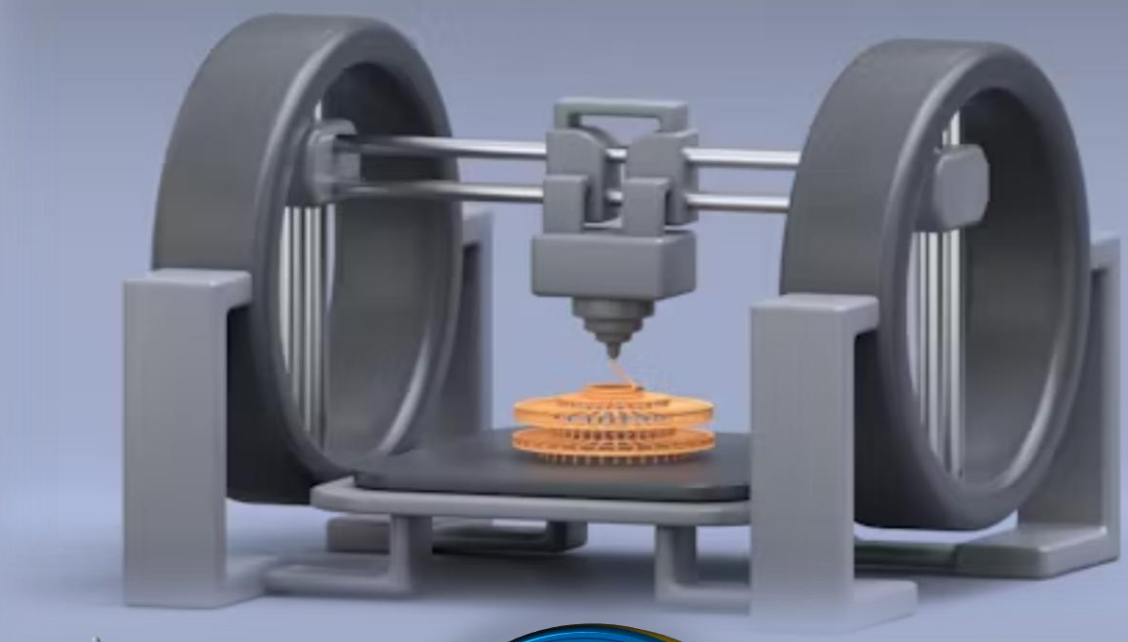
T.P.H

TRANSMISSION PNEUMATIQUE & HYDRAULIQUE



CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

4ème Année

EDITION 2025

Option Mécanique Générale



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques du Cours 1

- 1. Maîtrise des savoirs théoriques 1
- 2. Développement des compétences pratiques 1
- 3. Acquisition des compétences transversales 1

Approche Didactique et Méthodologique 1

- 1.1. Articulation Théorie-Pratique 2
- 1.2. Approche Spirale et Progressive 2
- 1.3. Évaluation Formative par Scénarios 2

Contexte Industriel et Maintenance 2

- 1.1. L'Automatisation comme Levier de Productivité 2
- 1.2. La Maintenance : Fonction Stratégique et Non Optionnelle 3
- 1.3. Compétences Requises pour le Technicien de Maintenance 3

PARTIE I : FONDAMENTAUX ET COMPOSANTS DES SYSTÈMES FLUIDES **4**

La Puissance des Fluides 4

L'Air : Le Souffle de l'Industrie 4

L'Huile : Le Muscle de la Mécanique 4

Les Organes du Système : Composants et Circuits 4

CHAPITRE 1 : PRINCIPES DES TRANSMISSIONS DE PUISSANCE PAR FLUIDES **5**

1.1. Comparaison des Technologies : Avantages et Inconvénients 5

- a. Le cœur et le moteur : une leçon de la nature 5
- A. La Puissance de l'Huile : L'Hydraulique 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (7303-7560-0460) **7**

Schéma de principe d'un circuit hydraulique simple avec vérin 7

- B. La Vitesse de l'Air : La Pneumatique 7

1.2. Structure d'un Système : Production, Distribution, Action 10

- a. Une structure universelle 10
- A. La Production d'Énergie Fluide 10
- B. La Distribution et le Contrôle 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 2 : RÉF. IMG (1497-6017-0088)..... 11

Schéma de principe d'un circuit pneumatique simple et ses trois parties.....11

- C. L'Action : Le Travail Utile.....11

1.3. Circuits de Puissance et Circuits de Commande.....13

- a. Le muscle et le cerveau d'une machine.....13
- A. Le Circuit de Puissance : Le Muscle du Système.....13
- B. Le Circuit de Commande : Le Cerveau Stratégique.....14

FIGURE 3 : RÉF. IMG (1036-8084-5241)..... 16

Schéma simplifié d'un circuit hydraulique distinguant puissance et commande.....16

- C. L'Interface : Le Distributeur Piloté.....16

FIGURE 4 : RÉF. IMG (0321-9601-6689)..... 18

Circuit pneumatique de commande séquentielle avec deux vérins A et B.....18

- Scénarios et Exercices.....18
- Une modernisation bienvenue à Mbandaka.....18

1.4. Symbolisation Graphique Normalisée (ISO 1219).....20

- a. Un langage universel pour les mécaniciens.....20
- A. La Logique des Symboles : Un Alphabet Technique.....20
- B. Les Composants de Base et Leurs Symboles.....21

FIGURE 5 : RÉF. IMG (6667-9041-8878)..... 22

Symboles de la source d'énergie et d'un vérin simple effet.....22

FIGURE 6 : RÉF. IMG (0179-8115-0158)..... 24

Décomposition d'un symbole de distributeur pneumatique 3/2 normalement fermé.....24

- C. Construire le Schéma.....24
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....25

CHAPITRE 2 : LES ACTIONNEURS – CONVERSION DE L'ÉNERGIE FLUIDE EN TRAVAIL.... 27

2.1. Les Vérins Linéaires : Technologies et Dimensionnement.....27

- a. Le muscle du système automatisé.....27
- A. Principe de fonctionnement et types de vérins.....27

FIGURE 7 : RÉF. IMG (0245-6825-5271)..... 28

Anatomie comparée d'un vérin simple effet et double effet pneumatique.....28

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Dimensionnement : Le calcul de la force.....28

FIGURE 8 : RÉF. IMG (6698-3074-9126).....31

Surfaces de calcul pour la force d'un vérin double effet.....31

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....31

2.2. Les Moteurs Hydrauliques et Pneumatiques.....33

- Une initiation à la rotation fluide.....33
- A. Principe de fonctionnement commun.....34
- B. Typologies des moteurs fluides.....34

FIGURE 9 : RÉF. IMG (8965-0028-9886).....36

Vue éclatée d'un moteur hydraulique à engrenages externes et son principe.....36

FIGURE 10 : RÉF. IMG (3257-8714-0362).....38

Schéma de fonctionnement d'un moteur pneumatique à palettes et son rotor.....38

- C. Critères de sélection d'un moteur.....38

2.3. Amortissement de Fin de Course et Vérification au Flambage.....40

- a. L'énergie cinétique, une force à maîtriser.....40
- A. Le Principe de l'Amortissement.....41
- B. La Vérification au Flambage de la Tige.....41

CHAPITRE 3 : LES DISTRIBUTEURS – ORGANES DE COMMUTATION DE PUISSANCE.....44

3.1. Le Distributeur 4/3 : Positions Centrales et Applications.....44

- a. L'importance de la position neutre.....44
- A. Anatomie et Symbolisation du Distributeur 4/3.....44
- B. Les Trois Types de Centres et leurs Fonctions.....44

FIGURE 11 : RÉF. IMG (8509-5309-0784).....46

Schémas symboliques des trois positions centrales d'un distributeur 4/3.....46

- b. L'anecdote de la presse à huile de palme.....46

3.2. Le Pilotage des Distributeurs.....48

- a. L'ordre et l'exécution.....48
- A. Définition du Pilotage.....48
- B. Les Grandes Familles de Commande.....48
- C. Distinction : Pilotage Direct et Indirect.....49

3.3. Technologies Avancées : Performances et Blocs Logiques.....50

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. Du “spaghetti” de tuyaux à la logique intégrée.....50
- A. Les Critères de Performance d’un Distributeur Moderne.....51
- B. Les Blocs Logiques Pneumatiques : le Cerveau du Circuit.....51
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....52

CHAPITRE 4 : LE CONTRÔLE DU DÉBIT ET DE LA PRESSION.....54

4.1. Les Limiteurs de Débit et le Réglage de Vitesse.....54
- a. L’analogie du robinet.....54
- A. Le limiteur de débit : définition et principe.....54
- B. Types de limiteurs de débit.....54

FIGURE 12 : RÉF. IMG (6798-8847-9242).....55

Schéma d’un limiteur de débit unidirectionnel avec son clapet anti-retour.....55
- C. Application : le réglage de la vitesse d’un vérin.....55

4.2. Les Limiteurs de Pression (Soupapes de Sécurité).....57
- a. Le principe de la marmite sous pression.....57
- A. Principe de Fonctionnement.....57

FIGURE 13 : RÉF. IMG (1931-5066-4427).....60

Schéma de principe d’un limiteur de pression à action directe.....60
- B. Les Deux Types Principaux.....60

FIGURE 14 : RÉF. IMG (7972-8600-6370).....63

Structure interne d’un limiteur de pression à action pilotée.....63
- C. Le Rôle Essentiel sur la Pompe.....63

4.3. Composants Spécifiques : Réducteurs, Séquenceurs et Diviseurs de Débit.....66
- a. L’art de la contrainte maîtrisée.....66
- A. Le Réducteur de Débit : Le Maître du Tempo.....66

FIGURE 15 : RÉF. IMG (7224-6873-5183).....68

Schéma de principe d’un réducteur de débit avec sa vis de réglage.....68
- B. Le Séquenceur de Pression : L’Organisateur Logique.....68
- C. Le Diviseur de Débit : Le Garant de la Synchronisation.....68

FIGURE 16 : RÉF. IMG (6582-8055-2280).....70

Diviseur de débit alimentant deux vérins hydrauliques pour un levage synchronisé.....70
- Le secret du vieux mécanicien de la Gécamines.....70

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PARTIE II : LA PNEUMATIQUE INDUSTRIELLE – DE LA PRODUCTION AUX CIRCUITS LOGIQUES **73**

a. L'air : une énergie invisible et gratuite 73

b. Du compresseur au conditionnement 73

c. Les actionneurs : la force en mouvement 73

d. La logique de commande : l'intelligence du circuit 73

CHAPITRE 5 : PRODUCTION ET CONDITIONNEMENT DE L'AIR COMPRIMÉ **74**

5.1. Optimisation Énergétique : Audit de Centrale et Conception du Réseau 74

- a. Le sifflement qui coûte cher 74
- A. L'Audit de la Centrale d'Air Comprimé 74
- B. Principes de Conception d'un Réseau d'Air 75

5.2. Le Traitement de l'Air : Filtration et Séchage 77

- a. L'air pur, une illusion technique 77
- A. La Filtration : Le gardien du circuit 78

FIGURE 17 : RÉF. IMG (3814-4133-3108) **80**

Coupe schématique d'un filtre à air comprimé et ses composants 80

- B. Le Séchage : L'ennemi de la condensation 80

FIGURE 18 : RÉF. IMG (6615-8077-7884) **82**

Comparaison des principes de séchage par réfrigération et par adsorption 82

- Anecdote : Le sabotage involontaire de la cimenterie de Lukala 82

5.3. Le Groupe FRL : Sélection et Réglage 84

- a. L'air comprimé, un fluide imparfait 84
- A. Anatomie et Fonction du Groupe FRL 84

FIGURE 19 : RÉF. IMG (8293-7902-8230) **86**

Schéma fonctionnel d'un groupe FRL avec ses trois composants distincts 86

- B. Critères de Sélection et Maintenance 86

CHAPITRE 6 : CONCEPTION DE CIRCUITS PNEUMATIQUES SÉQUENTIELS **89**

6.1. Outils de Description du Cycle : Grafcet et Diagrammes 89

- a. L'ordre avant l'action 89
- A. Le Diagramme Espace-Temps : La Photographie du Mouvement 89

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 20 : RÉF. IMG (2285-0444-0088)....91

Diagramme espace-temps pour un cycle pneumatique à deux vérins A et B....91

- B. Le Grafcet : Le Langage Universel de la Séquence....91

FIGURE 21 : RÉF. IMG (3299-1879-0658)....94

Structure fondamentale d'un Grafcet avec étape, transition et action....94

- Scénarios et Exercices....94
- Une anecdote depuis Lukala....94

6.2. La Logique Pneumatique : Mémoires et Fonctions Logiques....97

- a. Le cerveau de l'air comprimé....97
- A. La Fonction Mémoire : Garder un ordre en tête....97

FIGURE 22 : RÉF. IMG (2924-7351-3940)....99

Schéma d'un distributeur 5/2 bistable créant une fonction mémoire pneumatique....99

- B. Les Fonctions Logiques ET / OU....99

FIGURE 23 : RÉF. IMG (3542-1721-4648)....101

Montage en série (fonction ET) et sélecteur de circuit (fonction OU)....101

- C. Scénarios et Exercices....101

6.3. Méthodologies de Conception : de l'Approche Intuitive à la Méthode Cascade....103

- a. Le casse-tête de l'automaticien....103
- A. L'Approche Intuitive et ses Limites....103

FIGURE 24 : RÉF. IMG (0422-3302-6126)....104

Le conflit de signaux bloquant un vérin pneumatique....104

- B. La Méthode Cascade : Organiser le Chaos....104

FIGURE 25 : RÉF. IMG (4737-1174-4259)....107

Structure d'un circuit cascade à deux groupes d'alimentation....107

- Scénarios et Exercices....107
- Une histoire de presse à huile de palme à Kikwit....107

CHAPITRE 7 : DIAGNOSTIC ET MAINTENANCE DES SYSTÈMES PNEUMATIQUES....110

7.1. Méthodologie Générale de Recherche de Pannes....110

- a. L'art du diagnostic : plus qu'une simple réparation....110
- A. La Phase d'Analyse et d'Observation....110

- B. L'Approche Hypothético-Déductive.....110
- C. La Stratégie de la Dichotomie ("Diviser pour Régner").....111

FIGURE 26 : RÉF. IMG (1821-0573-4301).....113

Schéma pneumatique montrant une fuite et un manomètre anormal.....113

- Scénarios et Exercices.....113

7.2. Identification des Sources de Pannes : Production d'Air et Composants.....115

- a. Le maillon faible du système.....115
- A. La Centrale d'Air : Le Poumon du Système.....115
- B. Les Composants du Circuit : Les Points de Rupture.....116

FIGURE 27 : RÉF. IMG (1282-6963-3805).....117

Circuit pneumatique simple avec points de contrôle pour le diagnostic.....117

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....118

7.3. Élaboration d'un Plan de Maintenance Préventive.....119

- a. La panne comme échec de prévision.....119
- A. Les Piliers d'un Plan de Maintenance.....119
- B. Les Niveaux d'Intervention.....120

FIGURE 28 : RÉF. IMG (1873-2349-4913).....122

Fiche de suivi hebdomadaire pour un compresseur d'air industriel.....122

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....122
- Une histoire de bière chaude à Boma.....122

PARTIE III : L'HYDRAULIQUE INDUSTRIELLE – PUISSANCE ET PRÉCISION.....125

a. La force tranquille des fluides.....125

b. L'anatomie d'un circuit hydraulique.....125

c. Du tracteur de Gemena à la presse de Maluku.....125

d. Maîtriser la pression : un enjeu de sécurité.....125

CHAPITRE 8 : LA CENTRALE HYDRAULIQUE ET LA GESTION DU FLUIDE.....126

8.1. Conception et Dimensionnement d'une Centrale Hydraulique.....126

- a. Le cœur de la machine.....126
- A. Anatomie d'une Centrale Hydraulique.....126

FIGURE 29 : RÉF. IMG (6982-6128-9229).....128

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Schéma de principe d'une centrale hydraulique simple et ses composants....128
- B. Formules Clés du Dimensionnement....128

FIGURE 30 : RÉF. IMG (5800-3516-4669)....130

Visualisation du principe de Pascal : Force, Pression et Surface....130
- L'anecdote de l'atelier de Mbanza-Ngungu....130

8.2. Gestion de la Qualité du Fluide : Filtration et Contrôle de Température....132
- a. L'huile, le sang de la machine....132
- A. La Filtration : Le Rein du Circuit Hydraulique....132

FIGURE 31 : RÉF. IMG (2048-0106-8842)....135

Schéma simplifié d'un filtre hydraulique en coupe....135
- B. Le Contrôle de la Température : Le Poumon du Circuit....135

8.3. Les Accumulateurs Hydropneumatiques : Rôle et Applications....137
- a. L'accumulateur : la batterie de votre circuit hydraulique....137
- A. Principe de fonctionnement et types....138

FIGURE 32 : RÉF. IMG (9651-1718-7435)....140

Coupe schématique d'un accumulateur hydropneumatique à vessie (ou 'bladder')....140
- B. Les quatre fonctions vitales de l'accumulateur....140

FIGURE 33 : RÉF. IMG (5233-0173-7963)....143

Positionnement typique de l'accumulateur dans un circuit hydraulique simple....143
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....143

CHAPITRE 9 : CONCEPTION DE CIRCUITS HYDRAULIQUES DE PUISSANCE....146

9.1. Circuits avec Plusieurs Actionneurs et Problèmes de Synchronisation....146
- a. Le défi de la synchronisation....146
- A. Le déséquilibre naturel des circuits parallèles....146

FIGURE 34 : RÉF. IMG (5311-1850-1222)....148

Diviseur de débit à engrenages assurant la synchronisation de deux vérins....148
- B. Les diviseurs de débit : une solution mécanique robuste....148
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....149

9.2. Techniques d'Optimisation : Circuits de Régénération et de Freinage....151
- a. Le paradoxe de la vitesse et de la force....151

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Le Circuit de Régénération : Gagner en Vitesse.....151

FIGURE 35 : RÉF. IMG (1190-9037-4170).....153

Schéma de principe d'un circuit hydraulique avec montage en régénération.....153

- B. Les Techniques de Freinage et de Contrôle de Charge.....153

9.3. Lecture et Interprétation de Schémas Hydrauliques d'Engins.....156

- a. Le plan du mécanicien.....156
- A. L'Alphabet du Circuit : Les Symboles ISO 1219.....156

FIGURE 36 : RÉF. IMG (3225-6659-2536).....159

Symboles hydrauliques fondamentaux selon la norme ISO 1219.....159

- B. La Grammaire du Circuit : Suivre le Flux.....159

FIGURE 37 : RÉF. IMG (2733-0703-0512).....162

Schéma d'un circuit de levage simple avec vérin double effet.....162

- C. Le Diagnostic par le Schéma.....162

CHAPITRE 10 : L'HYDRAULIQUE PROPORTIONNELLE.....165

10.1. Principes et Composants de la Commande Proportionnelle.....165

- a. Du "Tout ou Rien" à la "Modulation".....165
- A. La Logique Proportionnelle : Définition.....165

FIGURE 38 : RÉF. IMG (6640-4669-2839).....166

Comparaison entre un distributeur Tout-ou-Rien et un distributeur proportionnel.....166

- B. Les Composants Clés de la Boucle Proportionnelle.....166

FIGURE 39 : RÉF. IMG (7122-2630-8196).....168

Vue éclatée d'un solénoïde proportionnel et de sa carte de commande.....168

- Scénarios et Exercices.....168

10.2. Les Cartes Électroniques de Commande et de Conditionnement.....170

- a. Le traducteur indispensable de la puissance.....170
- A. Anatomie Fonctionnelle de la Carte.....171

FIGURE 40 : RÉF. IMG (1595-8060-4847).....172

Schéma fonctionnel d'une carte de commande pour distributeur proportionnel.....172

- B. Les Réglages Essentiels : Les Potentiomètres.....172

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

10.3. Introduction aux Servovalves et aux Systèmes Asservis.....175
- a. Le secret de la correction automatique.....175
- A. La Servovalve : Le Cerveau de la Précision Hydraulique.....175

FIGURE 41 : RÉF. IMG (9629-2173-4002).....177

Coupe schématique d'une servovalve hydraulique à deux étages.....177
- B. Le Système Asservi : La Boucle de Rétroaction.....177

FIGURE 42 : RÉF. IMG (9187-4332-3807).....180

Principe de fonctionnement d'un système hydraulique asservi en boucle fermée.....180
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....180

CHAPITRE 11 : DIAGNOSTIC ET MAINTENANCE DES SYSTÈMES HYDRAULIQUES.....183

11.1. Méthodologie et Outils de Diagnostic Spécifiques à l'Hydraulique.....183
- a. L'oreille du mécanicien.....183
- A. La Méthodologie Systématique du Diagnostic.....183
- B. L'Arsenal du Technicien Hydraulicien.....184

11.2. Analyse des Pannes Courantes : Pompe, Limiteur de Pression et Fuites.....186
- a. Le mécanicien-docteur.....186
- A. La Pompe : Le Cœur Fatigué.....186

FIGURE 43 : RÉF. IMG (4517-6110-8486).....189

Schéma simplifié d'un circuit hydraulique avec points de contrôle critiques.....189
- B. Le Limiteur de Pression : Le Gardien Défaillant.....189
- C. Les Fuites : L'Hémorragie du Circuit.....190
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....190

11.3. La Contamination de l'Huile : Principale Cause de Défaillance.....191
- L'ennemi invisible des circuits hydrauliques.....191
- A. Les Trois Formes de Contamination.....192

FIGURE 44 : RÉF. IMG (3046-9681-0427).....194

Comparaison microscopique entre une huile hydraulique neuve et une huile cont.....194
- B. Sources et Conséquences.....194

FIGURE 45 : RÉF. IMG (6172-3587-3157).....195

Usure abrasive sur le piston d'un vérin hydraulique causée par la contamination.....195
- b. Les effets destructeurs sur le circuit.....195

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....196

PARTIE IV : SYSTÈMES HYBRIDES ET ÉTUDES DE CAS.....198

a. La rencontre de deux mondes.....198

b. La quête de l'efficacité.....198

c. Le pilotage électrotechnique.....198

d. Des études de cas concrètes.....198

CHAPITRE 12 : LES CIRCUITS OLÉO-PNEUMATIQUES ET ÉLECTRO-FLUIDIQUES.....199

12.1. Principe et Applications des Circuits Oléo-pneumatiques.....199

- a. L'union fait la force, et la vitesse.....199
- A. Le mariage de l'air et de l'huile.....199
- B. Le convertisseur Pression-Pression : Cœur du système.....199

FIGURE 46 : RÉF. IMG (9086-7259-2889).....201

Schéma de principe d'un convertisseur oléo-pneumatique avec ses deux fluides.....201

- L'anecdote de l'atelier de Mufuele à Mbuji-Mayi.....201

12.2. L'Électropneumatique : Commande par Automate Programmable.....203

- a. La fin des armoires à relais.....203
- A. Principe de la commande par API.....203

FIGURE 47 : RÉF. IMG (8171-8724-6864).....204

Architecture de commande électropneumatique par automate programmable (PLC).....204

- B. Structure et langages de programmation.....204

FIGURE 48 : RÉF. IMG (8680-2297-6286).....207

Exemple de programme en langage à contacts (Ladder Diagram) simple.....207

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....207

12.3. L'Électro-hydraulique : Alliance de la Puissance et de la Flexibilité.....209

- a. L'union de deux mondes.....209
- A. Le principe de fonctionnement.....210
- B. Les composants clés du système.....210

CHAPITRE 13 : ÉTUDE DE CAS – AUTOMATISATION D'UN POSTE DE TRAVAIL.....213

13.1. Analyse du Cahier des Charges et Justification du Choix Technologique.....213

- a. L'origine de tout projet.....213

- A. Le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF)....213

FIGURE 49 : RÉF. IMG (2501-8712-0487)....214

Schéma de décomposition d'un cahier des charges pour un système automatisé....214

- B. Justification du Choix Technologique (Pneumatique vs. Hydraulique)....214

13.2. Élaboration du Grafcet et Conception du Schéma de Puissance....217

- a. De l'idée à la machine....217
- A. Le Grafcet : Le Cerveau de l'Opération....217
- B. Le Schéma de Puissance : Les Muscles du Système....217

13.3. Finalisation : Schéma de Commande et Dossier Technique Complet....220

- a. Le patron de l'ingénieur....220
- A. Le Schéma de Commande : Le Cerveau du Système....220
- B. Le Dossier Technique Complet : La Carte d'Identité de la Machine....220

FIGURE 50 : RÉF. IMG (7794-3617-7463)....222

Composition d'un dossier technique complet pour un système automatisé de prod....222

- Scénarios et Exercices....222
- L'anecdote de Papa Kabasele....222

ANNEXES....225

Bibliothèque de Symboles ISO 1219....225

- A. Principes Fondamentaux de la Norme....225
- B. Sources d'Énergie et Unités de Conditionnement....225
- C. Distributeurs (Valves de Contrôle Directionnel)....226
- D. Actionneurs....227
- E. Appareils de Contrôle et Accessoires....228

Guide de Dépannage des Pannes Courantes....228

- A. Principes Fondamentaux du Dépannage Systématique....228
- B. Pannes Courantes en Systèmes Pneumatiques....229
- C. Pannes Courantes en Systèmes Hydrauliques....230

Abaques de Dimensionnement des Tuyauteries....232

- A. Principes Fondamentaux et Paramètres Clés....232
- B. Dimensionnement en Pneumatique....233
- C. Dimensionnement en Hydraulique....233
- D. Correction pour les Pertes de Charge Singulières....235

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques du Cours

1. Maîtrise des savoirs théoriques

L'apprenant acquiert la maîtrise des lois physiques fondamentales régissant la pneumatique et l'hydraulique industrielle. Il identifie la fonction, la constitution et le symbole normalisé de chaque composant, des unités de conditionnement d'énergie aux actionneurs. L'analyse correcte des schémas technologiques, qu'ils soient simples ou séquentiels, constitue un objectif central. La distinction précise entre les deux technologies et leurs domaines d'application respectifs est également visée.

2. Développement des compétences pratiques

Au-delà de la théorie, l'objectif est la traduction en savoir-faire concret. L'apprenant devient capable de concevoir un circuit automatisé répondant à un cahier des charges fonctionnel. Il sélectionne les composants technologiques appropriés en justifiant ses choix par des calculs de dimensionnement simples. La réalisation de montages sur bancs didactiques et la mise au point des systèmes constituent les compétences terminales attendues pour la validation du module.

3. Acquisition des compétences transversales

Finalement, la formation vise à inculquer une culture professionnelle de la rigueur et de la sécurité. Le respect absolu des procédures et des normes lors des manipulations est un acquis non négociable. L'élève développe une méthodologie de diagnostic structurée, lui permettant de localiser et de corriger une panne. Cette démarche logique et déductive lui permet de résoudre des problèmes techniques de manière autonome et efficace.

Approche Didactique et Méthodologique

Cet ouvrage adopte une pédagogie de l'intégration, visant à rendre l'apprenant acteur de sa formation technique. La finalité est de dépasser la simple accumulation de savoirs pour construire des compétences solides et mobilisables en situation professionnelle. La démarche s'articule autour du

triptyque Savoir-Savoir-faire-Savoir-être, essentiel pour le futur technicien en mécanique générale.

1.1. Articulation Théorie-Pratique

Chaque concept théorique est immédiatement transposé en application pratique. Le cours privilégie une entrée par les systèmes et leurs fonctions avant de décomposer les principes physiques sous-jacents (pression, débit, force). Le raisonnement déductif est constamment sollicité : à partir d'un cahier des charges ou d'une panne observée, l'élève apprend à mobiliser le principe scientifique adéquat pour analyser, concevoir ou dépanner un circuit pneumatique ou hydraulique.

1.2. Approche Spirale et Progressive

La progression des notions est organisée en spirale. Un même concept, comme le distributeur, est abordé à plusieurs reprises sous des angles de complexité croissante. Cette méthode favorise un ancrage mémoriel durable et permet de consolider les acquis fondamentaux avant d'introduire des technologies plus complexes (commandes proportionnelles, servovalves). La complexité mathématique est également graduelle, soutenant le développement de l'analyse fonctionnelle.

1.3. Évaluation Formative par Scénarios

L'évaluation des compétences s'effectue principalement à travers des mises en situation. Les exercices et scénarios sont conçus comme des problèmes techniques authentiques, du dimensionnement d'un vérin pour une presse à manioc à Bukavu au diagnostic d'un circuit de freinage hydraulique sur un engin minier à Kolwezi. L'objectif est de mesurer la capacité de l'élève à analyser une situation, choisir une stratégie et justifier ses solutions techniques.

Contexte Industriel et Maintenance

1.1. L'Automatisation comme Levier de Productivité

La performance d'une unité de production industrielle moderne dépend directement de son niveau d'automatisation. Qu'il s'agisse des cimenteries du Kongo Central ou des lignes d'embouteillage de l'Équateur, la recherche de cadence et de précision impose le recours à des actionneurs non humains. Les systèmes pneumatiques et hydrauliques fournissent la puissance motrice de

ces processus. Leur conception, leur installation et leur régulation exigent une expertise technique pointue pour garantir une efficacité maximale.

1.2. La Maintenance : Fonction Stratégique et Non Optionnelle

Toute interruption de fonctionnement d'un circuit automatisé engendre des pertes financières et productives significatives. La maintenance acquiert ainsi une dimension stratégique. Elle assure la disponibilité des équipements. Cette fonction se décline en deux approches fondamentales. La maintenance corrective intervient après une défaillance. La maintenance préventive, quant à elle, anticipe les pannes par des inspections et des remplacements planifiés, optimisant la durée de vie des composants.

1.3. Compétences Requises pour le Technicien de Maintenance

La compétence du technicien moderne en mécanique générale intègre des capacités d'analyse et de diagnostic. Une lecture fluide des schémas pneumatiques et hydrauliques est indispensable. La maîtrise des principes physiques (pression, débit, pertes de charge) fonde sa capacité à identifier l'origine d'un dysfonctionnement. L'objectif pédagogique est donc de former des professionnels capables d'assurer la continuité et la fiabilité des chaînes de production, en alliant savoir théorique et savoir-faire pratique.

Partie I : Fondamentaux et Composants des Systèmes Fluides

La Puissance des Fluides

Transmettre une force ne se limite pas aux engrenages ou aux leviers. Un fluide, qu'il soit un gaz ou un liquide, peut transporter une énergie considérable. Cette transmission d'énergie par un fluide sous pression définit les systèmes pneumatiques et hydrauliques. La mécanique des fluides offre ainsi une alternative puissante et flexible aux liaisons mécaniques rigides pour commander un mouvement ou appliquer un effort.

L'Air : Le Souffle de l'Industrie

La pneumatique utilise l'air comprimé comme vecteur d'énergie. Ce gaz a une propriété fondamentale : sa compressibilité. Il peut stocker de l'énergie potentielle, un peu comme un ressort. Cette caractéristique le rend idéal pour des actions rapides et répétitives. On retrouve son efficacité dans les freins d'un camion FUSO à Matadi ou dans l'ouverture des portes d'un bus à Lubumbashi.

L'Huile : Le Muscle de la Mécanique

L'hydraulique emploie un liquide, généralement de l'huile, pour transmettre la puissance. Contrairement à l'air, l'huile est considérée comme incompressible. Chaque goutte de pression appliquée en un point du circuit se transmet intégralement et instantanément. Cette propriété permet de démultiplier des forces immenses, suffisantes pour soulever les bennes des camions miniers du Kasaï ou actionner les pelles des engins de chantier.

Les Organes du Système : Composants et Circuits

Un fluide puissant ne suffit pas. Sa maîtrise exige des composants spécifiques formant un circuit logique. La pompe ou le compresseur génère la puissance. Les distributeurs orientent le flux d'énergie. Les vérins et les moteurs transforment cette énergie fluide en mouvement mécanique. L'étude de chaque composant est donc une étape essentielle pour comprendre, concevoir et maintenir un système automatisé complet.

Chapitre 1 : Principes des Transmissions de Puissance par Fluides

1.1. Comparaison des Technologies : Avantages et Inconvénients

a. Le cœur et le moteur : une leçon de la nature

Un des faits les plus remarquables de la nature est la circulation sanguine. Le cœur, agissant comme une pompe, propulse le sang (un fluide) dans un réseau de vaisseaux pour nourrir chaque organe. Ce système biologique utilise la pression d'un liquide pour transporter de l'énergie. C'est une transmission hydraulique parfaite, conçue par des millions d'années d'évolution.

Transposer ce principe au monde industriel donne naissance à l'hydraulique et à la pneumatique. Ces technologies imitent et optimisent un mécanisme fondamental : utiliser un fluide pour déplacer, serrer ou soulever une charge avec une force et une précision redoutables. Leur maîtrise est essentielle pour le mécanicien moderne, que ce soit à l'usine de ciment de Lukala ou dans un garage de Goma.

A. La Puissance de l'Huile : L'Hydraulique

Fondamentalement, l'hydraulique utilise un fluide liquide, quasi incompressible (généralement de l'huile), pour transmettre une force. Le principe de Pascal en est le pilier : une pression appliquée à un fluide confiné se transmet intégralement dans toutes les directions. Ceci permet une amplification considérable de la force.

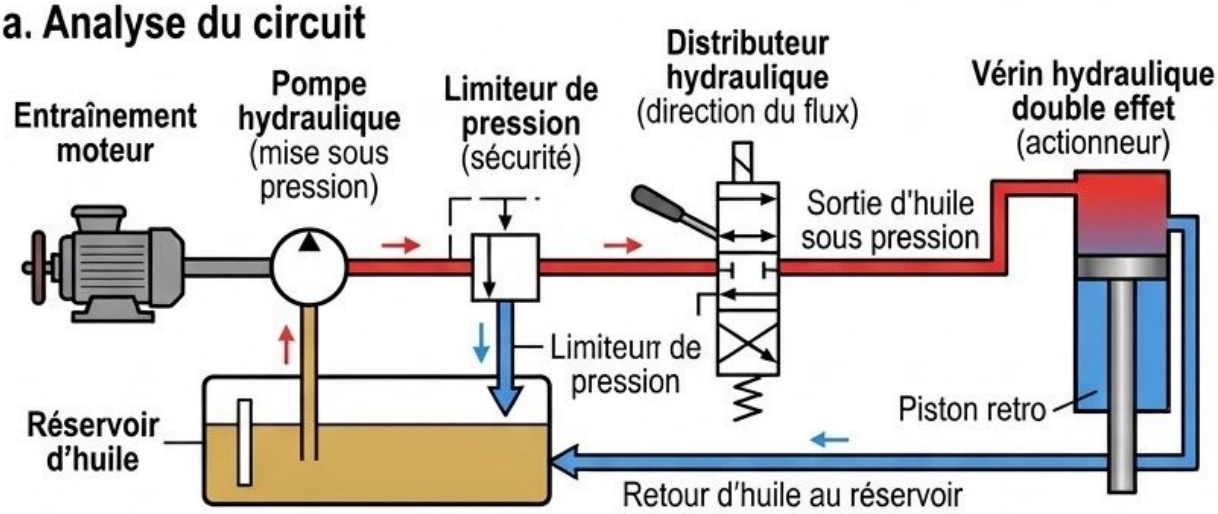
Les principaux avantages de l'hydraulique sont : - La capacité à développer des forces et des couples très élevés. - Une grande précision dans le contrôle de la position et de la vitesse. - La rigidité du système, due à l'incompressibilité du fluide.

Ses inconvénients incluent : - Un risque de fuites, qui peuvent polluer l'environnement de travail. - Une sensibilité à la contamination du fluide (poussière, eau). - Des vitesses de déplacement généralement plus faibles que la pneumatique.

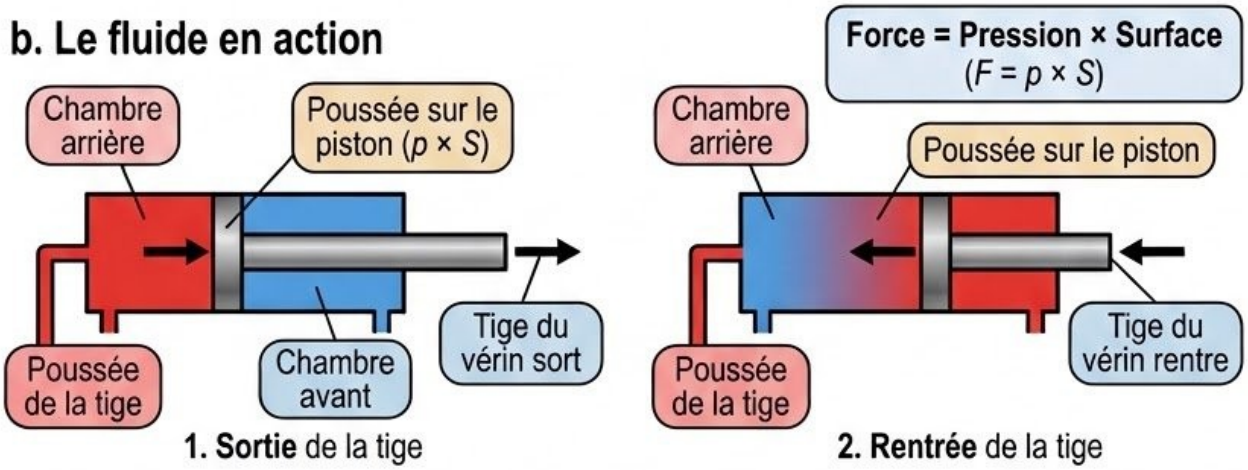
Figure 1 : Réf. IMG (7303-7560-0460)

Schéma de principe d'un circuit hydraulique simple avec vérin

a. Analyse du circuit



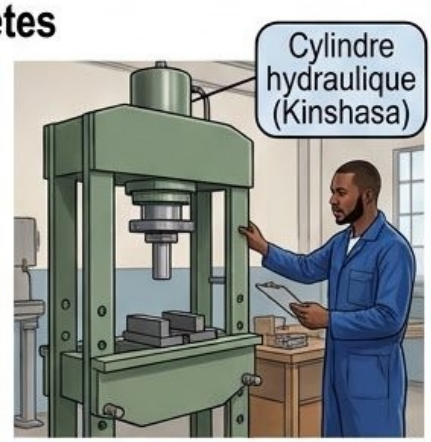
b. Le fluide en action



c. Applications concrètes



Excavatrice creusant une route à Kananga.



Presse hydraulique industrielle à Kingabwa (Kinshasa)



Système de freinage d'un avion-cargo à l'aéroport de N'djili

Figure 1 : Réf. IMG (7303-7560-0460)

Schéma de principe d'un circuit hydraulique simple avec vérin

a. Analyse du circuit

Ce schéma montre les éléments de base d'un système hydraulique. Le réservoir contient l'huile. La pompe, entraînée par un moteur, met le fluide sous pression. Le distributeur dirige le flux d'huile vers l'une ou l'autre des chambres du vérin. Le vérin est l'actionneur qui transforme l'énergie du fluide en mouvement mécanique linéaire. Un limiteur de pression protège le circuit contre les surpressions dangereuses.

b. Le fluide en action

Lorsque l'huile sous pression entre dans la chambre arrière du vérin, elle pousse le piston. La tige du vérin sort. C'est la phase de travail. Pour faire rentrer la tige, le distributeur inverse le sens du flux. L'huile est alors dirigée vers la chambre avant du vérin. La force générée est directement proportionnelle à la pression (p) et à la surface du piston (S).

c. Applications concrètes

Toute machine nécessitant une force colossale est une candidate idéale pour l'hydraulique. Une pelleteuse creusant une route près de Kananga, une presse industrielle à Kingabwa ou le système de freinage d'un avion-cargo à l'aéroport de N'djili utilisent tous la puissance de l'hydraulique pour accomplir des tâches impossibles pour une simple force humaine ou mécanique.

B. La Vitesse de l'Air : La Pneumatique

Distinctement, la pneumatique utilise un fluide gazeux et compressible : l'air. L'air est prélevé de l'atmosphère, filtré, comprimé, puis stocké dans un réservoir. Il est ensuite distribué vers les actionneurs (vérins, moteurs) pour produire un travail. L'air utilisé est simplement relâché dans l'atmosphère après usage.

Les avantages majeurs de la pneumatique sont : - Une grande vitesse d'action des vérins. - La propreté du système (les fuites d'air ne sont pas polluantes). - La disponibilité illimitée et gratuite du fluide (l'air).

Ses inconvénients notables sont : - Des forces développées bien plus faibles que l'hydraulique. - Une faible précision due à la compressibilité de l'air. - Le coût énergétique de la compression de l'air est élevé.

Le choix entre hydraulique et pneumatique n'est donc pas une question de supériorité, mais d'adéquation à une application précise. Force brute ou vitesse rapide ? Propreté ou puissance ? Le bon mécanicien sait analyser le besoin avant de choisir son outil.

c. Anecdote : La panne du Fuso sur la route de Kikwit

Le bus Fuso était bondé, en route pour le marché central de Kikwit, dans la province du Kwilu. Soudain, un sifflement strident se fit entendre, suivi d'une pédale de frein molle. Papa Mavuba, le chauffeur expérimenté, utilisa le frein moteur pour s'arrêter en sécurité. Le diagnostic fut rapide : une durite du circuit de freinage pneumatique avait lâché. L'air comprimé, essentiel pour actionner les freins des poids lourds, s'échappait dans un bruit assourdissant. Heureusement, un mécanicien du village voisin avait une pièce de rechange. Cet incident rappelle une vérité : la pneumatique est partout dans les transports, offrant une solution rapide et puissante pour la sécurité. Mais comme tout système, sa fiabilité dépend de l'intégrité de chaque composant, du compresseur au plus petit des joints.

Exercice 1 : Le choix pour une presse à makala

Énoncé : Papa Bolingo, un artisan de Matadi au Kongo Central, veut construire une petite presse pour compacter de la sciure de bois et en faire des briquettes de *makala* (charbon de bois). Il a besoin d'une force très importante et constante pour que les briquettes soient denses. Il hésite entre un système hydraulique et un système pneumatique. Quelle technologie lui conseiller et pourquoi ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier le besoin principal** Le besoin est une force de compression très élevée, constante et maintenue pendant plusieurs secondes. La vitesse du mouvement n'est pas le critère le plus important.
2. **Étape 2 : Évaluer la solution pneumatique** L'air est un fluide compressible. Appliquer une forte pression sur la sciure ferait simplement comprimer l'air dans le vérin, sans transmettre toute la force. Le système serait "mou" et inefficace pour obtenir une haute densité.

3. **Étape 3 : Évaluer la solution hydraulique** L'huile est un fluide quasi incompressible. Quand la pompe envoie l'huile dans le vérin, la force est transmise directement et intégralement. Elle permet d'atteindre et de maintenir des pressions très élevées, idéales pour le compactage.

4. **Étape 4 : Conclusion et conseil** Il faut conseiller à Papa Bolingo de s'orienter vers une presse hydraulique. Elle seule lui garantira la force colossale et la rigidité nécessaires pour fabriquer des briquettes de *makala* de bonne qualité.

Exercice 2 : Automatisation d'une porte de bus

Énoncé : Une usine d'assemblage à Lubumbashi (Haut-Katanga) doit équiper ses nouveaux bus urbains d'un système d'ouverture/fermeture automatique des portes. Les portes doivent s'ouvrir et se fermer rapidement, en toute sécurité, et le système doit être propre pour ne pas tacher les passagers.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier les critères de sélection** Les critères sont : la vitesse d'exécution, la propreté du système, une force modérée (juste assez pour bouger la porte) et la sécurité.

2. **Étape 2 : Évaluer la solution hydraulique** L'hydraulique est trop puissante pour cette application. Une fuite d'huile serait catastrophique à l'intérieur du bus, tachant les vêtements des passagers. De plus, les systèmes hydrauliques sont souvent plus lents que les systèmes pneumatiques.

3. **Étape 3 : Évaluer la solution pneumatique** La pneumatique est parfaite pour ce besoin. Les vérins pneumatiques sont très rapides. L'air est propre ; une fuite est bruyante mais sans danger ni salissure. La force développée est largement suffisante pour une porte de bus.

4. **Étape 4 : Conclusion** L'équipe d'ingénieurs doit choisir un système pneumatique pour l'automatisation des portes. Il répond à toutes les contraintes de vitesse, de propreté et de sécurité requises pour une application de transport public.

1.2. Structure d'un Système : Production, Distribution, Action

a. Une structure universelle

Pendant que le fleuve Congo puise sa force à sa source, la transporte sur des milliers de kilomètres et la libère aux chutes d'Inga, un système pneumatique ou hydraulique suit une logique identique. Chaque système de transmission de puissance par fluide, qu'il fonctionne à l'air ou à l'huile, respecte cette séquence fondamentale.

Cette architecture en trois temps est un principe universel en mécanique des fluides. La comprendre revient à posséder la clé de lecture de n'importe quel circuit, du plus simple cric hydraulique au plus complexe des automates industriels dans une usine de la BRALIMA à Bukavu.

A. La Production d'Énergie Fluide

Tout système commence par la création de l'énergie. Sans source, aucune action n'est possible. Cette première étape consiste à mettre un fluide sous pression.

- **En pneumatique**, un **compresseur** aspire l'air ambiant, le comprime et le stocke dans un réservoir. L'air est ensuite traité (filtré, séché, lubrifié) par une unité de conditionnement, souvent appelée FRL (Filtre, Régulateur, Lubrificateur).
- **En hydraulique**, une **centrale hydraulique** est utilisée. Elle se compose d'un réservoir d'huile, d'une pompe entraînée par un moteur (souvent électrique) et d'accessoires de protection et de régulation (filtre, limiteur de pression). Le fluide ici est une huile, un liquide quasi incompressible.

B. La Distribution et le Contrôle

L'énergie produite doit être acheminée et dirigée avec intelligence. Cette fonction est le "cerveau" du système. Elle est assurée par deux types de composants.

La tuyauterie (rigide ou flexible) transporte le fluide sous pression depuis la source vers les points d'utilisation. Les **distributeurs** sont les aiguillages du circuit. Ils orientent le fluide vers un chemin ou un autre, permettant de commander le démarrage, l'arrêt ou le sens de déplacement d'un actionneur. Ils sont la partie "commande" du système.

Figure 2 : Réf. IMG (1497-6017-0088)

Schéma de principe d'un circuit pneumatique simple et ses trois parties.

a. La zone de production d'énergie

À gauche du schéma, le compresseur et l'unité de conditionnement FRL forment le groupe de production. C'est le poumon du système. Le compresseur génère la pression et le FRL prépare l'air pour une utilisation optimale, garantissant la longévité des composants. Cette section fournit l'énergie brute nécessaire à tout le circuit.

b. La partie distribution et commande

Au centre, le distributeur est l'élément de décision. En fonction de sa position, il dirige l'air comprimé soit vers une chambre du vérin, soit vers l'échappement. Il agit comme un interrupteur intelligent, traduisant un ordre (manuel, électrique, pneumatique) en une direction pour le fluide.

c. L'actionneur et le travail utile

À droite, le vérin est l'actionneur. Il reçoit l'air sous pression et transforme cette énergie pneumatique en un mouvement mécanique linéaire (la tige sort ou rentre). C'est la finalité du système : produire une force et un déplacement pour effectuer une tâche concrète, comme pousser une caisse ou serrer une pièce.

C. L'Action : Le Travail Utile

L'action est la finalité du système. C'est la conversion de l'énergie du fluide en un travail mécanique. Les composants qui réalisent cette tâche sont les **actionneurs**.

Les plus courants sont : - Les **vérins** (pneumatiques ou hydrauliques) qui produisent un mouvement de translation (pousser, tirer). - Les **moteurs** (pneumatiques ou hydrauliques) qui produisent un mouvement de rotation continue.

Ce sont les "muscles" du système, effectuant le travail demandé dans l'environnement de production.

Anecdote : Le secret de Papa Yenga à l'ONATRA

À l'atelier de maintenance du port de Matadi, Papa Yenga était une légende. Les jeunes techniciens, fraîchement sortis de l'école à Mbanza-Ngungu, étaient impressionnés par sa capacité à diagnostiquer une panne sur les énormes portiques hydrauliques en quelques minutes. Un jour, un jeune lui demanda son secret. Papa Yenga, sans quitter sa grue des yeux, sourit. "Le portique est comme un grand corps. Tu cherches la panne ? Demande-toi d'abord si le cœur pompe bien (la centrale hydraulique). Ensuite, vérifie si les veines ne sont pas bouchées et si le cerveau donne les bons ordres (les distributeurs et les tuyaux). Enfin, seulement si tout ça est bon, tu regardes si le bras est cassé (le vérin). Production, distribution, action. Ne cherche jamais le problème au mauvais endroit."

Exercice 1 : La presse à cartons de Kisangani

Énoncé : Dans une usine de la Province Orientale, une machine pneumatique est utilisée pour compacter des cartons. Elle est composée d'un compresseur central, de tuyaux, d'un distributeur à pédale et d'un grand vérin qui descend pour écraser les cartons. Maman Hélène, l'opératrice, appuie sur la pédale pour faire descendre le vérin. Identifiez les trois parties du système.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la Production** Le compresseur central qui fournit l'air comprimé à toute l'usine est la source d'énergie. C'est la partie "Production".
2. **Étape 2 : Identification de la Distribution** Les tuyaux qui amènent l'air et le distributeur à pédale qui commande le mouvement forment la partie "Distribution". En appuyant, Maman Hélène pilote le flux d'air.
3. **Étape 3 : Identification de l'Action** Le grand vérin qui descend pour écraser les cartons est l'actionneur. Il transforme l'énergie de l'air en force mécanique. C'est la partie "Action".

Exercice 2 : Le pont élévateur du garage de Bandundu

Énoncé : Dans un garage du Kwilu, un mécanicien, Junior, utilise un pont élévateur hydraulique pour soulever une voiture. Le système comprend une pompe électrique qui met de l'huile sous pression, un levier de commande, et deux vérins qui soulèvent la plateforme. Expliquez le rôle de chaque bloc fonctionnel.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Rôle de la Production** La pompe électrique et son réservoir d'huile constituent l'unité de production. Son rôle est de générer un débit d'huile à haute pression, l'énergie nécessaire pour soulever la lourde charge qu'est la voiture.
2. **Étape 2 : Rôle de la Distribution** Le levier de commande est connecté à un distributeur. Son rôle est de diriger l'huile sous pression vers la base des vérins pour les faire monter, ou de permettre à l'huile de retourner au réservoir pour les faire descendre. Il contrôle l'énergie.
3. **Étape 3 : Rôle de l'Action** Les deux vérins hydrauliques sont les actionneurs. Leur rôle est de convertir la pression de l'huile en une force de poussée verticale suffisante pour soulever la plateforme et la voiture. C'est ici que le travail utile est réalisé.

1.3. Circuits de Puissance et Circuits de Commande

a. Le muscle et le cerveau d'une machine

Même si un moteur de camion FUSO développe une puissance colossale pour gravir les pentes du Kongo Central, le chauffeur ne pousse pas le camion avec ses mains. Il utilise des commandes : un volant, des pédales, un levier de vitesse. Ces commandes nécessitent très peu de force pour être actionnées.

La transmission de puissance hydraulique et pneumatique fonctionne sur ce même principe de séparation. Un système est toujours composé d'une partie "muscle", qui déplace la charge, et d'une partie "cerveau", qui donne les ordres. Comprendre cette dualité est la base de tout automatisme fonctionnel.

A. Le Circuit de Puissance : Le Muscle du Système

Directement responsable du travail mécanique, le circuit de puissance gère les débits et les pressions élevés. C'est lui qui contient l'énergie nécessaire pour pousser, tirer, tourner ou soulever une charge. Ses tuyauteries sont généralement de plus grand diamètre pour permettre le passage d'un volume important de fluide (huile ou air comprimé).

Les composants typiques d'un circuit de puissance sont : - La source d'énergie (pompe hydraulique ou compresseur d'air). - Les actionneurs

(vérins ou moteurs hydrauliques/pneumatiques). - La tuyauterie principale reliant la source aux actionneurs. - Le réservoir (hydraulique) ou l'unité de conditionnement FRL (pneumatique).

B. Le Circuit de Commande : Le Cerveau Stratégique

Agissant comme le système nerveux de la machine, le circuit de commande fonctionne avec de faibles pressions et de faibles débits. Son rôle n'est pas de fournir un effort, mais de piloter les composants de puissance. Il exécute la logique de fonctionnement : il décide quand un vérin doit sortir, quand il doit rentrer, et à quelle vitesse.

Ce circuit est composé d'éléments de traitement de l'information : - Les organes de dialogue (boutons-poussoirs, leviers, pédales). - Les capteurs (détecteurs de position, de pression). - Les organes de traitement logique (distributeurs de pilotage, séquenceurs, clapets logiques ET/OU).

Figure 3 : Réf. IMG (1036-8084-5241)

Schéma simplifié d'un circuit hydraulique distinguant puissance et commande.

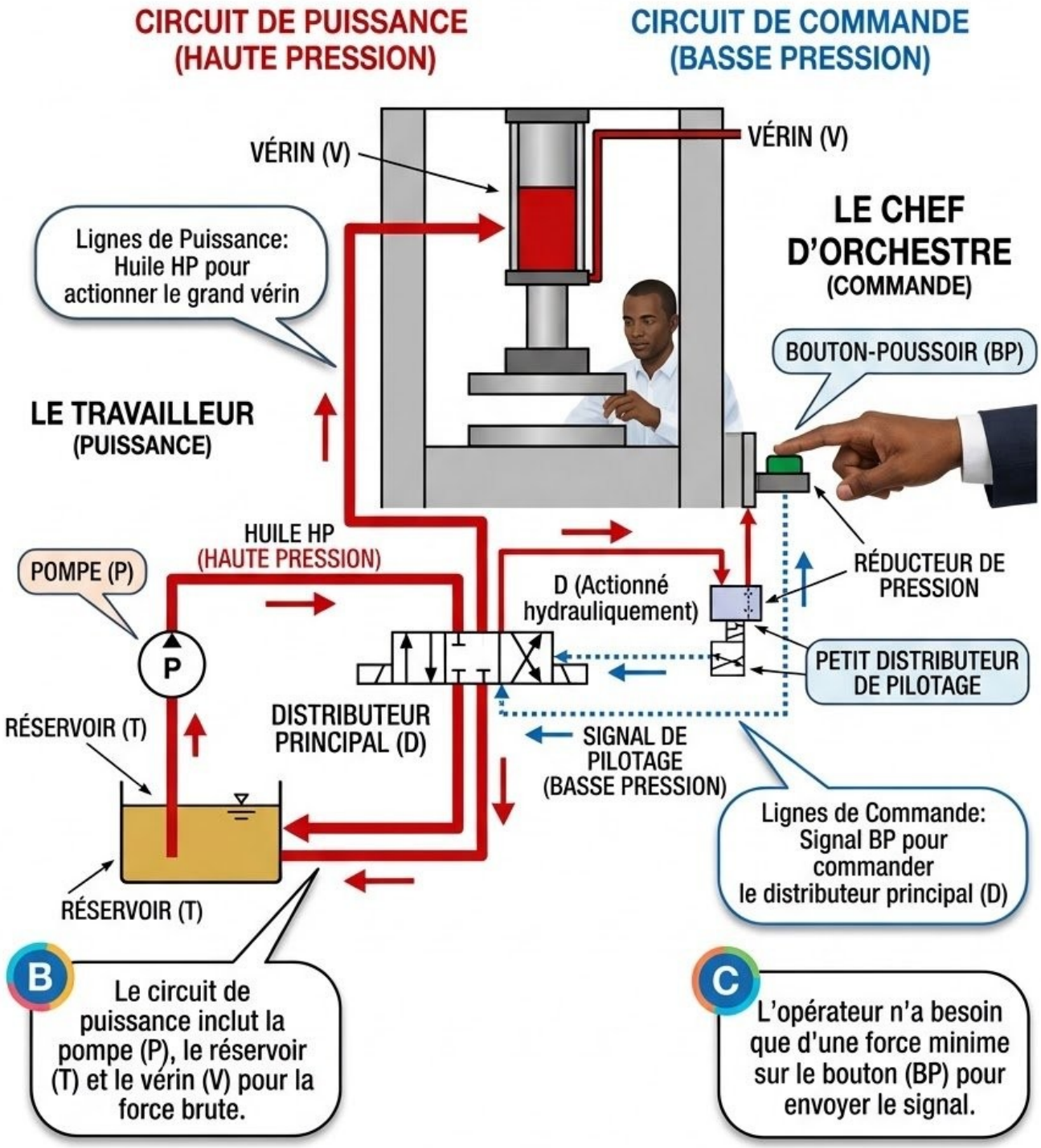


Figure 3 : Réf. IMG (1036-8084-5241)

Schéma simplifié d'un circuit hydraulique distinguant puissance et commande.

a. Identification des circuits

Ce schéma montre une presse hydraulique simple. Les lignes épaisses représentent le circuit de puissance, où circule l'huile à haute pression pour actionner le grand vérin. Les lignes fines en pointillé symbolisent le circuit de commande, ou circuit de pilotage. Ce dernier transporte un signal à basse pression pour commander le distributeur principal. Le fluide de pilotage peut être prélevé sur le circuit principal via un réducteur de pression.

b. Le travailleur (puissance)

Le circuit de puissance inclut la pompe (P), le réservoir (T) et le vérin (V) qui effectue le travail de pressage. Le distributeur principal (D) est traversé par ce flux de puissance. Il est l'aiguillage qui dirige la force brute vers l'actionneur.

c. Le chef d'orchestre (commande)

Le circuit de commande est composé ici d'un simple bouton-poussoir (BP) qui active un petit distributeur de pilotage. Ce dernier envoie un signal de commande (ligne fine) pour déplacer le tiroir du distributeur de puissance (D). L'opérateur n'a besoin que d'une force minime sur le bouton.

C. L'Interface : Le Distributeur Piloté

Le point de rencontre entre la commande et la puissance est le distributeur principal. Un signal de commande de faible énergie (pneumatique, hydraulique ou électrique) agit sur le "pilote" du distributeur. Ce pilote déplace le tiroir interne du composant. Ce mouvement du tiroir ouvre ou ferme les grands passages destinés au fluide de puissance. Un ordre faible contrôle ainsi une force immense.