RESISTANCE DES MATERIAUX

EDITION 2025

4è Année

Option Construction

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL





TABLE DE MATIERE

Préliminaires 1
1.1. Introduction et Objectifs 1
- 1.1.1. Objet et Importance Fondamentale de la Résistance des Matériaux (RDM) 🏛️ 1
- 1.1.2. Contexte Spécifique et Enjeux pour la République Démocratique du Congo CD 1
- 1.1.3. Objectifs Pédagogiques Généraux 2
- 1.1.4. Objectifs Spécifiques de la 4ème Année Construction 3

1.2. Directives Méthodologiques 4
- 1.2.1. La Rigueur comme Outil Central 📐 4
- 1.2.2. L'Approche Séquentielle Impérative 目 4
- 1.2.3. Du Modèle à la Réalité Constructive 5
- 1.2.4. Compétences Transversales (Analyse et Synthèse) 5

1.3. Contenu du Cours (Programme Officiel) 6
- 1.3.1. Module 1 : Fondamentaux de Statique et Sollicitations 6
- 1.3.2. Module 2 : Propriétés des Matériaux et Sections 6
- 1.3.3. Module 3 : Analyse des Sollicitations Simples 7
- 1.3.4. Module 4 : Analyse des Sollicitations Composées 7
- 1.3.5. Module 5 : Systèmes Complexes et Matériaux Spécifiques 7

Chapitre 1 : Rappels de Statique et Unités de Force 11
1.1. Principes Fondamentaux de Statique 11
- 1.1.1. Définition et Objectifs de la Statique 📐 11
- 1.1.2. Le Concept de Corps Rigide (Solide Indéformable) 11
- 1.1.3. Les Principes Fondamentaux (Axiomes) 14
- 1.1.4. L'Équilibre Statique d'un Point Matériel 18
- 1.1.5. L'Équilibre Statique d'un Corps Rigide (Solide) 18
- 1.1.6. L'Isolation d'un Corps et le Bilan des Actions Mécaniques 21

1.2. Représentation Vectorielle et Unités de Force (Newton) 25

- 1.2.1. La Force comme Vecteur $\vec{F}$ 25
- 1.2.2. Le Système International d'Unités (SI) en Construction 28
- 1.2.3. Les Forces Usuelles en Construction (Poids Propre, Charges d'Exploitation) 31

1.3. Composition et Décomposition de Forces 33

- 1.3.1. Composition de Forces Concourantes (Méthode Graphique) .33
- 1.3.2. Composition de Forces Concourantes (Méthode Analytique) 📊 33
- 1.3.3. Décomposition d'une Force 34
- 1.3.4. Cas des Forces Parallèles et des Couples 36

1.4. Moments des Forces et Théorème de Varignon 38

- 1.4.1. Définition du Moment d'une Force par rapport à un Point 🔄 38
- 1.4.2. Le Bras de Levier (d) 39
- 1.4.3. Le Théorème de Varignon 41
- 1.4.4. Le Moment d'une Force par rapport à un Axe (Δ) 41
- 1.4.5. Le Moment d'un Couple 42

Scenarios et Exercices 44

- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 44
- 2. Exercices de Raisonnement Statique 45
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC) 46

Chapitre 2 : Analyse des Structures Simples et Calcul des Sollicitations 50

2.1. Systèmes de Forces Concourantes et Parallèles 50

- 2.1.1. Objectif de l'Analyse des Sollicitations 50
- 2.1.2. Systèmes de Forces Concourantes 🎯 50
- 2.1.3. Systèmes de Forces Parallèles (Poutres) 📏 53
- 2.1.4. Résultante d'une Charge Répartie qx 53

2.2. Calcul des Réactions d'Appui des Poutres Isostatiques 56

- 2.2.1. Définition de l'Isostaticité (Rappel) ⚖️ 56

- 2.2.2. Modélisation des Poutres Isostatiques Simples.....56
- 2.2.3. Méthodologie Systématique de Résolution (PFS).....59
- 2.2.4. Exemple de Résolution 1 : Poutre sur deux appuis (Charge P) 60
- 2.2.5. Exemple de Résolution 2 : Poutre sur deux appuis (Charge q) 62
- 2.2.6. Exemple de Résolution 3 : Poutre en Porte-à-Faux (Console)62

2.3. Diagrammes des Efforts Tranchants et des Moments Fléchissants 64

- 2.3.1. Définition des Sollicitations (Concepts physiques) 64
- 2.3.2. Conventions de Signes (Cruciales) 64
- 2.3.3. Relations Fondamentales entre q, V et M (Méthode Graphique) 68
- 2.3.4. Méthodologie de Tracé Graphique (Synthèse).....71

2.4. Le Principe de la Coupe et ses Éléments de Réduction 73

- 2.4.1. La Méthode des Sections (La "Coupe") 🔪 73
- 2.4.2. Équilibre du Tronçon Isolé.....73
- 2.4.3. Définition des Éléments de Réduction (Le Torseur de Cohésion) 73
- 2.4.4. Application de la Méthode des Coupes (Analytique) 76
- 2.4.5. Exemple d'Application (Console avec charge P en bout).....76

Scenarios et Exercices 79

- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 79
- 2. Exercices de Raisonnement Statique.....80
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC).....81

Chapitre 3 : Traction, Compression et Cisaillement 87

3.1. Essais et Diagrammes de Contraintes-Déformations.....87

- 3.1.1. L'Objectif de l'Essai de Traction 🔬 87
- 3.1.2. Définition de la Contrainte et de la Déformation 87
- 3.1.3. Le Diagramme Contrainte-Déformation ($\sigma - \epsilon$) de l'Acier 📈 88
- 3.1.4. Matériaux Ductiles et Matériaux Fragiles 89

3.2. Loi de Hooke et Module d'Élasticité (E) 92
- 3.2.1. Énoncé de la Loi de Hooke 92
- 3.2.2. Le Module d'Élasticité (Module de Young E) 92
- 3.2.3. Unités et Ordres de Grandeur 92
- 3.2.4. Relation Allongement-Force (Formule Pratique) 93

3.3. Contraintes Normales (Traction et Compression) et Tangentielles (Cisaillement) 95
- 3.3.1. Contrainte Normale (σ) ↕ 95
- 3.3.2. Contrainte Tangentielle (τ) ou de Cisaillement ↔ 96
- 3.3.3. Cas du Cisaillement Simple (Boulons, Rivets, Poinçonnement) 98

3.4. Coefficients de Sécurité et Dimensionnement 100
- 3.4.1. La Nécessité de la Sécurité 🛡️ 100
- 3.4.2. Définition de la Contrainte Admissible (σadm) 100
- 3.4.3. L'Inéquation Fondamentale de la RDM (Condition de Vérification) 103
- 3.4.4. La Condition de Dimensionnement 103

Scenarios et Exercices 105
- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 105
- 2. Exercices de Raisonnement 106
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC) 107

Chapitre 4 : Propriétés Géométriques des Sections 110

4.1. Centres de Gravité des Sections 110
- 4.1.1. Pertinence du Centre de Gravité en RDM 🎯 110
- 4.1.2. Détermination par la Symétrie 110
- 4.1.3. Définition Mathématique (Formule Générale) 113
- 4.1.4. Méthode des Sections Composées (Application Pratique) 113

4.2. Moments Statiques et Moments d'Inertie 116
- 4.2.1. Le Moment Statique (S) 📏 116
- 4.2.2. Le Moment d'Inertie Quadratique (I) 🏋️ 116

- 4.2.3. Formules Usuelles pour Axes Centraux (passant par G).....119
- 4.2.4. Moment d'Inertie Polaire (IP ou J).....119

4.3. Théorème d'Huygens-Steiner (Théorème des axes parallèles) 121

- 4.3.1. Problématique 121
- 4.3.2. Énoncé du Théorème 📐 121
- 4.3.3. Application Systématique aux Sections Composées 121

4.4. Module de Flexion et Rayon de Giration 124

- 4.4.1. Le Module de Flexion (W) 📦 125
- 4.4.2. Le Rayon de Giration (i) 🧭 126

Scenarios et Exercices 129

- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 129
- 2. Exercices de Raisonnement.....130
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC).....131

Chapitre 5 : Flexion Simple 137

5.1. Flexion Simple d'une Poutre 137

- 5.1.1. Définition de la Sollicitation de Flexion 🏹 137
- 5.1.2. Hypothèses Fondamentales de la Flexion Simple 137

5.2. Diagramme de Navier et Contraintes dans une Section 140

- 5.2.1. La Relation entre Courbure et Déformation (Cinématique)..140
- 5.2.2. La Relation entre Déformation et Contrainte (Loi de Hooke) 140
- 5.2.3. Localisation de l'Axe Neutre (Équilibre Statique) 141
- 5.2.4. La Formule Fondamentale de la Flexion ($\sigma = My/I$) 141
- 5.2.5. Contrainte Maximale et Module de Flexion (Dimensionnement) 142

5.3. Calcul des Flèches et Déformations.....144

- 5.3.1. L'Équation Différentielle de la Ligne Élastique.....144
- 5.3.2. Méthode de la Double Intégration.....144
- 5.3.3. Conditions aux Limites (Détermination de $C1$ et $C2$).....145

- 5.3.4. Formules Usuelles de Flèche Maximale (Méthode de Superposition).....147

5.4. Relations entre Charges, Efforts Tranchants et Moments Fléchissants 149

- 5.4.1. Équilibre d'un Tronçon Élémentaire dx.....149
- 5.4.2. Relation Vx et qx 149
- 5.4.3. Relation Mx et Vx 149
- 5.4.4. Localisation du Moment Maximal ($Mmax$).....150
- 5.4.5. Synthèse des Relations (Formes Intégrales) 150

Scenarios et Exercices 152

- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 152
- 2. Exercices de Raisonnement.....153
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC).....154

Chapitre 6 : Flexion Composée et Déviée 158

6.1. Flexion et Traction/Compression Combinées (Flexion Composée) ...158

- 6.1.1. Définition et Origine de la Flexion Composée 158
- 6.1.2. Le Principe de Transport (Charge Excentrée).....158
- 6.1.3. Le Principe de Superposition (Calcul des Contraintes) 159
- 6.1.4. Formule Générale de la Flexion Composée 159
- 6.1.5. Déplacement de l'Axe Neutre 159

6.2. Le Noyau Central de Section.....160

- 6.2.1. Problématique des Matériaux Non-Résistants à la Traction (NRT) 160
- 6.2.2. Condition de Non-Traction.....160
- 6.2.3. L'Excentricité Maximale ($emax$).....161
- 6.2.4. Le Noyau Central 161

6.3. Flexion Déviée ou Flexion Gauche.....162

- 6.3.1. Définition de la Flexion Déviée 162
- 6.3.2. Origine de la Flexion Déviée 162
- 6.3.3. Principe de Superposition (Flexion Biaxiale).....162

- 6.3.4. Axe Neutre en Flexion Déviée 163
- 6.3.5. Danger de la Flexion Déviée 163

6.4. Application aux Pannes de Toiture 164

- 6.4.1. Contexte Constructif (Toitures en Pente RDC) 🏠 164
- 6.4.2. Le Problème Statique de la Panne 164
- 6.4.3. Décomposition des Charges 164
- 6.4.4. Calcul des Contraintes (Vérification) 164
- 6.4.5. L'Importance du Contreventement (Anti-Déversement) 165

Scenarios et Exercices 166

- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 166
- 2. Exercices de Raisonnement 167
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC) 168

Chapitre 7 : Torsion et Poutres Composées 172

7.1. Contraintes et Déformations dues à la Torsion 172

- 7.1.1. Définition et Hypothèses de la Torsion 🌀 172
- 7.1.2. Distribution des Déformations et Contraintes (Sections Circulaires) 172
- 7.1.3. Formule Fondamentale de la Torsion (Contrainte τ) 173
- 7.1.4. Déformation en Torsion (Angle de Torsion θ) 173
- 7.1.5. Module de Cisaillement (G) 174
- 7.1.6. Cas des Sections Non-Circulaires (Rectangles, Profilés) 174

7.2. Calcul des Assemblages et des Soudures 175

- 7.2.1. Objectif des Assemblages 🔗 175
- 7.2.2. Assemblages par Boulons (Vérification) 175
- 7.2.3. Assemblages par Soudure (Vérification) ⚡ 176

7.3. Étude des Treillis et des Fermes 177

- 7.3.1. Définition des Systèmes Réticulés (Treillis) 🔺 177
- 7.3.2. Hypothèses Fondamentales de Calcul 177
- 7.3.3. Conséquence : Sollicitation Axiale Pure (N) 177

- 7.3.4. Méthode d'Équilibre des Nœuds.....178
- 7.3.5. Méthode des Coupures (Méthode de Ritter) 178

7.4. Conception des Poutres Composées.....179

- 7.4.1. Principe des Poutres Composées (Hétérogènes) 🥪 179
- 7.4.2. La Méthode de la Section Homogénéisée 179
- 7.4.3. Le Coefficient d'Équivalence (n) 179
- 7.4.4. Transformation de la Section.....179
- 7.4.5. Calcul de la Section Homogénéisée (Gh et Ih) 180
- 7.4.6. Calcul des Contraintes.....180

Scenarios et Exercices 181

- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 181
- 2. Exercices de Raisonnement.....182
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC).....183

Chapitre 8 : Flambage 188

8.1. Définition et Élancement des Poteaux 188

- 8.1.1. Le Phénomène d'Instabilité (Flambage) 📉 188
- 8.1.2. Poteaux Courts vs. Poteaux Élancés.....188
- 8.1.3. La Charge Critique (Pcr).....189
- 8.1.4. L'Élancement (λ) : Paramètre Fondamental.....189
- 8.1.5. Composantes de l'Élancement 189

8.2. Les Formules d'Euler, de Rankine et de Tetmayer.....191

- 8.2.1. La Formule d'Euler (Domaine Élastique).....191
- 8.2.2. La Formule de Tetmayer (Domaine Inélastique/Plastique)..192
- 8.2.3. La Formule de Rankine 193

8.3. Colonnes en Treillis.....194

- 8.3.1. Définition et Contexte (Poteaux Batées) 🗼 194
- 8.3.2. Avantage Structurel 194
- 8.3.3. Modes de Ruine à Vérifier 194
- 8.3.4. Dimensionnement Optimal 195

8.4. Applications Pratiques et Dimensionnement.....195
- 8.4.1. Contexte d'Application 195
- 8.4.2. Méthodologie de Vérification au Flambage 195
- 8.4.3. Méthodologie de Dimensionnement 197

Scenarios et Exercices 197
- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 197
- 2. Exercices de Raisonnement.....198
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC).....199

Chapitre 9 : Poutres Hyperstatiques et Contraintes Thermiques.....204

9.1. Notion et Degré d'Hyperstaticité 204
- 9.1.1. Distinction entre Structures Isostatiques et Hyperstatiques ⚖️ 204
- 9.1.2. Définition et Intérêt des Systèmes Hyperstatiques 204
- 9.1.3. Détermination du Degré d'Hyperstaticité (d) 205
- 9.1.4. Calcul de d pour les Poutres (Structures 2D) 206

9.2. Théorème des Trois Moments (Clapeyron) 207
- 9.2.1. Objectif et Domaine d'Application 207
- 9.2.2. Principe de la Démonstration (Continuité de la Pente).....207
- 9.2.3. Énoncé du Théorème des Trois Moments (Cas EI constant) 207
- 9.2.4. Calcul du Terme de Charge ΦB 208
- 9.2.5. Méthodologie de Résolution (Poutre Continue) 208

9.3. Poutres Encastrées et Continues.....209
- 9.3.1. Analyse des Poutres Encastrées (Encastré-Encastré).....209
- 9.3.2. Formules des Moments d'Encastrement Parfait (MEP) 210
- 9.3.3. Cas d'un Encastrement dans le Théorème de Clapeyron.....210

9.4. Contraintes dues aux Variations de Température 211
- 9.4.1. Le Phénomène de Dilatation Thermique 🌞🌡️ 211
- 9.4.2. Cas des Structures Isostatiques (Déplacement Libre) 211

- 9.4.3. Cas des Structures Hyperstatiques (Déplacement Bloqué) ..212
- 9.4.4. Gradient Thermique et Moments Thermiques 213
- 9.4.5. La Solution Constructive : Le Joint de Dilatation 213

Scenarios et Exercices 213

- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 213
- 2. Exercices de Raisonnement.....214
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC).....215

Chapitre 10 : Le Béton Armé et la Précontrainte 219

10.1. Résistance et Comportement du Béton.....219

- 10.1.1. Définition et Composition du Matériau Béton 🏗️ 219
- 10.1.2. Le Comportement Mécanique Dissymétrique du Béton 219
- 10.1.3. Phénomènes Différés : Retrait et Fluage 220

10.2. Le Béton Armé en Traction, Compression et Flexion.....221

- 10.2.1. Le Principe du Mariage Béton-Acier 🤝 221
- 10.2.2. Le Béton Armé en Traction Simple (Tirant).....221
- 10.2.3. Le Béton Armé en Compression Simple (Poteau) 🏛️ 222
- 10.2.4. Le Béton Armé en Flexion Simple (Poutre).....222

10.3. Les Ouvrages en Béton Armé (Poutres, Dalles, Escaliers, Fondations) 223

- 10.3.1. Les Poutres (Beams).....224
- 10.3.2. Les Dalles (Slabs) 224
- 10.3.3. Les Escaliers (Stairs) 224
- 10.3.4. Les Fondations (Foundations) ⚓ 225

10.4. Les Principes et Avantages du Béton Précontraint 226

- 10.4.1. La Limite du Béton Armé 226
- 10.4.2. Le Principe Révolutionnaire de la Précontrainte.....226
- 10.4.3. Le Comportement en Service.....226
- 10.4.4. Types de Précontrainte 227
- 10.4.5. Avantages et Applications.....227

Scenarios et Exercices 228
- 1. Exercices de Compréhension et de Terminologie 228
- 2. Exercices de Raisonnement.....229
- 3. Scénarios d'Assimilation (Contextualisation RDC).....230

ANNEXES..... a

ANNEXES..... a

1. Tables de Profilés et de Matériaux i
- 1.1. Propriétés des Matériaux Courants (Contexte RDC) i
- 1.2. Caractéristiques Géométriques des Profilés Usuels.....iii

2. Glossaire des 30 Termes Techniques Fondamentaux vi
- 2.1. Termes 1-10 (Statique et Sollicitations).....vi
- 2.2. Termes 11-20 (Matériaux et Géométrie) xi
- 2.3. Termes 21-30 (Flexion, Flambage et Hyperstaticité) xv



Préliminaires

1.1. Introduction et Objectifs

1.1.1. Objet et Importance Fondamentale de la Résistance des Matériaux (RDM) 🏛

La Résistance des Matériaux (RDM) est la discipline scientifique fondamentale qui permet à l'ingénieur en construction de répondre à la question centrale de son métier : l'ouvrage conçu sera-t-il capable de résister aux charges qui lui seront appliquées, sans rompre et sans se déformer excessivement ?

Elle constitue le pont analytique indispensable entre la Statique (qui étudie l'équilibre des forces *externes* sur un corps supposé rigide) et la réalité physique (où les corps sont *déformables* et peuvent *rompre*). La RDM est l'étude de la mécanique des corps déformables.

Son objet est de développer des méthodes de calcul permettant de quantifier les efforts *internes* (sollicitations N, V, M) et les contraintes (σ, τ) qui en résultent à l'intérieur de la matière, ainsi que les déformations (flèches f, rotations θ) qui en découlent.

Maîtriser la RDM, c'est acquérir le pouvoir de dimensionner, c'est-à-dire de déterminer les formes et les dimensions minimales (et donc économiques) d'une poutre, d'un poteau ou d'une fondation, tout en garantissant la sécurité absolue des usagers et la durabilité de l'ouvrage face aux agressions (poids, vent, séismes, température).

1.1.2. Contexte Spécifique et Enjeux pour la République Démocratique du Congo CD

Pour l'élève-constructeur en RDC, la RDM revêt une importance stratégique qui transcende la simple application de formules. Les défis constructifs du pays exigent une maîtrise pointue et adaptée de cette science.

1. **Optimisation des Ressources :** Dans un contexte où les matériaux nobles (acier, ciment de haute performance) sont souvent importés et coûteux, la RDM permet un dimensionnement précis. Elle évite le surdimensionnement (gaspillage de ressources, augmentation des coûts) tout en proscrivant le sous-dimensionnement (risque d'effondrement). L'ingénieur congolais doit savoir justifier *pourquoi* un IPE 200 est nécessaire, et *pourquoi* un IPE 180 est insuffisant.

2. **Valorisation des Matériaux Locaux :** La RDC dispose d'immenses ressources, notamment en bois (tropicaux, de plantation comme l'eucalyptus). La RDM fournit les outils pour caractériser (Module E, résistances f_m, f_c) et utiliser ces bois (ex: bois de *Kambala* ou *Limba*) de manière sécurisée et efficace pour les charpentes à Kinshasa, les ponts temporaires au Kasaï ou les étaiements miniers au Katanga, en tenant compte de leurs propriétés spécifiques (anisotropie, sensibilité à l'humidité).

3. **Contrôle Qualité et Pathologie :** La maîtrise de la RDM permet de comprendre *pourquoi* les structures échouent. L'observation d'une fissure à 45° près d'un appui sur une poutre à Goma doit immédiatement alerter l'ingénieur sur une défaillance probable par effort tranchant (V), tandis qu'une fissure verticale au milieu de la face inférieure signale une défaillance par moment fléchissant (M).

4. **Adaptation aux Contraintes Locales :** Le dimensionnement doit intégrer les réalités locales : la forte pluviométrie (charges sur toitures), les vents violents (pression sur façades), les sols parfois difficiles (fondations), et les défis logistiques qui favorisent parfois les structures légères (treillis) ou le béton coulé sur place.

1.1.3. Objectifs Pédagogiques Généraux

Ce cours vise à transformer l'élève d'un observateur passif des structures à un acteur capable d'analyser et de pré-dimensionner les éléments porteurs fondamentaux. L'ambition est de forger une rigueur intellectuelle absolue dans l'application des principes mécaniques.

Au terme de ce programme, l'élève devra avoir acquis la capacité de :

1. **Modéliser :** Traduire un problème de construction réel (un balcon, un linteau, une ferme de toiture) en un modèle mécanique simplifié (schéma statique) en identifiant les charges (q, P), les appuis (encastrement, articulation) et la géométrie (L, h, b).

2. **Analyser :** Appliquer les principes de la Statique (PFS) pour déterminer les actions externes (réactions), puis utiliser le principe de la coupe pour déterminer la distribution des sollicitations internes (N, V, M) le long de l'élément.

3. **Quantifier :** Calculer les propriétés géométriques (Aire A, Centre de Gravité G, Moment d'Inertie I) de n'importe quelle section (simple, composée, IPE).

4. **Vérifier :** Calculer les contraintes maximales (σ_{max}, τ_{max}) dans la matière et les comparer aux limites admissibles (σ_{adm}) du matériau (acier, béton, bois) pour valider la sécurité (ELU).

5. **Contrôler :** Calculer les déformations (flèches f) et les comparer aux limites admissibles ($f_{adm} = L/x$) pour valider le confort et la fonctionnalité (ELS).

1.1.4. Objectifs Spécifiques de la 4ème Année Construction

L'accent de cette 4ème année est mis sur la maîtrise complète des **sollicitations simples et composées** pour les systèmes **isostatiques**. L'élève doit consolider sa maîtrise de la statique et l'appliquer au calcul des contraintes et des déformations.

À l'issue de cette année, l'élève devra spécifiquement savoir :

1. Isoler un corps et calculer les réactions d'appui pour toute poutre isostatique (appuis simples, console).
2. Tracer manuellement et avec précision les diagrammes des efforts internes (N, V, M) pour des charges (P, q) quelconques, en maîtrisant les relations $q - V - M$.
3. Calculer le centre de gravité G et le moment d'inertie I d'une section composée (ex: T, L, U) en appliquant le théorème de Huygens.
4. Dimensionner (trouver l'aire A_s) un tirant simple en traction ($\sigma = N/A$).
5. Dimensionner (vérifier σ) un poteau court en compression ($\sigma = N/A$).
6. Dimensionner (choisir un profilé W) une poutre en flexion simple ($\sigma = My/I$).
7. Vérifier une panne de toiture en flexion déviée ($\sigma = M_z/W_z + M_y/W_y$).
8. Calculer la charge critique d'un poteau élancé (flambage) en utilisant la formule d'Euler et l'élancement ($\lambda = L_f/i_{min}$).
9. Expliquer le principe du Béton Armé (rôle de l'acier en traction) et positionner correctement les armatures dans une poutre, une dalle et une semelle.

1.2. Directives Méthodologiques

1.2.1. La Rigueur comme Outil Central 📐

La Résistance des Matériaux est une science exacte qui ne tolère aucune approximation fantaisiste. L'ingénieur est légalement et moralement responsable de la sécurité de ses ouvrages. Cette responsabilité impose une rigueur absolue à chaque étape du calcul.

- **Précision des Unités :** La confusion entre Newtons (N) et KiloNewtons (kN), entre Mètres (m) et Millimètres (mm), entre Pascals (Pa) et MégaPascals (MPa) est la source d'erreurs la plus fréquente et la plus dangereuse. Tous les calculs devront être menés dans un système cohérent (généralement N, mm, MPa).
- **Précision des Hypothèses :** L'élève doit savoir énoncer les hypothèses (ex: Navier-Bernoulli, élasticité linéaire) qui justifient l'utilisation d'une formule ($\sigma = My/I$) et connaître les limites de cette formule (ex: ne s'applique pas près d'une charge concentrée).
- **Précision des Signes :** Les conventions de signe pour les moments (positif = traction en bas) et les efforts (traction > 0) doivent être maîtrisées et appliquées systématiquement.

1.2.2. L'Approche Séquentielle Impérative 🪜

La RDM est un échafaudage intellectuel. Chaque concept s'appuie sur le précédent, et la maîtrise d'une étape conditionne impérativement la réussite de la suivante. Il est impossible de sauter des étapes.

1.2.2.1. La Séquence de Résolution Incontournable

Tout problème de dimensionnement en RDM suit cette séquence logique :

1. **Modélisation (Statique Externe) :** Définir le schéma statique, les charges et les appuis.
2. **Calcul des Réactions (PFS) :** Déterminer les efforts externes (ex: V_A, V_B). *L'erreur ici fausse toute la suite.*
3. **Calcul des Sollicitations (Statique Interne) :** Tracer les diagrammes $N(x), V(x), M(x)$ et identifier les valeurs *maximales* ($M_{max}, V_{max}, N_{max}$).

4. **Analyse Géométrique (Propriétés de Section) :** Déterminer les caractéristiques de la section (Aire A, Centre de Gravité G, Moment d'Inertie I, Module W).

5. **Calcul des Contraintes (RDM) :** Appliquer les formules de résistance (ex: $\sigma_{max} = M_{max}/W_x$) pour trouver la contrainte maximale dans la matière.

6. **Vérification (Dimensionnement) :** Comparer la contrainte calculée à la contrainte admissible du matériau ($\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$).

Le programme de ce cours est structuré pour suivre exactement cette séquence : Statique (Ch 1-2) → Géométrie (Ch 4) → Contraintes (Ch 3, 5, 6, 7, 8).

1.2.3. Du Modèle à la Réalité Constructive

Ce cours établit un lien permanent entre la théorie (les formules) et la pratique de chantier en RDC. Une formule n'est pas un objectif en soi ; c'est un outil pour résoudre un défi concret.

- **Le Contexte Justifie le Modèle :** L'élève apprendra à justifier *pourquoi* une liaison entre une poutre en bois et un mur en maçonnerie à Mbandaka est modélisée comme un "appui simple", tandis qu'une poutre en béton coulée en même temps qu'un poteau à Lubumbashi est modélisée comme un "encastrement".

- **L'Analyse Mène à l'Action :** Le calcul $\sigma_{max} > \sigma_{adm}$ (la poutre ne résiste pas) n'est pas une fin. C'est le début de la réflexion de l'ingénieur : "Que dois-je faire ? Augmenter la hauteur h (plus efficace car I dépend de h^3) ? Élargir la base b ? Changer de matériau (passer du bois C18 à du Kambala C30) ? Ou choisir un profilé IPE plus grand ?"

- **Visualisation Physique :** L'élève doit développer un "sens physique" des chiffres. Une flèche $f_{max} = 40mm$ (4 cm) pour une poutre de plancher de 5m doit être perçue comme excessive et dangereuse, même si la poutre ne rompt pas.

1.2.4. Compétences Transversales (Analyse et Synthèse)

La RDM forme l'esprit d'analyse et de synthèse de l'ingénieur.

- **Analyse :** Chaque problème complexe (ex: une panne de toiture) sera décomposé en sous-problèmes simples (flexion déviée → charge

verticale q → décomposition en q_y et q_z → calcul de M_z et M_y → superposition des contraintes $\sigma_z + \sigma_y$).

- **Synthèse :** L'élève doit être capable de rédiger une note de calcul claire, justifiant ses hypothèses, présentant sa méthodologie (les 6 étapes de 1.2.2.1) et concluant par un jugement clair ("La section est vérifiée" ou "La section n'est pas vérifiée").

1.3. Contenu du Cours (Programme Officiel)

Le programme de 4ème année Construction s'articule autour de cinq modules séquentiels, couvrant l'intégralité des sollicitations simples et composées, et s'achevant sur l'introduction aux systèmes hyperstatiques et au béton armé.

1.3.1. Module 1 : Fondamentaux de Statique et Sollicitations

Ce module révise les acquis indispensables de la statique et les applique à la détermination des efforts internes, qui sont le point de départ de toute la RDM.

- **Chapitre 1 : Rappels de Statique et Unités de Force** (PFS, Types d'appuis, Forces et Moments, Unités SI).
- **Chapitre 2 : Analyse des Structures Simples et Calcul des Sollicitations** (Principe de la Coupe, Tracé des diagrammes N, V, M, Relations $q - V - M$).

1.3.2. Module 2 : Propriétés des Matériaux et Sections

Ce module analyse les deux "acteurs" de la RDM : le matériau (sa résistance) et la forme (sa rigidité géométrique).

- **Chapitre 3 : Traction, Compression et Cisaillement** (Diagramme $\sigma - \epsilon$, Loi de Hooke, Module E, R_e, $\sigma = N/A$, Coefficient de sécurité, $\tau = V/A$).
- **Chapitre 4 : Propriétés Géométriques des Sections** (Centre de Gravité G, Moment Statique S, Moment d'Inertie I, Théorème de Huygens, Module de Flexion W, Rayon de Giration i).

1.3.3. Module 3 : Analyse des Sollicitations Simples

Ce module combine les Modules 1 et 2 pour résoudre les cas de charge les plus courants en construction : la flexion et la torsion.

- **Chapitre 5 : Flexion Simple** (Hypothèse Navier-Bernoulli, Formule $\sigma = My/I$, Dimensionnement $\sigma_{max} = M_{max}/W$, Calcul de flèches $f = PL^3/48EI$).
- **Chapitre 7 (Partie 1) : Torsion** (Torsion des sections circulaires, $\tau = TR/I_p$, Angle de torsion $\theta = TL/GI_p$).

1.3.4. Module 4 : Analyse des Sollicitations Composées

Ce module aborde les cas réalistes où plusieurs sollicitations agissent simultanément sur un même élément.

- **Chapitre 6 : Flexion Composée et Déviée** (Superposition $\sigma = N/A + My/I$, Noyau Central/Tiers Central, Flexion déviée $\sigma = M_z/W_z + M_y/W_y$, Cas des pannes de toiture).
- **Chapitre 8 : Flambage** (Instabilité d'équilibre, Élancement $\lambda = L_f/i_{min}$, Charge Critique d'Euler $P_{cr} = \pi^2 EI/L_f^2$, Formules de Rankine/Tetmayer).

1.3.5. Module 5 : Systèmes Complexes et Matériaux Spécifiques

Ce module ouvre sur des sujets avancés, essentiels pour les ouvrages d'art et les bâtiments modernes en RDC.

- **Chapitre 7 (Partie 2) : Treillis et Poutres Composées** (Méthode des nœuds, Méthode de Ritter, Assemblages, Section homogénéisée $n = E_2/E_1$).
- **Chapitre 9 : Poutres Hyperstatiques et Contraintes Thermiques** (Degré d'hyperstaticité d, Théorème de Clapeyron, Poutres continues, Contraintes thermiques $\sigma_T = E\alpha\Delta T$, Joints de dilatation).
- **Chapitre 10 : Le Béton Armé et la Précontrainte** (Principe du BA, Dimensionnement en flexion (position des aciers), Poutres, Dalles, Semelles, Principe du Béton Précontraint).

Éditions Donel C.
Direction Éditoriale et Conception Générale :
MURHULA BAZIKANGE M.
Pour contacts, mon site web :
https://murhulabazikange.com/

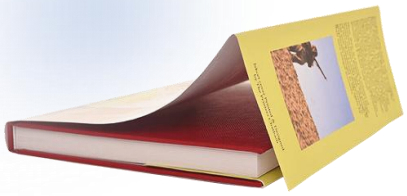
© 2025, Donel Consulting, Kin. RDC
Tous droits réservés.

Pour l'excellence de l'éducation en RDC,
Tous les manuels scolaires en un seul endroit,
sur ce site web :
https://manuels-scolaires-rdc.com/

Pour plus de détails, scannez ceci :

PARTIE I

II. Statique Appliquée et Fondements de la Mécanique



Chapitre 1 : Rappels de Statique et Unités de Force

1.1. Principes Fondamentaux de Statique

1.1.1. Définition et Objectifs de la Statique

La **Statique** est la branche de la mécanique qui étudie l'équilibre des corps matériels au repos ou en mouvement rectiligne uniforme, sous l'action de forces qui leur sont appliquées. Pour l'ingénieur en construction (Bâtiment et Travaux Publics), la Statique constitue le fondement absolu de la Résistance des Matériaux (RDM).

Son objectif premier est de déterminer les **actions mécaniques** (forces extérieures appliquées et réactions aux appuis) qui s'exercent sur une structure (poutre, poteau, portique, ferme) pour garantir qu'elle demeure immobile et stable sous l'effet des charges.

En République Démocratique du Congo, qu'il s'agisse de concevoir une simple passerelle en bois au-dessus d'un cours d'eau dans le Maniema ou de vérifier la fondation d'un bâtiment à étages dans la commune de la Gombe à Kinshasa, les principes de la statique sont impératifs. Ils permettent de quantifier les efforts que la structure doit supporter avant même de calculer les contraintes internes (σ) ou les déformations (ϵ). L'échec de l'application de ces principes conduit inévitablement à un dimensionnement erroné et potentiellement à la ruine de l'ouvrage.

1.1.2. Le Concept de Corps Rigide (Solide Indéformable)

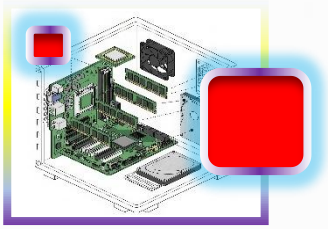
La Statique, dans sa formulation initiale, repose sur une hypothèse simplificatrice fondamentale : le **corps rigide**, aussi appelé solide indéformable.

Un corps rigide est une idéalisation d'un objet réel (comme une poutre en acier IPE, un poteau en béton armé, ou un madrier en bois de *limba*) dans laquelle la distance entre deux points quelconques du corps demeure constante, quelles que soient les forces qui lui sont appliquées.

Cette hypothèse est une simplification puissante. En RDM, nous savons que tous les matériaux se déforment (la RDM est précisément l'étude de ces déformations). Cependant, l'hypothèse du corps rigide est valide pour l'étude

de l'équilibre *externe* de la structure. Les déformations réelles sont si faibles par rapport aux dimensions de la structure (par exemple, une flèche de quelques millimètres pour une poutre de plusieurs mètres) qu'elles ne modifient pas significativement la géométrie du problème ni l'équilibre des forces extérieures.

Nous utilisons donc le modèle du corps rigide pour déterminer les réactions aux appuis. Une fois ces réactions connues, nous abandonnons cette hypothèse pour entrer dans le domaine de la RDM et étudier le corps *déformable* afin de calculer les efforts internes et les contraintes.



Saut de page pour image

