Code : RDC213085

DOMAINE : SCIENCES APPLIQUÉES
OPTION : MÉCANIQUE AUTOMOBILE

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Analyse des contraintes et déformations des matériaux.



Programme de la RDC

4ème ANNÉE DES HUMANITÉS

Édition 2026



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

0.1. Objectifs Généraux du Cours 1

- 0.1.1. Maîtrise des concepts fondamentaux 1
- 0.1.2. Développement de la compétence analytique 1
- 0.1.3. Application au dimensionnement des organes automobiles 1
- 0.1.4. Initiation au diagnostic des défaillances 1

0.2. Approche Pédagogique et Méthodologique 2

- 0.2.1. Ancrage Pratique et Finalité Professionnelle 2
- 0.2.2. Modélisation Progressive du Réel 2
- 0.2.3. Développement de la Rigueur Analytique 2

0.3. Prérequis et Liens Interdisciplinaires 3

- 0.3.1. Socle Mathématique 3
- 0.3.2. Fondamentaux de Physique Appliquée 3
- 0.3.3. Connexions avec les Disciplines de Spécialité 3

0.4. Matériel Didactique et Évaluation 3

- 0.4.1. Approche Didactique et Matériel Recommandé 3
- 0.4.2. Modalités d'Évaluation Suggérées 4

PARTIE 1. PRINCIPES FONDAMENTAUX ET CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES **5**

a. L'invisible qui casse 5

b. Le dialogue des forces 5

c. La géométrie, l'arme secrète 5

d. Des chiffres pour ne pas deviner 5

CHAPITRE 1. NOTIONS FONDAMENTALES ET HYPOTHÈSES **6**

1.1. But et Hypothèses de la RDM 6

- a. L'art de ne pas casser 6
- A. Le Double Objectif de la RDM 6
- B. Les Hypothèses Simplificatrices : Le Pacte avec la Réalité 6

FIGURE 1 : RÉF. IMG (0026-1894-3591) **8**

Visualisation des hypothèses de la RDM sur un bloc de matériau 8

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- C. Le Solide et le Poutre : Modèles de Calcul....8

1.2. Forces Extérieures et Intérieures....10

- a. Le paradoxe de la structure immobile....10
- A. Les Forces Extérieures : Les Causes de la Sollicitation....10
- B. Les Forces Intérieures : La Réponse de la Matière....11

FIGURE 2 : RÉF. IMG (8291-9639-2958)....13

Visualisation des efforts intérieurs sur une poutre après une coupure imaginaire....13

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....13

1.3. Notion de Contrainte et de Déformation....15

- a. L'effort invisible....15
- A. La Contrainte () : La Force Intérieure....15
- B. La Déformation () : La Réponse Géométrique....16

FIGURE 3 : RÉF. IMG (9047-2162-9356)....18

Schéma d'une éprouvette de traction subissant un effort axial F....18

- L'anecdote du mécanicien de Limete....18

1.4. Sécurité et Coefficient de Sécurité....20

- a. Le principe de précaution en mécanique....20
- A. Définition et Utilité du Coefficient de Sécurité....20

FIGURE 4 : RÉF. IMG (9820-0746-9614)....22

Graphique contrainte-déformation illustrant la limite élastique et la rupture....22

- B. Choix du Coefficient de Sécurité....22

CHAPITRE 2. ESSAIS MÉCANIQUES ET PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX....25

2.1. L'Essai de Traction et le Diagramme Contrainte-Déformation....25

- a. La solidité cachée des matériaux....25
- A. Principe de l'Essai de Traction....25
- B. Le Diagramme Contrainte-Déformation....25

FIGURE 5 : RÉF. IMG (9361-1348-7712)....27

Diagramme contrainte-déformation typique d'un acier doux pour l'automobile....27

- Une anecdote pour la route....27

2.2. La Loi de Hooke et le Module de Young....29

- a. L'élasticité, une question de proportionnalité....29

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Énoncé de la Loi de Hooke.....29
- B. Le Module de Young : La "signature" de rigidité.....30
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....30

2.3. Essais de Dureté et de Résilience.....32
- a. La distinction vitale pour le mécanicien.....32
- A. L'Essai de Dureté : Mesurer la résistance à la pénétration.....32

FIGURE 6 : RÉF. IMG (6974-7155-9778).....33

Principe de l'essai de dureté Brinell sur un bloc d'acier.....33
- B. L'Essai de Résilience : Mesurer la résistance au choc.....33

2.4. Phénomènes de Fatigue et Concentration de Contraintes.....36
- a. Le paradoxe du trombone.....36
- A. La Fatigue des Matériaux : la rupture par répétition.....36
- B. La Concentration de Contraintes : l'ennemi géométrique.....37

CHAPITRE 3. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES SECTIONS PLANES.....40

3.1. Moment Statique et Centre de Gravité.....40
- a. Le point d'équilibre.....40
- A. Définition du Moment Statique.....40

FIGURE 7 : RÉF. IMG (9894-8467-1166).....42

Décomposition d'une section complexe en formes simples pour le calcul.....42
- B. Centre de Gravité (ou Centroïde).....42

FIGURE 8 : RÉF. IMG (9483-0448-7862).....44

Centre de gravité de sections automobiles courantes comme un profilé.....44
- b. Anecdote pour la route.....44

3.2. Moment Quadratique (Moment d'Inertie).....46
- a. L'intuition de la règle.....46
- A. Définition mathématique et Unités.....46

FIGURE 9 : RÉF. IMG (3419-9392-6184).....48

Résistance à la flexion d'une section rectangulaire selon l'axe de sollicitat.....48
- B. Le Théorème de Huygens (Théorème des axes parallèles).....48

FIGURE 10 : RÉF. IMG (4265-9176-8815).....50

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Visualisation du théorème de Huygens pour le calcul du moment quadratique.....50
- Scénarios et Exercices.....50
- Anecdote pour l'atelier.....50

3.3. Théorème de Huygens.....52
- a. L'intuition du transport.....52
- A. Formulation mathématique.....53

FIGURE 11 : RÉF. IMG (2817-4844-8934).....55

Visualisation du théorème de Huygens sur une section rectangulaire décentrée.....55
- b. Anecdote : Le casse-tête du rétroviseur de Fula-Fula à Boma.....55

3.4. Moment d'Inertie Polaire et Module de Résistance.....57
- a. Le paradoxe de l'arbre creux.....57
- A. Le Moment d'Inertie Polaire () : La résistance à la torsion.....57

FIGURE 12 : RÉF. IMG (4496-4090-0448).....59

Comparaison d'un arbre plein et d'un arbre creux en torsion.....59
- B. Le Module de Résistance Polaire () : Un indicateur de performance.....59

CHAPITRE 4. SYSTÈMES ISOSTATIQUES ET ÉQUILIBRE.....63

4.1. Appuis et Liaisons Mécaniques.....63
- a. Le secret de la stabilité.....63
- A. Degrés de Liberté et Inconnues de Liaison.....63
- B. Les Trois Types d'Appuis Plans Fondamentaux.....63

FIGURE 13 : RÉF. IMG (0560-9960-2744).....65

Représentation schématique des trois types d'appuis plans en mécanique.....65
- Scénarios et Exercices.....65

4.2. Principe Fondamental de la Statique (PFS).....67
- a. L'équilibre, une question de forces invisibles.....67
- A. Énoncé du Principe Fondamental de la Statique (PFS).....67
- B. Application aux problèmes plans (2D).....68

FIGURE 14 : RÉF. IMG (6220-5820-3210).....69

Schéma d'une poutre sur deux appuis simples subissant une force.....69
- C. Scénarios et Exercices.....69

4.3. Notion de Poutre et Diagramme du Corps Libre.....71

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. La poutre, une évidence mécanique....71
- A. Anatomie d'une Poutre et ses Appuis....71
- B. Le Diagramme du Corps Libre (DCL) : isoler pour calculer....72

4.4. Introduction aux Systèmes Hyperstatiques....74
- a. La prudence et l'ingénieur....74
- A. La Frontière entre Isostatique et Hyperstatique....75
- B. Utilité des Systèmes Hyperstatiques....75

FIGURE 15 : RÉF. IMG (1309-6460-3465)....76

Comparaison visuelle d'une poutre isostatique et d'une poutre hyperstatique....76
- Anecdote du mécanicien de Bukavu....76

PARTIE 2. SOLLICITATIONS SIMPLES (AXIALES ET CISAILLEMENT)....79

a. La force invisible et ses effets visibles....79

b. Traction et Compression : l'étirement et l'écrasement....79

c. Le Cisaillement : la menace de la coupure....79

d. Dimensionner pour éviter la rupture....79

CHAPITRE 5. LA TRACTION SIMPLE....80

5.1. Définition et Répartition des Contraintes....80
- a. Une force ancestrale....80
- A. Définition de la Traction Simple....80
- B. Contrainte Normale de Traction ()....80

FIGURE 16 : RÉF. IMG (7566-3616-0609)....83

Répartition uniforme des contraintes de traction dans une section droite....83
- a. L'anecdote du pont suspendu de Matadi....83

5.2. Condition de Résistance en Traction....85
- a. Le maillon le plus faible....85
- A. L'inéquation fondamentale de la sécurité....85
- B. La contrainte admissible et le coefficient de sécurité....86

5.3. Loi de Hooke et Allongement....88
- a. Le secret de l'élastique....88
- A. La relation contrainte-déformation....88
- B. Calcul de l'allongement total (ΔL)....89

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

5.4. Phénomène de Striction..... 91
- a. L'ultime avertissement du métal..... 91
- A. Définition et Mécanisme..... 91

FIGURE 17 : RÉF. IMG (5746-4409-8265)..... 93

Évolution d'une éprouvette en acier de l'élongation uniforme à la rupture..... 93
- B. Contrainte Nominale contre Contrainte Vraie..... 93

CHAPITRE 6. LA COMPRESSION SIMPLE..... 97

6.1. Définition et Analogie avec la Traction..... 97
- a. Introduction..... 97
- A. Contrainte et Déformation en Compression..... 97

6.2. Condition de Résistance en Compression..... 100
- a. Le pilier et la sécurité..... 100
- A. Contrainte de Compression et Limite Admissible..... 100
- B. Le Coefficient de Sécurité..... 101

FIGURE 18 : RÉF. IMG (7046-0664-6181)..... 103

Anatomie d'une bielle de moteur soumise à la force de compression..... 103
- Anecdote du mécanicien de Kisangani..... 103

6.3. Contrainte de Matage (Pression de contact)..... 105
- a. Une question de surface..... 105
- A. Définition et Calcul de la Pression de Contact..... 105

FIGURE 19 : RÉF. IMG (2609-4072-3897)..... 108

Contact entre une vis et une plaque métallique en coupe transversale..... 108
- B. Condition de Résistance au Matage..... 108

FIGURE 20 : RÉF. IMG (4605-9779-3551)..... 111

Schéma d'un assemblage par axe dans une chape et un tirant..... 111
- Scénario : Le pivot de suspension du taxi-bus à Mbandaka..... 111

6.4. Introduction au Risque de Flambage..... 113
- a. Une allumette et un pilier de pont..... 113
- A. Pièces élancées et charge critique..... 113
- B. La formule d'Euler et les conditions aux appuis..... 114

CHAPITRE 7. LE CISAILLEMENT SIMPLE..... 117

7.1. Définition et Effort Tranchant....117
- a. L'erreur du débutant : confondre tirer et couper....117
- A. Le Principe du Glissement : Forces Parallèles....117

FIGURE 21 : RÉF. IMG (8524-4172-6057)....118

Visualisation du cisaillement simple sur un rivet assemblant deux plaques mét....118
- B. Contrainte de Cisaillement et Calcul....118

7.2. Condition de Résistance au Cisaillement....120
- a. Le principe de sécurité....120
- A. La Contrainte Tangentielle de Cisaillement (τ)....121
- B. La Résistance Pratique au Glissement (Rpg)....121

FIGURE 22 : RÉF. IMG (8616-3568-2961)....123

Schéma d'un assemblage par rivet soumis au cisaillement simple....123
- C. L'inéquation de la Sécurité....123

7.3. Calcul des Assemblages Rivés....125
- a. L'obsession de la liaison permanente....125
- A. La Condition de Résistance au Cisaillement....126
- B. La Pression de Matage (Écrasement)....126

FIGURE 23 : RÉF. IMG (7445-7367-2717)....128

Schéma d'un assemblage riveté à simple recouvrement soumis à une traction....128
- Anecdote : Le vieux pont de Lualaba....128

7.4. Calcul des Assemblages Boulonnés et Soudés....130
- a. L'art de l'attache....130
- A. Assemblages par Boulons ou Rivets....130

FIGURE 24 : RÉF. IMG (2872-1006-9856)....132

Schéma de principe d'un assemblage boulonné soumis à un effort de cisaillement....132
- B. Assemblages par Soudure....132

7.5. Application au calcul des goupilles et clavettes....135
- a. Le maillon faible, la clé de la sécurité....135
- A. Condition de résistance au cisaillement....135

FIGURE 25 : RÉF. IMG (3578-8263-5044)....136

Goupille en cisaillement simple reliant un arbre à un moyeu....136

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Sections cisaillées : simple, double et cas de la clavette.....136

FIGURE 26 : RÉF. IMG (6174-3814-9072).....138

Clavette parallèle transmettant un couple entre un arbre et une poulie.....138

- b. Anecdotes et exercices pratiques.....138

CHAPITRE 8. SOLLICITATIONS THERMIQUES ET COMPOSÉES (INTRO).....141

8.1. Dilatation Thermique et Contraintes.....141

- a. La force invisible du soleil de l'Équateur.....141
- A. Dilatation Linéaire Libre : La Matière respire.....141

FIGURE 27 : RÉF. IMG (6949-3425-8200).....142

Une barre métallique se dilatant librement sous l'effet de la chaleur.....142

- B. Contrainte Thermique : La Dilatation Empêchée.....142

8.2. Traction et Cisaillement Combinés.....145

- a. La guerre silencieuse des matériaux.....145
- A. Superposition des Contraintes Normales et de Cisaillement.....145
- B. Représentation de l'État de Contrainte Plan.....146

8.3. Systèmes Hyperstatiques Axiaux.....148

- a. L'impasse des équations de la statique.....148
- A. Degré d'Hyperstaticité.....148
- B. L'Équation de Compatibilité des Déformations.....149

8.4. Applications aux Structures Treillis.....152

- a. Le pont et la chaleur du Kwilu.....152
- A. Le Principe de Superposition Thermique et Mécanique.....152
- B. Détermination de l'Effort Thermique.....153

PARTIE 3. SOLLICITATIONS DE FLEXION, TORSION ET STABILITÉ.....156

a. La flexion : quand la route déforme le châssis.....156

b. La torsion : la puissance qui tord l'acier.....156

c. La stabilité et le flambement : le risque d'effondrement brutal.....156

d. L'interaction : flexion, torsion et stabilité combinées.....156

CHAPITRE 9. LA TORSION SIMPLE.....157

9.1. Définition et Moment de Torsion.....157

- a. D'une intuition de bâtisseur à une science de l'ingénieur.....157

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Définition de la Torsion Simple.....157
- B. Le Moment de Torsion ().....157

FIGURE 28 : RÉF. IMG (9025-2095-9186).....160

Représentation schématique d'un arbre cylindrique soumis à un moment de torsion.....160

- C. Scénarios et Exercices.....160

9.2. Contraintes de Cisaillement en Torsion.....162

- a. Une intuition millénaire.....162
- A. La Nature de la Contrainte de Cisaillement.....162

FIGURE 29 : RÉF. IMG (9245-7888-8679).....164

Distribution linéaire de la contrainte de torsion dans une section circulaire.....164

- B. Formule Fondamentale de la Torsion.....164

FIGURE 30 : RÉF. IMG (6912-5338-1019).....166

Comparaison d'efficacité entre un arbre de transmission plein et creux.....166

- L'anecdote de l'arbre de transmission de Papa Mbuyi.....166

9.3. Condition de Résistance et de Rigidité.....168

- a. Les deux piliers de la conception.....168
- A. Condition de Résistance : Ne pas casser.....169

FIGURE 31 : RÉF. IMG (9796-3090-8591).....170

Distribution des contraintes de torsion dans un arbre plein et creux.....170

- B. Condition de Rigidité : Ne pas se tordre excessivement.....170

FIGURE 32 : RÉF. IMG (6370-9619-1865).....172

Angle de torsion unitaire sur un arbre de transmission soumis à un couple.....172

- b. Scénarios et Exercices.....172

9.4. Ressorts Hélicoïdaux.....174

- a. Une technologie ancestrale revisitée.....174
- A. Sollicitation principale : la torsion.....175

FIGURE 33 : RÉF. IMG (3542-2558-5840).....177

Géométrie et paramètres essentiels d'un ressort hélicoïdal de compression.....177

- B. Déformation et raideur du ressort.....177

CHAPITRE 10. LA FLEXION PLANE SIMPLE (EFFORTS INTERNES).....180

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

10.1. Définition et Types de Charges....180
- a. Le paradoxe de la rigidité....180
- A. La Flexion Plane Simple : Une Définition....180

FIGURE 34 : RÉF. IMG (0134-9201-3362)....181

Distinction visuelle entre une charge ponctuelle et une charge répartie....181
- B. Classification des Charges....181

FIGURE 35 : RÉF. IMG (4697-7957-6356)....183

Visualisation des efforts internes : effort tranchant et moment fléchissant....183
- Anecdote pour l'enseignant et l'élève....183

10.2. Effort Tranchant et Moment Fléchissant....185
- a. Les forces invisibles du châssis....185
- A. Définition de l'Effort Tranchant (T)....185
- B. Définition du Moment Fléchissant (Mf)....185

10.3. Diagrammes des Sollicitations....187
- a. Visualiser les forces invisibles....187
- A. Le diagramme de l'effort tranchant T(x)....188
- B. Le diagramme du moment fléchissant Mf(x)....188

10.4. Relation entre Charge, Effort Tranchant et Moment....191
- a. La danse invisible des forces dans une lame de ressort....191
- A. Relation entre Charge et Effort Tranchant (et)....191
- B. Relation entre Effort Tranchant et Moment Fléchissant (et)....192

FIGURE 36 : RÉF. IMG (9945-8463-0180)....193

Diagramme des efforts pour une poutre simplement appuyée avec charge uniforme....193
- C. Application au calcul de structures....193

CHAPITRE 11. LA FLEXION SIMPLE (CONTRAINTES ET DIMENSIONNEMENT)....196

11.1. Répartition des Contraintes Normales....196
- a. La poutre qui sourit et la poutre qui pleure....196
- A. La Fibre Neutre et le Moment Quadratique....196
- B. La Formule Fondamentale de la Flexion Simple....196

FIGURE 37 : RÉF. IMG (1902-3285-5785)....198

Répartition triangulaire de la contrainte normale dans une section rectangula....198

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....198

11.2. Condition de Résistance en Flexion.....200

- a. La poutre qui crie avant de rompre.....200
- A. La Contrainte Maximale : Le Point de Vérité.....201

FIGURE 38 : RÉF. IMG (9183-7597-7960).....202

Répartition de la contrainte normale dans une section rectangulaire en flexion.....202

- B. L'Inéquation de Sécurité : La Règle d'Or.....202
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....203

11.3. Contrainte de Cisaillement en Flexion.....205

- a. Le paradoxe de la planche de bois.....205
- A. Théorie du cisaillement en flexion (Formule de Jouravski).....205

FIGURE 39 : RÉF. IMG (0278-9096-0550).....207

Distribution de la contrainte de cisaillement dans une poutre rectangulaire.....207

- B. Répartition de la contrainte et cas pratiques.....207

FIGURE 40 : RÉF. IMG (0835-6485-9277).....209

Comparaison de la distribution du cisaillement dans différentes sections de p.....209

- Scénarios et Exercices.....209

11.4. Déformée et Flèche.....211

- a. L'observation du Manguier.....211
- A. La Déformée : L'Équation d'une Courbe.....211
- B. La Flèche : Mesure de la Déformation Maximale.....212

FIGURE 41 : RÉF. IMG (7878-5954-6195).....213

Visualisation de la flèche sur une poutre en porte-à-faux.....213

- L'Aventure du Ponton de Bumba.....213

CHAPITRE 12. FLAMBAGE ET SOLLICITATIONS COMPOSÉES.....216

12.1. Phénomène de Flambage (Euler).....216

- a. Quand la matière se dérobe.....216
- A. La charge critique d'Euler.....216
- B. Longueur de flambage et conditions aux appuis.....217

12.2. Flexion et Torsion Combinées.....219

- a. Introduction à la sollicitation composée.....219

- A. Identification des contraintes....220
- B. La contrainte équivalente de von Mises....220
- C. Scénarios et Exercices....221

12.3. Flexion et Traction/Compression (Flexion Composée)....222
- a. Le cas de la force décentrée....222
- A. Le principe de superposition....223
- B. Calcul des contraintes extrêmes....223

FIGURE 42 : RÉF. IMG (4973-9348-8106)....225

Diagramme de la superposition des contraintes en flexion composée....225

FIGURE 43 : RÉF. IMG (9191-4906-7912)....227

Exemple d'une force excentrée créant la flexion composée....227
- b. Du garage de Mbandaka à la piste de brousse du Kasaï....227

12.4. Calcul des Ressorts à Lames....229
- a. Le secret des routes difficiles....229
- A. Modélisation et Formules Fondamentales....229

FIGURE 44 : RÉF. IMG (4790-8177-4847)....231

Schéma de principe et décomposition d'un ressort à lames multi-feuilles....231
- B. Critères de Dimensionnement....231

12.5. Introduction aux critères de fatigue pour la flexion combinée....234
- a. L'usure invisible d'une pièce mécanique....234
- A. Contrainte moyenne et contrainte alternée....234
- B. Les critères de sécurité de Goodman et Soderberg....235

ANNEXES....238

A.1. Formulaire des Poutres et Diagrammes....238
- A. Hypothèses et conventions de signe....238
- B. Relations différentielles fondamentales....239
- C. Formulaire des cas de charge classiques....239

A.2. Caractéristiques Mécaniques des Matériaux Usuels....242
- A. Définitions des Propriétés Fondamentales....242
- B. Aciers et Fontes....243
- C. Alliages d'Aluminium....244

A.3. Propriétés Géométriques des Profilés....245

- A. Centre de Gravité (CdG) et Moment Statique.....245
- B. Moments d'Inertie (Moments Quadratiques).....246
- C. Produit d'Inertie.....247
- D. Théorème de Huygens (Transport des moments).....247
- E. Paramètres Dérivés.....248

A.4. Coefficients de Sécurité Recommandés.....249

- A. Définition et Formulation.....249
- B. Facteurs d'Influence sur la Valeur du Coefficient.....250
- C. Valeurs Usuelles Recommandées.....251

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

0.1. Objectifs Généraux du Cours

0.1.1. Maîtrise des concepts fondamentaux

L'acquisition des concepts fondamentaux de la Résistance des Matériaux (RDM) est la première finalité. L'élève doit distinguer avec une précision absolue la contrainte ($ $)deladéformation($ $). Il identifie les lois de comportement élastique et plastique d'un matériau. Les principaux modes de sollicitations simples (traction, compression, cisaillement, torsion) sont étudiés de manière isolée pour en maîtriser les effets sur les structures.

0.1.2. Développement de la compétence analytique

Le développement de la compétence analytique prépare l'élève à l'ingénierie. Il apprend à traduire un problème mécanique concret en un modèle RDM simplifié et pertinent. Il applique ensuite les formules appropriées pour quantifier les contraintes, les déformations et les déplacements dans des structures isostatiques. Cette aptitude au calcul est la condition nécessaire au dimensionnement et à la vérification des pièces.

0.1.3. Application au dimensionnement des organes automobiles

Toute la démarche théorique trouve son application directe dans le contexte de la mécanique automobile. Les études de cas portent spécifiquement sur des organes mécaniques critiques : arbre de transmission (torsion), bielle (compression et flambement), boulon de culasse (traction et précontrainte). L'objectif est de savoir justifier un choix de matériau ou une géométrie par le calcul de résistance.

0.1.4. Initiation au diagnostic des défaillances

Finalement, ce cours introduit une perspective de diagnostic technique. L'élève apprend à analyser les causes probables de la rupture d'une pièce (surcharge, fatigue, concentration de contraintes). Il est initié à la lecture d'une cassure et à la corrélation entre la morphologie de la rupture et le type de sollicitation subie. Cette compétence prépare au métier d'expert technique automobile.

0.2. Approche Pédagogique et Méthodologique

0.2.1. Ancrage Pratique et Finalité Professionnelle

La Résistance des Matériaux est enseignée avec une orientation résolument pratique, centrée sur le secteur de la mécanique automobile. Chaque concept théorique trouve une application directe dans l'analyse de composants mécaniques concrets : bielles, arbres de transmission, châssis ou éléments de suspension. Cette contextualisation permanente vise à doter l'élève d'une compétence essentielle : la capacité de traduire un problème technique automobile en un modèle de RDM analysable. La finalité est de former des techniciens capables non seulement de calculer, mais surtout de diagnostiquer les causes d'une défaillance matérielle et d'évaluer la pertinence d'une conception.

0.2.2. Modélisation Progressive du Réel

La démarche pédagogique suit une complexité croissante pour structurer la pensée de l'apprenant. L'apprentissage débute par l'étude des sollicitations simples et pures (traction, compression, cisaillement, torsion, flexion) sur des géométries idéalisées. Progressivement, les notions se combinent pour analyser des systèmes mécaniques plus élaborés, intégrant des sollicitations composées et des conditions aux limites réalistes. Cette méthode permet de maîtriser chaque brique fondamentale du raisonnement avant de les assembler pour résoudre des cas complexes, typiques des défis rencontrés dans un garage à Mbuji-Mayi ou un bureau d'études à Matadi.

0.2.3. Développement de la Rigueur Analytique

L'objectif didactique dépasse la simple mémorisation de formules. Une importance particulière est accordée à la méthodologie de résolution de problèmes. Chaque exercice encourage un processus systématique : isoler le système mécanique, poser les hypothèses simplificatrices, réaliser le schéma de corps libre, appliquer les principes fondamentaux de la statique et de la RDM, puis interpréter le résultat avec un regard critique. L'élève apprend ainsi à construire une démonstration cohérente et à justifier ses choix, développant une rigueur intellectuelle indispensable à toute activité d'ingénierie et de maintenance.

0.3. Prérequis et Liens Interdisciplinaires

0.3.1. Socle Mathématique

La statique et la dynamique des solides mobilisent une solide assise en mathématiques. L'analyse vectorielle est fondamentale pour la modélisation des forces et des moments, notamment dans des contextes tridimensionnels. Simultanément, le calcul différentiel et intégral trouve son application directe dans la détermination des déformées et la distribution des contraintes le long des poutres. Une aisance en trigonométrie et en algèbre linéaire est indispensable pour la résolution des systèmes d'équations qui en découlent.

0.3.2. Fondamentaux de Physique Appliquée

La Résistance des Matériaux prolonge de manière logique les principes de la statique du solide. Une maîtrise parfaite du Principe Fondamental de la Statique (PFS) conditionne la capacité à isoler un système mécanique et à en établir l'équilibre. Une connaissance approfondie du centre de gravité, du moment d'inertie et du torseur des actions mécaniques est fondamentale. Sans ces bases, toute étude des sollicitations internes (effort normal, effort tranchant, moment fléchissant) demeure inaccessible.

0.3.3. Connexions avec les Disciplines de Spécialité

La RDM opère la jonction entre la théorie et la conception des organes de machines spécifiques à l'automobile. Le dimensionnement d'un arbre de transmission, le calcul d'un ressort de suspension ou la vérification à la fatigue d'un longeron de châssis sont des applications directes. Cette discipline fournit les outils théoriques pour justifier les choix de matériaux et de géométries opérés en construction mécanique. Elle garantit ainsi la sécurité, la performance et la durabilité des composants du véhicule.

0.4. Matériel Didactique et Évaluation

0.4.1. Approche Didactique et Matériel Recommandé

L'enseignement de la Résistance des Matériaux en cycle terminal exige une articulation permanente entre la théorie mathématique et ses applications technologiques. Une pédagogie efficace s'appuie sur la démonstration visuelle et le calcul appliqué.

Le matériel didactique fondamental inclut des tables normalisées des propriétés mécaniques des matériaux courants (aciers, alliages d'aluminium, composites). L'utilisation de modèles physiques, même rudimentaires comme des poutres en bois ou des ressorts, facilite la compréhension des phénomènes de flexion et de torsion. Idéalement, l'accès à des pièces automobiles réformées (bielle, arbre de transmission, lame de ressort) permet d'ancrer le cours dans une réalité tangible. Des logiciels de simulation par éléments finis, même basiques, peuvent servir d'outil de démonstration pour visualiser les concentrations de contraintes.

0.4.2. Modalités d'Évaluation Suggérées

L'évaluation doit mesurer la maîtrise des concepts et la capacité de l'élève à modéliser un problème mécanique simple. Elle se structure autour de trois axes complémentaires.

- **Évaluations formatives :** Celles-ci prennent la forme d'interrogations courtes et régulières. Elles valident la connaissance des définitions (contrainte, déformation, module de Young) et l'application des formules de base sur des cas simples (traction pure, cisaillement simple).
- **Évaluations sommatives :** Elles se présentent sous forme de problèmes de synthèse, calqués sur le format de l'Examen d'État. L'énoncé modélise le comportement d'une pièce mécanique (levier, axe, support moteur) soumise à des sollicitations combinées.
- **Évaluation pratique :** Cette épreuve peut consister en l'analyse d'une étude de cas. Il s'agit par exemple de justifier, par des calculs, le choix d'un matériau ou le dimensionnement d'un composant automobile spécifique face à un cahier des charges donné.

Partie 1. Principes Fondamentaux et Caractéristiques Géométriques

a. L'invisible qui casse

Une suspension de bus heurte un nid-de-poule sur la route de Boma. Une force violente traverse le bras de suspension. La pièce résiste ou elle cède. La Résistance des Matériaux (RDM) est la science qui explique cette lutte interne. Elle décode le langage des efforts et des déformations pour prédire la rupture. Le but est de concevoir des pièces de moteur ou de châssis qui durent.

b. Le dialogue des forces

Toute force extérieure appliquée à une pièce de voiture génère des forces intérieures. Ces réactions, appelées sollicitations, parcourent la matière. Une traction étire les atomes du métal. Une compression les rapproche. Une torsion les fait pivoter les uns par rapport aux autres. La matière répond par une résistance interne nommée contrainte. L'étude de ce dialogue permanent garantit la sécurité d'un véhicule, du tricycle de Mbuji-Mayi au grand camion grumier du fin fond de l'Équateur.

c. La géométrie, l'arme secrète

Deux pièces faites du même acier peuvent avoir des résistances radicalement différentes. Leur géométrie explique cet écart. Un simple profilé plat plie facilement sous une charge. Le même métal, moulé en un profilé en U ou en I pour un châssis, acquiert une rigidité spectaculaire. La forme de la section transversale dicte la manière dont les contraintes se répartissent à travers la matière.

d. Des chiffres pour ne pas deviner

L'intuition d'un mécanicien de Mbandaka est précieuse, mais le calcul la confirme. Les caractéristiques géométriques d'une section se traduisent en chiffres. Le centre de gravité localise le point d'application théorique des forces. Le moment quadratique (ou moment d'inertie) mesure la capacité de la forme à résister à la flexion. Ces outils mathématiques transforment le "peut-être" en certitude d'ingénieur.

Chapitre 1. Notions Fondamentales et Hypothèses

1.1. But et Hypothèses de la RDM

a. L'art de ne pas casser

Pendant que les bâtisseurs des pyramides ou les architectes des grands ponts enjambant le fleuve Congo travaillaient, ils appliquaient sans le savoir les principes de la Résistance des Matériaux. Leur expérience, transmise de génération en génération, leur dictait quelle pierre utiliser, quelle épaisseur de poutre choisir pour ne pas que tout s'effondre. C'était une science empirique, basée sur l'observation et parfois, sur de coûteux échecs.

La RDM moderne formalise cette connaissance intuitive. Elle transforme l'art de construire en une science exacte, prédictive. Son but est de répondre à une question simple mais vitale : comment dimensionner une pièce mécanique pour qu'elle résiste aux efforts qu'elle subira, sans se déformer excessivement ni se rompre, tout en utilisant le juste nécessaire de matière ?

A. Le Double Objectif de la RDM

La RDM poursuit deux buts principaux, indissociables dans la conception mécanique d'une pièce automobile comme un arbre de transmission ou un bras de suspension.

- **La condition de résistance :** Elle garantit que la pièce ne se rompra pas sous l'effet des charges appliquées. La contrainte maximale ($ *{max}*)*d a n s l e m a t é r i a u d o i t r e s t e r i n f é r i e u r e à u n e c o n t r a i n t e l i m i t e a d m i s s i b l e*({adm} $), propre à chaque matériau.
- **La condition de rigidité :** Elle assure que la pièce ne se déformera pas de manière excessive. Une flèche de suspension trop importante, par exemple, compromet la tenue de route du véhicule, même si la pièce elle-même ne casse pas. La déformation doit rester dans des limites fonctionnelles acceptables.

B. Les Hypothèses Simplificatrices : Le Pacte avec la Réalité

Un matériau réel est complexe. Pour le modéliser mathématiquement, la RDM établit un pacte. Elle pose des hypothèses simplificatrices fondamentales qui rendent les calculs possibles et fiables dans la majorité des cas.

- **Le matériau est homogène :** Ses propriétés mécaniques sont identiques en tout point. Un bloc d'acier prélevé à Matadi a les mêmes caractéristiques que le même acier à Kisangani.
- **Le matériau est isotrope :** Ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions. Il résiste de la même façon qu'on tire dessus de haut en bas ou de gauche à droite.
- **Les déformations sont faibles :** Les dimensions de la pièce varient très peu sous charge. La géométrie initiale reste une référence valide pour les calculs.
- **Le principe de Saint-Venant :** Loin des points d'application des forces, leur répartition exacte a peu d'influence sur les contraintes. L'effet est "lissé" par le matériau.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 1 : Réf. IMG (0026-1894-3591)

Visualisation des hypothèses de la RDM sur un bloc de matériau

a. L'homogénéité du matériau

Le bloc est représenté avec une couleur uniforme. Ceci illustre l'hypothèse d'homogénéité. Chaque petit cube infinitésimal (voxel) possède exactement les mêmes propriétés de résistance et de masse volumique. Dans la réalité, des impuretés ou des variations de traitement thermique peuvent créer de légères hétérogénéités, mais le modèle les ignore pour simplifier le calcul global. C'est une moyenne parfaite qui est considérée.

b. L'isotropie et les efforts

Des flèches identiques, représentant des forces, sont appliquées sur les différentes faces du cube. L'hypothèse d'isotropie suppose que la réaction du matériau sera la même, quelle que soit l'orientation de la force. C'est le cas pour la plupart des métaux comme l'acier ou l'aluminium, mais pas pour des matériaux comme le bois ou les composites.

c. La notion de petites déformations

Le cube, après application des forces, est dessiné légèrement déformé, en pointillé. La différence entre la forme initiale et la forme finale est quasi imperceptible à l'œil nu. Cette hypothèse des petites déformations est cruciale. Elle permet d'appliquer les efforts sur la géométrie de départ, sans devoir recalculer la géométrie à chaque instant du chargement.

C. Le Solide et le Poutre : Modèles de Calcul

En RDM, on ne dessine pas la pièce dans tous ses détails. On la simplifie en un modèle mathématique. Le modèle le plus courant pour les pièces allongées (arbres, essieux, longerons) est la "poutre". Une poutre est définie par sa ligne moyenne (une ligne qui passe par le centre de gravité de toutes les sections droites) et la forme de sa section.

Anecdote du Pont de Liane de Mbandaka

On raconte dans la province de l'Équateur que pour construire les anciens ponts de liane, les maîtres-bâtisseurs avaient un rituel. Avant de tendre la liane principale, ils suspendaient un poids connu (souvent plusieurs hommes robustes) à un échantillon. Ils observaient l'étirement. Si la liane s'allongeait trop ou si des fibres commençaient à craquer, elle était rejetée. Ils ne le formalisaient pas avec des équations, mais ils effectuaient un véritable essai de traction. Ils testaient la résistance (le non-craquement) et la rigidité (l'étirement limité) du matériau avant de l'intégrer à la structure finale. Cette sagesse pratique est l'ancêtre direct des essais normalisés que nous menons aujourd'hui en laboratoire sur des éprouvettes d'acier, d'aluminium ou de plastique.

Exercice 1 : La barre de remorquage

Énoncé : Papa Bondo, mécanicien à Lubumbashi, doit choisir une barre de remorquage. Il a deux options : une barre très épaisse et lourde, et une autre plus fine et légère. Le client veut pouvoir remorquer son 4x4 embourbé sans que la barre ne plie ou ne casse. Expliquez en deux points quel est le double objectif de la RDM que Papa Bondo doit considérer.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyser la condition de résistance** La barre doit être assez solide pour supporter la force de traction maximale sans se rompre. C'est le critère de résistance. Papa Bondo doit s'assurer que la contrainte dans la barre la plus fine reste inférieure à la limite de rupture du matériau.

2. **Étape 2 : Analyser la condition de rigidité** La barre ne doit pas se déformer ou plier excessivement pendant le remorquage. Une barre qui ploie est perçue comme peu fiable et peut rendre le remorquage instable. C'est le critère de rigidité. La barre la plus épaisse sera probablement plus rigide.

Exercice 2 : Le cric de Maman Hélène

Énoncé : Maman Hélène, qui fait le trajet Goma-Bukavu, utilise un cric en acier pour changer une roue. Pour calculer la résistance de la vis du cric, un ingénieur suppose que l'acier est "homogène" et "isotrope". Expliquez simplement ce que ces deux hypothèses signifient dans le contexte de ce cric.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Expliquer l'hypothèse d'homogénéité** L'ingénieur suppose que l'acier de la vis a exactement les mêmes propriétés partout. Un bout de métal pris au sommet de la vis est aussi résistant qu'un bout pris à la base. Il n'y a pas de points faibles ou de zones plus denses à l'intérieur de la vis.
2. **Étape 2 : Expliquer l'hypothèse d'isotropie** L'ingénieur suppose que l'acier de la vis résiste de la même manière dans toutes les directions. Qu'il soit soumis à une compression (écrasement), une traction (étirement) ou une torsion, ses caractéristiques de résistance sont considérées comme identiques.

1.2. Forces Extérieures et Intérieures

a. Le paradoxe de la structure immobile

Même si un pont métallique semble parfaitement inerte sous le soleil de Matadi, il est en réalité le théâtre d'une bataille invisible. Des forces titanesques s'affrontent en permanence. Celles que nous voyons, comme le poids d'un camion FUSO, et celles que nous ne voyons pas, cachées au cœur même de l'acier.

Cette distinction est le fondement de la résistance des matériaux. Comprendre comment une sollicitation externe se transforme en une contrainte interne permet de prédire la rupture ou la déformation. C'est le secret pour concevoir une pièce mécanique qui dure.

A. Les Forces Extérieures : Les Causes de la Sollicitation

Les forces extérieures sont toutes les actions mécaniques qui s'exercent sur une pièce depuis son environnement. Elles proviennent de l'extérieur du système étudié.

On distingue deux catégories principales :

- **Les actions appliquées (ou charges)** : ce sont les forces actives que la pièce doit supporter. Par exemple, le poids du moteur sur son support, la pression des gaz dans un cylindre ou la force exercée par un passager sur un siège.
- **Les réactions d'appui (ou de liaison)** : ce sont les forces que les supports exercent sur la pièce pour l'empêcher de se déplacer. Un

essieu est soutenu par des paliers ; ces paliers exercent des réactions sur l'essieu.

Ces forces sont la cause directe de la déformation et des contraintes internes dans la matière.

B. Les Forces Intérieures : La Réponse de la Matière

Contrairement aux forces extérieures, les forces intérieures naissent au sein même du matériau. Elles représentent la cohésion de la matière. Ce sont les forces qui lient les atomes les uns aux autres et qui s'opposent à la déformation ou à la rupture.

Pour les mettre en évidence, la méthode consiste à effectuer une coupe imaginaire à travers la pièce. En isolant mentalement une partie de la structure, les forces intérieures apparaissent sur la surface de coupe. Elles sont nécessaires pour garantir l'équilibre de la partie isolée.

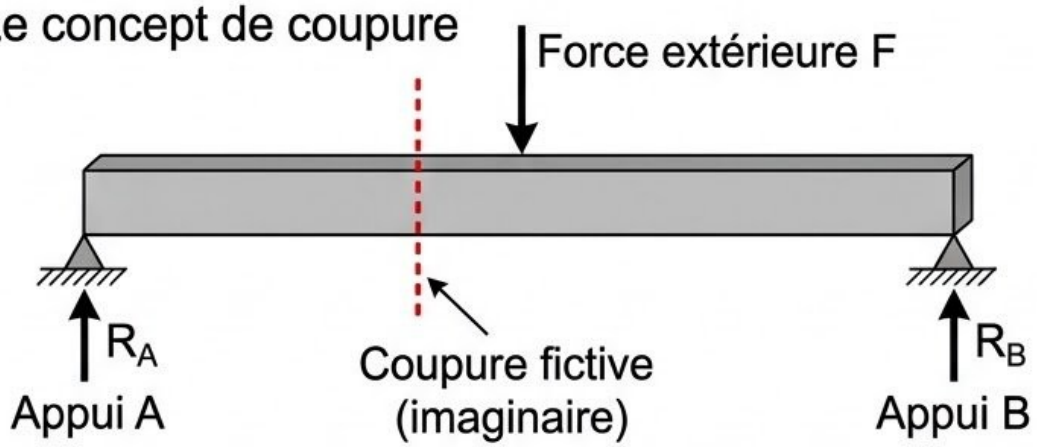
Ces forces internes sont regroupées en un concept appelé **torseur de cohésion**. Il se compose de plusieurs efforts élémentaires :

- **L'effort Normal (N)** : Perpendiculaire à la surface de coupe. Il provoque l'étirement (traction) ou le raccourcissement (compression) de la pièce.
- **L'effort Tranchant (T)** : Contenu dans le plan de la surface de coupe. Il tend à faire glisser une partie de la pièce par rapport à l'autre.
- **Le Moment Fléchissant (M_f)** : Tendant à courber la pièce.
- **Le Moment de Torsion (M_t)** : Tendant à tordre la pièce autour de son axe.

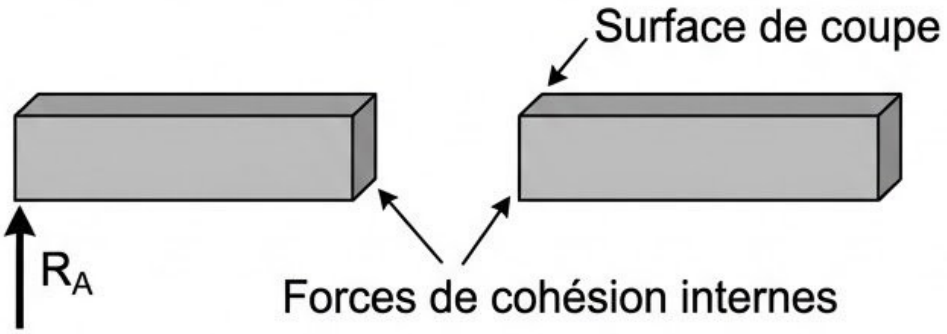
Figure 2 : Réf. IMG (8291-9639-2958)

Visualisation des efforts intérieurs sur une poutre après une coupure imaginaire

a. Le concept de coupure



b. L'équilibre de la section



c. Le torseur de cohésion révélé

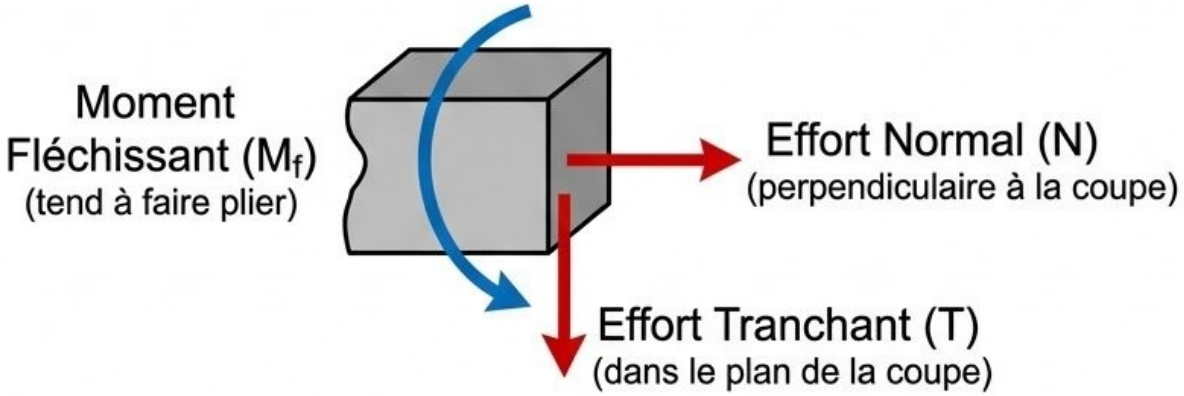


Figure 2 : Réf. IMG (8291-9639-2958)

Visualisation des efforts intérieurs sur une poutre après une coupure imaginaire

a. Le concept de coupure

L'image représente une poutre simple, appuyée à ses extrémités et soumise à une force extérieure F. Pour connaître les efforts à l'intérieur de la poutre en un point donné, on réalise une coupure fictive. On sépare mentalement la poutre en deux tronçons. Cette méthode est la clé de voûte de l'analyse en RDM. Elle transforme un problème interne en un problème d'équilibre statique externe.

b. L'équilibre de la section

Le tronçon de gauche est maintenant soumis aux forces extérieures qui lui sont appliquées (la réaction d'appui R_A) et aux forces de cohésion sur la surface de coupe. Pour que ce tronçon reste immobile, la somme des forces et des moments doit être nulle. Les forces intérieures (Effort Normal, Effort Tranchant) et les moments intérieurs (Moment Fléchissant, Moment de Torsion) sont précisément les efforts nécessaires pour assurer cet équilibre.

c. Le torseur de cohésion révélé

Sur la surface de coupe apparaissent les composantes du torseur de cohésion. L'effort normal N est perpendiculaire à la coupe. L'effort tranchant T est dans le plan de la coupe. Le moment fléchissant M_f tend à faire "plier" le tronçon. Le moment de torsion M_t (non représenté ici, car la force est dans le plan de la poutre) tendrait à la faire tourner sur elle-même.

■ ■ ■

SCÉNARIOS ET EXERCICES

L'anecdote de l'essieu à Kananga

Papa Mbuyi, un transporteur chevronné du Kasaï-Central, était furieux. Son camion était immobilisé près de Kananga, un essieu arrière brisé net. "Pourtant, je n'ai pas chargé plus que d'habitude !", se plaignait-il au mécanicien. Le vieux mécanicien, après inspection, lui expliqua avec calme. La charge habituelle était une force extérieure statique. Mais sur la route dégradée, une roue tombant violemment dans un nid-de-poule a créé une force extérieure dynamique, un choc. Ce choc a généré un pic de forces

intérieures (un moment fléchissant brutal) bien supérieur à ce que l'acier de l'essieu, déjà fatigué par des milliers de kilomètres, pouvait supporter. La rupture n'était pas due au poids, mais à l'application soudaine de la force.

Exercice 1 : Le support moteur

Énoncé : Un support moteur en acier, fixé au châssis par deux boulons, soutient une partie du poids d'un moteur diesel, estimée à une force verticale $F = 1500\,\text{N}$. On souhaite analyser les efforts internes dans le bras horizontal du support.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Bilan des forces extérieures** Les forces extérieures sont l'action (la charge du moteur, $F = 1500\,\text{N}$) et les réactions d'appui (les forces exercées par les boulons sur le support pour le maintenir fixé au châssis).
2. **Étape 2 : Réalisation d'une coupure imaginaire** On pratique une coupe virtuelle verticale à mi-longueur du bras horizontal du support. On isole la partie du bras qui est sous le point d'application de la force F.
3. **Étape 3 : Analyse des efforts intérieurs** Pour que la partie isolée soit en équilibre, la section coupée doit exercer des forces intérieures. La force F tend à faire glisser la section vers le bas. La matière répond par un **effort tranchant (T)** dirigé vers le haut, d'intensité égale à F. La force F tend aussi à faire pivoter le bras. La matière répond par un **moment fléchissant (M_f)**.

Exercice 2 : La barre de remorquage à Isiro

Énoncé : Une voiture est en panne près d'Isiro, en Province Orientale. On l'attache à un autre véhicule avec une barre de remorquage rigide. Le véhicule tracteur tire avec une force de $F = 3000\,\text{N}$. Quelle est la nature de l'effort intérieur principal dans la barre ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier les actions extérieures** La force de traction de $3000\,\text{N}$ est une action appliquée à une extrémité de la barre. La résistance de la voiture en panne est une réaction appliquée à l'autre extrémité.

2. **Étape 2 : Pratiquer une coupure imaginaire** On coupe la barre de remorquage en son milieu, perpendiculairement à sa longueur.

3. **Étape 3 : Isoler et déterminer l'effort intérieur** On isole la moitié avant de la barre. Elle est tirée vers l'avant par la force de $3000\,\mathrm{N}$. Pour qu'elle reste en équilibre et solidaire du reste de la barre, la matière au niveau de la coupe doit exercer une force opposée, dirigée vers l'arrière. Cet effort, perpendiculaire à la section de coupe et tendant à étirer la barre, est un **effort normal de traction (N)**. Son intensité est de $3000\,\mathrm{N}$.

1.3. Notion de Contrainte et de Déformation

a. L'effort invisible

Lorsque l'on tire sur un câble en acier ou que l'on comprime un ressort de suspension, une force externe est appliquée. L'objet résiste. Cette résistance n'est pas magique. Elle provient de la cohésion interne de la matière, où chaque particule exerce une force sur sa voisine pour maintenir l'intégrité de la structure.

Cette réaction interne, invisible à l'œil nu, est le cœur de la résistance des matériaux. Comprendre comment la matière répond à une sollicitation est fondamental. Ces réponses sont quantifiables par deux concepts indissociables : la contrainte et la déformation.

A. La Contrainte (σ) : La Force Intérieure

La contrainte normale, notée par la lettre grecque sigma (σ), mesure l'intensité de la force interne qui s'exerce perpendiculairement à une surface de section. C'est le rapport entre la force appliquée (F) et l'aire de la section transversale (A) sur laquelle elle agit.

Son expression mathématique est simple :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

L'unité de la contrainte est le Pascal (Pa) ou, plus couramment en mécanique, le Mégapascal (MPa), où 1 MPa = 10^6 Pa. Un Mégapascal correspond à une force de 1 Newton appliquée sur une surface de 1 millimètre carré (N/mm²).