# MECANIQUE APPLIQUEE

## 4ÈME ANNÉE, OPTION MÉCANIQUE AUTOMOBILE




CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

EDITION 2025



# TABLE DES MATIÈRES

**PRÉLIMINAIRES** ..... **1**

0.1. Objectifs Généraux du Cours ..... 1

- 0.1.1. Maîtrise des Compétences Théoriques Fondamentales ..... 1
- 0.1.2. Développement des Compétences Analytiques et Pratiques ..... 1
- 0.1.3. Intégration des Savoirs pour le Diagnostic ..... 1

0.2. Approche Pédagogique et Méthodologique ..... 1

- 0.2.1. Du Principe Fondamental à la Technologie Appliquée ..... 1
- 0.2.2. La Logique de la Compétence Diagnostique ..... 2
- 0.2.3. L'Ancrage dans le Réel par la Simulation ..... 2

0.3. Prérequis et Intégration ..... 2

- 0.3.1. Acquis Fondamentaux ..... 2
- 0.3.2. Logique d'Intégration Pédagogique ..... 2

0.4. Matériel Didactique et Évaluation ..... 3

- 0.4.1. Principes du Matériel Didactique ..... 3
- 0.4.2. Modalités d'Évaluation ..... 3

**PARTIE 1. DYNAMIQUE DES FLUIDES ET HYDRAULIQUE GÉNÉRALE** ..... **5**

Des Fleuves aux Circuits de Freinage ..... 5

La Puissance Discrète de la Pression ..... 5

L'Hydraulique, ou la Force Tranquille ..... 5

Le Diagnostic du Mécanicien Moderne ..... 5

**CHAPITRE 1. PRINCIPES FONDAMENTAUX DE L'HYDRODYNAMIQUE** ..... **6**

1.1. Conservation de l'Énergie et Théorème de Bernoulli ..... 6

- a. L'intuition d'un savant suisse ..... 6
- A. L'Équation de la Conservation de l'Énergie ..... 6

**FIGURE 1 : RÉF. IMG (4361-6040-5660)** ..... **8**

Schéma du principe de Bernoulli dans une conduite à section variable ..... 8

- B. Interprétation et Applications Automobiles ..... 8

**FIGURE 2 : RÉF. IMG (2872-9299-3846)** ..... **11**

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

Application du principe dans un pulvérisateur de peinture ou un pistolet à air.....11
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....11

1.2. Équation de Continuité et Débit Massique/Volumique.....13
- a. Le principe de la conservation.....13
- A. Débit Volumique et Débit Massique.....14
- B. L'Équation de Continuité.....14

**FIGURE 3 : RÉF. IMG (4601-8100-7623).....17**

Équation de continuité dans une conduite à section variable.....17
- Scénarios et Exercices.....17

1.3. Pression Statique, Pression Dynamique et Applications Automobiles.....19
- a. Une distinction fondamentale.....19
- A. Définition des Pressions Statique et Dynamique.....19
- B. Le Théorème de Bernoulli et l'Effet Venturi.....20

**FIGURE 4 : RÉF. IMG (3140-3843-6908).....22**

Schéma du principe de Venturi appliqué à un carburateur automobile.....22
- Anecdote du mécanicien de Mbandaka.....22

**CHAPITRE 2. VISCOSITÉ ET RÉGIMES D'ÉCOULEMENT.....25**

2.1. Viscosité Dynamique, Cinématique et Influence de la Température.....25
- a. Qu'est-ce que la viscosité ?.....25
- A. La Viscosité Dynamique (ou Absolue).....25
- B. La Viscosité Cinématique.....26
- C. L'Influence Décisive de la Température.....26

**FIGURE 5 : RÉF. IMG (7369-0851-2553).....28**

Évolution de la viscosité d'une huile moteur avec la température ambiante.....28
- Scénarios et Exercices.....28

2.2. Le Nombre de Reynolds et les Régimes d'Écoulement (Laminaire/Turbulent).....30
- a. L'ordre et le chaos des fluides.....30
- A. Le Nombre de Reynolds () : L'arbitre du jeu.....30
- B. Laminaire ou Turbulent : Les deux visages de l'écoulement.....31

**FIGURE 6 : RÉF. IMG (2080-0516-7322).....33**

Comparaison visuelle des régimes d'écoulement laminaire et turbulent dans un .....33

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

- Scénarios et Exercices..... 33

2.3. Phénomènes de Cavitation dans les Pompes et Injecteurs..... 35

- a. L'eau qui bout sans feu..... 35
- A. Naissance et Implosion d'une Bulle de Vapeur..... 35

**FIGURE 7 : RÉF. IMG (1223-7632-4554)..... 38**

Cycle de vie d'une bulle de cavitation dans une pompe hydraulique..... 38

- B. Les Dégâts Concrets sur le Moteur..... 38

**FIGURE 8 : RÉF. IMG (6461-2180-1322)..... 41**

Turbine de pompe à eau sévèrement endommagée par la cavitation..... 41

- Scénarios et Anecdotes..... 41

**CHAPITRE 3. PERTES DE CHARGE DANS LES CONDUITES..... 44**

3.1. Pertes de Charge Linéaires et Singulières..... 44

- a. Introduction..... 44
- A. Les Pertes de Charge Linéaires (ou Régulières)..... 44

**FIGURE 9 : RÉF. IMG (0062-5311-6405)..... 46**

Visualisation des pertes de charge linéaires et singulières dans un circuit..... 46

- B. Les Pertes de Charge Singulières (ou Locales)..... 46
- C. La Perte de Charge Totale..... 47

3.2. Calcul Hydraulique et Dimensionnement des Circuits..... 49

- a. Le principe fondamental de la perte d'énergie..... 49
- A. La Formule de Darcy-Weisbach : Le Cœur du Calcul..... 49

**FIGURE 10 : RÉF. IMG (7184-5276-2202)..... 52**

Schéma d'une conduite droite illustrant les pertes de charge régulières..... 52

- B. Le Dimensionnement : L'Art du Compromis..... 52

**FIGURE 11 : RÉF. IMG (2875-5107-9148)..... 55**

Comparaison de l'écoulement dans un tuyau large et un tuyau étroit..... 55

- L'anecdote du circuit de refroidissement de Papa Kabasele à Kisangani..... 55

3.3. Réseaux de Conduites en Série et en Parallèle..... 58

- a. Introduction au dilemme du plombier..... 58
- A. Les conduites en série : un débit unique..... 58


MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

**FIGURE 12 : RÉF. IMG (4701-1325-3215)** ..... **60**

Schéma simplifié d'un circuit de refroidissement moteur en série ..... 60

- B. Les conduites en parallèle : un débit partagé ..... 60

**FIGURE 13 : RÉF. IMG (3026-3528-2427)** ..... **62**

Circuit de freinage hydraulique avec répartiteurs avant et arrière ..... 62

- Le casse-tête du circuit de carburant à Lubumbashi ..... 62

**CHAPITRE 4. MACHINES HYDRAULIQUES GÉNÉRATRICES (POMPES)** ..... **65**

4.1. Pompes à Pistons (en ligne, radiaux et axiaux) ..... 65

- a. Du mouvement à la pression ..... 65
- A. Le Principe Fondamental : Le Va-et-Vient Créateur de Pression ..... 65

**FIGURE 14 : RÉF. IMG (7470-4817-9914)** ..... **67**

Cycle d'aspiration et de refoulement d'un piston dans une pompe hydraulique ..... 67

- B. Les Trois Architectures de Pompes à Pistons ..... 67

**FIGURE 15 : RÉF. IMG (8059-3498-0670)** ..... **70**

Architectures comparées des pompes à pistons : en ligne, radiale et axiale ..... 70

- SCÉNARIOS ET EXERCICES ..... 70

4.2. Pompes Rotatives (Engrenages, Palettes, Vis) ..... 72

- a. Le principe du mouvement perpétuel inversé ..... 72
- A. Définition et principe fondamental ..... 72
- B. La pompe à engrenages ..... 73

**FIGURE 16 : RÉF. IMG (6702-6433-0467)** ..... **75**

Schéma de principe d'une pompe à engrenages externes en coupe ..... 75

- C. La pompe à palettes ..... 75

4.3. Pompes Centrifuges et Courbes Caractéristiques ..... 78

- a. L'énergie cachée dans la rotation ..... 78
- A. Anatomie et Principe de la Pompe Centrifuge ..... 78
- B. Courbes Caractéristiques : La Carte d'Identité de la Pompe ..... 79
- SCÉNARIOS ET EXERCICES ..... 80

**PARTIE 2. THERMODYNAMIQUE ET MACHINES THERMIQUES** ..... **83**

La chaleur comme source de travail ..... 83

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

Le moteur, une machine thermique cyclique....83
L'obsession du rendement thermique....83
La gestion de la chaleur : une question de survie....83

**CHAPITRE 5. PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA THERMODYNAMIQUE....84**

5.1. Premier Principe, Énergie Interne et Transformations (Isotherme, Adiabat....84
- a. L'intuition du chauffeur de Kisangani....84
- A. Le Premier Principe et l'Énergie Interne....84
- B. La Transformation Isotherme ()....84
- C. La Transformation Adiabatique ()....85
- Scénarios et Exercices....85

5.2. Deuxième Principe, Entropie et Irréversibilité des Échanges....87
- a. La flèche du temps thermodynamique....87
- A. Énoncé du Second Principe et Irréversibilité....87

**FIGURE 17 : RÉF. IMG (3357-9593-7441)....90**

Transfert de chaleur spontané illustrant le deuxième principe de la thermodyn....90
- B. L'Entropie (S), mesure du désordre....90

**FIGURE 18 : RÉF. IMG (9103-1036-0210)....93**

Comparaison de l'entropie entre un état ordonné et un état désordonné....93
- Scénarios et Exercices....93
- Une invention impossible sur les rives du fleuve Congo....93

5.3. Cycle de Carnot et Rendement Théorique Maximal....95
- a. La quête de la perfection mécanique....95
- A. Les quatre transformations du cycle de Carnot....95

**FIGURE 19 : RÉF. IMG (2692-9113-5137)....98**

Diagramme Pression-Volume (P-V) du cycle de Carnot et ses quatre étapes....98
- B. La formule du rendement de Carnot....98

**FIGURE 20 : RÉF. IMG (3483-8171-0592)....101**

Schéma de principe d'un moteur thermique fonctionnant entre deux sources de c....101
- C. Scénarios et Exercices....101

**CHAPITRE 6. COMPRESSEURS DE GAZ....104**

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

6.1. Compresseurs à Piston (Alternatifs)....104
- a. Le souffle du forgeron....104
- A. Principe de fonctionnement....104

**FIGURE 21 : RÉF. IMG (2220-8608-1445)....106**

Cycle de fonctionnement d'un compresseur à piston simple effet....106
- B. Classification principale....106

6.2. Compresseurs Rotatifs (Centrifuges, Axiaux et à Vis)....109
- a. De la forge au turbocompresseur....109
- A. Le Compresseur Centrifuge : La Force de l'Éjection....109
- B. Le Compresseur Axial : Le Tunnel de Pression....110
- C. Le Compresseur à Vis : Le Piège Hélicoïdal....111

6.3. Distinction Action/Réaction et Analyse des Aubages....112
- a. Le paradoxe de la poussée....112
- A. Le compresseur à action (ou à impulsion)....113

**FIGURE 22 : RÉF. IMG (2430-8864-3753)....115**

Profils de vitesse et de pression dans un étage à action pure....115
- B. Le compresseur à réaction....115

**FIGURE 23 : RÉF. IMG (9753-1138-3289)....117**

Profils de vitesse et de pression dans un étage à réaction 50%....117
- C. Le degré de réaction ()....117

**CHAPITRE 7. TURBOMACHINES ET TURBINES....120**

7.1. Turbines à Vapeur et Diagramme de Mollier....120
- a. La force cachée dans l'eau....120
- A. Principe de fonctionnement de la turbine à vapeur....120
- B. Le diagramme de Mollier : la carte d'identité de la vapeur....120

**FIGURE 24 : RÉF. IMG (6345-6622-3838)....123**

Lecture d'une détente de vapeur sur le diagramme de Mollier....123
- C. Calcul du travail et du rendement isentropique....123

7.2. Turbines à Gaz et Constitution des Turbocompresseurs....126
- a. Introduction à la suralimentation....126
- A. Principe de la Turbine à Gaz....126

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

**FIGURE 25 : RÉF. IMG (0558-9210-8523)....128**

Schéma en coupe d'un turbocompresseur automobile moderne et ses flux....128

- B. Avantages et Inconvénients....128

7.3. Turbines Hydrauliques (Pelton, Francis, Kaplan)....130

- a. L'eau, le pétrole du Congo....130
- A. Le principe : de la pression à la rotation....131
- B. Les trois grandes familles de turbines....131

**FIGURE 26 : RÉF. IMG (5077-3517-3343)....134**

Diagramme de sélection des turbines en fonction de la chute et du débit....134

- L'ingénieur d'Inga et la force du fleuve....134

7.4. Turbines à Géométrie Variable (TGV) et Systèmes de Régulation....136

- a. Le paradoxe du turbocompresseur....136
- A. Le principe de la géométrie variable....136

**FIGURE 27 : RÉF. IMG (4345-5193-3489)....139**

Mécanisme interne d'une turbine à géométrie variable (TGV) en action....139

- B. Les systèmes de régulation de la géométrie....139

**FIGURE 28 : RÉF. IMG (7989-7910-2299)....142**

Système de commande d'un turbocompresseur à géométrie variable (TGV)....142

- b. Scénarios et Exercices....142

**CHAPITRE 8. CYCLES FRIGORIFIQUES ET CLIMATISATION AUTOMOBILE....145**

8.1. Principe des Machines Frigorifiques et Cycle de Climatisation....145

- a. Le transport de la chaleur, une mission impossible ?....145
- A. La phase de haute pression : Compression et Condensation....145
- B. La phase de basse pression : Détente et Évaporation....145

8.2. Fluides Frigorigènes : Propriétés et Enjeux Environnementaux....148

- a. L'illusion de la fraîcheur....148
- A. Propriétés fondamentales d'un fluide frigorigène....148
- B. Classification et nomenclature (Le langage des "R")....148

**FIGURE 29 : RÉF. IMG (6358-8671-8882)....151**

Évolution des fluides frigorigènes automobiles et de leur impact environnemen....151

- C. Les enjeux réglementaires et pratiques....151

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

8.3. Calcul des Puissances Thermiques et Bilan Énergétique.....153
- a. Le principe du déménageur d'énergie.....153
- A. Les trois puissances clés du cycle.....154
- B. Mesurer l'efficacité : le Coefficient de Performance (COP).....154

**FIGURE 30 : RÉF. IMG (8729-5106-0916).....157**

Schéma simplifié du bilan énergétique d'un système de climatisation automobile.....157
- Anecdote du mécanicien de Lubumbashi.....157

8.4. Diagnostic des Cycles Frigorifiques par Analyse des Pressions.....159
- a. Le pouls du circuit frigorifique.....159
- A. L'Outil Indispensable : Le Jeu de Manomètres.....159

**FIGURE 31 : RÉF. IMG (5993-9522-6261).....162**

Jeu de manomètres de diagnostic pour système de climatisation automobile.....162
- B. Interprétation des Valeurs : Lire dans le Circuit.....162

**FIGURE 32 : RÉF. IMG (5158-8973-6372).....164**

Points de connexion des manomètres sur le circuit de climatisation.....164
- C. Le Diagnostic Différentiel.....164

**PARTIE 3. COMBUSTION, PROPULSION ET APPLICATIONS AVANCÉES.....167**

Du feu maîtrisé à la force brute.....167

De la poussée à la rotation : la mécanique en action.....167

Optimisation et suralimentation : le génie moderne.....167

Vers une propulsion efficiente et durable.....167

**CHAPITRE 9. ÉTUDE DE LA COMBUSTION.....168**

9.1. Caractéristiques des Combustibles (Indices d'Octane et Cétane).....168
- a. L'importance du choix du carburant.....168
- A. L'Indice d'Octane (Moteurs à Allumage Commandé).....168
- B. L'Indice de Cétane (Moteurs à Auto-allumage).....168

**FIGURE 33 : RÉF. IMG (1182-4191-0488).....171**

Comparaison graphique du cliquetis (bas octane) et de la combustion normale.....171
- C. Application Pratique et Additifs.....171
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....172

9.2. Stœchiométrie, Dosage Air/Carburant et Analyse des Gaz d'Échappement....173
- a. Le moteur, ce grand cuisinier chimique....173
- A. Le Rapport Stœchiométrique : La Recette Parfaite....173
- B. La Richesse du Mélange et le Facteur Lambda (λ)....174
- C. L'Analyse des Gaz : Le Verdict de l'Échappement....174

9.3. Cinétique de la Combustion et Phénomènes Anormaux (Cliquetis)....176
- a. Introduction au rythme du moteur....176
- A. La Cinétique de la Combustion Normale....177
- B. Le Phénomène Anormal : Le Cliquetis (Knocking)....177

9.4. Bilan Thermique de la Combustion et Répartition de l'Énergie....179
- a. L'énergie cachée du carburant....179
- A. Le Principe de Conservation et le Bilan Énergétique....180

**FIGURE 34 : RÉF. IMG (1061-5358-7180)....181**

Diagramme de la répartition énergétique dans un moteur à combustion moderne....181
- B. Quantification et Nature des Pertes Thermiques....181

**FIGURE 35 : RÉF. IMG (0885-1765-6713)....184**

Schéma simplifié du circuit de refroidissement et des pertes thermiques....184
- Anecdote : La surchauffe sur la route de Boma....184

**CHAPITRE 10. CALCULS DE PUISSANCE ET RENDEMENTS MOTEUR....187**

10.1. Comparaison entre Cycle Théorique et Cycle Réel (Diagrammes Indicateurs)....187
- a. Du plan à la réalité : une leçon de la route nationale N°1....187
- A. Le Cycle Théorique : Une Perfection Géométrique....187
- B. Le Cycle Réel : Les Contraintes de la Physique....188

**FIGURE 36 : RÉF. IMG (4230-7279-3765)....190**

Comparaison du cycle théorique et du cycle réel sur un diagramme P-V....190
- L'anecdote du mécanicien de Lubumbashi....190

10.2. Puissance Indiquée, Puissance Effective et Pression Moyenne....192
- a. Le cœur et les bras du moteur....192
- A. Puissance Indiquée (Pi) et Pression Moyenne Indiquée (pmi)....192
- B. Puissance Effective (Pe) et Rendement Mécanique (ηm)....193
- C. La Pression Moyenne Effective (pme)....193

**FIGURE 37 : RÉF. IMG (0899-6347-0270)....196**

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

Diagramme pression-volume montrant les pertes par frottement mécanique.....196
- Anecdote du mécanicien de Kananga.....196

10.3. Décomposition des Rendements (Mécanique, Thermique, Global).....198
- a. La quête de l'efficacité.....198
- A. Le Rendement Thermique () : La conversion de chaleur en travail.....199
- B. Le Rendement Mécanique () : La lutte contre les frottements.....199
- C. Le Rendement Global () : Le bilan final.....199

**FIGURE 38 : RÉF. IMG (5141-2388-7047).....202**

Diagramme de Sankey des pertes d'énergie dans un moteur thermique.....202
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....202

10.4. Consommation Spécifique et Cartographie Moteur.....204
- a. L'obsession de l'efficacité.....204
- A. Définition de la Consommation Spécifique Effective (CSE).....204

**FIGURE 39 : RÉF. IMG (7507-0403-7188).....207**

Courbe de consommation spécifique d'un moteur thermique en fonction du régime.....207
- B. La Cartographie Moteur : La "Carte au Trésor" de l'Efficacité.....207

**FIGURE 40 : RÉF. IMG (3292-2436-4334).....210**

Représentation d'une cartographie moteur avec ses courbes d'iso-consommation .....210
- Anecdote du transporteur de Mbuji-Mayi.....210

**CHAPITRE 11. PROPULSION PAR RÉACTION (AÉRONAUTIQUE).....213**

11.1. Principe de la Propulsion à Réaction et Turboréacteurs Simple/Double Flux.....213
- a. L'héritage d'une sphère qui tourne.....213
- A. La Poussée : Éjecter pour Avancer.....213
- B. Turboréacteur Simple Flux vs. Double Flux.....213
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....214

11.2. Turbopropulseurs et Répartition de la Puissance.....216
- a. Un mariage de technologies.....216
- A. Anatomie d'un turbopropulseur.....216

**FIGURE 41 : RÉF. IMG (5262-1053-9927).....219**

Schéma de fonctionnement d'un turbopropulseur et ses flux de puissance.....219
- B. Distribution de la puissance et rendement.....219

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

11.3. Applications, Maintenance et Surveillance Vibratoire.....221
- a. Le langage des vibrations.....221
- A. Maintenance Prédictive par Analyse Vibratoire.....221

**FIGURE 42 : RÉF. IMG (3941-2773-4607).....224**

Schéma d'un accéléromètre piézoélectrique sur un carter de turboréacteur.....224
- B. Applications Spécifiques et Niveaux d'Intervention.....224

**CHAPITRE 12. VÉHICULES ET SYSTÈMES DE TRANSPORT.....227**

12.1. Dynamique des Véhicules Terrestres, Ferroviaires et Maritimes.....227
- a. Les forces en jeu.....227
- A. Forces Motrices et Résistantes.....227

**FIGURE 43 : RÉF. IMG (3317-8623-3309).....230**

Schéma des forces agissant sur un véhicule en mouvement.....230
- B. Équation Fondamentale du Mouvement.....230

12.2. Systèmes de Régulation de Vitesse (Diesel et Turbines).....233
- a. L'analogie du piroguier.....233
- A. Le régulateur mécanique pour moteur diesel.....233

**FIGURE 44 : RÉF. IMG (1685-7742-1925).....235**

Schéma de principe d'un régulateur de vitesse centrifuge pour moteur diesel.....235
- B. Régulation électronique (Diesel modernes et Turbines).....235

12.3. Perspectives Énergétiques et Motorisations du Futur (Hybridation, Piles.....238
- a. Un retour vers le futur ?.....238
- A. La Motorisation Hybride : L'Alliance de Deux Mondes.....238

**FIGURE 45 : RÉF. IMG (5166-4280-2434).....240**

Schéma de principe d'une motorisation hybride série-parallèle et ses flux d'é.....240
- B. La Pile à Combustible : De l'Hydrogène à l'Électricité.....240

**ANNEXES.....243**

A.1. Diagrammes Thermodynamiques.....243
- A. Définition et Utilité.....243
- B. Principales Coordonnées Thermodynamiques.....243
- C. Le Diagramme Pression-Volume (P-V) ou Diagramme de Clapeyron.....244
- D. Le Diagramme Température-Entropie (T-s).....245

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

A.2. Abaques de Pertes de Charge (Diagramme de Moody).....246
- A. Principe et Finalité du Diagramme.....246
- B. Structure et Paramètres d'Entrée.....247
- C. Analyse des Zones du Diagramme.....248
- D. Méthodologie d'Utilisation.....249

A.3. Propriétés des Fluides Usuels.....249
- A. Masse Volumique et Poids Volumique.....249
- B. Densité Relative ().....250
- C. Viscosité.....251
- D. Compressibilité et Module d'Élasticité Volumique.....252
- E. Propriétés Physico-chimiques Critiques.....252

A.4. Formulaire de Mécanique des Fluides et Thermodynamique.....253
- A. Propriétés Fondamentales des Fluides.....253
- B. Statique des Fluides (Hydrostatique).....254
- C. Dynamique des Fluides Incompressibles.....255
- D. Principes de la Thermodynamique.....256
- E. Lois des Gaz et Transferts Thermiques.....257

# PRÉLIMINAIRES

## 0.1. Objectifs Généraux du Cours

### 0.1.1. Maîtrise des Compétences Théoriques Fondamentales

L'acquisition des principes de la statique, de la cinématique et de la dynamique représente le socle de ce cours. L'apprenant doit assimiler avec rigueur les lois physiques régissant les équilibres et les mouvements des solides. Cette base théorique est indispensable pour modéliser et comprendre le comportement de tout organe ou système mécanique automobile, des liaisons du châssis aux pièces mobiles d'un moteur à combustion interne.

### 0.1.2. Développement des Compétences Analytiques et Pratiques

Le développement de la compétence analytique est une finalité essentielle. L'apprenant apprend à traduire un problème technique concret en un modèle mécanique quantifiable. L'application des outils de la résistance des matériaux (RDM) pour calculer les efforts, les contraintes et les déformations dans les pièces critiques (bielles, arbres, suspensions) doit devenir une démarche systématique. Cette aptitude permet de passer de l'observation d'un symptôme à l'identification de sa cause physique.

### 0.1.3. Intégration des Savoirs pour le Diagnostic

L'objectif terminal est l'autonomie dans le diagnostic mécanique argumenté. L'apprenant doit être capable de synthétiser les savoirs théoriques et les compétences analytiques pour interpréter une panne complexe. Il justifie une procédure d'intervention non par habitude, mais par une déduction scientifique. Il apprend à lier une cause (rupture, jeu excessif, fatigue) à ses effets observables (vibrations, bruits, usure) en s'appuyant sur les modèles de calcul.

---

## 0.2. Approche Pédagogique et Méthodologique

### 0.2.1. Du Principe Fondamental à la Technologie Appliquée

Chaque chapitre articule le savoir théorique et sa mise en œuvre technologique. L'exposé d'un principe physique ou mécanique fondamental précède son application directe à un organe ou un système automobile. Cette

progression du général au particulier vise la construction d'un raisonnement déductif. L'apprenant acquiert ainsi une compréhension structurelle, et non une simple mémorisation de procédures.

### 0.2.2. La Logique de la Compétence Diagnostique

La résolution de problèmes est au centre de l'apprentissage. La méthodologie proposée suit une séquence logique : observation des symptômes, formulation d'hypothèses basées sur les principes étudiés, et validation par des mesures ou des tests. L'objectif final est le développement d'une compétence diagnostique autonome. Chaque exercice vise à transformer une connaissance passive en une aptitude à intervenir.

### 0.2.3. L'Ancrage dans le Réel par la Simulation

Les sections d'exercices et de scénarios constituent des simulations de situations professionnelles. Elles confrontent l'apprenant à des pannes ou des dysfonctionnements plausibles. Ces cas pratiques sont conçus pour mobiliser l'ensemble des connaissances théoriques et des savoir-faire d'une leçon. La résolution guidée renforce la méthode d'analyse et prépare l'élève à l'intervention technique réelle.

---

## 0.3. Prérequis et Intégration

### 0.3.1. Acquis Fondamentaux

Une maîtrise solide des outils mathématiques fondamentaux est supposée acquise. Ceci inclut l'algèbre élémentaire, la trigonométrie pour la résolution de triangles et la projection de vecteurs, ainsi que les notions de base du calcul différentiel pour l'étude des vitesses et accélérations. Sans cette base, l'analyse quantitative des systèmes mécaniques reste inaccessible.

Parallèlement, les principes de la mécanique générale, étudiés au cours du cycle inférieur, constituent un socle indispensable. La statique des solides, la cinématique du point et la dynamique fondamentale (Principe Fondamental de la Dynamique) sont des compétences préalables essentielles. La compréhension des concepts d'effort, de moment, d'énergie cinétique et de travail mécanique est non négociable pour aborder les chapitres suivants.

### 0.3.2. Logique d'Intégration Pédagogique

L'enseignement de cette 4ème année opère une transition méthodologique cruciale. Il s'agit de dépasser la compréhension théorique des lois physiques

pour atteindre leur application concrète sur des systèmes automobiles complexes. La finalité est de instrumenter l'élève pour qu'il puisse modéliser un problème technique réel, le traduire en équations et en interpréter la solution.

Chaque chapitre mobilise donc systématiquement les prérequis pour analyser des problématiques spécifiques. L'étude d'un système de freinage convoque la statique et la dynamique ; l'analyse d'une boîte de vitesses s'appuie sur la cinématique et les calculs de rapports. La démarche pédagogique vise la consolidation des acquis par la mise en situation technique et la résolution de cas pratiques, préparant ainsi l'élève aux exigences de l'examen final et du monde professionnel.

## 0.4. Matériel Didactique et Évaluation

### 0.4.1. Principes du Matériel Didactique

Spécifiquement, l'enseignement de la mécanique automobile mobilise un ensemble de ressources complémentaires. L'approche inductive, partant d'une pièce réelle (injecteur, boîtier papillon, capteur PMH), est privilégiée pour ancrer les concepts. Le manuel et ses schémas techniques servent ensuite de support à la formalisation déductive des principes physiques et fonctionnels.

L'accès à des bancs moteurs, des systèmes de diagnostic électronique (valise de diagnostic) et des sous-ensembles mécaniques fonctionnels est donc essentiel. Ce matériel permet la mise en situation concrète et la vérification expérimentale des lois étudiées. La manipulation active par les élèves transforme la connaissance théorique en compétence opératoire.

### 0.4.2. Modalités d'Évaluation

Corrélativement, l'évaluation des acquis suit une logique de validation progressive des compétences professionnelles. L'évaluation formative intervient en continu durant les séances d'atelier pour ajuster la démarche de l'élève face à une tâche précise. Elle prend la forme d'observations, de questionnements oraux ou de contrôles rapides sur un geste technique.

L'évaluation sommative, quant à elle, valide la capacité de l'apprenant à mobiliser ses savoirs (connaissances théoriques), son savoir-faire (diagnostic, démontage, remontage) et son savoir-être (rigueur, sécurité) face à une situation-problème authentique. Structurée sur le modèle des épreuves du TENASOSP et de l'Examen d'État, elle mesure l'autonomie et l'efficacité de l'élève dans la résolution d'une panne simulée.

**MURHULA BAZIKANGE M.**
*Directeur Editorial*
**+243 860 655 590**

# Partie 1. Dynamique des Fluides et Hydraulique Générale

## Des Fleuves aux Circuits de Freinage

Un fluide est une matière qui refuse les formes fixes. Il épouse le contenant qui le reçoit. L'eau du puissant fleuve Congo est un fluide. L'huile moteur ou le carburant dans un réservoir à Mbandaka sont aussi des fluides. Cette étude concerne les liquides (incompressibles) et les gaz (compressibles). Leur comportement sous l'effet des forces est la clé de nombreuses technologies automobiles modernes.

## La Puissance Discrète de la Pression

Une force appliquée sur un fluide dans un espace clos crée une pression. Cette pression se transmet intégralement et dans toutes les directions. Ce principe simple est au cœur de tout. Il permet de multiplier une petite force initiale pour en obtenir une immense à l'arrivée. On dirait de la magie, mais c'est de la physique pure. C'est le secret qui permet de soulever une voiture avec un petit cric hydraulique.

## L'Hydraulique, ou la Force Tranquille

L'hydraulique est la science de la transmission de l'énergie par un liquide sous pression. Appuyer sur la pédale de frein à Kisangani semble un geste anodin. Pourtant, ce geste active un système hydraulique capable d'arrêter une tonne de métal lancée à grande vitesse. La direction assistée, l'embrayage hydraulique et les suspensions pilotées utilisent la même force tranquille pour rendre la conduite plus sûre et confortable.

## Le Diagnostic du Mécanicien Moderne

Comprendre la dynamique des fluides n'est pas un exercice de style. C'est l'outil de diagnostic numéro un face à une direction assistée dure ou un freinage "spongieux". Un mécanicien à Bukavu ou Kananga ne devine pas la panne. Il analyse les pressions, il traque les fuites, il comprend le circuit. Maîtriser ces principes garantit des réparations fiables et la sécurité des passagers sur nos routes.

# Chapitre 1. Principes Fondamentaux de l'Hydrodynamique

## 1.1. Conservation de l'Énergie et Théorème de Bernoulli

### a. L'intuition d'un savant suisse

Pendant que les esprits du 18ème siècle se tournaient vers les étoiles, un savant suisse, Daniel Bernoulli, fixait son attention sur un phénomène bien plus commun : l'écoulement de l'eau. Une observation simple, presque banale, le fascinait. L'eau semblait gagner en vitesse lorsqu'elle traversait un passage plus étroit.

Cette curiosité a donné naissance à l'un des théorèmes les plus fondamentaux de la mécanique des fluides. La relation qu'il a découverte entre la vitesse, la pression et l'altitude d'un fluide est aujourd'hui essentielle pour comprendre le fonctionnement d'un circuit de freinage ou d'un simple pulvérisateur.

### A. L'Équation de la Conservation de l'Énergie

Un fluide incompressible et parfait en mouvement possède une énergie totale qui reste constante le long de son parcours. Cette énergie se compose de trois parties distinctes.

L'équation de Bernoulli traduit cette conservation :

$$P+\frac{1}{2}\rho v^2+\rho g z=\text{constante}$$

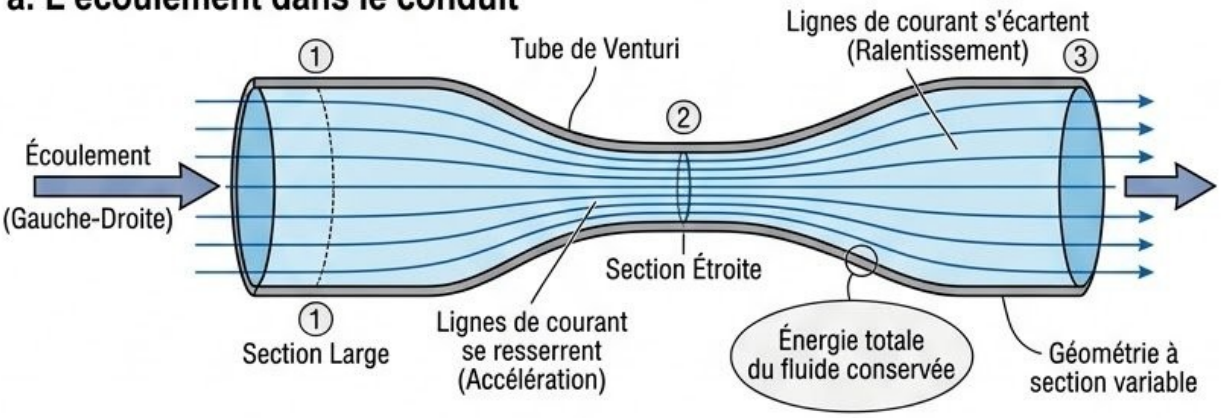
Chaque terme de cette équation représente une forme de pression ou d'énergie par unité de volume.

- $P$ : C'est la pression statique. Elle correspond à la pression que le fluide exercerait s'il était au repos.
- $\frac{1}{2}\rho v^2$ : C'est la pression dynamique. Elle représente l'énergie cinétique du fluide, liée à sa vitesse ($v$). La variable $\rho$ est la masse volumique du fluide.
- $\rho g z$ : C'est la pression de pesanteur ou hydrostatique. Elle représente l'énergie potentielle du fluide, liée à son altitude ($z$) par rapport à un point de référence. La variable $g$ est l'accélération de la pesanteur.

## Figure 1 : Réf. IMG (4361-6040-5660)

Schéma du principe de Bernoulli dans une conduite à section variable

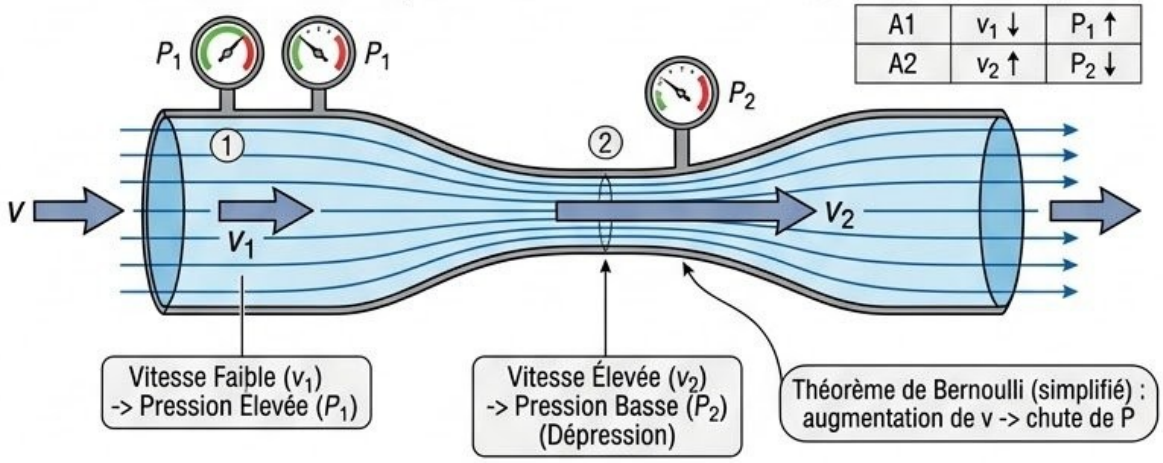
### a. L'écoulement dans le conduit



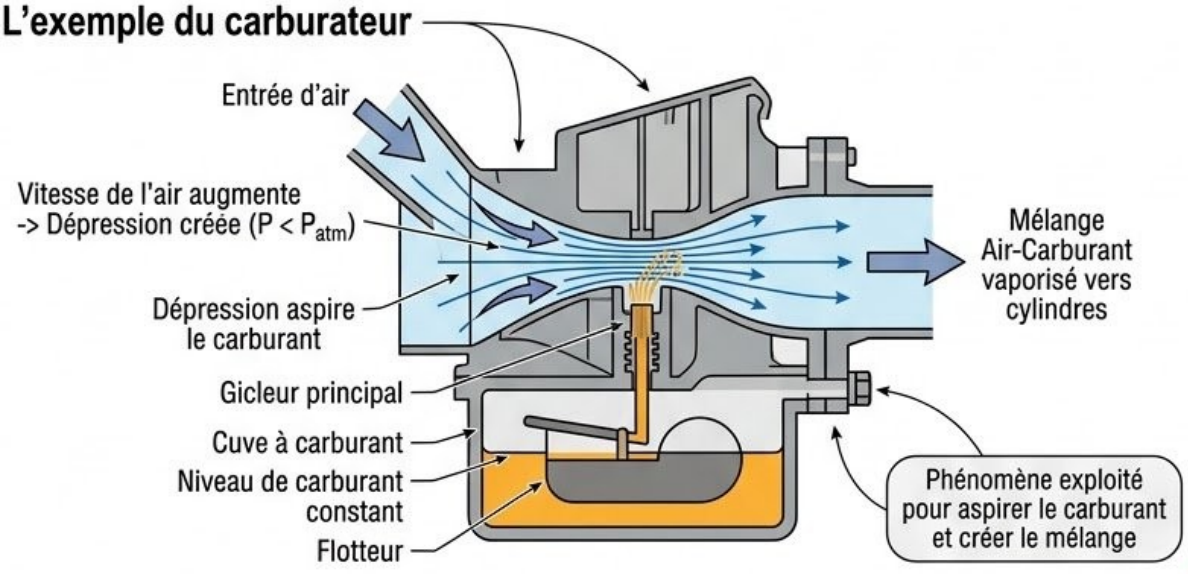

### b. La relation inverse vitesse-pression

Comparaison : Point 1 vs Point 2

| | | |
|---|---|---|
| A1 | $v_1 \downarrow$ | $P_1 \uparrow$ |
| A2 | $v_2 \uparrow$ | $P_2 \downarrow$ |




### c. L'exemple du carburateur



## Figure 1 : Réf. IMG (4361-6040-5660)

## Schéma du principe de Bernoulli dans une conduite à section variable

### a. L'écoulement dans le conduit

Un fluide s'écoule de gauche à droite dans un tube. La section du tube diminue au centre, puis s'élargit à nouveau. Cette géométrie, appelée "tube de Venturi", force le fluide à modifier sa vitesse. Au point le plus étroit, les lignes de courant se resserrent, indiquant une accélération. Inversement, elles s'écartent dans les sections plus larges, signe d'un ralentissement. L'énergie totale du fluide doit rester la même tout au long de ce trajet.

### b. La relation inverse vitesse-pression

Là où le tube est large, la vitesse du fluide ($v$) est faible. Pour que l'énergie totale soit conservée, la pression statique ($P$) doit être élevée. Dans la section étroite, la vitesse ($v$) augmente considérablement. Par conséquent, la pression statique ($P$) chute. Cette relation inverse entre vitesse et pression est le cœur du théorème de Bernoulli.

### c. L'exemple du carburateur

Cette chute de pression est précisément le phénomène exploité dans un carburateur de moteur à essence. L'air s'engouffre à grande vitesse dans le venturi du carburateur, créant une dépression. Cette dépression est suffisamment forte pour aspirer le carburant depuis la cuve et le mélanger à l'air avant son entrée dans les cylindres.

■ ■ ■

## B. Interprétation et Applications Automobiles

Le théorème de Bernoulli est un outil puissant pour l'analyse des systèmes automobiles. Il explique de nombreux phénomènes, du fonctionnement des injecteurs à l'aérodynamique du véhicule.

En considérant deux points (1 et 2) le long d'un filet de fluide, l'équation s'écrit :

$$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g z_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g z_2$$

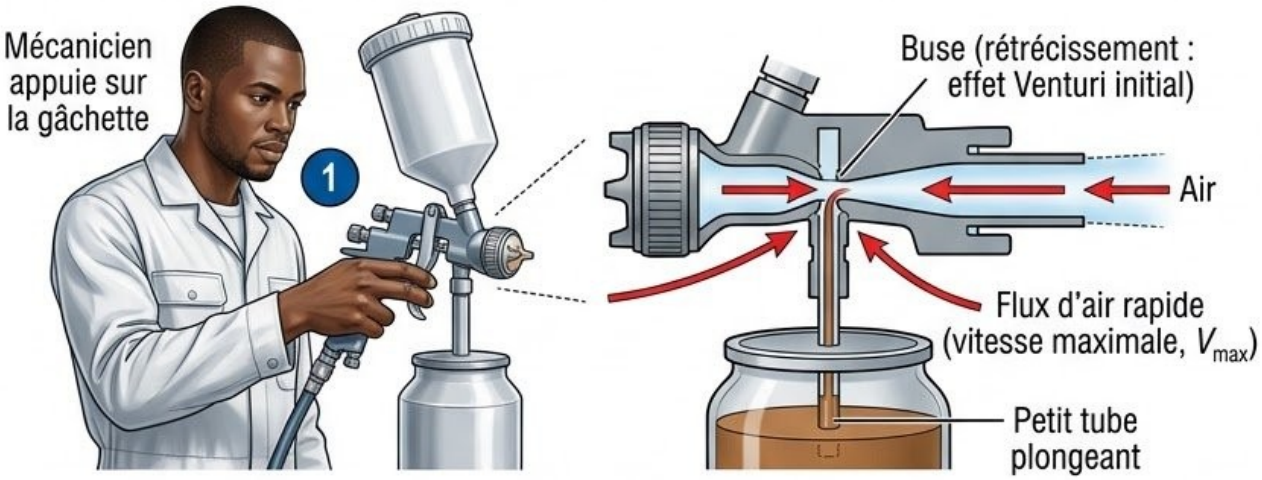
Cette formule permet de calculer une grandeur inconnue (pression ou vitesse) en un point, à condition de connaître les paramètres à l'autre point. Pour un tube horizontal ($z_1 = z_2$), l'équation se simplifie. Une augmentation de vitesse en 2 ($v_2 > v_1$) entraîne obligatoirement une baisse de pression en 2 ($P_2 < P_1$).

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

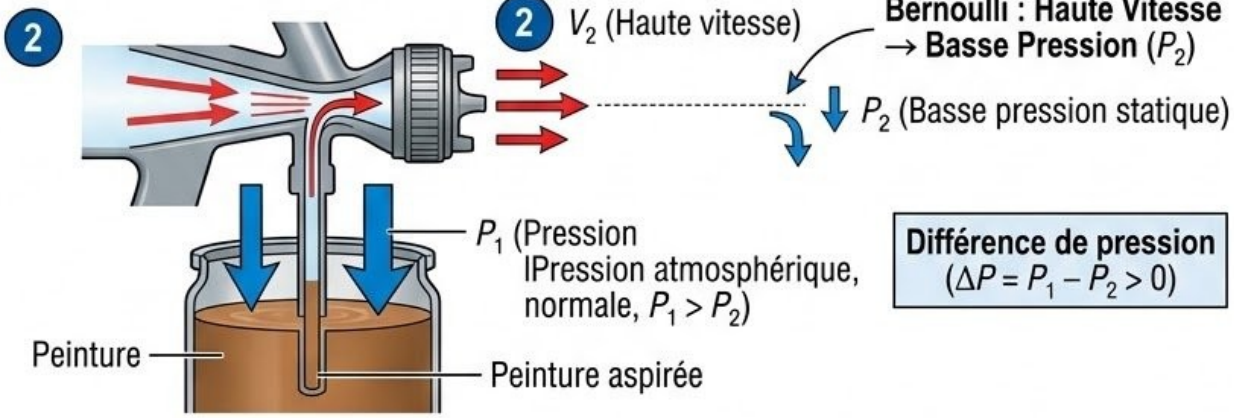
**Figure 2 : Réf. IMG (2872-9299-3846)**

Application du principe dans un pulvérisateur de peinture ou un pistolet à air

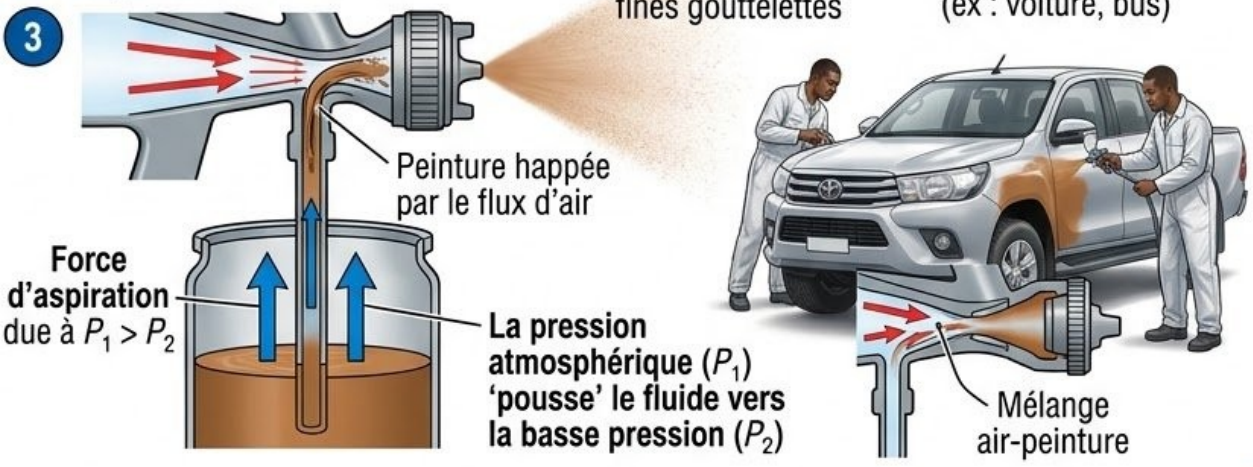
### a. La création du flux d'air




### b. La zone de dépression




### c. L'aspiration du fluide



## Figure 2 : Réf. IMG (2872-9299-3846)

## Application du principe dans un pulvérisateur de peinture ou un pistolet à air

### a. La création du flux d'air

Le mécanicien appuie sur la gâchette d'un pistolet à peinture. Cela libère un jet d'air comprimé qui passe à très grande vitesse au-dessus d'un petit tube plongeant dans le réservoir de peinture. La vitesse de l'air est maximale juste à la sortie de la buse, au-dessus de l'orifice du tube. Cet air rapide est le moteur du système.

### b. La zone de dépression

Selon Bernoulli, cet air à haute vitesse crée une zone de très basse pression statique ($P_2$). Pendant ce temps, la surface de la peinture dans le réservoir est soumise à la pression atmosphérique normale ($P_1$), qui est beaucoup plus élevée. La différence de pression ($P_1 > P_2$) se crée entre le bas et le haut du tube.

### c. L'aspiration du fluide

Cette différence de pression agit comme une force d'aspiration. La pression atmosphérique "pousse" la peinture vers le haut dans le tube, en direction de la zone de basse pression. Une fois arrivée en haut, la peinture est happée par le flux d'air et pulvérisée en fines gouttelettes vers la carrosserie.

■ ■ ■

---

## SCÉNARIOS ET EXERCICES

### Une leçon de mécanique à Matadi

Papa Mbuta, un vieux mécanicien du port de Matadi, dans le Kongo Central, a vu passer des générations de voitures. Son jeune apprenti, Fiston, est perplexe devant une vieille Toyota Corona dont le moteur toussote. Fiston veut démonter tout le carburateur. Papa Mbuta l'arrête d'un geste calme. Il prend un fil de cuivre fin et nettoie délicatement une minuscule pièce en laiton : le gicleur principal.

Il explique à Fiston : "La mécanique, ce n'est pas toujours la force. C'est comprendre le chemin de l'air et de l'essence. Ici, l'air doit courir très vite,

comme un sprinteur. Quand il court vite, il devient faible en pression et il aspire l'essence avec lui. Si son chemin est sale ou bouché, il ralentit. Il n'a plus la force d'aspirer. Le moteur a faim, il tousse." Sans le nommer, Papa Mbuta venait de résumer le théorème de Bernoulli.

## Exercice 1 : Le circuit d'eau de la REGIDESO à Kisangani

**Énoncé :** Une conduite d'eau horizontale de la REGIDESO à Kisangani (Province Orientale) a un diamètre de 10 cm ($D_1$) et transporte l'eau à une vitesse de 2 m/s ($v_1$) sous une pression de 300 000 Pa ($P_1$). La conduite se rétrécit pour passer à un diamètre de 5 cm ($D_2$). On suppose l'eau comme un fluide parfait. Calculez la pression ($P_2$) dans la partie étroite. (Masse volumique de l'eau $\rho = 1000$ kg/m³).

**Résolution pas-à-pas :**

1. **Étape 1 : Calculer les aires des sections** La formule de l'aire d'un cercle est $A = \pi r^2 = \pi (D/2)^2$.
   - Aire $A_1 = \pi (0.10/2)^2 = \pi (0.05)^2 \approx 0.00785$ m².
   - Aire $A_2 = \pi (0.05/2)^2 = \pi (0.025)^2 \approx 0.00196$ m².
2. **Étape 2 : Calculer la vitesse $v_2$ avec l'équation de continuité** Le débit volumique est constant : $A_1 v_1 = A_2 v_2$. On isole $v_2$ : $v_2 = v_1 \times (A_1 / A_2)$. $v_2 = 2\,\text{m/s} \times (0.00785/0.00196) = 2 \times 4 = 8$ m/s.
3. **Étape 3 : Appliquer le théorème de Bernoulli** La conduite est horizontale, donc $z_1 = z_2$. L'équation se simplifie : $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$.

   On isole $P_2$ : $P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho (v_1^2 - v_2^2)$.
4. **Étape 4 : Calculer la pression finale $P_2$**

   $P_2 = 300000 + \frac{1}{2} \times 1000 \times (2^2 - 8^2)$ $P_2 = 300000 + 500 \times (4 - 64)$

   $P_2 = 300000 + 500 \times (-60)$ $P_2 = 300000 - 30000 = 270000$ Pa. La pression dans la section étroite est de 270 000 Pascals.

## Exercice 2 : Le pulvérisateur de Maman Hélène au Kwilu

**Énoncé :** Maman Hélène, dans son jardin près de Bandundu (province du Kwilu), utilise un pulvérisateur manuel pour traiter ses plants de manioc. Le dispositif est composé d'une pompe qui envoie de l'air, d'un réservoir de produit et d'un tube qui plonge dans le liquide. Expliquez, en utilisant les

principes de Bernoulli, pourquoi le liquide monte dans le tube et se fait pulvériser.

**Résolution pas-à-pas :**

1. **Étape 1 : Identifier la source de vitesse** L'action de pomper pousse l'air à grande vitesse à travers la buse du pulvérisateur. Ce flux d'air passe juste au-dessus de l'ouverture du tube qui plonge dans le réservoir.
2. **Étape 2 : Analyser la pression au-dessus du tube** Selon le théorème de Bernoulli, une grande vitesse du fluide (ici, l'air) entraîne une basse pression statique. Une zone de dépression se forme donc à la sortie du tube.
3. **Étape 3 : Comparer les pressions** La surface du liquide dans le réservoir est soumise à la pression atmosphérique ambiante, qui est relativement élevée. La pression à l'intérieur du tube, au niveau de la buse, est très basse à cause du flux d'air rapide. Il existe donc une différence de pression significative entre le bas et le haut du tube.
4. **Étape 4 : Conclure sur le mouvement du liquide** La pression atmosphérique, plus forte, "pousse" le liquide contenu dans le réservoir à monter dans le tube pour combler la zone de basse pression. Une fois en haut, le liquide est emporté et atomisé par le courant d'air, créant le brouillard de pulvérisation.

---

## 1.2. Équation de Continuité et Débit Massique/Volumique

### a. Le principe de la conservation

Même si le majestueux fleuve Congo semble couler à un rythme uniforme entre Kisangani et Mbandaka, sa vitesse augmente de façon spectaculaire au niveau des rapides et des zones plus étroites. Ce phénomène observable à grande échelle répond à une loi physique simple et universelle.

Cette loi fondamentale est l'équation de continuité. Elle décrit le comportement des fluides en mouvement dans une conduite de section variable. Son application est cruciale dans les circuits hydrauliques (freinage, direction assistée) et les systèmes d'alimentation en carburant de nos véhicules.

## A. Débit Volumique et Débit Massique

Un fluide en mouvement est caractérisé par son débit. Le débit mesure la quantité de fluide qui traverse une section donnée par unité de temps. Cette mesure peut être volumique ou massique.

Le **débit volumique**, noté $Q_v$, représente le volume $V$ de fluide qui s'écoule pendant un temps $t$.

$$Q_v = \frac{V}{t}$$

Il s'exprime en mètres cubes par seconde ($m^3/s$). Le débit volumique est aussi le produit de la section de la conduite $S$ (en $m^2$) par la vitesse moyenne du fluide $v$ (en m/s).

$$Q_v = S \times v$$

Le **débit massique**, noté $Q_m$, représente la masse $m$ de fluide qui s'écoule pendant un temps $t$. Il s'exprime en kilogrammes par seconde (kg/s).

$$Q_m = \frac{m}{t}$$

Ces deux débits sont liés par la masse volumique $\rho$ (en $kg/m^3$) du fluide.

$$Q_m = \rho \times Q_v$$

## B. L'Équation de Continuité

L'équation de continuité est une expression du principe de conservation de la masse. Pour un fluide incompressible (liquide), la masse qui entre dans une section de conduite doit obligatoirement en ressortir à l'autre bout. Le débit massique est donc constant tout le long de la conduite.

Prenons une conduite dont la section varie entre un point 1 et un point 2.

$$Q_{m1} = Q_{m2}$$

Puisque $\rho$ est constant pour un liquide, il en découle que le débit volumique est également constant.

$$Q_{v1} = Q_{v2}$$

En développant cette égalité, nous obtenons l'équation de continuité :

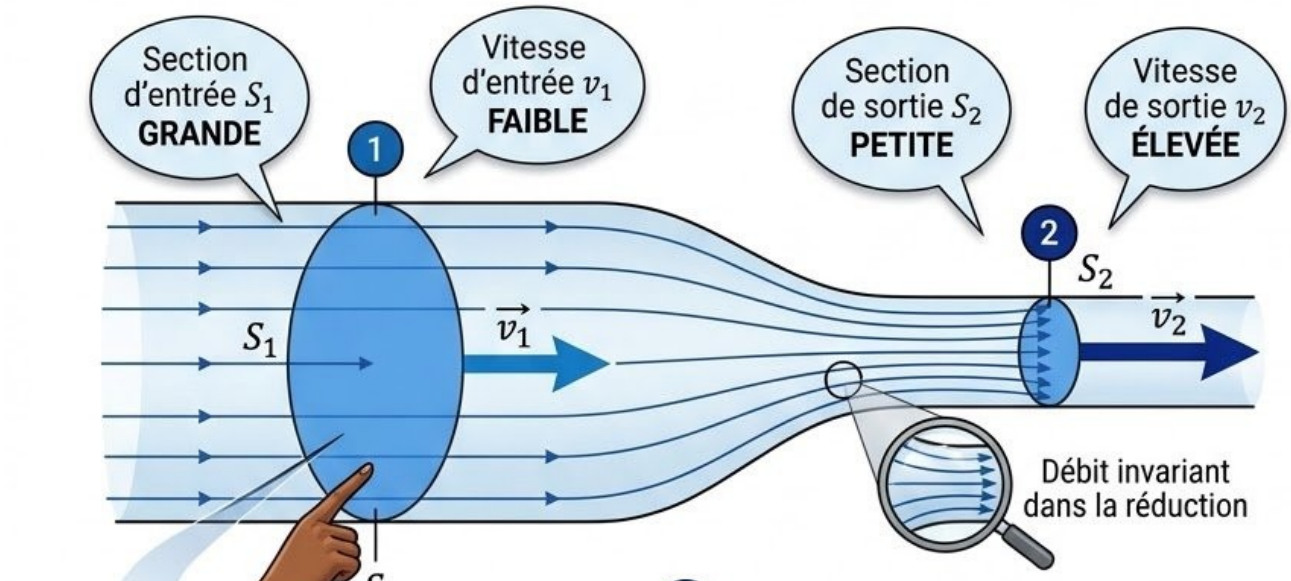
$$S_1 \times v_1 = S_2 \times v_2$$

Cette relation montre une chose essentielle : la vitesse du fluide est inversement proportionnelle à la section de la conduite. Si la section diminue, la vitesse du fluide augmente pour maintenir un débit constant.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

**Figure 3 :** Réf. IMG (4601-8100-7623)

## Équation de continuité dans une conduite à section variable




### 1 Conservation du débit volumique ($Q_v$)

Le fluide incompressible (huile, essence) **conserve** son débit.

La même quantité de fluide passe par $S_1$ et $S_2$ chaque seconde.

$$Q_v = Constant$$




### 2 Relation mathématique (l'Équation de Continuité)

Puisque la **masse volumique** $\rho$ est **constante**.

$$S_1 \times v_1 = S_2 \times v_2$$

Masse volumique $\rho$ est constante.

Vitesse de vitesse $v_2$ de constante.

### 3 Accélération du fluide

**Condition:** Section de sortie $S_2 < S_1$ (Petite section)

**Résultat:** Vitesse de sortie $v_2 > v_1$ (Vitesse élevée pour compenser)

**Application:** Injecteur (Ex: Pulvérisation carburant).

