

RESISTANCE DES MATERIAUX





3ème Année

EDITION 2025

Option Mécanique Générale

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques du Cours 1

- 1. Finalités conceptuelles 1
- 2. Compétences analytiques et méthodologiques 1

Approche Didactique et Méthodologique 2

- 1.1. De l'Observation au Modèle Théorique 2
- 1.2. Méthodologie de Résolution Systématique 2
- 1.3. Articulation entre Calcul et Phénomène Physique 2

Contexte Industriel et Sécurité 3

- 1.1. Finalité Pédagogique et Professionnelle 3
- 1.2. La Sécurité comme Postulat 3
- 1.3. L'Impératif Économique et la Performance 3

PARTIE I : CONCEPTS FONDAMENTAUX ET SOLLICITATION AXIALE **4**

a. La science de la non-rupture 4

b. La contrainte : une force invisible 4

c. La déformation : la réponse visible 4

d. La traction et la compression : le premier duel 4

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX **5**

1.1. Objet, Hypothèses et Notion de Solide Déformable 5

- a. Le paradoxe de la rigidité 5
- A. Objet et Domaine d'Application 5
- B. Hypothèses Fondamentales 6

FIGURE 1 : RÉF. IMG (3676-8398-9432) **8**

Comportement d'une poutre : solide rigide vs solide déformable 8

- Anecdote : Le manguier de Mbandaka et la branche qui plie 8

1.2. Les Sollicitations Simples : Définitions et Exemples 10

- a. Le pont et la poutre 10
- A. La Traction et la Compression : Les Efforts Normaux 11
- B. Le Cisaillement : L'Effort Tranchant 11

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 2 : RÉF. IMG (9339-7664-5224) **13**

Schéma comparatif des trois sollicitations simples sur une poutre 13

- b. Anecdote : Le toit de Papa Kanku 13

1.3. Le Concept de Contrainte Interne 15

- a. La force invisible 15
- A. Définition et Formule de la Contrainte 15

FIGURE 3 : RÉF. IMG (3478-8911-7183) **18**

Visualisation de la contrainte par une coupe imaginaire sur un tirant 18

- B. Contrainte Admissible et Sécurité 18

CHAPITRE 2 : L'ESSAI DE TRACTION ET LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES **21**

2.1. L'Essai de Traction et son Diagramme Caractéristique 21

- a. Comprendre le matériau avant de construire 21
- A. Le Principe de l'Essai de Traction 21
- B. L'Éprouvette Normalisée 21
- C. Le Diagramme Contrainte-Déformation 21

FIGURE 4 : RÉF. IMG (9532-5643-4933) **24**

Diagramme Contrainte-Déformation typique d'un acier doux lors d'un essai de t 24

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 24

2.2. Caractéristiques d'Élasticité et de Résistance 26

- a. La mémoire de forme des matériaux 26
- A. La Limite d'Élasticité () 26
- B. La Résistance à la Rupture () 27
- SCÉNARIOS ET EXERCICES 27

2.3. Le Coefficient de Sécurité : Principe et Application 29

- a. L'art de la prévoyance en ingénierie 29
- A. Définition et Utilité 29

FIGURE 5 : RÉF. IMG (3931-4785-0273) **31**

Visualisation du coefficient de sécurité sur un diagramme contrainte-déformat 31

- B. La Formulation Mathématique 31

FIGURE 6 : RÉF. IMG (4813-3465-4043) **34**

Facteurs influençant le choix du coefficient de sécurité pour une structure 34

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- C. Scénarios et Exercices.....34

CHAPITRE 3 : LA SOLLICITATION DE TRACTION SIMPLE.....37

3.1. Contrainte Normale et Condition de Résistance en Traction.....37

- a. Le paradoxe du câble de pont.....37
- A. Définition de la Contrainte Normale de Traction ().....37

FIGURE 7 : RÉF. IMG (6999-5869-8027).....39

Une barre cylindrique soumise à une force de traction axiale N.....39

- B. Condition de Résistance.....39

FIGURE 8 : RÉF. IMG (1152-6042-2963).....42

Graphique de la courbe contrainte-déformation d'un acier doux.....42

- Anecdote : Le boulon du bac de l'Équateur.....42

3.2. Déformation Élastique : Allongement et Loi de Hooke.....44

- a. L'élasticité, une mémoire de forme.....44
- A. Allongement Absolu et Relatif.....45
- B. La Loi de Hooke et le Module de Young.....45
- C. Formule Pratique de l'Allongement.....46

FIGURE 9 : RÉF. IMG (6307-5948-7748).....48

Schéma d'une éprouvette en traction simple montrant l'allongement élastique.....48

- Anecdote de l'ingénieur.....48

3.3. Applications : Calcul de Câbles, Tirants et Courroies.....50

- a. La tension maîtrisée.....50
- A. Dimensionnement d'un câble ou d'un tirant.....51

FIGURE 10 : RÉF. IMG (3328-2758-2214).....53

Schéma d'un tirant supportant une charge verticale.....53

- B. Le cas particulier des courroies.....53

CHAPITRE 4 : LA SOLLICITATION DE COMPRESSION SIMPLE.....56

4.1. Contrainte, Déformation et Résistance en Compression.....56

- a. L'effort invisible qui soutient le monde.....56
- A. La Contrainte de Compression (σ).....56
- B. La Déformation Relative (ε).....56

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 11 : RÉF. IMG (8657-1756-1135) **59**

Visualisation de la compression sur un poteau cylindrique simple 59

- C. Condition de Résistance 59

4.2. Pression de Matage et Contrainte Admissible 61

- a. Le principe du contact local 61
- A. Définition et Calcul de la Pression de Matage 62

FIGURE 12 : RÉF. IMG (5482-0855-6876) **64**

Pression de matage exercée par un rivet sur des tôles assemblées 64

- B. Condition de Résistance au Matage 64

FIGURE 13 : RÉF. IMG (8890-4637-6399) **67**

Surface de matage entre un arbre en rotation et son coussinet 67

- C. Scénarios et Exercices 67

4.3. Applications : Poteaux Courts, Bâtis de Machine 69

- a. L'héritage des bâtisseurs 69
- A. Le Poteau Court : Stabilité et Résistance 69

FIGURE 14 : RÉF. IMG (6620-8628-8611) **72**

Poteau court en béton supportant le tablier d'un pont routier 72

- B. Le Bâti de Machine : Rigidité et Précision 72

FIGURE 15 : RÉF. IMG (6886-6851-4335) **74**

Bâti mécano-soudé d'une presse hydraulique industrielle puissante 74

- Scénarios et Exercices 74

PARTIE II : CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES ET SOLLICITATIONS DE CISAILLEMENT **77**

a. Au-delà de la surface : la géométrie qui résiste 77

b. Le centre de gravité : le point d'équilibre 77

c. Le moment quadratique : l'armure invisible des poutres 77

d. Le cisaillement : la sollicitation qui tranche 77

CHAPITRE 5 : LE CISAILLEMENT SIMPLE **78**

5.1. Définition du Cisaillement et Condition de Résistance 78

- a. Le geste qui coupe 78

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. La contrainte de cisaillement (τ)..... 78
- B. Condition de résistance au cisaillement..... 78

5.2. Déformation Élastique de Cisaillement et Module Transversal..... 81
- a. Du livre à la matière..... 81
- A. L'Angle de Glissement (γ)..... 81

FIGURE 16 : RÉF. IMG (3864-1552-4201)..... 83

Déformation d'un élément carré soumis au cisaillement simple..... 83
- B. Le Module d'Élasticité Transversal (G)..... 83

5.3. Applications : Calcul de Rivets, Boulons et Clavettes..... 86
- a. L'assemblage comme point critique..... 86
- A. Calcul des Rivets et Boulons au Cisaillement..... 86

FIGURE 17 : RÉF. IMG (6289-3534-3061)..... 89

Assemblage à simple et double recouvrement cisaillant un rivet..... 89
- B. Calcul des Clavettes au Cisaillement..... 89

CHAPITRE 6 : CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES SECTIONS PLANES..... 92

6.1. Centre de Gravité et Moment Statique des Surfaces..... 92
- a. Le point d'équilibre..... 92
- A. Définition du Centre de Gravité (G)..... 92
- B. Le Moment Statique (S)..... 93

6.2. Moment d'Inertie Axial et Théorème de Huygens..... 96
- a. De l'intuition du bâtisseur à la formule du mécanicien..... 96
- A. Le Moment d'Inertie Axial : La Forme contre la Flexion..... 96

FIGURE 18 : RÉF. IMG (6552-7335-2990)..... 98

Comparaison du moment d'inertie pour une poutre rectangulaire selon l'axe..... 98
- B. Le Théorème de Huygens : Le Transport des Axes..... 98

6.3. Moment d'Inertie Polaire et sa Définition..... 100
- a. La rigidité des anciens essieux..... 100
- A. Définition Mathématique et Théorème Associé..... 101

FIGURE 19 : RÉF. IMG (9018-7027-2884)..... 102

Représentation schématique du moment d'inertie polaire sur une section quelco..... 102
- B. Application aux Formes Usuelles..... 102

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 20 : RÉF. IMG (3337-8571-8870)..... 105

Comparaison de la section pleine et de la section creuse circulaire..... 105

- L'anecdote de l'arbre de transmission..... 105

CHAPITRE 7 : LA SOLLICITATION DE TORSION..... 108

7.1. Définition et Exemples de Torsion (Arbres de transmission)..... 108

- a. La force discrète de la torsion..... 108
- A. Définition de la Torsion Pure..... 108
- B. Moment de Torsion et Contrainte de Cisaillement..... 108

FIGURE 21 : RÉF. IMG (8263-3124-8207)..... 110

Répartition des contraintes de cisaillement dans une section circulaire en to..... 110

- Scénarios d'application et Exercices..... 110

7.2. Contrainte Tangentielle et Condition de Résistance en Torsion..... 113

- a. Le secret des fibres tordues..... 113
- A. Formule de la Contrainte de Torsion..... 113

FIGURE 22 : RÉF. IMG (0059-4073-4223)..... 115

Distribution de la contrainte tangentielle dans une section circulaire pleine..... 115

- B. Condition de Résistance..... 115
- C. Module de Torsion et Dimensionnement..... 116

7.3. Angle de Torsion et Condition de Rigidité..... 118

- a. La torsion, une affaire de résistance… et de déformation..... 118
- A. L'Angle Unitaire de Torsion (θ)..... 119

FIGURE 23 : RÉF. IMG (9729-8147-1084)..... 121

Visualisation de l'angle de torsion sur un arbre cylindrique plein..... 121

- B. La Condition de Rigidité..... 121

PARTIE III : LA FLEXION PLANE SIMPLE DES POUTRES..... 124

a. De la planche sur un fossé au pont sur le fleuve..... 124

b. La poutre et les forces transversales..... 124

c. Effort tranchant et moment fléchissant : les deux acteurs internes..... 124

d. L'objectif : garantir la sécurité et la fonctionnalité..... 124

CHAPITRE 8 : PRINCIPES DE LA FLEXION ET SOLLICITATIONS INTERNES..... 125

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

8.1. Définition, Exemples et Hypothèses de la Flexion Plane.....125
- a. Le pont improvisé et la science cachée.....125
- A. Définition et Exemples Concrets.....125

FIGURE 24 : RÉF. IMG (3678-7087-5789).....127

Une poutre sur deux appuis simples subissant une force de flexion.....127
- B. Hypothèses Simplificatrices.....127

8.2. L'Effort Tranchant (T) : Définition et Convention de Signe.....130
- a. L'anatomie d'une poutre.....130
- A. Définition mathématique de l'effort tranchant.....130
- B. Convention de signe indispensable.....131

8.3. Le Moment Fléchissant (M) : Définition et Convention de Signe.....133
- a. Le poids de la réalité.....133
- A. Définition Mathématique du Moment Fléchissant.....134
- B. Convention de Signe : La Règle du Sourire.....134

FIGURE 25 : RÉF. IMG (7252-7284-3788).....136

Convention de signe du moment fléchissant pour une poutre simple.....136
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....136

CHAPITRE 9 : DIAGRAMMES DES EFFORTS TRANCHANTS ET DES MOMENTS FLÉCHISSANTS.....139

9.1. Relations entre Charge, Effort Tranchant et Moment Fléchissant.....139
- a. Une erreur de calcul qui coûte cher.....139
- A. De la charge à l'effort tranchant : une relation de dérivation.....139
- B. De l'effort tranchant au moment fléchissant : une seconde liaison.....139

FIGURE 26 : RÉF. IMG (5387-0523-8552).....142

Poutre simple avec charge répartie et ses diagrammes d'efforts internes.....142
- Scénarios et Exercices.....142

9.2. Méthode des Coupures pour le Calcul de T(x) et M(x).....144
- a. L'art du boucher et la science de l'ingénieur.....144
- A. Le Principe : Isoler pour Révéler.....144

FIGURE 27 : RÉF. IMG (2651-7539-5783).....147

Convention de signe pour l'effort tranchant et le moment fléchissant.....147

- B. Méthodologie Systématique.....147

9.3. Tracé des Diagrammes pour les Poutres sur Appuis Simples.....150

- a. Le pont et la sagesse de l'ancien.....150
- A. Le Principe de la Double Cartographie.....150
- B. Forme des Diagrammes selon la Charge.....151

9.4. Tracé des Diagrammes pour les Poutres Encastrées (en Console).....154

- a. L'art de la contrainte.....154
- A. La Nature de l'Encastrement : Une Triple Réaction.....154
- B. Méthodologie : Partir de l'Extrémité Libre.....155

FIGURE 28 : RÉF. IMG (1267-2643-3222).....157

Diagrammes des efforts pour une poutre en console avec charge ponctuelle.....157

- Une anecdote de chantier à Matadi.....157

CHAPITRE 10 : CONTRAINTES ET DÉFORMATIONS EN FLEXION.....160

10.1. Distribution de la Contrainte Normale dans une Section.....160

- a. L'intuition de la flexion.....160
- A. L'Hypothèse de Bernoulli et la Fibre Neutre.....160

FIGURE 29 : RÉF. IMG (9409-2989-6628).....162

Distribution linéaire de la contrainte normale dans une section rectangulaire.....162

- B. Formule de la Contrainte en Flexion Simple.....162

FIGURE 30 : RÉF. IMG (5850-8526-5074).....165

Paramètres de la formule de la contrainte en flexion simple.....165

- b. Scénarios et Exercices.....165

10.2. Condition de Résistance en Flexion.....167

- a. Le paradoxe du pont de lianes.....167
- A. Contrainte Maximale en Flexion.....167
- B. L'Inégalité de Résistance.....168

FIGURE 31 : RÉF. IMG (4008-4435-9652).....169

Distribution des contraintes normales dans une section rectangulaire en flexion.....169

- b. L'anecdote du charpentier de Mbandaka.....169

10.3. Le Module de Flexion et l'Usage des Profilés Courants.....172

- a. L'intuition de la forme.....172

- A. Le Module de Flexion : Le Chiffre de la Forme....172

FIGURE 32 : RÉF. IMG (2767-3922-9716)....174

Comparaison de modules de flexion pour une même section de poutre....174

- B. L'Intelligence des Profilés Normalisés....174

FIGURE 33 : RÉF. IMG (0419-2268-8991)....175

Les profils courants et la localisation stratégique de la matière....175

- Anecdote : Le Secret des Charpentiers du Kasaï....175

10.4. La Déformée et la Notion de Flèche....177

- a. Un pont, une leçon....177
- A. La Déformée : Signature Visuelle de la Charge....178
- B. La Flèche (f ou y) : Mesure du Déplacement Vertical....178

FIGURE 34 : RÉF. IMG (3269-8597-8363)....180

Poutre sur deux appuis subissant une flèche sous charge ponctuelle....180

- Anecdotes et Savoir-faire du Terrain....180

PARTIE IV : STABILITÉ DES STRUCTURES ET SOLLICITATIONS COMPOSÉES....183

a. Au-delà des sollicitations simples....183

b. Le principe de superposition des contraintes....183

c. Le flambement : la perte de stabilité de forme....183

d. L'objectif : anticiper pour dimensionner....183

CHAPITRE 11 : LE FLAMBAGE DES POUTRES ÉLANCÉES....184

11.1. Le Phénomène d'Instabilité Élastique : Définition du Flambage....184

- a. La règle qui plie sous le doigt....184
- A. Stabilité et Instabilité d'un Équilibre....184
- B. Le Flambage : Une Rupture de Forme....184

FIGURE 35 : RÉF. IMG (9000-3960-2140)....187

Comparaison d'une poutre courte et d'une poutre élancée en compression....187

- C. Scénarios et Exercices....187

11.2. La Charge Critique d'Euler....189

- a. L'intuition avant la formule....189
- A. La Condition de Stabilité d'une Poutre Comprimée....189

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 36 : RÉF. IMG (0478-6150-6654) **192**

Visualisation du phénomène de flambage sur une colonne élancée 192

- B. La Formule d'Euler et ses Composants 192
- C. L'Influence des Liaisons : La Longueur de Flambage () 193

FIGURE 37 : RÉF. IMG (8916-6052-6456) **195**

Les quatre cas de liaisons et leur influence sur la longueur de flambage 195

- Scénarios et Exercices 195
- a. L'anecdote de l'ingénieur de Kisangani 195

11.3. Notion d'Élancement et Conditions d'Application d'Euler 197

- a. Une question de proportion 197
- A. Définition de l'Élancement () 198
- B. Le Rayon de Giration () 198

FIGURE 38 : RÉF. IMG (4958-3175-6572) **199**

Comparaison de l'élancement pour deux sections de même aire 199

- C. Domaine de Validité de la Formule d'Euler 199

11.4. Formules Pratiques (Rankine) et Dimensionnement 202

- a. Du monde idéal d'Euler au réel de Rankine 202
- A. La Formule de Rankine : Un Compromis Efficace 202

FIGURE 39 : RÉF. IMG (1410-2650-7714) **204**

Comparaison des courbes de charge critique selon Euler et Rankine 204

- B. Coefficient de Sécurité et Dimensionnement 204

CHAPITRE 12 : INTRODUCTION AUX SOLLICITATIONS COMPOSÉES **208**

12.1. Principe de Superposition des Contraintes 208

- a. Une vérité intuitive pour une théorie fondamentale 208
- A. Énoncé du Principe et Conditions d'Application 208
- B. La Méthode Analytique en Trois Temps 209

FIGURE 40 : RÉF. IMG (6858-8774-0454) **211**

Poutre sous flexion et traction combinées illustrant la superposition 211

FIGURE 41 : RÉF. IMG (8551-7232-8274) **213**

Poteau en béton armé subissant une charge excentrée 213

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- Scénarios et Exercices....213

12.2. La Flexion Composée (Flexion et Traction/Compression)....215

- a. Quand les efforts s'additionnent....215
- A. Principe de Superposition....216
- B. Distribution des Contraintes et Axe Neutre....216

FIGURE 42 : RÉF. IMG (7354-2853-8983)....218

Distribution des contraintes dans une section en flexion composée....218

- C. Calcul des Contraintes Extrêmes....218

12.3. La Torsion et la Flexion Combinées....221

- a. L'arbre de transmission, une pièce à tout faire....221
- A. La Naissance de Deux Types de Contraintes....221

FIGURE 43 : RÉF. IMG (3623-9600-3284)....223

Distribution des contraintes de flexion et torsion sur une section circulaire....223

- B. Le Critère de Von Mises pour la Sécurité....223

FIGURE 44 : RÉF. IMG (1900-0908-5027)....226

État de contrainte plane sur un élément de surface d'un arbre....226

- Scénarios et Exercices....226

12.4. Notion de Contrainte Équivalente (von Mises)....228

- a. Le défi des contraintes multiples....228
- A. Le principe de la contrainte équivalente....228

FIGURE 45 : RÉF. IMG (1885-7424-6635)....231

Arbre de transmission subissant une traction et une torsion simultanées....231

- B. La formule de von Mises et le critère de sécurité....231

FIGURE 46 : RÉF. IMG (6776-4746-7277)....234

Le critère de von Mises comparé à la limite d'élasticité....234

- b. Scénarios et Exercices....234

ANNEXES....237

Tableau des Propriétés Mécaniques des Matériaux Courants....237

- A. Définitions des Propriétés Fondamentales....237
- B. Influence des Facteurs Extérieurs....238

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- C. Tableau Synthétique des Valeurs Usuelles (à 20°C).....239
- D. Notes d'Utilisation.....240

Formulaire des Caractéristiques Géométriques des Sections.....241

- A. Définitions Fondamentales et Unités du Système International.....241
- B. Théorème de Transport (Théorème de Huygens).....242
- C. Formulaire des Sections Usuelles.....243

Extraits des Catalogues de Profilés Métalliques.....245

- A. Normalisation et Désignation.....245
- B. Profilés en I (Poutrelles).....246
- C. Profilés en U.....247
- D. Cornières.....247
- E. Paramètres géométriques et mécaniques clés.....247

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques du Cours

L'enseignement de la Résistance des Matériaux en 3ème année Mécanique Générale poursuit des finalités cognitives et méthodologiques précises, destinées à structurer la pensée technique de l'élève finaliste. L'ambition est de dépasser la simple application de formules pour installer une véritable compétence d'analyse des structures.

Au terme de ce cursus, l'apprenant doit être capable d'articuler concepts théoriques et applications pratiques. Il s'agit de le doter des outils intellectuels nécessaires au dimensionnement et à la vérification de la sécurité des organes mécaniques courants. La maîtrise de ces objectifs conditionne sa réussite à l'Examen d'État et son intégration future dans un environnement technique professionnel.

1. Finalités conceptuelles

1.1. Maîtrise des notions fondamentales

L'élève doit définir et manipuler avec une rigueur absolue les concepts de contrainte (normale et tangentielle) et de déformation (longitudinale et de cisaillement). Cette maîtrise inclut la compréhension des hypothèses simplificatrices du modèle des poutres.

1.2. Assimilation des lois de comportement

Il doit connaître et appliquer les lois de comportement des matériaux, principalement la loi de Hooke en régime élastique. La distinction entre le domaine élastique et le domaine plastique doit être parfaitement acquise.

2. Compétences analytiques et méthodologiques

2.1. Modélisation des systèmes mécaniques

L'élève doit développer l'aptitude à traduire un problème réel en un schéma mécanique pertinent, en isolant les solides et en modélisant les liaisons et les actions mécaniques extérieures.

2.2. Calcul des sollicitations internes

Il doit appliquer systématiquement le principe fondamental de la statique et la méthode des sections pour déterminer les diagrammes des efforts internes (Effort Normal, Effort Tranchant, Moment Fléchissant) pour les sollicitations simples : traction, compression, cisaillement et flexion pure.

Approche Didactique et Méthodologique

1.1. De l'Observation au Modèle Théorique

La démarche pédagogique favorise une approche inductive. Chaque concept fondamental de la Résistance des Matériaux est introduit par une situation physique concrète et observable. Une poutre fléchissant sous une charge à Lubumbashi ou un arbre de transmission subissant une torsion à Boma servent de point de départ. L'abstraction mathématique et la modélisation ne surviennent qu'en seconde étape, comme une nécessité pour quantifier le phénomène observé. Cette méthode ancre la théorie dans le réel tangible de l'étudiant.

1.2. Méthodologie de Résolution Systématique

Une attention particulière est accordée à l'acquisition d'une méthode de résolution rigoureuse et transférable. Toute analyse de problème suit un protocole invariant : isolation du système, diagramme du corps libre (DCL), application des principes fondamentaux de la statique, puis sélection et application des formules de RDM adéquates. Cette structuration vise à automatiser les bonnes pratiques et à limiter les erreurs d'interprétation, préparant ainsi efficacement aux épreuves de l'Examen d'État.

1.3. Articulation entre Calcul et Phénomène Physique

Finalement, la résolution numérique n'est jamais une fin en soi. Chaque calcul de contrainte, de déformation ou de coefficient de sécurité est systématiquement ramené à sa signification physique. L'objectif est de former un technicien capable non seulement d'appliquer une formule, mais aussi d'interpréter le résultat pour valider ou invalider la conception d'une pièce mécanique dans un contexte industriel réel, que ce soit au Kasaï ou dans le Kwilu. La compétence visée est l'analyse critique d'un résultat numérique.

Contexte Industriel et Sécurité

1.1. Finalité Pédagogique et Professionnelle

L'enseignement de la Résistance des Matériaux (RDM) poursuit un objectif de transposition concrète. Il dote le futur technicien des outils d'analyse du comportement mécanique des pièces et des structures réelles. Cette discipline formalise le passage du calcul théorique au jugement d'ingénierie appliquée. La maîtrise des concepts de contraintes, de déformations et des critères de rupture prépare à l'exercice d'une conception responsable, loin de toute abstraction mathématique déconnectée des réalités physiques et industrielles.

1.2. La Sécurité comme Postulat

L'enjeu premier de la RDM est la sécurité des personnes et des biens. Chaque calcul de poutre, de support ou d'assemblage est une quantification directe du risque de défaillance. Enseigner la RDM, c'est donc inculquer la culture du coefficient de sécurité, concept fondamental qui traduit l'incertitude et l'aléa en marge de sûreté tangible. Il s'agit de former des professionnels qui dimensionnent les structures non pas pour qu'elles tiennent, mais pour qu'elles ne cèdent jamais dans les conditions d'usage prévisibles.

1.3. L'Impératif Économique et la Performance

Simultanément à l'exigence de sécurité, la compétitivité industrielle impose des solutions optimisées. Une structure surdimensionnée est certes sûre, mais elle est coûteuse en matière et en énergie, donc non performante sur le plan économique. La RDM fournit les méthodes pour atteindre le juste équilibre entre la résistance nécessaire et l'économie de matière. Le cours doit ainsi démontrer comment une maîtrise fine du calcul conduit à des produits industriels à la fois fiables et économiquement viables.

Partie I : Concepts Fondamentaux et Sollicitation Axiale

a. La science de la non-rupture

Toute structure, du pont Maréchal au Kongo Central à la charpente d'une école à Bunia, est soumise à des forces. La Résistance des Matériaux (RDM) est la discipline qui analyse ces forces internes. Son but est de prédire le comportement d'une pièce mécanique pour garantir sa sécurité et son efficacité. Elle détermine les conditions exactes de résistance avant la rupture, permettant de concevoir des objets qui durent.

b. La contrainte : une force invisible

Une force externe appliquée sur une pièce solide génère des efforts internes. La contrainte, notée par la lettre grecque sigma (σ), mesure l'intensité de ces efforts en un point précis du matériau. Elle représente une force répartie sur une surface et s'exprime en Pascals (Pa) ou ses multiples (MPa). Cette valeur est cruciale pour évaluer si le matériau supportera la charge sans défaillance.

c. La déformation : la réponse visible

Aucun corps n'est parfaitement indéformable. Sous l'effet d'une contrainte, un matériau s'allonge ou se raccourcit. Cette variation de dimension est la déformation, notée epsilon (ϵ). Elle est définie comme le rapport de l'allongement sur la longueur initiale de la pièce. La déformation est une grandeur sans dimension, souvent exprimée en pourcentage, qui quantifie la réponse géométrique du matériau à une sollicitation.

d. La traction et la compression : le premier duel

Cette première partie étudie la sollicitation la plus fondamentale : l'effort axial. Il s'agit d'une force agissant le long de l'axe principal d'une poutre ou d'un tirant. L'effort peut être une traction, qui tend à allonger la pièce, ou une compression, qui tend à la raccourcir. L'analyse de ces deux cas simples, du câble de funiculaire à l'Équateur au pilier d'un bâtiment à Kananga, pose les bases de toute la RDM.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Chapitre 1 : Introduction à la Résistance des Matériaux

1.1. Objet, Hypothèses et Notion de Solide Déformable

a. Le paradoxe de la rigidité

Un des faits les plus contre-intuitifs en mécanique est que rien n'est parfaitement rigide. Un poteau métallique, une poutre en béton, même le sol sous nos pieds se déforment sous l'effet des charges. Ces déformations sont souvent invisibles à l'œil nu, mais elles existent et conditionnent la sécurité des structures.

La Résistance des Matériaux (RDM) est la science qui quantifie ces déformations et les contraintes internes qui en découlent. Son but est de concevoir des pièces qui fonctionnent sans se rompre et sans se déformer excessivement.

A. Objet et Domaine d'Application

Essentiellement, la RDM étudie l'équilibre des corps solides *déformables*. Elle prolonge la mécanique du solide rigide en ajoutant une dimension essentielle : le comportement interne de la matière. La RDM cherche à répondre à trois questions fondamentales pour toute pièce mécanique ou structure de génie civil.

- **La résistance** : La pièce va-t-elle supporter la charge sans se rompre ?
- **La rigidité** : La déformation de la pièce restera-t-elle dans des limites acceptables ? Une flèche de pont trop importante est un problème, même si le pont ne s'effondre pas.
- **La stabilité** : La pièce conservera-t-elle sa forme d'équilibre initiale sous charge ? C'est la question du flambement pour les éléments élancés.

Un plancher d'une maison à Kisangani doit résister au poids des meubles (résistance), ne pas vibrer ou fléchir excessivement quand on marche (rigidité), et ses poutres de soutien ne doivent pas se tordre (stabilité).

B. Hypothèses Fondamentales

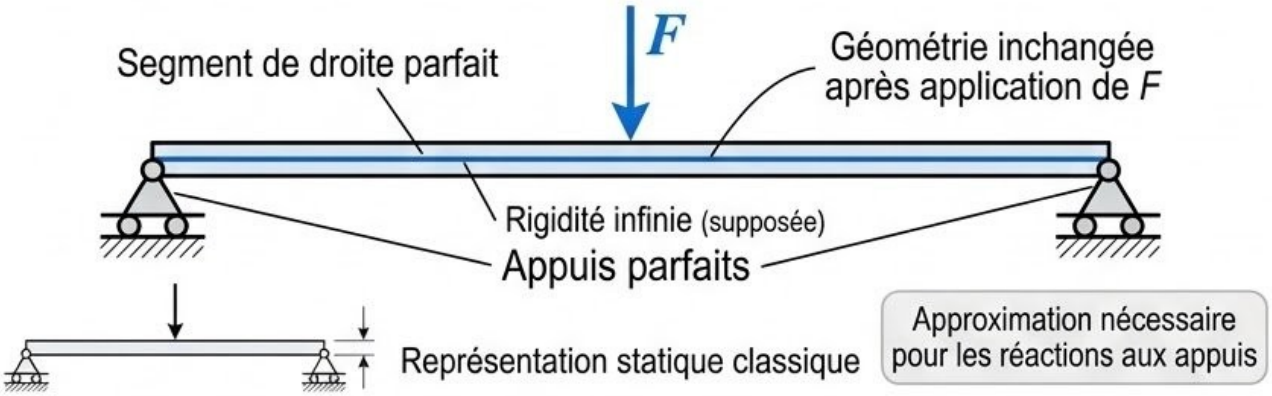
Le calcul RDM serait d'une complexité extrême sans certaines hypothèses simplificatrices sur la nature de la matière. Ces hypothèses sont valides dans la grande majorité des cas industriels et de construction.

- **L'homogénéité** : Le matériau possède les mêmes propriétés mécaniques en tout point de la pièce.
- **L'isotropie** : Dans un point donné, les propriétés du matériau sont identiques dans toutes les directions. Le bois n'est pas isotrope, l'acier l'est généralement.
- **La continuité** : La matière remplit entièrement le volume de la pièce, sans fissure ni vide interne.
- **Les petites déformations** : Les déformations sont très faibles par rapport aux dimensions de la pièce. L'équilibre peut donc s'écrire sur la géométrie non déformée.

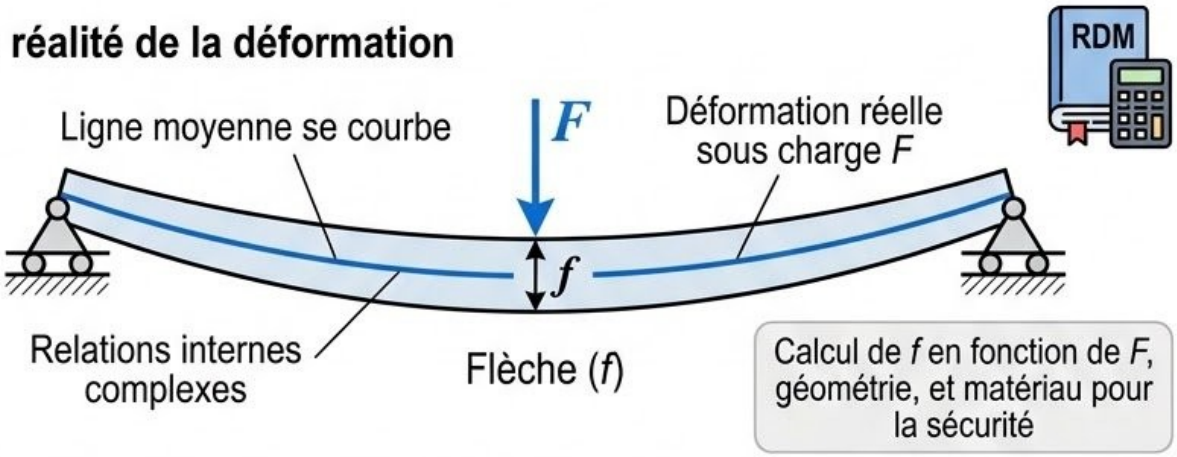
MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 1 : Réf. IMG (3676-8398-9432) Comportement d'une poutre : **solide rigide** vs **solide déformable**

a. Le mythe du solide indéformable



b. La réalité de la déformation



c. La fibre neutre et les contraintes

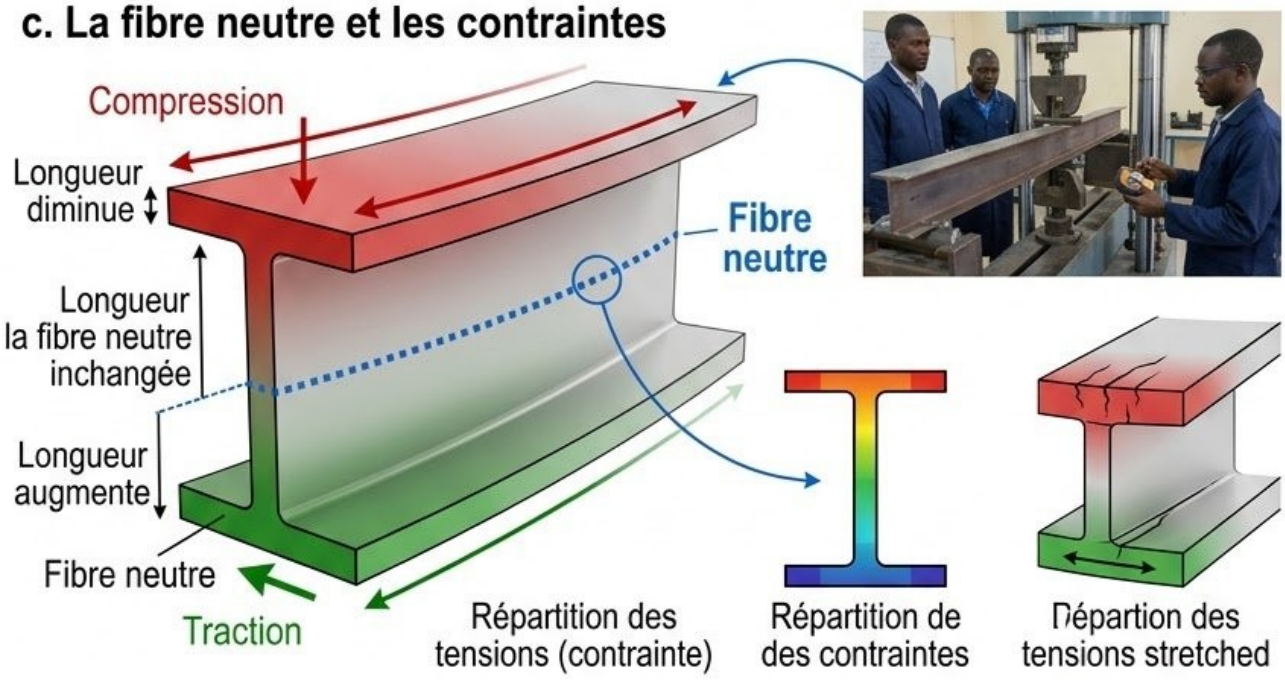


Figure 1 : Réf. IMG (3676-8398-9432)

Comportement d'une poutre : solide rigide vs solide déformable

a. Le mythe du solide indéformable

La mécanique statique classique, étudiée les années précédentes, représente une poutre comme un segment de droite parfait. Sous l'effet d'une force F, cette poutre transmet les efforts mais sa géométrie reste inchangée. Cette idéalisation est utile pour calculer les réactions aux appuis, mais elle ignore ce qui se passe à l'intérieur du matériau. Elle suppose une rigidité infinie qui n'existe pas dans le monde réel. C'est une première approximation nécessaire mais incomplète.

b. La réalité de la déformation

La RDM corrige cette vision. La même poutre, en réalité, fléchit sous la charge F. Sa ligne moyenne se courbe, décrivant une "flèche" f. Cette déformation, même minime, engendre des efforts internes complexes. Le but de la RDM est de calculer la relation entre la force F, la géométrie de la poutre, la nature du matériau et la flèche f. La sécurité d'un ouvrage dépend de la maîtrise de cette déformation.

c. La fibre neutre et les contraintes

Pendant la flexion, les fibres supérieures de la poutre sont comprimées : leur longueur diminue. Les fibres inférieures sont étirées (traction) : leur longueur augmente. Il existe une ligne au centre de la poutre, appelée "fibre neutre", dont la longueur ne change pas. Cette répartition des tensions et compressions internes est appelée contrainte. Comprendre cette répartition est la clé pour dimensionner correctement la poutre et s'assurer qu'elle ne rompra ni en compression ni en traction.

■ ■ ■

Anecdote : Le manguier de Mbandaka et la branche qui plie

Un vieil ingénieur des travaux publics, originaire de la province de l'Équateur, aimait expliquer la RDM en observant les manguiers. Il disait : "Regardez cette branche chargée de fruits. Si elle était parfaitement rigide comme du verre, la première grosse mangue ou le premier coup de vent la casserait net. Mais la

nature l'a bien faite. Elle est conçue pour plier. C'est sa *rigidité* qui est en jeu. Elle se déforme juste assez pour absorber l'énergie du vent."

Il continuait : "Mais si on accroche une charge trop lourde, elle finira par céder. C'est sa *résistance* qui est atteinte. La RDM, c'est simplement donner aux ponts et aux bâtiments la sagesse d'une branche de manguier : être assez fort pour ne pas casser, et assez souple pour ne pas être fragile."

Exercice 1 : Le tirant du ponton de Boma

Énoncé : L'ingénieur Mavinga doit vérifier un tirant en acier (une barre circulaire) qui retient un ponton flottant à Boma, dans le Kongo Central. Le tirant subit une force de traction de $F = 60\,\text{kN}$. Son diamètre est de $d = 25\,\text{mm}$. Calculez la contrainte normale (σ) dans le tirant.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Convertir les unités et identifier les données** La force doit être en Newtons (N) et les dimensions en millimètres (mm) pour obtenir une contrainte en Mégapascals (MPa).
   - Force $F = 60\,\text{kN} = 60 \times 10^3\,\text{N}$
   - Diamètre $d = 25\,\text{mm}$
2. **Étape 2 : Calculer l'aire de la section transversale (A)** La section est un cercle. La formule de l'aire est $A = \pi \times r^2$ ou $A = \frac{\pi \times d^2}{4}$.

$$A = \frac{\pi \times (25\,\text{mm})^2}{4} \approx 490,87\,\text{mm}^2$$

3. **Étape 3 : Appliquer la formule de la contrainte normale** La contrainte normale (σ) est la force (F) divisée par l'aire (A).

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

$$\sigma = \frac{60 \times 10^3\,\text{N}}{490,87\,\text{mm}^2} \approx 122,23\,\text{N/mm}^2$$

La contrainte dans le tirant est de 122,23 MPa.

Exercice 2 : Le pilier en béton de l'école de Mbuji-Mayi

Énoncé : Le maître maçon Ilunga construit les fondations d'une nouvelle école au Kasaï-Oriental. Un pilier en béton de section carrée doit supporter une

charge de compression. La contrainte maximale admissible pour ce béton est $\sigma_{adm} = 8\,\text{MPa}$. Le côté du pilier est de $c = 400\,\text{mm}$. Quelle est la charge maximale (F_{max}) que ce pilier peut supporter en toute sécurité ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier les données du problème** Les unités sont déjà cohérentes (MPa et mm).
   - Contrainte admissible $\sigma_{adm} = 8\,\text{MPa} = 8\,\text{N/mm}^2$
   - Côté de la section carrée $c = 400\,\text{mm}$
2. **Étape 2 : Calculer l'aire de la section du pilier (A)** La section est un carré. La formule de l'aire est $A = c^2$.

$$A = (400\,\text{mm})^2 = 160\,000\,\text{mm}^2$$

3. **Étape 3 : Déterminer la charge maximale admissible (F_{max})** La force maximale est le produit de la contrainte admissible et de l'aire.

$$F_{max} = \sigma_{adm} \times A$$

$$F_{max} = 8\,\text{N/mm}^2 \times 160\,000\,\text{mm}^2 = 1\,280\,000\,\text{N}$$

Pour une meilleure lecture, convertissons en kiloNewtons (kN) : $F_{max} = 1280\,\text{kN}$. Le pilier peut supporter une charge de 1280 kN.

1.2. Les Sollicitations Simples : Définitions et Exemples

a. Le pont et la poutre

Pendant la construction du pont Maréchal à Matadi, les ingénieurs ont calculé précisément les forces agissant sur chaque élément. Chaque câble, chaque poutre, chaque pilier subit des efforts. Ces efforts internes, invisibles à l'œil nu, déterminent la solidité et la durée de vie de l'ouvrage. Ils sont la préoccupation centrale de la résistance des matériaux.

En mécanique, ces efforts internes portent un nom : les sollicitations. Une sollicitation simple décrit une action mécanique pure qui agit sur une structure. La maîtriser permet de dimensionner une pièce. L'objectif est simple : s'assurer qu'elle résiste sans se rompre ni se déformer de manière excessive sous l'effet des charges appliquées.

A. La Traction et la Compression : Les Efforts Normaux

Une force agissant perpendiculairement à une section droite d'une poutre génère un effort normal, noté N. Cet effort peut étirer ou écraser la matière.

On distingue alors deux cas fondamentaux : - **La Traction :** La matière est étirée. Les forces extérieures, de même direction et de sens opposés, tendent à allonger la pièce. Un câble de remorquage subit une traction. Par convention, l'effort de traction est positif ($N>0$). - **La Compression :** La matière est écrasée. Les forces extérieures tendent à raccourcir la pièce. Un pilier soutenant une dalle de béton subit une compression. Par convention, l'effort de compression est négatif ($N<0$).

Dans les deux cas, l'effort est dit "normal" car sa direction est perpendiculaire (normale) à la section étudiée.

B. Le Cisaillement : L'Effort Tranchant

Contrairement aux efforts normaux, l'effort tranchant, noté T (ou parfois V), est généré par des forces agissant parallèlement à la section droite d'une poutre. L'effet est un glissement relatif entre deux sections très proches, comme l'action d'une paire de ciseaux.

Cette sollicitation apparaît typiquement dans les boulons, les rivets ou les goupilles qui assemblent plusieurs pièces. Les forces tentent de "couper" ou de "cisailler" l'élément de liaison. L'effort tranchant est donc tangentiel à la surface de la coupe.

Figure 2 : Réf. IMG (9339-7664-5224)

Schéma comparatif des trois sollicitations simples sur une poutre

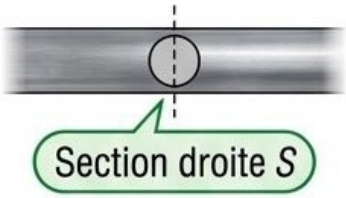
1 TRACTION

1.a L'action des forces



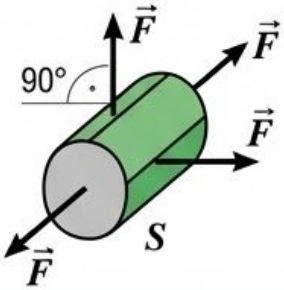
Forces opposées tirant la poutre

1.b La section droite (*S*)



Coupe fictive perpendiculaire

1.c L'orientation décisive



Force *F* perpendiculaire à la section *S*

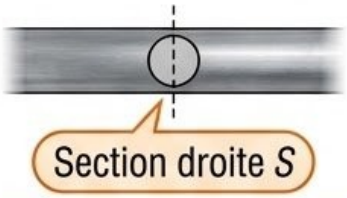
2 COMPRESSION

2.a L'action des forces



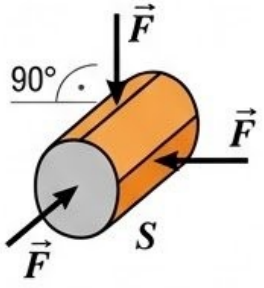
Forces opposées poussant la poutre

2.b La section droite (*S*)



Coupe fictive perpendiculaire

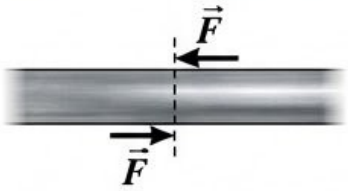
2.c L'orientation décisive



Force *F* perpendiculaire à la section *S*

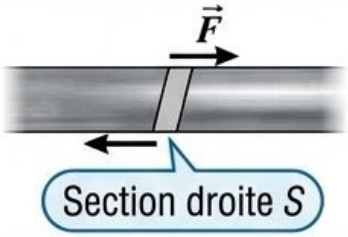
3 CISAILLEMENT

3.a L'action des forces



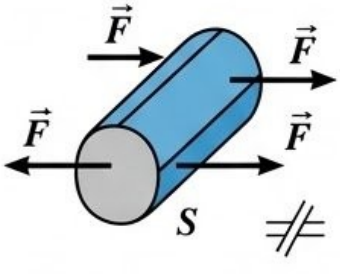
Forces proches et opposées créant un effet ciseaux

3.b La section droite (*S*)



Coupe fictive parallèle

3.c L'orientation décisive



Forces *F* parallèles à la section *S*

Figure 2 : Réf. IMG (9339-7664-5224)

Schéma comparatif des trois sollicitations simples sur une poutre

a. L'action des forces

Le schéma montre trois barres identiques soumises à des forces différentes. La première barre est tirée par des forces F opposées : c'est la traction. La deuxième est poussée : c'est la compression. La troisième est soumise à deux forces très proches et opposées, créant un effet de ciseaux : c'est le cisaillement. Ces forces externes sont la cause des contraintes internes.

b. La section droite (S)

Pour analyser l'effet interne, on imagine une coupe fictive dans la matière, appelée section droite S. C'est sur cette surface que l'on étudie les efforts (normaux ou tranchants). L'orientation de la force par rapport à cette section S détermine la nature de la sollicitation. Toute la Résistance des Matériaux est basée sur l'analyse de ce qui se passe au niveau de cette section.

c. L'orientation décisive

La différence est visuelle. En traction et en compression, la force F est perpendiculaire à la section S. Elle "pique" ou "sort" de la surface. En cisaillement, les forces F sont parallèles à la section S. Elles "glissent" le long de la surface de coupe. Cette distinction géométrique est le fondement de toute l'analyse des structures.

■ ■ ■

---

b. Anecdote : Le toit de Papa Kanku

À Mbuji-Mayi, après une tempête particulièrement violente, le toit en tôle de la parcelle de Papa Kanku s'est envolé. Voisin respecté, mais pas ingénieur pour un sou, il a entrepris de reconstruire plus solide. Il a utilisé des poteaux en bois plus épais pour soutenir la charpente. Intuitivement, il savait que ces poteaux devaient résister à l'écrasement : c'est de la compression pure.

Pour fixer la nouvelle charpente, il a utilisé de gros boulons pour lier les poutres entre elles. Il a serré très fort, en se disant que si le vent voulait encore couper quelque chose, il devrait d'abord cisailler le métal de ses boulons. Sans le savoir, Papa Kanku venait de faire une leçon pratique de

Résistance des Matériaux, en gérant instinctivement les sollicitations de compression et de cisaillement.

Exercice 1 : Le câble de remorquage à Mbandaka

Énoncé : Le camion de Maman Angèle, transportant du manioc, est embourbé sur une piste près de Mbandaka, en Équateur. On utilise un câble en acier de 10 mm de diamètre pour le tirer. La force de traction nécessaire pour sortir le camion est de $30\,000$ N. Quelle est la contrainte de traction dans le câble ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calcul de l'aire de la section du câble** L'effort est appliqué sur la section circulaire du câble. On calcule son aire A. Le rayon r est la moitié du diamètre, soit $r = 10\,\text{mm}/2 = 5\,\text{mm}$. La formule de l'aire d'un disque est

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times (5\,\text{mm})^2 \approx 78,54\,\text{mm}^2$$

2. **Étape 2 : Calcul de la contrainte de traction (σ)** La contrainte est la force par unité de surface. Elle se calcule avec la formule $\sigma = F/A$.

$$\sigma = \frac{30\,000\,\text{N}}{78,54\,\text{mm}^2} \approx 381,97\,\text{N/mm}^2$$

La contrainte dans le câble est d'environ 382 Mégapascals (MPa), car $1\,\text{N/mm}^2 = 1\,\text{MPa}$.

Exercice 2 : La colonne de la véranda à Kisangani

Énoncé : Bwana Jean, entrepreneur à Kisangani, construit une nouvelle véranda. Une colonne carrée en béton de 20 cm de côté doit supporter une charge de 160 Kilonewtons (kN) transmise par la toiture. Quelle est la contrainte de compression dans la colonne ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Conversion des unités et calcul de l'aire** Pour être cohérent, on convertit tout en millimètres (mm) et Newtons (N). Côté de la colonne : $c = 20\,\text{cm} = 200\,\text{mm}$. Charge appliquée : $F = 160\,\text{kN} = 160\,000\,\text{N}$. L'aire de la section carrée est

$$A = c \times c$$

$$A = 200\,\text{mm} \times 200\,\text{mm} = 40\,000\,\text{mm}^2$$

2. **Étape 2 : Calcul de la contrainte de compression (σ)** La formule reste la même que pour la traction, mais le résultat représente un écrasement.

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

$$\sigma = \frac{160\,000\,\text{N}}{40\,000\,\text{mm}^2} = 4\,\text{N/mm}^2$$

La contrainte de compression dans la colonne en béton est de 4 MPa.

1.3. Le Concept de Contrainte Interne

a. La force invisible

Même si une corde servant à tirer de l'eau d'un puits à Bandundu semble parfaitement inerte et calme, elle subit en réalité une véritable guerre interne. Chaque fibre de la corde lutte contre ses voisines pour résister à la force de traction qui cherche à les séparer. Cette tension interne est une force répartie sur toute la matière.

Cette bataille moléculaire est le cœur de la résistance des matériaux. Comprendre comment calculer cette force invisible, c'est savoir si une structure, du simple tabouret au grand pont Maréchal connectant Matadi, va tenir ou céder.

A. Définition et Formule de la Contrainte

La contrainte est une grandeur qui mesure l'intensité des efforts internes au sein d'un matériau déformable. Elle représente la force interne par unité de surface.

L'unité de la contrainte dans le Système International est le Pascal (Pa), qui correspond à un effort de 1 Newton appliqué sur une surface de 1 mètre carré. En pratique, on utilise des multiples plus commodes comme le Mégapascal (MPa). - 1 MPa = 1 000 000 Pa - 1 MPa = 1 N/mm²

Pour une force F appliquée perpendiculairement à une section d'aire A, la contrainte normale, notée σ (sigma), se calcule par la relation :

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

Une valeur élevée de σ signifie que la matière est fortement sollicitée.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590