Code :
MS622708

MOTEURS THERMIQUES



3ème Année
Mécanique Automobile - Moteurs

Accroche

Principes, fonctionnement et maintenance des moteurs à combustion interne pour automobiles.

Domaine
Mécanique

Option
Mécanique Automobile



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Généraux du Cours 1

- 1. Finalités Pédagogiques 1
- 2. Compétences Terminales Visées 1

Approche Pédagogique et Méthodologique 2

- 1.1. De la Théorie à la Compétence Diagnostique 2
- 1.2. La Primauté du Raisonnement Hypothético-Déductif 2
- 1.3. L'Exercice comme Outil de Validation 2

Consignes de Sécurité et d'Hygiène 2

- 1.1. La Sécurité comme Compétence Transversale 2
- 1.2. Identification des Risques Spécifiques 3
- 1.3. Le Rôle de Modèle et de Garant de l'Enseignant 3

Bibliographie et Références Techniques 3

- 1. Finalité Pédagogique de la Sélection 3
- 2. Catégorisation des Sources 4
- 3. Utilisation en Contexte Didactique 4

PARTIE 1. ÉTUDE DES CARBURANTS ET SYSTÈMES DE CARBURATION **5**

Du pétrole brut au réservoir 5

Les qualités invisibles du carburant 5

Le chemin du carburant : carburateur ou injection ? 5

L'art du mélange : le rapport stœchiométrique 5

CHAPITRE 1. LES CARBURANTS ET LA COMBUSTION **6**

1.1. Distillation du pétrole et produits finis 6

- a. Le legs des dinosaures (ou presque) 6
- A. Le principe de la distillation fractionnée 6

FIGURE 1 : RÉF. IMG (6182-8778-6485) **8**

Schéma d'une tour de distillation fractionnée du pétrole brut 8

- B. Les coupes pétrolières et leurs usages 8

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

1.2. Indice d'octane et résistance à la détonation.....10
- a. Le carburant n'est pas qu'un simple liquide.....10
- A. Définition de l'indice d'octane (RON).....11
- B. Le cliquetis (ou détonation) et ses conséquences.....11

FIGURE 2 : RÉF. IMG (0475-3281-2774).....13

Comparaison visuelle entre une combustion normale et le phénomène de cliquetis.....13
- Anecdote du mécanicien de Matadi.....13

1.3. Chimie de la combustion et dosage stœchiométrique.....15
- a. L'équilibre fragile de l'énergie.....15
- A. L'équation de la combustion parfaite.....15

FIGURE 3 : RÉF. IMG (9861-6310-5733).....18

Schéma comparatif des mélanges air-carburant et leurs produits de combustion.....18
- B. Le rapport stœchiométrique et le facteur Lambda (λ).....18

1.4. Phénomènes d'allumage et propagation de flamme.....21
- a. L'étincelle et son voyage.....21
- A. L'allumage commandé et le front de flamme.....21
- B. L'auto-allumage (cliquetis) : l'ennemi du mécanicien.....22

CHAPITRE 2. PRINCIPES DE LA CARBURATION.....24

2.1. Rôle et fonctions du carburateur.....24
- a. Le dosage parfait.....24
- A. La triple mission du carburateur.....24
- B. L'effet Venturi : le cœur du système.....24

FIGURE 4 : RÉF. IMG (0419-1260-4178).....27

Schéma simplifié du principe de l'effet Venturi dans un carburateur.....27
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....27

2.2. Fonctionnement du carburateur élémentaire.....29
- a. L'étincelle du concept.....29
- A. Le principe de la dépression et l'effet Venturi.....29
- B. La régulation du mélange air-essence.....30

FIGURE 5 : RÉF. IMG (9729-4488-5819).....32

Influence du papillon des gaz sur le débit d'air et de carburant.....32

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. Anecdote : La panne de la Toyota Starlet à Mbandaka..... 32

2.3. Correction de richesse et automaticité..... 34

- a. L'illusion du mélange parfait..... 34
- A. La gestion du ralenti et de la faible charge..... 34

FIGURE 6 : RÉF. IMG (8968-7095-4253)..... 35

Schéma détaillé du circuit de ralenti d'un carburateur simple corps..... 35

- B. Les corrections dynamiques : accélération et pleine puissance..... 35

2.4. Circuits auxiliaires de ralenti et de progression..... 38

- a. La patience du moteur au repos..... 38
- A. Le circuit de ralenti : la survie à très bas régime..... 38
- B. Le circuit de progression : la transition sans à-coups..... 39

CHAPITRE 3. TECHNOLOGIE DES CARBURATEURS SPÉCIAUX..... 42

3.1. Dispositifs d'enrichissement (puissance, reprise et départ à froid)..... 42

- a. Le besoin ponctuel de richesse..... 42
- A. L'enrichissement de puissance..... 42

FIGURE 7 : RÉF. IMG (0723-9076-0871)..... 43

Schéma de principe d'un système d'enrichissement de puissance à dépression..... 43

- B. La pompe de reprise..... 43
- C. Le circuit de départ à froid (Starter)..... 44

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5167-8088-5967)..... 46

Fonctionnement de la pompe de reprise lors d'une accélération brusque..... 46

- Anecdote : Le matin glacial de Kisangani..... 46

3.2. Carburateurs double corps et à dépression constante..... 48

- a. Le besoin de performance..... 48
- A. Le carburateur double corps : Deux poumons pour un moteur..... 48
- B. Le carburateur à dépression constante (Type SU)..... 48

FIGURE 9 : RÉF. IMG (3284-7976-7852)..... 50

Schéma comparatif d'un carburateur double corps et d'un carburateur à dépress..... 50

- C. SCÉNARIOS ET EXERCICES..... 50

3.3. Maintenance et réglage de la carburation..... 52

- a. L'harmonie du mélange air-essence..... 52

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Symptômes d'un mauvais réglage....52
- B. Procédure de réglage de base....53

FIGURE 10 : RÉF. IMG (5684-9004-6103)....54

Vue éclatée d'un carburateur simple et ses vis de réglage....54

- C. Le nettoyage du carburateur....54

CHAPITRE 4. INTRODUCTION À L'INJECTION D'ESSENCE....57

4.1. Transition vers l'injection : limites de la carburation et systèmes méca....57

- a. Le paradoxe du carburateur....57
- A. Les limites fonctionnelles du carburateur....57

FIGURE 11 : RÉF. IMG (3691-5853-9723)....59

Schéma comparatif entre carburateur et injection mécanique K-Jetronic....59

- B. L'avènement de l'injection mécanique (K-Jetronic)....59

4.2. Architecture d'un système d'injection électronique (capteurs et actionne....61

- a. Le système nerveux de l'automobile moderne....61
- A. Les capteurs : Les cinq sens du moteur....62

FIGURE 12 : RÉF. IMG (0276-0575-8560)....63

Schéma du dialogue entre calculateur, capteurs et actionneurs du moteur....63

- B. Les actionneurs : Les muscles du système....63

4.3. Pilotage électronique de l'injection et cartographie moteur....66

- a. Le cerveau du moteur....66
- A. Le calculateur (ECU) : le chef d'orchestre....66

FIGURE 13 : RÉF. IMG (3151-8813-2870)....68

Schéma du calculateur (ECU) et de ses capteurs/actionneurs principaux....68

- B. La cartographie moteur : la partition du musicien....68

FIGURE 14 : RÉF. IMG (6209-4931-4250)....69

Représentation simplifiée d'une table de cartographie d'injection (map moteur)....69

- b. La panne invisible de Tonton Roger....69

PARTIE 2. LE MOTEUR 2 TEMPS ET LE CYCLE DIESEL....72

Une mécanique nerveuse et simplifiée....72

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Le ballet des deux mouvements....72
L'allumage par la force de la compression....72
Le règne du couple et de l'endurance....72

CHAPITRE 5. LE MOTEUR 2 TEMPS À ESSENCE....73

5.1. Cycle théorique, architecture et lumières....73
- a. Une mécanique de la simplicité....73
- A. Le cycle théorique en deux mouvements....73
- B. Architecture spécifique : le rôle des lumières....74
- C. Une lubrification particulière : le graissage par mélange....74

5.2. Diagramme de distribution et balayage des gaz....76
- a. La synchronisation du souffle moteur....76
- A. Le Diagramme de Distribution : La partition du cycle....77

FIGURE 15 : RÉF. IMG (0028-2961-5147)....79

Diagramme de distribution circulaire d'un moteur deux temps à essence....79
- B. Le Balayage : Nettoyer la chambre de combustion....79

5.3. Spécificités du 2 temps : graissage et échappement à résonance....82
- a. La science cachée du bruit et de l'huile....82
- A. Le graissage par mélange : une nécessité structurelle....82
- B. Le pot de détente : un turbo acoustique....82

FIGURE 16 : RÉF. IMG (9285-0528-6028)....85

Schéma de fonctionnement d'un pot d'échappement à résonance pour moteur 2 temps....85
- b. Scénarios et exercices....85

CHAPITRE 6. ANALYSE THERMODYNAMIQUE DU MOTEUR DIESEL....88

6.1. Cycles Diesel théorique et réel (cycle mixte Sabathe)....88
- a. Le paradoxe du moteur "lent"....88
- A. Le Cycle Diesel Théorique (à pression constante)....88

FIGURE 17 : RÉF. IMG (7722-1776-5110)....90

Diagramme Pression-Volume (P-V) du cycle Diesel théorique....90
- B. Le Cycle Mixte de Sabathe : Un Modèle Plus Réaliste....90

FIGURE 18 : RÉF. IMG (5397-0132-1113)....93

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Diagramme Pression-Volume (P-V) du cycle mixte de Sabathe....93
- Anecdote : Le Fuso de la route de Boma....93

6.2. Comparaison des rendements et spécificités : Diesel vs Essence....95
- a. Un choix dicté par la physique....95
- A. Le rendement thermique, l'avantage du Diesel....96

FIGURE 19 : RÉF. IMG (4915-8061-2689)....98

Diagrammes Pression-Volume (P-V) des cycles Otto et Diesel comparés....98
- B. Spécificités de fonctionnement et applications....98

FIGURE 20 : RÉF. IMG (8006-7805-9360)....99

Architecture et application typique des moteurs essence et diesel....99
- Scénarios et Exercices....100

6.3. Rôle du taux de compression dans l'auto-inflammation....102
- a. La chaleur née de la pression....102
- A. Définition et mesure du taux de compression....102
- B. Lien direct entre compression, température et auto-inflammation....102

CHAPITRE 7. LA COMBUSTION DANS LES MOTEURS DIESEL....105

7.1. Les phases de la combustion et le délai d'allumage....105
- a. L'allumage n'est jamais instantané....105
- A. Le délai d'inflammation : une attente chimique....105

FIGURE 21 : RÉF. IMG (2891-1131-9113)....107

Diagramme pression-angle vilebrequin montrant les phases de combustion diesel....107
- B. Les trois phases actives de la combustion....107

FIGURE 22 : RÉF. IMG (5976-8773-7043)....110

Visualisation de l'atomisation et de la vaporisation du gazole injecté....110
- b. Anecdote : Le vieux camion Fuso de Papa Kanku....110

7.2. Facteurs influençant le délai d'allumage et le claquement....112
- a. Le bruit caractéristique du Diesel....112
- A. La qualité du carburant : L'indice de cétane....112
- B. Les conditions dans le cylindre....112

FIGURE 23 : RÉF. IMG (7036-5033-9888)....114

Les quatre phases de la combustion diesel et le délai d'inflammation....114
- C. Les paramètres de fonctionnement du moteur....114

7.3. Technologies de chambre de combustion : injection indirecte et directe....116
- a. L'étincelle et le brouillard....116
- A. L'Injection Indirecte (IDI) : la méthode douce....117

FIGURE 24 : RÉF. IMG (0244-2420-8219)....119

Schéma d'un moteur Diesel à injection indirecte avec préchambre....119
- B. L'Injection Directe (DI) : la voie de la performance....119

CHAPITRE 8. SURALIMENTATION DES MOTEURS THERMIQUES....123

8.1. Principe et objectifs de la suralimentation....123
- a. Le souffle du moteur....123
- A. Principe de fonctionnement....123
- B. Objectifs de la suralimentation....124
- C. Scénarios et Exercices....125

8.2. Le turbocompresseur : fonctionnement et composants....126
- a. L'illusion de la puissance "gratuite"....126
- A. Principe de fonctionnement du cycle turbo....127
- B. Composants principaux et leur rôle....127

FIGURE 25 : RÉF. IMG (2963-0268-6096)....128

Schéma éclaté d'un turbocompresseur et de ses composants principaux....128
- Bloc A - Anecdote du mécanicien....128

8.3. Gestion de la pression : soupape de décharge (Wastegate) et refroidisseu....130
- a. Le paradoxe du turbocompresseur....130
- A. La Soupape de Décharge (Wastegate) : Le Gardien de la Pression....130
- B. Le Refroidisseur d'Air (Intercooler) : Le Secret de la Densité....130

FIGURE 26 : RÉF. IMG (5167-6661-3149)....133

Schéma du circuit de suralimentation avec wastegate et intercooler....133
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....133

PARTIE 3. SYSTÈMES D'INJECTION DIESEL ET MAINTENANCE....136

Le principe de l'auto-inflammation....136

La haute pression : clé de la performance....136

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Des pompes mécaniques au Common Rail....136

Maintenance : une tolérance zéro pour l'impureté....136

CHAPITRE 9. LE CIRCUIT D'ALIMENTATION BASSE PRESSION....137

9.1. Du réservoir à la pompe : stockage, pré-filtration et transfert....137

- a. Un long voyage pour le carburant....137
- A. Le Stockage : Le Réservoir....137

FIGURE 27 : RÉF. IMG (7233-2035-4127)....139

Schéma de principe d'un réservoir de carburant diesel et ses composants....139

- B. La Pré-filtration et le Transfert....139

FIGURE 28 : RÉF. IMG (9670-5844-7581)....141

Vue en coupe d'un ensemble pré-filtre et décanteur d'eau....141

- Anecdote pour la route....141
- Scénarios et Exercices....142

9.2. Filtration principale du gazole et séparation de l'eau....143

- a. L'importance vitale de la pureté....143
- A. Rôle et structure du filtre principal....143
- B. Le principe de la décantation et la séparation de l'eau....144

9.3. Procédures de purge du circuit d'alimentation....146

- a. Le paradoxe de l'air dans le carburant....146
- A. Origines de la présence d'air et symptômes....146

FIGURE 29 : RÉF. IMG (2299-9869-8242)....148

Schéma de la pompe d'amorçage manuelle et de la vis de purge....148

- B. Les deux méthodes de purge principales....148

FIGURE 30 : RÉF. IMG (2813-8504-5410)....151

Circuit d'alimentation basse pression sur un moteur Common Rail moderne....151

- Scénarios et Exercices....151
- Une leçon de sagesse sur la route de Kananga....151

CHAPITRE 10. LA POMPE D'INJECTION EN LIGNE....154

10.1. Architecture et principe de pompage par piston plongeur....154

- a. L'horlogerie du diesel....154

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Anatomie d'un colosse de précision....154

FIGURE 31 : RÉF. IMG (6273-7308-7785)....156

Coupe schématique d'un élément de pompage à piston plongeur....156

- B. Le ballet du piston plongeur en quatre temps....156
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....157

10.2. Dosage du débit par crémaillère et hélice de commande....159

- a. La précision du colibri....159
- A. Le principe de la double commande....159
- B. L'hélice de commande : le cœur du dosage....160

FIGURE 32 : RÉF. IMG (7998-9160-2790)....162

Mécanisme de dosage par piston à hélice et crémaillère....162

- C. La crémaillère : la commande générale....162

10.3. Systèmes de régulation automatique du régime et de l'avance....164

- a. L'instinct du moteur....164
- A. La Régulation de Régime : Le Gouverneur Mécanique....165

FIGURE 33 : RÉF. IMG (9629-8340-6710)....167

Schéma de principe d'un régulateur centrifuge et de ses masselottes....167

- B. La Correction d'Avance à l'Injection....167

CHAPITRE 11. LA POMPE D'INJECTION ROTATIVE (TYPE VE)....170

11.1. Principe de la distribution rotative à piston unique....170

- a. L'ingéniosité au service de la simplicité....170
- A. Le double mouvement du piston distributeur....170
- B. Les trois phases du cycle d'injection....170

FIGURE 34 : RÉF. IMG (2243-5932-4147)....173

Schéma interne de la pompe d'injection rotative de type VE....173

- Anecdote du garage de Matadi....173

11.2. Pompe de transfert et régulation de la pression interne....175

- a. Du moulin à eau à la pompe à palettes....175
- A. La pompe de transfert à palettes : le cœur basse pression....175
- B. La soupape de régulation : le gardien de la pression....176

FIGURE 35 : RÉF. IMG (9479-9288-8376)....178

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Schéma de la soupape de régulation de pression interne (type VE)....178
- Anecdote du garage "Salongo" à Kisangani....178

11.3. Systèmes de commande de départ à froid et d'arrêt (ELAB)....180
- a. De la friction du bois au "clic" de l'électrovanne....180
- A. Le Dispositif de Suralimentation de Démarrage à Froid (KSB)....180

FIGURE 36 : RÉF. IMG (3980-5624-2473)....183

Schéma du dispositif KSB et de l'électrovanne de stop (ELAB)....183
- B. L'Électrovanne d'Arrêt (ELAB)....183

11.4. Calage statique et dynamique de la pompe rotative....185
- a. Le tempo du moteur....185
- A. Le Calage Statique : La Fondation Mécanique....185

FIGURE 37 : RÉF. IMG (3394-6834-3585)....188

Repères de calage statique sur une pompe d'injection rotative VE....188
- B. Le Calage Dynamique : L'Ajustement en Conditions Réelles....188

CHAPITRE 12. LES INJECTEURS ET LE DIAGNOSTIC DIESEL....192

12.1. Technologie des porte-injecteurs et des buses (à téton, à trous)....192
- a. L'art de la pulvérisation....192
- A. Le Porte-Injecteur : Gardien de la Pression....192
- B. Les Buses : La Signature de la Combustion....193

FIGURE 38 : RÉF. IMG (4755-5550-6080)....196

Comparaison visuelle entre la buse à téton et la buse à trous....196
- L'anecdote du garage de Lemba....196

12.2. Contrôle et tarage des injecteurs au banc....198
- a. Le murmure du moteur et la pression juste....198
- A. Principes du contrôle sur banc (pompe à tarer)....198

FIGURE 39 : RÉF. IMG (2743-9345-8249)....201

Banc de tarage manuel pour injecteurs diesel et ses composants principaux....201
- B. Les quatre tests fondamentaux de l'injecteur....201

FIGURE 40 : RÉF. IMG (8840-1501-3509)....204

Visualisation des jets d'injecteur : correct vs défectueux....204

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- L'oreille absolue du mécanicien de Lubumbashi.....204

12.3. Le circuit de préchauffage : bougies et boîtier de commande.....206

- a. Le défi du démarrage à froid pour un moteur diesel.....206
- A. Rôle et principe du préchauffage.....206
- B. La bougie de préchauffage : le crayon chauffant.....207

FIGURE 41 : RÉF. IMG (4781-3452-8749).....208

Structure interne et fonctionnement d'une bougie de préchauffage diesel.....208

- C. Le boîtier de commande : le cerveau du système.....208

FIGURE 42 : RÉF. IMG (2463-3702-0598).....211

Schéma simplifié du circuit de préchauffage et ses composants clés.....211

- Scénarios et Exercices.....211
- Une panne prévisible à Matadi.....211

12.4. Diagnostic des dysfonctionnements par l'analyse des fumées.....213

- a. L'œil du mécanicien, premier outil de diagnostic.....213
- A. La fumée blanche : le symptôme de l'eau ou du gazole imbrûlé.....213
- B. La fumée bleue : le signe d'une consommation d'huile.....214

FIGURE 43 : RÉF. IMG (1480-3444-7451).....216

Tableau comparatif des couleurs de fumée et leurs causes possibles.....216

- C. La fumée noire : l'indicateur d'une combustion incomplète.....216
- Scénarios et Exercices.....217

ANNEXES.....219

Tableau des Caractéristiques des Carburants.....219

- A. Indice d'Octane (IO).....219
- B. Indice de Cétane (IC).....220
- C. Pouvoir Calorifique.....220
- D. Masse Volumique et Densité.....221
- E. Volatilité (Courbe de Distillation).....221
- F. Rapport Stœchiométrique Air/Carburant.....221

Fiches de Réglage Carburateur et Pompe.....222

- A. Carburateur : Principes et Points de Contrôle.....222
- B. Procédure de Réglage Statique et Dynamique.....223
- C. Pompe à Essence Mécanique : Diagnostic et Contrôle.....224

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- D. Pompe à Essence Électrique : Spécificités de Contrôle.....225

Guide de Diagnostic des Fumées Diesel.....226

- A. Analyse de la Fumée Noire (Particules de Carbone).....226
- B. Analyse de la Fumée Bleue (Huile Moteur).....227
- C. Analyse de la Fumée Blanche et Grise (Vapeur ou Gazole non brûlé).....227

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Généraux du Cours

1. Finalités Pédagogiques

1.1. Maîtrise Analytique

L'enseignement poursuit une maîtrise conceptuelle des principes thermodynamiques et mécaniques régissant les moteurs à combustion interne. Cette approche développe chez l'apprenant une capacité de raisonnement hypothético-déductif face à une problématique moteur. La connaissance devient alors un outil d'analyse, et non une simple accumulation de données techniques.

1.2. Autonomie Diagnostique

Corollairement, le parcours pédagogique conduit l'apprenant vers une autonomie diagnostique rigoureuse. Le technicien diplômé doit pouvoir identifier une panne, en isoler les causes profondes et proposer une procédure de réparation validée. Cette compétence est un critère central de l'évaluation pratique du technicien automobile.

2. Compétences Terminales Visées

2.1. Modélisation des Systèmes

L'apprenant acquiert la capacité de modéliser le moteur comme un système énergétique complexe et intégré. Il identifie les interactions fonctionnelles entre les sous-systèmes : admission, combustion, suralimentation, refroidissement et lubrification. Cette vision systémique est fondamentale pour l'analyse des performances et des dysfonctionnements globaux.

2.2. Validation Expérimentale

Finalement, la formation assure la jonction entre le calcul théorique et la mesure expérimentale. L'élève apprend à utiliser l'instrumentation de l'atelier (banc de puissance, analyseur de gaz, compressiomètre) pour quantifier un rendement, valider une hypothèse de panne ou certifier une réparation. La démarche scientifique est ainsi appliquée au contexte de la mécanique automobile.

Approche Pédagogique et Méthodologique

1.1. De la Théorie à la Compétence Diagnostique

La finalité de cet ouvrage est la construction d'une compétence analytique. Chaque chapitre suit une progression didactique rigoureuse, partant du principe physique fondamental pour atteindre sa manifestation technique. L'objectif est de former un technicien capable de relier une cause (un phénomène thermodynamique, chimique ou cinématique) à son effet (une performance, une usure, une panne). Cette liaison logique est le fondement de toute intervention experte.

1.2. La Primauté du Raisonnement Hypothético-Déductif

Le raisonnement hypothético-déductif est privilégié sur la mémorisation symptomatique. L'élève apprend à poser des hypothèses face à un dysfonctionnement, à identifier les paramètres à vérifier et à valider ou invalider sa piste initiale. Cette démarche intellectuelle constitue le socle de l'expertise en maintenance et en réparation automobile, transformant l'apprenant d'exécutant à véritable analyste des systèmes motorisés.

1.3. L'Exercice comme Outil de Validation

Finalement, la section des exercices et scénarios a une fonction de validation des acquis. Chaque problème est conçu pour confronter l'élève à une situation plausible, exigeant l'application intégrée des connaissances théoriques et des procédures pratiques. La résolution guidée décompose la méthode de diagnostic en étapes logiques et reproductibles, assurant ainsi la transférabilité des compétences en milieu professionnel.

Consignes de Sécurité et d'Hygiène

1.1. La Sécurité comme Compétence Transversale

La maîtrise des moteurs thermiques inclut intrinsèquement l'acquisition de réflexes de sécurité. Ces consignes ne constituent pas un simple règlement intérieur. Elles forment une compétence professionnelle fondamentale, indissociable du diagnostic et de la réparation. L'objectif pédagogique est de former des techniciens responsables, capables d'évaluer les risques et d'opérer dans un environnement sécurisé. Cette culture de la prudence prévient les accidents et valorise le savoir-faire de l'apprenant, le préparant aux exigences du monde professionnel.

1.2. Identification des Risques Spécifiques

L'environnement de l'atelier de mécanique automobile présente des dangers multifactoriels. La classification de ces risques permet une meilleure prévention.

- **Risques mécaniques :** écrasement sous un véhicule, cisaillement par des pièces en mouvement (courroies), projection de pièces lors des démontages.
- **Risques thermiques :** brûlures par contact avec les collecteurs d'échappement, le radiateur ou les fluides chauds (huile, liquide de refroidissement).
- **Risques chimiques :** inhalation des gaz d'échappement (CO, NOx), contact cutané avec les huiles moteur usagées, les solvants de nettoyage et les carburants.
- **Risques électriques :** électrisation lors d'interventions sur le circuit d'allumage ou les systèmes hybrides.

1.3. Le Rôle de Modèle et de Garant de l'Enseignant

L'enseignant incarne la culture de la sécurité. Son exemplarité dans le port systématique des Équipements de Protection Individuelle (EPI) est non négociable. Il lui incombe d'intégrer le rappel des consignes avant chaque séance pratique et de sanctionner tout manquement avec une rigueur constante et pédagogique. La sécurité est une discipline enseignée par la démonstration, la répétition et l'exigence. L'enseignant est le premier garant de l'intégrité physique de ses élèves.

Bibliographie et Références Techniques

1. Finalité Pédagogique de la Sélection

La sélection des ouvrages et documents techniques répond à un double impératif. Le premier est la consolidation des savoirs fondamentaux conformes au programme national de l'EPST. Le second vise à offrir des pistes d'approfondissement pour les sujets de haute technicité, notamment en matière de diagnostic électronique et de normes antipollution récentes. La bibliographie structure ainsi un socle validé et une ouverture vers l'évolution technologique du secteur automobile.

2. Catégorisation des Sources

Les références sont organisées en trois catégories distinctes pour une meilleure exploitation. Les manuels fondamentaux posent les bases théoriques de la thermodynamique et de la mécanique des fluides appliquées aux moteurs. Les revues techniques automobiles (RTA) et les documentations constructeurs fournissent des données pratiques, schémas et procédures de réparation spécifiques. Enfin, les publications normatives (ISO, DIN) éclairent sur les standards de métrologie et les protocoles d'essais en vigueur dans l'industrie.

3. Utilisation en Contexte Didactique

Chaque référence peut servir de support à la préparation des leçons ou à la conception de travaux pratiques complexes. L'enseignant est encouragé à extraire des études de cas issues des revues techniques pour illustrer des pannes réelles, de Matadi à Kisangani. Ces documents sont également une ressource précieuse pour l'élaboration de questions d'examen alignées sur les compétences attendues au Test National de Sélection et d'Orientation Scolaire et Professionnelle (TENASOSP).

Partie 1. Étude des Carburants et Systèmes de Carburation

Du pétrole brut au réservoir

Un moteur thermique sans carburant reste une simple sculpture de métal. Son énergie provient d'un liquide complexe, issu du raffinage du pétrole brut. Ce liquide, essence ou gazole, doit posséder des qualités précises pour libérer sa puissance lors de la combustion. La qualité du carburant disponible à la pompe, de Matadi à Kisangani, conditionne directement la santé et la performance du moteur de tout véhicule.

Les qualités invisibles du carburant

Derrière la simple odeur de l'essence se cache une science rigoureuse. Des propriétés comme l'indice d'octane (pour l'essence) et l'indice de cétane (pour le gazole) sont fondamentales. Un indice d'octane trop faible provoque le cliquetis, une détonation anormale qui endommage pistons et cylindres. Un bon mécanicien, du Kwilu au Kasaï, reconnaît ce bruit et en comprend la cause chimique.

Le chemin du carburant : carburateur ou injection ?

Transporter le carburant du réservoir aux cylindres est un défi mécanique précis. Deux technologies principales assurent cette mission. Le carburateur, système historique et robuste souvent présent sur les anciennes voitures et les motos de Mbandaka, mélange l'air et l'essence par dépression. L'injection, plus moderne, pulvérise le carburant grâce à des injecteurs pilotés électroniquement pour une précision absolue.

L'art du mélange : le rapport stœchiométrique

La combustion parfaite n'est pas un hasard. Elle dépend d'un dosage ultra-précis entre la masse d'air admise et la masse de carburant injectée. Ce rapport idéal, appelé rapport stœchiométrique, est d'environ 14,7 parts d'air pour 1 part d'essence ($14,7/1$). Atteindre cet équilibre est l'objectif suprême de tout système de carburation pour obtenir un rendement maximal et limiter la pollution.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Chapitre 1. Les Carburants et la Combustion

1.1. Distillation du pétrole et produits finis

a. Le legs des dinosaures (ou presque)

Pendant des millions d'années, la matière organique marine, comme le plancton et les algues, s'est accumulée au fond des océans. La pression colossale des sédiments et la chaleur interne de la Terre ont cuit lentement cette boue organique, à l'abri de l'oxygène. Ce processus a créé une roche liquide noire et visqueuse : le pétrole brut.

Ce concentré d'énergie fossile est la source de la quasi-totalité des carburants pour moteurs thermiques. Un moteur de fuso à Mbuji-Mayi ou un groupe électrogène à Bandundu fonctionne grâce à cet héritage géologique. Son raffinage est donc une étape industrielle capitale pour obtenir des produits utilisables.

A. Le principe de la distillation fractionnée

Chauffer le pétrole brut est la clé de sa séparation. Le pétrole brut est un mélange complexe de milliers d'hydrocarbures, chacun ayant une température d'ébullition différente. La distillation fractionnée exploite cette propriété. Le brut est chauffé à haute température (environ 400°C) dans un four puis injecté à la base d'une haute tour métallique appelée colonne de fractionnement.

À l'intérieur, les vapeurs montent et se refroidissent progressivement. Les composés les plus lourds, avec des points d'ébullition élevés, se condensent rapidement sur des plateaux situés en bas de la tour. Les composés plus légers, plus volatils, continuent leur ascension et se condensent sur des plateaux plus élevés, où la température est plus basse. Chaque plateau récupère ainsi une "coupe" pétrolière spécifique.

Figure 1 : Réf. IMG (6182-8778-6485)

Schéma d'une tour de distillation fractionnée du pétrole brut

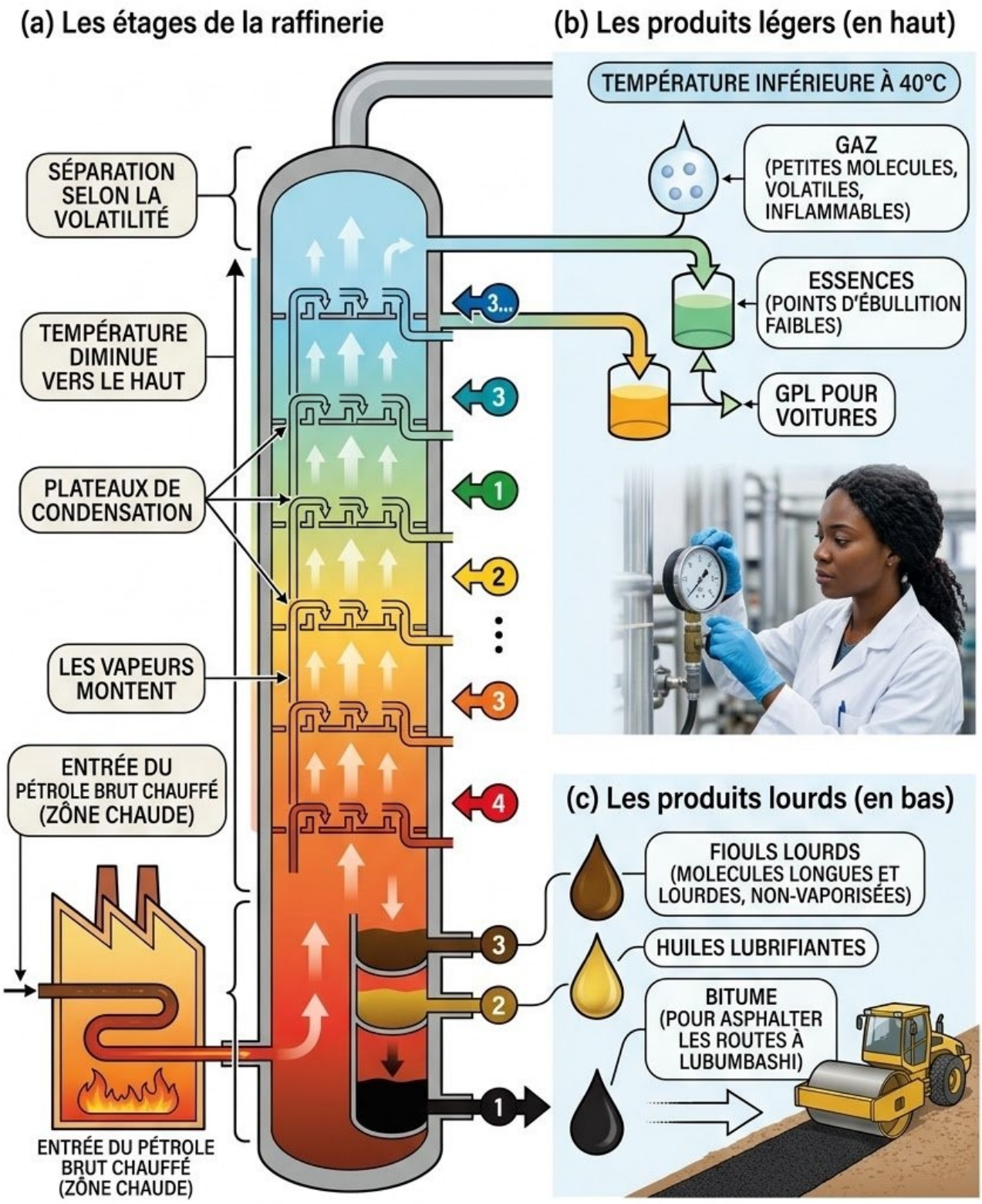


Figure 1 : Réf. IMG (6182-8778-6485)

Schéma d'une tour de distillation fractionnée du pétrole brut

a. Les étages de la raffinerie

Cette illustration montre une colonne de distillation. Le pétrole brut chauffé entre par le bas (zone la plus chaude). Les vapeurs montent. La tour est divisée en plusieurs étages équipés de plateaux de condensation. La température diminue du bas vers le haut, permettant de séparer les différents produits selon leur volatilité. Les produits les plus légers sont collectés tout en haut.

b. Les produits légers (en haut)

Au sommet de la tour, où la température est la plus basse (inférieure à 40°C), les gaz et les essences se condensent. Ce sont les hydrocarbures avec les plus petites molécules et les points d'ébullition les plus faibles. Ils sont très volatils et inflammables. C'est ici qu'on récupère le GPL et l'essence pour nos voitures.

c. Les produits lourds (en bas)

À la base de la tour, les composés aux molécules les plus longues et lourdes ne se vaporisent que partiellement ou pas du tout. Ils restent sous forme liquide ou pâteuse. Ce sont les fiouls lourds pour les navires, les huiles lubrifiantes et les résidus comme le bitume, utilisé pour asphalter les routes à Lubumbashi.

B. Les coupes pétrolières et leurs usages

La distillation sépare le pétrole en plusieurs fractions principales, appelées coupes pétrolières. Chacune a un usage bien défini.

- **Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) :** Obtenus au sommet de la tour (< 40°C). Utilisés comme combustible domestique (gazinière) ou carburant (GPLc).
- **Essence (Naphta) :** Obtenue entre 40°C et 180°C. C'est le carburant principal des moteurs à allumage commandé (moteurs essence).

- **Kérosène :** Obtenu entre 180°C et 250°C. Carburant des avions à réaction et aussi utilisé pour les lampes-tempête dans les villages du Kwilu.
- **Gazole (Diesel) :** Obtenu entre 250°C et 350°C. Carburant des moteurs à auto-allumage (moteurs diesel) qui équipent camions, bus et générateurs.
- **Fiouls lourds :** Obtenus au-dessus de 350°C. Utilisés par les chaudières industrielles et les moteurs de grands navires.
- **Résidus :** Ce qui reste au fond de la tour. Ils donnent les bitumes pour les routes et les paraffines pour les bougies.

b. La mésaventure de Papa Mbayo à Mbandaka

Papa Mbayo, un vieux routier respecté de la province de l'Équateur, se plaignait sans cesse des pannes de son camion Mercedes. Son moteur toussait, fumait noir et manquait de puissance, surtout sur la piste menant à Bikoro. Après avoir changé filtres et injecteurs plusieurs fois, un jeune mécanicien de passage lui a posé une question simple : "Papa, ton carburant, tu le prends où ?". Mbayo achetait son gazole à bas prix auprès de vendeurs informels. Le mécanicien lui a expliqué que ce gazole était sûrement un fond de cuve, plein d'eau et d'impuretés. Ces résidus lourds, qui devraient rester au bas de la colonne de distillation, n'ont rien à faire dans un moteur moderne. Depuis qu'il s'approvisionne dans une station-service certifiée, le moteur de Papa Mbayo ronronne comme au premier jour.

Exercice 1 : Le kérosène du vol Bunia-Goma

Énoncé : Fiston, mécanicien à l'aéroport de Bunia, prépare un avion pour un vol vers Goma. Un stagiaire lui demande pourquoi l'avion ne peut pas simplement utiliser du gazole, qui est moins cher. En vous basant sur le principe de la distillation, expliquez à ce stagiaire pourquoi le kérosène est indispensable.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Position dans la tour de distillation** Le kérosène est une coupe pétrolière plus légère que le gazole. Il est collecté à une température plus basse et à un étage supérieur dans la colonne de fractionnement. Cela signifie qu'il est composé de molécules plus petites.

2. **Étape 2 : Implications sur les propriétés physiques** Cette différence de composition donne au kérosène des propriétés cruciales pour l'aviation. Il a un point de congélation très bas (environ -47°C), ce qui l'empêche de geler en haute altitude où la température est glaciale. Le gazole, plus lourd, gèlerait et boucherait les circuits. De plus, la combustion du kérosène est plus "propre" et adaptée aux turbines d'un réacteur.

Exercice 2 : Le stock du dépôt de Muanda

Énoncé : Un superviseur au terminal pétrolier de Muanda, dans le Kongo Central, découvre trois cuves dont les étiquettes ont été effacées par l'air marin. Il sait qu'elles contiennent de l'essence, du gazole et du bitume. Sans équipement de laboratoire, comment peut-il les identifier par simple observation physique ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification par la volatilité et l'odeur** L'essence est la coupe la plus légère des trois. Elle est très volatile et dégage une odeur forte et caractéristique, facilement reconnaissable. En ouvrant prudemment la première cuve et en sentant l'air au-dessus (sans inhaler directement), il identifiera l'essence.
2. **Étape 2 : Identification par la viscosité et la couleur** Il reste le gazole et le bitume. Le gazole est un liquide huileux, plus visqueux que l'essence, avec une couleur typiquement jaunâtre ou verdâtre. Le bitume est un résidu de distillation ; il est extrêmement visqueux, noir et presque solide à température ambiante. La différence de fluidité entre les deux est évidente. Le gazole coule, le bitume est une pâte épaisse.

1.2. Indice d'octane et résistance à la détonation

a. Le carburant n'est pas qu'un simple liquide

Même si le carburant semble identique partout, sa qualité varie énormément. Un moteur moderne, conçu pour rouler à Lubumbashi ou à Goma, peut tousser et perdre sa puissance avec une essence de mauvaise qualité. Cette différence de performance n'est pas magique. Elle dépend d'une propriété chimique invisible à l'œil nu.

Cette propriété est la résistance à l'auto-allumage sous pression, un phénomène que les mécaniciens appellent le cliquetis. Pour quantifier cette résistance, les ingénieurs ont créé une échelle de mesure. C'est l'indice d'octane, un chiffre crucial affiché sur chaque pompe à essence.

A. Définition de l'indice d'octane (RON)

Quantifier la résistance d'un carburant au cliquetis se fait par comparaison. L'indice d'octane (RON, pour Research Octane Number) est une échelle de 0 à 100 qui mesure cette capacité. Deux hydrocarbures de référence sont utilisés pour établir cette échelle.

- **L'iso-octane (C_8H_{18})** : Il possède une très haute résistance à l'auto-inflammation. Par convention, son indice d'octane est fixé à 100.
- **Le n-heptane (C_7H_{16})** : Il s'enflamme très facilement sous pression, provoquant un fort cliquetis. Son indice d'octane est fixé à 0.

Une essence avec un indice d'octane de 95 (RON 95) se comporte, du point de vue de la détonation, comme un mélange contenant 95% d'iso-octane et 5% de n-heptane. Un indice plus élevé signifie une meilleure résistance au cliquetis.

B. Le cliquetis (ou détonation) et ses conséquences

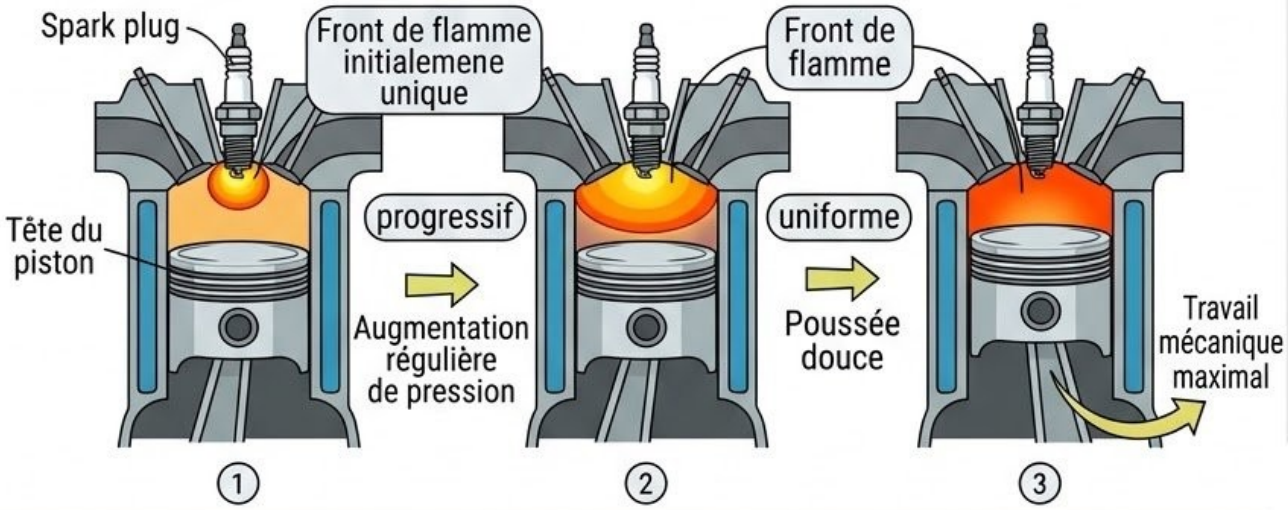
Dans un moteur, la combustion normale doit être contrôlée. La bougie déclenche une étincelle, et le front de flamme se propage de manière homogène dans le cylindre, poussant le piston avec force et régularité.

Le cliquetis est une combustion anormale et explosive. Sous l'effet d'une forte compression et de la chaleur, une partie du mélange air-essence s'enflamme spontanément, avant l'arrivée du front de flamme principal. Cela crée des ondes de choc violentes à l'intérieur du cylindre. Le moteur produit alors un son caractéristique de "clic-clic-clic" métallique, surtout en charge (accélération, montée). Ce phénomène entraîne une perte de puissance, une surchauffe et peut endommager gravement le piston, les segments et les soupapes.

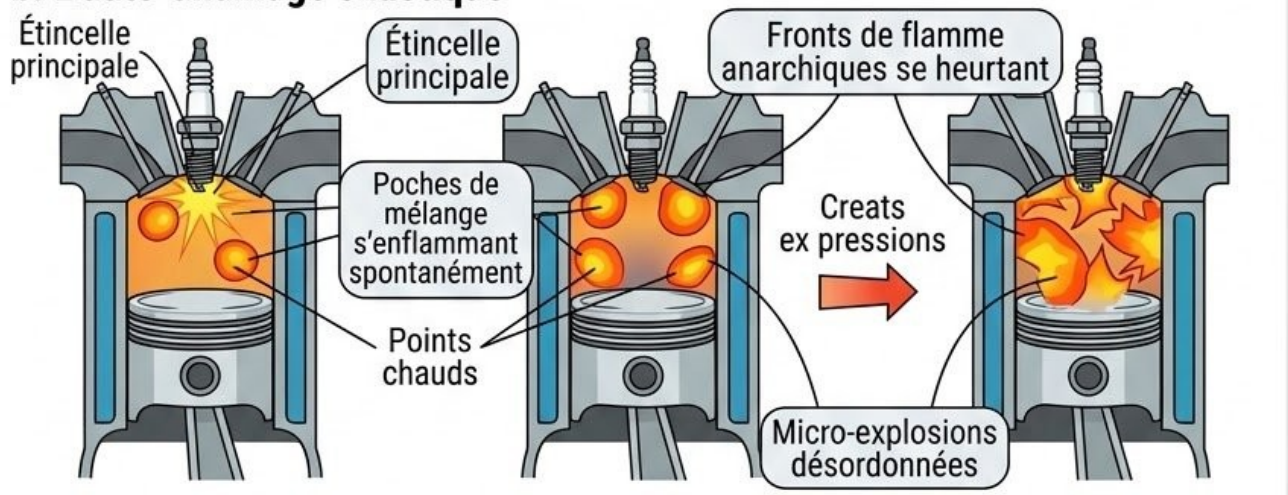
Figure 2 : Réf. IMG (0475-3281-2774)

Comparaison visuelle entre une combustion normale et le phénomène de cliquetis

a. Le front de flamme idéal



b. L'auto-allumage chaotique



c. L'impact sur le piston

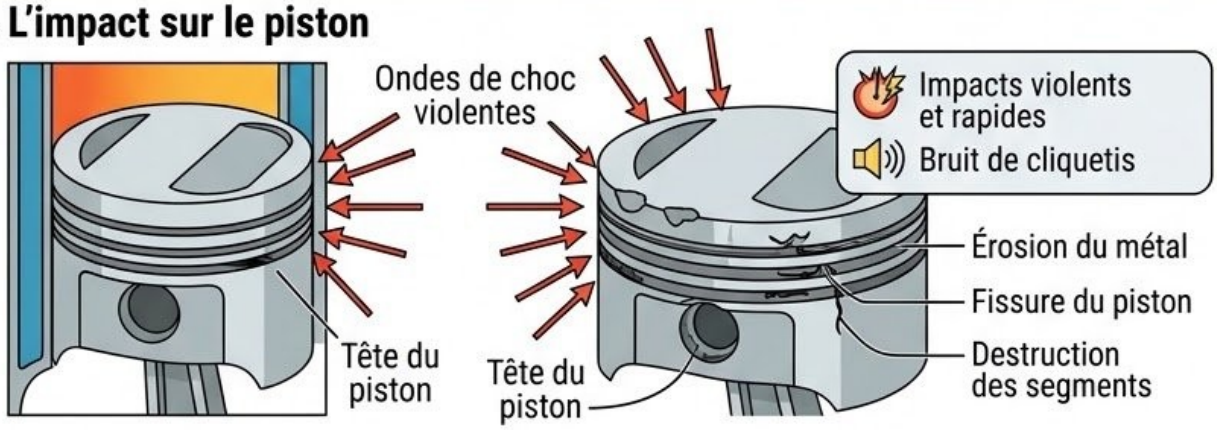


Figure 2 : Réf. IMG (0475-3281-2774)

Comparaison visuelle entre une combustion normale et le phénomène de cliquetis

a. Le front de flamme idéal

L'illustration montre une combustion parfaite. L'étincelle de la bougie initie un front de flamme unique et progressif. Cette vague de feu traverse la chambre de combustion de manière uniforme. La pression sur la tête du piston augmente de façon régulière, produisant un travail mécanique maximal. C'est le fonctionnement optimal recherché par les motoristes.

b. L'auto-allumage chaotique

Ici, le phénomène de cliquetis est visible. En plus du front de flamme principal, des poches de mélange s'enflamment spontanément en plusieurs points (points chauds). Cela se produit car la pression et la température ont dépassé le seuil de résistance du carburant. Ces micro-explosions sont désordonnées et créent des fronts de flamme qui se heurtent.

c. L'impact sur le piston

La conséquence directe de ces explosions anarchiques est la création d'ondes de choc. Au lieu d'une poussée douce, la tête du piston subit des impacts violents et rapides. Ces chocs sont à l'origine du bruit de cliquetis et peuvent, à terme, provoquer l'érosion du métal, la fissure du piston ou la destruction des segments.

■ ■ ■

Anecdote du mécanicien de Matadi

Papa Kanku arrive un jour au garage de Jean-Pierre, à Matadi, complètement découragé. Sa belle Toyota, fraîchement arrivée du port, n'a plus de "peps". Elle peine dans les côtes du Kongo Central et fait un bruit de casserole quand il appuie sur l'accélérateur. Jean-Pierre écoute attentivement le moteur. Son oreille de mécanicien expérimenté reconnaît tout de suite le son : un cliquetis franc et net.

Il ne démonte rien. Sa première question est : "Papa Kanku, où mets-tu ton carburant ?". Le client avoue acheter de l'essence "kadhafi" au bord de la route pour économiser quelques francs. Jean-Pierre sourit. Le diagnostic est

simple : le carburant a un indice d'octane trop faible pour ce moteur moderne. La solution n'est pas une réparation coûteuse, mais un plein de carburant RON 95 à la station. Une semaine plus tard, Papa Kanku revient remercier le mécanicien. Sa voiture a retrouvé toute sa jeunesse.

Exercice 1 : Le choix du carburant à Kisangani

Énoncé : Maman Hélène vient d'acheter une voiture japonaise d'occasion. Le manuel du constructeur, traduit en français, indique clairement : "Utiliser exclusivement de l'essence sans plomb avec un indice d'octane RON 95 ou supérieur". Arrivée à une station-service à Kisangani, elle a le choix entre deux pompes : "Essence RON 91" et "Super RON 98". Laquelle doit-elle choisir pour ne pas endommager son moteur ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier le besoin du moteur** Le manuel constructeur exige un indice d'octane de **RON 95 au minimum**. C'est la référence absolue.
2. **Étape 2 : Évaluer la première option (RON 91)** L'indice 91 est inférieur à l'exigence de 95. Utiliser ce carburant expose le moteur à un risque très élevé de cliquetis, surtout par temps chaud ou en côte, ce qui peut causer des dommages. Cette option est à proscrire.
3. **Étape 3 : Évaluer la seconde option (RON 98)** L'indice 98 est supérieur à l'exigence de 95. Ce carburant offre une résistance à la détonation meilleure que le minimum requis. Le moteur fonctionnera sans aucun risque de cliquetis.
4. **Étape 4 : Conclure** Pour préserver la mécanique de son véhicule, Maman Hélène doit impérativement choisir le "Super RON 98", même s'il est un peu plus cher.

Exercice 2 : Diagnostic au Kwilu

Énoncé : Un jeune chauffeur de taxi-moto à Bandundu, dans la province du Kwilu, se plaint d'un bruit métallique aigu ("krikri") chaque fois qu'il accélère fortement avec un client. Il constate aussi que sa moto a perdu de la puissance et consomme plus que d'habitude. Interrogé, il avoue utiliser l'essence la moins chère qu'il trouve sur le marché informel.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyser les symptômes** La combinaison "bruit métallique à l'accélération" + "perte de puissance" + "surconsommation" est la signature classique du phénomène de cliquetis.
2. **Étape 2 : Identifier la cause probable** L'utilisation d'un carburant de source non contrôlée ("marché informel") est la cause la plus probable. Ce carburant a vraisemblablement un indice d'octane très bas, inadapté au taux de compression du petit moteur de la moto.
3. **Étape 3 : Proposer une action corrective immédiate** Le mécanicien doit conseiller au chauffeur de vider son réservoir et de faire le plein avec une essence de qualité, provenant d'une station reconnue, en choisissant l'indice recommandé pour sa moto (généralement RON 91 ou 95 pour ces engins).
4. **Étape 4 : Donner un conseil préventif** L'économie réalisée sur un carburant de mauvaise qualité est une illusion. Elle se paie par une usure prématurée du moteur et des réparations coûteuses. Il est plus rentable sur le long terme d'utiliser un carburant à l'indice d'octane correct.

1.3. Chimie de la combustion et dosage stœchiométrique

a. L'équilibre fragile de l'énergie

Lorsque la fumée sort d'un pot d'échappement, elle raconte une histoire chimique. C'est le résultat d'une réaction violente et contrôlée entre un carburant et l'air. Cette transformation libère l'énergie qui fait avancer un Fuso à Mbandaka ou une moto à Kisangani. Le moteur thermique est avant tout un réacteur chimique miniature.

La qualité de cette réaction dépend d'un équilibre précis. Trop de carburant, la combustion est incomplète et polluante. Trop d'air, le moteur perd en puissance et surchauffe. Le dosage parfait est une science exacte, nommée stœchiométrie. Elle définit la proportion idéale pour une combustion totale.

A. L'équation de la combustion parfaite

La combustion est une réaction d'oxydation rapide. Elle combine un combustible (les hydrocarbures de l'essence, C_xH_y) et un comburant (le dioxygène O_2 de l'air). Une combustion parfaite, ou stœchiométrique,

transforme tout le carburant en dioxyde de carbone (CO_2) et en eau (H_2O), sans aucun résidu. L'azote (N_2) de l'air, théoriquement inerte, traverse le moteur et ressort intact.

Pour l'octane (C_8H_{18}), un composant principal de l'essence, l'équation chimique équilibrée est la suivante :

$$2C_8H_{18} + 25O_2 \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O + \text{Énergie}$$

Cette équation représente l'idéal. Dans la réalité, l'air contient environ 79% d'azote. La véritable équation prend donc en compte la masse d'azote qui ne participe pas à la réaction mais absorbe de la chaleur. Le défi du motoriste est de s'approcher au plus près de cet équilibre chimique.