Code : MS123456

TECHNOLOGIE D'AJUSTAGE

FILIÈRE : MÉCANIQUE AUTOMOBILE

ENSEIGNEMENT TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL



1ÈRE

République Démocratique du Congo
/ Afrique

MAÎTRISER LA PRÉCISION POUR L'EXCELLENCE AUTOMOBILE



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Généraux du Cours 1

- 1. Maîtrise des concepts fondamentaux 1
- 2. Compétence d'identification et de classification 1
- 3. Compréhension des procédés de transformation 1
- 4. Application au diagnostic de défaillance 1

Directives Méthodologiques et Sécuritaires 2

- 1. Progression Didactique 2
- 2. Articulation Théorie-Pratique 2
- 3. Primauté de la Sécurité 2

Profil de Sortie de l'Élève 2

- 1. Maîtrise des savoirs fondamentaux 2
- 2. Acquisition des compétences techniques 3
- 3. Développement d'une attitude professionnelle 3

PARTIE 1. PROPRIÉTÉS FONDAMENTALES ET RESSOURCES MINÉRALES **4**

Introduction : De la mine au moteur 4

Les propriétés, un code à déchiffrer 4

Le Congo, un laboratoire à ciel ouvert 4

L'objectif du mécanicien-métallurgiste 4

CHAPITRE 1. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES MÉTAUX **5**

1.1. Structure atomique et cristalline des métaux 5

- a. L'ordre caché de la matière 5
- A. L'atome : la brique élémentaire du métal 5
- B. La structure cristalline : l'ordre des atomes 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (2888-7136-7545) **8**

Comparaison des réseaux cristallins cubique centré (CC) et cubique à faces ce 8

- Anecdote : Le secret des forgerons du Kwilu 8

1.2. Masse volumique et densité 10

- a. Le paradoxe de la pirogue et du caillou 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. La masse volumique (ρ)..... 10

FIGURE 2 : RÉF. IMG (5940-1643-7760)..... 13

Comparaison visuelle de la masse volumique de deux métaux courants..... 13

- B. La densité (d)..... 13

FIGURE 3 : RÉF. IMG (7616-3410-7509)..... 16

Le principe de la densité illustré par la flottaison..... 16

- C. Application en mécanique automobile..... 16

1.3. Points de fusion et conductibilité thermique..... 18

- a. La signature thermique du métal..... 18
- A. Le point de fusion : la température de la transformation..... 18
- B. La conductibilité thermique : l'autoroute de la chaleur..... 19

FIGURE 4 : RÉF. IMG (5358-0984-7353)..... 21

Comparaison de la conductibilité thermique entre le cuivre et l'acier..... 21

- Anecdote du soudeur de Kisangani..... 21

1.4. Résistance à la corrosion et oxydation..... 23

- a. La guerre silencieuse du métal..... 23
- A. Oxydation et Corrosion : Définitions..... 23

FIGURE 5 : RÉF. IMG (5893-2053-0220)..... 25

Comparaison visuelle entre un acier sain et un acier corrodé..... 25

- B. Les principaux types de corrosion en mécanique..... 25

FIGURE 6 : RÉF. IMG (2075-3026-1802)..... 28

Types de corrosion sur un longeron de châssis automobile..... 28

- Scénarios et Exercices..... 28
- Une anecdote de l'atelier de Papa Kanku à Kananga..... 28

CHAPITRE 2. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET TECHNOLOGIQUES..... 31

2.1. Élasticité et plasticité..... 31

- a. De la branche de manguier à la lame de suspension..... 31
- A. L'élasticité : la mémoire de forme du métal..... 31
- B. La plasticité : la déformation permanente..... 31

FIGURE 7 : RÉF. IMG (8004-5850-6332)..... 34

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Courbe de traction simple illustrant l'élasticité et la plasticité d'un métal.....34
- b. L'anecdote du carrossier de Mbandaka.....34

2.2. Dureté, ténacité et résilience.....36
- a. Le paradoxe du verre et de l'acier.....36
- A. La dureté : Résister à la pénétration.....36

FIGURE 8 : RÉF. IMG (1560-4288-8391).....38

Schéma comparatif d'essais de dureté Brinell et Rockwell sur l'acier.....38
- B. La ténacité : Endurer avant de rompre.....38
- C. La résilience : Absorber les chocs violents.....38

2.3. Malléabilité et ductilité.....41
- a. La distinction du forgeron.....41
- A. La malléabilité : la capacité à s'aplatir.....41
- B. La ductilité : la capacité à s'étirer.....41
- C. La différence est une question de force.....42

2.4. Fusibilité et soudabilité.....44
- a. Le conseil du vieux soudeur.....44
- A. La fusibilité : l'art de passer du solide au liquide.....44
- B. La soudabilité : l'aptitude au mariage des métaux.....45

CHAPITRE 3. MINÉRALOGIE ET PRÉPARATION DES MINERAIS.....48

3.1. Gisements métallifères en RDC.....48
- a. Du sous-sol à la carrosserie.....48
- A. L'Arc Cuprifère du Katanga : Cuivre et Cobalt.....48

FIGURE 9 : RÉF. IMG (6707-1183-2999).....49

Carte des principaux gisements miniers métallifères de la République Démocrat.....49
- B. Richesses diversifiées : Étain, Or et Coltan.....49

FIGURE 10 : RÉF. IMG (9814-4508-2959).....52

Échantillons de Malachite (minerai de cuivre) et de Cassitérite (minerai d'ét.....52
- L'anecdote du Vieux Banza, mécanicien à Boma.....52

3.2. Extraction et concassage du minerai.....54
- a. Le premier métallurgiste.....54
- A. L'extraction : Arracher le trésor à la terre.....54
- B. Le concassage et le broyage : De la montagne au grain de sable.....54

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 11 : RÉF. IMG (0904-1484-0579)....56

Schéma simplifié des étapes de concassage primaire et secondaire du minerai....56

- Anecdote : La leçon du chantier de Papa Yenga....56

3.3. Enrichissement : Traitement des oxydes et sulfures....58

- a. De la roche brute au métal utile....58
- A. La réduction des oxydes : le cas du fer....58

FIGURE 12 : RÉF. IMG (5804-7220-8359)....60

Schéma simplifié d'un haut-fourneau pour la réduction du minerai de fer....60

- B. Le grillage des sulfures : l'exemple du cuivre....60

FIGURE 13 : RÉF. IMG (0819-5254-2520)....62

Principe du grillage d'un minerai de sulfure dans un four industriel....62

- b. Scénarios et Exercices....62

3.4. Agglomération et préparation de la charge....63

- a. Transformer la poussière en richesse....63
- A. Les objectifs de l'agglomération....64
- B. Les deux grandes méthodes : Frittage et Bouletage....64

FIGURE 14 : RÉF. IMG (9080-6730-9997)....65

Schéma d'une chaîne de frittage pour minerai de fer....65

FIGURE 15 : RÉF. IMG (1183-2767-8734)....67

Processus de formation des boulettes de minerai en tambour....67

- b. Scénarios et Exercices....67

PARTIE 2. ÉLABORATION DES MÉTAUX FERREUX (SIDÉRURGIE)....70

Du minerai au métal....70

Le haut-fourneau, un géant industriel....70

Les premiers produits : la fonte et le laitier....70

De la fonte à l'acier : l'étape de l'affinage....70

CHAPITRE 4. PRODUCTION DE LA FONTE (LE HAUT FOURNEAU)....71

4.1. Constitution et profil du haut fourneau....71

- a. L'ancêtre de tous les moteurs....71
- A. L'anatomie d'un géant....71

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. La logique du profil....72

FIGURE 16 : RÉF. IMG (7494-5560-7677)....74

Coupe schématique d'un haut fourneau et ses cinq zones principales....74

- L'avis du vieux Mbuta, mécanicien à Lubumbashi....74

4.2. Fonctionnement et réactions chimiques....76

- a. Le géant qui respire du feu....76
- A. Les trois acteurs de la transformation (Les charges)....76
- B. La descente et les zones de réaction....77

FIGURE 17 : RÉF. IMG (6992-8939-2803)....78

Schéma simplifié des zones de réaction chimique du haut fourneau....78

- C. La récolte : fonte et laitier....78

4.3. Les produits du haut fourneau : Fonte et Laitier....80

- a. L'art de la séparation....80
- A. La Fonte, matière première de l'acier....80
- B. Le Laitier, un déchet valorisable....81

4.4. Les appareils annexes (Cowpers et épuration)....83

- a. Les partenaires indispensables du géant de fonte....83
- A. Les Cowpers : les poumons chauds du haut fourneau....84

FIGURE 18 : RÉF. IMG (9322-5539-5775)....85

Schéma de fonctionnement d'un récupérateur de chaleur type Cowper....85

- B. L'épuration du gaz de gueulard....85

FIGURE 19 : RÉF. IMG (7340-4680-1166)....88

Circuit d'épuration du gaz de gueulard d'un haut fourneau....88

- b. L'anecdote de Papa Mavungu à Maluku....88

CHAPITRE 5. PRODUCTION DE L'ACIER (L'ACIÉRIE)....91

5.1. Principe de l'affinage de la fonte....91

- a. L'acier, une question de pureté....91
- A. La nature impure de la fonte....91
- B. L'affinage : Une combustion contrôlée....91

FIGURE 20 : RÉF. IMG (1552-3949-2296)....94

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Schéma simplifié d'un convertisseur à oxygène en pleine action d'affinage.....94
- Anecdote : Le secret du forgeron de Boma.....94

5.2. Convertisseurs à l'oxygène (Procédé LD/Acier au vent).....96
- a. De la forge ancestrale à la tornade d'oxygène.....96
- A. Le principe de l'affinage à l'oxygène pur.....96

FIGURE 21 : RÉF. IMG (7934-9614-4390).....97

Schéma simplifié d'un convertisseur LD en phase de soufflage d'oxygène.....97
- B. Les trois étapes du procédé LD (Linz-Donawitz).....97

FIGURE 22 : RÉF. IMG (2613-4366-0959).....100

Les trois phases clés du cycle de production de l'acier LD.....100
- Anecdote : Le rugissement de l'aciérie de Maluku.....100

5.3. Fours à sole (Procédé Martin-Siemens).....102
- a. L'intelligence du recyclage thermique.....102
- A. Principe de fonctionnement du four à sole.....102

FIGURE 23 : RÉF. IMG (1215-8896-4040).....104

Schéma de principe d'un four Martin-Siemens avec ses récupérateurs de chaleur.....104
- B. Les phases de l'élaboration.....104

FIGURE 24 : RÉF. IMG (5251-9443-5992).....106

Vue en coupe du bain d'acier en fusion dans le four.....106
- b. L'héritage d'un géant endormi.....106

5.4. Four électrique à arc.....108
- a. L'alternative au gigantisme des hauts fourneaux.....108
- A. Principe de fonctionnement.....108

FIGURE 25 : RÉF. IMG (7765-6215-4004).....111

Schéma simplifié d'un four électrique à arc en pleine fusion.....111
- B. Avantages et matières premières.....111

CHAPITRE 6. CLASSIFICATION ET DÉSIGNATION NORMALISÉE.....114

6.1. Classification des fontes (Grise, Blanche, Truitée).....114
- a. Le caractère caché du carbone.....114
- A. La fonte grise : la plus courante et la plus "douce".....114

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 26 : RÉF. IMG (3088-3729-3704)....116

Microstructures comparées des fontes grise et blanche vues au microscope....116

- B. La fonte blanche : la plus dure et la plus résistante à l'usure....116
- C. La fonte truitée : l'hybride....117

FIGURE 27 : RÉF. IMG (8778-3924-6256)....119

Aspect de la cassure d'une fonte grise et d'une fonte blanche....119

- a. L'anecdote du Vieux Masudi....119

6.2. Classification des aciers ordinaires et de construction....121

- a. Le langage secret du métal....121
- A. Classification selon l'usage....121
- B. Classification selon la composition chimique (teneur en carbone)....122

FIGURE 28 : RÉF. IMG (7460-2038-1115)....124

Exemples d'aciers de construction dans un véhicule automobile typique....124

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....124

6.3. Aciers spéciaux et alliés....126

- a. L'acier qui ne voulait pas rouiller....126
- A. Définition et rôle des éléments d'alliage....126

FIGURE 29 : RÉF. IMG (6892-1634-7070)....128

Impact des éléments d'alliage sur les propriétés de l'acier....128

- B. Applications automobiles courantes....128

6.4. Désignation normalisée des métaux ferreux....130

- a. L'ordre avant le chaos....130
- A. La désignation numérique : La carte d'identité de l'acier....131

FIGURE 30 : RÉF. IMG (2756-5677-3520)....132

Déchiffrer le code d'un acier de construction type S235....132

- B. La désignation symbolique : La composition chimique révélée....132

PARTIE 3. TRANSFORMATION ET MISE EN FORME DES MÉTAUX....135

a. Du bloc brut à la pièce finie....135

b. Le rôle essentiel de la chaleur....135

c. Les grandes familles de procédés....135

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

d. L'impact sur la structure et les propriétés.....135

CHAPITRE 7. TRAVAIL MÉCANIQUE DE L'ACIER (DÉFORMATION).....136

7.1. Le laminage à chaud et à froid.....136
- a. Une question de température.....136
- A. Le laminage à chaud : la force tranquille.....136
- B. Le laminage à froid : la précision chirurgicale.....136

7.2. Le forgeage et l'estampage.....138
- a. L'art du marteau et de l'enclume.....138
- A. Le forgeage : La puissance contrôlée.....138

FIGURE 31 : RÉF. IMG (3720-4978-6733).....141

Comparaison de la structure interne d'une pièce usinée et forgée.....141
- B. L'estampage : La précision en série.....141

FIGURE 32 : RÉF. IMG (1219-7220-1567).....142

Schéma simplifié du processus d'estampage d'une bielle de moteur.....142
- Anecdote : Le vilebrequin de Matadi.....142

7.3. Étirage, tréfilage, extrusion et repoussage.....144
- a. L'art de sculpter le métal sans enlever de matière.....144
- A. Étirage et Tréfilage : La Traction Contrôlée.....144

FIGURE 33 : RÉF. IMG (0826-5451-8607).....146

Schéma simplifié du principe de tréfilage et d'extrusion directe.....146
- B. Extrusion : La Poussée Productive.....146
- C. Repoussage : La Sculpture en Rotation.....147

CHAPITRE 8. TECHNIQUES DE FONDERIE ET MOULAGE.....149

8.1. Préparation des moules (Sable et Coquille).....149
- a. L'empreinte du métal.....149
- A. Le moulage en sable : la méthode universelle.....149

FIGURE 34 : RÉF. IMG (7035-5539-9429).....150

Schéma d'un moule en sable avec ses deux châssis.....150
- B. Le moulage en coquille : précision et production en série.....150

8.2. Fusion et coulée des pièces (Cubilot).....152

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'art ancestral de la fusion.....152
- A. Structure et principe du cubilot.....152
- B. Le cycle de fusion : de la charge à la coulée.....153

FIGURE 35 : RÉF. IMG (5659-3808-9346).....155

Schéma de principe d'un cubilot et ses zones de température.....155

- Anecdote : Le baptême du feu à Maluku.....155

8.3. Défauts de moulage et parachèvement.....157

- a. L'imperfection comme point de départ.....157
- A. Identification des Défauts Courants.....157

FIGURE 36 : RÉF. IMG (0005-0647-9994).....159

Anatomie d'une pièce moulée présentant des défauts de fonderie courants.....159

- B. Le Parachèvement : La Finition de la Pièce.....159

FIGURE 37 : RÉF. IMG (8756-9965-9128).....162

Les trois étapes essentielles du parachèvement d'une pièce brute de fonderie.....162

- Anecdote : La sagesse du vieux Tata Ngemba à Matadi.....162

8.4. Fonderie des alliages légers (Aluminium).....164

- a. L'aluminium, de la marmite au moteur.....164
- A. L'aluminium : Le poids plume aux muscles d'acier.....164
- B. Le défi de la fusion : L'alumine, cette peau tenace.....164

FIGURE 38 : RÉF. IMG (8981-7207-0673).....167

Schéma simplifié du problème de la couche d'alumine en fonderie.....167

- C. Techniques de moulage pour l'automobile.....167

CHAPITRE 9. TRAITEMENTS THERMIQUES ET DE SURFACE.....170

9.1. Diagramme Fer-Carbone (Introduction simplifiée).....170

- a. La carte au trésor du forgeron.....170
- A. Lire le diagramme : Axes et zones clés.....170

FIGURE 39 : RÉF. IMG (7455-9206-0385).....172

Le diagramme fer-carbone simplifié pour les aciers courants.....172

- B. Le carbone : le "piment" de l'acier.....172

FIGURE 40 : RÉF. IMG (9535-8459-4965).....175

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Influence de la teneur en carbone sur la microstructure de l'acier....175
- b. L'anecdote de Papa Fiston, le roi du ressort à Lubumbashi....175

9.2. La trempe et le revenu....177
- a. Le secret des forgerons et des mécaniciens....177
- A. La trempe : durcir l'acier à tout prix....177

FIGURE 41 : RÉF. IMG (3385-8005-6691)....179

Schéma du processus de trempe d'une pièce d'acier chauffée au rouge....179
- B. Le revenu : l'art de la souplesse contrôlée....179

FIGURE 42 : RÉF. IMG (2527-0372-4482)....182

Graphique illustrant l'influence de la température de revenu sur la dureté....182
- Anecdote du mécanicien de Lubumbashi....182

9.3. Le recuit....184
- a. Un savoir-faire ancestral....184
- A. Le principe du recuit : restaurer la structure du métal....184

FIGURE 43 : RÉF. IMG (9725-5712-6007)....185

Comparaison de la structure de l'acier avant et après recuit....185
- B. Les trois phases du cycle de recuit....185

FIGURE 44 : RÉF. IMG (3641-0424-2369)....188

Courbe de température typique d'un cycle de traitement de recuit....188
- Scénarios et Exercices....188

9.4. Traitements de surface et protection....190
- a. Le métal mis à nu....190
- A. Les objectifs d'un traitement de surface....190
- B. Les principales techniques de protection....191

FIGURE 45 : RÉF. IMG (6287-5707-7170)....193

Structure multicouche d'une peinture de carrosserie automobile moderne....193
- C. La galvanisation : le sacrifice du zinc....193

FIGURE 46 : RÉF. IMG (6915-1152-7851)....195

Comparaison visuelle entre un clou en acier rouillé et un clou galvanisé....195
- L'anecdote du mécanicien de la Gombe....195

ANNEXES.....**198**

Glossaire Technique.....198

- A. Propriétés Mécaniques des Métaux.....198
- B. Classification des Métaux pour l'Automobile.....198
- C. Traitements Thermiques Fondamentaux.....200

Fiches de Sécurité en Métallurgie.....201

- A. Principes Fondamentaux de la Fiche de Données de Sécurité (FDS).....201
- B. Structure Réglementaire de la FDS en 16 Rubriques.....201

Tableau Périodique Appliqué à l'Automobile.....204

- A. Classification et Rôles Fondamentaux.....204
- B. Éléments Clés et Leurs Alliages.....206
- C. Les Agents d'Alliage Stratégiques.....207

Carte des Ressources Minières de la RDC.....208

- A. Minerais Ferreux et Ferro-alliages.....208
- B. Métaux de Base (Non-ferreux).....209
- C. Métaux Stratégiques.....211

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Généraux du Cours

Cet enseignement vise l'acquisition rigoureuse des savoirs fondamentaux en métallurgie appliquée. La finalité est de doter l'apprenant d'une compétence technique qui dépasse la simple exécution de tâches mécaniques. Il s'agit de former un technicien capable d'analyser, de diagnostiquer et de justifier ses interventions sur la base d'une connaissance matérielle solide.

1. Maîtrise des concepts fondamentaux

L'étudiant acquiert une connaissance précise des structures atomiques et cristallines des métaux. Il établit une distinction claire entre les propriétés physiques (masse volumique, conductivité) et les propriétés mécaniques (résistance, élasticité, dureté, résilience). Cette base théorique structure toute compréhension ultérieure du comportement des matériaux sous contrainte.

2. Compétence d'identification et de classification

Le programme développe une compétence pratique d'identification des principaux alliages. L'apprenant apprend à classifier les matériaux métalliques du parc automobile. Il différencie les alliages ferreux (aciers, fontes) et non-ferreux (alliages d'aluminium, de cuivre, de titane). Cette taxonomie est une compétence essentielle au diagnostic et au choix des procédures de réparation.

3. Compréhension des procédés de transformation

Une analyse des procédés de mise en forme et de traitement constitue un axe central. Le cours expose les principes de la fonderie, du forgeage, de l'emboutissage et des traitements thermiques. L'objectif est de corréler un procédé de fabrication à la microstructure et aux performances mécaniques finales d'un composant automobile (bielle, carter, jante).

4. Application au diagnostic de défaillance

L'ensemble de ces connaissances converge vers une finalité professionnelle. La métallurgie devient ici un outil d'analyse pour la maintenance. L'apprenant devient capable d'interpréter une défaillance (rupture fragile/ductile, usure, corrosion) en la reliant à la nature du matériau, à son historique thermique ou à une sollicitation mécanique inadaptée.

Directives Méthodologiques et Sécuritaires

1. Progression Didactique

L'enseignement de la métallurgie obéit à une progression du général au particulier. Il s'initie par l'étude des propriétés fondamentales des métaux purs. Progressivement, la matière s'oriente vers l'analyse des alliages, de leurs traitements thermiques et de leurs applications spécifiques aux composants automobiles. Chaque nouvelle connaissance s'appuie sur la maîtrise des notions antérieures, garantissant une construction solide du savoir.

2. Articulation Théorie-Pratique

Toute abstraction théorique trouve son corollaire immédiat dans la pratique d'atelier. Une leçon sur la ductilité ou la malléabilité, par exemple, requiert une démonstration tangible via un essai de pliage ou de forgeage. L'atelier n'est pas un simple lieu d'application. Il est le laboratoire où les concepts théoriques sont vérifiés et assimilés sensoriellement. La manipulation consolide l'apprentissage.

3. Primauté de la Sécurité

La sécurité est un principe transversal et non un chapitre isolé. Elle innerve chaque segment du cours, théorique comme pratique. L'enseignant incarne par son propre comportement l'exigence absolue du respect des normes. Le port des Équipements de Protection Individuelle (EPI), la manipulation des outils et la gestion des postes de travail sont des réflexes à inculquer dès le premier jour. Aucune dérogation n'est acceptable.

Profil de Sortie de l'Élève

1. Maîtrise des savoirs fondamentaux

Au terme du parcours, l'élève possède une connaissance structurée des grandes familles de matériaux métalliques. Il distingue précisément les métaux ferreux des non-ferreux et énonce leurs principales applications dans le secteur automobile. L'apprenant décrit les structures cristallines (CFC, CC, HC) et explique leur influence sur les propriétés mécaniques. Il interprète les informations essentielles du diagramme d'équilibre fer-carbone pour comprendre la nature des aciers et des fontes.

2. Acquisition des compétences techniques

L'élève est capable de lire et d'interpréter une désignation normalisée pour les aciers, les fontes et les alliages d'aluminium. Pratiquement, il met en œuvre les protocoles pour des essais mécaniques fondamentaux, tels que l'essai de traction ou de dureté. Il sait identifier visuellement une structure de rupture, qu'elle soit ductile ou fragile. L'apprenant choisit le traitement thermique approprié (trempe, revenu, recuit) pour modifier la dureté d'une pièce en acier au carbone.

3. Développement d'une attitude professionnelle

Professionnellement, l'élève intègre les règles de sécurité relatives à l'utilisation des fours et des machines d'essais. Il développe un esprit d'analyse pour lier une avarie mécanique (usure, corrosion, fissure) à une cause métallurgique. Sa démarche diagnostique s'appuie sur une observation méthodique et une application rigoureuse des connaissances théoriques. Il communique ses observations techniques avec un vocabulaire précis et adéquat.

Partie 1. Propriétés Fondamentales et Ressources Minérales

Introduction : De la mine au moteur

Tout métal provient de la terre. Sous nos pieds, le sol congolais, du Katanga au Kivu, regorge de minerais qui sont la base de toute l'industrie moderne. Pourtant, une roche brute ne fait pas un piston. Entre la pierre extraite de la mine et le moteur qui vrombit sur l'avenue du 30 Juin, il existe un long processus de transformation. Ce parcours est celui de la métallurgie.

Les propriétés, un code à déchiffrer

Choisir un métal pour une pièce mécanique n'est jamais un hasard. La dureté d'un acier pour un vilebrequin, la légèreté de l'aluminium pour une jante ou la conductivité du cuivre pour un faisceau électrique sont des choix techniques. Chaque métal possède une carte d'identité précise. Ses propriétés physiques et chimiques dictent son usage. Les comprendre, c'est savoir lire le langage secret de la matière.

Le Congo, un laboratoire à ciel ouvert

La République Démocratique du Congo est un acteur central des ressources minérales. Le cuivre et le cobalt de l'espace Grand Katanga, le coltan des Kivu, le diamant du Kasaï sont des noms connus mondialement. Pour le futur mécanicien, cette richesse a un sens concret. Le cobalt est dans les batteries des voitures électriques, l'acier provient du fer, et chaque véhicule est une collection de minerais transformés.

L'objectif du mécanicien-métallurgiste

Un bon mécanicien automobile ne change pas seulement les pièces. Il comprend pourquoi une pièce a cédé. Il sait diagnostiquer la "maladie" du métal. Identifier une fissure de fatigue sur un cardan ou une corrosion galvanique sur une carrosserie à Boma demande une connaissance fine des matériaux. L'objectif est donc de former des techniciens capables de penser le véhicule jusqu'à sa structure atomique.

Chapitre 1. Propriétés Physiques et Chimiques des Métaux

1.1. Structure atomique et cristalline des métaux

a. L'ordre caché de la matière

Un des faits les plus étonnants de la métallurgie concerne la solidité. Un bloc d'acier pour un châssis de bus à Matadi semble plein et indivisible. Pourtant, cette matière est un immense vide, rempli de particules organisées de manière incroyablement précise : les atomes.

Cette organisation interne, invisible à l'œil nu, détermine tout. Elle explique pourquoi un métal plie, casse, conduit la chaleur ou résiste à la rouille. Comprendre cet arrangement est la base de toute la mécanique automobile.

A. L'atome : la brique élémentaire du métal

Chaque métal est un assemblage de milliards d'atomes identiques. Un atome est lui-même composé d'un noyau central, chargé positivement, et d'électrons, chargés négativement, qui gravitent autour.

Dans un métal, les électrons de la dernière couche ne sont pas attachés à un seul atome. Ils se déplacent librement à travers tout le matériau, formant ce qu'on appelle une "mer d'électrons" ou un "gaz d'électrons". Cette mer d'électrons partagés crée une liaison très forte qui maintient les noyaux ensemble. C'est la liaison métallique.

Cette structure unique explique deux propriétés fondamentales des métaux :
- **La conductivité électrique et thermique :** Les électrons libres se déplacent facilement, transportant l'énergie électrique (courant) ou thermique (chaleur). - **La solidité :** La liaison métallique est une attraction forte et multidirectionnelle qui assure la cohésion du matériau.

B. La structure cristalline : l'ordre des atomes

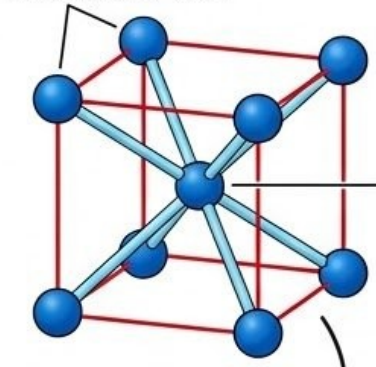
Les atomes d'un métal ne sont pas placés au hasard comme des mangues dans un sac. Soumis à la liaison métallique, ils s'organisent en un réseau tridimensionnel, géométrique et répétitif. Cet arrangement ordonné est la structure cristalline.

Le plus petit motif de ce réseau qui se répète dans l'espace est la maille élémentaire. En mécanique, deux types de mailles cubiques sont essentiels.

- **Le Cubique Centré (CC) :** Il possède un atome à chaque sommet du cube et un atome en son centre. Le fer (à température ambiante) ou le chrome adoptent cette structure. Elle rend les métaux durs et résistants.
- **Le Cubique à Faces Centrées (CFC) :** Il possède un atome à chaque sommet et un atome au centre de chacune des six faces du cube. L'aluminium, le cuivre et le nickel ont cette structure. Elle est plus dense et permet aux métaux d'être plus ductiles (faciles à déformer sans casser).

Figure 1 : Réf. IMG (2888-7136-7545) — **Comparaison des réseaux cristallins cubique centré (CC) et cubique à faces centrées (CFC)**

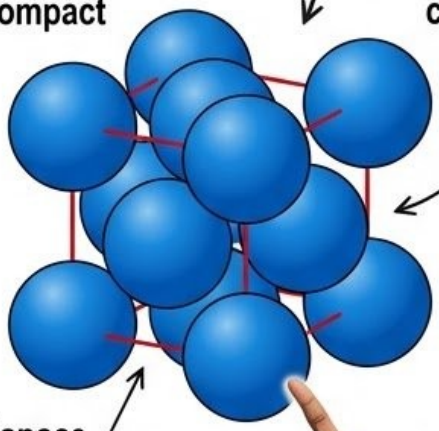
b. La structure Cubique Centrée (CC)



Atomes de coin

Métaux correspondants : Fer (Fe), etc.

Atome central unique



Réseau moins compact

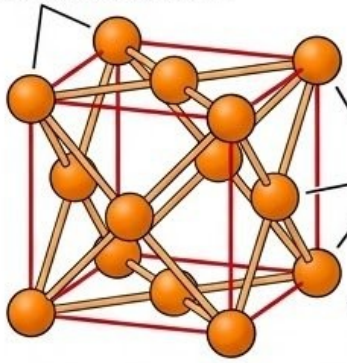
Réseau compact

Espace plus grand entre les atomes

Confère :

- **Grande dureté**
- **Bonne résistance mécanique**
- **Fragilité à très basse température**

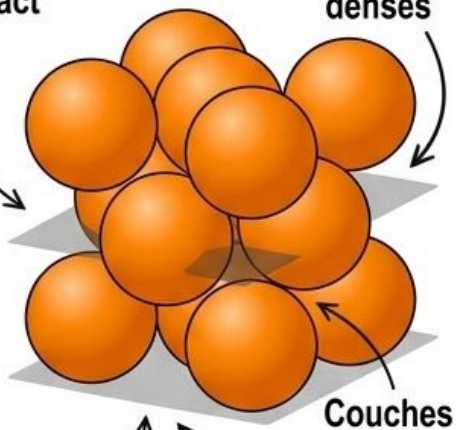
c. La structure Cubique à Faces Centrées (CFC)



Atomes de coin

Métaux correspondants : Aluminium (Al), etc.

Atomes sur les faces



Réseau très compact

Plans de glissement denses

Couches d'atomes se déplacent facilement



Métaux correspondants : **Aluminium** (Al), etc.

Confère :

- **Grande ductilité**
- **Grande malléabilité**

Figure 1 : Réf. IMG (2888-7136-7545)

Comparaison des réseaux cristallins cubique centré (CC) et cubique à faces centrées (CFC)

a. Description visuelle

L'illustration montre les deux principaux modes d'empilement des atomes dans les métaux courants. À gauche, la structure Cubique Centrée (CC) apparaît moins compacte. À droite, la structure Cubique à Faces Centrées (CFC) montre des atomes plus serrés les uns contre les autres. Ces deux arrangements géométriques, à l'échelle de l'infiniment petit, dictent directement si un métal sera plutôt dur ou plutôt malléable. Le type de maille est une véritable carte d'identité pour un métal.

b. La structure Cubique Centrée (CC)

Ce réseau est moins compact que le CFC. L'espace entre les atomes est légèrement plus grand. Cette configuration confère aux métaux comme le fer une grande dureté et une bonne résistance mécanique. En revanche, elle les rend plus fragiles à très basse température.

c. La structure Cubique à Faces Centrées (CFC)

Ce réseau est très compact. Les atomes sont agencés de manière à occuper un volume maximal. Cette structure contient des plans de glissement denses. Cela permet aux couches d'atomes de se déplacer plus facilement les unes sur les autres. Les métaux CFC comme l'aluminium sont donc très ductiles et malléables.

Anecdote : Le secret des forgerons du Kwilu

Dans un petit village près de Bandundu, le vieux forgeron Mbuta Kiese était réputé pour la qualité de ses machettes. Son petit-fils, curieux, lui demanda pourquoi il plongeait le métal chauffé au rouge dans un bac d'huile et non dans l'eau. Mbuta Kiese sourit et lui expliqua : "Le métal est comme une famille d'atomes bien rangée. Quand tu le chauffes fort, la famille se disperse un peu. Si tu le refroidis trop vite dans l'eau, la famille se fige en désordre, et le métal devient cassant comme du verre. Avec l'huile, le refroidissement est plus doux. La famille d'atomes a le temps de se réorganiser correctement, mais dans une

structure plus serrée, plus forte. La machette devient dure sans être fragile." Sans le savoir, Mbuta Kiese manipulait la structure cristalline du fer pour en modifier les propriétés.

Exercice 1 : Le choix du matériau pour une jante

Énoncé : Un ingénieur à Lubumbashi doit choisir le matériau pour fabriquer une nouvelle jante de voiture de sport. Il hésite entre une jante en acier standard (structure principalement CC) et une jante en alliage d'aluminium (structure principalement CFC). L'objectif est d'avoir une jante la plus légère possible tout en étant résistante.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyser les besoins** Le critère principal est la légèreté. La résistance est aussi importante, mais le poids est le facteur décisif pour une voiture de sport.
2. **Étape 2 : Comparer les structures et leurs conséquences** L'acier, à base de fer (structure CC), est très dense et lourd. L'aluminium (structure CFC) est connu pour sa faible densité. À volume égal, une pièce en aluminium est environ trois fois plus légère qu'une pièce en acier.
3. **Étape 3 : Conclure** L'alliage d'aluminium est le choix optimal. Sa structure CFC lui confère une bonne formabilité et sa nature atomique garantit la légèreté indispensable pour améliorer les performances du véhicule.

Exercice 2 : La rupture d'un trombone

Énoncé : Fiston, un élève mécanicien à Goma, s'amuse à plier et déplier un trombone en acier au même endroit. Après une dizaine de va-et-vient, le trombone casse net, sans prévenir. Expliquez ce phénomène en utilisant les concepts de structure cristalline.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier la structure initiale** L'acier du trombone possède une structure cristalline ordonnée (majoritairement CC). Cette structure lui permet de se déformer plastiquement (de ne pas reprendre sa forme initiale).
2. **Étape 2 : Décrire l'effet du pliage répété (l'écrouissage)** Chaque pliage crée des défauts dans le réseau cristallin parfait. Ces

défauts, appelés dislocations, s'accumulent et se bloquent les uns les autres. Le glissement des plans d'atomes, qui permet la déformation, devient de plus en plus difficile. Le métal devient localement plus dur, mais aussi plus fragile.

3. **Étape 3 : Expliquer la rupture** Après plusieurs cycles de pliage, la concentration de défauts est si élevée que la structure ne peut plus du tout se déformer. À la prochaine sollicitation, au lieu de plier, elle casse de manière fragile. Le trombone a atteint sa limite de déformation par écrouissage.

1.2. Masse volumique et densité

a. Le paradoxe de la pirogue et du caillou

Pendant une traversée du fleuve Congo, une pirogue en bois flotte sans problème. Un petit caillou de fer, bien plus léger que la pirogue, coule immédiatement si on le jette à l'eau. Ce paradoxe apparent n'est pas une question de magie, mais de physique.

La relation entre la masse d'un objet et l'espace qu'il occupe explique ce phénomène. Cette propriété fondamentale des matériaux s'appelle la masse volumique. Elle est cruciale pour un mécanicien qui choisit les pièces d'un véhicule, du carter d'huile en aluminium au vilebrequin en acier.

A. La masse volumique (ρ)

Un matériau se définit par sa masse pour un volume donné. Cette caractéristique est la masse volumique. Elle se note avec la lettre grecque ρ (rhô). Pour la calculer, on divise la masse (m) d'un corps par son volume (V).

Sa formule est simple :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

L'unité internationale est le kilogramme par mètre cube (kg/m³). On utilise aussi très souvent le gramme par centimètre cube (g/cm³).

Chaque métal pur possède une masse volumique qui lui est propre.

- **Aluminium** : environ 2700 kg/m³
- **Acier** : environ 7850 kg/m³

- **Plomb** : environ 11340 kg/m³

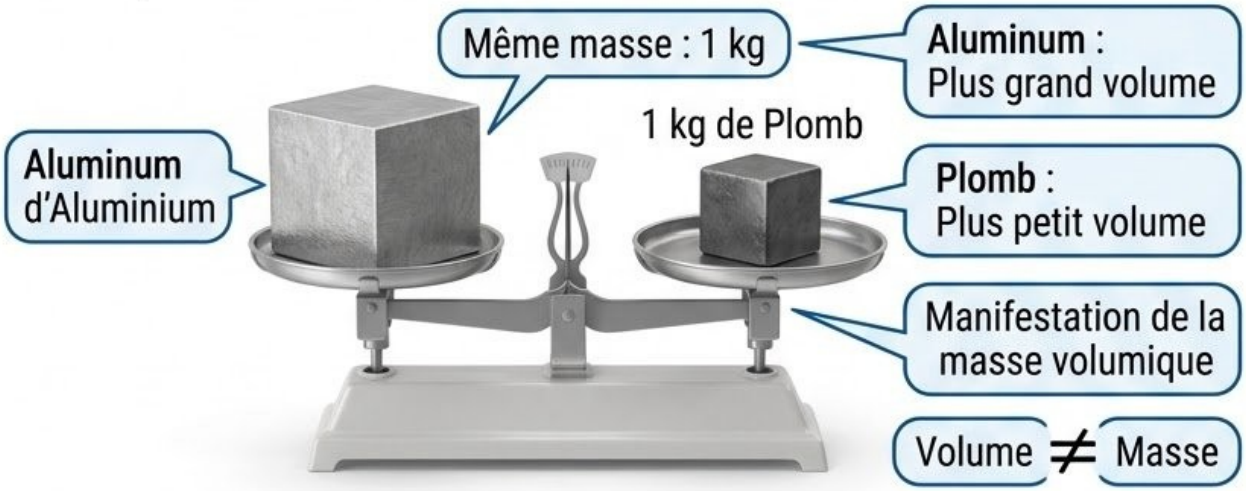
Un bloc d'aluminium est donc presque trois fois plus léger qu'un bloc d'acier de même taille.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 2 : Réf. IMG (5940-1643-7760)

Comparaison visuelle de la masse volumique de deux métaux courants

a. L'équilibre sur la balance



b. L'aluminium, un allié de la légèreté



c. Le plomb, la masse concentrée

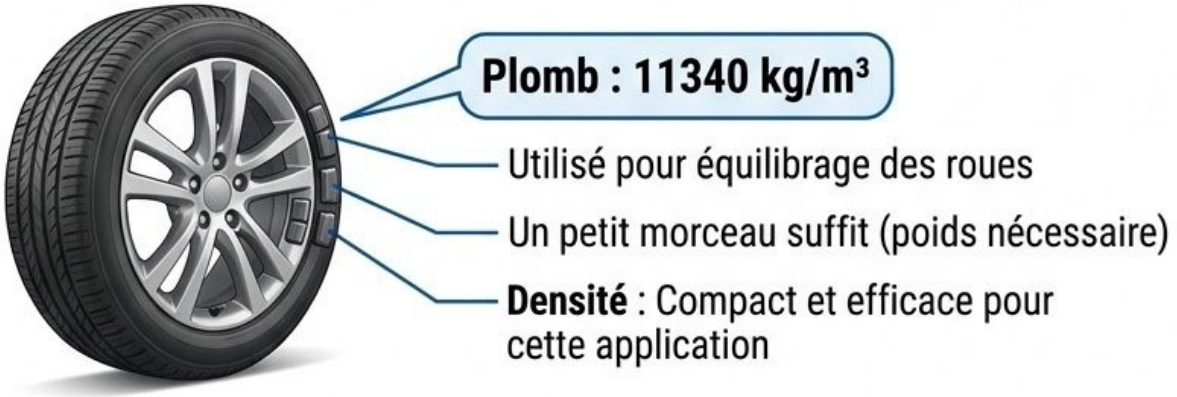


Figure 2 : Réf. IMG (5940-1643-7760)

Comparaison visuelle de la masse volumique de deux métaux courants

a. L'équilibre sur la balance

Une balance montre deux cubes de métaux différents, un en aluminium et un en plomb. Ils ont exactement la même masse : 1 kilogramme. Pourtant, l'œil remarque immédiatement que le cube d'aluminium est beaucoup plus grand que le cube de plomb. Cette différence de taille pour une même masse est la manifestation directe de la masse volumique. L'aluminium occupe plus d'espace pour le même poids. C'est un métal "léger" au sens volumique.

b. L'aluminium, un allié de la légèreté

Avec une masse volumique d'environ 2700 kg/m³, l'aluminium est idéal pour des pièces de carrosserie ou des blocs moteurs modernes. Il réduit le poids total du véhicule, ce qui améliore la consommation de carburant et les performances.

c. Le plomb, la masse concentrée

Le plomb a une masse volumique très élevée (environ 11340 kg/m³). C'est pourquoi on l'utilisait pour les masses d'équilibrage des roues. Un petit morceau suffit pour avoir le poids nécessaire. Sa densité le rend compact et efficace pour cette application.

■ ■ ■

B. La densité (d)

La densité est une comparaison. Elle compare la masse volumique d'un corps à celle d'un corps de référence. Pour les solides et les liquides, la référence est toujours l'eau. La densité se note d et n'a pas d'unité.

La formule de la densité est :

$$d = \frac{\rho_{\text{corps}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

La masse volumique de l'eau (ρ_{eau}) est très facile à retenir : 1000 kg/m³ ou 1 g/cm³.

La densité nous dit si un objet flotte ou coule.

- Si $d>1$: le corps est plus dense que l'eau, il coule.
- Si $d<1$: le corps est moins dense que l'eau, il flotte.

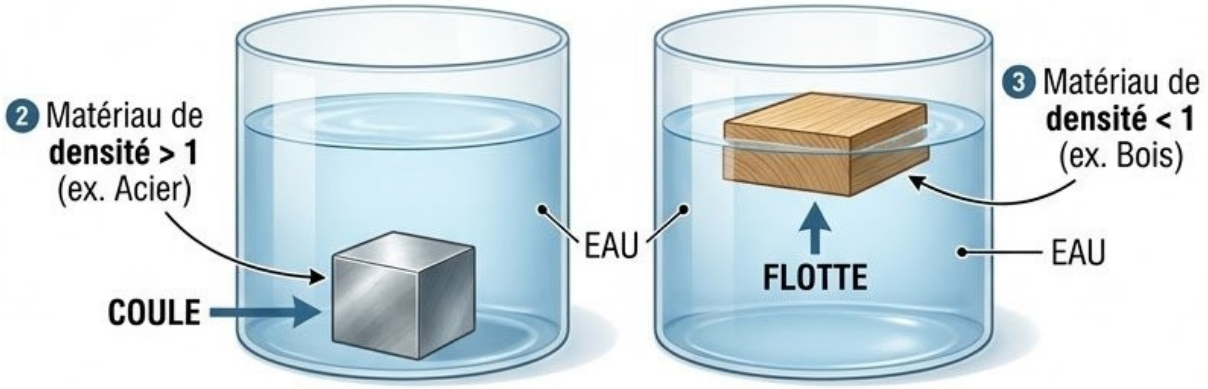
L'acier, avec une densité de 7,85, coule donc naturellement dans l'eau.

Figure 3 : Réf. IMG (7616-3410-7509)

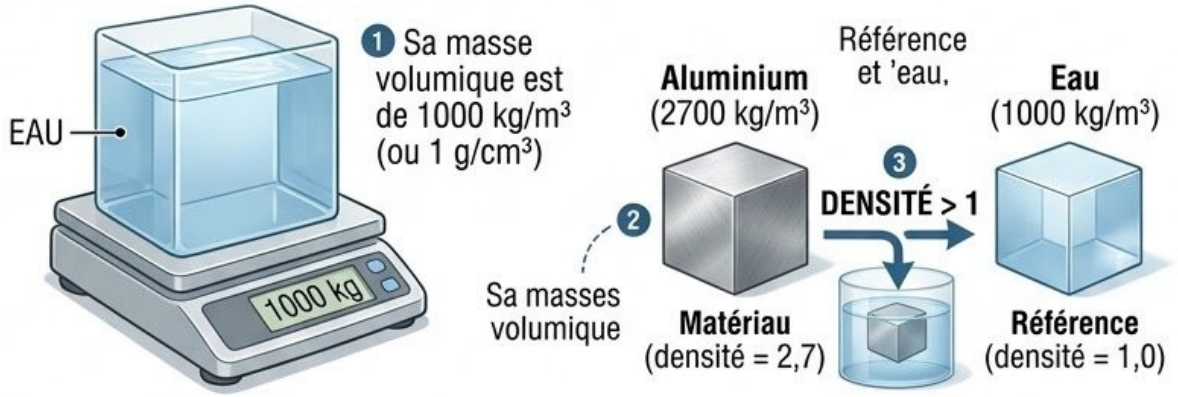
Le principe de la densité illustré par la flottaison

a. Le test dans l'eau

1. La densité détermine si un objet flotte ou coule dans un fluide de référence.



b. La densité de l'eau comme référence



c. Le cas du bateau en acier

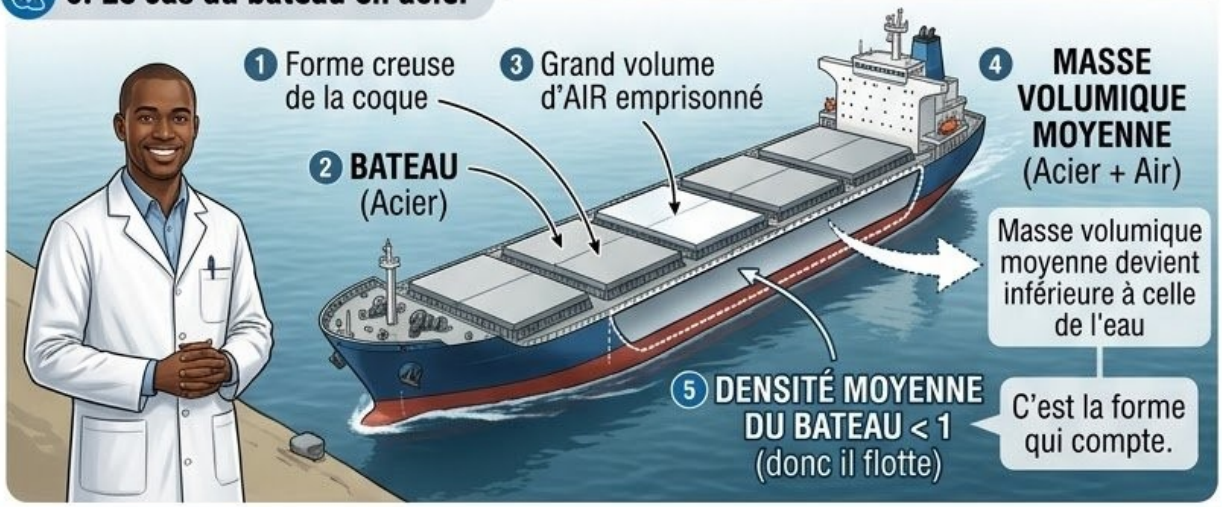


Figure 3 : Réf. IMG (7616-3410-7509)

Le principe de la densité illustré par la flottaison

a. Le test dans l'eau

L'image montre deux objets solides immergés dans un récipient d'eau. Un objet, fait d'un matériau de densité supérieure à 1 (comme l'acier), a coulé au fond. L'autre, fait d'un matériau de densité inférieure à 1 (comme un bloc de bois ou un plastique spécifique), flotte à la surface. La densité détermine si un objet flotte ou coule dans un fluide de référence.

b. La densité de l'eau comme référence

L'eau sert de mètre étalon universel. Sa masse volumique est de 1000 kg/m³ (ou 1 g/cm³). Un matériau avec une masse volumique de 2700 kg/m³ (aluminium) a donc une densité de 2,7. C'est supérieur à 1, donc il coule.

c. Le cas du bateau en acier

Un bateau est en acier (densité ≈ 7,85), mais il flotte. Pourquoi ? Car sa forme creuse emprisonne un grand volume d'air. La masse volumique *moyenne* de l'ensemble (acier + air) devient inférieure à celle de l'eau. C'est la forme qui compte.

■ ■ ■

C. Application en mécanique automobile

La masse volumique est un critère de choix permanent. Un ingénieur cherche à alléger un véhicule pour réduire sa consommation. Il remplace des pièces en acier par des pièces en alliage d'aluminium ou en magnésium. Un mécanicien doit savoir identifier ces matériaux. Soulever une jante en aluminium et une jante en tôle d'acier de même taille suffit pour sentir la différence de masse volumique.

Anecdote : Le capot de Papa Tshimanga

Papa Tshimanga, chef d'atelier respecté à Mbuji-Mayi, doit remplacer le capot d'une Toyota. Son fournisseur lui propose deux modèles : un en tôle d'acier, très bon marché, et un autre en aluminium, plus cher. Son jeune apprenti, surpris, demande pourquoi un client paierait plus cher pour le capot en aluminium.

Papa Tshimanga sourit. Il prend les deux capots et demande à l'apprenti de les soulever l'un après l'autre. La différence est flagrante. "Tu vois, jeune homme, ce capot en aluminium pèse presque trois fois moins. La voiture sera plus légère, elle consommera un peu moins de carburant sur la route de Kananga. Et surtout, l'aluminium ne rouille pas comme l'acier. Le client paie plus cher aujourd'hui, mais il est tranquille pour des années. La masse volumique, ce n'est pas juste un chiffre dans un livre, c'est de l'argent et de la tranquillité."

Exercice 1 : Le piston mystérieux

Énoncé : Maman Hélène, mécanicienne à Kisangani, reçoit un piston sans aucune référence. Pour identifier le métal, elle le pèse et trouve une masse de 405 g. En utilisant la méthode d'immersion dans l'eau, elle mesure son volume : 150 cm³. Ce piston est-il en aluminium ($\rho \approx 2,7$ g/cm³) ou en acier ($\rho \approx 7,85$ g/cm³) ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier les données connues** La masse $m = 405$ g. Le volume $V = 150$ cm³.
2. **Étape 2 : Calculer la masse volumique du piston** On utilise la formule $\rho = \frac{m}{V}$.

$$\rho = \frac{405\,\text{g}}{150\,\text{cm}^3} = 2,7\,\text{g/cm}^3$$

3. **Étape 3 : Comparer le résultat et conclure** La masse volumique calculée (2,7 g/cm³) correspond exactement à celle de l'aluminium. Le piston est donc en aluminium.

Exercice 2 : Le choix du contrepoids

Énoncé : Junior, apprenti mécanicien à Boma, doit fabriquer un contrepoids de 2 kg pour équilibrer une machine de levage. Il dispose d'un gros bloc de plomb ($\rho \approx 11,35$ g/cm³) et d'un gros bloc de fer ($\rho \approx 7,87$ g/cm³). Il veut que son contrepoids soit le moins encombrant possible. Quel métal doit-il choisir ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Comprendre l'objectif** L'objectif est d'obtenir une masse de 2 kg dans le plus petit volume possible.