MOTEURS THERMIQUES

4ÈME ANNÉE, OPTION MÉCANIQUE AUTOMOBILE





TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

0.1. Objectifs Généraux du Cours 1
- 0.1.1. Consolidation des principes thermodynamiques appliqués 1
- 0.1.2. Acquisition d'une compétence analytique des systèmes 1
- 0.1.3. Développement de la démarche diagnostique 1
- 0.1.4. Alignement avec les exigences de la certification nationale 1

0.2. Approche Méthodologique 2
- 0.2.1. De l'Observation au Concept (Approche Inductive-Pratique) 2
- 0.2.2. Articulation Systématique Théorie-Praxis 2
- 0.2.3. Primauté de la Logique de Diagnostic 2

0.3. Matériel Didactique Requis 2
- 0.3.1. Supports Pédagogiques Fondamentaux 3
- 0.3.2. Équipement d'Atelier et de Laboratoire 3
- 0.3.3. Instruments de Métrologie et de Diagnostic 3

PARTIE 1. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET THERMODYNAMIQUE **4**

Du feu au mouvement : une idée simple 4

La thermodynamique : le maître des règles 4

Le cycle : une chorégraphie mécanique 4

Du savoir à la clé de 12 : l'art du diagnostic 4

CHAPITRE 1. GÉNÉRALITÉS SUR LES MACHINES THERMIQUES **5**

1.1. Définition et Historique 5
- a. Une idée qui chauffe 5
- A. Définition Technique 5
- B. Des Origines à l'Automobile 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (5296-6558-3228) **8**

Schéma de principe d'une machine thermique avec ses deux sources 8
- Scénarios et Exercices 8

1.2. Classification des Moteurs 10
- a. Une distinction fondamentale 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Selon le lieu de la combustion.....10

FIGURE 2 : RÉF. IMG (5451-5262-8393).....13

Schéma comparatif entre un moteur à combustion externe et interne.....13

- B. Selon le mode d'allumage (Moteurs à Combustion Interne).....13

FIGURE 3 : RÉF. IMG (2898-4401-7705).....16

Comparaison du principe d'allumage commandé et par compression.....16

- C. Selon le mouvement des pièces mobiles.....16

1.3. Terminologie Fondamentale.....18

- a. Le langage commun du motoriste.....18
- A. Les Points et les Courses du Piston.....19

FIGURE 4 : RÉF. IMG (0633-2503-4262).....21

Schéma d'un cylindre illustrant le Point Mort Haut et Bas.....21

- B. Les Volumes Caractéristiques.....21
- C. Le Rapport Volumétrique de Compression ().....22

FIGURE 5 : RÉF. IMG (5029-8066-9188).....24

Comparaison visuelle entre le volume de la chambre et la cylindrée.....24

- Scénarios et Exercices.....24

1.4. Transformation de l'Énergie.....26

- a. Le principe de conservation.....26
- A. De l'Énergie Chimique à l'Énergie Thermique.....26

FIGURE 6 : RÉF. IMG (0830-1484-8172).....28

Schéma simplifié de la conversion d'énergie dans un cylindre de moteur.....28

- B. De l'Énergie Thermique à l'Énergie Mécanique.....28
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....29

CHAPITRE 2. LE CYCLE À 4 TEMPS (MOTEUR À EXPLOSION).....31

2.1. Admission et Compression.....31

- a. La première respiration du moteur.....31
- A. Le Temps Admission (Du PMH vers le PMB).....31

FIGURE 7 : RÉF. IMG (1430-0419-2106).....33

Schéma du cylindre pendant la phase d'admission du mélange gazeux.....33

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le Temps Compression (Du PMB vers le PMH)....33

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5717-0340-1828)....36

Le piston comprime le mélange air-carburant avant l'allumage....36

- Anecdote du Garage "Bendele" à Matadi....36

2.2. Explosion-Détente (Temps Moteur)....38

- a. L'étincelle qui change tout....38
- A. La Physique de la Poussée....38

FIGURE 9 : RÉF. IMG (5264-4482-7706)....41

Schéma du piston au début du temps d'explosion-détente....41

- B. La Conversion du Mouvement....41

FIGURE 10 : RÉF. IMG (7822-4529-9370)....44

Piston descendant et faisant tourner le vilebrequin grâce à la bielle....44

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....44

2.3. Échappement....46

- a. Le dernier effort du cycle....46
- A. Objectif et cinématique du quatrième temps....46
- B. L'optimisation : Avance à l'Ouverture et Retard à la Fermeture....47

FIGURE 11 : RÉF. IMG (0487-9996-7494)....49

Schéma du croisement des soupapes durant la phase d'échappement et d'admission....49

- C. La contre-pression à l'échappement....49

2.4. Représentation Graphique (Diagramme P.V)....51

- a. L'empreinte digitale du moteur....51
- A. Le Diagramme Théorique (Cycle de Beau de Rochas)....52
- B. Le Diagramme Réel (ou Pratique)....52

FIGURE 12 : RÉF. IMG (8667-7311-6980)....54

Comparaison entre le diagramme théorique et le diagramme réel du cycle....54

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....54
- Une panne révélée par les courbes à Lubumbashi....54

CHAPITRE 3. LE CYCLE DIESEL ET LE MOTEUR 2 TEMPS....57

3.1. Spécificités du Cycle Diesel et Comparaison avec l'Essence....57

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. Le bruit, la force et la science.....57
- A. Allumage par Compression contre Allumage Commandé.....57

FIGURE 13 : RÉF. IMG (8392-8495-1998).....59

Diagrammes comparatifs des cycles thermodynamiques Otto et Diesel à quatre te.....59

- B. Conséquences Mécaniques et Énergétiques.....59
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....60

3.2. Le Cycle à 2 Temps et ses Représentations Graphiques.....62

- a. Une simplification radicale.....62
- A. Le Principe en Deux Mouvements.....62
- B. Diagramme Pression-Volume (P-V) du Cycle Réel.....63

FIGURE 14 : RÉF. IMG (1107-1581-3966).....65

Diagramme Pression-Volume (P-V) d'un cycle à deux temps réel.....65

- Scénarios et Exercices.....65
- Une simple histoire de mélange à Lubumbashi.....65

CHAPITRE 4. CARACTÉRISTIQUES ET PERFORMANCES.....68

4.1. Couple Moteur et Puissance.....68

- a. Force brute et vitesse d'exécution.....68
- A. Le Couple Moteur (C) : La force de torsion.....68

FIGURE 15 : RÉF. IMG (2667-6115-9097).....70

Représentation du couple moteur sur le vilebrequin du moteur thermique.....70

- B. La Puissance Moteur (P) : La rapidité du travail.....70

FIGURE 16 : RÉF. IMG (3723-3944-0085).....73

Courbes caractéristiques du couple et de la puissance d'un moteur thermique.....73

- C. L'Interprétation des Courbes pour le Technicien.....73
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....74

4.2. Cylindrée et Taux de Compression.....76

- a. Un secret de puissance.....76
- A. La Cylindrée : Le "Poumon" du Moteur.....76

FIGURE 17 : RÉF. IMG (3745-1052-6956).....78

Schéma d'un cylindre montrant l'alésage et la course du piston.....78

- B. Le Taux de Compression : La Force de la Contrainte.....78

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 18 : RÉF. IMG (0322-4761-8150) **81**

Comparaison du volume au PMB et du volume au PMH. 81

- SCÉNARIOS ET EXERCICES. 81

4.3. Consommation Spécifique et Rendement Volumétrique. 83

- a. L'art de la sobriété mécanique. 83
- A. La Consommation Spécifique Effective (CSE) 83

FIGURE 19 : RÉF. IMG (0468-4325-3693) **86**

Graphique comparant la consommation spécifique de deux moteurs différents. 86

- B. Le Rendement Volumétrique () 86

FIGURE 20 : RÉF. IMG (0997-9363-7370) **89**

Schéma d'un cylindre montrant le flux d'air d'admission. 89

- L'anecdote du mécanicien de Matadi 89

PARTIE 2. CONSTITUTION ET ORGANES DU MOTEUR **92**

a. L'anatomie d'une machine de puissance 92

b. Le haut moteur : le cerveau de la combustion 92

c. L'attelage mobile : le cœur et les muscles 92

d. Les systèmes annexes : le support de vie du moteur 92

CHAPITRE 5. LES ORGANES FIXES **93**

5.1. Le Bloc-Cylindres 93

- a. La colonne vertébrale du moteur 93
- A. Rôle et Architecture 93
- B. Matériaux et Conception 93

FIGURE 21 : RÉF. IMG (0309-0015-7041) **96**

Vue éclatée d'un bloc-cylindres moderne à quatre cylindres en ligne. 96

- SCÉNARIOS ET EXERCICES. 97

5.2. La Culasse. 98

- a. Le chapeau stratégique du moteur 98
- A. Rôle, Constitution et Matériaux 99

FIGURE 22 : RÉF. IMG (5012-8011-7024) **101**

Vue éclatée d'une culasse moderne et de ses composants principaux. 101

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le Joint de Culasse : La Frontière Scellée.....101

FIGURE 23 : RÉF. IMG (8914-9666-0182).....104

Le joint de culasse, pièce d'étanchéité vitale entre culasse et bloc-moteur.....104

- Scénarios et Exercices.....104
- Une histoire de "mayonnaise" sur l'axe Bandundu-Kikwit.....104

5.3. Carter Inférieur, Collecteurs et Étanchéité.....106

- L'évolution vers des moteurs propres.....106
- A. Le Carter Inférieur : la réserve d'huile.....106
- B. Les Collecteurs : la respiration du moteur.....107
- C. L'Étanchéité : le gardien de la pression et des fluides.....107
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....108

CHAPITRE 6. LES ORGANES MOBILES (ATTELAGE MOBILE).....110

6.1. Le Piston et les Segments.....110

- a. Du canon à la chambre de combustion.....110
- A. Le Piston : Le cœur sous pression.....110
- B. Les Segments : Les gardiens de l'étanchéité.....110
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....111

6.2. La Bielle.....112

- a. Un bras de fer millénaire.....112
- A. Rôle et Constitution.....113

FIGURE 24 : RÉF. IMG (5106-8066-7945).....115

Anatomie d'une bielle et ses trois parties distinctes.....115

- B. Contraintes et Matériaux.....115

FIGURE 25 : RÉF. IMG (4308-4186-3601).....118

Visualisation des forces de compression et traction sur la bielle.....118

- C. Le montage flottant ou serré.....118

6.3. Le Vilebrequin, le Volant Moteur et l'Amortisseur.....120

- a. Le cœur tournant de la machine.....120
- A. Le Vilebrequin : la colonne vertébrale rotative.....120

FIGURE 26 : RÉF. IMG (1314-2640-8312).....123

Anatomie détaillée d'un vilebrequin de moteur 4 cylindres en ligne.....123

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le Volant Moteur et l'Amortisseur : les régulateurs de mouvement.....123
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....124

CHAPITRE 7. LA DISTRIBUTION.....127

7.1. Principes de la Distribution et Rôle de l'Arbre à Cames.....127
- a. Le chef d'orchestre du moteur.....127
- A. Le principe de la synchronisation moteur.....127
- B. L'arbre à cames : le cerveau de la distribution.....128

FIGURE 27 : RÉF. IMG (0869-8065-4290).....130

Détail du profil d'une came et de son action sur une soupape.....130
- C. Le jeu aux soupapes.....130

7.2. Les Soupapes, Ressorts et Réglage du Jeu.....132
- a. L'importance du souffle contrôlé.....132
- A. Les soupapes : portes du cylindre.....133
- B. Les ressorts : gardiens du retour.....133

FIGURE 28 : RÉF. IMG (4881-4134-1798).....135

Vue éclatée d'une soupape et de son ressort de rappel.....135
- C. Le jeu aux soupapes : la marge de dilatation.....135
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....136

CHAPITRE 8. ARCHITECTURE POLYCYLINDRIQUE ET ÉQUILIBRAGE.....138

8.1. Disposition des Cylindres et Ordre d'Allumage.....138
- a. Le rythme du moteur.....138
- A. L'Architecture du Bloc-Moteur.....138

FIGURE 29 : RÉF. IMG (9584-2885-0318).....140

Architectures de moteurs : comparaison des dispositions des cylindres en lign.....140
- B. L'Ordre d'Allumage : La Séquence du Pouvoir.....140

FIGURE 30 : RÉF. IMG (7128-8387-4498).....143

Séquence d'allumage 1-3-4-2 sur un moteur 4 cylindres en ligne.....143
- Anecdote du garage de Papa Kanku.....143

8.2. Équilibrage des Masses Mobiles et Calage de la Distribution.....145
- a. Le secret de la douceur mécanique.....145
- A. L'équilibrage : la lutte contre les vibrations.....145

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le calage de la distribution : la synchronisation vitale.....146

FIGURE 31 : RÉF. IMG (2091-4561-0757).....148

Repères de calage de la distribution sur un moteur 4 cylindres.....148

- b. Anecdotes et exercices pratiques.....148

PARTIE 3. SYSTÈMES AUXILIAIRES ET FLUIDES.....151

a. Au-delà du bloc-moteur.....151

b. Les fluides, sang et souffle du moteur.....151

c. La maîtrise du feu : le refroidissement.....151

d. Lubrification et alimentation : l'énergie contrôlée.....151

CHAPITRE 9. LE SYSTÈME DE LUBRIFICATION.....152

9.1. Rôle et Types de Lubrification.....152

- a. L'huile, le sang du moteur.....152
- A. Les fonctions vitales du film d'huile.....152
- B. Les trois régimes de lubrification.....153

FIGURE 32 : RÉF. IMG (6176-7243-6376).....154

Les trois régimes de lubrification du moteur et leur film d'huile.....154

- L'anecdote du filtre à huile oublié.....154

9.2. La Pompe à Huile et le Circuit.....156

- a. L'analogie du système sanguin.....156
- A. Rôle et principe de la pompe à huile.....156
- B. Anatomie du circuit de lubrification.....157

FIGURE 33 : RÉF. IMG (0455-1056-5654).....159

Schéma simplifié du circuit de lubrification sous pression d'un moteur.....159

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....159

9.3. Filtration, Entretien et Choix des Lubrifiants.....161

- a. L'huile, un fluide qui se dégrade.....161
- A. La Filtration de l'Huile : Le Gardien Silencieux.....161

FIGURE 34 : RÉF. IMG (5513-4955-7815).....164

Coupe transversale d'un filtre à huile moderne et ses composants essentiels.....164

- B. L'Entretien : Vidange et Contrôles.....164

- C. Le Choix du Lubrifiant : La Norme et la Viscosité.....165

FIGURE 35 : RÉF. IMG (0304-8857-6000).....167

Schéma expliquant la signification de la viscosité multigrade SAE 10W-40.....167

- Scénarios et Exercices.....167
- Une anecdote de l'atelier de Papa Kanku à Mbuji-Mayi.....167

CHAPITRE 10. LE SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT.....170

10.1. Nécessité et Modes de Refroidissement.....170

- a. Le paradoxe du feu maîtrisé.....170
- A. La nécessité thermodynamique du refroidissement.....170
- B. Les deux modes fondamentaux de refroidissement.....170

FIGURE 36 : RÉF. IMG (8381-8622-0507).....173

Comparaison schématique des systèmes de refroidissement par air et par liquide.....173

- Anecdote de l'enseignant : Le secret du chauffeur de bus sur la Nationale 1.....173

10.2. Le Circuit de Refroidissement Liquide.....175

- a. La chaleur, cet ennemi silencieux.....175
- A. Principe de Fonctionnement.....175
- B. Les Composants Essentiels et leur Rôle.....176

FIGURE 37 : RÉF. IMG (2823-1554-9425).....178

Schéma du circuit de refroidissement liquide et ses composants clés.....178

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....178

10.3. Régulation Thermique, Ventilation et Fluides Caloporteurs.....180

- a. Le principe du contrôle de la température.....180
- A. Le thermostat (Calorstat) : La vanne intelligente.....180

FIGURE 38 : RÉF. IMG (1320-2856-9439).....183

Schéma du circuit de refroidissement moteur avec thermostat ouvert et fermé.....183

- B. La ventilation forcée : Le coup de pouce nécessaire.....183
- C. Le liquide de refroidissement : Le sang du système.....184

CHAPITRE 11. CARBURATION ET ALIMENTATION EN ESSENCE.....187

11.1. Circuit d'Alimentation et Principe de la Carburation.....187

- a. Du souffle et du liquide : l'art du mélange.....187
- A. Le Circuit d'Alimentation : le voyage de l'essence.....187

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 39 : RÉF. IMG (1766-4178-8676) **189**

Schéma simplifié du circuit d'alimentation en essence d'un moteur à carburateur 189

- B. Le Principe de la Carburation : l'Effet Venturi 189

11.2. Les Circuits du Carburateur 191

- a. Le carburateur, un chef d'orchestre mécanique 191
- A. La Gestion du Moteur au Repos : Le Circuit de Ralenti 192
- B. La Croisière et la Puissance : Le Circuit Principal 192

FIGURE 40 : RÉF. IMG (9559-5374-7860) **194**

Vue en coupe d'un carburateur : circuits de ralenti et principal 194

- C. La Réponse Immédiate : Le Circuit de Reprise 194
- D. Le Démarrage par Temps Froid : Le Circuit de Starter 195

FIGURE 41 : RÉF. IMG (7514-0958-3614) **197**

Circuits de reprise et de démarrage à froid (starter) d'un carburateur 197

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 197

11.3. Mélanges et Combustion 199

- a. L'étincelle et la poudre 199
- A. Le Rapport Stœchiométrique : La Recette Parfaite 199

FIGURE 42 : RÉF. IMG (5356-7299-1229) **201**

Représentation schématique des mélanges air-carburant et de leurs conséquences 201

- B. Les Variations du Mélange : Riche ou Pauvre ? 201

CHAPITRE 12. ÉCOULEMENT DES GAZ ET USAGES **204**

12.1. Admission d'Air et Filtration 204

- a. La poussière, l'ennemi silencieux 204
- A. Le rôle vital du circuit d'admission 204

FIGURE 43 : RÉF. IMG (3758-9040-6462) **206**

Schéma d'un filtre à air en papier plissé moderne 206

- B. Les technologies de filtration 206

FIGURE 44 : RÉF. IMG (8182-6082-9293) **209**

Fonctionnement d'un filtre à air à bain d'huile 209

- #### Scénarios et Exercices 209

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

12.2. Collecteur d'Échappement et Silencieux.....211
- a. Un bruit civilisé.....211
- A. Le Collecteur d'Échappement : Le point de rassemblement.....211

FIGURE 45 : RÉF. IMG (8918-0157-1199).....214

Vue éclatée d'un collecteur d'échappement en fonte à quatre entrées.....214
- B. Le Silencieux : L'art de la détente sonore.....214

FIGURE 46 : RÉF. IMG (0339-9431-6355).....217

Coupe transversale d'un silencieux à chicanes et d'un silencieux à absorption.....217
- b. Le secret du "frou-frou" à Matadi.....217

12.3. Dépollution Sommaire, Usages et Maintenance Préventive.....219
- a. Un regard sur le passé et le présent.....219
- A. Composants Clés de la Dépollution.....219

FIGURE 47 : RÉF. IMG (9256-6559-3755).....222

Schéma interne d'un pot catalytique et ses réactions chimiques de base.....222
- B. Maintenance Préventive et Bonnes Pratiques.....222

FIGURE 48 : RÉF. IMG (9059-8615-3211).....225

Fonctionnement du circuit de recirculation des gaz d'échappement (vanne EGR).....225
- C. Le Diagnostic Visuel : La Couleur des Fumées.....225

ANNEXES.....228

A.1. Tableau des Caractéristiques des Carburants.....228
- A. Propriétés Physico-Chimiques.....228
- B. Propriétés de Combustion.....229
- C. Indices de Performance.....230

A.2. Schémas de Graissage et Refroidissement.....230
- A. Principes et Fonctions du Circuit de Graissage.....230
- B. Typologies des Circuits de Graissage.....231
- C. Principes et Fonctions du Circuit de Refroidissement.....233
- D. Typologies des Circuits de Refroidissement.....233

A.3. Tableau de Diagnostic Rapide (Fumées et Bruits).....234
- A. Analyse des Fumées d'Échappement.....234
- B. Analyse des Bruits Moteurs Anormaux.....237

A.4. Valeurs de Réglage Standards.....239
- A. Allumage.....239
- B. Distribution.....240
- C. Carburation et Injection.....241
- D. Valeurs de Contrôle Moteur.....241

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

0.1. Objectifs Généraux du Cours

0.1.1. Consolidation des principes thermodynamiques appliqués

La finalité première est de doter l'apprenant d'une maîtrise rigoureuse des lois physiques qui gouvernent la conversion d'énergie au sein des moteurs à combustion interne. L'étude approfondie des cycles théoriques (Beau de Rochas, Diesel) et réels instrumente sa capacité à modéliser les phénomènes de pression, de température et de rendement. Cette base théorique constitue le socle indispensable à toute analyse systémique ultérieure.

0.1.2. Acquisition d'une compétence analytique des systèmes

Au-delà de la connaissance de chaque composant, le cours vise le développement d'une vision intégrée des systèmes moteur modernes. L'apprenant doit pouvoir articuler logiquement le fonctionnement des circuits d'alimentation, d'allumage, de suralimentation et de dépollution. Il apprendra à identifier les interactions et les dépendances fonctionnelles qui conditionnent la performance globale et la conformité environnementale du propulseur.

0.1.3. Développement de la démarche diagnostique

Une compétence essentielle est la transition du savoir théorique vers la résolution de pannes. Ce programme structure la méthode hypothético-déductive du diagnostic. L'élève apprend à interpréter des symptômes, à formuler des hypothèses basées sur la science des moteurs et à définir des protocoles de vérification métrologique. L'objectif est de former des techniciens capables de justifier une intervention par un raisonnement technique et non par empirisme.

0.1.4. Alignement avec les exigences de la certification nationale

Ce manuel prépare spécifiquement les finalistes aux épreuves certificatives du TENASOSP et de l'Examen d'État (EXETAT). La structuration des savoirs, la typologie des exercices et la profondeur technique des sujets abordés sont directement calibrées sur les standards et les attentes de ces évaluations nationales. La réussite de l'apprenant à ces examens demeure un objectif pragmatique et central.

0.2. Approche Méthodologique

0.2.1. De l'Observation au Concept (Approche Inductive-Pratique)

L'acquisition des savoirs s'organise selon un parcours allant du concret vers l'abstrait. Chaque chapitre débute par l'analyse d'un système mécanique observable ou d'un phénomène tangible : une vibration, une perte de puissance, une consommation anormale. À partir de cette observation initiale, le raisonnement décompose le problème pour en extraire progressivement les lois physiques et les principes thermodynamiques sous-jacents. Cette démarche inductive ancre la théorie dans une réalité matérielle directement accessible à l'apprenant.

0.2.2. Articulation Systématique Théorie-Praxis

Aucun concept théorique n'est présenté de manière isolée. Sa formulation est immédiatement suivie de son application dans un contexte automobile précis. La présentation d'une équation de la thermodynamique, par exemple, s'accompagne de son utilité dans le calcul d'un rendement ou le diagnostic d'un dysfonctionnement. Cette articulation constante vise à construire une compétence opérationnelle où la science et la technique sont indissociables.

0.2.3. Primauté de la Logique de Diagnostic

Finalement, la structure pédagogique privilégie le développement d'une logique de diagnostic. Les connaissances ne sont pas une fin en soi, mais des outils pour identifier, analyser et résoudre une panne. Les exercices et scénarios proposés simulent des situations d'atelier réelles. L'enseignant est ainsi invité à guider l'élève dans la construction d'arbres de défaillances logiques, transformant l'apprentissage en une véritable formation à l'expertise technique.

0.3. Matériel Didactique Requis

Un enseignement efficace des moteurs thermiques articule la théorie et la pratique. La sélection rigoureuse du matériel didactique est donc une condition essentielle à l'acquisition des compétences techniques visées par le programme de 4ème année. Le matériel doit permettre à la fois l'observation, la manipulation et la mesure.

0.3.1. Supports Pédagogiques Fondamentaux

Une documentation technique variée soutient la consolidation des savoirs théoriques. Elle inclut des manuels constructeurs récents et des schémas de circuits (injection, refroidissement, lubrification). L'utilisation d'un projecteur vidéo est recommandée pour la visualisation d'animations 3D sur les cycles thermodynamiques et le fonctionnement des composants.

0.3.2. Équipement d'Atelier et de Laboratoire

L'atelier constitue le lieu principal de l'expérimentation pratique. Sa dotation minimale comprend :

- Un moteur à essence 4 cylindres, complet et fonctionnel, monté sur banc didactique.
- Un moteur diesel (type Common Rail ou injecteur-pompe), complet et fonctionnel, sur banc.
- Des sous-ensembles et pièces détachées pour l'étude statique : une culasse complète, un ensemble bielle-piston, un vilebrequin, un arbre à cames, un turbocompresseur, un injecteur.
- Des maquettes en écorché illustrant les différents temps du cycle à 4 temps.
- Un outillage complet de mécanicien automobile (clés plates, à pipe, douilles) et l'outillage spécifique (clé dynamométrique, compresseur de segments, lève-soupapes).

0.3.3. Instruments de Métrologie et de Diagnostic

L'analyse quantitative et le diagnostic de pannes utilisent des instruments de précision. La maîtrise de leur usage est un objectif central.

- Instruments de mesure dimensionnelle : pied à coulisse digital, micromètre d'extérieur, comparateur à cadran avec son support magnétique.
- Outils de diagnostic moteur : compressiomètre (pour moteurs essence et diesel), stéthoscope mécanique pour l'identification des bruits.
- Appareil de diagnostic électronique (scanner OBD) pour l'interrogation des calculateurs moteur.

Partie 1. Principes de Fonctionnement et Thermodynamique

Du feu au mouvement : une idée simple

Toute combustion libère de l'énergie thermique. Un moteur thermique est une machine conçue pour capturer cette énergie et la transformer en mouvement. Le principe est universel. Du taxi-moto circulant à Goma au puissant groupe électrogène qui alimente un hôpital à Mbandaka, le défi reste le même : transformer la chaleur, une énergie désordonnée, en une force mécanique utile et contrôlée.

La thermodynamique : le maître des règles

Cette conversion d'énergie n'est ni magique ni aléatoire. Elle obéit à des lois physiques précises et non négociables. La thermodynamique est la science qui établit ces règles du jeu. Elle définit les relations entre la pression, le volume et la température d'un gaz, dictant ainsi le rendement possible et les limites infranchissables de tout moteur thermique, qu'il soit à essence ou diesel.

Le cycle : une chorégraphie mécanique

Pour produire un travail mécanique de manière continue, le moteur exécute une série d'opérations qui se répètent à l'identique. Cette séquence porte le nom de cycle thermodynamique. Comprendre les cycles de Beau de Rochas (moteur à essence) et de Diesel est essentiel. Chacun représente une "recette" précise pour admettre, comprimer, enflammer et expulser les gaz, optimisant la conversion d'énergie à chaque tour de vilebrequin.

Du savoir à la clé de 12 : l'art du diagnostic

Maîtriser ces principes fondamentaux n'est pas un exercice de style pour l'école. C'est l'outil de diagnostic le plus puissant du mécanicien. Un moteur qui surchauffe sur la route de Matadi ou qui manque de puissance sur les pistes du Kasaï-Oriental trahit presque toujours une défaillance dans son cycle thermodynamique. Connaître la théorie, c'est savoir où regarder et quoi réparer.

Chapitre 1. Généralités sur les Machines Thermiques

1.1. Définition et Historique

a. Une idée qui chauffe.

Un des faits les plus surprenants de l'histoire des techniques est la transformation d'une simple observation, celle de la vapeur soulevant le couvercle d'une marmite, en une révolution industrielle mondiale. Ce phénomène, banal en apparence, contient l'essence même d'une découverte majeure pour l'humanité.

Cette marmite, dans son principe, est l'ancêtre de toutes les machines thermiques. L'idée fondamentale est née : utiliser la chaleur pour produire un mouvement mécanique. Ce principe simple anime aujourd'hui les voitures, les groupes électrogènes et même certaines centrales électriques à travers la RDC.

A. Définition Technique

Une machine thermique est un système qui convertit de l'énergie thermique (chaleur) en énergie mécanique (travail). Son fonctionnement s'appuie sur un cycle thermodynamique parcouru par un fluide. Ce cycle implique obligatoirement trois éléments fondamentaux.

Ces éléments sont : - Une source chaude, qui fournit l'énergie thermique. - Une source froide, qui reçoit la chaleur non convertie en travail. - Un fluide de travail (ou fluide caloporteur), qui subit les transformations et transporte l'énergie entre les sources.

La différence de température entre la source chaude et la source froide est la condition indispensable à la production de travail mécanique. Sans cette différence, aucun moteur thermique ne peut fonctionner.

B. Des Origines à l'Automobile

L'histoire de ces machines débute bien avant l'automobile. Au 17ème siècle, le Français Denis Papin conçoit le "digesteur", l'ancêtre de l'autocuiseur, et imagine un premier piston mû par la vapeur. Son idée pose les fondations de la motorisation.

Plus tard, au 18ème siècle, l'Écossais James Watt perfectionne la machine à vapeur. Il la rend suffisamment efficace pour actionner les pompes dans les

mines, puis les métiers à tisser dans les usines et les locomotives des premiers chemins de fer. Le 19ème siècle voit l'émergence du moteur à combustion interne, avec les travaux d'Étienne Lenoir puis de Nicolaus Otto, qui mèneront directement au moteur de l'automobile moderne.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 1 : Réf. IMG (5296-6558-3228)

Schéma de principe d'une machine thermique avec ses deux sources.

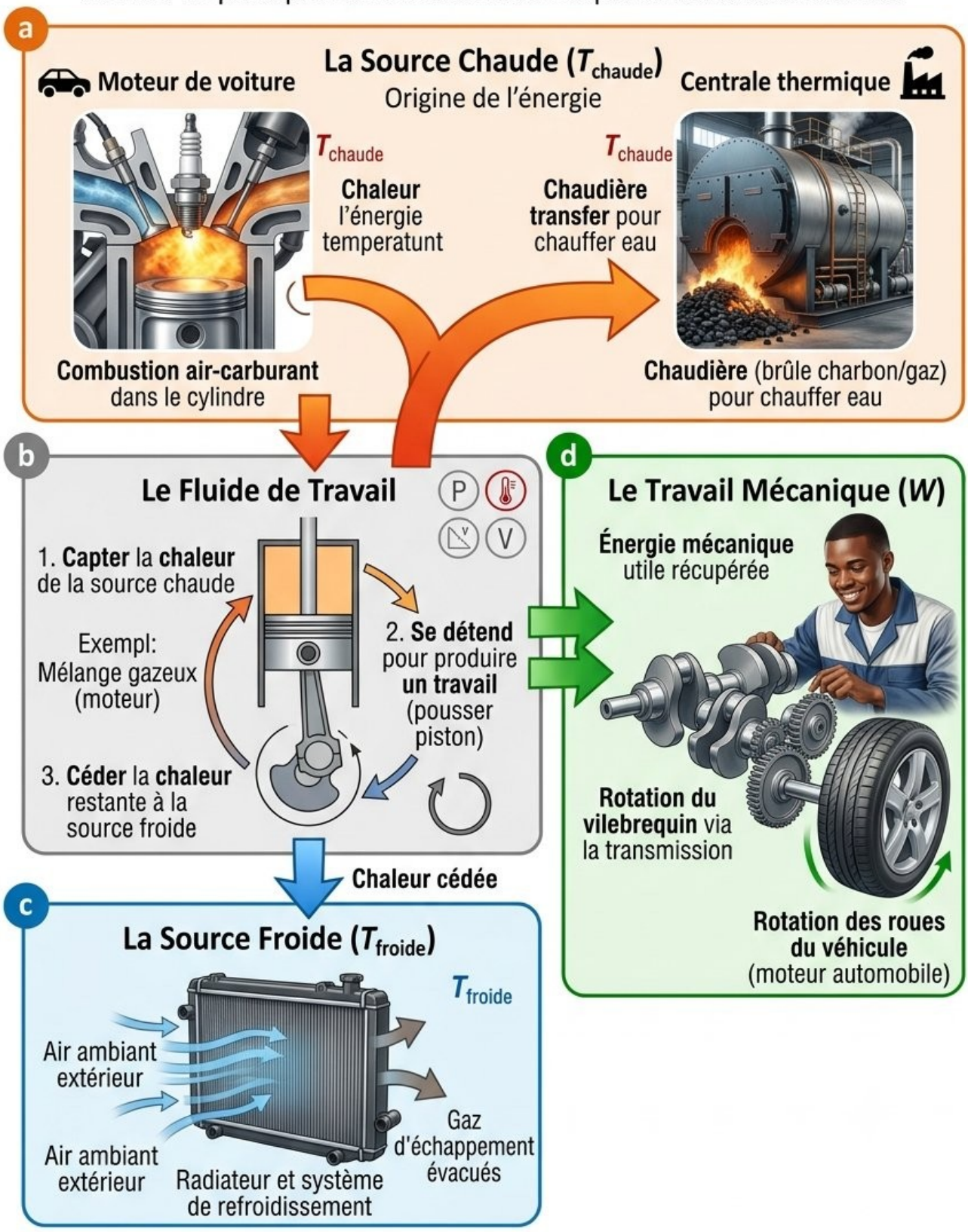


Figure 1 : Réf. IMG (5296-6558-3228)

Schéma de principe d'une machine thermique avec ses deux sources.

a. La Source Chaude (T_chaude)

Elle représente l'origine de l'énergie. Dans un moteur de voiture, c'est la combustion très rapide du mélange air-carburant dans le cylindre. Pour une centrale thermique, il s'agit de la chaudière qui brûle du charbon ou du gaz pour chauffer de l'eau.

b. Le Fluide de Travail

C'est l'agent qui subit le cycle de transformations (pression, température, volume). Il capte la chaleur de la source chaude, se détend pour produire un travail (pousser un piston), puis cède la chaleur restante à la source froide. Dans un moteur automobile, ce fluide est le mélange gazeux.

c. La Source Froide (T_froide)

Elle est essentielle pour que le cycle puisse se répéter. C'est l'environnement extérieur qui reçoit la chaleur évacuée. Pour une voiture, la source froide est l'air ambiant, aidé par le radiateur et le système de refroidissement. La chaleur sort aussi par les gaz d'échappement.

d. Le Travail Mécanique (W)

Ceci est le but de la machine. C'est l'énergie mécanique utile récupérée à la fin du cycle. Le travail se manifeste par la rotation du vilebrequin qui, via la transmission, fera tourner les roues du véhicule.

Scénarios et Exercices

Papa Mbuyi est un mécanicien respecté dans son atelier de la commune de la Kenya, à Lubumbashi. Un client arrive, paniqué. Le moteur de sa Toyota Corolla surchauffe constamment sur la route de Kipushi, malgré un radiateur neuf. Papa Mbuyi, sans même ouvrir le capot, pose une question : "As-tu vérifié le thermostat ?". Le thermostat, ou calorstat, est une vanne qui régule la circulation du liquide de refroidissement vers le radiateur (la source froide). S'il reste bloqué en position fermée, le liquide surchauffé du moteur n'atteint jamais la source froide pour être refroidi. Le moteur bout sur place. Ce n'est

pas toujours la faute de la source chaude (combustion) ou de la source froide (radiateur), mais parfois de l'agent qui les relie.

Exercice 1 : Le Groupe Électrogène de Tonton Kabasele

Énoncé : Face aux délestages fréquents à Mbandaka, dans la province de l'Équateur, Tonton Kabasele utilise un groupe électrogène à essence pour alimenter sa maison. Identifiez pour ce moteur : la source chaude, la source froide et le travail mécanique final.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la source chaude** La source chaude est la combustion du mélange air-essence à l'intérieur des cylindres du moteur. Cette réaction chimique libère une grande quantité de chaleur.
2. **Étape 2 : Identification de la source froide** La source froide est l'air ambiant. La chaleur non convertie en travail est évacuée de deux manières : par les gaz d'échappement très chauds et par les ailettes de refroidissement du moteur qui dissipent la chaleur dans l'air.
3. **Étape 3 : Identification du travail mécanique final** Le travail mécanique est la rotation du vilebrequin du moteur. Cet arbre en rotation entraîne directement un alternateur, qui transforme cette énergie mécanique en énergie électrique.

Exercice 2 : La Moto de Maman Angélique

Énoncé : Maman Angélique, commerçante à Goma, sait que sa moto consomme de l'essence pour avancer. En utilisant les notions de source chaude et de source froide, expliquez pourquoi toute la chaleur du carburant ne peut pas être transformée en mouvement pour faire tourner les roues.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Rappel du principe de fonctionnement** Une machine thermique fonctionne grâce à un flux de chaleur entre une source chaude et une source froide. Le moteur de la moto prend de la chaleur à la source chaude (combustion) pour produire un travail.
2. **Étape 2 : Le rôle indispensable de la source froide** Pour que le cycle thermodynamique du moteur puisse se répéter et fonctionner en continu, il doit obligatoirement rejeter une partie de la chaleur vers une source froide (l'atmosphère). Sans cette évacuation de chaleur, le

fluide de travail ne pourrait pas revenir à son état initial et le moteur cesserait de fonctionner.

3. **Étape 3 : Conclusion sur l'impossibilité d'un rendement de 100 %** Puisqu'une partie de l'énergie thermique doit impérativement être "perdue" vers la source froide, il est physiquement impossible de convertir 100 % de la chaleur du carburant en travail mécanique. C'est la raison pour laquelle un moteur chauffe et possède un pot d'échappement pour évacuer les gaz chauds.

1.2. Classification des Moteurs

a. Une distinction fondamentale

Pendant que les premières locomotives à vapeur, comme celles qui ont autrefois relié Matadi à Kinshasa, brûlaient leur charbon à l'extérieur des cylindres, une révolution se préparait. Cette technologie repose sur le principe de la combustion externe, où la chaleur est produite hors de la chambre de travail principale.

Cette révolution consistait à faire entrer le feu DANS la machine. Cette distinction fondamentale, combustion interne contre combustion externe, est la première clé pour classer tous les moteurs thermiques que nous connaissons. La quasi-totalité des moteurs automobiles modernes sont des moteurs à combustion interne.

A. Selon le lieu de la combustion

La première grande famille de moteurs se distingue par l'endroit où l'énergie thermique est libérée.

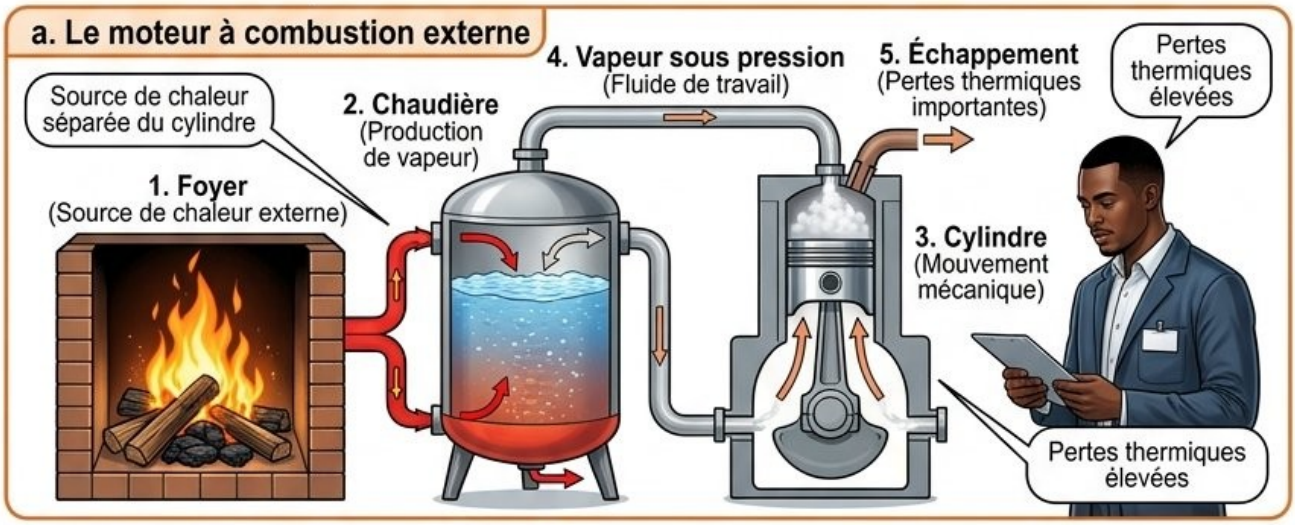
- **Les moteurs à combustion externe** : La combustion du carburant (charbon, gaz, bois) se produit dans une chambre de combustion extérieure au cylindre moteur. La chaleur produite transforme un fluide (souvent de l'eau en vapeur) qui va ensuite agir sur un piston ou une turbine. La machine à vapeur en est l'exemple historique parfait.
- **Les moteurs à combustion interne** : La combustion du mélange air-carburant se produit directement à l'intérieur du cylindre. L'augmentation brutale de pression et de température qui en résulte

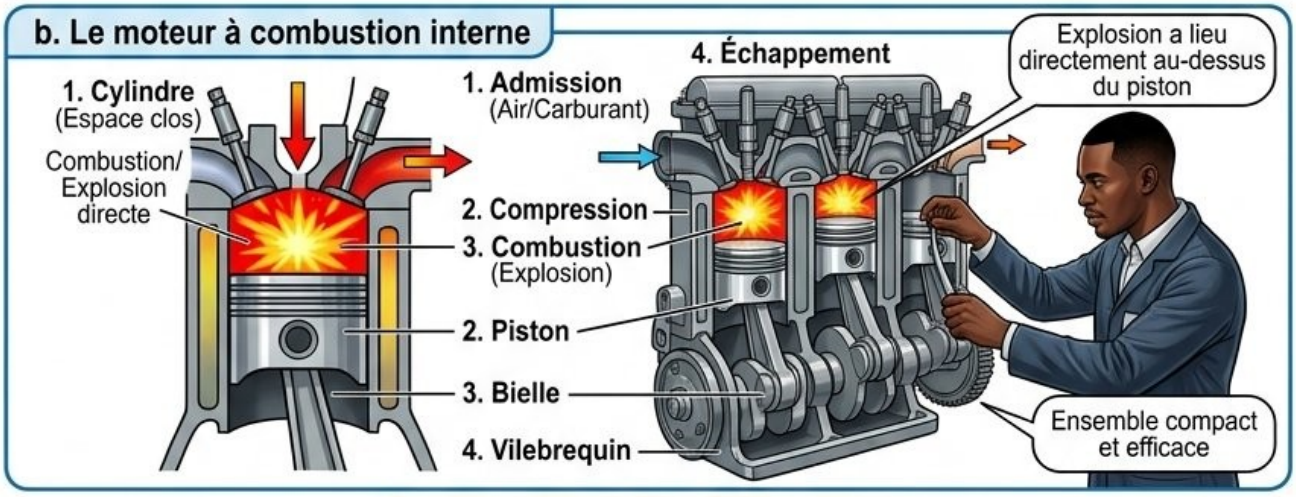
pousse directement le piston. C'est le principe de tous les moteurs essence et diesel.

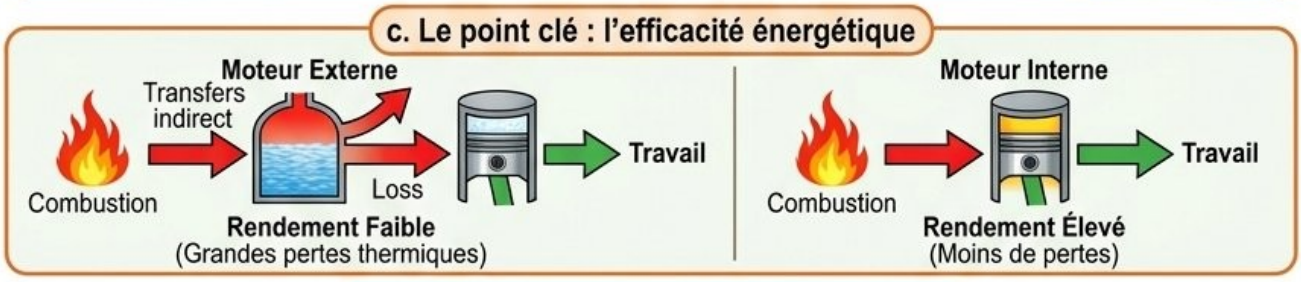
MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 2 : Réf. IMG (5451-5262-8393)

Schéma comparatif entre un moteur à combustion externe et interne







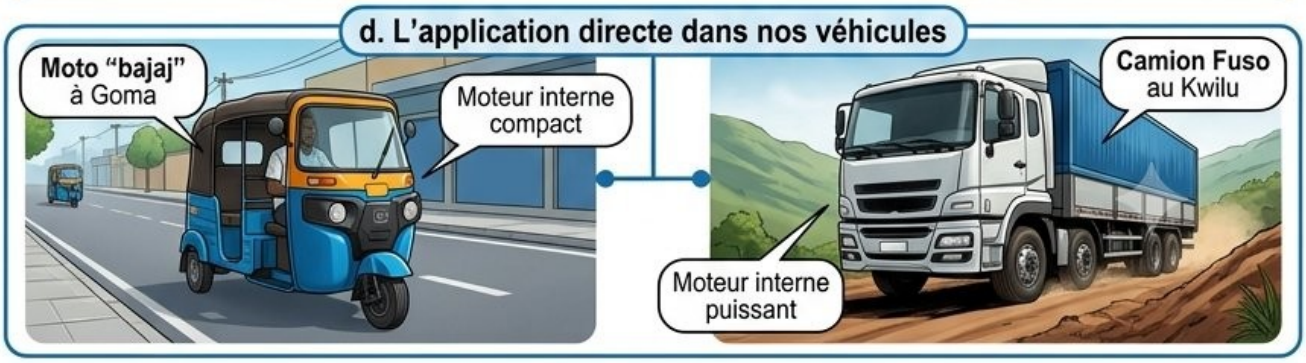


Figure 2 : Réf. IMG (5451-5262-8393)

Schéma comparatif entre un moteur à combustion externe et interne

a. Le moteur à combustion externe

L'illustration montre une source de chaleur (foyer) séparée du cylindre. La chaleur chauffe une chaudière contenant de l'eau. La vapeur sous pression est ensuite acheminée vers le cylindre pour pousser le piston. Ce système est volumineux et a un rendement plus faible à cause des pertes thermiques.

b. Le moteur à combustion interne

Ici, l'explosion a lieu directement au-dessus du piston, dans un espace clos : le cylindre. Le carburant est admis, mélangé à l'air, puis enflammé. La détente des gaz de combustion crée une force mécanique immédiate. L'ensemble est plus compact et efficace.

c. Le point clé : l'efficacité énergétique

Le transfert d'énergie est bien plus direct dans un moteur à combustion interne. Moins de chaleur est perdue entre le lieu de la combustion et le lieu de l'action mécanique. Cette architecture explique le succès massif de ces moteurs dans l'automobile et les transports légers.

d. L'application directe dans nos véhicules

De la petite moto "bajaj" qui circule à Goma jusqu'au gros camion Fuso qui monte les pentes du Kwilu, tous fonctionnent grâce à une combustion qui se passe à l'intérieur même de leurs cylindres.

B. Selon le mode d'allumage (Moteurs à Combustion Interne)

Pour les moteurs à combustion interne, une seconde classification essentielle dépend de la manière dont la combustion est initiée.

- **Moteur à Allumage Commandé (AC)** : Appelé aussi moteur à essence ou moteur Otto. Une étincelle électrique, produite par une bougie d'allumage, enflamme volontairement le mélange air-carburant préalablement comprimé dans le cylindre.

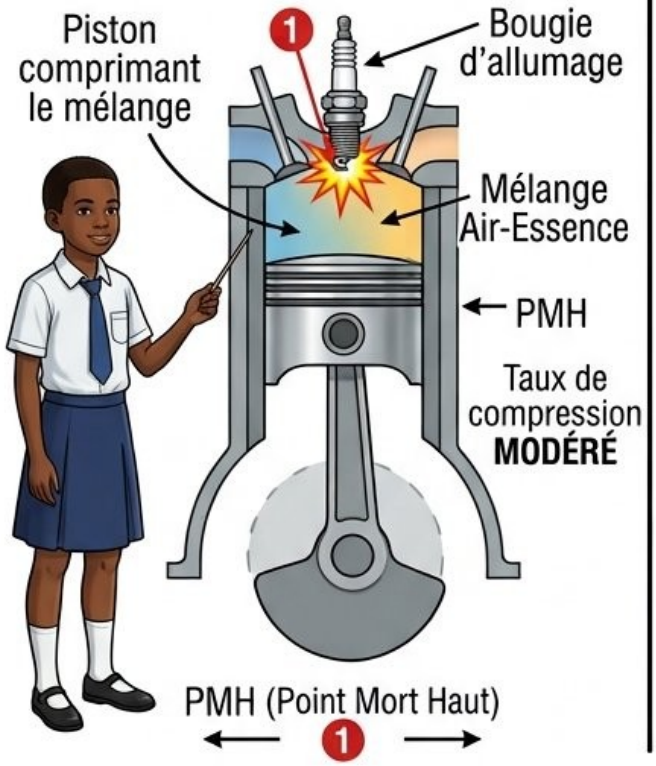
- **Moteur à Allumage par Compression (AC)** : Connu sous le nom de moteur Diesel. L'air seul est admis dans le cylindre et est comprimé très fortement. Cette forte compression élève la température de l'air au-delà du point d'auto-inflammation du gazole. Le carburant (gazole) est alors injecté et s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

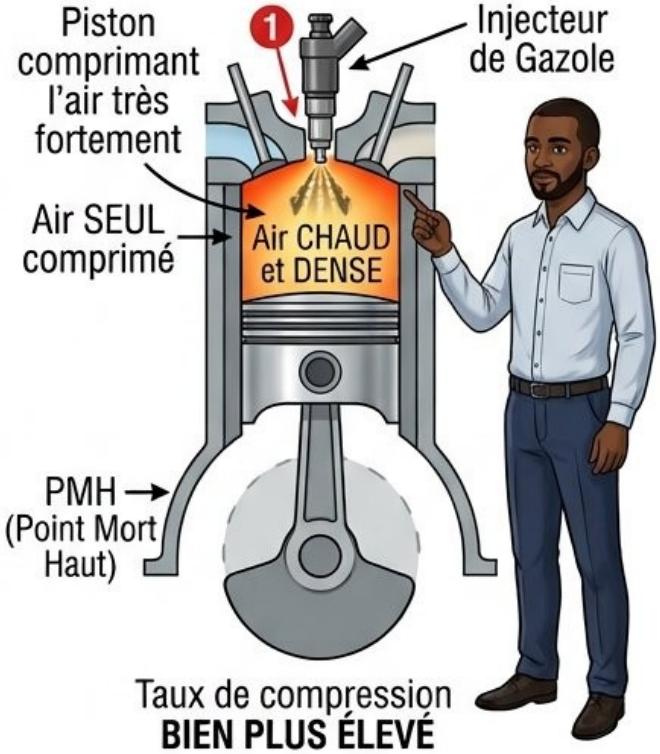
Figure 3 : Réf. IMG (2898-4401-7705)

Comparaison du principe d'allumage commandé et par compression

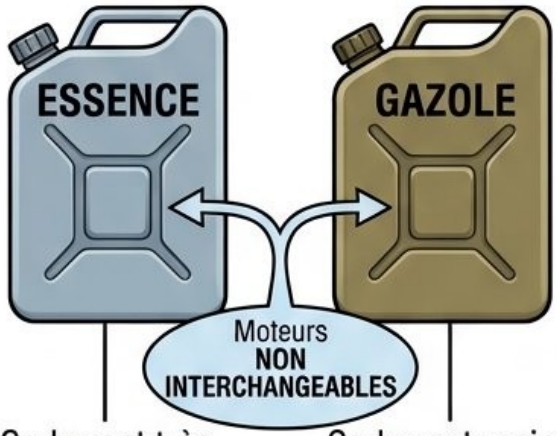
a. Le moteur à allumage commandé (essence)



b. Le moteur à allumage par compression (diesel)



c. La différence de carburant



Carburant très volatil, s'enflamme facilement avec une étincelle.

Carburant moins volatil, nécessite des conditions extrêmes de température et de pression pour s'enflammer.

d. Le rôle de la bougie

Bougie d'Allumage (Essence)



Organe **VITAL** (Essence)

CRÉE L'ÉTINCELLE

Injecteur de Gazole (Diesel)



TOTALE ABSENCE de Bougie (Diesel)

Dépend de l'**INJECTEUR** et **FORTE COMPRESSION**

Fonctionnement basé sur l'injection et la compression

Figure 3 : Réf. IMG (2898-4401-7705)

Comparaison du principe d'allumage commandé et par compression

a. Le moteur à allumage commandé (essence)

Le schéma représente un piston qui comprime un mélange air-essence. Au sommet, une bougie d'allumage génère une étincelle au moment précis où le piston atteint son point mort haut. Cette étincelle est l'unique déclencheur de la combustion. Le taux de compression est modéré.

b. Le moteur à allumage par compression (diesel)

L'image montre un piston qui comprime très fortement de l'air seul. Le taux de compression est bien plus élevé. Un injecteur pulvérise du gazole dans cet air chaud et dense. La combustion se déclenche d'elle-même, sans aucune bougie d'allumage.

c. La différence de carburant

L'essence est un carburant très volatil, qui s'enflamme facilement avec une étincelle. Le gazole, moins volatil, a besoin de conditions extrêmes de température et de pression pour s'enflammer. C'est la raison pour laquelle ces deux moteurs ne sont pas interchangeables.

d. Le rôle de la bougie

La bougie est un organe vital du moteur essence. Elle est totalement absente du moteur diesel, qui lui, dépend de son injecteur et de sa forte capacité de compression pour fonctionner.

C. Selon le mouvement des pièces mobiles

Enfin, les moteurs se classent par la cinématique de leur mécanisme principal.

- **Les moteurs alternatifs** : Un ou plusieurs pistons se déplacent en translation rectiligne alternative (va-et-vient) dans des cylindres. Un système bielle-manivelle transforme ce mouvement en rotation. C'est la configuration de l'immense majorité des moteurs automobiles.
- **Les moteurs rotatifs** : Le travail est produit par une ou plusieurs pièces maîtresses en rotation. Le moteur Wankel est le plus célèbre :