RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

OPTION PLOMBERIE

3ème Année

Option

PLOMBERIE

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

EDITION 2025



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques Généraux 1

- 1. Maîtrise des concepts fondamentaux 1
- 2. Développement de la compétence d'application 1
- 3. Préparation à la résolution de problèmes complexes 1

Importance de la RDM en Plomberie 1

- 1. De la pratique empirique au dimensionnement scientifique 1
- 2. Prévention des défaillances structurelles 2
- 3. Optimisation des coûts et des matériaux 2

Matériel Didactique et Prérequis 2

- 1.1. Supports Théoriques et Visuels 2
- 1.2. Matériel de Laboratoire et d'Atelier 2
- 2.1. Prérequis Mathématiques 3
- 2.2. Prérequis Physiques et Techniques 3

Méthodologie d'Enseignement 3

- 1. Principe de la Primauté du Concret 3
- 2. La Séquence Pédagogique Itérative 3
- 3. Ancrage Professionnel Systématique 3

PARTIE 1 : FONDEMENTS DE LA STATIQUE APPLIQUÉE **5**

L'équilibre des forces : le principe fondamental 5

La statique du plombier : au-delà du simple raccord 5

Des forces externes aux contraintes internes 5

Dimensionnement et sécurité : le but ultime 5

CHAPITRE 1 : NOTIONS DE FORCE ET D'ÉQUILIBRE **6**

1.1. Définition et Représentation Vectorielle des Forces 6

- a. Une science plus vieille que les pyramides 6
- A. La Force : Une Action Mécanique 6

FIGURE 1 : RÉF. IMG (4531-2858-2809) **7**

Représentation d'une force par un vecteur sur une canalisation suspendue 7

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le Vecteur : L'Outil Mathématique du Plombier....7
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....8

1.2. Les Principes de la Statique....9
- a. Le paradoxe de l'immobilité....9
- b. La statique en plomberie....10
- A. Le Principe Fondamental de la Statique (PFS)....10
- B. Le Principe des Actions Réciproques (3ème Loi de Newton)....10

FIGURE 2 : RÉF. IMG (8720-6861-4210)....12

Forces d'action et de réaction sur un tuyau en cuivre posé....12
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....12

1.3. Composition et Résolution des Forces Concourantes....14
- a. L'énigme de la pirogue sur le fleuve Congo....14
- A. Composition de Forces : La Méthode du Parallélogramme....14

FIGURE 3 : RÉF. IMG (2448-3137-9083)....16

Composition de deux forces concourantes par la méthode du parallélogramme....16
- B. Résolution de Forces : La Décomposition Analytique....16
- Scénarios et Exercices....17

1.4. Équilibre d'un Solide Soumis à des Forces Parallèles....18
- a. Une question d'équilibre au marché....18
- A. La Condition d'Équilibre des Forces....18
- B. Le Théorème des Moments (La Condition de Non-Rotation)....19

FIGURE 4 : RÉF. IMG (0916-2335-8045)....21

Équilibre d'une tuyauterie sur deux supports simples A et B....21
- Anecdote du chantier de Boma....21

CHAPITRE 2 : THÉORIE DES MOMENTS ET COUPLES....25

2.1. Le Moment d'une Force par rapport à un Point....25
- a. Le paradoxe de la clé à molette....25
- A. Définition et Calcul du Moment....25

FIGURE 5 : RÉF. IMG (8787-2260-0114)....27

Illustration d'une force appliquée à une clé pour serrer un écrou....27
- B. Le Signe du Moment et la Condition d'Équilibre....27

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 6 : RÉF. IMG (2379-1169-5947) **30**

Schéma montrant le sens de rotation positif et négatif d'un moment 30

- b. La sagesse du vieux maçon de Mbandaka 30

2.2. Le Couple de Forces et ses Propriétés 32

- a. Le geste technique derrière la rotation 32
- A. Définition et Caractéristiques d'un Couple 32

FIGURE 7 : RÉF. IMG (4130-8964-9873) **34**

Représentation schématique d'un couple de forces agissant sur un corps rigide 34

- B. Le Moment d'un Couple () 34

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5171-6988-3323) **37**

Application pratique du couple : serrage avec une clé en T 37

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 37

2.3. Théorème de Varignon et Moments Résultants 39

- a. L'astuce du levier 39
- A. Le Principe de Varignon : une simplification géniale 39

FIGURE 9 : RÉF. IMG (0401-9319-5795) **41**

Décomposition d'une force sur une clé pour illustrer le théorème Varignon 41

- B. Le Moment Résultant 41

FIGURE 10 : RÉF. IMG (9395-6605-5167) **44**

Section de tuyauterie avec plusieurs forces appliquées en différents points 44

- b. Scénarios et Exercices 44

2.4. Applications aux Outils de Plomberie et Machines Simples 46

- a. La force du levier 46
- A. Le Principe du Levier : La Clé Serre-Tube 47

FIGURE 11 : RÉF. IMG (1208-6895-2374) **49**

Schéma d'une clé serre-tube appliquant un moment sur un tuyau 49

- B. Le Couple de Forces : Le Volant de Vanne 49

CHAPITRE 3 : CENTRE DE GRAVITÉ ET STABILITÉ DES OUVRAGES **52**

3.1. Notion de Centre de Gravité et Centroïde 52

- a. Le point d'équilibre 52

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Le Centre de Gravité (G) : Le point d'application du poids.....52
- B. Le Centroïde (C) : Le centre purement géométrique.....52

3.2. Détermination Analytique et Graphique.....55

- a. Le point d'équilibre de toute chose.....55
- A. La Méthode Analytique : la précision par le calcul.....55

FIGURE 12 : RÉF. IMG (7005-7270-1506).....58

Décomposition d'une plaque de support en formes géométriques simples pour cal.....58

- B. La Méthode Graphique : la vision par le dessin.....58

3.3. Types d'Équilibre : Stable, Instable, Indifférent.....61

- a. L'équilibre, une histoire de sagesse populaire.....61
- A. L'Équilibre Stable.....61
- B. L'Équilibre Instable.....61

FIGURE 13 : RÉF. IMG (7497-8622-7617).....64

Les trois états d'équilibre illustrés par un cône sur une surface plane.....64

- C. L'Équilibre Indifférent (ou Neutre).....64

FIGURE 14 : RÉF. IMG (1301-5170-6564).....66

Comportement du centre de gravité lors d'une perturbation de l'équilibre.....66

- Scénarios et Exercices.....66

3.4. Stabilité au Renversement des Réservoirs.....68

- a. Le paradoxe de la stabilité.....68
- A. Le Polygone de Sustentation : La Zone de Sécurité.....68
- B. L'Arbitrage des Moments : Stabilisant contre Renversement.....68

3.5. Détermination expérimentale du centre de gravité (Méthode de suspension).....71

- a. L'instinct du maçon.....71
- A. Principe de la méthode de suspension.....71

FIGURE 15 : RÉF. IMG (6452-4984-0653).....73

Schéma de la méthode de suspension pour trouver un centre de gravité.....73

- Scénarios et Exercices.....73
- a. L'astuce du Vieux Masiala.....73

PARTIE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.....76

a. La science de la solidité.....76

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

b. Une compétence essentielle pour le plombier.....76
c. Forces, contraintes et déformations.....76
d. L'objectif : dimensionner pour la sécurité.....76

CHAPITRE 4 : PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX.....77

4.1. Élasticité et Plasticité des Métaux et Polymères.....77
- a. L'épreuve de la branche de palmier.....77
- A. L'Élasticité : La mémoire de forme.....77
- B. La Plasticité : La déformation permanente.....77
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....78

4.2. Dureté, Ténacité et Fragilité.....79
- a. Le paradoxe des matériaux.....79
- A. La Dureté : Le bouclier de surface.....80

FIGURE 16 : RÉF. IMG (1245-5182-9970).....82

Comparaison visuelle de la dureté entre le cuivre et le PVC.....82
- B. La Ténacité : L'art d'encaisser les chocs.....82
- C. La Fragilité : La rupture sans préavis.....82

FIGURE 17 : RÉF. IMG (5598-3032-6634).....85

Rupture fragile (verre) contre rupture tenace (acier doux).....85
- Scénarios et Exercices.....85

4.3. Isotropie et Homogénéité des Matériaux.....87
- a. L'œil du forgeron.....87
- A. Homogénéité : La matière sans surprise.....87

FIGURE 18 : RÉF. IMG (0734-8038-1629).....89

Comparaison visuelle d'un matériau homogène et d'un matériau hétérogène.....89
- B. Isotropie : La matière sans direction préférée.....89

FIGURE 19 : RÉF. IMG (3417-5898-9433).....91

Comportement d'un cube isotrope et anisotrope sous une même contrainte.....91
- C. Scénarios et Exercices.....91

4.4. Influence de la Température sur les Propriétés.....93
- a. Un principe millénaire.....93
- b. Du fer antique au PVC moderne.....93

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. La Dilatation et la Contraction Linéaire.....93
- B. L'Altération des Propriétés Mécaniques.....94

FIGURE 20 : RÉF. IMG (3555-5097-9925).....96

Comportement d'une canalisation en PVC sous l'effet de la chaleur.....96
- C. Le Joint de Dilatation : L'Outil Indispensable.....96

4.5. Phénomènes de vieillissement : Corrosion et Fatigue.....98
- a. La patience de la matière.....98
- A. La Corrosion : L'ennemi silencieux du plombier.....99

FIGURE 21 : RÉF. IMG (3649-5391-6792).....101

Tuyau en acier galvanisé rongé par la corrosion uniforme et par piqûres.....101
- B. La Fatigue : Quand le métal se lasse.....101

CHAPITRE 5 : NOTIONS DE CONTRAINTE ET DÉFORMATION.....105

5.1. La Notion de Contrainte Normale et Tangentielle.....105
- a. Une force invisible dans la matière.....105
- A. La Contrainte Normale (σ) : Traction et Compression.....105
- B. La Contrainte Tangentielle (τ) : Le Cisaillement.....106

5.2. Déformations Linéaires et Angulaires.....108
- a. Le paradoxe du matériau solide.....108
- A. La Déformation Linéaire Relative (Allongement).....108
- B. La Déformation Angulaire (Glissement ou Cisaillement).....109

FIGURE 22 : RÉF. IMG (5944-8198-3940).....111

Représentation schématique des déformations linéaire et angulaire d'un matéri.....111
- Une observation de chantier à Mbuji-Mayi.....111

5.3. La Loi de Hooke et le Module de Young.....113
- a. Un ressort qui parle.....113
- A. La Loi de Hooke : La signature de l'élasticité.....113
- B. Le Module de Young (E) : La carte d'identité du matériau.....114

FIGURE 23 : RÉF. IMG (9416-4422-0850).....116

Comparaison de la rigidité de trois barres soumises à la même force.....116
- Anecdote : Le tuyau de Papa Mavungu à Matadi.....116

5.4. Diagramme Contrainte-Déformation.....118

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. La carte d'identité d'un matériau.....118
- A. Lecture et interprétation du diagramme.....118

FIGURE 24 : RÉF. IMG (4191-3347-0420).....121

Le diagramme contrainte-déformation typique d'un acier doux.....121
- B. De la déformation à la rupture.....121

5.5. Le Coefficient de Poisson et la déformation transversale.....123
- a. L'effet de "taille de guêpe" des matériaux.....123
- A. Définition du Coefficient de Poisson ().....124
- B. Pertinence pour les installations de plomberie.....124

CHAPITRE 6 : ESSAIS ET COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ.....128

6.1. L'Essai de Traction des Métaux.....128
- a. L'épreuve de la corde.....128
- A. Principe de l'essai de traction.....128

FIGURE 25 : RÉF. IMG (6358-5271-2898).....130

Schéma d'une machine d'essai de traction avec une éprouvette métallique.....130
- B. Interprétation du diagramme contrainte-déformation.....130

FIGURE 26 : RÉF. IMG (8871-6037-1319).....133

Diagramme contrainte-déformation typique pour un acier doux avec ses zones.....133
- C. Application en plomberie.....133

6.2. Essais de Dureté Brinell et Rockwell.....135
- a. L'erreur du débutant sur le chantier.....135
- A. L'essai de dureté Brinell (HB).....135
- B. L'essai de dureté Rockwell (HR).....136

FIGURE 27 : RÉF. IMG (7911-6327-2948).....138

Comparaison schématique des pénétrateurs pour les essais Brinell et Rockwell.....138
- Scénarios et Exercices.....138

6.3. Résistance Pratique et Limite Élastique.....140
- a. La frontière invisible du matériau.....140
- A. La Limite d'Élasticité ().....140

FIGURE 28 : RÉF. IMG (5469-7661-4218).....142

Diagramme de traction : de la déformation élastique à la rupture....142
- B. La Résistance Pratique à l'Élasticité ()....142
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....143

6.4. Le Coefficient de Sécurité en Installation Sanitaire....144
- a. Une précaution de sage....144
- A. Définition et Utilité du Coefficient de Sécurité....144
- B. Le Calcul Fondamental....145

PARTIE 3 : SOLLICITATIONS FONDAMENTALES EN PLOMBERIE....148

a. La tuyauterie sous pression constante....148

b. Forces invisibles : Traction et Compression....148

c. Le ventre du tuyau : la Flexion....148

d. Le drame des raccords : Torsion et Cisaillement....148

CHAPITRE 7 : TRACTION ET COMPRESSION SIMPLES....149

7.1. Condition de Résistance à l'Extension....149
- a. L'accroche....149
- A. Contrainte normale et Limite d'élasticité....149

FIGURE 29 : RÉF. IMG (4949-7822-0468)....151

Visualisation de la contrainte de traction sur une section droite....151
- B. Condition de résistance et Coefficient de sécurité....151

7.2. Calcul des Allongements Élastiques....154
- a. L'élasticité cachée des matériaux....154
- A. La Loi de Hooke et la formule de l'allongement....154
- B. Le Module de Young (E), la carte d'identité du matériau....154

FIGURE 30 : RÉF. IMG (4807-3816-7417)....157

Déformation d'un tuyau de plomberie sous une charge de traction....157
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....157

7.3. La Compression des Pièces Courtes....159
- a. L'intuition du maçon et la science du plombier....159
- A. Contrainte et Condition de Résistance....160
- B. Visualiser la Compression sur Pièce Courte....160

FIGURE 31 : RÉF. IMG (7784-9155-8651)....162

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Comportement d'un poteau court sous l'effet d'une force de compression....162
- Scénarios et Exercices....162
- Une anecdote de chantier à Matadi....162

7.4. Phénomène de Flambement des Pièces Longues....164
- a. L'incident de la règle en plastique....164
- A. Définition et Conditions d'Apparition....164
- B. La Charge Critique d'Euler....165

FIGURE 32 : RÉF. IMG (1187-6270-5665)....168

Les quatre cas de flambement selon les types d'appuis de la pièce....168
- C. Applications en Plomberie....168
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....169

7.5. Introduction au calcul d'Euler pour le flambement....171
- a. Le paradoxe du bambou....171
- A. Flambement contre Écrasement : deux destins pour un poteau....171
- B. La charge critique d'Euler....171

FIGURE 33 : RÉF. IMG (7428-0441-2726)....174

Comparaison visuelle entre un poteau stable et un poteau en flambement....174
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....174

CHAPITRE 8 : LE CISAILLEMENT ET LES ASSEMBLAGES....177

8.1. Définition et Contrainte de Cisaillement....177
- a. Le sécateur du physicien....177
- A. La force qui coupe : Le cisaillement....177

FIGURE 34 : RÉF. IMG (6632-8058-5888)....179

Schéma du cisaillement simple sur un assemblage par boulon....179
- B. Condition de résistance au cisaillement....179

FIGURE 35 : RÉF. IMG (8239-9896-4482)....182

Illustration du principe de cisaillement double, plus résistant....182
- b. Scénarios et exercices....182

8.2. Calcul et Dimensionnement des Rivets....184
- a. Un héritage de l'armure du chevalier....184
- A. La Condition de Résistance au Cisaillement....184

- B. Nombre de Sections Cisaillées (n)..... 184

FIGURE 36 : RÉF. IMG (5393-2131-9329)..... 187

Comparaison schématique du simple et du double cisaillement dans un rivet..... 187

- C. Le Dimensionnement : Trouver le bon diamètre..... 187

8.3. Résistance des Boulons et Vis d'Assemblage..... 190

- a. De l'emboîtement au serrage mécanique..... 190
- A. Contrainte de Cisaillement (τ)..... 190

FIGURE 37 : RÉF. IMG (5792-7288-1675)..... 192

Schéma d'un boulon subissant un effort de cisaillement simple..... 192

- B. Condition de Résistance..... 192

FIGURE 38 : RÉF. IMG (1613-2345-0487)..... 195

Boulon en double cisaillement, un cas fréquent dans les assemblages complexes..... 195

- Anecdote du chantier de la REGIDESO..... 195

8.4. Poinçonnage et Découpe des Tôles..... 197

- a. Le poinçon de bureau, un modèle réduit..... 197
- A. Le Mécanisme du Cisaillement-Découpe..... 197

FIGURE 39 : RÉF. IMG (6725-1759-1457)..... 199

Schéma du mécanisme de poinçonnage d'une tôle métallique..... 199

- B. Calcul de l'Effort de Poinçonnage..... 199

CHAPITRE 9 : FLEXION SIMPLE ET TORSION..... 202

9.1. Généralités sur la Flexion Plane Simple..... 202

- a. La flexion dans le quotidien du plombier..... 202
- A. Définition et forces en jeu..... 202

FIGURE 40 : RÉF. IMG (7874-2496-0837)..... 204

Représentation schématique d'une poutre en flexion simple sur deux appuis..... 204

- B. Déformation et contraintes internes..... 204

FIGURE 41 : RÉF. IMG (0335-9155-4229)..... 206

Coupe transversale d'une poutre montrant les contraintes de flexion..... 206

- L'anecdote du vieux maçon de Kisangani..... 206

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

9.2. Moment Fléchissant et Effort Tranchant....208
- a. Les forces cachées dans la matière....208
- A. L'Effort Tranchant (T)....208

FIGURE 42 : RÉF. IMG (8914-9302-5820)....210

Représentation schématique de l'effort tranchant sur une section de tuyau....210
- B. Le Moment Fléchissant (Mf)....210

FIGURE 43 : RÉF. IMG (6484-4767-7879)....212

Effet du moment fléchissant sur les fibres d'un tuyau horizontal....212
- b. Scénarios et Exercices....212

9.3. Condition de Résistance à la Flexion....214
- a. L'analogie du roseau....214
- A. La Contrainte Maximale et le Module de Flexion....214
- B. La Condition de Sécurité en Flexion....215

9.4. La Torsion dans les Arbres et Tubes....217
- a. La torsion, une force invisible mais puissante....217
- A. Le Moment de Torsion ()....217
- B. Contrainte de Cisaillement ()....218

FIGURE 44 : RÉF. IMG (7830-0243-7294)....220

Répartition de la contrainte de torsion dans une section circulaire pleine....220
- C. L'Efficacité des Tubes en Torsion....220

FIGURE 45 : RÉF. IMG (1144-9199-9529)....223

Comparaison de la torsion entre un arbre plein et un tube....223
- Anecdote : Le robinet de la Regideso à Bukavu....223

Annexe A : Table des Caractéristiques Mécaniques....225
- A. Définitions des Grandeurs Clés....225
- B. Valeurs de Référence pour Matériaux de Plomberie....226

Annexe B : Formulaire de RDM....228
- A. Notions Fondamentales et Conventions de Signes....228
- B. Propriétés Géométriques des Sections (Tuyauterie)....229
- C. Sollicitations Simples en Plomberie....230
- D. Cas du Tube à Paroi Mince sous Pression Interne....231

Annexe C : Guide des Profilés et Supports....232

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Classification des Profilés Standards.....232
- B. Désignation et Normalisation.....233
- C. Caractéristiques Géométriques et Mécaniques.....233
- D. Principes de Sélection d'un Support de Tuyauterie.....234

Annexe D : Coefficients de Sécurité Usuels.....235

- A. Définition et Formalisme.....235
- B. Facteurs d'Influence sur le Choix du Coefficient.....236
- C. Valeurs Usuelles pour la Plomberie.....237

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques Généraux

1. Maîtrise des concepts fondamentaux

L'enseignement assure l'acquisition solide des principes de la statique et de la mécanique des solides. L'apprenant doit maîtriser les concepts de force, de moment, d'équilibre, de contrainte (σ) et de déformation (ε). L'analyse des sollicitations simples, telles que la traction, la compression, le cisaillement et la flexion, constitue le socle théorique. La connaissance des propriétés mécaniques des matériaux courants en plomberie (cuivre, PVC, acier) est une finalité centrale.

2. Développement de la compétence d'application

La transposition des modèles théoriques vers des problématiques concrètes de plomberie représente un objectif majeur. Le finaliste devient capable de dimensionner une tuyauterie soumise à une pression interne. Il apprend à calculer l'espacement optimal des supports pour une canalisation et à vérifier la résistance mécanique des assemblages. La lecture et l'interprétation d'un plan technique, suivies de l'application des calculs de RDM, sont des compétences terminales attendues.

3. Préparation à la résolution de problèmes complexes

Le parcours pédagogique prépare méthodologiquement l'apprenant aux épreuves certificatives (EXETAT). L'accent est mis sur la capacité à modéliser une situation réelle, à poser les hypothèses adéquates et à conduire un raisonnement calculatoire de manière rigoureuse. La résolution de cas pratiques, conformes au format des examens nationaux, développe la précision et l'autonomie analytique requises pour réussir.

Importance de la RDM en Plomberie

1. De la pratique empirique au dimensionnement scientifique

La Résistance des Matériaux (RDM) formalise la transition d'une plomberie empirique vers une discipline d'ingénierie. Elle dote le technicien des outils pour quantifier les contraintes internes (pression, poids propre) et externes

(charges, vibrations) subies par les tuyauteries et leurs supports. Ce calcul prédictif est le fondement de la pérennité et de la fonctionnalité des installations. Il transforme l'intuition en certitude mathématique.

2. Prévention des défaillances structurelles

Une canalisation est une structure mécanique à part entière. Les phénomènes de dilatation thermique, les coups de bélier ou le fluage des matériaux synthétiques sont des causes directes de rupture. La RDM fournit les modèles mathématiques pour anticiper ces sollicitations. Elle permet de valider le choix des matériaux, le dimensionnement des supports et l'espacement des fixations pour éviter tout risque de fléchissement, de cisaillement ou de rupture par fatigue.

3. Optimisation des coûts et des matériaux

Au-delà de la sécurité, la maîtrise de la RDM engendre une rationalisation économique. Un surdimensionnement systématique des conduites et des systèmes de supportage par précaution conduit à un surcoût inutile en matière et en main-d'œuvre. Le dimensionnement juste, validé par le calcul, garantit l'emploi de la quantité optimale de matière. Cette démarche prévient à la fois le gaspillage et les défaillances futures, sécurisant ainsi l'investissement du client et la réputation du professionnel.

Matériel Didactique et Prérequis

1.1. Supports Théoriques et Visuels

La transmission efficace des concepts requiert une double approche. Elle combine l'exploitation de ce manuel et la mobilisation de schémas techniques normalisés. Des planches de calcul et des abaques de fabricants fournissent des données industrielles concrètes. L'utilisation de projecteurs pour l'analyse collective de plans d'installations complexes est fortement encouragée.

1.2. Matériel de Laboratoire et d'Atelier

La manipulation directe des matériaux ancre durablement les savoirs. L'atelier doit disposer d'échantillons variés : tuyaux en PVC, cuivre, acier galvanisé, et multi-couches. Des colliers de serrage, des supports et des profilés permettent de simuler les contraintes de montage réelles. Un banc d'essai de pression, même rudimentaire, est un outil pédagogique de grande valeur pour visualiser la déformation et la rupture.

2.1. Prérequis Mathématiques

Une maîtrise solide des outils mathématiques fondamentaux est indispensable. Les compétences attendues couvrent : - La trigonométrie pour le calcul des angles et des longueurs. - L'algèbre élémentaire pour l'isolation de variables dans les formules. - La géométrie pour le calcul des aires, des sections et des volumes.

2.2. Prérequis Physiques et Techniques

Les concepts de base de la mécanique générale sont supposés acquis. La distinction claire entre masse et poids, la définition vectorielle d'une force, et la notion de pression ($p = F/S$) sont des fondamentaux. Au niveau technique, une familiarité avec les standards de la plomberie des années antérieures est nécessaire. L'élève identifie les matériaux courants et connaît leurs usages principaux.

Méthodologie d'Enseignement

1. Principe de la Primauté du Concret

La Résistance des Matériaux en plomberie s'écarte de l'abstraction pure. Toute nouvelle notion théorique part d'un élément tangible du métier : un tuyau en cuivre, un support de chauffe-eau, un raccord sous pression. Le concept de contrainte (σ) ou de déformation (ϵ) est introduit secondairement, comme l'outil intellectuel qui décode le comportement de cet objet. Cette démarche ancre la théorie dans la finalité pratique du métier et prévient la déconnexion entre le calcul et le chantier.

2. La Séquence Pédagogique Itérative

L'assimilation des concepts suit un cycle didactique précis. Chaque chapitre expose une loi fondamentale, immédiatement suivie d'une application numérique simple et guidée. Progressivement, la complexité augmente par l'ajout de variables : une charge supplémentaire, une variation de température, une condition d'appui différente. Ce processus itératif solidifie la compréhension en superposant les couches de complexité sur une base maîtrisée, plutôt qu'en présentant un bloc théorique monolithique.

3. Ancrage Professionnel Systématique

Aucun calcul ne demeure une abstraction mathématique. Chaque exercice est scénarisé autour d'une situation de chantier plausible, que ce soit à Mbandaka

ou à Bukavu. L'objectif est double : valider une compétence en RDM et, simultanément, développer le réflexe d'analyse technique face à un problème concret de plomberie. La question finale implicite est toujours : "Cette installation est-elle conforme, durable et sécurisée ?". L'élève apprend à justifier une section de tuyau non pas pour obtenir une note, mais pour garantir la sécurité d'une installation.

Partie 1 : Fondements de la Statique Appliquée

L'équilibre des forces : le principe fondamental

Toute structure stable, du plus simple support de tuyau à un grand château d'eau de Mbandaka, obéit à une loi physique simple. Les forces qui s'y appliquent s'annulent mutuellement. Cet état d'immobilité parfaite est l'équilibre statique. Un objet en équilibre ne bouge pas, ne tourne pas, ne s'effondre pas. La somme de toutes les forces qui le poussent ou le tirent est égale à zéro.

La statique du plombier : au-delà du simple raccord

La plomberie moderne dépasse l'assemblage de tuyaux. Un plombier professionnel conçoit des réseaux qui supportent des charges. Le poids de l'eau dans une longue conduite en acier, la pression sur les coudes, la traction sur les fixations murales dans un immeuble de Goma sont des forces réelles. La statique fournit les outils pour quantifier ces forces et garantir la solidité de l'installation.

Des forces externes aux contraintes internes

Une force appliquée sur une canalisation ne disparaît pas. Elle se propage à l'intérieur de la matière, créant une tension que l'on nomme "contrainte". Cette pression interne est le véritable test pour le matériau. Le calcul de la contrainte est essentiel pour choisir le bon diamètre, la bonne épaisseur et le bon matériau (cuivre, PVC pression, multicouche) pour une application donnée.

Dimensionnement et sécurité : le but ultime

Le calcul statique a un objectif concret : le dimensionnement. Il répond à des questions pratiques. Quel support utiliser pour cette conduite au Kasaï ? Combien de fixations sont nécessaires pour ce chauffe-eau mural ? La réponse n'est ni une devinette ni une approximation. Elle est le fruit d'un calcul qui assure la sécurité des personnes et la durabilité de l'ouvrage pour des décennies.

Chapitre 1 : Notions de Force et d'Équilibre

1.1. Définition et Représentation Vectorielle des Forces

a. Une science plus vieille que les pyramides

Pendant que les ingénieurs romains construisaient l'aqueduc de Ségovie, ils ne disposaient pas de logiciels de calcul. Leur science reposait sur une compréhension intuitive des forces. Chaque pierre devait pousser sur sa voisine avec juste assez de vigueur pour que l'ensemble tienne en équilibre, sans s'effondrer.

Cette même science, aujourd'hui formalisée, est au cœur du métier de plombier. Une canalisation mal supportée subit des forces qui la déforment. La comprendre, c'est garantir la longévité d'une installation, que ce soit à Matadi dans le Kongo Central ou à Bunia en Ituri.

A. La Force : Une Action Mécanique

Une force est une action capable de déformer un corps ou de modifier son mouvement. Dans le quotidien d'un plombier, cette action est omniprésente et souvent invisible.

Elle se manifeste de deux manières principales.

- – La force de contact : un collier de fixation qui soutient un tuyau en cuivre.
- – La force à distance : le poids du tuyau lui-même, attiré vers le sol par la gravité terrestre.

Son unité de mesure dans le Système International est le Newton (N). Un objet d'une masse de 1 kg exerce sur la Terre une force (un poids) d'environ 9,81 N. Pour simplifier les calculs de chantier, on arrondit souvent à 10 N.

Figure 1 : Réf. IMG (4531-2858-2809)

Représentation d'une force par un vecteur sur une canalisation suspendue

a. Anatomie d'un vecteur force

L'illustration montre une section de tuyauterie reposant sur deux supports. La flèche rouge, nommée vecteur, représente le poids de l'eau et du tuyau. Ce vecteur possède un point d'application (le centre de gravité du tronçon), une direction (verticale), un sens (vers le bas) et une longueur proportionnelle à l'intensité de la force. C'est l'outil graphique du plombier pour visualiser les contraintes avant qu'elles ne deviennent des problèmes.

b. La direction et le sens

La direction est la droite sur laquelle la force agit. Ici, c'est la verticale. Le sens précise l'orientation sur cette droite. Pour le poids, le sens est toujours vers le centre de la Terre, donc vers le bas. Une erreur de sens dans un calcul de support mène à une installation qui s'affaisse au lieu de tenir.

c. Le point d'application et la norme

Le point d'application est l'endroit précis où la force s'exerce. Sur notre tuyau, c'est son centre de gravité. La norme, ou intensité, est la valeur de la force en Newtons. Elle est symbolisée par la longueur de la flèche. Une force de 100 N sera représentée par une flèche deux fois plus longue qu'une force de 50 N.

B. Le Vecteur : L'Outil Mathématique du Plombier

Synthétiquement, une force est un vecteur. Ce vecteur est défini par quatre caractéristiques indissociables.

- – Son point d'application : l'origine du vecteur.
- – Sa direction : la droite qui porte le vecteur.
- – Son sens : indiqué par la pointe de la flèche.

- Sa norme (ou intensité) : la longueur du vecteur, mesurée en Newtons (N).

Maîtriser ces quatre éléments permet de dessiner, de calculer et de prédire le comportement de n'importe quelle tuyauterie.

SCÉNARIOS ET EXERCICES

Une anecdote de chantier à Lubumbashi

Papa Kanku, un plombier d'expérience du quartier Makutano à Lubumbashi, est appelé pour une fuite récurrente sur une installation en PVC. Arrivé sur place, il ne regarde pas seulement la fissure. Il observe toute la longueur du tuyau d'évacuation. Son œil expert détecte immédiatement un léger affaissement au milieu, presque invisible. Les jeunes apprentis avant lui n'avaient traité que le symptôme. Lui voit la cause : une portée trop longue entre deux colliers de fixation. Le poids de l'eau et du plastique, une force constante et verticale, a lentement courbé le tuyau jusqu'à la rupture. Il ne se contente pas de réparer la fuite. Il ajoute un support exactement au centre, annulant la force de flexion. Le problème est résolu durablement.

Exercice 1 : Le poids d'une colonne d'eau

Énoncé : Ma Phembe, plombière à Goma, doit installer une descente d'eau pluviale en PVC. Le tube vertical mesure 3 mètres de haut. Son diamètre intérieur lui permet de contenir 5 litres d'eau par mètre linéaire. Sachant que la masse d'un litre d'eau est de 1 kg et que l'accélération de la pesanteur g est d'environ $10\,m/s^2$, quelle est la force (le poids) exercée par l'eau sur le coude à la base du tube quand il est plein ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calculer la masse totale de l'eau** Le tube contient 5 litres par mètre et mesure 3 mètres. La masse totale d'eau (m) est donc le produit du volume par mètre par la longueur.

$$m = 5\,\text{kg/m} \times 3\,\text{m} = 15\,\text{kg}$$

2. **Étape 2 : Calculer la force (Poids)** La force (le poids P) est le produit de la masse (m) par l'accélération de la pesanteur (g).

$$P = m \times g = 15\,\text{kg} \times 10\,\text{m/s}^2 = 150\,N$$

La force exercée sur le coude est de 150 Newtons.

Exercice 2 : Représentation sur un plan

Énoncé : Fiston, un jeune stagiaire à Mbandaka dans la province de l'Équateur, doit schématiser une installation. Un tuyau d'acier de 4 mètres est supporté à ses deux extrémités. Une vanne lourde de 50 N est fixée à 1 mètre de l'extrémité gauche. Représentez sur un schéma simple le tuyau et dessinez le vecteur force correspondant au poids de la vanne, en utilisant une échelle de 1 cm pour 10 N.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Dessiner le système de base** Tracez une ligne horizontale pour représenter le tuyau de 4 mètres. Marquez les deux supports aux extrémités.
2. **Étape 2 : Positionner le point d'application** La force s'applique là où se trouve la vanne, soit à 1 mètre de l'extrémité gauche. Marquez ce point sur votre ligne. C'est l'origine de votre vecteur.
3. **Étape 3 : Déterminer la direction et le sens** Il s'agit du poids de la vanne. La direction est donc verticale. Le sens est vers le bas.
4. **Étape 4 : Calculer la longueur du vecteur et dessiner** L'échelle est de 1 cm pour 10 N. La force est de 50 N. La longueur de la flèche sera :

$$\text{Longueur} = \frac{50\,N}{10\,N/cm} = 5\,cm$$

À partir du point d'application, dessinez une flèche verticale de 5 cm, pointant vers le bas. Vous avez représenté le vecteur force.

1.2. Les Principes de la Statique

a. Le paradoxe de l'immobilité

Même si un objet semble parfaitement immobile, il est en réalité le théâtre d'une bataille invisible. Des forces s'y appliquent, se confrontent et s'annulent. Une canalisation d'eau posée sur des supports ne s'effondre pas, car les supports exercent une force exactement opposée à son poids. La statique est la science qui étudie cet équilibre des forces sur les corps au repos.

b. La statique en plomberie

Pour un plombier, cette science est fondamentale. Elle garantit qu'une installation (tuyauterie, chauffe-eau, réservoir) ne s'affaisse pas sous son propre poids ou sous la pression de l'eau. Maîtriser ces principes permet de dimensionner correctement les colliers de fixation, les supports et les ancrages. C'est une question de sécurité et de durabilité pour toute installation sanitaire.

A. Le Principe Fondamental de la Statique (PFS)

Un corps solide est en équilibre statique si deux conditions sont remplies simultanément.

Premièrement, la somme vectorielle de toutes les forces extérieures qui s'appliquent sur lui est nulle. Cet état garantit l'absence de mouvement de translation.

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

Deuxièmement, la somme vectorielle de tous les moments de ces forces par rapport à un point quelconque est nulle. Cet état garantit l'absence de mouvement de rotation.

$$\sum \vec{M}_O\left(\vec{F}_{ext}\right) = \vec{0}$$

Concrètement, un objet en équilibre statique ne se déplace ni ne tourne sur lui-même.

B. Le Principe des Actions Réciproques (3ème Loi de Newton)

Ce principe est simple et puissant. Lorsqu'un corps A exerce une force sur un corps B, alors le corps B exerce simultanément sur le corps A une force de même intensité, de même direction, mais de sens opposé.

Un tuyau posé sur un support mural exerce une force (son poids) vers le bas sur ce support. C'est l'action. Le support, en retour, exerce une force de même valeur vers le haut sur le tuyau. C'est la réaction. Sans cette réaction, le tuyau traverserait le support.

Figure 2 : Réf. IMG (8720-6861-4210)

Forces d'action et de réaction sur un tuyau en cuivre posé.

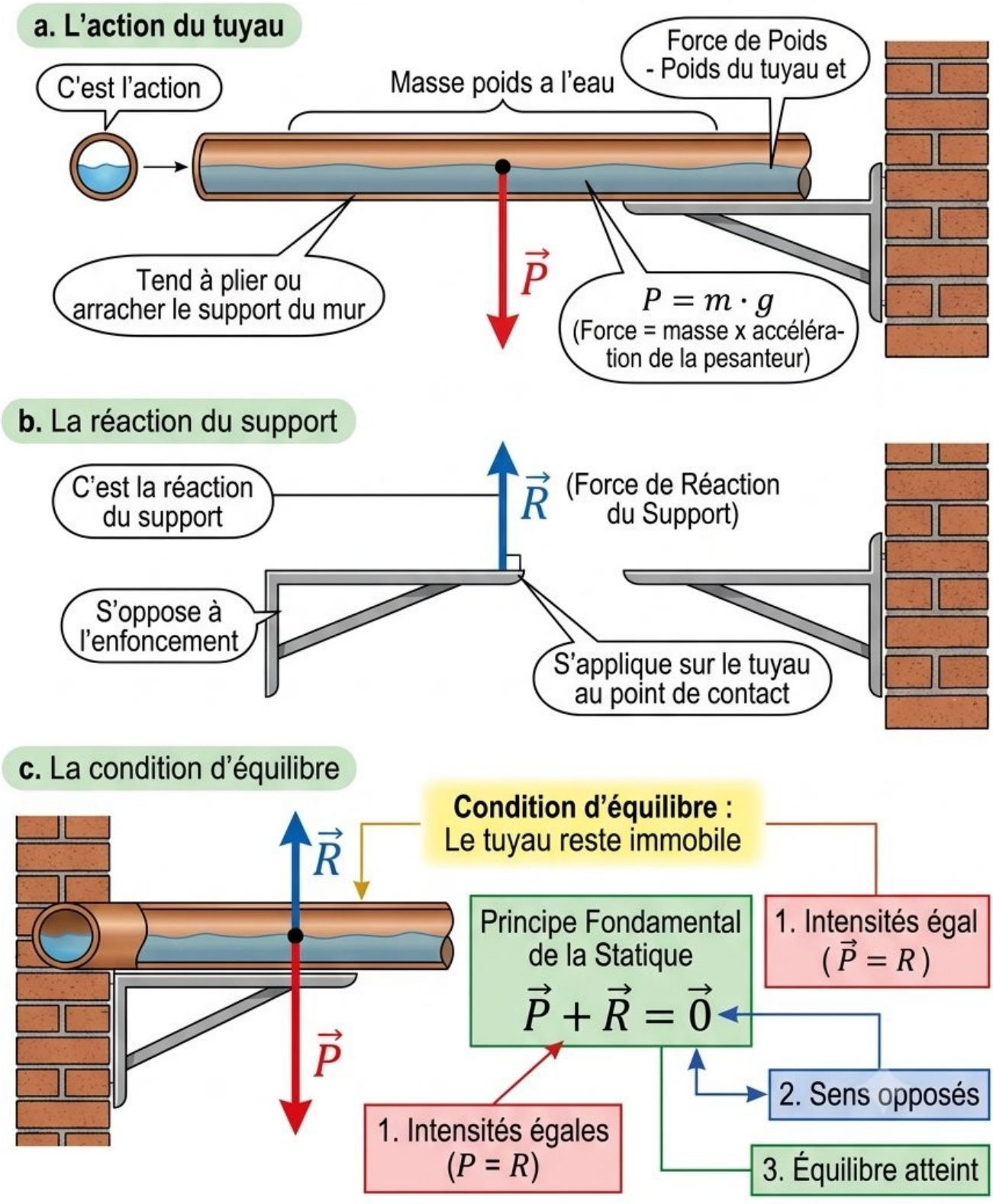


Figure 2 : Réf. IMG (8720-6861-4210)

Forces d'action et de réaction sur un tuyau en cuivre posé.

a. L'action du tuyau

Le poids du tuyau, combiné au poids de l'eau qu'il contient, crée une force verticale dirigée vers le bas. Cette force, notée $\vec{P}$, s'applique directement sur le support. C'est l'action. Elle tend à faire plier ou à arracher le support du mur. La physique la décrit comme le produit de la masse par l'accélération de la pesanteur (g).

b. La réaction du support

Le support résiste à cette action. Il génère une force de réaction, notée $\vec{R}$, qui s'oppose à l'enfoncement. Cette force est parfaitement verticale, dirigée vers le haut, et s'applique sur le tuyau au point de contact.

c. La condition d'équilibre

Pour que le tuyau reste immobile, l'action et la réaction doivent s'annuler. Le Principe Fondamental de la Statique nous confirme que $\vec{P}+\vec{R}=\vec{0}$. Cela signifie que leurs intensités sont égales ($P=R$) et leurs sens sont opposés.
L'équilibre est atteint.

■ ■ ■

SCÉNARIOS ET EXERCICES

Anecdote du chantier de Matadi

Papa Mbiya, un plombier chevronné du Kongo Central, supervisait l'installation d'une conduite de refoulement près du port de Matadi. La conduite, lourde et pleine d'eau, devait être suspendue sur une portée de 15 mètres. Un jeune stagiaire avait proposé de placer les supports "au sentiment", tous les 3 mètres. Papa Mbiya arrêta tout. Il sortit son calepin, estima le poids total de la conduite et de l'eau, puis calcula la force exacte que chaque support devait reprendre. Il montra au jeune que si le poids total était de 9000 Newtons pour 3 supports, chaque support devait encaisser 3000 Newtons. Le "sentiment" aurait pu sous-estimer cette charge et provoquer une rupture catastrophique. La statique, ce n'est pas de la magie, c'est de la sécurité.

Exercice 1 : Le chauffe-eau de Maman Hélène à Kisangani

Énoncé : Un chauffe-eau de 20 kg est fixé à un mur par deux attaches symétriques A et B. On considère l'accélération de la pesanteur $g = 10\,\text{N/kg}$. Quelle est la force de réaction exercée par chaque attache ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Bilan des forces** Le système est soumis à trois forces verticales :
   - Le poids du chauffe-eau ($\vec{P}$), dirigé vers le bas.
   - La réaction de l'attache A ($\vec{R}_A$), dirigée vers le haut.
   - La réaction de l'attache B ($\vec{R}_B$), dirigée vers le haut.
2. **Étape 2 : Application du Principe Fondamental de la Statique** À l'équilibre, la somme des forces est nulle. En projection sur un axe vertical orienté vers le haut, on obtient :
   $$R_A + R_B - P = 0$$
3. **Étape 3 : Calcul des réactions** D'abord, on calcule le poids : $P = m \times g = 20\,\text{kg} \times 10\,\text{N/kg} = 200\,\text{N}$. L'équation devient : $R_A + R_B = 200\,\text{N}$. Comme les attaches sont symétriques, les réactions sont égales : $R_A = R_B$. On a donc $2 \times R_A = 200\,\text{N}$. La force sur chaque attache est : $R_A = R_B = 100\,\text{N}$.

Exercice 2 : La canalisation suspendue au-dessus du fleuve Kasaï

Énoncé : Une section de canalisation de 50 kg est suspendue par un unique câble vertical pour une réparation temporaire près d'Ilebo. Quelle est la force de tension dans le câble ? On prendra $g = 10\,\text{N/kg}$.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification des forces en jeu** Deux forces s'opposent :
   - Le poids de la canalisation ($\vec{P}$), qui tire vers le bas.
   - La tension du câble ($\vec{T}$), qui tire vers le haut.
2. **Étape 2 : Condition d'équilibre** Le système est statique. Le Principe des Actions Réciproques s'applique directement. La force de tension exercée par le câble doit être égale et opposée au poids de la canalisation.

$$T - P = 0$$

3. **Étape 3 : Calcul de la tension** La tension est donc égale au poids : $T = P$. Calculons le poids : $P = m \times g = 50\,\text{kg} \times 10\,\text{N/kg} = 500\,\text{N}$. La tension dans le câble est de $T = 500\,\text{N}$.

1.3. Composition et Résolution des Forces Concourantes

a. L'énigme de la pirogue sur le fleuve Congo

Lorsque deux hommes tirent une pirogue avec des cordes depuis les deux rives d'un fleuve, la pirogue ne se dirige ni vers l'un, ni vers l'autre. Elle avance droit devant. Chaque homme applique une force, mais le résultat est un mouvement unique, différent des deux efforts individuels. Cette situation simple illustre parfaitement le concept de forces concourantes.

En plomberie, cette même physique s'applique. Un raccord en T subissant la pression de l'eau et le poids des tuyaux est un point où plusieurs forces s'exercent simultanément. Comprendre comment additionner ou décomposer ces forces est essentiel pour garantir la solidité d'une installation, que ce soit à Mbandaka ou à Bukavu.

A. Composition de Forces : La Méthode du Parallélogramme

Composer des forces, c'est trouver la force unique, appelée "résultante", qui produit le même effet que plusieurs forces agissant ensemble. Pour deux forces concourantes (F_1 et F_2) agissant en un point O, la méthode graphique du parallélogramme est la plus intuitive.

On trace les deux vecteurs force à partir du point O. Ensuite, on construit un parallélogramme en traçant des parallèles à chaque vecteur. La diagonale du parallélogramme partant du point O représente le vecteur de la force résultante R.

Mathématiquement, le module (l'intensité) de cette résultante R est donné par la relation :

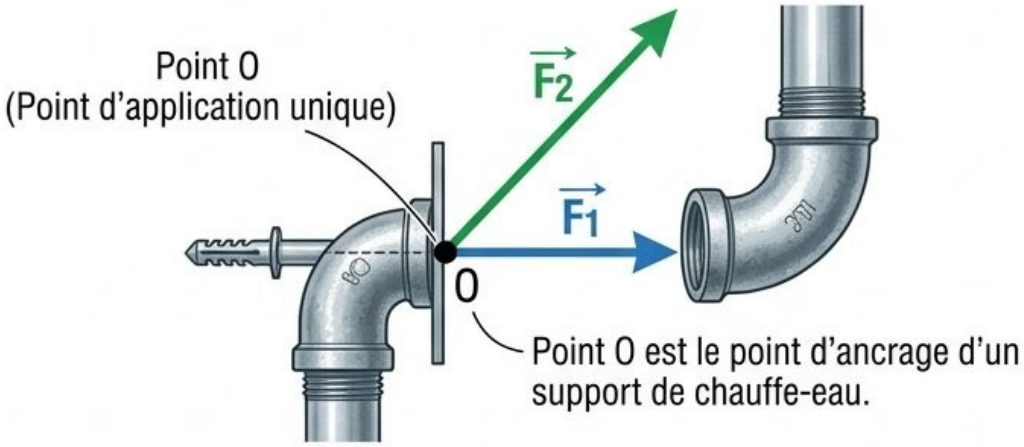
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos(\alpha)}$$

Où α est l'angle entre les deux forces F_1 et F_2.

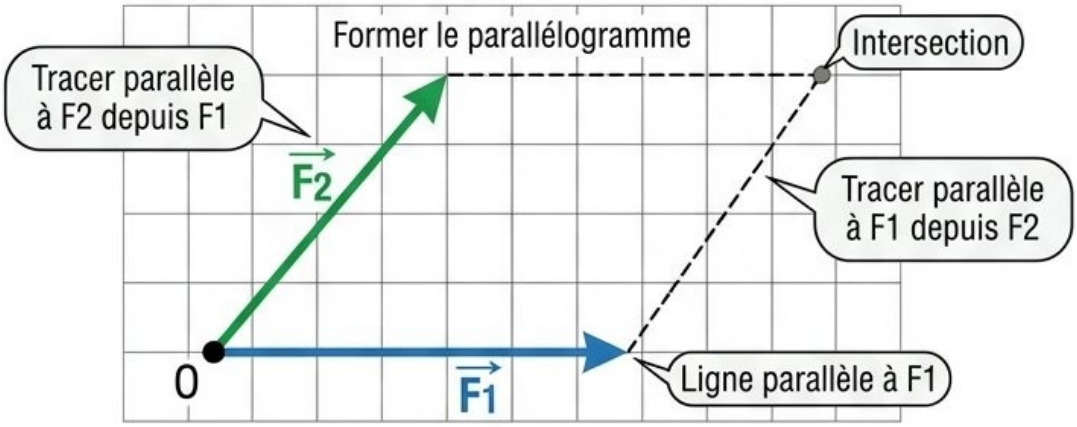
Figure 3 : Réf. IMG (2448-3137-9083)

Composition de deux forces concourantes par la méthode du parallélogramme

a. Le point d'application unique



b. La construction géométrique



c. La force résultante (R)

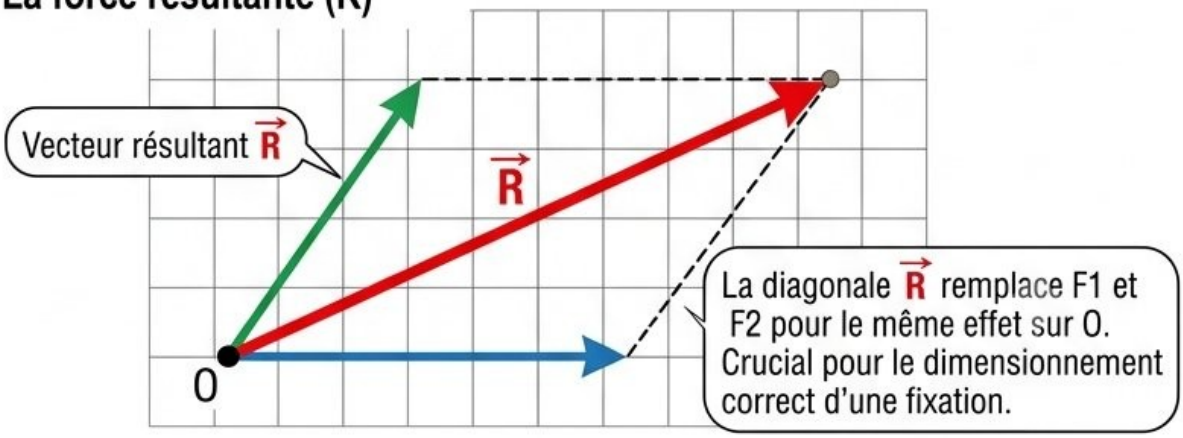


Figure 3 : Réf. IMG (2448-3137-9083)

Composition de deux forces concourantes par la méthode du parallélogramme

a. Le point d'application unique

Le point O est le cœur du système. C'est ici que les forces F_1 et F_2 se "rencontrent". En plomberie, ce point peut être un coude, un raccord, ou le point d'ancrage d'un support de chauffe-eau. Toutes les actions mécaniques convergent vers cet endroit précis.

b. La construction géométrique

Partant de l'extrémité de la force F_1, on trace une ligne parallèle à la force F_2. On répète l'opération depuis l'extrémité de F_2 avec une parallèle à F_1. L'intersection de ces deux lignes crée le quatrième sommet du parallélogramme. Cette construction est une traduction visuelle de l'addition vectorielle.

c. La force résultante (R)

Le vecteur $\vec{R}$ est la diagonale issue du point O. Physiquement, il représente la force unique qui remplacerait F_1 et F_2 pour produire exactement le même effet sur le point O. Sa longueur et son orientation sont cruciales pour dimensionner correctement une fixation ou un support.

B. Résolution de Forces : La Décomposition Analytique

Résoudre une force, c'est faire l'opération inverse. On part d'une force unique et on la décompose en plusieurs composantes selon des directions choisies. Le plus souvent, on utilise un système d'axes perpendiculaires (horizontal x et vertical y).

Une force F faisant un angle θ avec l'horizontale peut être décomposée en : - Une composante horizontale : $F_x = F \cdot \cos(\theta)$ - Une composante verticale : $F_y = F \cdot \sin(\theta)$

Cette méthode est très puissante. Pour trouver la résultante de plusieurs forces, il suffit d'additionner toutes les composantes horizontales ($R_x = \sum F_x$) et toutes les composantes verticales ($R_y = \sum F_y$). La résultante finale est alors : $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590