^o Le stockage. Les mélanges.....	388
3 ^o Le calibrage du charbon	390
f. — LA SCORIFICATION	394
1 ^o Attaque des barreaux de grille	397
2 ^o Remèdes à la scorification sur grille.....	397
3 ^o Lutte contre la scorification des surfaces de chauffe.....	398

2^o LE COMBURANT :

a. — LA QUANTITÉ D'AIR NÉCESSAIRE PAR KILOGRAMME DE COMBUSTIBLE UTILISÉ	399
---	-----

a. — LA QUANTITÉ D'AIR NÉCESSAIRE PAR CALORIE CONTENUE DANS UN COMBUSTIBLE	400
3° LE TIRAGE :	
a. — LE PROBLÈME DE L'ÉCHAPPEMENT	403
b. — ROLE DE L'ÉCHAPPEMENT	404
4° LA COMBUSTION :	
a. — DESIDERATA	418
1° Chargement à la main.....	418
2° Stoker. Influence de la teneur en matières volatiles	421
3° Charbon pulvérisé	423
4° Foyers au mazout.....	425
b. — CONSÉQUENCES PRATIQUES	426
1° Grilles à sections de passage d'air inégales.....	426
2° Voûtes en briques	426
3° Épaisseur de la couche de combustible en fonction de l'al- lure	428
4° Puissance spécifique d'un foyer	431
c. — LES RENDEMENTS OBTENUS	435
1° Chauffe à la main	435
2° Chauffe au stoker	435
3° Chauffe au mazout	435
4° Chauffe au lignite pulvérisé	435
 C. — TRANSMISSION DE LA CHALEUR A L'EAU ET A LA VAPEUR	
1° RAYONNEMENT :	
a. — NOTIONS FONDAMENTALES SUR LE RAYONNEMENT	438
1° Corps noir	438
2° Corps gris	439
3° Lois de Kirchhoff	439
4° Loi de Lambert	440
5° Loi de Stéphan	441
6° Rayonnement des gaz et des flammes	442
7° Calcul des quantités de chaleur échangées par rayonnement.	442
8° Rayonnement mutuel de deux surfaces S et S' placées dans une enceinte	444
b. — SURFACE DE CHAUFFE DIRECTE DES FOYERS	449
2° CONVECTION :	
a. — VALEUR DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR PAR CONVECTION	452
1° Tubes à fumée.....	452
2° Relation entre la résistance à l'écoulement et le coefficient de convection	455
3° Tubes d'eau	461
b. — QUANTITÉ DE CHALEUR ABSORBÉE PAR LE FAISCEAU TUBULAIRE	462

Rapport $\left(\frac{S}{Q}\right)$ entre la surface de frottement des gaz contre les tubes et leur section de passage au corps. Rapport $\left(\frac{l}{d}\right)$ de la longueur au diamètre des tubes. Expériences de A. Henry. Résultats des laboratoires américains	466
CONSTANCE DU RAPPORT $\left(\frac{l}{d}\right)$ CORRESPONDANT AU MAXIMUM DE PRODUCTION DU FAISCEAU TUBULAIRE POUR UN TIRAGE DONNÉ.	468
c. — SURCHAUFFEURS :	
RAPPORT $\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)$ DES SECTIONS DE PASSAGE DES GAZ A TRAVERS LES TUBES DE LA CHAUDIÈRE. DEGRÉ DE SURCHAUFFE OBTENU	471
3° RÉPARTITION DE LA CHALEUR TRANSMISE ENTRE LA SURFACE DE CHAUFFE DIRECTE ET LA SURFACE DE CHAUFFE INDIRECTE	478
RENDEMENT DES SURFACES DE CHAUFFE	483
4° CIRCULATION DE L'EAU DANS LA CHAUDIÈRE ; DISTANCE MINIMUM ENTRE LES TUBES ; DISPOSITION EN RANGÉES VERTICALES OU EN RANGÉES HORIZONTALES ; ÉPAISSEUR DES LAMES D'EAU ; ARCH-TUBES ; SIPHONS	485
5° INFLUENCE DE L'ENTARTREMENT DES SURFACES DE CHAUFFE	494
6° CALORIFUGEAGE DE LA CHAUDIÈRE	496
7° INFLUENCE DE LA PRESSION DE RÉGIME SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA CHAUDIÈRE	497
D. — RENDEMENT ET PUISSANCE DES CHAUDIÈRES DE LOCOMOTIVE	
LOI DU RENDEMENT THERMIQUE EN FONCTION DES DIMENSIONS PRINCIPALES DE LA CHAUDIÈRE ET DU TAUX DE COMBUSTION. — INFLUENCE SECONDAIRE DU RAPPORT $\left(\frac{S}{G}\right)$ DE LA SURFACE DE CHAUFFE A LA SURFACE DE GRILLE. — VARIATION DU RENDEMENT EN FONCTION DE L'ALLURE DE MARCHÉ. — PERTES PAR ESCARBILLES ENTRAÎNÉES ; CAS DU MAZOUT	502
a. — LES FACTEURS DU RENDEMENT THERMIQUE : LE RENDEMENT DE LA COMBUSTION ET LE RENDEMENT DES SURFACES DE CHAUFFE	
1° Rendement de la combustion	502
2° Rendement des surfaces de chauffe	504
b. — RELATION ENTRE LA PUISSANCE DE LA CHAUDIÈRE ET SES DIMENSIONS PRINCIPALES :	
Prépondérance de la surface de grille dans le cas de la chauffe à la main et de la chauffe au stoker et du volume de la chambre de combustion dans	

le cas du charbon pulvérisé et des combustibles liquides (pétrole et mazout) 509

E. — LA RÉCUPÉRATION DES CHALEURS PERDUES

1° RÉCHAUFFEURS A GAZ	518
2° RÉCHAUFFAGE DE L'AIR DE LA COMBUSTION :	
GAZ CHAUDS, VAPEUR	521
3° RÉCHAUFFAGE DE L'EAU D'ALIMENTATION A L'AIDE DE VAPEUR PRÉLEVÉE A L'ÉCHAPPEMENT	523
a. — ÉCONOMIES DE CHALEUR	525
1° Vapeur prélevée à l'échappement	525
α. — Influence de la consommation de vapeur vive des pompes et de vapeur vive d'appoint des injecteurs à vapeur d'échappement sur l'économie de chaleur susceptible d'être procurée par ces appareils	526
β. — Intérêt de la suppression ou de la diminution de la dépense de vapeur vive des pompes ou des injecteurs. Avantages du Compoundage des pompes alimentaires	528
γ. — Pompes conduites	529
δ. — Échappement direct à l'atmosphère de la vapeur actionnant le moteur des pompes	531
2° Vapeur prélevée au réservoir intermédiaire des machines Compound	531
α. — Cas des réchauffeurs à pompe	532
β. — Cas des injecteurs	536
3° Avantages résultant du prélèvement de vapeur en cours de détente dus à la diminution des pertes de charge subies par la vapeur à travers les lumières de distribution	539
1° Machines Compound	539
2° Machines à simple expansion	540
b. — ÉCONOMIES DE COMBUSTIBLE	541
c. — DIMINUTION DU DEGRÉ DE SURCHAUFFE RÉSULTANT DU RECHAUFFAGE DE L'EAU D'ALIMENTATION	543
d. — ÉCONOMIES D'EAU RÉALISÉES PAR LES RÉCHAUFFEURS	545
e. — INFLUENCE DU PRÉLÈVEMENT DE VAPEUR SUR LE TIRAGE	547
f. — INFLUENCE DE L'INTERMITTENCE DU PRÉLÈVEMENT DE VAPEUR RÉSULTANT DE L'EMPLOI DE POMPES A EAU FROIDE A MOUVEMENT ALTERNATIF	549
g. — DIVERS TYPES DE RÉCHAUFFEURS UTILISÉS	550
h. — DIMINUTION DE LA CONTRE-PRESSION A L'ÉCHAPPEMENT RÉSULTANT DU PRÉLÈVEMENT DE VAPEUR	552
i. — INFLUENCE SUR LE CALCUL DU RENDEMENT THERMIQUE DE LA CHAUDIÈRE DE L'EMPLOI D'UN RÉCHAUFFEUR D'EAU D'ALIMENTATION	552

F. — LA TRANSFORMATION DE LA CHALEUR EN TRAVAIL

1° NOTIONS GÉNÉRALES :

a. — PRINCIPE DE MAYER	559
----------------------------------	-----

b. — PRINCIPE DE CARNOT	559
c. — PRINCIPE DE CLAUSIUS	564
d. — EXPRESSION DU RENDEMENT DU CYCLE DE CARNOT	571
e. — CYCLES FERMÉS ET RÉVERSIBILITÉ	571
f. — TEMPÉRATURE ABSOLUE	572
2° LES DIAGRAMMES :	
a. — DIAGRAMME DE CLAPEYRON OU DIAGRAMME MÉCANIQUE. PRESSION-VOLUME	573
b. — DIAGRAMMES ENTROPIQUES	573
1° Diagramme entropie — température ou diagramme de Bel-paire et Boulvin	573
2° Diagramme chaleur totale — entropie ou diagramme de Mollier et de Stodola	575
3° Diagramme de Mollier et de Stodola avec courbes d'égal volume spécifique pour l'étude des machines à piston	575
3° LE CYCLE DE RANKINE :	
a. — SA DÉFINITION. CAS DE LA MACHINE A VAPEUR	576
b. — RENDEMENT DU CYCLE DE RANKINE	579
c. — INFLUENCE DES PRESSIONS D'ADMISSION ET D'ÉCHAPPEMENT SUR LE RENDEMENT	582
d. — EFFETS DE LA DÉTENTE IRRÉVERSIBLE PAR ÉTRANGLEMENT OU DÉTENTE DE JOULE	586
e. — RENDEMENT THERMIQUE D'UNE MACHINE RÉELLE	587
4° MISE EN ŒUVRE DES CYCLES	
a. — BASSE, MOYENNE ET HAUTE PRESSIONS AVEC ET SANS SURCHAUFFE	589
b. — DIMENSIONS DES CYLINDRES : MOTEURS A SIMPLE EXPANSION, MOTEURS COMPOUND	593
1° Rapports d'équivalence entre les moteurs Compound et les moteurs à simple expansion	594
α . — <i>Point de vue de la détente</i>	594
β . — <i>Point de vue de la puissance</i>	594
2° Les travaux HP et BP	597
3° Les crans de marche HP et BP. Le cran critique de Mallet. La chute au réservoir intermédiaire	599
5° LES PERTES :	
a. — PERTES PAR LAMINAGE DANS LE CIRCUIT DE VAPEUR	602
1° Rapport $\left(\frac{C}{a}\right)$ entre la section des cylindres et la section des tuyauteries d'admission	605
2° Rapport $\left(\frac{C}{A}\right)$ entre la section des cylindres et la section maximum des lumières d'admission	606
3° Rapport $\left(\frac{C}{e}\right)$ entre la section des cylindres et la section des tuyauteries d'échappement	610

4° Rapport $\left(\frac{C}{E}\right)$ entre la section des cylindres et la section maximum des lumières d'échappement.....	612
5° Conséquences du laminage	613
b. — PERTES PAR CONTRE-PRESSION A L'ÉCHAPPEMENT	613
1° Influence due au serrage de l'échappement pour une introduction donnée.....	614
2° Influence résultant de l'accroissement du degré d'introduction nécessaire pour rétablir le travail à sa valeur initiale \bar{c}_0	614
c. — PERTES PAR ESPACES MORTS	616
d. — PERTES PAR TRONCATURE DE LA DÉTENTE	618
e. — PERTES PAR ACTION DE PAROI. LES SURFACES NUISIBLES. LE DEGRÉ DE DÉTENTE. LA PRESSION DE MARCHE. LA SURCHAUFFE	619
f. — PERTES PAR FUITES AUX DISTRIBUTEURS ET AUX SEGMENTS DE PISTON.	629
6° LES REMÈDES. LEURS RÉSULTATS :	
a. — LARGES DIMENSIONS DU CIRCUIT DE VAPEUR ET DU VOLUME DES BOITES A VAPEUR.....	633
b. — HAUT RENDEMENT DE L'ÉCHAPPEMENT.....	652
c. — COMPRESSION ET COMPOUNDAGE	659
d. — TRONCATURE DE LA DÉTENTE ET ACCROISSEMENT DU VOLUME DES CYLINDRES	663
e. — COMPOUNDAGE ET SURCHAUFFE	664
f. — LES PHASES DE LA DISTRIBUTION. DISTRIBUTION PAR COULISSE. DISTRIBUTIONS SPÉCIALES A PHASES INDÉPENDANTES	676
1° Distributions par soupapes à phases liées avec coulisse Walschaërts. Distribution Lentz et " OC " de la Société Dabeg....	679
2° Distributions par soupapes ou par pistons-valves à phases indépendantes ou semi-indépendantes.....	680
α. — <i>Distribution Lentz à cames rotatives et distribution " RC " de la Société Dabeg</i>	680
β. — <i>Distribution Lentz à cames oscillantes</i>	681
γ. — <i>Distribution Caprotti</i>	683
δ. — <i>Distribution Cossart</i>	685
ε. — <i>Distribution Renaud</i>	686
g. — INFLUENCE DU MODE DE CONDUITE.....	691
 G. — PUISSANCE ET RENDEMENT DU MOTEUR DE LA LOCOMOTIVE	
1° DIAGRAMMES RÉELS.....	701
MACHINE A SIMPLE EXPANSION, MACHINE COMPOUND, SUPÉRIORITÉ DE LA MACHINE COMPOUND A SECTIONS DE PASSAGE ÉGALES DE LA VAPEUR.	701
2° COURBES CARACTÉRISTIQUES EXPÉRIMENTALES.....	704
a. — EFFORTS DE TRACTION INDIQUÉS EN FONCTION DU CRAN DE MARCHE ET DE LA VITESSE	704

b. — EFFORTS ET PUISSANCES INDIQUÉS MAXIMA, SOUTENUS EN RÉGIME CONTINU.

COMPARAISON ENTRE LES RÉSULTATS FRANÇAIS, AMÉRICAINS ET ALLEMANDS.....	707
3° LA PUISSANCE VOLUMIQUE.....	711
4° LOIS DE SIMILITUDE PERMETTANT DE DÉDUIRE DES COURBES CARACTÉRISTIQUES EXPÉRIMENTALES LES COURBES CARACTÉRISTIQUES APPROXIMATIVES D'AUTRES LOCOMOTIVES NON ESSAYÉES, MAIS DONT ON CONNAIT LES DIMENSIONS PRINCIPALES ET NOTAMMENT LES RAPPORTS FONDAMENTAUX QUI CARACTÉRISENT LE CIRCUIT DE VAPEUR.....	713
5° CONSOMMATION DE VAPEUR OU DE CALORIES EN FONCTION DE LA PUISSANCE DÉVELOPPÉE ET DE LA VITESSE DE MARCHÉ PAR CHEVAL-HEURE INDIQUÉ.....	715
6° CONSOMMATION DE VAPEUR APPARENTE PAR CHEVAL-HEURE INDIQUÉ. RAPPORT ENTRE LA CONSOMMATION RÉELLE ET LA CONSOMMATION APPARENTE.....	720
7° ÉTUDE DU RENDEMENT THERMIQUE DU MOTEUR.....	724
Rendement réel d'après la consommation de vapeur. Rendement apparent d'après les diagrammes d'indicateur et d'après la chute de chaleur. Signification de la température mesurée à l'échappement	724
1° Rendement thermique réel r_1	726
2° Rapport $\left(\frac{r_1}{r_a}\right)$ du rendement thermique réel au rendement thermique du cycle de Rankine.....	726
3° Rapport $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$ du rendement thermique réel au rendement thermique déduit de la consommation de vapeur apparente.....	726
4° Rapport $\left(\frac{r_1}{r_3}\right)$ du rendement thermique réel au rendement thermique déduit de la chute de chaleur brute constatée dans la machine.....	727
5° Rapport $\left(\frac{r_1}{r_4}\right)$ du rendement thermique réel au rendement thermique déduit de la chute de chaleur corrigée.....	730
6° Rapport $\left(\frac{r_2}{r_3}\right)$ du rendement thermique calculé par les consommations de vapeur apparente et le rendement thermique calculé d'après la chute de chaleur brute	731
7° Rapport $\left(\frac{r_2}{r_4}\right)$ du rendement thermique calculé par les consommations de vapeur apparente et le rendement thermique calculé d'après la chute de chaleur corrigée.....	731

IV

DYNAMIQUE DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

A. — DYNAMIQUE INTERNE

1° ACTION DE LA VAPEUR ET DES FORCES D'INERTIE SUR LES ORGANES DE LA LOCOMOTIVE	733
RÉACTIONS SUR LES GLISSIÈRES, SUR LES BOITES, SUR LE CHASSIS. LES CHOCS ET LES TRÉPIDATIONS QUI RÉSULTENT DE CES ACTIONS. CAS DES MACHINES A 2, 3 ET 4 CYLINDRES A SIMPLE EXPANSION. CAS DES MACHINES COMPOUND. INFLUENCE DE LA PRESSION DE MARCHE. EFFORTS AUXQUELS SONT SOUMISES LES PIÈCES DU MÉCANISME	733
a. — EFFORTS AUXQUELS SONT SOUMISES LES PIÈCES DU MÉCANISME ET LES GLISSIÈRES DE PLAQUES DE GARDE	736
1° Tensions des bielles motrices	736
2° Réactions entre les boîtes et les glissières de plaques de garde	737
3° Efforts moteurs résultants $E = T + T'$, ou effort de traction à la jante des roues motrices	737
4° Dimensions comparées des attelages moteurs d'une machine à simple expansion à 2 cylindres et d'une machine Compound à 4 cylindres	739
b. — FATIGUE DU CHASSIS	741
Efforts dissymétriques dans les longerons	742
Conclusions	748
Application numérique	748
c. — FATIGUE DES ESSIEUX. ESSIEUX COUDÉS ET EFFET DES FORCES CENTRIFUGES. NÉCESSITÉ DE L'ÉQUILIBRAGE. EFFETS DUS AUX FORCES DE LA VAPEUR ET AUX FORCES D'INERTIE	749
d. — ADHÉRENCE, USURE DES BANDAGES	750

B. — DYNAMIQUE EXTERNE

1° ÉQUILIBRAGE DES MASSES A MOUVEMENT ROTATIF. BALOURDS. MACHINES A ÉQUILIBRER	752
2° ÉQUILIBRE DES MASSES A MOUVEMENT ALTERNATIF. REcul. TANGAGE. GALOP. ROULIS. LACET : MACHINES A 2, 3 ET 4 CYLINDRES. AUTO-ÉQUILIBRAGE. CONTREPOIDS A MOUVEMENT ALTERNATIF	752
3° ACTION DU VÉHICULE SUR LA VOIE	755
1. — PASSAGE EN COURBES. RÉACTION DUE AUX FORCES DE FROTTEMENT	757
2. — CIRCULATION EN ALIGNEMENT DROIT ET EN COURBE DE GRAND RAYON. RÉACTIONS TRANSVERSALES. MOUVEMENT DE LACET DU A LA CONICITÉ DES BANDAGES	758
3. — ENTRÉES EN COURBE. IMPORTANCE DES RACCORDEMENTS PARABOLIQUES	762

d. — DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DES EFFORTS IMPOSÉS A LA VOIE PAR LA CIRCULATION DES LOCOMOTIVES ET RECHERCHE DES MEILLEURES DISPOSITIONS A LEUR APPLIQUER POUR RÉDUIRE CES EFFORTS AU MINIMUM	763
---	-----

V

PUISSANCE ET EFFET UTILE DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

A. — ADHÉRENCE

ESSIEUX ACCOUPlés. ESSIEUX INDÉPENDANTS	773
---	-----

B. — RÉSISTANCE A L'AVANCEMENT

RÉSISTANCES PASSIVES. RÉSISTANCE DE L'AIR. INFLUENCE DU DIAMÈTRE DES ROUES MOTRICES ET DU NOMBRE DES ESSIEUX COUPLÉS	777
--	-----

C. — L'EFFORT AU CROCHET DE TRACTION DU TENDER. 789

1° RAPPORT ENTRE L'EFFORT DE TRACTION AU CROCHET DU TENDER ET L'EFFORT INDIQUÉ	790
2° EFFORT ET PUISSANCE DÉVELOPPÉS AU CROCHET DU TENDER EN FONCTION DE LA VITESSE	792
3° INFLUENCE DES DÉCLIVITÉS ET DE L'ACCÉLÉRATION ...	792
4° COURBES EN FONCTION DE LA PUISSANCE ET DE LA VITESSE DU POIDS DE VAPEUR ET DU POIDS DE COMBUSTIBLE CONSOMMÉ PAR CHEVAL-HEURE AU CROCHET. CRAN DE MARCHÉ MAXIMUM OPTIMUM	794

D. — LIMITE IMPOSÉE PAR LA PUISSANCE DE LA CHAUDIÈRE. 798

E. — COURBES CARACTÉRISTIQUES D'UNE LOCOMOTIVE... 800

F. — LE CALCUL DES CHARGES

1° EFFORTS DISPONIBLES AU CROCHET DU TENDER DES DIFFÉRENTES MACHINES	801
2° RÉSISTANCE A L'AVANCEMENT DU MATÉRIEL REMORQUÉ. MATÉRIEL A ESSIEUX ET MATÉRIEL A BOGIES. INFLUENCE DU POIDS PAR ESSIEU. BOITES A COUSSINETS. BOITES A ROULEAUX. FILM D'HUILE	802
Film d'huile	806
3° LES TABLEAUX DE CHARGES	808
4° LA PUISSANCE MASSIQUE :	

SON INFLUENCE AUX TRÈS GRANDES VITESSES, PENDANT LES ACCÉLÉRATIONS, ET EN RAMPE. COMPARAISON ENTRE LES LOCOMOTIVES A VAPEUR, LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES ET LES LOCOMOTIVES DIESEL ÉLECTRIQUES	809
--	-----

1° Intérêt de la notion de puissance massique	809
2° Exemples	811

VI

EXPÉRIMENTATION DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

A. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	820
ERREURS :	
VALEUR LA PLUS PROBABLE D'UNE MESURE	822
B. — MODE OPÉRATOIRE	
1° ESSAIS EN SERVICE COURANT AVEC DES TRAINS ORDINAIRES OU SPÉCIAUX	827
2° ESSAIS A VITESSE ET CRAN DE MARCHÉ CONSTANTS AVEC UTILISATION DE LOCOMOTIVES-FREIN	831
3° ESSAIS AU BANC	832
4° CONCLUSION	835
C. — ÉTUDE DE LA CHAUDIÈRE	
1° MESURES A EFFECTUER. PRÉCAUTIONS A PRENDRE...	836
2° QUALITÉ DU COMBUSTIBLE UTILISÉ	840
3° CONSTANCE DU RÉGIME DE VAPORISATION	840
D. — ÉTUDE DU MOTEUR	
DIAGRAMMES D'INDICATEURS	841
E. — ÉTUDE DE L'ENSEMBLE DE LA LOCOMOTIVE	
WAGONS-DYNAMOMÈTRES	846

VII

LA CONDUITE DES LOCOMOTIVES A VAPEUR

A. — L'HORAIRE ET LE TRAVAIL DÉVELOPPÉ	849
B. — LA CHAUFFE	854
C. — LE CRAN DE MARCHÉ. L'OUVERTURE DU RÉGULATEUR.	856
LE CRAN BP DANS LES COMPOUNDS	858
D. — LA VISITE A L'ARRIVÉE	859
E. — LE GRAISSAGE	860
1° GRAISSAGE DES CYLINDRES	860

2° GRAISSAGE DU MOUVEMENT	862
---------------------------------	-----

F. — L'ORGANISATION DES ROULEMENTS

LES ÉQUIPES TITULAIRES OU BANALISÉES. LA DOUBLE ÉQUIPE. PARCOURS MENSUELS	864
---	-----

G. — INSTRUCTION DES CADRES ET DU PERSONNEL.	866
--	-----

VIII

ÉTABLISSEMENT DES PLANS ET CONSTRUCTION DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

A. — DONNÉES DU PROBLÈME.....	867
-------------------------------	-----

B. — DÉFINITION DU TYPE.....	868
------------------------------	-----

C. — DÉTERMINATION DES DIMENSIONS PRINCIPALES

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	869
--------------------------------	-----

D. — EXEMPLES DE PROJETS	874
--------------------------------	-----

1° DISPOSITIONS COMMUNES A L'ENSEMBLE DES PROJETS.	875
--	-----

2° DISPOSITIONS PARTICULIÈRES A CHAQUE PROJET.....	878
--	-----

a. — MACHINES RAPIDES, TYPES 242 ET 232.....	878
--	-----

1° Locomotive 242 (Pl. IX, fig. 356).....	879
---	-----

2° Locomotive 232 (Pl. X, fig. 357).....	880
--	-----

b. — MACHINE ULTRA-RAPIDE (PL. XI, FIG. 358)	884
--	-----

c. — MACHINE A MARCHANDISES (PL. XII, FIG. 359).....	887
--	-----

d. — MACHINE DE BANLIEUE (PL. XIII, FIG. 360).....	890
--	-----

e. — LOCOMOTIVE LÉGÈRE (PL. XIV, FIG. 361).....	892
---	-----

IX

CONCLUSION

LES RÉSULTATS ACTUELS ET LES POSSIBILITÉS D'AVENIR DE LA TRACTION A VAPEUR.....	897
---	-----