MANUEL DE

MÉCANISMES

4ème Année

Option Mécanique Générale

EDITION 2025

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

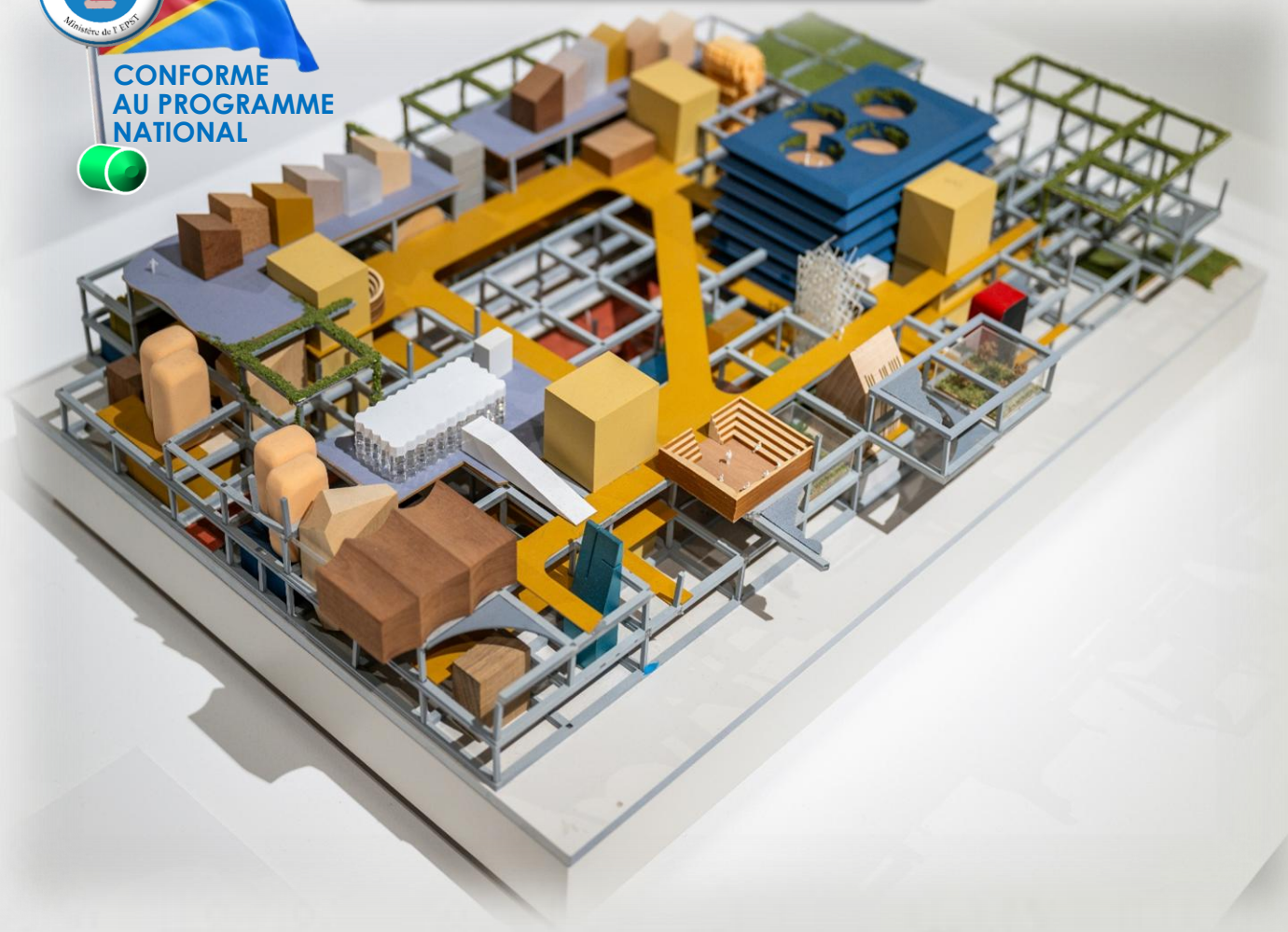




TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques du Cours 1

- 1.1. Maîtrise des concepts cinématiques 1
- 1.2. Développement des compétences analytiques 1
- 1.3. Application à l'ingénierie mécanique 1

Approche Didactique et Méthodologique 1

- 1. Le Principe de la Spirale Pédagogique 1
- 2. La Méthodologie du Concret vers l'Abstrait 2
- 3. L'Ancrage par la Résolution de Problèmes 2

Contexte Industriel et Applications 2

- 1. La Finalité Pragmatique de l'Étude des Mécanismes 2
- 2. Domaines d'Application Stratégiques 2

PARTIE I : SYSTÈMES DE TRANSMISSION ET VARIATION DE VITESSE **4**

Du Moteur à l'Action 4

Adapter la Force et la Vitesse 4

L'Arsenal du Mécanicien 4

Maîtriser le Rythme de la Machine 4

CHAPITRE 1 : LES RÉDUCTEURS DE VITESSE À ENGRENAGES **5**

1.1. Fonction et Utilité des Réducteurs 5

- a. L'incompatibilité fondamentale 5
- A. Le principe de la démultiplication 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (3734-5950-0397) **7**

Schéma de principe d'un réducteur simple à deux engrenages 7

- B. L'utilité industrielle et quotidienne 7

1.2. Typologie des Réducteurs : Axes Parallèles et Orthogonaux 9

- a. Le choix crucial de l'orientation 9
- A. Les Réducteurs à Axes Parallèles 10

FIGURE 2 : RÉF. IMG (3500-3773-8950) **12**

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Schéma d'un engrenage cylindrique à denture droite pour axes parallèles.....12
- B. Les Réducteurs à Axes Orthogonaux.....12

FIGURE 3 : RÉF. IMG (9244-4136-8990).....14

Vue éclatée d'un couple conique pour renvoi d'angle à 90°.....14
- Le dilemme de Papa Kanku à Kananga.....14

1.3. Lubrification et Étanchéité des Carters de Réducteur.....16
- a. La mécanique silencieuse.....16
- A. Le Rôle Vital de la Lubrification.....16
- B. Les Méthodes de Lubrification.....17

FIGURE 4 : RÉF. IMG (8267-2392-0405).....19

Dispositifs d'étanchéité statique et dynamique pour carter de réducteur.....19
- Le Secret du Vieux Moteur de la GECAMINES.....19

CHAPITRE 2 : LES TRAINS D'ENGRENAGES ÉPICYCLOÏDAUX.....22

2.1. Constitution d'un Train Épicycloïdal Simple.....22
- a. L'analogie du système solaire.....22
- A. Les Trois Éléments Mobiles Fondamentaux.....22
- B. Le Rôle de la Couronne et la Mobilité.....22

FIGURE 5 : RÉF. IMG (7875-3867-5551).....25

Vue éclatée d'un train épicycloïdal simple avec ses composants clés.....25
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....25
- Une leçon de mécanique dans un garage de Mbuji-Mayi.....25

2.2. La Formule de Willis pour le Calcul du Rapport.....27
- a. Le blocage mental face à l'épicycloïdal.....27
- A. Le Principe Fondamental de Willis.....27
- B. Méthode d'Application en Quatre Étapes.....28

FIGURE 6 : RÉF. IMG (0516-2580-5357).....30

Représentation schématique d'un train épicycloïdal simple avec ses composants.....30
- Scénarios et Exercices.....30
- Une leçon apprise à la Gécamines.....30

2.3. Applications : Réducteurs Coaxiaux et Différentiel Automobile.....33
- a. Une idée, mille chemins.....33

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Le réducteur coaxial : la puissance en ligne droite....33

FIGURE 7 : RÉF. IMG (3591-3628-8981)....35

Vue éclatée d'un réducteur épicycloïdal coaxial industriel....35

- B. Le différentiel : le secret des virages réussis....35

FIGURE 8 : RÉF. IMG (2418-8701-4311)....37

Schéma de principe du différentiel d'une voiture....37

- a. L'énigme du camion sur la piste de l'Équateur....37

CHAPITRE 3 : LES VARIATEURS ET INVERSEURS DE MOUVEMENT....40

3.1. Les Variateurs de Vitesse Mécaniques....40

- a. L'art de la vitesse juste....40
- A. Le principe de la variation continue....40

FIGURE 9 : RÉF. IMG (6317-9911-3290)....42

Schéma de principe d'un variateur de vitesse à poulies extensibles....42

- b. Scénarios et Exercices....42

3.2. Les Boîtes de Vitesses : Principe des Baladeurs et Schéma Cinématique....44

- a. Le bruit qui coûte cher....44
- A. Le Mécanisme du Pignon Baladeur....45
- B. Le Schéma Cinématique Normalisé....45

FIGURE 10 : RÉF. IMG (9005-6673-6873)....47

Schéma cinématique d'une boîte de vitesses à deux rapports....47

- a. L'anecdote du chauffeur de Fuso sur la route de Matadi....47
- b. Scénarios et Exercices....48

3.3. Les Inverseurs de Marche à Engrenages....49

- a. Le principe de l'inversion....49
- A. L'Élément Clé : Le Pignon Baladeur....49
- B. Le Fonctionnement en Deux Modes....50

PARTIE II : ANALYSE DES MÉCANISMES DE TRANSFORMATION DE MOUVEMENT....52

a. Du moteur au travail utile....52

b. Les acteurs principaux : bielle, manivelle, came....52

c. L'analyse cinématique : le langage de la vérité....52

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

d. Du Kwilu au Kongo Central : la mécanique du quotidien.....52

CHAPITRE 4 : LE SYSTÈME BIELLE-MANIVELLE ET SES VARIANTES.....53

4.1. Analyse Cinématique et Dynamique du Système Bielle-Manivelle.....53

- a. Le son du progrès mécanique.....53
- A. Définition et Composants.....53
- B. Analyse du Mouvement.....53

4.2. Le Mécanisme de la Coulisse Oscillante de Whitworth.....56

- a. L'intelligence du temps asymétrique.....56
- A. Principe de Fonctionnement.....56

FIGURE 11 : RÉF. IMG (4820-5029-0910).....59

Schéma cinématique du mécanisme de Whitworth et ses composants principaux.....59

- B. Ratio de Temps et Applications.....59

FIGURE 12 : RÉF. IMG (6419-6776-6683).....62

Analyse des angles de la course de travail et de la course retour.....62

- b. Scénarios et Exercices.....62

4.3. Applications : Moteurs à Pistons, Compresseurs, Presses Mécaniques.....64

- a. Le cœur mécanique de la modernité.....64
- A. Moteurs à Combustion Interne.....64

FIGURE 13 : RÉF. IMG (1569-9645-3031).....67

Schéma simplifié du système bielle-manivelle dans un cylindre de moteur.....67

- B. Compresseurs à Piston.....67
- C. Presses Mécaniques.....68

CHAPITRE 5 : LES MÉCANISMES À VIS.....70

5.1. Le Système Vis-Écrou : Irréversibilité et Rendement.....70

- a. Le paradoxe de la force tranquille.....70
- A. L'Irréversibilité : Le secret de la stabilité.....70

FIGURE 14 : RÉF. IMG (0622-9504-5914).....72

Schéma des forces agissant sur le filet d'une vis.....72

- B. Le Rendement : Entre effort et résultat.....72

FIGURE 15 : RÉF. IMG (0631-3581-7551).....74

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Comparaison visuelle entre un système vis-écrou classique et à billes.....74
- C. Scénarios et Exercices.....74

5.2. Application au Déplacement de Précision (Machines-Outils).....76
- a. Le geste de l'artisan.....76
- A. Le principe de la vis de manœuvre.....76

FIGURE 16 : RÉF. IMG (0541-2023-7941).....79

Schéma de principe d'un système vis-écrou pour le déplacement linéaire.....79
- B. L'irréversibilité : la garantie de la position.....79

FIGURE 17 : RÉF. IMG (3491-5961-7540).....81

Forces en jeu et condition d'irréversibilité du système vis-écrou.....81
- b. Scénarios et Exercices.....81

5.3. Le Système de Vis Différentielles.....83
- a. La quête de la précision extrême.....83
- A. Principe de fonctionnement.....83
- B. Formule du déplacement résultant.....83

5.4. Le Cric à Vis : Étude et Application.....85
- a. Un outil né de l'automobile.....85
- A. Principe de Fonctionnement et Irréversibilité.....86
- B. Analyse des Forces et Condition de Levage.....86

FIGURE 18 : RÉF. IMG (3790-3248-5674).....88

Schéma de principe d'un cric à vis et ses composants.....88
- C. Scénarios et Exercices.....88

PARTIE III : TECHNOLOGIE DES APPAREILS DE LEVAGE ET MANUTENTION.....91

a. Le défi de la gravité.....91

b. Du palan d'atelier au portique portuaire.....91

c. La sécurité comme exigence absolue.....91

d. Anatomie d'un système de levage.....91

CHAPITRE 6 : LES VÉRINS ET LES CRICS – APPAREILS DE LEVAGE PAR POUSSÉE.....92

6.1. Les Appareils Mécaniques : Cric à Crémaillère et Vérin à Vis.....92
- a. Un principe vieux comme le monde.....92
- A. Le Cric à Crémaillère : La puissance par l'engrenage.....92

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 19 : RÉF. IMG (3309-9802-6423) **94**

Vue éclatée d'un cric à crémaillère et ses composants principaux. 94

- B. Le Vérin à Vis : La force tranquille 94

FIGURE 20 : RÉF. IMG (3130-7294-0742) **96**

Coupe schématique d'un vérin à vis simple pour la mécanique. 96

- Anecdote : Le pneu crevé sur la route de Matadi 96

6.2. Le Vérin Hydraulique : Principe et Technologie 98

- a. Le paradoxe de la petite poussée 98
- A. Le Principe de Pascal : Le Secret de la Force Multipliée 98

FIGURE 21 : RÉF. IMG (5926-3165-4484) **100**

Schéma de principe d'un vérin hydraulique simple à deux pistons. 100

- B. Technologie et Composants d'un Vérin de Garage 100

FIGURE 22 : RÉF. IMG (3382-7072-5946) **102**

Vue éclatée des composants essentiels d'un vérin hydraulique de garage. 102

- Anecdote : Le Fuso bloqué près de l'Équateur 102

6.3. Critères de Choix et de Sécurité pour les Appareils de Levage 104

- a. Le poids de la responsabilité 104
- A. Critères de Sélection d'un Appareil de Levage 104
- B. Principes Fondamentaux de Sécurité 105

FIGURE 23 : RÉF. IMG (7860-2244-9863) **107**

Schéma de sécurité : positionnement correct d'un cric et des chandelles 107

- Scénarios et Exercices 107
- Une leçon apprise à la dure à Mbuji-Mayi 107

CHAPITRE 7 : LES TREUILS ET PALANS – APPAREILS DE LEVAGE PAR TRACTION **110**

7.1. Le Principe des Palans à Chaîne et à Câble 110

- a. La force décuplée par l'ingéniosité 110
- A. Le Palan Simple : Démultiplication de la Force 110

FIGURE 24 : RÉF. IMG (1397-9794-6134) **112**

Schéma de principe d'un palan simple à deux poulies mobiles. 112

- B. Palans à Chaîne et Palans à Câble 112

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 25 : RÉF. IMG (5534-9654-9423)..... 115

Comparaison visuelle entre une noix de chaîne et un tambour de treuil..... 115

- b. Anecdotes de l'atelier et du chantier..... 115

7.2. Le Treuil Manuel et Motorisé : Constitution..... 117

- a. L'origine de la force démultipliée..... 117
- A. Anatomie d'un treuil : les organes fondamentaux..... 117

FIGURE 26 : RÉF. IMG (5332-1269-9921)..... 119

Vue éclatée des composants essentiels d'un treuil manuel classique..... 119

- B. Distinction fonctionnelle : Manuel contre Motorisé..... 119

7.3. Étude du Chariot-Treuil d'un Pont Roulant et de son Tambour..... 122

- a. L'œil du technicien..... 122
- A. Architecture du Chariot-Treuil..... 122

FIGURE 27 : RÉF. IMG (6410-2111-2240)..... 124

Vue éclatée d'un chariot-treuil de pont roulant et ses composants..... 124

- B. Le Tambour : Cœur du Levage..... 124

FIGURE 28 : RÉF. IMG (0074-7612-4586)..... 126

Coupe schématique d'un tambour de treuil avec son câble enroulé..... 126

- L'anecdote du technicien..... 126

PARTIE IV : DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES ÉLÉMENTS DE MÉCANISMES (RÉSISTANCE 129

De la casse à la science..... 129

Le monde invisible des contraintes..... 129

Calculer pour ne pas deviner..... 129

L'art de l'ingénieur : sécurité et économie..... 129

CHAPITRE 8 : LE CALCUL DES ORGANES D'ASSEMBLAGE ET DE FIXATION..... 130

8.1. Calcul des Vis d'un Fond de Cylindre sous Pression..... 130

- a. La force contenue..... 130
- A. La Poussée du Fluide : L'Effort Total..... 130

FIGURE 29 : RÉF. IMG (9341-7148-7774)..... 132

Schéma d'un fond de cylindre avec pression interne et vis de fixation..... 132

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Répartition de l'Effort sur les Vis.....132

FIGURE 30 : RÉF. IMG (0609-2416-6080).....134

Vue en coupe d'une vis sous traction montrant sa section au noyau.....134

- C. La Condition de Résistance.....134

8.2. Calcul d'un Assemblage Fretté (par Adhérence).....136

- a. Le secret de la force sans attache.....136
- A. Pression de Frettage et Adhérence.....137
- B. Conditions de Résistance et Calculs Fondamentaux.....137
- C. Le Serrage : Origine de la Pression.....137
- Scénarios et Exercices.....138

8.3. Calcul d'une Clavette au Cisaillement et au Matage.....140

- a. Le maillon faible volontaire.....140
- A. La vérification au cisaillement.....140
- B. La vérification au matage.....141
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....141

8.4. Calcul d'un Cordon de Soudure.....143

- a. L'incident du fleuve Congo.....143
- A. Section de Cisaillement et Gorge du Cordon.....144

FIGURE 31 : RÉF. IMG (3930-3943-7082).....146

Géométrie d'un cordon de soudure d'angle et sa section cisaillée.....146

- B. Condition de Résistance au Cisaillement.....146

FIGURE 32 : RÉF. IMG (8468-7827-7933).....149

Schéma des forces et de la contrainte de cisaillement sur un cordon.....149

- a. L'anecdote du portail de Matadi.....149

CHAPITRE 9 : LE CALCUL DES ARBRES ET DES ORGANES DE GUIDAGE.....152

9.1. Calcul des Arbres : Vérification de la Résistance et de la Rigidité.....152

- a. L'épine dorsale de la machine.....152
- A. La Vérification à la Résistance (Ne pas casser).....152

FIGURE 33 : RÉF. IMG (5262-6124-7011).....154

Répartition des contraintes de flexion et torsion dans un arbre.....154

- B. La Vérification à la Rigidité (Ne pas plier).....154

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 34 : RÉF. IMG (4200-2661-7068) **157**

Visualisation des déformations en flexion et en torsion d'un arbre 157

- b. Scénarios et Exercices 157

9.2. Calcul des Tourillons et des Paliers Lisses 160

- a. Le principe de rotation, un défi millénaire 160
- A. Définitions et Condition de Résistance 160

FIGURE 35 : RÉF. IMG (5290-7678-2932) **162**

Schéma d'un tourillon reposant dans son palier lisse avec forces 162

- B. Formule de Calcul de la Pression Moyenne 162

FIGURE 36 : RÉF. IMG (8998-5171-5413) **165**

Tableau des pressions admissibles pour différents matériaux de paliers lisses 165

- b. Scénarios et Exercices 165

9.3. Le Choix d'un Roulement à Partir des Charges (Durée de vie) 167

- a. L'usure programmée d'un héros mécanique 167
- A. Charge Dynamique Équivalente (P) : L'effort réel subi 167

FIGURE 37 : RÉF. IMG (9172-6511-8127) **170**

Schéma des forces radiale et axiale s'appliquant sur un roulement 170

- B. La Durée de Vie Nominale () : Le verdict du calcul 170

CHAPITRE 10 : LE CALCUL DES ORGANES DE TRANSMISSION DE PUISSANCE **173**

10.1. Calcul de la Résistance des Dents d'Engrenages (Formule de Lewis) 173

- a. Une dent n'est pas qu'un bout de métal 173
- A. La Dent comme une Poutre Encastrée : L'Hypothèse de Lewis 173

FIGURE 38 : RÉF. IMG (6018-6180-3096) **175**

Modélisation d'une dent d'engrenage comme une poutre encastrée (Lewis) 175

- B. Décomposition de la Formule de Lewis 175

FIGURE 39 : RÉF. IMG (8935-2996-9000) **178**

Visualisation des paramètres de la formule de Lewis sur une dent 178

- L'anecdote du moteur de l'Ebebi-Express 178

10.2. Calcul d'une Transmission par Courroie Plate 180

- a. L'incident du dispensaire de Mbandaka 180

- A. Tensions et Adhérence : La Loi d'Euler....180
- B. Puissance Transmissible....181

FIGURE 40 : RÉF. IMG (8777-9635-4930)....183

Forces et tensions dans une transmission par courroie plate....183

- C. Calcul Géométrique : Longueur et Entraxe....183

10.3. Calcul des Composants Associés : Accouplements et Ressorts....186

- a. De l'alignement et de la flexibilité....186
- A. Les Accouplements : Transmettre sans casser....186

FIGURE 41 : RÉF. IMG (2002-9363-2648)....189

Schéma de principe d'un accouplement élastique et d'un rigide....189

- B. Les Ressorts : Stocker et restituer l'énergie....189

CHAPITRE 11 : LE CALCUL DES ÉLÉMENTS DE LEVAGE....193

11.1. Calcul d'un Câble de Levage (Traction et Sécurité)....193

- a. Le paradoxe de la sécurité....193
- A. La Contrainte de Traction : Le Cœur du Problème....193

FIGURE 42 : RÉF. IMG (4265-6856-9784)....195

Schéma d'un câble de levage en traction sous une charge....195

- B. Le Coefficient de Sécurité : La Marge de Prudence....195
- C. La Condition de Résistance....196

FIGURE 43 : RÉF. IMG (0578-7598-3304)....198

Infographie montrant l'influence du coefficient de sécurité sur le dimensionn....198

- Scénarios et Exercices....198

11.2. Calcul d'un Crochet de Levage (Flexion composée)....200

- a. Le paradoxe de la courbe....200
- A. Décomposition des Sollicitations sur le Crochet....200

FIGURE 44 : RÉF. IMG (7507-0541-3550)....203

Schéma des efforts et sections critiques sur un crochet de levage....203

- B. Formule de calcul pour la Contrainte Maximale....203
- C. Condition de Résistance....204

11.3. Calcul de la Dent d'une Roue à Rochet....207

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'ingéniosité du blocage.....207
- A. L'analyse des forces sur la dent.....207

FIGURE 45 : RÉF. IMG (2199-0358-5382).....209

Décomposition des forces agissant sur une dent de rochet.....209

- B. Le dimensionnement par la condition de résistance.....209

FIGURE 46 : RÉF. IMG (9910-5524-2105).....212

Modélisation de la dent comme une poutre en porte-à-faux.....212

- C. Scénarios et Exercices.....212

11.4. Calcul du Tambour d'un Treuil.....214

- a. Du génie romain au treuil de chantier.....214
- A. Détermination du diamètre du tambour.....215
- B. Calcul de la longueur utile du tambour.....215
- C. Vérification de l'épaisseur minimale du tambour.....216

CHAPITRE 12 : INTRODUCTION AUX SOLLICITATIONS COMPLEXES : FLAMBAGE ET EFFORTS.....219

12.1. Le Flambage : Vérification d'une Bielle de Compresseur.....219

- a. Le risque invisible de la compression.....219
- A. L'élancement et la charge critique d'Euler.....219
- B. Conditions de liaison et longueur de flambage ().....220

12.2. La Flexion et la Traction Combinées.....223

- a. Un phénomène plus courant qu'il n'y paraît.....223
- A. Le Principe de Superposition.....223
- B. Formule de la Contrainte Maximale.....223

FIGURE 47 : RÉF. IMG (7255-1556-6291).....226

Visualisation des contraintes sur une poutre en traction-flexion.....226

- Scénarios et Exercices.....226
- Une réparation ingénieuse à Mbuji-Mayi.....226

12.3. La Torsion et le Cisaillement Combinés.....228

- a. Un double défi pour la matière.....228
- A. Identification des Contraintes Simples.....229
- B. Composition et Contrainte Maximale.....229

12.4. Synthèse : Application au calcul complet du système bielle-manivelle.....231

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'intelligence du mécanisme.....231
- A. Décomposition des Efforts sur la Bielle.....231

FIGURE 48 : RÉF. IMG (2357-2019-6773).....234

Décomposition des forces sur une bielle en mouvement.....234
- B. Le Cas critique du Flambage (ou Flambement).....234

FIGURE 49 : RÉF. IMG (1766-7400-3793).....236

Illustration du risque de flambage sur une bielle comprimée.....236
- L'anecdote de Papa Fiston à Matadi.....236

ANNEXES.....239

Formulaire de Résistance des Matériaux Appliquée.....239
- A. Notations et Grandeurs Fondamentales.....239
- B. Caractéristiques Géométriques des Sections Planes.....240
- C. Sollicitations Simples et Formules Associées.....241
- D. Critères de Résistance et Sécurité.....242

Tableau des Propriétés des Matériaux et Coefficients de Sécurité.....243
- A. Propriétés Mécaniques Fondamentales.....243
- B. Valeurs Indicatives pour Matériaux Courants.....244
- C. Définition et Choix du Coefficient de Sécurité ().....245

Aide-Mémoire pour le Calcul des Engrenages.....247
- A. Grandeurs Caractéristiques - Denture Droite.....247
- B. Transmission de Mouvement.....248
- C. Caractéristiques - Denture Hélicoïdale (Axes Parallèles).....249
- D. Conditions d'Engrènement.....250

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques du Cours

1.1. Maîtrise des concepts cinématiques

L'enseignement développe une compréhension rigoureuse des chaînes cinématiques. L'élève doit pouvoir identifier et classifier les liaisons, les paires cinématiques et déterminer avec précision le degré de mobilité d'un mécanisme donné. Cette base théorique est indispensable à toute analyse ultérieure, qu'elle soit graphique ou analytique. La terminologie technique doit être employée sans ambiguïté.

1.2. Développement des compétences analytiques

Au-delà de la description qualitative, le cours cible l'application de méthodes de calcul éprouvées. Les méthodes graphiques, notamment par l'équiprojectivité, et les méthodes analytiques par fermeture géométrique sont systématiquement appliquées à la détermination des vitesses et des accélérations. L'objectif est l'autonomie de l'élève dans la résolution de problèmes cinématiques plans complexes, préparant ainsi aux études dynamiques et de résistance des matériaux.

1.3. Application à l'ingénierie mécanique

Finalement, le transfert des connaissances théoriques vers des cas technologiques concrets est une priorité pédagogique. L'analyse de systèmes mécaniques réels, comme les dispositifs de guidage, les transmissions par cames ou les suspensions de véhicules, ancre l'apprentissage dans la réalité industrielle du technicien. Il s'agit de former un futur professionnel capable de diagnostiquer un fonctionnement cinématique et de valider une solution constructive.

Approche Didactique et Méthodologique

1. Le Principe de la Spirale Pédagogique

Les notions fondamentales de la cinématique et de la statique sont introduites de manière isolée. Successivement, elles sont complexifiées et intégrées dans des systèmes dynamiques plus larges. Cette progression itérative assure une

consolidation durable des acquis, prévenant la surcharge cognitive. Chaque chapitre s'appuie sur les savoirs et savoir-faire des précédents, édifiant une structure de connaissance cohérente et robuste.

2. La Méthodologie du Concret vers l'Abstrait

Toute nouvelle notion théorique émerge d'une situation mécanique tangible et identifiable. Un mécanisme simple, issu d'un contexte industriel ou artisanal (presse à manioc du Kwilu, système de levage portuaire à Matadi), sert systématiquement de point d'entrée. La modélisation mathématique et le formalisme associé (torseurs, graphe de liaisons) sont ensuite introduits comme des outils nécessaires à la résolution, et non comme des abstractions pures.

3. L'Ancrage par la Résolution de Problèmes

La validation des compétences s'opère par la résolution de problèmes techniques. Chaque exercice est conçu comme une mini-étude de cas, exigeant l'identification du problème, la sélection de la méthode adéquate et l'interprétation critique du résultat numérique obtenu. Cette approche active prépare méthodiquement l'élève aux exigences analytiques de l'Examen d'État et aux réalités techniques du monde professionnel.

Contexte Industriel et Applications

1. La Finalité Pragmatique de l'Étude des Mécanismes

L'analyse des mécanismes fournit les outils conceptuels pour la conception et la maintenance des systèmes industriels. Elle établit une corrélation directe entre la géométrie des liaisons, les lois cinématiques et la performance productive d'une machine. La maîtrise de ces concepts permet au technicien de diagnostiquer une défaillance, d'optimiser un cycle de production ou de valider la conception d'un nouvel équipement. Cette discipline transforme une vision statique des machines en une compréhension dynamique de leurs interactions fonctionnelles. L'objectif pédagogique est donc de former des praticiens capables de décoder, d'améliorer et de créer la fonction mécanique.

2. Domaines d'Application Stratégiques

Les principes étudiés trouvent une application immédiate dans les secteurs clés de l'économie nationale. Le secteur minier, par exemple, met en œuvre des mécanismes complexes pour l'excavation, le concassage et le transport des

minerais (pelles mécaniques, convoyeurs, broyeurs). L'agro-industrie utilise des systèmes de transformation et de conditionnement dont l'efficacité dépend de la justesse de leur conception mécanique (presses à huile, décortiqueuses). La production d'énergie hydroélectrique, comme aux barrages d'Inga, mobilise des mécanismes de régulation de grande précision pour les vannes et les turbines. Chaque mécanisme étudié préfigure une solution technique à un besoin industriel concret.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Partie I : Systèmes de Transmission et Variation de Vitesse

Du Moteur à l'Action

Un moteur produit une rotation. Seule, cette rotation est fondamentalement inutile. Son énergie doit atteindre la pièce à actionner : une roue, une lame de scie, un foret. Les systèmes de transmission assurent ce transport de puissance mécanique. Ils créent un lien cinématique direct entre la source motrice et l'organe récepteur du mouvement. Leur conception correcte est au cœur du génie mécanique moderne.

Adapter la Force et la Vitesse

La puissance brute d'un moteur est rarement utilisable telle quelle. Son couple et sa vitesse de rotation doivent être transformés pour correspondre au besoin de l'application. Un système réducteur augmente le couple au détriment de la vitesse, idéal pour soulever une charge lourde. Inversement, un système multiplicateur augmente la vitesse en sacrifiant le couple. Le choix du rapport de transmission dicte la performance finale.

L'Arsenal du Mécanicien

Technologiquement, plusieurs familles de mécanismes coexistent pour cette fonction. Les engrenages assurent une transmission précise et sans glissement pour de fortes puissances. Les systèmes à poulies et courroies offrent une solution silencieuse et économique pour de plus grandes distances. Les chaînes et pignons, visibles sur une moto à Mbuji-Mayi, combinent robustesse et fiabilité pour des applications exigeant une forte traction.

Maîtriser le Rythme de la Machine

Au-delà des rapports fixes, la variation de vitesse est un enjeu majeur. Elle peut être discrète, par le biais d'une boîte de vitesses à étages, comme sur un camion Fuso grimpant les côtes du Kongo Central. Chaque rapport correspond à un palier de couple défini. Elle peut aussi être continue, grâce à un variateur, offrant une infinité de rapports pour une souplesse d'utilisation maximale.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Chapitre 1 : Les Réducteurs de Vitesse à Engrenages

1.1. Fonction et Utilité des Réducteurs

a. L'incompatibilité fondamentale

Un des faits les plus courants en mécanique est l'incompatibilité entre la vitesse d'un moteur et la vitesse requise par une machine. Un moteur électrique ou thermique tourne très vite, souvent à plus de 1500 tours par minute, mais avec une force de rotation (le couple) relativement faible.

Inversement, de nombreux appareils comme un broyeur ou un treuil de levage exigent un mouvement lent, contrôlé, mais doté d'une force considérable. Le réducteur de vitesse est l'organe mécanique qui résout cette incompatibilité. C'est un traducteur de mouvement.

A. Le principe de la démultiplication

Fondamentalement, un réducteur est une boîte contenant des engrenages. Son rôle est double et indissociable. Il diminue la vitesse de rotation et, en contrepartie, il augmente le couple. La puissance, elle, reste quasiment constante, aux pertes par frottement près.

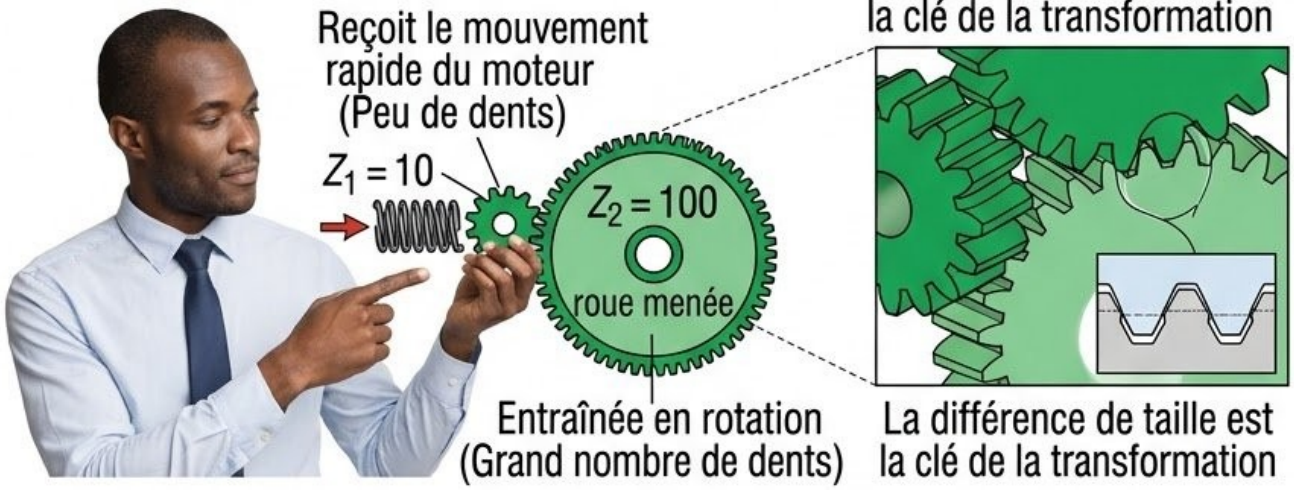
Le principe repose sur l'engrènement d'une petite roue dentée (le pignon) avec une grande roue dentée. Pour que la grande roue effectue un tour complet, le petit pignon doit en faire plusieurs. La vitesse de sortie est donc plus faible. Simultanément, la force disponible sur l'axe de la grande roue est multipliée. C'est la loi du levier appliquée à la rotation. Le rapport de réduction, noté r, est le quotient du nombre de dents de la grande roue (Z_2) par celui de la petite (Z_1).

$$r = \frac{Z_{roue}}{Z_{pignon}}$$

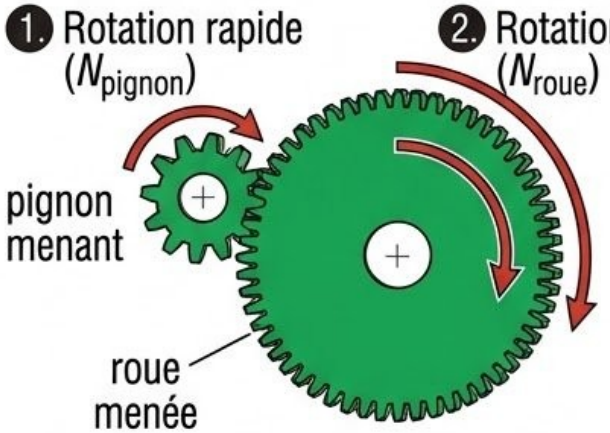
Figure 1 : Réf. IMG (3734-5950-0397)

Schéma de principe d'un réducteur simple à deux engrenages

a. Analyse des éléments



b. La transformation du mouvement

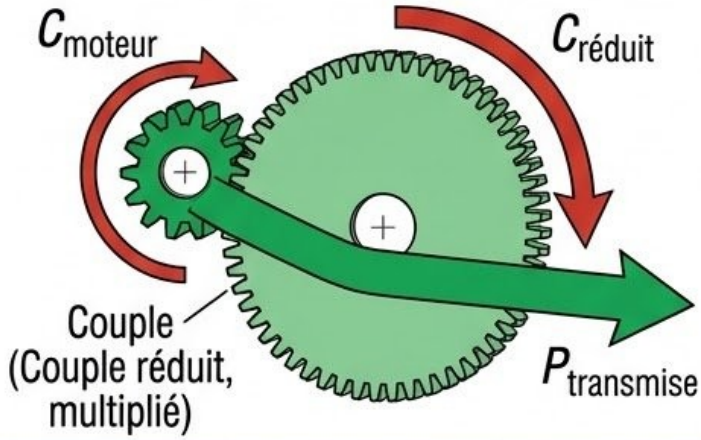


Vitesse est inversement proportionnelle au nombre de dents

$$N_{roue} = N_{pignon} \times \frac{Z_{pignon}}{Z_{roue}}$$

Si $\frac{Z_{roue}}{Z_{pignon}} = 10$, alors $N_{roue} = \frac{N_{pignon}}{10}$

c. La multiplication du couple



Réduire la vitesse d'un facteur 10, le couple à l'axe de la roue menée est multiplié par 10.

$$C_{réduit} = C_{moteur} \times \frac{Z_{roue}}{Z_{pignon}}$$

$P_{transmise\ par\ pignon} = P_{transmise\ par\ roue}$ (aux pertes près)

Couple faible (vitesse élevée) **VS** Couple fort (vitesse réduite)

Figure 1 : Réf. IMG (3734-5950-0397)

Schéma de principe d'un réducteur simple à deux engrenages

a. Analyse des éléments

L'image présente un système simple. Le petit engrenage, appelé pignon menant, reçoit le mouvement rapide du moteur. Il possède peu de dents. Il entraîne en rotation le grand engrenage, appelé roue menée, qui possède un grand nombre de dents. Cet ensemble est le cœur de toute transmission par engrenages. La différence de taille est la clé de la transformation du mouvement.

b. La transformation du mouvement

La vitesse de rotation est inversement proportionnelle au nombre de dents. Le pignon (peu de dents) tourne très vite. La roue (beaucoup de dents) tourne lentement. Ce ralentissement est précisément le but recherché : la "réduction" de vitesse. La relation est simple : si la roue a dix fois plus de dents que le pignon, elle tournera dix fois moins vite.

c. La multiplication du couple

Le couple (la force de rotation) évolue à l'inverse de la vitesse. En réduisant la vitesse d'un facteur 10, le couple à l'axe de la roue menée est, idéalement, multiplié par 10. La puissance transmise par le pignon est la même que celle délivrée par la roue (aux pertes près). Le réducteur ne crée pas d'énergie ; il la transforme.

B. L'utilité industrielle et quotidienne

Sans réducteur, une grande partie de notre monde technique serait à l'arrêt.

- **Dans les transports**, la boîte de vitesses d'une voiture ou d'un camion Fuso est un réducteur complexe. Elle permet d'adapter la vitesse du moteur à la vitesse des roues, que ce soit pour démarrer en force en côte à Bukavu ou rouler vite sur la nationale près de Moanda.
- **Dans l'industrie**, les exemples sont infinis. Les convoyeurs des usines de ciment au Kongo Central, les presses pour l'huile de palme dans le Kwilu ou les broyeurs dans les mines du Kasaï utilisent des motoréducteurs pour obtenir des mouvements lents et puissants.

- **Dans le quotidien**, un simple mixeur à fruits ou un batteur électrique contient un petit réducteur pour que les lames ou les fouets aient la force de travailler les aliments sans que le moteur ne grille.

Un moteur trop rapide pour le manioc

À Mbandaka, dans la province de l'Équateur, Papa Ismaël, un artisan ingénieux, a eu l'idée de motoriser son moulin à manioc manuel. Il a récupéré un moteur de machine à laver, un appareil qui tourne à une vitesse vertigineuse. Fier de son montage, il branche le tout. Le résultat fut catastrophique : le moteur, directement relié au moulin, a tourné si vite qu'il a projeté la pâte de manioc partout dans l'atelier, sans avoir la force de broyer les tubercules les plus durs. Le moteur tournait "à vide", trop vite et sans couple suffisant. Son voisin, ancien technicien à la SCTP, lui expliqua son erreur : "Ton moteur a la vitesse, mais pas la force. Il te faut un traducteur entre les deux. Il te faut un réducteur."

Exercice 1 : Le convoyeur de la cimenterie

Énoncé : Papa Kanku travaille à la cimenterie de Lukala. Il doit vérifier l'installation d'un nouveau convoyeur. Le moteur électrique tourne à une vitesse $N_{moteur} = 1500\,\text{tr/min}$. Le réducteur est composé d'un pignon menant de $Z_1 = 20$ dents et d'une roue menée de $Z_2 = 120$ dents. Calculez le rapport de réduction et la vitesse de rotation $N_{convoyeur}$ en sortie du réducteur.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calculer le rapport de réduction (r)** La formule du rapport est le nombre de dents de la roue menée divisé par celui du pignon menant.

$$r = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{120}{20} = 6$$

Le rapport de réduction est de 6.

2. **Étape 2 : Calculer la vitesse de sortie ($N_{convoyeur}$)** La vitesse de sortie est la vitesse d'entrée divisée par le rapport de réduction.

$$N_{convoyeur} = \frac{N_{moteur}}{r} = \frac{1500}{6} = 250\,\text{tr/min}$$

Le convoyeur tournera à une vitesse de 250 tours par minute.

Exercice 2 : La presse à canne à sucre de Maman Hélène

Énoncé : Près de Kisangani, Maman Hélène utilise une presse à canne à sucre motorisée. Le moteur fournit un couple d'entrée $C_{entrée} = 10\,\text{Nm}$ au réducteur. Le réducteur a un rapport de $r = 25$. En ignorant les pertes par frottement, quel est le couple de sortie C_{sortie} disponible pour écraser la canne ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier la relation entre couple et rapport de réduction** Dans un réducteur, le couple est multiplié par le rapport de réduction. Le but est d'augmenter la force.

2. **Étape 2 : Calculer le couple de sortie (C_{sortie})** La formule est l'inverse de celle de la vitesse. On multiplie le couple d'entrée par le rapport.

$$C_{sortie} = C_{entrée} \times r$$

$$C_{sortie} = 10\,\text{Nm} \times 25 = 250\,\text{Nm}$$

La presse dispose d'un couple puissant de 250 Nm pour broyer la canne à sucre, soit 25 fois plus que ce que le moteur fournit seul.

1.2. Typologie des Réducteurs : Axes Parallèles et Orthogonaux

a. Le choix crucial de l'orientation

Pendant qu'un ingénieur à Mbandaka conçoit un moteur pour une nouvelle baleinière, il fait face à un choix fondamental. La transmission de puissance du moteur à l'hélice dépend de l'orientation de leurs axes. Ces axes sont soit parallèles, soit sécants, soit non concourants. Cette décision géométrique détermine toute la conception mécanique.

Cette géométrie des axes est le premier critère de classification des réducteurs. Un réducteur pour axes parallèles fonctionne différemment d'un réducteur pour axes orthogonaux. Leur cinématique, leurs contraintes et leurs applications diffèrent radicalement. Comprendre cette distinction est la base de l'étude des transmissions par engrenages.

A. Les Réducteurs à Axes Parallèles

Un réducteur est dit "à axes parallèles" lorsque l'axe de l'arbre d'entrée (moteur) et l'axe de l'arbre de sortie (récepteur) sont parallèles. Cette configuration est la plus courante et la plus simple à réaliser. Elle utilise principalement des engrenages cylindriques.

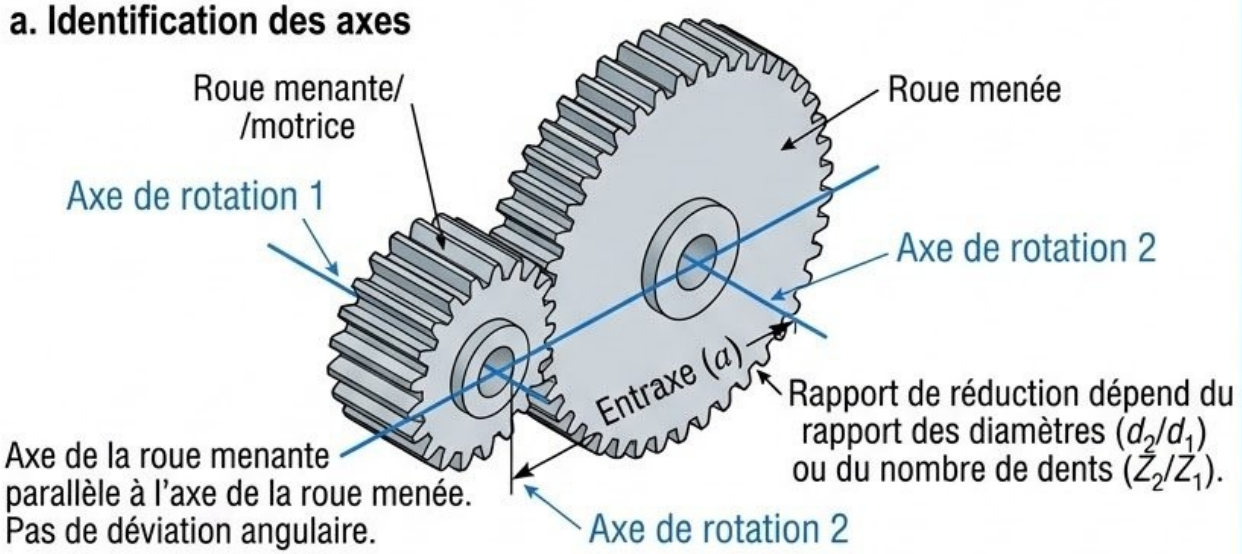
Ces engrenages peuvent avoir une denture droite ou une denture hélicoïdale. * **Denture droite :** Plus simple à fabriquer, mais plus bruyante et adaptée aux faibles vitesses. * **Denture hélicoïdale :** Plus silencieuse, transmet plus d'efforts, mais génère une poussée axiale.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

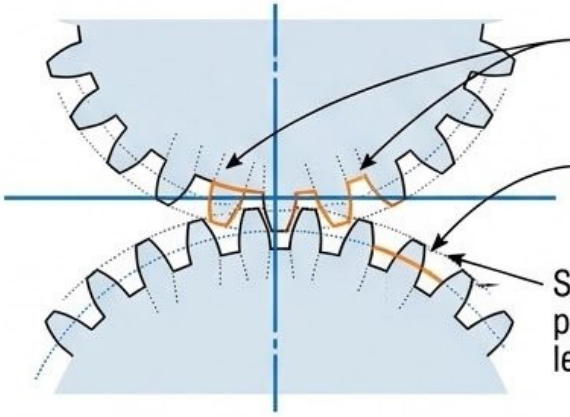
Figure 2 : Réf. IMG (3500-3773-8950)

Schéma d'un engrenage cylindrique à denture droite pour axes parallèles.

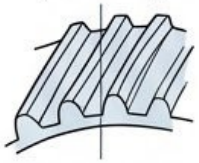
a. Identification des axes



b. Type d'engrenage



Denture hélicoïdale (inclinée)



Pour des applications plus silencieuses ou puissantes.

c. Application typique

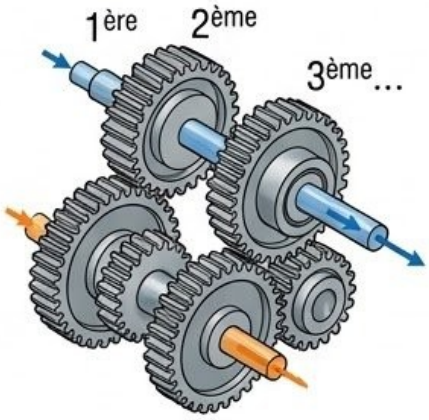


Mécanisme interne d'un treuil simple

Boîtes de vitesses

Laminoirs de l'industrie sidérurgique

Disposition linéaire et compacte



Boîte de vitesses de voiture

Figure 2 : Réf. IMG (3500-3773-8950)

Schéma d'un engrenage cylindrique à denture droite pour axes parallèles.

a. Identification des axes

L'axe de la roue menante (petite roue, motrice) est parfaitement parallèle à l'axe de la roue menée (grande roue). Il n'y a aucune déviation angulaire entre les deux. L'entraxe, distance entre les deux axes, est une cote fondamentale de ce type de mécanisme. Le rapport de réduction dépend directement du rapport entre les diamètres ou le nombre de dents des deux roues.

b. Type d'engrenage

Le dessin montre des engrenages cylindriques à denture droite. Les dents sont taillées parallèlement à l'axe de rotation. Cette simplicité géométrique facilite leur fabrication et leur contrôle. Pour des applications plus exigeantes en silence ou en puissance, la denture serait inclinée (hélicoïdale).

c. Application typique

Ce type de transmission se retrouve dans les boîtes de vitesses de voitures, les laminoirs de l'industrie sidérurgique à Maluku, ou encore dans le mécanisme interne d'un treuil simple. La disposition linéaire des composants rend cette solution compacte dans une seule direction.

B. Les Réducteurs à Axes Orthogonaux

Un réducteur est dit "à axes orthogonaux" lorsque l'axe de l'arbre d'entrée et celui de l'arbre de sortie sont perpendiculaires. Ils se coupent généralement en un point. On parle alors d'axes concourants. Cette configuration sert principalement à réaliser un renvoi d'angle à 90°.

Le mécanisme le plus connu pour cette fonction est le couple conique. Les roues dentées ne sont plus cylindriques mais coniques.

Figure 3 : Réf. IMG (9244-4136-8990)

Vue éclatée d'un couple conique pour renvoi d'angle à 90°

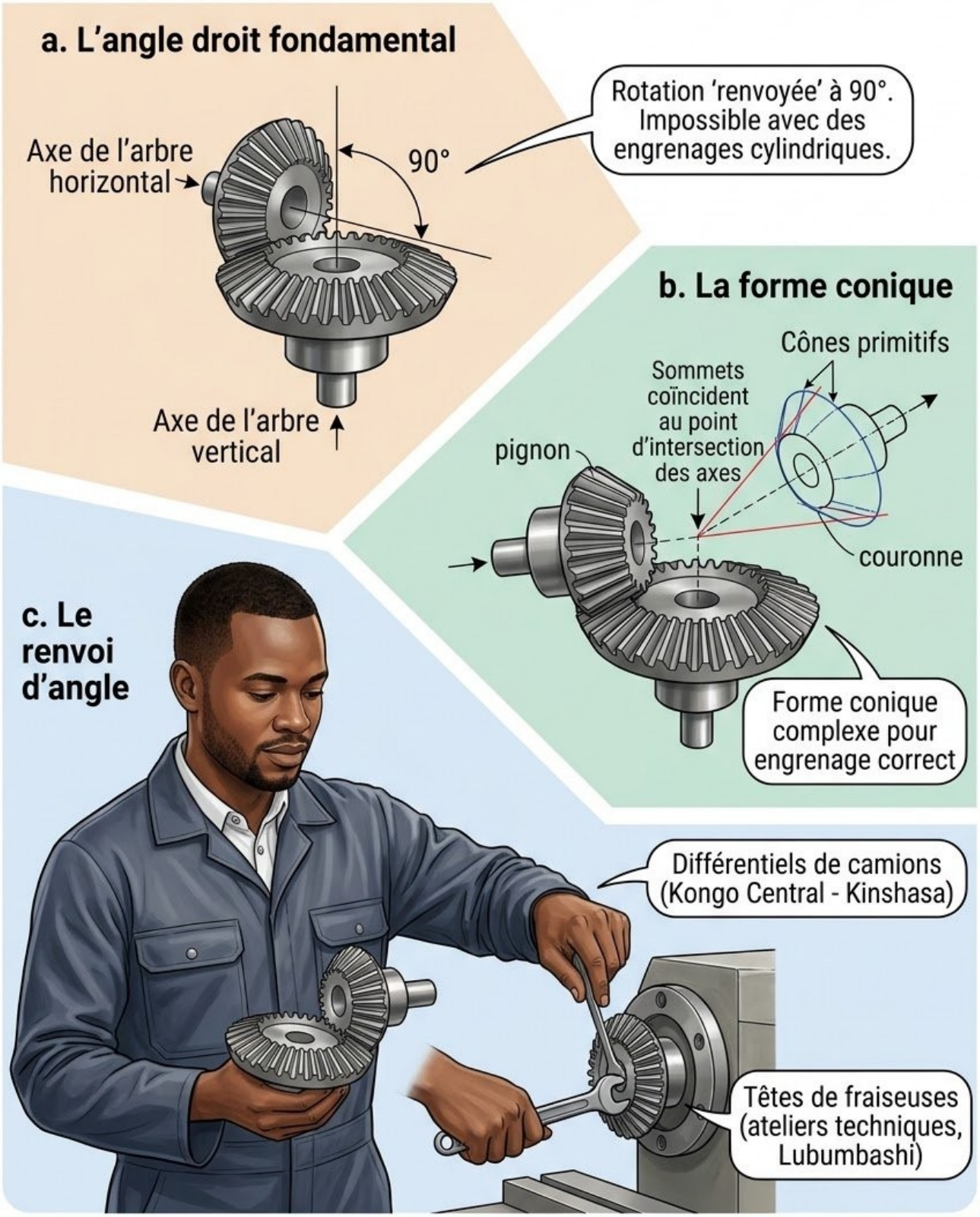


Figure 3 : Réf. IMG (9244-4136-8990)

Vue éclatée d'un couple conique pour renvoi d'angle à 90°.

a. L'angle droit fondamental

L'axe de l'arbre horizontal et l'axe de l'arbre vertical se croisent à angle droit. Le mouvement de rotation est ainsi "renvoyé" de 90°. Cette fonction est impossible à réaliser avec des engrenages cylindriques. C'est la fonction principale de ce type de réducteur, souvent appelé simplement "renvoi d'angle".

b. La forme conique

Pour que les dents puissent s'engrener correctement sur des axes perpendiculaires, la surface de base des roues doit être un cône. Les sommets des deux cônes primitifs coïncident avec le point d'intersection des axes. La forme des dents est donc complexe, ce qui rend leur fabrication plus coûteuse.

c. Le renvoi d'angle

Cette technologie est essentielle dans les différentiels de camions qui circulent entre le Kongo Central et Kinshasa. Elle est aussi utilisée sur les têtes de fraiseuses ou de perceuses à colonne dans les ateliers techniques de Lubumbashi pour orienter l'outil.

■ ■ ■

Un cas particulier existe avec les réducteurs à roue et vis sans fin. Leurs axes sont aussi orthogonaux, mais ils ne sont pas sécants (ils se croisent "dans le vide"). Ce système offre des rapports de réduction très élevés.

Le dilemme de Papa Kanku à Kananga

Papa Kanku est un mécanicien respecté au Kasaï, spécialiste des moulins à maïs. Un jour, le moteur électrique d'un moulin important grille. Le seul moteur de remplacement disponible, bien que puissant, possède un axe de sortie vertical, alors que l'original avait un axe horizontal. Le pignon du moulin, lui, reste sur un axe horizontal. Papa Kanku se retrouve face à un problème de géométrie pure.

Il ne peut plus utiliser le simple engrenage cylindrique existant. Les axes du nouveau moteur et du moulin sont désormais orthogonaux. Il doit concevoir un renvoi d'angle. Il se procure un petit carter de différentiel de moto, contenant un couple conique. Après quelques adaptations, il parvient à monter le nouveau moteur verticalement et à transmettre la puissance à l'axe horizontal du moulin. Le bruit est différent, plus sourd, mais la farine de maïs est de nouveau produite.

Exercice 1 : La pompe à eau de Maman Hélène

Énoncé : Maman Hélène, à Kisangani, possède une pompe à eau manuelle qui fonctionne avec un grand levier. Pour se faciliter la vie, elle achète un petit moteur électrique. L'axe de ce moteur tourne à l'horizontale. La pompe, elle, a besoin d'un mouvement vertical pour fonctionner. Un technicien propose d'installer un réducteur pour connecter le moteur à la pompe. Quel type de réducteur (selon la classification par axes) est indispensable ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyse de la géométrie des axes** L'axe du moteur est horizontal. L'axe qui doit actionner la pompe est vertical. Les deux axes sont donc perpendiculaires l'un à l'autre. Ils forment un angle de 90°.
2. **Étape 2 : Sélection de la famille de réducteur** Puisque les axes sont orthogonaux, un réducteur à axes parallèles (engrenages cylindriques) est inutilisable. Le choix doit se porter sur un réducteur à axes orthogonaux.
3. **Étape 3 : Proposition de la technologie** La solution technique la plus directe est un réducteur à couple conique (renvoi d'angle). Il transformera la rotation de l'axe horizontal du moteur en une rotation sur un axe vertical, qui pourra ensuite être transformée en mouvement de pompage.

Exercice 2 : L'inspection du portique à Matadi

Énoncé : Un jeune technicien inspecte le mécanisme de levage d'un portique au port de Matadi. Il observe un puissant moteur électrique. Sa rotation est transmise à un gros tambour qui enroule le câble en acier. Entre le moteur et le tambour, il voit une série de 4 engrenages logés dans un carter. Il mesure avec son équerre et constate que l'axe du moteur, les axes des engrenages intermédiaires et l'axe du tambour sont tous parfaitement parallèles. De quelle famille de réducteur s'agit-il et pourquoi ce choix est-il pertinent ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Observation de la disposition des axes** L'énoncé précise que tous les axes de rotation (moteur, intermédiaires, tambour) sont parallèles entre eux.
2. **Étape 2 : Identification de la famille de réducteur** La disposition des axes correspond directement à la définition d'un réducteur à axes parallèles. Le mécanisme utilise donc des trains d'engrenages cylindriques.
3. **Étape 3 : Justification du choix technique** Ce choix est pertinent pour plusieurs raisons. Premièrement, les réducteurs à axes parallèles sont très efficaces pour transmettre des couples élevés, nécessaires pour soulever des conteneurs. Deuxièmement, leur conception "en ligne" est compacte et s'intègre bien dans la structure allongée d'une poutre de portique. Enfin, l'utilisation de plusieurs étages d'engrenages permet d'obtenir un rapport de réduction très important.

1.3. Lubrification et Étanchéité des Carters de Réducteur

a. La mécanique silencieuse

Même si un moteur puissant impressionne par son bruit, le silence d'un mécanisme bien entretenu est le vrai signe de sa performance. Un réducteur qui fonctionne sans grogner ni surchauffer est un réducteur qui accomplit son travail avec une efficacité maximale. Ce n'est pas un hasard, mais le résultat d'une science précise.

Ce silence est le fruit d'un travail invisible mais essentiel : la lubrification. Une goutte d'huile sur une charnière qui grince à Matadi suffit à le prouver. Dans un réducteur, ce principe est poussé à un niveau industriel pour garantir la longévité et la fiabilité des engrenages subissant des efforts colossaux.

A. Le Rôle Vital de la Lubrification

L'huile dans un carter de réducteur accomplit plusieurs missions critiques. Sa fonction première est la réduction des frottements entre les dents des engrenages. Un film d'huile, d'une épaisseur de quelques microns, sépare les surfaces métalliques en mouvement. Cette séparation empêche une usure prématurée et une perte d'énergie par friction.