

LES MOTEURS DIESEL

A

GRANDE VITESSE

POUR L'AUTOMOBILE, L'AÉRONAUTIQUE, LA MARINE
LA TRACTION SUR RAIL
ET LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

PAR

P.-M. HELDT

Membre de la Société des Ingénieurs de l'Automobile
Directeur technique de Automotive Industries

TRADUIT PAR

F. LEONETTI

Ancien élève de de l'École Polytechnique

SIXIÈME ÉDITION

DUNOD
PARIS
1962

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

Nature et champ d'application du moteur Diesel.

Les cycles du moteur Diesel	1
Cycle à quatre temps	3
Cycle à deux temps	5
Origine du moteur Diesel	8
Cycle de Carnot	9
Cycle à pression constante	10
Délai d'allumage	11
Cycle mixte.....	11
Economie de combustible	12
Caractéristiques de consommation en charge	13
Echappement non toxique	14
Utilisation sur les chemins de fer	16
Automotrices.....	17
Trains aérodynamiques.....	17
Locomotives Diesel à commande électrique	18
Transport des marchandises	18
Camions	20
L'économie dépend de l'intensité de l'usage	21
Autobus	22
Commande hydraulique	23
Tracteurs industriels et agricoles	24
Utilisation sur les navires	25
Marine de guerre	26
Utilisations industrielles	27
Aviation	28
Moteurs Diesel de faible puissance.....	29

CHAPITRE II

Thermodynamique des moteurs Diesel.

Compression et détente isothermiques	31
Compression et détente adiabatiques	31
Pression de compression	32
Température de compression	33
Conditions au démarrage	34
Rapport de compression modifié	34

Variation de la pression de compression et de la température avec la charge.....	
Rendement thermique du cycle à pression constante.....	
Influence de l'avance à l'injection.....	
Influence de la fin de l'injection sur le rendement.....	
Composition du mélange air-combustible.....	
Excès d'air	
Pression efficace moyenne au frein	
Variation du rendement thermique en fonction de la vitesse et de la charge.....	
Influence des variables atmosphériques sur les performances.....	
Conditions particulières aux moteurs Diesel.....	
Diagramme de correction	
Facteurs de correction pour les moteurs à deux temps.....	

CHAPITRE III

Etude de la combustion.

Délai nécessaire à l'allumage	
Analyse du processus de combustion.....	
Influence de la densité de l'air et de la température sur le délai d'allumage.....	
Influence de la vitesse du moteur sur le délai d'allumage	
Influence du réglage de l'injection	
Influence de la turbulence	
Influence de la pression d'admission et du taux de compression.....	
Délai physique et délai chimique.....	
Influence des caractéristiques du combustible.....	
Réchauffage préalable du combustible	
Injection « pilote »	
Mesure du délai d'allumage	
Analyse du diagramme de l'indicateur	
Courbes rendement-combustion	
Propagation de la combustion.....	
Vaporisation et combustion	
Temps nécessaire pour la combustion	
Influence de la vitesse du moteur sur la combustion.....	
Composition de l'échappement	
Fumées dans les échappements de Diesel.....	
Appareil pour mesurer la fumée.....	
Odeur de l'échappement	
Etude photographique de la combustion dans le moteur	
Combustion avec injection au point mort haut.....	
Combustion avec 20° d'avance à l'injection.....	
Combustion avec 40° d'avance à l'injection.....	

CHAPITRE IV

Combustibles pour moteur Diesel.

Fuel-oil pour Diesel.....	
Impôts sur les combustibles	

Température d'allumage	81
Température d'allumage et densité de la charge.....	82
Nombre de cétène	83
Moteur pour essais de combustible	84
Exécution des essais	85
Soupape à cétène	89
Relation entre la facilité d'allumage d'un combustible et ses autres propriétés.....	90
Structure moléculaire des hydrocarbures	90
Autres hydrocarbures	92
Facilité d'allumage des hydrocarbures.....	92
Relation entre la volatilité et la facilité d'allumage	93
Teneur en hydrocarbures des différents groupes de combustible pour Diesel.....	94
Index Diesel	94
Pouvoir calorifique.....	97
Influence de la densité sur la puissance et la consommation	98
Viscosité et point d'écoulement	99
Volatilité	99
Teneur en soufre	101
Classification des combustibles pour Diesel	103
Accélérateurs de combustion	105
Accélérateurs étudiés par la marine américaine	106
Accélérateurs encore à l'étude	106

CHAPITRE V

Injecteurs et jets.

Différents types d'injecteurs	108
Injecteurs à aiguille et injecteurs à étranglement	109
Fuites aux injecteurs	110
Théorie des jets de liquide	111
Formation de brouillard dans le vide.....	111
Turbulence du jet.....	112
Théorie de Schweitzer sur la pulvérisation	113
Détermination des dimensions de l'orifice d'injection	114
Coefficient de décharge.....	116
Influence du rapport de la longueur au diamètre	116
Influence du nombre de Reynolds.....	116
Procédés photographiques à grande vitesse pour l'étude des jets.....	118
Pénétration du jet.....	119
Influence de la pression d'injection sur la vitesse de la pointe du jet et sa pénétration	120
Influence de la pression dans la chambre.....	121
Influence du rapport longueur/diamètre sur la pénétration	121
Vitesse réelle des gouttelettes de combustible	122
Dimensions des gouttelettes	123
Influence des dimensions de l'orifice	127
Distribution du combustible.....	127
Action différentielle des soupapes.....	127
Pressions d'ouverture et de fermeture de la soupape	128

Quantité minimum de combustible injecté	128
Injecteur Bosch	129
Injecteur Scintilla	131
Pulvérisateur Ruston et Hornsby	132
Considérations sur les soupapes d'injection	132
Montage des injecteurs	132
Température de fonctionnement des gicleurs	133
Protection du gicleur	134
Refroidissement des injecteurs	134
Refroidissement du gicleur par la circulation de combustible	135
Injecteurs ouverts	136

CHAPITRE VI

Les pompes d'injection. Principes et caractéristiques.

Rapport de la cylindrée au volume de combustible refoulé	139
Volume balayé par les pistons de la pompe d'injection	140
Éléments d'une pompe	141
Les soupapes	142
Réglage du débit	143
Réglage du débit par dérivation commandée	143
Orifice fermé par le piston	144
Moment du début de l'injection	145
Vitesse de refoulement des pompes	146
Caractéristiques des pompes à soupapes	147
Caractéristiques des pompes à orifices contrôlés par le piston	148
Influence des caractéristiques de la pompe sur les performances du moteur	149
Amélioration des caractéristiques de débit	150
Mécanisme de contrôle du débit de combustible	151
Compressibilité du combustible et élasticité des canalisations	152
Délai d'injection	153
Chute de pression dans la tuyauterie	155
Suppression de la soupape de refoulement de la pompe	157
Ondes de pression dans les tuyauteries	157
Vitesse des ondes de pression	157
Réflexion des ondes de pression	158
Amplitude des ondes de pression	159
Forme de l'onde de pression	160
Enregistrement des ondes de pression	160
Nombre d'ondes de pression par injection	161
Expériences de Davies et Giffen	161
Diagrammes du débit de l'injection pour les injecteurs ouverts	162
Élimination des ondes de pression ou atténuation de leurs effets	165
Choix de la loi de mouvement du piston	165
Calcul des pompes d'injection	165
Came à accélération constante	166
Exemple de calcul	166
Localisation de la période d'injection sur la course de refoulement	169
Calcul de l'alésage de la pompe	169

Pression dans l'injecteur	170
Equation empirique donnant les dimensions de l'orifice.....	171
Choix des dimensions de la pompe	171
Variation de la pression d'injection avec les dimensions du gicleur.....	173
Méthode graphique	173
Autres mécanismes de fonctionnement des pompes.....	175
Points particuliers dans le dessin de la pompe	175
Fuites dans le corps de pompe	176

CHAPITRE VII

Pompes d'injection moderne et régulateur.

Pompes Bosch	178
Pompes à piston unique pour moteur à plusieurs cylindres.....	182
Pompe I.H.C.	182
Pompes individuelles	185
Injecteur de la General Motors	187
Injection de brouillard de combustible	188
Système d'injection Cummins	189
Système Cummins à double disque	191
Système d'injection pilote Atlas	193
Diminution du taux d'injection au début de l'injection	195
Pompes de transfert.....	196
Pompes C.A.V.....	196
Pompe de transfert de la Compagnie Bosch américaine	198
Pompe Silto	199
Régulateurs	203
Régulateur Bosch, type G.V.....	206
Régulateur I.H.C.	208
Régulateur Cummins	211
Régulateur pneumatique Bosch	212
Modulateur d'injection de la General Motors	213
Régulateur à relais hydraulique.....	216
Régulateur à butée liquide.....	217
Avance à l'injection	219
Régulateur d'avance à l'injection	220
Régulateur d'injection à relais hydraulique	221

CHAPITRE VIII

Moteurs à chambre de précombustion.

Définition	223
Avantages de la chambre de précombustion.....	224
Meilleur fonctionnement à vide.....	225
Consommation plus élevée.....	226
Disposition de la chambre de précombustion.....	227
Cycle dans la chambre de précombustion.....	229
Principes de la combustion.....	229
Interruption dans l'écoulement des gaz.....	233
Pression moyenne efficace	234
Moteur de tracteur I.H.C.....	234

Moteurs Caterpillar pour tracteurs	
Moteur Mac Cormick	
Moteurs Daimler-Benz pour automotrices	
Moteur SEMT — Pielstick	

CHAPITRE IX

Moteurs à injection directe.

Chambre de combustion sans turbulence	
Chambre de combustion hémisphérique	
Emplacement du pulvérisateur	
Ecoulement d'air tourbillonnant	
Chambre de combustion en forme de coupe	
Effet de la position angulaire du masque	
Sortie tangentielle de la soupape d'admission	
Pistons déplaceurs	
Expériences du N.A.C.A. sur les pistons déplaceurs	
Performances des moteurs à injection directe	
Moteur Cummins	
Moteur M.A.N.	
Moteurs Renault	
Moteurs A.G.O.	

CHAPITRE X

Moteurs à chambre de turbulence.

Avantages	
Inconvénients	
Mesure de la vitesse de tourbillonnement	
Mesure de tourbillonnement Ricardo	
Rapport de tourbillonnement	
Influence du rapport de tourbillonnement sur les performances	
Dimensions et forme de la chambre de turbulence	
Injecteur Ricardo-Pintaux	
Moteurs Hercules	
Moteurs Waukesha	
Moteur Perkins	
Moteur Hispano-Suiza polycarburant	
Moteur Indenor pour voitures de Tourisme	
Moteur Werkspoor	

CHAPITRE XI

Moteurs à chambre auxiliaire.

Définition	
Moteur à cellule d'énergie	
Moteur Acro	
Moteur M.A.N. à chambre auxiliaire	
Moteur à cellule d'énergie Lanova	
Chambres de combustion Lanova à lobe unique	
Avantages du système de combustion Lanova	
Essais effectués sur le moteur à cellule d'énergie	
Caractéristiques de combustion du moteur à cellule d'énergie	
Moteur Mack-Lanova	

CHAPITRE XII

Moteurs à deux temps.

Balayage par le carter	296
Avantages du cycle à deux temps	297
Pertes par les parois	298
Efforts dus à l'échauffement	299
Refroidissement du piston	300
Différents types de pompes de balayage	301
Compresseur Roots	301
Caractéristiques des compresseurs Roots	303
Compresseur rotatif à écoulement axial	304
Compresseur Elliott-Lyholm	306
Compresseurs à aubes	308
Processus du balayage	309
Dimension des orifices	309
Intégrale d'ouverture des orifices	311
Méthode graphique	313
Orifices circulaires	314
Réglage symétrique et réglage dissymétrique	314
Capacité des orifices	315
Disposition des manetons	317
Forces d'inertie et couples de tangage	318
Neutralisation des couples de tangage	320
Couple tournant	322
Vilebrequin à cinq et sept portées	322
Vilebrequin à six et huit portées	323
Dispositions des manetons pour les moteurs en V	323
Pressions moyennes efficaces	324
Moteur de la General Motors, série 71	324
Choix des injecteurs en fonction du service demandé au moteur	329
Adaptabilité du moteur deux-temps	330
Moteurs accouplés	331
Moteur General Motors de la série 110	331
Moteurs Junkers à double piston	332
Balayage par l'inertie des gaz	334
Moteurs Kadenacy	334
Moteur Burmeister et Wain	336
Moteurs à pistons actionnés par culbuteurs	336

CHAPITRE XIII

Moteurs de chemins de fer.

Locomotives de manœuvre	340
Développement des moteurs Diesel en Europe	341
Moteurs Alco	342
Moteurs de chemins de fer de la General Motors	347
Moteur Fairbanks-Morse	353
Moteurs Maybach	360
Moteurs Sulzer	365
Moteurs Renault	366
Moteurs Saurer	368

CHAPITRE XIV

Compresseurs

Surcompression des moteurs à quatre temps.....	
Chevauchement des soupapes.....	
Influence de la surcompression sur la puissance	
Résultats expérimentaux	
Différents types de compresseur	
Caractéristiques des compresseurs rotatifs	
Caractéristiques des compresseurs centrifuges	
Courbes d'admission d'un moteur	
Turbo-compresseurs	
Caractéristiques des turbo-compresseurs	
Système Buchi.....	
Turbo-compresseurs pour moteurs de camion	
Turbo-compresseurs Brown-Boveri à gaz d'échappement	
Comparaison des différents types de compresseurs.....	
Bilan thermique des moteurs surcomprimés et des autres moteurs.....	
La charge des paliers et les vibrations.....	
Moteurs à deux-temps à taux de surcompression élevé.....	

CHAPITRE XV

Quelques détails du moteurs.

Chemises de cylindres.....	
Boulons traversants	
Blocs-moteurs en acier soudé.....	
Moteur Steel Barrel et moteur A.D.N.....	
Joints de culasse.....	
Pistons	
Roulements à aiguilles pour les axes de piston	
Paliers de têtes de bielles	
Réglage de la distribution.....	

CHAPITRE XVI

Mise en route des moteurs Diesel.

Pressions et températures de compression	
Couple de démarrage nécessaire	
Démarrage électrique.....	
Caractéristiques de la batterie de démarrage.....	
Démarrateur Delco-Rémy	
Mise en route à l'essence	
Mise en route au moyen d'un moteur à essence séparé	
Dispositifs auxiliaires de démarrage	
Utilisation de l'éther comme combustible de démarrage	
Démarrateur à capsule.....	
Dispositif à excès de combustible	
Bouchons de réchauffage électriques	

Réchauffeurs d'air	419
Réchauffeur à flamme	420
Réchauffeurs à immersion	421
Réchauffage du liquide de refroidissement par brûleur	422
Autres dispositifs de démarrage	423

CHAPITRE XVII

Le graissage et le refroidissement.

Graissage des paliers	424
Graissage des parois de cylindre	426
Graissage des moteurs à forte charge	426
Graissage de l'entraînement des soupapes	427
Cause de l'usure des paliers	428
Métaux utilisés pour les coussinets	428
Constitution des pistons	429
Température des pistons	430
Consommation d'huile	430
Graissage des moteurs à deux-temps	431
Conséquences d'un graissage défectueux	432
Lubrifiants pour Diesel	432
Huiles composées	433
Huiles détersives	433
Le refroidissement	434

CHAPITRE XVIII

Fonctionnement et entretien.

Mise en route	436
Limitation de la charge des paliers	437
Mise en route par temps froid	438
Choix et manipulation des combustibles	439
Filtres de combustible	441
Différents types de filtres	441
Éléments filtrants organiques	443
Sacs filtrants	443
Epurateurs d'air	445
Amorçage de la canalisation de combustible	446
Précautions à prendre pour prévenir le blocage par l'air	448
Nettoyage des filtres	448
Vérification des injecteurs	448
Entretien des injecteurs	451
Banc d'essai pour injecteurs	452
Recalage de la pompe d'alimentation	453
Maintien des qualités de la pompe	454
Arrêt du combustible	454
Graissage	455
Pertes de compression	456
Mesure du soufflage	456
Vérification du calage de la distribution	457
Examen général	457

CHAPITRE XIX

Turbines à gaz.

Différents types de turbine à gaz.....	459
Pressions et températures de fonctionnement.....	460
Cycle de fonctionnement.....	461
Aspects économiques de la turbine simple.....	463
Récupération.....	464
Refroidissement entre deux étages de compression	464
Réchauffage	465
Chaudière à l'échappement	466
Systèmes fermés.....	467
Application aux véhicules routiers	468
Locomotives à turbine.....	469
Perspectives de la turbine à gaz vis-à-vis du moteur Diesel	469