

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA

Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique



Mémoire

EN VUE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN ELECTROMECHANIQUE

Domaine : Science et Technologie Filière : Electromécanique
Spécialité : Electromécanique

Thème

Dimensionnement et commande d'une presse plieuse au sein de FAGECO

Présentée par :
ZERROUK Lidia
BERABEZ Sounia

Encadré par :
Mr H. AOUZELLAG

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Ce mémoire est le résultat des efforts fournis et des sacrifices consentis par plusieurs personnes à qui je tiens vraiment à remercier.

Avant tout, on remercie Dieu le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la force et la patience durant ces longues années d'études.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant, Mr AOUZELLAG Haroune, pour avoir supervisé ce mémoire. Nous avons eu le plaisir de travailler sous votre direction. Nous vous remercions pour votre disponibilité et vos conseils auxquels nous avons pu améliorer notre travail. Votre expertise et votre accompagnement ont été d'une grande valeur pour nous.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble du personnel de l'entreprise FAGECO, en particulier ceux de service maintenance et technique. Grâce à eux, nous avons eu l'opportunité de vivre cette expérience professionnelle enrichissante. Ils nous ont accompagné et orienté avec une grande attention devant nos interrogations. Nous leurs sommes extrêmement reconnaissants pour leur soutien précieux.

Nos vifs remerciements vont aux membres de jury pour avoir accepté de juger notre présent travail. Nous vous sommes sincèrement reconnaissantes de nous consacrer votre temps.

Nous souhaitons également adresser nos remerciements à tous ceux qui nous ont apporté leur aide de près ou de loin, directement ou indirectement sur l'accomplissement de nos études et nos recherches.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes chers parents.

Quelles que soient mes paroles ou mes actions, je me rends compte que je ne pourrais jamais vous remercier comme vous le méritez. C'est grâce à vos encouragements, votre bienveillance et votre présence à mes côtés, que j'ai réussi ce respectueux parcours. Votre présence à mes côtés a été une source d'inspiration et de force qui m'a permis de surmonter les obstacles et d'atteindre mes objectifs.

A mes chers frères et ma sœur.

Merci pour vos soutiens moraux, votre confiance et vos conseils précieux. Votre présence dans ma vie a été une source inestimable de réconfort et de soutien, surtout durant les moments difficiles que j'ai traversés.

A mes amies

Et vous mes meilleures amies, merci d'être là, de m'écouter, de me soutenir et de faire partie de ma vie. Votre amitié sincère m'apporte du réconfort et de la joie. Nos moments de rire, de complicité et de partage resteront gravés dans ma mémoire.

A ma personne préférée qui m'a soutenu tout au long de ce travail, qui me rend heureuse et confiante. Merci d'être là dans les bons moments comme dans les mauvais.

A toute ma famille en particulier mes grands-mères et mon grand-père.

Sonia.

Dédicaces

*Tout d'abord, je tiens à remercier sincèrement DIEU De m'avoir accordé la force de survivre et l'audace de surmonter toutes les difficultés auxquelles j'ai été confronté.
Je dédie ce modeste travail*

À très chère Maman BAYA

Quoi que je fasse ou quoi je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit. votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes cotes a toujours été ma source de force pour préserver jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Chère mère ce travail et le fruit de tes efforts.

Que Dieu la protège.

À mon cher Père SAMIR

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce mémoire, aujourd'hui abouti, est le fruit de tes nombreuses nuits de prières, de ta sagesse et de ta générosité envers ta fille. Je suis profondément reconnaissant pour tes efforts soutenus et ta confiance indéfectible en moi. Que le bon Dieu vous laisse encore le plus longtemps Possible devant nous.

À ma précieuse sœur

CHAIMA que dieu vous donne que le bonheur et la réussite.

À mes beaux frères

ABDEL HAI et ISHAK, que dieu vous donne que le bonheur et la réussite dans ta vie.

À mes oncles et tantes

Cette dédicace est une façon de vous exprimer ma gratitude profonde pour tout ce que vous avez fait pour moi. Et merci toi, chère oncle SAIDANI RACHID pour encouragement et votre présence bienveillante ont contribué à faire de moi la personne que je suis aujourd'hui. Et À tout membre de ma famille de plus proche au plus loin, tout le bonheur....

À mes très chères amies

KENZA, LAMIA, MERISSA et RAHMA, en souvenir de nos éclats de rire et de bons moments, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement

À la mémoire de ma grand-mère YAMNA et ma tante KARIMA, que dieu les accueille dans son vaste paradis.

Lidia.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Présentation de l'entreprise

1	Historique	2
2	Organigramme de l'ENMTP	2
3	Présentation de FAGECO	3
3.1	Historique	3
3.2	Situation géographique	3
3.3	Organigramme de FAGECO	3
4	Conclusion.....	5

Chapitre 1 Généralités sur les presses

1.1	Introduction	7
1.2	Définition des presses	7
1.3	Type de presse	7
1.3.1	Selon le mode de transmission d'énergie	7
1.3.1.1	Presse pneumatique.....	7
1.3.1.2	Presse mécanique	8
1.3.1.3	Presse hydraulique	10
1.3.2	Selon leur fonction	11
1.3.2.1	Presse de forgeage.....	11
1.3.2.2	Presse plieuse	11
1.4	Presse plieuse hydraulique.....	13
1.4.1	Principe fonctionnement	13
1.4.2	Constitution de la presse plieuse	13
1.4.3	Pliage.....	15
1.4.4	Différent type de pliage sur une presse plieuse.....	15
1.4.4.1	Pliage en l'air :	15
1.4.4.2	Pliage en frappe.....	16
1.4.5	Paramètres de pliage sur une presse plieuse.....	16
1.4.6	Critères de choix d'une presse	18
1.5	Conclusion	19

Chapitres 2 composants du circuit hydraulique

2.1	Introduction	20
2.2	Définition du circuit hydraulique	20
2.3	Types du circuit	20

2.3.1	Circuit ouvert.....	20
2.3.2	Circuit fermé	21
2.4	Composants du circuit hydraulique	21
2.4.1	Réservoir	21
2.4.2	Filtre	21
2.4.2.1	Symbole	21
2.4.2.2	Emplacement des filtres dans le circuit.....	21
2.4.2.2.1	A l'aspiration	22
2.4.2.2.2	Au retour.....	22
2.4.2.2.3	Au refoulement	22
2.4.3	Pompe hydraulique.....	22
2.4.3.1	Symbole	22
2.4.3.2	Classification des pompes.....	23
2.4.3.2.1	Pompes volumétriques.....	23
2.4.3.2.2	Pompes centrifuges	27
2.4.3.3	Choix de la pompe	28
2.4.3.3.1	Cylindrée	28
2.4.3.3.2	Débit	29
2.4.3.3.3	Puissance	29
2.4.3.3.4	Couple.....	29
2.4.3.3.5	Rendement	29
2.4.4	Moteur hydraulique	30
2.4.4.1	Types de moteur.....	30
2.4.4.1.1	Moteur rapide	30
2.4.4.1.2	Moteur semi rapide	30
2.4.4.1.3	Moteur lent	30
2.4.4.2	Symbole	31
2.4.4.3	Choix du moteur	31
2.4.4.3.1	Vitesse de rotation	31
2.4.4.3.2	Puissance	31
2.4.4.3.3	Couple.....	32
2.4.5	Distributeur.....	32
2.4.5.1	Symbole	32
2.4.5.2	Désignation	33
2.4.5.3	Différents types de centrale	33
2.4.5.3.1	Centrale ouverte.....	33

2.4.5.3.2	Centrale fermée.....	33
2.4.5.3.3	Centrale tandem.....	34
2.4.6	Vérins	34
2.4.6.1	Types de vérins	34
2.4.6.1.1	Vérin simple effet	34
2.4.6.1.2	Vérin double effets	35
2.4.6.1.3	Vérin spécial	35
2.4.6.2	Symbole	36
2.4.6.3	Choix des vérins hydraulique.....	37
2.4.6.3.1	Efforts exercés dans les deux sens.....	37
2.4.6.3.2	Vitesse de déplacement	39
2.4.6.3.3	Force développée	39
2.4.6.3.4	Puissance	40
2.4.6.3.5	Forme d'Euler.....	40
2.4.7	Elément de protection et de régulation.....	40
2.4.7.1	Organes de réglage de pression.....	40
2.4.7.1.1	Limiteur de pression	40
2.4.7.1.2	Régulateur de pression.....	41
2.4.7.1.3	Valve de séquence	41
2.4.7.2	Organes de réglage de débit.....	42
2.4.7.2.1	Limiteur de débit	42
2.4.7.2.2	Régulateur de débit.....	42
2.5	Conclusion.....	43
Chapitre 3 dimensionnement du circuit hydraulique d'une presse plieuse		
3.1	Introduction	44
3.2	Problématique	Erreur ! Signet non défini.
3.3	Dimensionnement des organes du circuit.....	44
3.3.1	Force nécessaire au pliage.....	44
3.3.2	Dimensionnement des deux vérins à double effet.....	45
3.3.2.1	Détermination du diamètre de la tige du vérin.....	45
3.3.2.2	Déterminer la valeur de la pression	48
3.3.2.3	Déterminer le débit	48
3.3.2.4	Déterminer la puissance nécessaire aux vérins.....	48
3.3.3	Dimensionnement de la tuyauterie.....	49
3.3.3.1	Déterminer les diamètres intérieurs des conduites.....	49

3.3.3.2	Choix du fluide	50
3.3.3.3	Pertes de charges dans la tuyauterie.....	53
3.3.4	Soupape de sécurité.....	54
3.3.5	Dimensionnement de limiteur de débit	54
3.3.5.1	Déterminer les diamètres de passage	54
3.3.5.2	Déterminer les pertes de charge	55
3.3.5.3	Puissance perdue par les pertes	55
3.3.6	Dimensionnement de la pompe	56
3.3.6.1	Déterminer la puissance fournie	57
3.3.6.2	Déterminer la puissance absorbée.....	57
3.3.6.3	Déterminer le couple.....	57
3.3.6.4	Déterminer la puissance du moteur électrique.....	57
3.3.7	Dimensionnement de réservoir.....	57
3.3.8	Filtre	58
3.3.9	Choix de distributeur.....	58
3.4	Conclusion.....	59

Chapitre 4 simulation du circuit sous automation studio

4.1	Introduction	60
4.2	Présentation de logiciel Automation Studio	60
4.3	Bibliothèques	60
4.3.1	Bibliothèque hydraulique	60
4.3.2	Bibliothèque électrique :	61
4.4	Circuit hydraulique de la presse plieuse	61
4.4.1	Principe de fonctionnement.....	61
4.4.2	Circuit de puissance hydraulique avec commande électrique.....	62
4.5	Résultat de simulation et interprétations	63
4.5.1	Lors de la sortie rapide	63
4.5.2	Lors de la sortie lente	64
4.5.3	Lors de retour	64
4.5.4	Interprétations.....	65
4.5.4.1	Vitesse.....	65
4.5.4.2	Position	66
4.6	Conclusion.....	66
Conclusion générale		67

Liste des figures

Fig 1 : Situation géographique de FAGECO.	3
Fig 2 : Organigramme de FAGECO.	4
Fig 1. 1 : Presse pneumatique.....	8
Fig 1. 2 : Presse mécanique.	9
Fig 1. 3 : Presse hydraulique.	10
Fig 1. 4 : Presse plieuse hydraulique BOSCHERT G-BEND 3210.	14
Fig 1. 5 : Pliage en l'air.	16
Fig 1. 6 : Pliage en frappe.	16
Fig 1. 7 : Abaque de pliage.	17
Fig 2. 1 : Organigramme de types de pompe.....	23
Fig 2. 2 : Schéma pompe à piston.	24
Fig 2. 3 : Schéma pompe à membrane.	25
Fig 2. 4 : Cycle de la pompe à palette.	25
Fig 2. 5 : Cycle de la pompe à lobes.	26
Fig 2. 6 : Cycle de la pompe à engrenages externes.....	26
Fig 2. 7 : Cycle de la pompe à engrenages internes.	27
Fig 2. 8 : Pompe centrifuge.	28
Fig 2. 9 : Distributeur réel.	32
Fig 2. 10 : Organigramme de types de vérin.	34
Fig 2. 11 : Vérin simple effet.	35
Fig 2. 12 : Vérin double effets.....	35
Fig 2. 13 : Vérin télescopique simple effet et double effets.....	36
Fig 2. 14 : Vérin double tiges.	36
Fig 2. 15 : Sortie du vérin.....	38
Fig 2. 16 : Entrée du vérin.....	38
Fig 2. 17 : Vitesse en sortie de la tige.	39
Fig 2. 18 : Vitesse en retour de la tige.....	39
Fig 2. 19 : Limiteur de débit bidirectionnel et unidirectionnel.	42
Fig 3. 1 : Flambage du vérin.	45
Fig 3. 2 : Abaque longueur de flambage.	47
Fig 3. 3 : Vérin hydraulique double effets.	47
Fig 3. 4 : Abaque de calcul du diamètre des tuyauteries.....	50

Fig 3. 5 : Régime laminaire.....	51
Fig 3. 6 : Régime turbulent.....	51
Fig 3. 7 : Filtre hydraulique.....	58
Fig 3. 8: Distributeur à tiroir 4/3 (4 orifices et 3 positions) à centre tandem du fabricant Bosch Rexroth.....	58
Fig 4. 1 : Bibliothèques utilisées.....	61
Fig 4. 2 : Schéma du circuit de puissance hydraulique avec commande électrique.....	62
Fig 4. 3 : Présentation de la sortie lente de la tige des deux vérins.....	63
Fig 4. 4 : Présentation de la sortie lente de la tige des deux vérins.....	64
Fig 4. 5 : Présentation de retour des tiges.....	64
Fig 4. 6 : Courbe de la vitesse de déplacement des tiges des vérins.....	65
Fig 4. 7 : Courbe de la position des tiges des vérins.....	66

Liste des tableaux

Tableau 3. 1 : Détermination du coefficient du mode de fixation "K".	46
Tableau 3. 2 : Vitesse du fluide dans la conduite.	49
Tableau 3. 3 : Classification ISO de la viscosité des huiles.	52
Tableau 4. 1 : Description des composants du circuit.	63

Notations et symboles

- CCA:** Complexe Compacteur et Compresseur.
- CPG:** Complexe Pelles et Grues.
- CNC:** Commande Numérique par Calculateur.
- DNC:** Direct Numerical Control.
- DN :** Diamètre normalisée
- ENMTP:** Entreprise National des Matériels des Travaux Publics.
- EPLA:** Entreprise de Préfabrication Légère et d'Aluminium.
- ISO:** International Organization Standardization.
- FAGECO:** Fabrication Grue et Compacteur.
- NF:** normalement fermée.
- SONACOME:** Société Nationale de Construction Mécanique.
- UGB:** unité grues de Bejaïa.
- UMBH:** Unité de matériels à béton.
- UMD:** Unité de Maintenance et de Distribution.
- VG:** Viscosity Garde.
- B:** Valeur du bord minimum.
- C:** Course.
- Cyl:** Cylindrée.
- d:** Diamètre de la tige.
- D:** Diamètre de piston.
- e:** Epaisseur.
- E:** Module de YOUNG du matériau de la tige.
- F:** Force de pliage.
- I:** Moment d'inertie ou moment quadratique en flexion.
- L:** Longueur de la conduite.
- L_f :** Longueur libre de flambage.
- N:** Vitesse de rotation.
- p:** Pression.
- p₀:** Pression de tarage.
- p_e:** Pression d'entrée.
- p_{nec} :** Pression nécessaire.
- P_{abs} :** Puissance absorbée.

p_{eff} : Perte de charge dans la conduite
 Ph : Puissance hydraulique.
 Pm : Puissance mécanique.
 ps : Pression mesurée réellement à la sortie.
 p_{sth} : Pression de sortie théorique
 Pu : Puissance utile.
 Q : Débit volumétrique.
 $Q_{\text{réel}}$: débit réel.
 $Q_{\text{théo}}$: Débit moyen théorique.
 R : valeur du rayon intérieur de pliage.
 Re : Nombre de Reynolds.
 R_m : Résistance à la rupture.
 S : Section de piston.
 V : Valeur du vé.
 V_r : Vitesse de retour de la tige.
 V_s : Vitesse de sortie de la tige.
 Δp : Différence de pression entre l'entrée et la sortie
 η_g : Rendement globale.
 η_m : Rendement mécanique.
 η_v : Rendement volumétrique.
 λ : Coefficient de perte de charge
 μ : Viscosité dynamique.
 ξ : Coefficient de perte de charge.
 ρ : Masse volumique.
 ω : Vitesse angulaire.
 C : Couple d'entraînement.
 ν : Viscosité cinématique du fluide.

Introduction générale

L'industrie métallurgique revêt une importance capitale dans de nombreux secteurs. Ce domaine se concentre sur la déformation et la mise en forme des métaux pour créer des produits finis répondants aux besoins des différents domaines d'activités.

Les entreprises de fabrication métallique emploient une vaste gamme de processus afin d'obtenir les formes et les dimensions souhaitées. Ces processus comprennent le découpage, le pliage, le soudage, l'assemblage et le traitement de surface. Ces techniques permettent de façonner les métaux selon le cahier de charge exigé par les clients, que ce soit pour le secteur de transport ou autres.

Dans ce domaine, la presse plieuse hydraulique occupe une place particulière parmi les nombreuses machines et équipements utilisés. Ces presses se distinguent par leur utilisation du fluide comme élément de transmission d'énergie et de mouvement. Grâce à ce système hydraulique, la presse plieuse est capable de générer des forces élevées et de réaliser des pliages précis sur les pièces de tôle métallique. Cela offre une flexibilité et une précision plus grande par rapport à d'autres méthodes.

La transmission de puissance par fluide revêt une importance capitale dans le fonctionnement de ces machines, ce qui nous a motivées à entreprendre l'étude approfondie du circuit hydraulique de la presse plieuse.

Ce travail a pour objet de faire le dimensionnement et la commande d'une presse plieuse hydraulique pour l'entreprise FAGECO de Bejaia. Cette presse sera capable de plier de tôles d'épaisseur 6 mm et de longueur de 2 m.

Afin de présenter d'une manière claire notre travail, nous avons divisé ce mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre concerne les généralités sur les presses en générale et la presse plieuse hydraulique en particulier, concernant son fonctionnement et sa constitution.

Le deuxième chapitre représente une généralité sur le circuit hydraulique et l'étude de ces différents composants.

Le troisième chapitre se concentre sur le dimensionnement et le choix des composants nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du circuit hydraulique de la presse plieuse.

Le dernier chapitre établit la simulation du circuit hydraulique avec une commande électrique sous l'outil Automation Studio.

Mais avant cela, nous allons consacrer quelques pages pour donner un aperçu sur l'entreprise où nous avons effectué notre stage qui est en relation avec ce mémoire.

Présentation
de l'entreprise
FAGECO

Présentation de l'ENMTP

1 Historique

L'entreprise nationale des matériels de travaux publics a été créée le premier janvier 1983 après la restructuration des entreprises SONACOME et SN METAL suite au décret n°83-06. Son siège est situé à Ain-Smara, Constantine.

L'ENMTP est dotée d'un capital social de l'ordre de 15 600 000 000 DA, détenu à 100% par l'Etat et géré par Algerian General machincs-Holding [1].

Cette entreprise couvre un domaine très large comprenant le développement, la fabrication et la commercialisation de tous les produits entrant dans le secteur des travaux publics, de l'industrie mécanique et métallique. L'ENMTP développe une variété de produits conçus par des fabricants de renommée mondiale tels que LIEBHERR (Allemagne), FIAT-ALLIS (Italie), POTAIN (France), INGERSOLL RAND (Irlande).

2 Organigramme de l'ENMTP

L'ENMTP se compose de quatre filiales industrielles de production et deux joint-ventures réalisé avec des partenaires étrangers :

- SOMATEL, complexe pelles et grues (ex CPG) situé à Ain-Smara Constantine.
- Joint-Venture SOMATEL LIEBHERR ; filiale de SOMATEL (Production matériels de terrassement Nouvelle Génération).
- SOFARE, complexe compacteur et compresseur (ex CCA) à Ain-Smara Constantine.
- Joint-Venture EUROPACTOR ALGERIE ; filiale de SOFARE (Production matériels de compactage Nouvelle Génération).
- SOMABE, unité de matériels à béton (ex UMBH) : bétonnière, dumpers de chantier, pondeuses à parpaings et cabine Saharienne, situé à El-Harrach Alger.
- FAGECO, unité grues de Bejaïa (ex UGB) celle qui nous a accueillies.

Ce groupe dispose d'un réseau commercial couvrant tout le territoire national, avec quatre unités de distribution et de maintenance qui assurent des services après-vente. Ces unités, à savoir l'UMD Alger, l'UMD Oran, l'UMD Annaba et l'UMD Ain-Smara Constantine. De plus, l'UMD Ain-Smara Constantine est également chargée de fournir les autres unités du réseau commercial en pièce de rechange pour les produits vendus.

3 Présentation de FAGECO

3.1 Historique

L'entreprise de fabrication de grue et compacteur est l'une des diverses filiales de l'entreprise ENMTP. FAGECO est provenant de la filiation de l'unité grue de Bejaia UGB, elle-même créée en 1973 sous la supervision de l'entreprise SN METAL, qui est incorporée à l'ENMTP en 1983.

Cette filiale occupe une superficie de 78 611 m² dont 32 880 m² couverts.

3.2 Situation géographique

FAGECO est localisée à la zone industrielle de Bejaia, à 500 m de RN 12, à 3 km de la ville de Bejaia et à proximité du port et de l'aéroport, ce qui offre une excellente localisation. Elle est limitée par plusieurs entreprises telles que l'entreprise de construction EPLA.

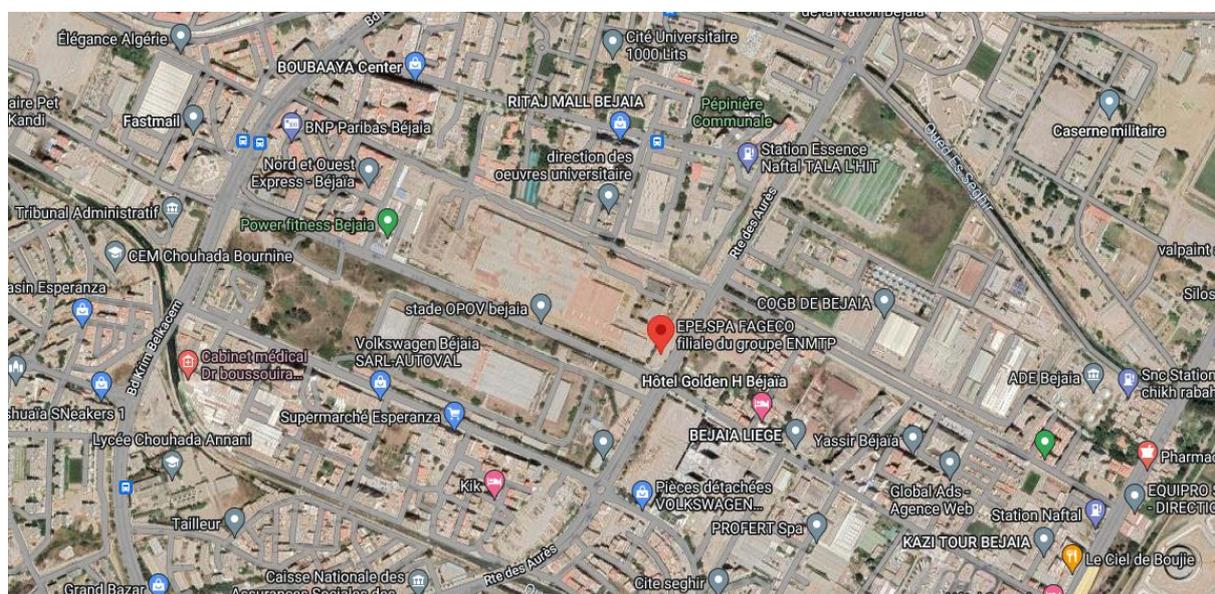


Fig 1 : Situation géographique de FAGECO.

3.3 Organigramme de FAGECO

Chaque entreprise est structurée selon un organigramme qui est censé refléter et répondre aux exigences et aux objectifs tracés au préalable (objectif à atteindre). L'organigramme de l'entreprise est élaboré de manière à garantir son fonctionnement optimal en conformité avec les orientations de la direction générale.

FAGECO de Bejaia en tant qu'entreprise nationale, suit un organigramme préétabli par sa direction générale pour assurer son fonctionnement efficace.

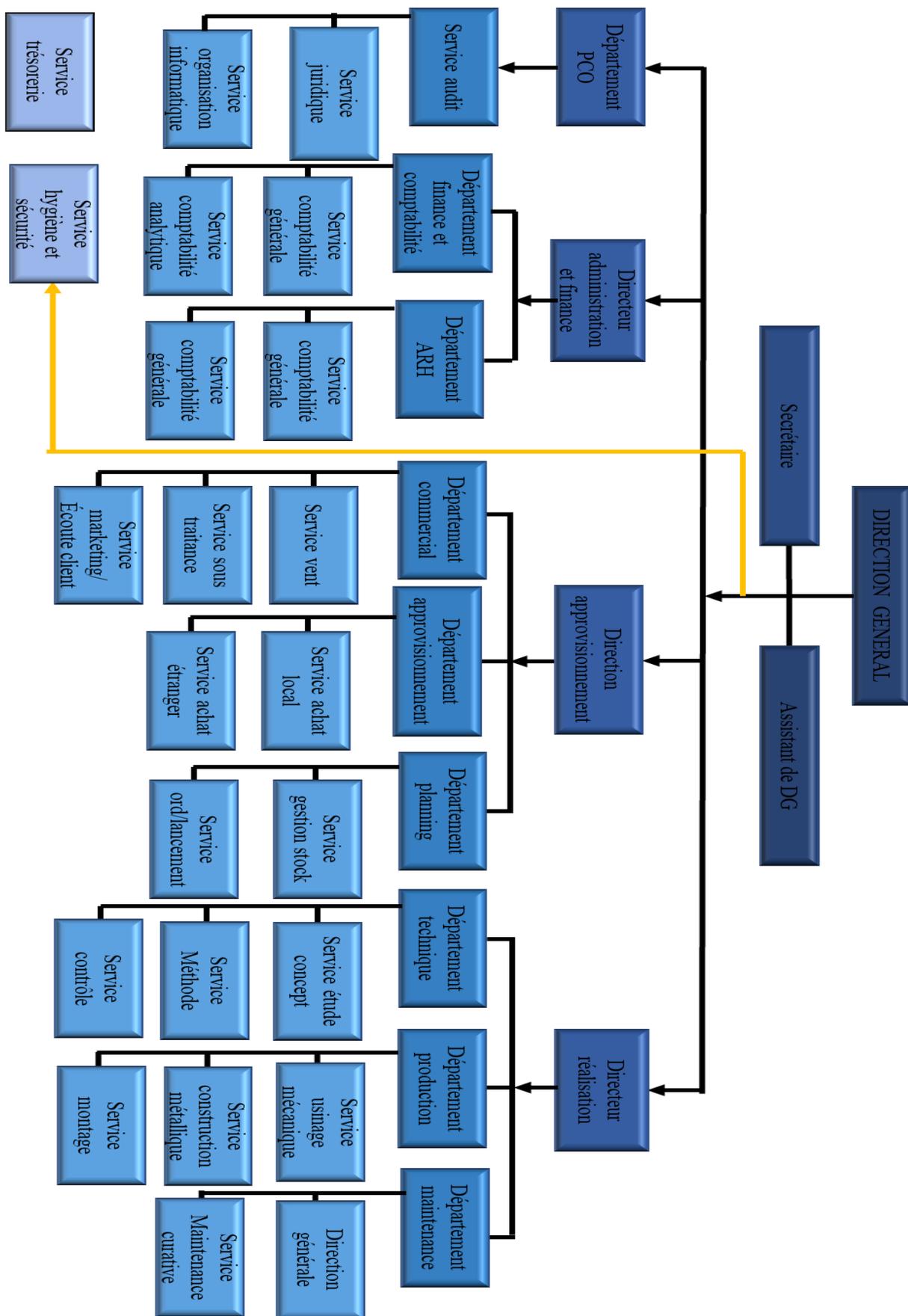


Fig 2 : Organigramme de FAGECO.

a. Département technique

La direction technique est composée de trois services, à savoir : service bureau d'études, service bureau des méthodes et service contrôle de qualité. Les tâches de chacun d'eux pouvant être résumés comme suit :

- **Service étude concept** : effectue les tâches suivantes :
 - La gestion technique et organique des différents produits existant déjà et ceci en suivant leur fabrication au niveau des ateliers.
 - Amélioration de la qualité des produits.
 - Assistance technique et sous-traitance (étude de la fiabilité, les opérations, développement et réalisation prototype des nouveaux produits).
- **Service méthodes** : ce service est responsable des actions suivantes :
 - Assurer la documentation technique et concevoir les procédures techniques en collaboration avec le bureau d'étude.
 - Faciliter la tâche aux opérateurs.
 - Assurer au stock des pièces de rechange et à l'outillage.
 - Assister le département planning (ordonnancement, lacement) par la constitution des bases de données.
- **Service contrôle** : son objectif est de s'assurer de la bonne qualité des matières première ainsi que celle des produits finis, ce service réalise les missions suivantes :
 - Le contrôle de la matière première à chaque réception avec celle demandée en termes de dimensions, de qualité et de type.
 - Vieller les produits finis avant qu'ils soient livrées aux clients.
 - La traçabilité en suivant tous les produits fabriqués.
 - Le contrôle des produits fabriqués afin d'assurer de la conformité de travail effectuer avec celui prévu.

4 Conclusion

Ce stage au sein de l'ENMTP nous a permet d'acquérir des nouvelles connaissances et découvrir le mode de fonctionnement d'entreprise, même s'il ne s'agissait pas d'un stage à proprement parler, mais plutôt une visite générale.

L'objectif essentiel de notre stage était de pouvoir observer une presse plieuse hydraulique en action afin de renforcer nos connaissances déjà acquises. Par conséquent, nous avons eu l'opportunité de découvrir les différents composants de la presse plieuse hydraulique, ainsi que son circuit hydraulique, et comprendre son fonctionnement d'une manière générale.

| *Présentation de l'entreprise*

En conclusion, malgré le caractère non conventionnel de ce stage, notre visite au sein de l'ENMTP nous a offert une occasion précieuse d'approfondir nos connaissances sur les presses plieuses.

Chapitre 1

Généralités sur les presses

1.1 Introduction

Les presses plieuses occupent une place centrale dans des divers domaines industriels tels que la tôlerie, la fabrication métallique et la chaudronnière. Elles sont largement étudiées et utilisées en raison de ses nombreux avantages et son rôle important dans le processus de fabrication. Leur utilisation permet d'optimiser les processus de fabrication, d'augmenter l'efficacité et de réduire les coûts de production.

En somme, une presse plieuse est considérée comme une machine indispensable pour la grande majorité des ateliers de fabrication de métal.

1.2 Définition des presses

Les presses sont des machines qui modifient la forme d'une pièce en appliquant une force de pression. Elles sont essentiellement composées de deux plateaux qui se combinent pour comprimer ce qui est placé entre eux, ils ont deux parties, un coulisseau qui représente la partie mobile qui porte le poinçon et le bâti c'est la partie fixe qui porte la matrice.

Les presses peuvent être classées selon plusieurs paramètres tels que :

- Mode de transmission d'énergie : hydraulique, mécanique ou pneumatique.
- Fonction : presse de forgeage, presse d'estampage, presse plieuse, etc.
- Nombre de coulisseaux.
- Forme et structure de bâti.
- Contrôlabilité

1.3 Type de presse

1.3.1 Selon le mode de transmission d'énergie

On distingue trois grandes familles de presses.

1.3.1.1 Presse pneumatique

La presse pneumatique est une machine utilisée dans les laboratoires et dans les ateliers. Elle est dotée d'un circuit pneumatique à base de l'air comprimé pour transmettre de l'énergie à un récepteur, représentant généralement un vérin pneumatique, servant à déformer une pièce.

L'air est forcé dans un tube jusqu'à ce qu'il soit plein, puis il applique une pression permettant de déplacer la presse, donc pour être puissant, il faut donc une grande pression et une grande surface. Lorsque la course est terminée, l'air est évacué à travers des valves et des ressorts, déplaçant la pompe vers le haut. La figure (1.1) présente une presse pneumatique industrielle.



Fig 1. 1 : Presse pneumatique.

- **Avantages**

- La presse pneumatique se caractérise par une vitesse élevée, ce qui permet d'augmenter la productivité.
- Elle peut également être arrêtée à tout moment, il suffit juste d'ouvrir la valve pour dégager l'air.
- Les presses pneumatiques sont polyvalentes et très faciles à utiliser.
- Ces machines sont considérées comme relativement sûres à utiliser.

- **Inconvénients**

- La rapidité et la précision avec lesquelles ses outils fonctionnent peuvent également vous amener à dépasser votre objectif. L'utilisation d'un cloueur pneumatique rend extrêmement difficile le retrait des clous une fois qu'ils sont en place. Ces outils laissent également des marques de finition ou des bosses qui peuvent nécessiter un travail supplémentaire pour les recouvrir.
- Le niveau de bruit produit par le compresseur et l'action de la presse peut être gênant.
- La presse pneumatique nécessite une source dédiée telle qu'un compresseur pour fonctionner. Cela peut rendre la presse inutile dans certaines situations où la zone de travail est confinée ou nécessite une presse à plis plus petite et plus adaptable.

1.3.1.2 Presse mécanique

La presse mécanique est une machine qui fonctionne sur le principe du mouvement alternatif qui déplace la matrice à la vitesse appropriée et lui donne suffisamment d'énergie pour obtenir la forme souhaitée.

Toutes les presses mécaniques utilisent l'énergie d'un volant. Le système de guidage le plus employé sur les presses mécaniques est basé sur un mécanisme de glissière qui convertit le mouvement de rotation en mouvement de translation de va et vient. Ce mouvement alternatif impose une longueur de frappe constante à un piston vertical.

La figure (1.2) présente une presse mécanique industrielle.



Fig 1. 2 : Presse mécanique.

- **Avantages**

- Les presses mécaniques sont généralement des machines de haute précision.
- Le tonnage de la presse mécanique est facile à régler.
- Permet des opérations avec petit tonnage pour les matrices fragiles et la vitesse d'emboutissage reste constante pendant toute la course.
- Les pannes de la presse mécanique sont facilement détectables.

- **Inconvénients**

- La presse mécanique ne peut pas être surchargée car le système est protégé par deux soupapes de décharge à réglage individuel.
- Le coût initial d'une presse mécanique est le triple de celui d'un pilon de même capacité.
- Les presses mécaniques produisent généralement beaucoup de bruit et de vibration lors de leur fonctionnement.
- Ces machines sont souvent conçues pour effectuer une tâche spécifique. Il peut être difficile de les reconfigurer pour effectuer d'autres opérations ou travailler sur des matériaux différents.

1.3.1.3 Presse hydraulique

Une presse hydraulique est machinée avec un circuit hydraulique pour transmettre des efforts. Son principe se base sur le principe de Pascal qui dit : « Dans un liquide en équilibre de masse volumique uniforme, la pression est la même en tout point du liquide et cela aussi longtemps que ces points sont à la même profondeur » [2]. Principalement utilisées pour écraser, déformer des objets et soulever une pièce lourde.

La presse hydraulique est alimentée par une pompe hydraulique. La pression générée par la pompe actionne un vérin qui entraîne la glissière. La figure (1.3) présente une presse hydraulique industrielle.



Fig 1. 3 : Presse hydraulique.

- **Avantages**

- La presse hydraulique est très robuste et fiable. Elle peut créer une grande quantité de tonnage par pression.
- Elle est idéale pour l'hydroformage qui est une technique de formation des métaux nécessitant la présence d'un agent liquide. Elle est lente, ce qui donne suffisamment de temps au métal pour se former.
- Le tonnage de la presse est facilement ajusté ce qui permet des opérations avec petit tonnage pour les matrices fragiles, et la vitesse d'emboutissage reste constante pendant toute la course.
- La presse hydraulique est moins chère que les autres types.

- **Inconvénients**

- La maintenance de la presse hydraulique est plus difficile [3].
- La presse hydraulique demande beaucoup de maintenance. L'huile doit toujours être présentée à l'intérieur de la presse, de plus, elle comporte plusieurs appareils pour le contrôle de la pression afin d'assurer son bon fonctionnement.
- Un moteur plus puissant que celui de la presse mécanique parce qu'il n'y a pas de volant d'inertie pour stocker l'énergie.
- Risque d'accident dû à la présence de pressions élevées, et risque d'incendie à cause de l'huile qui est particulièrement inflammable.

1.3.2 Selon leur fonction

1.3.2.1 Presse de forgeage

La presse de forgeage est une machine utilisée pour des pièces qui requièrent une forte résistance, elle permet d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur une pièce de métal pour la forcer à prendre la forme souhaitée. Cette machine est constituée d'un dispositif de frappe (marteau, masse, martinet ou marteau-pilon) et d'un support (enclume ou matrice).

Il existe deux types de forgeage qui sont le forgeage à chaud et le forgeage à froid.

- **Avantages**

- Les presses de forgeage sont capables d'exercer des forces extrêmement élevées, ce qui leur permet de façonner efficacement des pièces métalliques de grandes tailles et de hautes résistances.
- Ces machines permettent d'obtenir une précision élevée dans la forme et les dimensions des pièces forgées.
- La presse à forger permet de minimiser le gaspillage de matériaux.

- **Inconvénients**

- Ces machines sont moins polyvalentes.
- Les presses de forgeage peuvent nécessiter des temps de cycle plus longs par rapport à d'autres méthodes de fabrication.
- Les presses de forgeage sont des machines complexes et coûteuses à acquérir, à installer et à entretenir.

1.3.2.2 Presse plieuse

La presse plieuse est une machine industrielle utilisée dans le travail des tôles et la fabrication de meubles métalliques. Elle est capable de plier des plaques minces en associant

deux outils linéaires : un poinçon monté sur le tablier supérieur de la machine et une matrice montée sur le tablier inférieur.

La tôle est généralement présentée de l'avant, face à la machine, par un ou plusieurs opérateurs. Le pliage de la tôle se fait par rapprochement de deux tabliers dont un seul est mobile, le plus souvent le tablier supérieur.

Pendant le pliage, le tablier mobile est animé d'un mouvement dirigé de haut vers le bas. La tôle est principalement maintenue sur des butées arrière et accompagnée à la main pendant son mouvement de relèvement lors du pliage, si elle risque de se déformer.

- **Avantages**

Les presses plieuses offrent une gamme d'avantages aux entreprises métallurgiques :

- L'un des avantages les plus importants des presses plieuses est leur capacité à fournir une précision et une exactitude élevées.
- Le mouvement peut être programmable, et les tables peuvent être intégrées à des systèmes spéciaux de manutention et des lignes de production.
- Les presses plieuses sont des machines robustes et résistantes, conçues pour des années d'utilisation avec un niveau minimal de maintenance.
- Les presses plieuses sont conçues pour aider à augmenter la productivité dans les opérations de travail des métaux.
- Ces machines sont polyvalentes, elles peuvent être utilisées pour plier une large gamme de métaux, y compris l'acier, l'aluminium et le cuivre. Elles offrent également une variété de méthodes de pliage, qui permettent aux opérateurs de produire des formes et des conceptions complexes.

- **Inconvénients**

- Les presses plieuses occupent une quantité considérable d'espace dans un atelier ou une usine. Elles nécessitent une zone de travail suffisamment grande pour pouvoir fonctionner en toute sécurité et efficacement.
- Le coût de l'achat est généralement élevé, en particulier les modèles de haute qualité et de grande capacité.
- L'utilisation d'une presse plieuse nécessite des compétences spécifiques, donc les opérations doivent être formées pour manipuler correctement l'équipement, régler les paramètres appropriés et effectuer les mesures nécessaires.
- Les presses plieuses ont des limites en termes de taille et de forme des pièces qu'elles peuvent manipuler.

1.4 Presse plieuse hydraulique

1.4.1 Principe fonctionnement

Le principe de fonctionnement de la presse plieuse hydraulique est basé sur l'utilisation de vérins hydrauliques pour exercer une force sur une pièce métallique, généralement une tôle, afin de la plier selon un angle prédéterminé. La pièce est placée entre une matrice, qui définit la forme de pliage souhaitée, et une poutre, qui applique la force de pliage. Lorsque la poutre (ou le piston) se déplace, elle applique une force sur la pièce à travers la matrice, la pliant à l'angle souhaité.

Le fonctionnement de la presse plieuse hydraulique est contrôlé par une commande numérique qui permet de régler la force de pliage, la vitesse de déplacement de la poutre et la position précise de la matrice. Les paramètres sont souvent programmés à l'avance pour des pliages répétitifs.

1.4.2 Constitution de la presse plieuse

- **Bâti** : Charpente de la machine qui supporte toutes les autres pièces. Il est généralement fabriqué en acier massif pour assurer la stabilité de la machine.
- **Tablier inférieur** : Partie fixe de la presse plieuse qui porte la matrice inférieure sur une presse plieuse à tablier supérieur mobile.
- **Tablier mobile** : Partie mobile de la presse plieuse à mouvement alternatif qui porte la matrice supérieure sur une presse plieuse à tablier supérieur mobile.
- **Matrice** : C'est l'outil qui permet de définir la forme de la pièce à plier. Elle est fixée sur la table ou sur le tablier de la presse plieuse hydraulique.
- **Butées** : Élément situé à l'arrière des matrices, ces composants sont utilisés pour positionner le matériau avec précision et maintenir sa position pendant le processus de pliage.
- **Pédale de commande** : Sert à commander le mouvement du porte-matrice.
- **Réservoir** : Stocker le fluide.
- **Pompe hydraulique** : Elle est responsable de fournir l'énergie hydraulique nécessaire pour actionner le vérin hydraulique.
- **Vérin de pression** : Actionneur qui utilise l'énergie hydraulique pour mettre en mouvement le tablier mobile.
- **Moteur électrique** : Actionner la pompe.
- **Distributeur** : Transformer la puissance hydraulique en puissance mécanique.
- **Manomètre** : Indique la valeur de la pression.

- Accumulateur : Stocker l'énergie hydraulique et la restituer en cas de besoin.
- Régulateur de débit : Régler le débit et la vitesse du fluide.
- Limiteur de pression : Protéger l'installation contre les surpressions.
- Filtre : Empêcher les impuretés de s'infiltrer dans les organes sensibles.
- Débitmètre : Indique la valeur du débit.
- Clapet anti-retour : Autoriser le passage du fluide dans un seul sens.
- Vérin hydraulique double effet : Serrage de la pièce.
- Aide au pliage CNC : Ce système est commandé directement par l'ordinateur industriel de la machine ce qui assure à tout moment la position correcte du système d'aide.
- Capteur : Se trouve à l'avant de la machine pour protéger l'opérateur au cours du mouvement du porte-outil cellule photoélectrique de sécurité.



Fig 1. 4 : Presse plieuse hydraulique BOSCHERT G-BEND 3210.

- **Maintien en place l'outil** : C'est un élément essentiel pour assurer la précision, la sécurité, la répétabilité et la qualité des pliages réalisés. Il est donc important de suivre les procédures recommandées par le fabricant pour fixer et verrouiller correctement l'outil, ainsi que surveiller régulièrement son état pour s'assurer de son bon fonctionnement.
- **Commande DNC-60** : Interface homme-machine permettant à l'opérateur de commander la presse plieuse (par exemple, charger un programme de pliage, régler la vitesse de déplacement de vérin et le positionnement automatique des butées arrière, etc.).

1.4.3 Pliage

Le pliage est une technique de mise en forme à froid des tôles métalliques, qui consiste à plier une pièce à l'aide d'une machine appelée plieuse. Cette opération est largement utilisée dans l'industrie pour fabriquer des pièces et des composants de différentes formes et dimensions. Le pliage est réalisé suivant deux étapes : la conformation puis le retrait des outils.

Il existe plusieurs méthodes de pliage : le pliage en V, le pliage par encastrement, le pliage par cambrage en U, pliage en l'air et pliage en frappe. La précision du pliage dépend de la qualité de la machine et de l'expertise de l'opérateur.

1.4.4 Différent type de pliage sur une presse plieuse

Sur une presse plieuse il est possible de faire deux types de pliage :

1.4.4.1 Pliage en l'air :

En le pliage en l'air, l'extrémité du poinçon et les deux arêtes du vé permettant de courber la feuille de métal. Le poinçon descend dans la matrice jusqu'à ce que la tôle soit dans le fond du vé ; en raison de la déformation élastique de la tôle, elle « revient en arrière » lorsque le contre vé remonte, il faut donc ajuster l'angle de pliage en fonction du retour du métal et calculer la marge. Pour cette raison, le contre-vé doit descendre jusqu'à 95° si on veut obtenir un pli à 90°.

Cependant, la surépaisseur à prendre doit être calculée en fonction de l'épaisseur de la lame et de sa résistance mécanique ainsi que la longueur de pli et l'ouverture de vé.

Ce type de pliage est largement utilisé dans l'industrie de la tôle car il convient aux machines ayant des capacités limitées. La figure (1.5) présente le pliage en l'air.

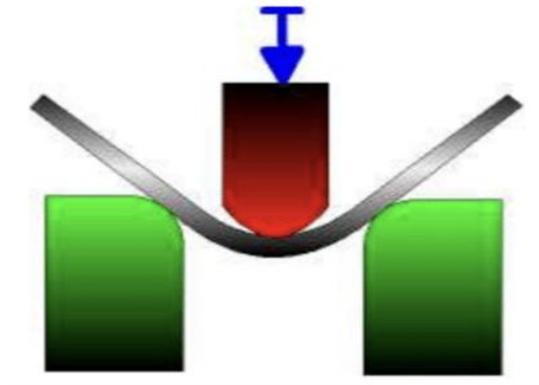


Fig 1. 5 : Pliage en l'air.

1.4.4.2 Pliage en frappe

Dans le pliage en frappe, aussi appelé pliage en fond de matrice, le contre-vé courbe la feuille de métal avec une grande force (3 à 5 fois supérieure au pliage en l'air) ce qui permet d'atténuer voire d'éviter l'effet retour élastique. Le procédé débute par un pliage en l'air puis continue avec un forgeage à froid réalisé en fond du vé.

Cette méthode offre une précision angulaire importante. Elle est adaptée aux tôles ayant une épaisseur supérieure à 2 mm. La figure (1.6) présente le pliage en frappe.

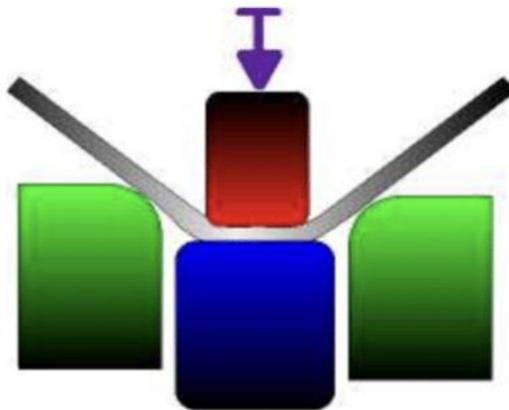


Fig 1. 6 : Pliage en frappe.

1.4.5 Paramètres de pliage sur une presse plieuse

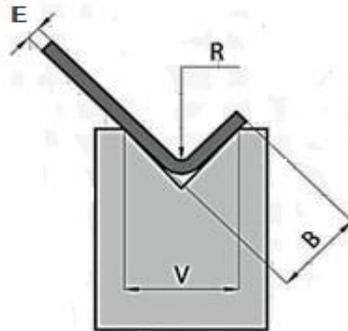
a. Abaque de pliage

Le pliage en l'air est le plus commun des types de pliage exécuté en entreprise, comparativement au pliage en frappe qui nécessite des pressions d'opération plus grandes donc plus d'usure au niveau de l'outillage et de risque de dépasser les limites de pression des outils.

L'abaque de pliage est un outil qui permet de calculer les dimensions et les angles nécessaires pour réaliser une pliure sur une feuille de métal, de plastique ou tout autre matériau souple. Il permet également de déterminer la longueur de la pièce à plier et la hauteur de la

butée de l'outil de pliage pour obtenir une pièce de la forme et de la taille souhaitées. L'abaque de pliage est donc un outil essentiel pour les professionnels de la tôlerie et de la chaudronnerie, ainsi que pour les bricoleurs qui souhaitent réaliser des travaux de pliage précisément.

La figure (1.7) présente l'abaque de pliage.



R (mm) : rayon intérieur de pliage.
 V (mm) : ouverture de vé.
 B (mm) : bord minimum.

V	R	B	Epaisseur de tôle : E																			
			0.5	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30		
4	0.7	2.6	4	10.5																		
6	1	4	3	7	11	16																
8	1.3	5.5	2	5	8	12	18.5															
10	1.7	7		4	6.5	9.5	15	26.5														
12	2	8.5			5.5	8	12.5	22	34.5													
16	2.7	11.5				6	9.5	16.5	26	37.5												
20	3.3	14					7.5	13	21	30	53											
25	4	17.5						10.5	16.5	24	42	66										
30	5	21.5							14	20	35	55	79									
35	6	25								17	30	47	68									
40	7	28.5									15	26.5	42	60	106							
50	8	35.5										21	33	48	85	132						
60	10	42.5											27.5	40	71	110	159					
80	13	57												30	53	83	119	186				
100	17	71													43	66	95	149				
125	21	88.5														53	76	119	211			
160	26	113															60	93	165	260		
200	33	141																75	132	207	300	
250	42	177																	106	165	240	
300	50	212																		88	140	200
360	60	255																			115	165

Fig 1. 7 : Abaque de pliage.

Les valeurs sont données pour un acier doux de type S235 (42 Kg/mm²).

Pour les autres aciers, il faut appliquer un coefficient proportionnel :

- Acier S355 (55 kg/mm²) coefficient 1.3
- Inox 304 (64 kg/mm²) coefficient 1.5
- Alu AG3 (24 kg/mm²) coefficient 0.6

En fonction de l'épaisseur de la tôle, nous pouvons déterminer plusieurs paramètres tels que :

- **V** : La valeur du vé. Il s'agit de la largeur en « mm » du vé quelle que soit sa forme (vé à 88°, à 30° ou même une matrice rectangulaire).

En général, on utilise pour :

$e < 4 \text{ mm}$; $V = 6 \text{ à } 8 * e$.

$e > 4 \text{ mm}$; $V = 10 \text{ à } 12 * e$.

- **B** : La valeur du bord minimum en « mm ». Il s'agit de la valeur minimale de la côte intérieure d'un pli sur un vé donné. Si la côte intérieure est plus petite que « b », la tôle glissera dans le vé sans être pliée.
- **R** : La valeur du rayon intérieur de pliage en « mm ». Ce rayon est déterminé en fonction des contraintes de la machine utilisée et de la conception de la pièce. La plupart du temps, le dessin n'impose pas de rayons. C'est la machine utilisée qui définira à ce moment sa valeur. [4]

Le rayon intérieur dépend de vé.

$$R = \frac{Vé}{6} \quad (1.1)$$

- **F** : La force de pliage en « KN/m ». Cette force dépend de la résistance à la rupture par extension du matériau, de son épaisseur et de l'ouverture du vé.

La force de pliage est proportionnelle à la longueur de pliage. Plus le pli est long, plus la force sera grande.

$$F = \frac{R_m \times e^2}{V} \times \left(1 + \frac{4 \times e}{V}\right) \quad (1.2)$$

1.4.6 Critères de choix d'une presse

Avant de choisir une presse plieuse, nous devons d'abord connaître le type de matériaux sur lesquels nous allons travailler (acier, inox, aluminium, etc.).

D'autres critères à prendre en compte lors du choix d'une presse :

- Capacité de pliage : Il est important de définir la longueur et l'épaisseur des tôles à plier afin de déterminer la capacité de la presse plieuse qui conviendra le mieux.
- La force de la presse : La force que peut exercer la presse plieuse est un critère important, elle détermine la quantité de matière que la machine pourra plier. Les machines avec une grande force sont plus efficaces.
- La longueur de pliage : est déterminée par la taille de la table de la presse plieuse. Il est important de choisir une table suffisamment longue pour les pièces à plier.

- La précision : La précision de la machine est importante, car elle détermine la qualité des plis qui sont produits. La précision dépend de la qualité de la machine ainsi que ses outils utilisés.
- La flexibilité : La machine doit être flexible afin de pouvoir produire différents types de plis. De plus la machine doit pouvoir être réglable facilement en fonction de changements de taille et de forme des pièces qui seront produites.
- La sécurité : La sécurité de l'opérateur est primordiale, donc il est essentiel de choisir une presse plieuse équipée de dispositifs de sécurité tels que des capteurs de détection de mouvement et des barrières lumineuses pour éviter les accidents.
- Le coût : Le coût de la machine et le coût de la maintenance doit être pris en compte. Il est important de trouver le meilleur rapport qualité-prix pour répondre aux besoins de production.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, notre objectif était de présenter les divers types de presses, ainsi que leurs avantages et inconvénients. Comme nous avons présenté aussi la presse plieuse hydraulique, dont nous avons cité son fonctionnement et ses composantes. De plus, nous avons abordé les différents types de pliage possibles sur cette presse.

Les presses, quel que soit leur type, jouent un rôle crucial dans l'industrie et sont largement utilisées pour la fabrication de nombreux produits que nous utilisons quotidiennement. Cependant, nous avons choisi de nous concentrer sur la presse plieuse hydraulique en raison de ses nombreux avantages qu'elle présente par rapport aux autres types de presses.

Dans le chapitre suivant, nous approfondirons notre étude en nous concentrant sur le circuit hydraulique de la presse plieuse, ce qui nous permettra de mieux comprendre son dimensionnement et son fonctionnement optimal.

Chapitre 2

Composants du circuit hydraulique

2.1 Introduction

Les circuits hydrauliques ont une importance capitale dans de nombreuses applications industrielles. Leur utilisation est courante dans les systèmes de freinage des véhicules automobiles, les systèmes de commandes de vol d'avion et les machines lourdes telles que les presses hydrauliques. Ces systèmes utilisent un fluide (généralement l'huile hydraulique) sous pression comme moyen de transmission pour transférer l'énergie hydraulique d'un point à un autre.

2.2 Définition du circuit hydraulique

Le circuit hydraulique est un assemblage de composants qui fonctionne de manière unitaire et souvent en interaction afin d'utiliser un fluide sous pression pour effectuer un travail mécanique un tel système peut aussi être appelé installation hydraulique.

Le circuit hydraulique industriel est constitué de trois zones :

La première zone représente la source d'énergie : c'est un générateur de pression (centrale hydraulique).

La seconde zone représente le récepteur hydraulique : convertit l'énergie hydraulique en énergie mécanique (vérin, moteur hydraulique).

Dernière zone : effectue la liaison entre les deux zones précédentes. On peut trouver dans cette zone :

- Eléments de distribution (distributeur),
- Eléments de raccordement (tuyaux),
- Accessoires (appareils de mesure, de protection, de stockage d'énergie et de régulation).

2.3 Types du circuit

On distingue deux types de circuit : circuit fermé et circuit ouvert.

2.3.1 Circuit ouvert

Le fluide hydraulique est mis en circulation en le repassant systématiquement dans les réservoirs à pression atmosphérique. Ces circuits sont les plus faciles à construire mais présentent un inconvénient : le fait que la pompe aspire la pression atmosphérique (à 1 bar de pression absolue), ce qui ne produit qu'une perte de charge minimale à l'aspiration (de l'ordre de -0,2 bar maxi) pour la relier à la bêche. Par conséquent, la pompe doit être de taille relativement importante car elle possède des tuyaux d'aspiration (externes et internes). Si la perte de charge à l'aspiration venait à augmenter, alors une cavitation se produirait, détériorant la pompe rapidement.

2.3.2 Circuit fermé

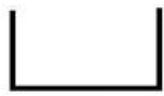
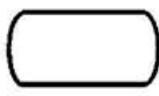
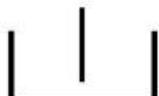
Pour corriger l’erreur précédente, il suffit de faire aspirer la pompe directement à une pression bien supérieure (dite pression de gavage) que celle de l’atmosphère. Pour cela le moteur va cracher directement son huile à la pompe à la pression de gavage. Les tubulures de la pompe peuvent donc être de sections plus faibles [5].

2.4 Composants du circuit hydraulique

2.4.1 Réservoir

Le réservoir est un élément clé qui permet l’emmagasiner d’huile hydraulique. Mais ce n’est pas sa seule fonction, il doit aussi permettre : le refroidissement de l’huile, la protection des éléments comme l’air et les solides qui pourraient entrer dans le circuit.

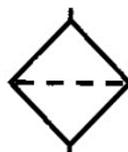
• **Symbole**

Réservoir à pression atmosphérique	Tuyauterie partant d'un réservoir en charge	Tuyauterie immergée	Réservoir sous pression	Tuyauterie au-dessus du niveau de l'huile
				

2.4.2 Filtre

Les filtres hydrauliques sont essentiels pour protéger les équipements hydrauliques contre les impuretés et les particules solides qui provoqueront des pannes et une usure anormale des composants amenant rapidement des fuites.

2.4.2.1 Symbole



2.4.2.2 Emplacement des filtres dans le circuit

Dans le circuit hydraulique, la filtration peut se faire [5][6] :

2.4.2.2.1 A l'aspiration

Le filtre ou appelé aussi crépine est placé avant la pompe et sa filtration est de nature grossière, ne pouvant arrêter que les particules de grande taille. Donc, cette filtration protégerait la pompe.

2.4.2.2.2 Au retour

Le filtre est installé sur les conduites de retour d'huile. Ce type de filtration se compose de différentes rondelles de filtration, empilées les unes sur les autres et maintenues en place par des boulons de fixation. Elle autorise :

- Collecter les débris résultant de l'usure des composants ou du circuit en général.
- Maintenir la propreté du système lorsqu'il existe un risque important de contamination par inhalation.

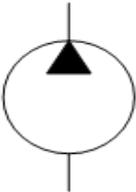
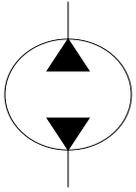
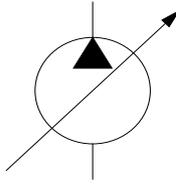
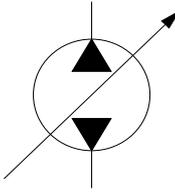
2.4.2.2.3 Au refoulement

Le montage du filtre se fait sur la ligne de refoulement (après la pompe). Cette filtration est efficace car elle protège les composants hydrauliques, Arrête les débris provenant de l'usure des pompes et agit en filtre de sécurité devant un composant sensible.

2.4.3 Pompe hydraulique

Les pompes hydrauliques sont effectivement des organes qui permettent de transformer une énergie mécanique fournie par le moteur d'entraînement en énergie hydraulique. Cet organe prend l'huile hydraulique d'un réservoir de stockage et la pousse dans un circuit hydraulique ce qui produit le débit nécessaire pour l'établissement de la pression mais ne peut d'elle-même produire ou provoquer la pression. La résistance au passage du débit crée la pression nécessaire. Pour être plus simple, une pompe crée un débit et supporte une pression.

2.4.3.1 Symbole

La pompe à débit fixe		La pompe à débit variable	
À un sens de flux	À deux sens de flux	À un sens de flux	À deux sens de flux
			

2.4.3.2 Classification des pompes

Divers types de la pompe ont été conçus pour satisfaire les exigences des utilisations en milieu industriel [5]. Ces pompes peuvent être classées en deux catégories principales :

- Les pompes hydrauliques volumétriques.
- Les pompes hydrauliques non volumétriques (centrifuges).

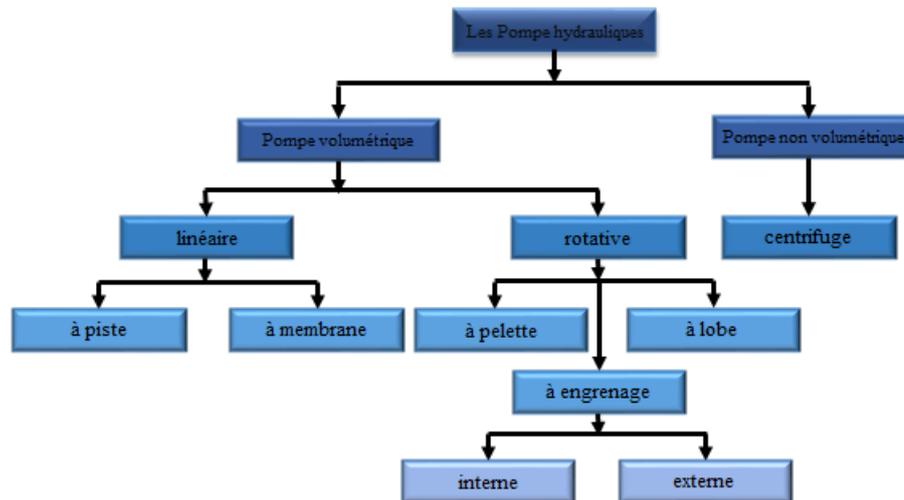


Fig 2. 1 : Organigramme de types de pompe.

2.4.3.2.1 Pompes volumétriques

Les pompes volumétriques sont constituées d'un élément mobile qui se déplace à l'intérieur d'un corps fixe parfaitement ajusté, le fluide est déplacé grâce à un mouvement entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement qui est provoqué par une diminution de la pression.

En général, on distingue deux types de pompes volumétriques :

- Les pompes volumétriques linéaires : à piston, à membrane.
- Les pompes volumétriques rotatives : à palette, à engrenage, à lobe. [7]

- **Avantages**

- Les pompes volumétriques ont un bon rendement.
- Ces pompes s'amorcent automatiquement.
- Bien adaptés aux faibles vitesses de rotation d'entraînement.
- Elles traitent tout type de fluide même les liquides très visqueux.

- **Inconvénients**

- Pour certains types, construction avec soupapes compliquées et propice aux pannes

- Les pompes volumétriques peuvent être volumineuses et encombrantes ce qui les rend plus chers et lourds.
- Le principe de fonctionnement n'a pas de limite de la pression, une soupape de sécurité ou soupape de limitation de la pression est donc nécessaire.
- La maintenance est plus lourde.

- **Pompe à piston**

Les pompes à pistons sont des pompes volumétriques qui utilisent des pistons pour comprimer le fluide et le déplacer. Il existe de type : radiaux et axiaux.

Son principe est d'utiliser les variations de volume provoquées par le déplacement d'un piston à l'intérieur d'un cylindre. Ces mouvements alternativement dans un sens ou dans l'autre créent des phases d'aspiration et de refoulement. Lorsque le piston se déplace dans une direction le liquide est comprimé : il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inversé lors de l'aspiration du liquide dans la pompe.

Ces pompes sont robustes et ont de bons rendements, on les utilise d'ailleurs dans des applications nécessitant des pressions élevées ou une grande précision de dosage. La figure 2.2 présente le schéma de la pompe à piston.

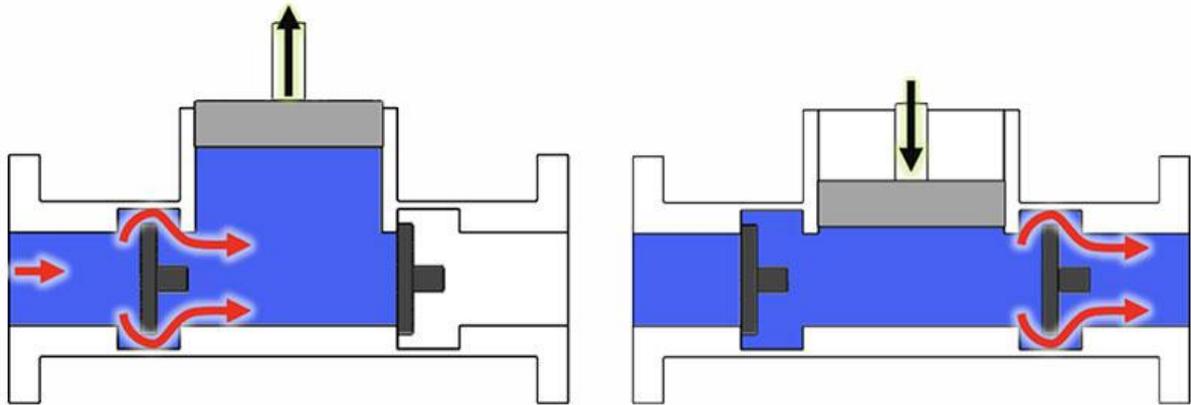


Fig 2. 2 : Schéma pompe à piston axial.

- **Pompe à membrane**

Les pompes à membranes utilisent une membrane flexible (souvent appelée diaphragme) qui se déforme lorsqu'une pression est appliquée. La membrane se déplace de manière alternée entre une position d'aspiration et une position de refoulement. Lorsque la membrane se déplace vers l'extérieur ; elle aspire le fluide à travers une soupape d'admission. Lorsqu'elle se déplace vers l'intérieur, elle comprime le fluide et l'expulse à travers une soupape de sortie.

Ces pompes sont souvent utilisées pour pomper des liquides corrosifs, des produits chimiques agressifs, des boues ou des fluides sensibles au cisaillement. La figure 2.3 présente le schéma de la pompe à membrane.

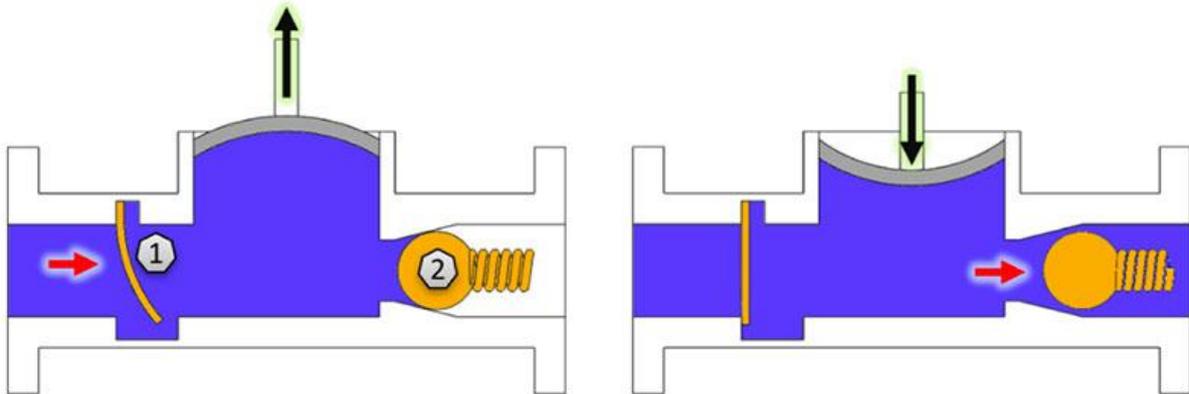


Fig 2. 3 : Schéma pompe à membrane.

- **Pompe à palettes :**

Les pompes à palettes sont des pompes à transfert volumétrique. Il y a deux types : à cylindrée fixe et à cylindrée variable. Ces pompes fonctionnent d'un rotor décentré où sont insérées des palettes flottantes. Ces palettes aidées par des poussoirs et la pression du refoulement pour assurer une étanchéité entre elles et le corps de la pompe, lorsqu'elles entrent et sortent.

Ces pompes sont adaptées pour le transfert de liquides à viscosité moyenne à élever, tels que les huiles, les carburants, les solvants, les lubrifiants, etc. La figure 2.4 présente le cycle de la pompe à palette.

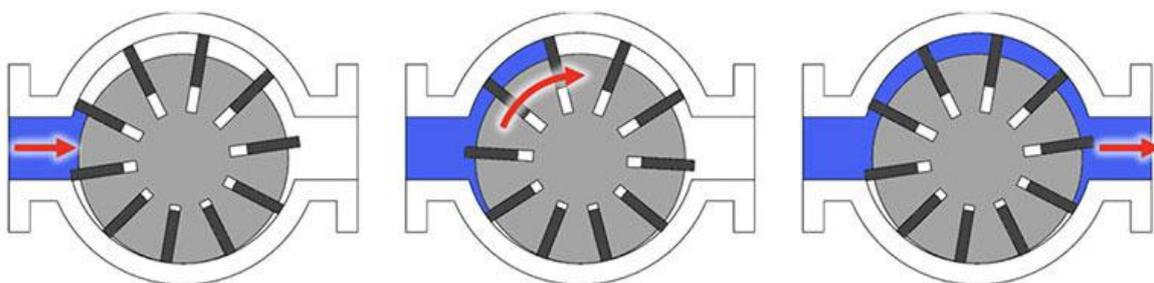


Fig 2. 4 : Cycle de la pompe à palette.

- **Pompe à lobes**

Les pompes à lobes sont similaires à des pompes à engrenages externes, mais elles comportent des éléments en forme de lobes au lieu d'engrenages. Ce type de pompe est composé de deux lobes rotatifs qui tournent en sens inverse à l'intérieur d'un boîtier. Les lobes ont une forme ovale ou rectangulaire, et les deux lobes sont en contact tout au long de leur

rotation, créant ainsi des chambres de pompage. Le fluide est aspiré à travers l'admission lorsque les lobes se séparent, puis il est comprimé et expulsé à travers la sortie lorsque les lobes se rejoignent.

Ces pompes sont couramment utilisées dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique, pétrolière et chimique pour le transfert de liquides visqueux, tels que les jus de fruits, les sirops, les polymères, les huiles et les carburants. La figure 2.5 présente le cycle de la pompe à lobes.

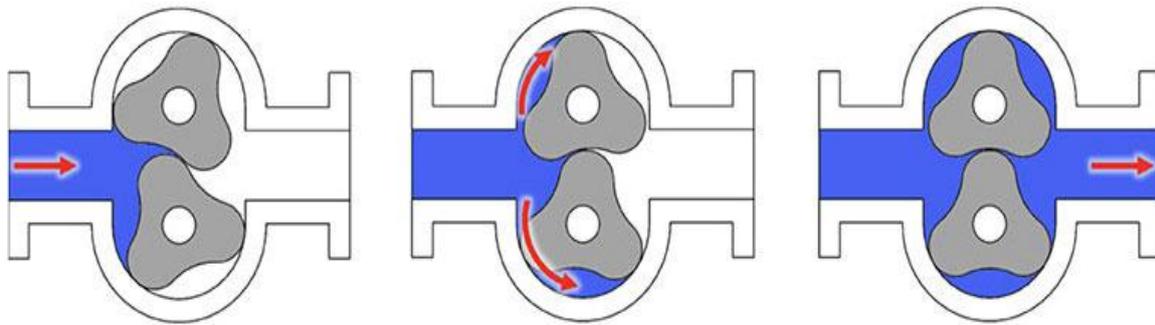


Fig 2. 5 : Cycle de la pompe à lobes.

- **Pompe à engrenages**

Il existe deux types de pompes à engrenages : la pompe à engrenages externes et la pompe à engrenages internes.

1 Pompe à engrenages externes

Les pompes à engrenages externes ont généralement deux roues avec des dentures qui tournent en sens opposé. La roue menante est entraînée par le moteur, tandis que la roue menée est entraînée par l'engrenage. Lorsque les roues dentées se séparent près de l'orifice d'admission, le vide créé aspire le fluide du réservoir, qui est transporté le long des parois de la pompe par les dentures jusqu'à l'orifice de refoulement. La figure 2.6 présente le cycle de la pompe à engrenages externes.

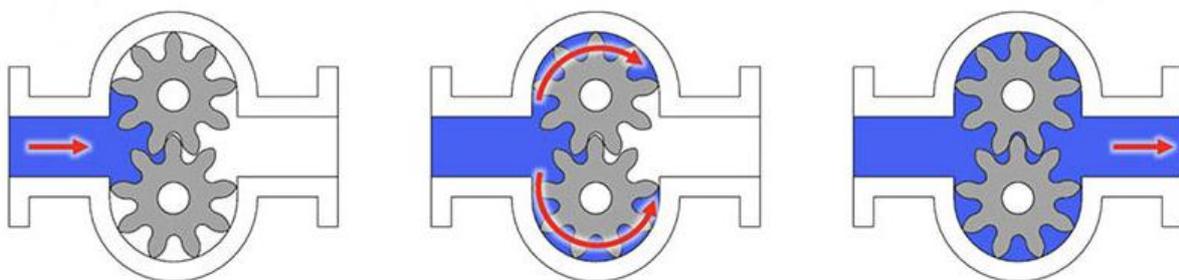


Fig 2. 6 : Cycle de la pompe à engrenages externes.

Ces pompes sont efficaces pour les opérations telles que le graissage, la lubrification, l'extrusion des matières plastiques, et bien plus encore.

2 Pompe à engrenages internes

Les pompes à engrenages internes sont des pompes volumétriques qui utilisent un ensemble rotor à denture interne et pignon pour générer son débit. L'assemblage est décalé, en utilisant une pièce en forme de croissant adjacente à l'engrenage interne, le tout dans un engrenage extérieur. Lorsque le rotor tourne, il entraîne le pignon et crée un espace d'aspiration pour le fluide. Le fluide est ensuite dirigé des deux côtés du croissant fixe, qui forme des alvéoles avec le rotor et le pignon, jusqu'à l'orifice de refoulement.

Ces pompes sont souvent utilisées dans les applications d'huile hydraulique, de lubrification et de transfert de carburant. La figure 2.7 présente le cycle de la pompe à engrenages internes.

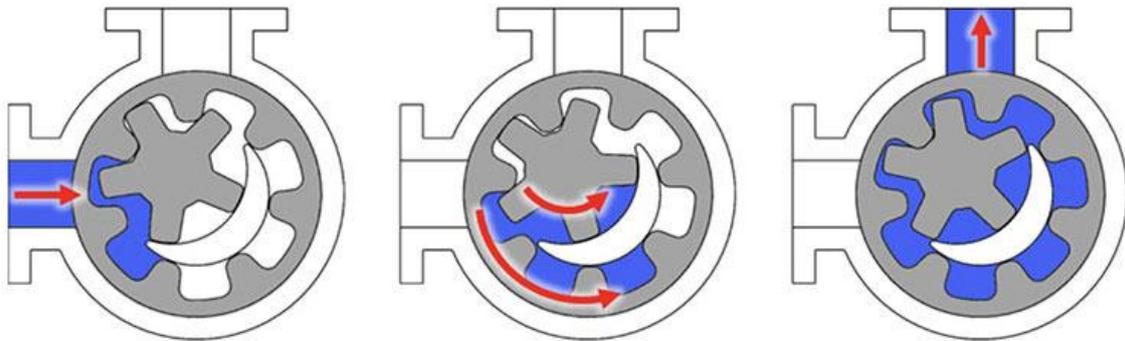


Fig 2. 7 : Cycle de la pompe à engrenages internes.

2.4.3.2.2 Pompes centrifuges

Les pompes centrifuges sont des machines rotatives utilisées pour transférer des fluides en convertissant l'énergie cinétique en énergie de pression. Ces pompes sont composées d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre d'un distributeur qui dirige le fluide de manière adéquate à l'entrée de la roue et d'un collecteur en forme de spirale disposé en sortie de la roue appelé volute. Le fluide est dirigé vers la roue en rotation qui sous l'effet de la force centrifuge lui communique de l'énergie cinétique. Cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression dans la volute. Un diffuseur au périphérique de la roue permet d'optimiser le flux sortant et ainsi de limiter les pertes d'énergie.

Ces pompes sont utilisées dans de nombreux domaines, notamment l'approvisionnement en eau, l'irrigation agricole, le traitement de l'eau, l'industrie pétrolière et gazière, l'industrie chimique, l'industrie alimentaire, etc. La figure 2.8 présente le fonctionnement de la pompe centrifuge.

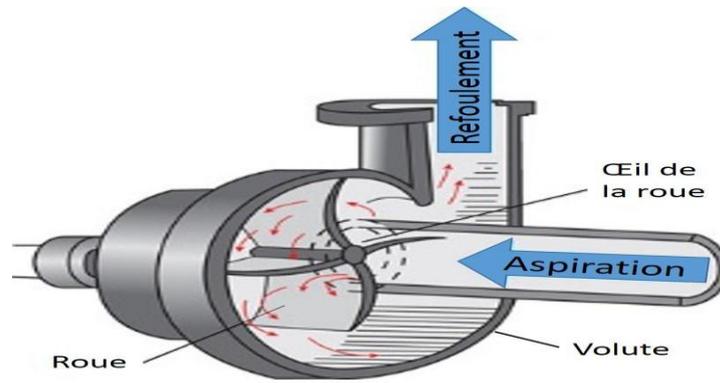


Fig 2. 8 : Pompe centrifuge.

3 Avantages

- Construction simple, constituée d'un nombre réduit de pièces ; ce qui facilite leur fabrication, leur installation et leur maintenance.
- Fonctionnement très silencieux et continu pendant de longues périodes sans nécessiter de temps d'arrêt prolongé.
- Vitesse de rotation élevée, entraînement direct possible par moteur électrique ou turbine.
- Débit de refoulement facile à ajuster par une soupape à la sortie de la pompe ou par la vitesse de rotation.

4 Inconvénients

- Pas d'auto-amorçage.
- Risque de cavitation avec l'eau chaude ou des pressions d'aspiration faibles.
- Plusieurs étages requis pour les pressions de refoulement élevées.
- Le débit volumique dépend de la pression de refoulement.

2.4.3.3 Choix de la pompe volumétrique

2.4.3.3.1 Cylindrée

La cylindrée est le volume ou la quantité d'huile celle-ci aspirée et expulsée par une pompe en l'absence de fuites, pendant une révolution de l'arbre principal.

$$\text{Cyl} = \frac{Q}{N \cdot \eta_v} \quad (2.1)$$

Cyl : Cylindrée de la pompe.

Q : Débit volumétrique en (m³/s).

N : Vitesse de rotation (tr /min).

η_v : Rendement volumétrique.

2.4.3.3.2 Débit

- **Débit moyenne théorique**

Débit moyen théorique est le volume d'huile évacué en moyenne par unité de temps. En négligeant les fuites internes et la compressibilité d'huile.

$$Q_{\text{théo}} = Cyl \cdot N \quad (2.2)$$

N : Vitesse de rotation en (t /min).

Cyl : Cylindrée en (m³/tr).

- **Débit moyen réel**

Débit moyen réel est le volume d'huile, refoulé par la pompe en pratique, mesuré par l'unité de temps.

2.4.3.3.3 Puissance

- **Puissance mécanique**

La puissance mécanique est la puissance fournie à l'arbre d'entraînement de la pompe par le moteur.

$$P_m = Q_{\text{théo}} \cdot (p_{sth} - p_e) \quad (2.3)$$

C: Couple d'entraînement de la pompe en (N.m).

ω : Vitesse angulaire en (rad /s).

p_e : Pression d'entrée en (Pa).

p_{sth} : Pression de sortie théorique en (Pa).

- **Puissance hydraulique**

La puissance hydraulique est la puissance fournie par le fluide à la sortie de la pompe.

$$P_h = Q_{\text{réel}} \cdot (p_s - p_e) \quad (2.4)$$

p_s : Pression mesurée réellement à la sortie en (Pa).

2.4.3.3.4 Couple

$$C = \frac{Cyl \cdot \Delta p}{2\pi \cdot \eta_m} \quad (2.5)$$

$\Delta p = p_s - p_e$: Différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe et P_e et P_s en Pascal (Pa).

2.4.3.3.5 Rendement

- **Rendement volumétrique**

Compte tenu des fuites internes et de l'incompressible du fluide, le débit réel est toujours inférieur au débit théorique.

$$\eta_v = \frac{Q_{réel}}{Q_{théo}} \quad (2.6)$$

- **Rendement mécanique**

Rapport de la pression théorique à la pression réelle, ou Le rapport du couple théorique au couple réel.

$$\eta_m = \frac{Cyl \cdot \Delta p}{2 \cdot \pi \cdot C} = \frac{(p_s - p_e)}{(p_{sth} - p_e)} \quad (2.7)$$

- **Rendement global**

Le rendement global est le produit de deux rendements précédents (le rendement volumétrique et le rendement mécanique).

$$\eta_g = \eta_v \cdot \eta_m = \frac{P_h}{P_m} \quad (2.8)$$

2.4.4 Moteur hydraulique

Les moteurs hydrauliques sont des composants clés dans les systèmes hydrauliques. Ils fonctionnent en transformant l'énergie hydraulique fournie par un fluide sous pression en énergie mécanique pour produire un mouvement rotatif de l'arbre de sortie.

Les moteurs hydrauliques peuvent être classés en trois grandes familles : les moteurs rapides, les moteurs semi rapides et les moteurs lents.

2.4.4.1 Types de moteur

2.4.4.1.1 Moteur rapide

Le moteur hydraulique rapide est réversible (cette catégorie de moteur hydraulique peut aussi faire office de pompe). Ils sont très performants. On peut citer entre autres les moteurs à engrenages, à Palettes, à Pistons axiaux, etc. L'inconvénient est qu'ils sont chers et bruyants.

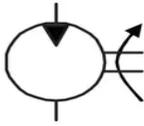
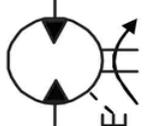
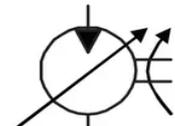
2.4.4.1.2 Moteur semi-rapide

Le moteur hydraulique semi-rapide est moins cher que le type de moteur hydraulique rapide. Bien choisie, cette catégorie de moteur hydraulique se sont avérées très performantes.

2.4.4.1.3 Moteur lent

Le dernier type de moteur hydraulique se caractérise par être très silencieux. Ceci est dû à la vitesse de fonctionnement relativement faible du moteur hydraulique. Le moteur lent permet de ne pas installer de réducteur et peut être logé dans une roue d'engin par exemple, il est également couramment utilisé pour entraîner les vitesses d'extrusion des presses à injection plastique.

2.4.4.2 Symbole

A cylindrée fixe	A cylindrée fixe à deux sens de rotation	A cylindrée variable un sens de rotation
		

2.4.4.3 Choix du moteur

2.4.4.3.1 Vitesse de rotation

$$N = \frac{Q \cdot 1000}{Cyl} \tag{2.9}$$

Q : Débit volumique (l/min).

N : Vitesse de rotation (tr/min).

Cyl : Cylindrée du moteur (m³ /tr).

2.4.4.3.2 Puissance

• **Puissance mécanique**

Puissance sur l'arbre du moteur hydraulique.

$$P_m = C \cdot \omega \tag{2.10}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \tag{2.11}$$

P_m : Puissance mécanique (W).

C : Couple (N/m).

N : Vitesse de rotation (tr/min).

ω : Vitesse angulaire (rad/s).

• **Puissance hydraulique**

La puissance hydraulique nécessaire pour assurer le fonctionnement du moteur.

$$P_h = Q \cdot \Delta p \tag{2.12}$$

P_h : Puissance hydraulique (W).

Δp : Différence de pression (Pa).

Q : Débit volumique (l/min).

2.4.4.3.3 Couple

Couple sur l'arbre de sortie du moteur hydraulique.

$$C = \frac{Cyl \cdot \Delta p \cdot \eta_m}{2\pi} \quad (2.13)$$

C : Couple (N/m).

η_m : Rendement mécanique du moteur.

Cyl : Cylindrée du moteur (m³/tr).

Δp : Différence de pression (Pa).

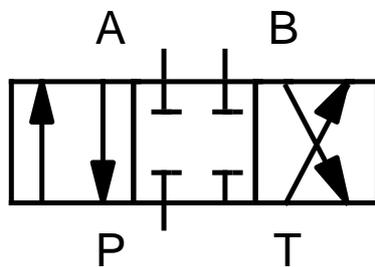
2.4.5 Distributeur

Les distributeurs sont des pré-actionneurs qui permettent d'orienter la circulation du fluide hydraulique dans différentes directions. Elles sont utilisées pour commuter et contrôler le débit fluide sous pression à la réception d'un signal de la commande qui peut être mécanique, électrique ou hydraulique, afin de commander l'organe récepteur (vérin ou moteur). La figure 2.9 présente un distributeur réel.



Fig 2. 9 : Distributeur réel.

2.4.5.1 Symbole



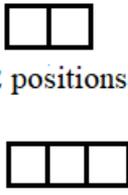
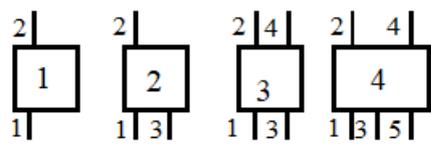
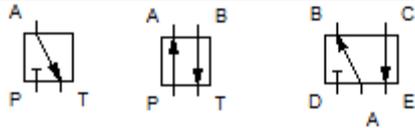
P : Orifice d'échappement de la pompe.

T (ou R) : Orifice d'échappement.

A : Orifice de connexion avec l'orifice A de l'organe récepteur.

B : Orifice en connexion avec l'orifice B de l'organe récepteur.

2.4.5.2 Désignation

<p>Nombre de la position = Nombre carrés</p>	 <p>2 positions 3 positions</p>
<p>Nombre d'orifices 1 pression 3-5 échappements 2-4 utilisations</p>	 <p>les orifice toujours sur la position repos</p>
<p>Voles de communication :</p>	
<p>Commandes</p>	 <p>bistable monostable</p>

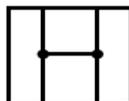
2.4.5.3 Différents types de centrale

Les différents types de centres sont obtenus en modifiant la largeur et la position des portées sur le tiroir. [8]

On distingue trois types de centres :

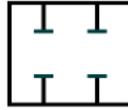
2.4.5.3.1 Centrale ouverte

Au repos tous les orifices sont en communication avec le réservoir.



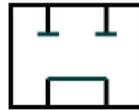
2.4.5.3.2 Centrale fermée

Au repos tous les orifices sont fermés. Les organes moteurs peuvent être stoppés au cours de course ou de rotation.



2.4.5.3.3 Centrale tandem

Le débit provenant de la pompe retourne au réservoir alors que les organes moteurs sont stoppés.



2.4.6 Vérins

Les vérins hydrauliques sont des actionneurs utilisés pour convertir l'énergie hydraulique en énergie mécanique par le mouvement linéaire d'une tige. Ces vérins se constituent généralement d'un cylindre, d'un piston et d'un fluide hydraulique. Lorsque la pression hydraulique est appliquée au fluide, elle pousse le piston à se déplacer dans le cylindre, générant ainsi un mouvement linéaire.

2.4.6.1 Types de vérins

La figure 2.10 présente l'organigramme de types de vérins.

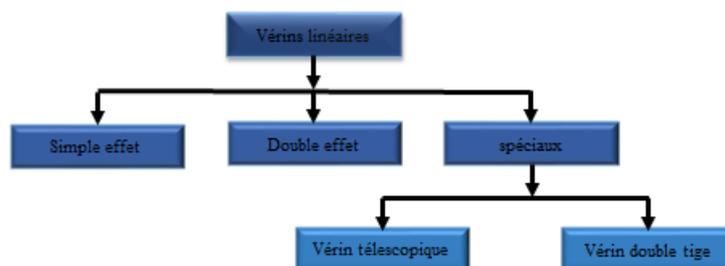


Fig 2. 10 : Organigramme de types de vérin.

2.4.6.1.1 Vérin simple effet

Le vérin simple effet est un récepteur dont le piston ne reçoit le débit que sur une seule face. Par conséquent, il ne peut fournir une force contrôlée hydrauliquement que dans une seule direction. Une fois le déplacement effectué, le vérin retourne à sa position initiale par un ressort ou une force extérieure. La figure 2.11 présente un vérin simple effet.

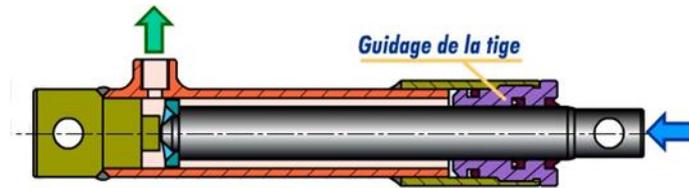


Fig 2. 11 : Vérin simple effet.

2.4.6.1.2 Vérin double effets

Le vérin double effet est un récepteur linéaire qui reçoit le débit sur ses deux faces. Il peut donc transmettre une force dans les deux sens du mouvement, aussi bien en poussant qu'en tirant.

Ce type est plus souple, réglage plus facile de la vitesse, amortissement de fin de course réglable, mais il est plus coûteux. La figure 2.12 présente un vérin double effet.

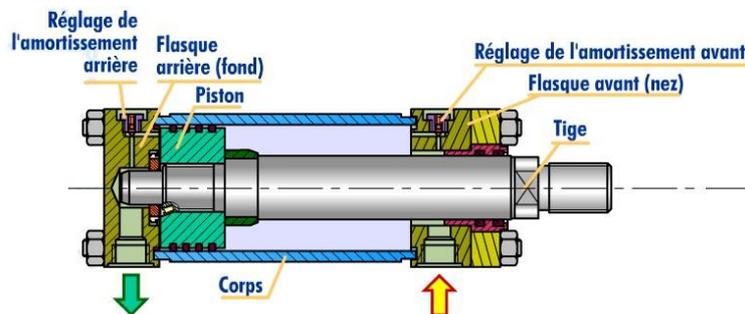


Fig 2. 12 : Vérin double effets.

2.4.6.1.3 Vérin spécial

- Vérin télescopique

Le vérin télescopique est constitué de plusieurs pistons s'emboîtant les uns dans les autres. Chaque piston s'étend progressivement pour fournir une course plus longue. Le piston avec la plus grande section sort toujours en premier, puis apparaît dans l'ordre de section décroissante jusqu'à la plus petite. Par contre, lors de la rentrée, l'ordre est inversé, d'abord celui de petite section, puis celui de section supérieure jusqu'à la plus grande.

On trouve ce type de vérin dans les élévateurs et monte-charge ainsi que sur de nombreux engins de chantier.

Il y a deux types : à simple effet et à double effet. La seule différence entre eux est le retour en position, tel que dans le vérin télescopique simple effet, la rentrée s'effectue à l'aide d'une force extérieure. Par contre, dans le vérin télescopique, le retour se fait sous l'action de l'huile qui peut se conjuguer à l'action de la charge si celle-ci contribue au mouvement. La figure 2.13 présente vérin télescopique simple effet et double effet.

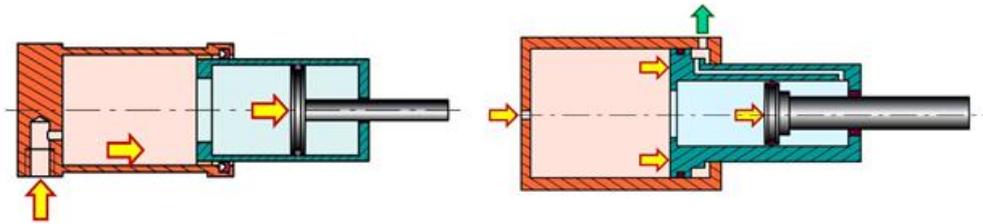


Fig 2.13 : Vérin télescopique simple effet et doubles effets.

- **Vérin double tiges**

Le vérin double tiges comporte deux tiges de piston qui s'étendent des deux extrémités du vérin. Chaque tige de piston est attachée à un piston, et les deux côtés du vérin peuvent générer une force de poussée ou de traction indépendamment l'un de l'autre.

Ce vérin peut être utilisé avec : le corps fixe et la tige mobile ou le contraire ; la tige fixe et le corps mobile.

Il est idéal pour les opérations de levage, de pressage, de traction, de serrage et de positionnement. La figure 2.14 présente un vérin double tige.

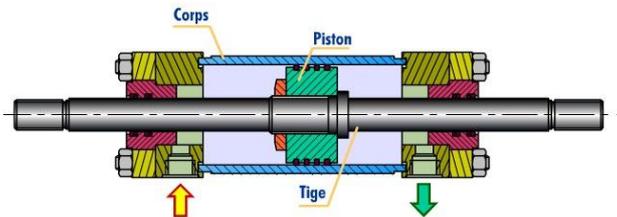
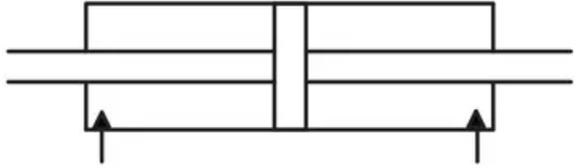
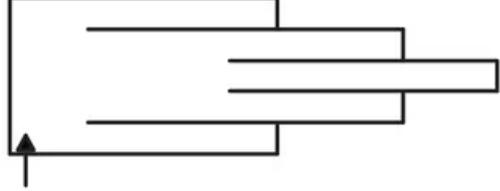


Fig 2.14 : Vérin double tiges.

2.4.6.2 Symbole

<p>Vérin simple effet</p>	
<p>Vérin double effet</p>	

Vérin double tige	
Vérin télescopique simple effet	
Vérin télescopique double effet	

2.4.6.3 Choix des vérins hydraulique

2.4.6.3.1 Efforts exercés dans les deux sens

- Sortie du vérin

p: Pression en (Pa).

$$p = \frac{F}{S} \quad (2.14)$$

F : Force en (N).

$$F = p \cdot S \quad (2.15)$$

S: Section de piston en (m²).

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D \quad (2.16)$$

Avec

D: Diamètre de piston en (m).

La figure 2.15 présente la sortie du vérin.

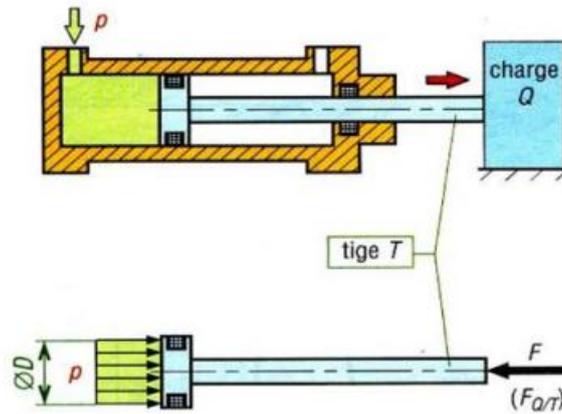


Fig 2. 15 : Sortie du vérin.

- Entrée du vérin

P : Pression en (Pa).

$$P = \frac{F}{S'} \quad (2.17)$$

F : Force en (N).

$$F = p \cdot S' \quad (2.18)$$

S' : Section d'alésage en (m²).

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D - d) \quad (2.19)$$

Avec

D : Diamètre de piston en (m).

d : Diamètre de la tige en (m).

La figure 2.16 présente la rentrée du vérin.

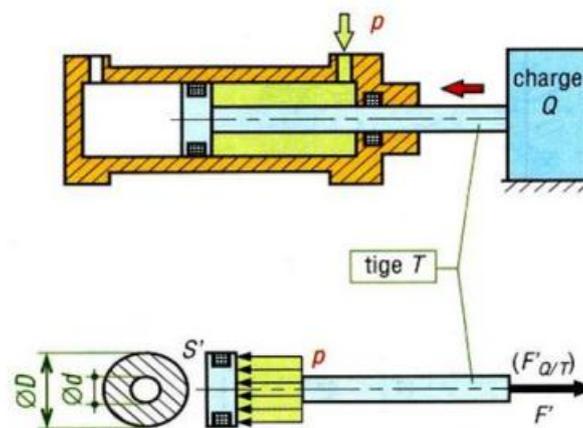


Fig 2. 16 : Entrée du vérin.

2.4.6.3.2 Vitesse de déplacement

- En sortie de tige

V_s : vitesse de sortie de la tige en (m/s).

$$V_s = \frac{q}{s} = \frac{q'}{s'} \quad (2.20)$$

$$Q' = Q \cdot \frac{s}{s'} \quad (2.21)$$

Avec

Q : Débit rentrant dans le vérin en (m³/s).

Q' : Débit sortant du vérin en (m³/s).

- En retour de tige

V_r : vitesse de retour de la tige en (m/s).

$$V_r = \frac{q}{s'} = \frac{q''}{s} \quad (2.22)$$

$$Q'' = Q \cdot \frac{s}{s'} \quad (2.23)$$

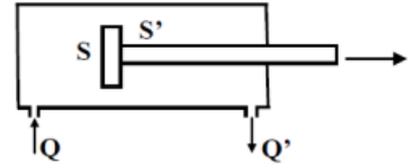


Fig 2. 17 : Vitesse en sortie de la tige.

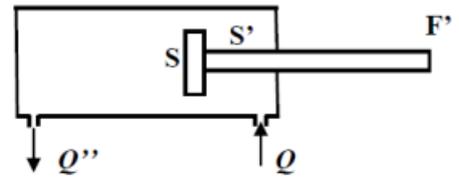


Fig 2. 18 : Vitesse en retour de la tige.

2.4.6.3.3 Force développée

- En sortie de la tige

Considérent le vérin parfait

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad (2.24)$$

$$p \cdot S - p' \cdot S' - p_{atm} \cdot (S - S') - F = 0 \quad (2.25)$$

$$F = (p - p_{atm}) \cdot S - (p' - p_{atm}) \cdot S' \quad (2.26)$$

$$F = p_{eff} \cdot S - p'_{eff} \cdot S' \quad (2.28)$$

p_{eff} : Perte de charge dans la conduite. $p'_{eff} \ll p_{eff}$

La force développée devient

$$F = p_{eff} \cdot S \cdot \eta \quad (2.29)$$

- En retour de la tige

La force développée

$$F' = p_{\text{eff}} \cdot S' \cdot \eta \quad (2.30)$$

Patm : Pression atmosphérique (1atm = 1.013 bar).

η : Rendement du vérin.

2.4.6.3.4 Puissance

- Puissance absorbée en sortie ou en retour de tige.

$$P_{\text{abs}} = Q \cdot \Delta p \quad (2.31)$$

- Puissance utile en sortie de tige.

$$P_u = F \cdot V \quad (2.32)$$

2.4.6.3.5 Forme d'Euler

La formule d'Euler qui suit, utilisée pour les tiges de vérins, est bien sûr applicable à toutes les poutres subissant ce type de contraintes.

Cette formule donne la charge maximale en service en fonction des autres paramètres. Il faut considérer la longueur L avec la tige entièrement sortie.

$$F \leq \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_f^2} \quad (2.33)$$

E : Module de YOUNG du matériau de la tige.

I : Moment d'inertie ou moment quadratique en flexion.

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (2.34)$$

d : Diamètre de la tige.

L_f : Longueur libre de flambage.

$$L_f = K \cdot C \quad (2.35)$$

C : Course.

2.4.7 Élément de protection et de régulation

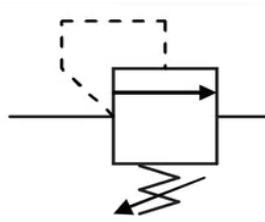
2.4.7.1 Organes de réglage de pression

2.4.7.1.1 Limiteur de pression

Les limiteurs de pression (soupapes de sûreté) sont des appareils de type normalement fermé. Leur mission première est de limiter de façon sûre la pression dans une installation afin de protéger les appareils et les tuyauteries contre un éclatement ou une surcharge.

Cet appareil est monté en amont du circuit, en dérivation avec la pompe et relié au réservoir.

- **Symbole**

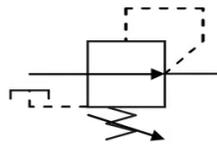


2.4.7.1.2 Régulateur de pression

Les régulateurs de pression, ou détendeurs, permettent de garantir une pression de travail (pression du secondaire) aussi régulière que possible tant que la pression de service (pression du primaire) est supérieure à la pression demandée. Le réglage de la pression souhaitée se fait manuellement.

Ce régulateur est monté en amont de la branche secondaire du circuit.

- **Symbole**

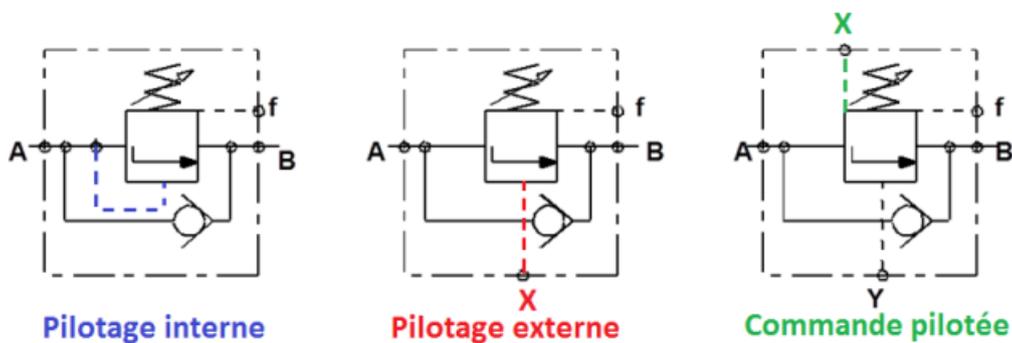


2.4.7.1.3 Valve de séquence

Elle permet l'alimentation d'un circuit secondaire lorsque la pression dans le circuit primaire atteint la valeur du tarage de la soupape. La valve de séquence peut être à pilotage interne ou externe et commande pilotée [6].

Cette valve est toujours normalement fermée NF.

- **Symbole**



2.4.7.2 Organes de réglage de débit

2.4.7.2.1 Limiteur de débit

Limiteur de débit est destiné à agir sur le débit pour contrôler la vitesse d'un récepteur (vérin, moteur) mais n'assure pas la stabilité du débit au cours des variations de la pression.

Le limiteur de débit ne permet pas le contrôle du débit lorsque la charge est variable.

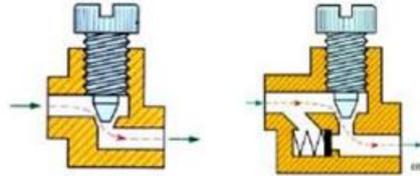
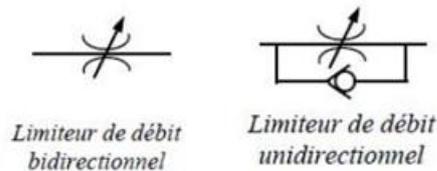


Fig 2. 19 : Limiteur de débit bidirectionnel et unidirectionnel.

- **Symbole**

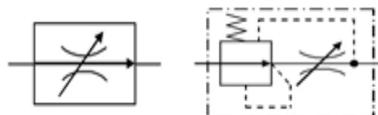


2.4.7.2.2 Régulateur de débit

Le régulateur de débit doit fournir un débit d'huile constant à une valeur déterminée indépendamment des variations de charge, de viscosité ou de pression.

Il est constitué d'un étranglement réglable permettant d'afficher le débit souhaité et d'un étranglement mobile piloté par un dispositif de comparaison. Il sert à comparer la pression de part et d'autre de l'étranglement régulier et maintient le débit constant [5].

- **Symbole**



2.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté les composants du circuit hydraulique. Comme nous avons étudié les principaux composants de ce circuit tel que le réservoir, la pompe hydraulique, le vérin, etc., ainsi que leur fonctionnement et leur rôle dans le circuit.

Il est important de bien comprendre le fonctionnement et l'interaction des différents composants du circuit hydraulique pour assurer un fonctionnement optimal de la presse plieuse. Chaque élément du circuit joue un rôle spécifique dans la transmission de l'énergie hydraulique et la réalisation des pliages.

La compréhension approfondie du circuit hydraulique et de ses composants aidera ultérieurement au dimensionnement et à la conception du circuit de la presse plieuse. ça sera l'objet qu'on va concentrer dans le prochain chapitre.

Chapitre 3

*Dimensionnement du circuit
hydraulique d'une presse
plieuse*

3.1 Introduction

Le dimensionnement adéquat des circuits hydrauliques est crucial pour garantir leur bon fonctionnement, leur efficacité et leur sécurité.

Dans ce chapitre dédié à la conception de systèmes hydrauliques pour une presse plieuse. Il est essentiel de déterminer avec précision les dimensions des différents composants tels que la tuyauterie, le vérin, la pompe et le réservoir en fonction des exigences de débit et de pression du circuit hydraulique.

3.2 Problématique

Il est demandé de réaliser un circuit hydraulique d'une presse plieuse utilisant deux vérins identiques à déplacement simultané. Selon le cahier de charge imposé par l'entreprise, les vérins doivent supporter le poids du tablier supérieur et exercer une force de pliage sur des tôles d'épaisseur de 6 mm et de longueur de 2 m.

Le processus de pliage se déroule en trois étapes. Tout d'abord, il y a la phase d'approche, où le vérin descend rapidement à une vitesse de 100 mm/s. Ensuite, la phase de travail à vitesse de 12 mm/s. Enfin, la phase de remontée où le vérin se déplace à une vitesse de 80 mm/s pour revenir à sa position initiale.

Ces spécifications permettent de dimensionner couramment le système hydraulique pour assurer un fonctionnement efficace de la presse plieuse dans différentes phases du processus de pliage.

3.3 Dimensionnement des organes du circuit

3.3.1 Force nécessaire au pliage

La force de pliage dépend de la résistance à la rupture par extension du matériau, de son épaisseur et de l'ouverture du vé.

La résistance à la rupture (ou traction) de quelques métaux.

- L'aluminium : $R_m = 200$ à 300 N/mm².
- L'acier de construction mécanique : $R_m = 370$ à 520 N/mm².
- L'acier doux : $R_m = 360$ à 550 N/mm².
- L'acier inoxydable : $R_m = 500$ à 700 N/mm².

Pour dimensionner la presse plieuse, supposons que nous prenons la résistance à la rupture de l'acier inoxydable (inox) qui égale $R_m = 600$ N/mm² et d'épaisseur de référence $e = 6$ mm.

Comme $e > 4$ mm

Donc : $V = 10 \times 6$

$$V = 60\text{mm.}$$

$$\text{De (1.2) : } F = \frac{600 \cdot 10^{-1} \cdot 6^2}{60 \cdot 10^{-3}} * \left(1 + \frac{4 \cdot 6}{60}\right)$$

$$F = 48\,000 \text{ daN/m}$$

Donc la force de chaque vérin sera : $F = 24\,000 \text{ daN/m}$

On a trouvé la force de pliage nécessaire pour plier une tôle d'acier inoxydable d'épaisseur 6 mm et de longueur 2 m.

3.3.2 Dimensionnement des deux vérins à double effet

Le processus de dimensionnement d'un vérin revient à déterminer le diamètre de la tige d et du piston D qui dépend de la force que le vérin doit produire. De plus, il faut prendre en compte la course du vérin pour vérifier sa résistance au flambage.

Il est essentiel de s'assurer que la tige est suffisamment rigide pour résister au flambage lorsqu'elle est soumise à une force de compression élevée.

Cette résistance est la capacité de la tige du vérin à résister à la déformation ou à la rupture sous une charge de compression.

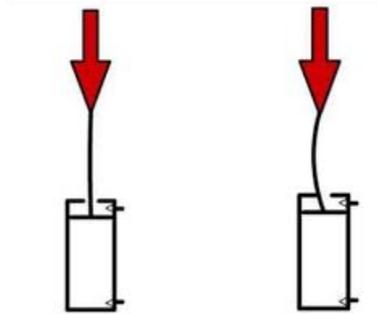


Fig 3. 1 : Flambage du vérin.

3.3.2.1 Détermination du diamètre de la tige du vérin

La formule de la longueur de flambage (ou libre) du vérin est : $L_f = K \cdot C$

Où : K : le coefficient de flambage.

Les deux vérins sont à fixation par pattes d'équerres avec une tige non guidée, donc le coefficient de flambage est $K = 2$.

La course du vérin $C = 250 \text{ mm}$.

En utilisant ces informations on trouve :

$$L_f = 2 \times 250$$

$$L_f = 500 \text{ mm.}$$

Tableau 3.1 : Détermination du coefficient du mode de fixation "K".

désignation	extrémité de tige	type de montage	coefficient K
articulations arrières			
	articulation guidée		2
	filetage guidé		1,5
	filetage non guidé		4
tourillons intermédiaires (placés sur le 1/3 avant du corps)			
	articulation guidée		1,5
	filetage guidé		1
	filetage non guidé		3
tourillons avant			
	articulation guidée		1
	articulation non guidée		2
équerres			
	articulation guidée		0,7
	filetage guidé		0,5
	filetage non guidé		2
bride avant			
	fixée rigidement, guidée		0,5
	articulée rigidement, guidée		0,7
	supportée - non guidée		2
bride arrière			
	fixée rigidement, guidée		1
	articulée rigidement, guidée		1,5
	supportée - non guidée		4

Pour déterminer le diamètre de la tige "d", on va utiliser le diagramme suivant en fonction de la force de pliage et la longueur de flambage.

D'après ce diagramme, on trouve le diamètre de la tige $d = 70\text{mm}$ et le diamètre du piston $D = 125\text{ mm}$.

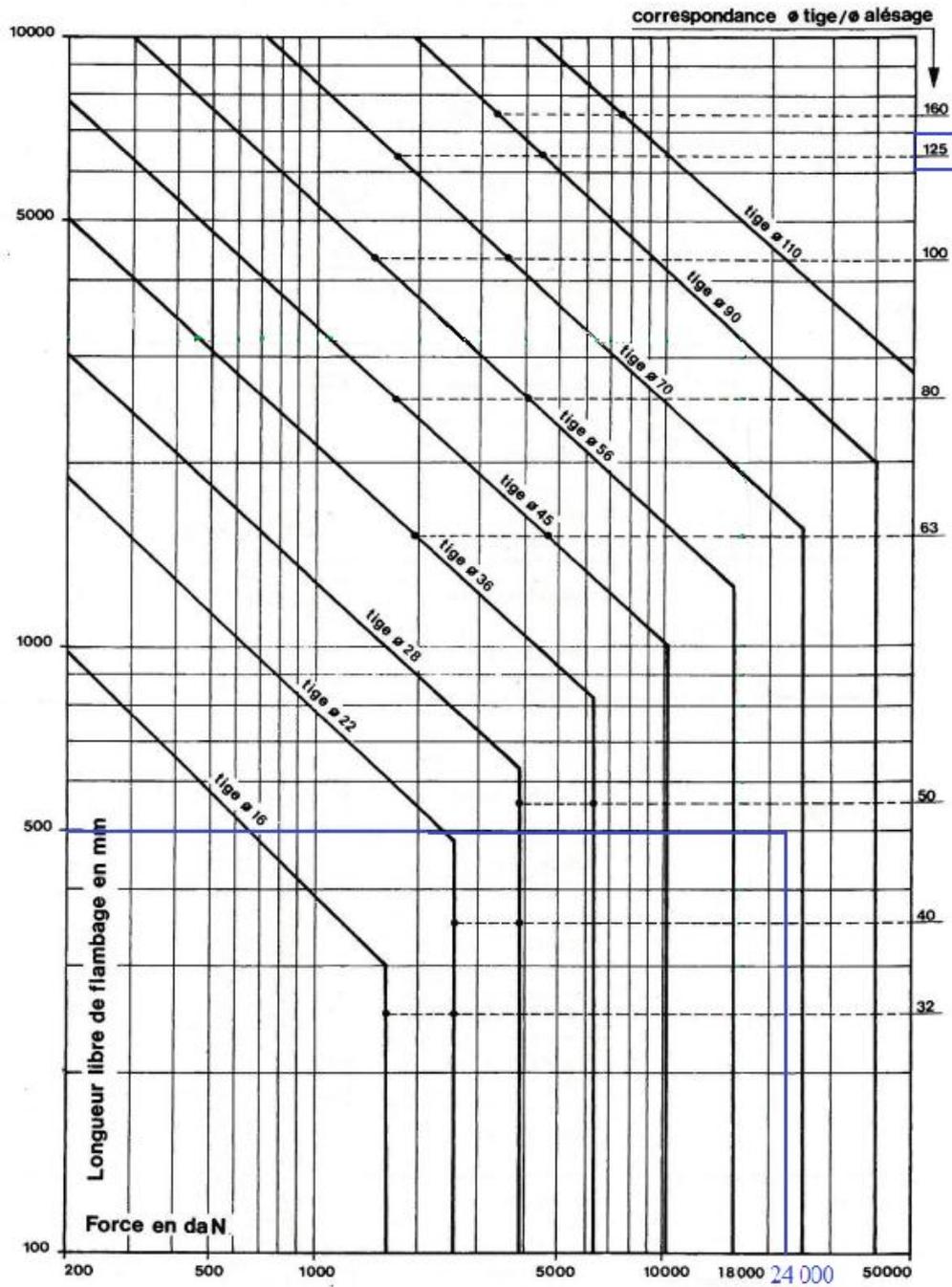


Fig 3. 2 : Abaque longueur de flambage.

Donc le vérin qui convient est (Ø125 × 70).



Fig 3. 3 : Vérin hydraulique double effets.

Ce vérin représente les caractéristiques suivantes :

La pression maximale : 50 bars.

Diamètre de la tige : 22 mm à 220 mm.

Diamètre du piston : 40 mm à 320 mm.

Fixation : 6 types de fixation.

Référence : R900999011

3.3.2.2 Déterminer la valeur de la pression

La pression égale à la force sur la section.

$$p = \frac{F \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{24\,000 \times 4}{\pi \times 12,5^2}$$

$$p = 195.57 \text{ bars}$$

3.3.2.3 Déterminer le débit

Pour les deux vérins ($\emptyset 125 \times 70$)

$$S_{\text{piston}} = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 12,5^2}{4}$$

$$S_{\text{piston}} = 122.72 \text{ cm}^2$$

$$S_{\text{annulaire}} = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \times (12,5^2 - 7^2)}{4}$$

$$S_{\text{annulaire}} = 84.23 \text{ cm}^2$$

- Débit nécessaire pour l'approche rapide ($V_a = 100 \text{ mm/s}$)

$$Q_a = S_{\text{piston}} \times V_a = 122.72 \times 10$$

$$Q_a = 1227.2 \text{ cm}^3/\text{s} = 73.63 \text{ L/min}$$

- Débit nécessaire pour le travail ($V_t = 12 \text{ mm/s}$)

$$Q_t = S_{\text{piston}} \times V_t = 122.72 \times 1.2$$

$$Q_t = 147.26 \text{ cm}^3/\text{s} = 8.83 \text{ L/min}$$

- Débit nécessaire pour la remontée ($V_r = 80 \text{ mm/s}$)

$$Q_r = S_{\text{annulaire}} \times V_r = 84.23 \times 8$$

$$Q_r = 673.84 \text{ cm}^3/\text{s} = 40.43 \text{ L/min}$$

3.3.2.4 Déterminer la puissance nécessaire aux vérins

$$P_{nec} = p_{nec} \times Q \quad (3.1)$$

Avec :

p_{nec} : Pression nécessaire pour le vérin.

$$p_{nec} = \frac{F_p}{S \times \eta} \quad (3.2)$$

η : Rendement du vérin ($0.85 \leq \eta \leq 0.95$)

- Pour la sortie de la tige

$$P_{nec,s} = \frac{F_p}{S \times \eta} \times Q_a = \frac{24\,000}{122.72 \times 0.9} \times 10^5 \times \frac{73.63 \times 10^{-3}}{60}$$

$$P_{nec,s} = 26\,665.94 \text{ W} \approx 26.67 \text{ kW}$$

- Pour le retour de la tige

$$P_{nec,r} = \frac{F_p}{S \times \eta} \times Q_r = \frac{24\,000}{84.23 \times 0.9} \times 10^5 \times \frac{40.43 \times 10^{-3}}{60}$$

$$P_{nec,r} = 21\,333.12 \text{ W} \approx 21.33 \text{ kW}$$

3.3.3 Dimensionnement de la tuyauterie

Les tuyaux ont un rôle important dans la transmission de l'énergie hydraulique entre les différents points de l'équipement. Alors, le dimensionnement de la tuyauterie dans un circuit hydraulique est très important. Pour un fluide circulant dans une conduite comportant des diamètres différents, la valeur absolue du débit Q est la même partout dans la conduite.

On prend la valeur du débit la plus grande ($Q = 73.63 \text{ L/min}$).

Le débit dans la conduite de refoulement a alimenté les deux vérins, d'où

$$Q = 2 \times 73.63 = 147.26 \text{ L/min} = 2454.33 \text{ cm}^3/\text{s}.$$

3.3.3.1 Déterminer les diamètres intérieurs des conduites

Le diamètre intérieur d'un tube se calcule avec la connaissance du débit ainsi que de la vitesse d'écoulement.

La vitesse d'écoulement courante recommandée dans l'hydraulique industrielle est donnée par le tableau suivant :

Tableau 3. 2 : Vitesse du fluide dans la conduite.

Pression de service	Aspiration	Refoulement	Retour
< 150 bars	0.8 à 1 m/s	3 à 4 m/s	2 à 3 m/s
< 250 bars	0.8 à 1 m/s	4 à 5 m/s	
>250 bars	0.5 à 0.8 m/s	5 à 7 m/s	

Donc le diamètre intérieur du conduit est donné par la formule suivante :

$$d_{int} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \quad (3.3)$$

- Dans les conduites d'aspirations ($V_a = 1 \text{ m/s}$)

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \times 2454.33}{\pi \times 100}} = 5.59 \text{ cm} \approx 56 \text{ mm} .$$

- Dans les conduites de refoulements ($V_{ref} = 5 \text{ m/s}$)

$$d_{ref} = \sqrt{\frac{4 \times 2454.33}{\pi \times 500}} = 2.49 \text{ cm} \approx 25 \text{ mm} .$$

- Dans les conduites de retour ($V_r = 3 \text{ m/s}$)

$$d_r = \sqrt{\frac{4 \times 2454.33}{\pi \times 300}} = 3.23 \text{ cm} \approx 32.3 \text{ mm} .$$

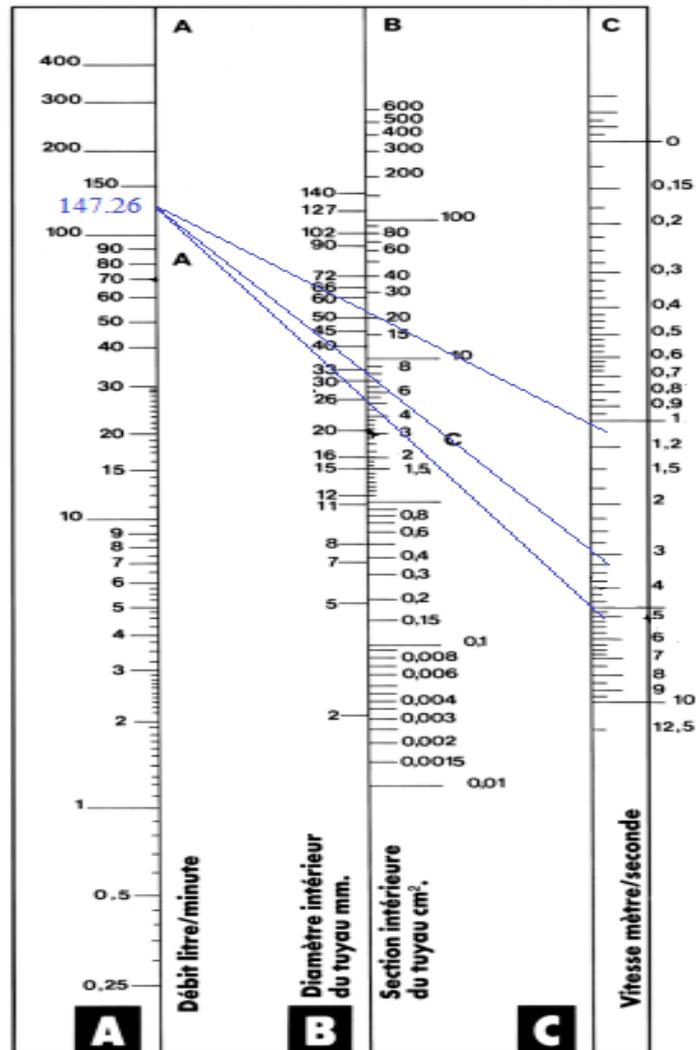


Fig 3. 4 : Abaque de calcul du diamètre des tuyauteries.

En se référant à l'abaque, les diamètres normalisés DN sont :

$$d_a = 60 \text{ mm} .$$

$$d_{ref} = 26 \text{ mm} .$$

$$d_r = 33 \text{ mm} .$$

3.3.3.2 Choix du fluide

Le régime d'écoulement d'un fluide peut être classé en deux catégories principales :

- **Régime laminaire**

Dans le régime laminaire, les particules du fluide se déplacent de manière ordonnée et prévisible. L'écoulement laminaire se produit généralement à des faibles vitesses, lorsque les dimensions de la conduite sont petites ou lorsque la viscosité du fluide est élevée.

Les pertes de charge dans un écoulement laminaire sont proportionnelles à la longueur du conduit, à la vitesse d'écoulement et à la viscosité du fluide.

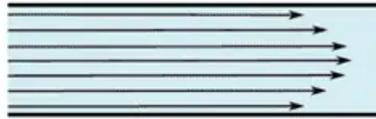


Fig 3. 5 : Régime laminaire.

- **Régime turbulent**

Dans le régime turbulent, les particules du fluide se déplacent de manière irrégulière. L'écoulement turbulent se produit généralement à des vitesses élevées, lorsque les dimensions de la conduite sont grandes ou lorsque la viscosité du fluide est faible (contrairement à l'écoulement laminaire).

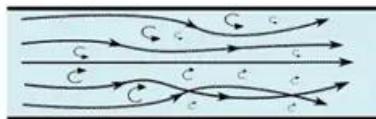


Fig 3. 6 : Régime turbulent.

Le nombre de Reynolds est une grandeur sans dimension largement utilisée en mécanique des fluides pour caractériser différents régimes d'écoulement. Il permet de déterminer si un écoulement est de nature laminaire ou turbulente. [6]

$$R_e = \frac{V \times d}{\nu} = \frac{V \times d \times \rho}{\mu} \quad (3.4)$$

Avec :

Re : Nombre de Reynolds.

d : Diamètre intérieure de la conduite en cm.

V : Vitesse de l'écoulement en m/s.

ν : Viscosité cinématique du fluide en mm^2/s ou [cSt].

μ : Viscosité dynamique en $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$.

ρ : Masse volumique en kg/m^3 .

Dans le cas

- $R_e < 2000$: l'écoulement est laminaire.
- $R_e > 2000$: l'écoulement est turbulent.

Pour assurer un écoulement en régime laminaire toute la longueur de la conduite ($Re < 2000$), il est essentiel de vérifier la viscosité du fluide en respectant la condition suivante.

$$\nu > \frac{V \times d}{Re} \quad (3.5)$$

- **Dans les conduites d'aspirations** ($V_a = 1$ m/s et $d_a = 60$ mm)

$$\nu > \frac{1000 \times 60}{2000} = 30 \text{ cSt.}$$

- **Dans les conduites de refoulement** ($V_{ref} = 5$ m/s et $d_{ref} = 26$ mm)

$$\nu > \frac{5000 \times 26}{2000} = 65 \text{ cSt.}$$

- **Dans les conduites de retour** ($V_r = 3$ m/s et $d_r = 33$ mm)

$$\nu > \frac{3000 \times 33}{2000} = 49.5 \text{ cSt.}$$

Classes ISO de viscosités	Limites de la viscosité cst à 40°	La valeur moyenne de la viscosité
ISO VG 2	1.98 à 2.42	2.2
ISO VG 3	2.88 à 3.52	3.2
ISO VG 5	4.14 à 5.06	4.6
ISO VG 7	6.12 à 7.48	6.8
ISO VG 10	9.00 à 11.0	10
ISO VG 15	13.5 à 16.5	15
ISO VG 22	19.8 à 24.2	22
ISO VG 32	28.8 à 35.2	32
ISO VG 46	41.4 à 50.6	46
ISO VG 68	61.2 à 74.8	68
ISO VG 100	90.0 à 110	100
ISO VG 150	135 à 165	150
ISO VG 220	198 à 242	220
ISO VG 320	288 à 350	320
ISO VG 460	414 à 506	460
ISO VG 680	612 à 748	680
ISO VG 1000	900 à 1100	1000
ISO VG 1500	1350 à 1650	1500

Tableau 3. 3 : Classification ISO de la viscosité des huiles.

Selon ce tableau, le fluide qu'on va utiliser est : ISO VG 68.

3.3.3.3 Pertes de charges dans la tuyauterie

Les pertes de charges représentent la chute de pression totale due aux divers frottements de particules du fluide les unes avec les autres et contre les parois de la conduite, ainsi que les changements brusques de direction. On distingue deux types de perte de charge :

- Les pertes de charge linéaires qui sont dues aux frottements du fluide sur les parois internes de la conduite.
- Les pertes de charge singulières qui sont dues aux différentes singularités du réseau comme les entrées et sorties, les réductions, les coudes, etc.

La perte de charge totale est la somme des pertes linéaires et singulières.

D'après le nombre de Reynolds on détermine la chute de pression qui est définie par la formule suivante :

$$\Delta p = \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{\rho}{2} \times V^2 \quad (3.6)$$

Δp : Perte de charge en Pa.

λ : Coefficient de perte de charge.

L: Longueur de la conduite en m.

Le coefficient de perte de charge λ dépend du type d'écoulement.

Si l'écoulement est laminaire :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3.7)$$

Si l'écoulement est turbulent :

$$\lambda = 0.316 \times Re^{-0.25} \quad (3.8)$$

- **Dans les conduites d'aspirations** ($V_a = 1$ m/s et $d_a = 60$ mm)

$$Re = \frac{1000 \times 60}{68} = 882.35$$

Donc

$$\lambda = \frac{64}{882.35} = 0.073$$

La longueur de la conduite d'aspiration est 0.6 m.

$$\Delta p_a = 0.073 \times \frac{0.6}{0.06} \times \frac{900}{2} \times 1^2 = 328.5 \text{ Pa.}$$

$$\Delta p_a = 328.5 \times 10^{-5} = 0.00328 \approx 0.0033 \text{ bar.}$$

- **Dans les conduites de refoulement** ($V_{ref} = 5$ m/s et $d_{ref} = 26$ mm)

$$Re = \frac{5000 \times 26}{68} = 1911.76$$

Donc

$$\lambda = \frac{64}{1911.76} = 0.033$$

La longueur de la conduite de refoulement est 2.8 m.

$$\Delta p_{ref} = 0.033 \times \frac{2.8}{0.026} \times \frac{900}{2} \times 5^2 = 39\,980.77 \text{ Pa.}$$

$$\Delta p_{ref} = 39\,980.77 \times 10^{-5} = 0.3998 \approx 0.4 \text{ bar.}$$

- **Dans les conduites de retour** ($V_r = 3 \text{ m/s}$ et $d_r = 33 \text{ mm}$)

$$R_e = \frac{3000 \times 33}{68} = 1\,455.88$$

Donc

$$\lambda = \frac{64}{1\,455.88} = 0.044$$

La longueur de la conduite de retour est 3.2 m.

$$\Delta p_r = 0.044 \times \frac{3.2}{0.033} \times \frac{900}{2} \times 3^2 = 11\,520 \text{ Pa.}$$

$$\Delta p_r = 11\,520 \times 10^{-5} = 0.1152 \approx 0.12 \text{ bar.}$$

3.3.4 Soupape de sécurité

La soupape de sécurité est un élément important, elle aide à prévenir les accidents causés par une surpression. Son choix s'effectue en fonction de la pression de tarage.

4.1 Déterminer la pression de tarage

$$p_0 = p + \Delta p + \Delta p_1 + \Delta p_2 \quad (3.9)$$

Avec

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_{ref} + \Delta p_r = 0.0033 + 0.4 + 0.12$$

$$\Delta p = 0.5233 \text{ bar}$$

$$\text{D'où : } p_0 = 195.57 + 0.5233 + 0.44 + 0.08$$

$$p_0 = 196.5833 \text{ bars}$$

On règle donc le tarage du limiteur de pression à une pression supérieure ou égale à 196.5833 bars.

4.1.1 Dimensionnement de limiteur de débit

Un limiteur de débit est un dispositif installé sur une ligne de tuyauterie afin de modifier la section de passage du fluide.

4.1.1.1 Déterminer les diamètres de passage

Le débit est l'image de la vitesse, c'est-à-dire quand on diminue le débit la vitesse diminue.

$$Q = V \times S \quad (3.10)$$

D'où :

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$$

- **Refoulement**

Pour établir la vitesse d'approche rapide, donc le diamètre de passage doit être égal à :

$$\sqrt{\frac{4 \times 2Q_a}{\pi \times V_{ref}}} = \sqrt{\frac{4 \times 2 \times 1227.2}{\pi \times 500}} = 25 \text{ mm.}$$

Pour établir la vitesse de travail, donc le diamètre de passage doit être égal à :

$$d_{pt} = \sqrt{\frac{4 \times 2Q_t}{\pi \times V_{ref}}} = \sqrt{\frac{4 \times 2 \times 147.26}{\pi \times 500}} = 8.7 \text{ mm.}$$

- **Retour**

Pour établir la vitesse de remontée, donc le diamètre de passage doit être égal à :

$$d_{pr} = \sqrt{\frac{4 \times 2Q_r}{\pi \times V_r}} = \sqrt{\frac{4 \times 2 \times 673.84}{\pi \times 300}} = 24 \text{ mm.}$$

4.1.1.2 Déterminer les pertes de charge

$$\Delta p = \xi \times \frac{\rho}{2} \times V^2 \quad (3.11)$$

Avec

ξ : Coefficient de perte de charge (égale à 1.93).

- **Refoulement**

$$\Delta p_1 = 1.93 \times \frac{900}{2} \times 5^2 = 21\,712.5 \text{ Pa.}$$

$$\Delta p_1 = 21\,712.5 \times 10^{-5} = 0.2171 \approx 0.22 \text{ bar.}$$

Tant qu'on a deux limiteurs de débit dans cette partie, donc :

$$\Delta p_1 = 0.22 \times 2 = 0.44 \text{ bar.}$$

- **Retour**

$$\Delta p_2 = 1.93 \times \frac{900}{2} \times 3^2 = 7\,816.5 \text{ Pa.}$$

$$\Delta p_2 = 7\,816.5 \times 10^{-5} = 0.078 \approx 0.08 \text{ bar.}$$

4.1.1.3 Puissance perdue par les pertes

$$P_p = \sum \Delta p \times Q \quad (3.12)$$

- **Pour la sortie de la tige**

$$P_{p,s} = \sum \Delta p_1 \times Q_a \quad (3.13)$$

Avec

$\sum \Delta p_1$: Somme des pertes de charge dans la conduite d'aspiration et refoulement ainsi que les pertes au niveau des limiteurs de débit présents dans le système.

D'où :

$$\sum \Delta p_1 = \Delta p_a + \Delta p_{ref} + \Delta p_1 = 0.0033 + 0.4 + 0.44$$

$$\sum \Delta p_1 = 0.8433 \text{ bar.}$$

$$P_{p,s} = 0.8433 \times 10^5 \times \frac{73.63 \times 10^{-3}}{60}$$

$$P_{p,s} = 103.49 \text{ W} \approx 0.1 \text{ kW.}$$

- **Pour le retour de la tige**

$$P_{p,r} = \sum \Delta p_1 \times Q_a + \sum \Delta p_2 \times Q_r + p_0 \times (Q_a - Q_r) \quad (3.14)$$

Avec

$\sum \Delta p_2$: Somme des pertes de charge dans la conduite d'aspiration et refoulement, en plus de cela on doit prendre en compte les pertes de charge dans la conduite de retour, ainsi que les pertes au niveau des limiteurs de débit présents dans le système.

D'où :

$$\sum \Delta p_2 = \Delta p_r + \Delta p_2 = 0.12 + 0.08$$

$$\sum \Delta p_2 = 0.2 \text{ bar.}$$

$$P_{p,r} = 103.49 + 0.2 \times 10^5 \times \frac{40.43 \times 10^{-3}}{60} + 196.5833 \times \left(\frac{(73.63 - 40.43) \times 10^{-3}}{60} \right)$$

$$P_{p,r} = 117.08 \text{ W} \approx 0.12 \text{ kW}$$

4.1.2 Dimensionnement de la pompe

La pompe hydraulique occupe une place centrale dans le circuit, c'est pourquoi il est essentiel de la protéger. Afin d'assurer cette protection et augmenter sa durée de vie, il est nécessaire de régler la pression maximale de la pompe à une valeur supérieure à la pression de service. La pression maximale spécifiée pour chaque vérin, incluant les pertes de charge dans le circuit, est 196.5833 bars donc on fixe la pression de la pompe à 200 bars.

Le débit maximal est $Q = 147.26 \text{ L/min}$.

Pour un moteur électrique tournant à une vitesse de 1800 tr/min, il est nécessaire d'utiliser une pompe de cylindrée :

$$Cyl = \frac{Q}{N} \quad (3.15)$$

$$Cyl = \frac{147.26 \times 10^3}{1800} = 81.81 \text{ cm}^3/\text{tour}$$

4.1.2.1 Déterminer la puissance fournie

- Pour la sortie de la tige

$$P_s = P_{nec,s} + P_{p,s} = 26.67 + 0.1$$

$$P_s = 26.77 \text{ kW}$$

- Pour la rentrée de la tige

$$P_r = P_{nec,r} + P_{p,r} = 21.33 + 0.12$$

$$P_r = 21.45 \text{ kW}$$

4.1.2.2 Déterminer la puissance absorbée

$$P_{abs} = \frac{p \times Q}{600} = \frac{195.57 \times 147.26}{600}$$

$$P_{abs} = 47.99 \text{ kW} \approx 48 \text{ kW}$$

4.1.2.3 Déterminer le couple

$$C = \frac{P_{abs}}{\omega} = \frac{P_{abs} \times 60}{2 \times \pi \times N} \quad (3.16)$$

$$C = \frac{48 \times 10^3 \times 60}{2 \times \pi \times 1800} = 254.65 \text{ N.m}$$

Le type de la pompe couramment utilisée est la pompe hydraulique à pistons axiaux ou pompe hydraulique à engrenage.

4.1.2.4 Déterminer la puissance du moteur électrique

$$P_e = \frac{P_{abs}}{\eta} \quad (3.17)$$

Avec

η : Rendement de moteur (égale à 88%)

$$P_e = \frac{48}{0.88} = 54.54 \text{ kW}$$

4.1.3 Dimensionnement de réservoir

Le volume du fluide recommandé dans un réservoir hydraulique dépend de l'application, notamment dans les contextes industriels, où il est généralement recommandé d'avoir un volume de fluide équivalent à 3 à 5 fois le débit de la pompe, exprimé en litre/minute.

$$V = 3 \times Q \quad (3.18)$$

$$V = 3 \times 147.26 = 441.78 \text{ L}$$

4.1.4 Filtre

La pollution des circuits hydrauliques est l'une des principales causes de panne et d'usure prématurée des composants hydrauliques. De ce fait, l'ajout d'une filtration est nécessaire pour réduire les défaillances des éléments du circuit.

Le filtre est généralement positionné sur les conduites de retour d'huile.



Fig 3. 7 : Filtre hydraulique.

4.1.5 Choix de distributeur

Le distributeur hydraulique joue un rôle central dans le fonctionnement d'un système hydraulique en distribuant le fluide sous pression vers les actionneurs et en assurant le retour du fluide vers le réservoir.

Le choix du distributeur est déterminé par plusieurs facteurs, tels que le débit nécessaire, la pression de fonctionnement et le type de commande souhaité (manuelle, hydraulique, pneumatique ou électrique).

Après avoir effectué des recherches sur les distributeurs disponibles dans les boutiques en ligne, nous avons identifié un distributeur à tiroir 4/3 (4 orifices et 3 positions) à centre tandem du fabricant **Bosch Rexroth**, référence R901371456 qui présente les caractéristiques suivantes :

Le débit maximal : 148 L/min.

La pression maximale : 350 bars.

Type d'actionnement : actionné par électroaimant.

Raccord : ISO 4401-05-04-0-05

Type de raccordement : empilage d'embase.



Fig 3. 8: Distributeur à tiroir 4/3 (4 orifices et 3 positions) à centre tandem du fabricant Bosch Rexroth.

4.2 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué le calcul des dimensions des éléments du circuit hydraulique de la presse plieuse. Tout d'abord, nous avons pris en compte les conditions spécifiées dans le cahier de charge pour déterminer la force nécessaire au pliage. Cette force au pliage est déterminante pour dimensionner les éléments de circuit hydraulique tels que les vérins, la tige et le piston ainsi que la tuyauterie. De cela, on a pu poursuivre le processus de calcul.

Le dimensionnement du circuit hydraulique d'une presse plieuse est une étape essentielle pour garantir son bon fonctionnement et sa performance optimale.

Pour valider le dimensionnement et le choix de composants lors du dimensionnement du circuit hydraulique, il faut simuler ce circuit sous automation studio, c'est par là que commence ce dernier chapitre.

Chapitre 4

*Simulation du circuit sous
Automation Studio*

4.1 Introduction

Automation Studio est utilisé par des milliers d'entreprises et d'institutions à travers le monde. Il est utilisé pour une variété de tâches liées à la conception, la simulation et l'optimisation des systèmes d'automatisation. Grâce à ses fonctionnalités avancées, il permet aux ingénieurs d'accélérer le processus de développement, de réduire les erreurs de conception et d'améliorer les performances des systèmes automatisés.

4.2 Présentation de logiciel Automation Studio

Automation Studio est un logiciel de conception, d'animation et de simulation dédié à l'automatisation industrielle. Ce logiciel permet aux ingénieurs et aux techniciens de concevoir efficacement et avec précision des schémas électriques, des circuits hydrauliques et pneumatiques, des systèmes de contrôle et des interfaces homme-machine (IHM).

Automation Studio fournit un environnement où tous les outils de conception sont à la portée de main. Son système de base contient trois utilitaires : un éditeur de schémas, un explorateur de projets et un explorateur de bibliothèques. Le premier permet la création des schémas de simulation et de créer des rapports, le second assure les principales fonctions de gestion des fichiers et d'archivage de tous les documents reliés à un projet de simulation et le troisième gère et fournit des bibliothèques de symboles qui servent à réaliser des schémas constituant vos projets. [9]

Le logiciel offre une large gamme d'outils et de fonctionnalités, y compris la simulation de circuits, la programmation de contrôleurs, la génération de documentation technique et la création d'environnements virtuels pour tester les systèmes automatisés. Ces fonctionnalités permettent aux utilisateurs d'identifier et corriger les erreurs de conception, d'optimiser les performances et de réduire les coûts associés aux tests sur le terrain.

4.3 Bibliothèques

Dans notre travail on va utiliser deux bibliothèques : la bibliothèque hydraulique et la bibliothèque électrique.

4.3.1 Bibliothèque hydraulique

La bibliothèque hydraulique propose une sélection de composantes hydrauliques, y compris des pompes, des vérins, des valves, des filtres, réservoirs, distributeurs, etc. Les utilisateurs peuvent créer des circuits hydrauliques en utilisant ces composants ou en créant leur propre composant.

Ces composants permettent la conception et la modélisation des systèmes hydrauliques.

4.3.2 Bibliothèque électrique :

La bibliothèque électrique contient une gamme de symboles électriques qui permet aux ingénieurs de créer des schémas précis et complets. Parmi ces composants, on trouve des contacteurs, des relais, des interrupteurs, des capteurs. Ces composants électriques peuvent être utilisés pour créer des schémas électriques et des circuits de commande.

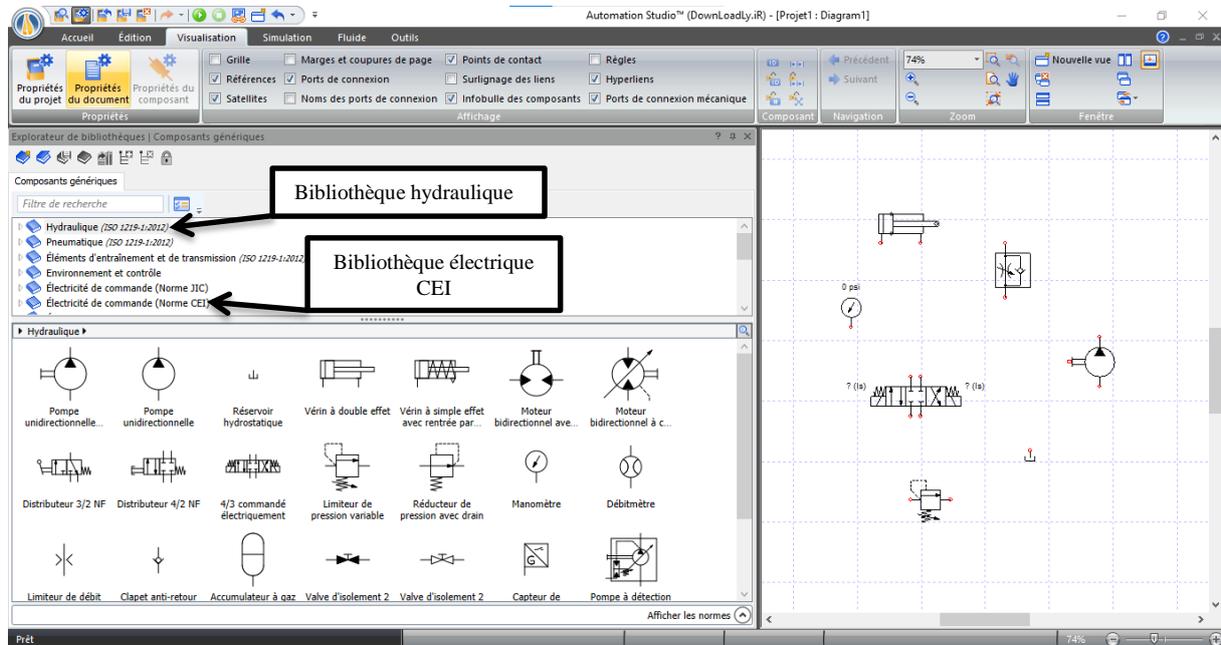


Fig 4. 1 : Bibliothèques utilisées.

4.4 Circuit hydraulique de la presse plieuse

4.4.1 Principe de fonctionnement

Le schéma présente un circuit hydraulique avec commande électrique pour contrôler le mouvement des deux vérins. Ce circuit est constitué d'un réservoir, une pompe à cylindrée fixe, un moteur électrique, 3 distributeurs hydrauliques (un distributeur 4/3 à centre tandem avec commandes électriques et ressorts de rappels et deux distributeurs 2/2 NO à commande électrique), deux vérins double effets, ainsi que les éléments de protection et de régulation.

Une fois que le circuit est assemblé, on va passer au mode simulation pour vérifier son fonctionnement.

La pompe hydraulique est entraînée par un moteur électrique qu'on a démarré, et se met en mouvement. Cela permet à la pompe d'aspirer l'huile filtrée dans le réservoir. Initialement, le distributeur n'est pas actionné donc le fluide revient au réservoir sans être utilisé.

Lorsque l'électrovanne KM1 est actionnée, la pompe refoule le fluide vers le côté fond des deux vérins et le fluide de côté tige de ces vérins s'écoule dans le réservoir passant par les

distributeurs D1 et D2 ainsi que les régulateurs de débit. Ce qui provoque la sortie simultanée et rapide de ces tiges.

Quand les pistons touchent les capteurs A1 et B1, les électrovannes KM3 et KM4 seront actionnées respectivement donc le fluide passe uniquement par le régulateur de débit vers le réservoir. Cette configuration permet une descente lente et contrôler les vérins, ce qui marque le début de l'opération de pliage. Le distributeur retourne à sa position initiale par le ressort quand les pistons touchent A2 et B2.

L'actionnement de l'électrovanne KM2 entraine le retour de la tige à sa position initiale, donc le fluide rentre dans le côté tige des vérins passant par le clapet anti-retour et le régulateur de débit et le fluide dans le côté fond s'échappe vers le réservoir.

4.4.2 Circuit de puissance hydraulique avec commande électrique

La figure 4.2 présente la représentation sous Automation Studio de la conception du circuit de puissance hydraulique avec commande électrique.

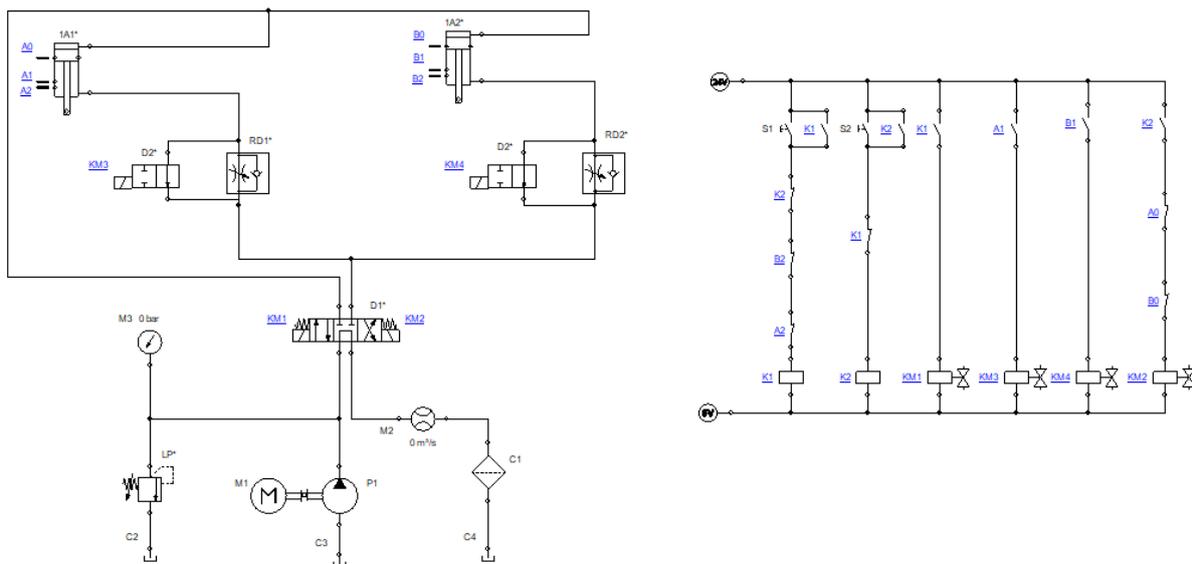


Fig 4. 2 : Schéma du circuit de puissance hydraulique avec commande électrique.

Tableau 4. 1 : description des composants du circuit.

Désignation	Description	Désignation	Description
1A1, 1A2	Vérin double effet	K1, K2	Bobine de sortie
LD	Limiteur débit	RD1, RD2	Régulateur de débit
D2, D3	Distributeur 2/2 NF	M1	Moteur électrique
C4, C2, C3	Réservoir	M2	Débitmètre
C1	Filtre	M3	Manomètre
P1	Pompe hydraulique	S1, S2	Bouton poussoir
D1	Distributeur 4/3 (électro-aimants et ressorts)	KM1, KM2, KM3, KM4	Solénoïde, CC/CA

4.5 Résultat de simulation et interprétations

Pour trouver les résultats de la simulation, on doit introduire les paramètres des composants déjà calculés.

4.5.1 Lors de la sortie rapide

L'appui sur le bouton poussoir S1 démarre le circuit, la bobine K1 est alimentée, ce qui entraîne la fermeture de contact K1 et alimente l'électro-aimant KM1, ce qui contrôle le distributeur D1 et le déplace vers la droite et alimente les deux vérins simultanément. On obtient l'avance rapide des tiges.

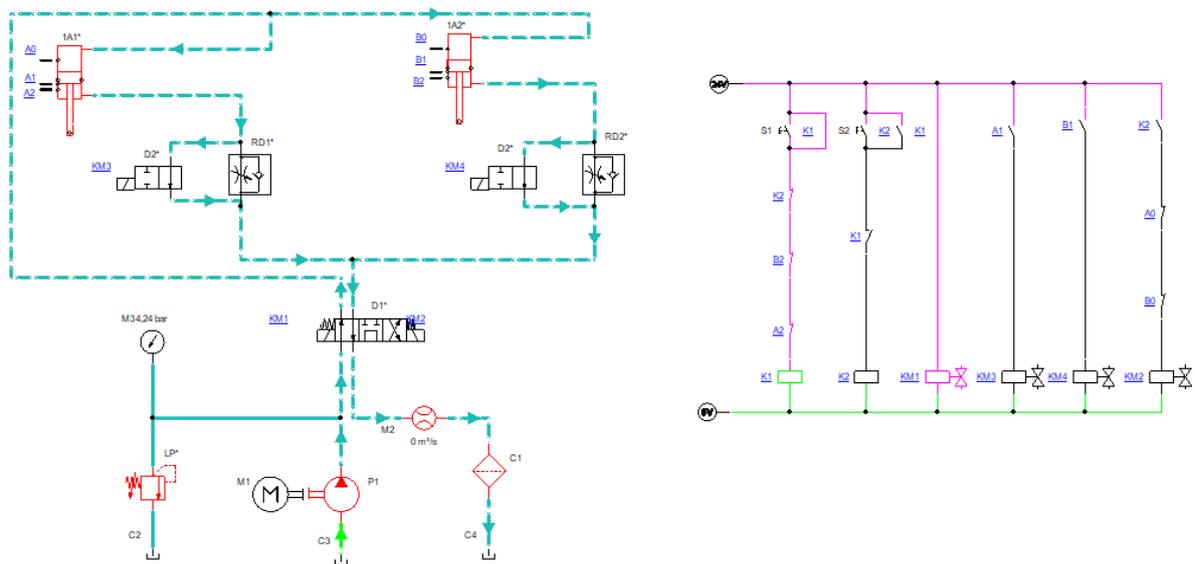


Fig 4. 3 : Présentation de la sortie lente de la tige des deux vérins.

4.5.2 Lors de la sortie lente

Lorsque le piston des vérins touche les capteurs A1 et B1, les contacteurs A1 et B1 se ferment, ce qui alimente les électro-aimants KM3 et KM4. Les distributeurs D2 et D3 se déplacent alors vers la droite, de cela on obtient la sortie lente.

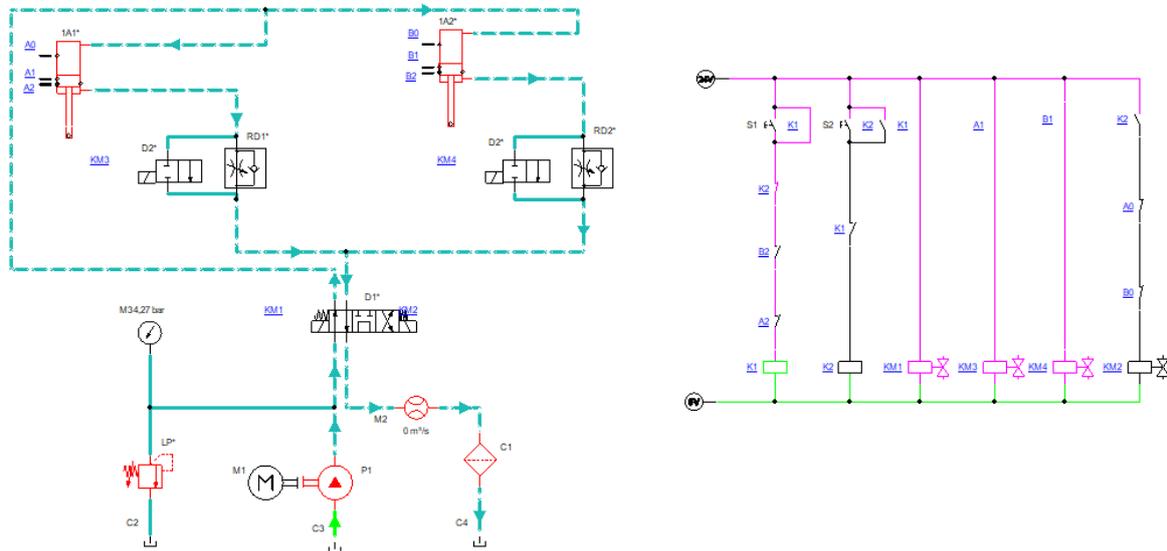


Fig 4. 4 : Présentation de la sortie lente de la tige des deux vérins.

4.5.3 Lors de retour

Quand on appuie sur le bouton poussoir S2, la bobine K2 est alimentée, ce qui entraîne la fermeture du contacteur K2. Ce dernier alimente l'électro-aimant KM2. Le distributeur D1 est piloté par l'électro-aimant donc il va se déplacer vers la gauche. Cela permet le retour de la tige des deux vérins.

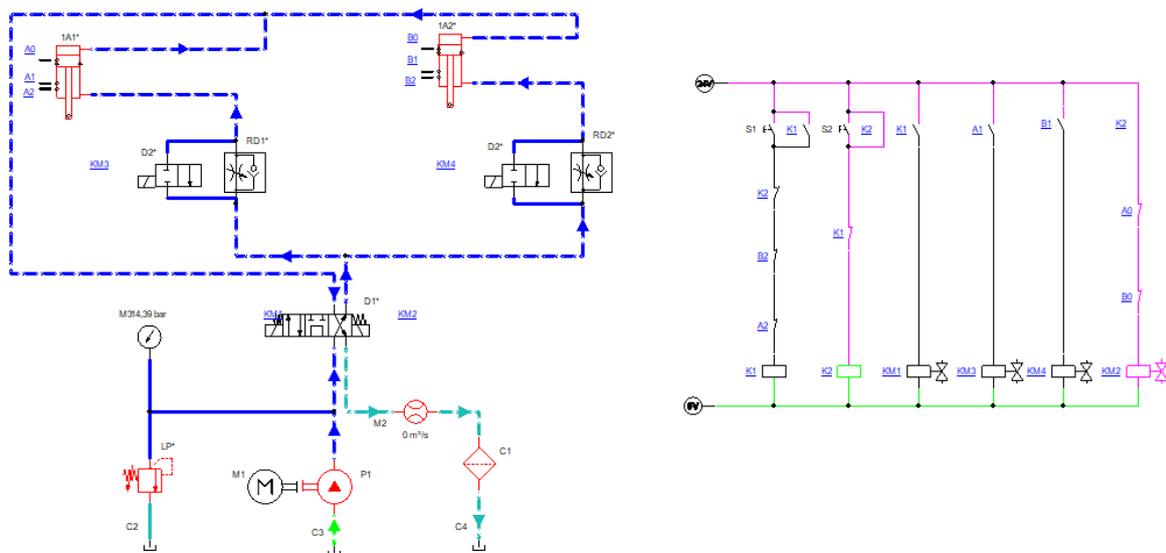


Fig 4. 5 : Présentation de retour des tiges.

4.5.4 Interprétations

4.5.4.1 Vitesse

La figure 4.6 présente les vitesses des vérins durant un cycle va et vient.

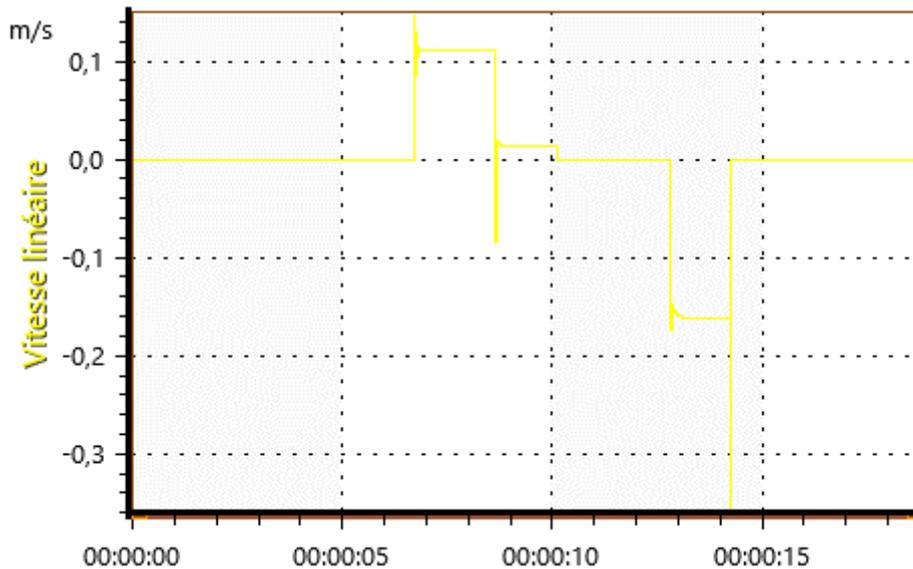


Fig 4. 6 : Courbe de la vitesse de déplacement des tiges des vérins.

La figure 4.6 représente la vitesse de déplacement des tiges des deux vérins en m/s.

En examinant la courbe, nous constatons qu'au début, la vitesse est nulle, ce qui correspond au moment où les tiges des vérins se trouvent à leur position initiale. Ensuite, au bout d'un moment, la vitesse de sortie augmente jusqu'à elle atteint la valeur maximale. Cette augmentation indique que la sortie des tiges.

Puis, la vitesse diminue, à fin de concentrer un couple élevé au toucher de la pièce métallique. Une fois que l'opération est faite, la vitesse est à zéro.

Ensuite, la courbe devient négative, ce qui signifie que les tiges des vérins entament leur mouvement de rentrée. La vitesse de rentrée est représentée par une valeur négative, indiquant que les tiges des vérins se déplacent vers l'intérieur avec une vitesse élevée.

Finalement la tige du vérin atteint sa position initiale, la vitesse de rentrée devient de nouveau 0 m/s.

Donc, on peut distinguer deux cycles de vitesse : Grande vitesse et faible vitesse. Le cycle de grande vitesse est destiné à améliorer la cadence de production. L'opération de déplacement se fait de sorte que la tige ne perd pas trop de temps dans son déplacement vers la pièce ou pendant le retour à sa position initiale. Le deuxième cycle est lors de l'opération de compression de la plaque métallique. Une grande force est nécessaire dans cette phase et la puissance hydraulique transmise vers le vérin est transformée en un couple de compression.

4.5.4.2 Position

La figure 4.7 illustre la position d'un vérin pendant un cycle.

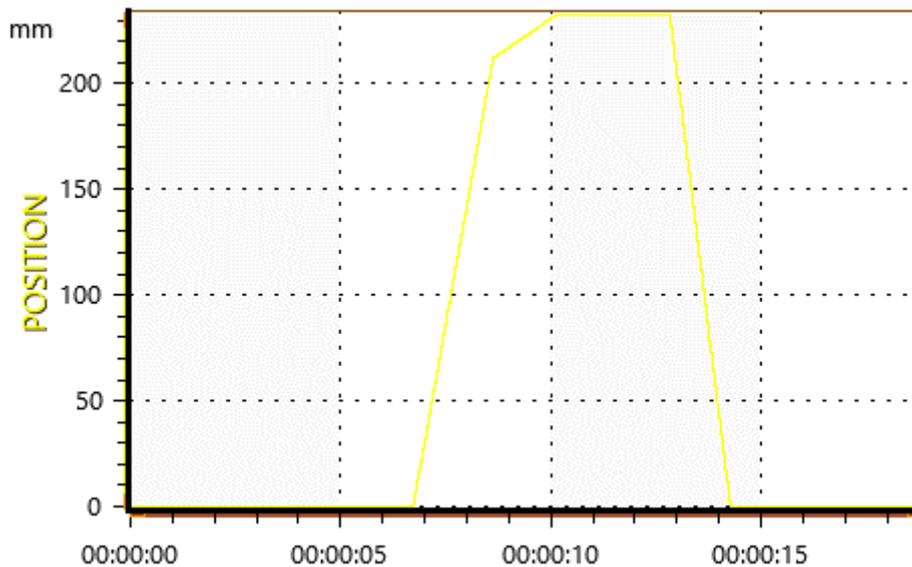


Fig 4. 7 : Courbe de la position des tiges des vérins.

La figure 4.7 représente le déplacement des tiges des deux vérins en mm en fonction de temps en s.

D'après cette courbe, nous constatons que les tiges des vérins se trouvent à leur position initiale. Ensuite, les tiges des vérins effectuent la course rapide, indiquée par la pente croissante sur le graphique. Pendant cette phase, les tiges des vérins se déplacent rapidement. Après cette phase, ces tiges entrent dans la phase de travail, ce qui est indiqué par une pente moins prononcée sur le graphique. Ensuite, la courbe reste constante pendant un certain temps, correspondant au temps de maintien du distributeur.

Enfin, les vérins entament la phase de rentrée de leurs tiges, indiquée par une pente décroissante. Pendant cette phase, la position de ces tiges diminue progressivement jusqu'à revenir à la position initiale.

4.6 Conclusion

Dans ce quatrième et dernier chapitre, nous avons réalisé la simulation du circuit hydraulique à commande électrique à l'aide d'Automation Studio, afin d'évaluer la compatibilité des composants du système hydraulique. Avant d'exécuter la simulation, on a configuré les paramètres nécessaires pour générer les courbes de la vitesse et la position des deux vérins, qui représentant le fonctionnement du système.

Conclusion générale

Conclusion générale

La transmission de la puissance hydraulique est devenue de nos jours un domaine très vaste et incontournable, en particulier dans l'industrie métallurgique. C'est pourquoi nous avons choisi d'étudier en détails la presse plieuse hydraulique, qui est considérée comme les machines les plus utilisées dans ce domaine. La plus grande démarche pour mise en place de ce genre de système est son dimensionnement.

Ce mémoire est porté sur le dimensionnement puis la commande d'une presse plieuse hydraulique. L'étude approfondie du circuit hydraulique de la presse plieuse était au cœur de notre travail. Le dimensionnement précis des composants, tels que le vérin et les tiges, ainsi que le calcul de la pression et les pertes de charges dans les différentes conduites, étaient essentiel pour assurer le bon fonctionnement de la presse. Cela nous a appris de choisir soigneusement les composants en fonction des besoins spécifiques de la presse plieuse, tels que l'épaisseur et la longueur de la tôle à plier.

Parallèlement, l'utilisation du logiciel de simulation Automation Studio a été une étape importante de ce travail. Ce logiciel permet facilement de suivre l'écoulement du fluide hydraulique contrairement aux autres logiciels. Donc, il permet facilement de détecter les lacunes dans les circuit complexes. Et cela, nous a permis de comprendre pleinement l'importance de la simulation dans la conception des systèmes hydrauliques. Grâce à l'Automation studio, nous avons pu suivre le cycle de fonctionnement, analyser la corrélation entre les différents paramètres et interpréter des graphiques générés. Cette simulation joue un rôle clé dans la validation de nos choix de conception.

Bibliographies

- [1] Entreprise de L'ENMTP. (s.d.). Consulté le 03 30, 2023, sur <https://www.enmtp.com/presentation-2/>
- [2] Cyril, M. (2020, juin 08). Statique des fluides - Lois et exemples d'applications. *culture science physique*. Consulté le avril 5, 2023, sur <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/statique-fluides.xml>
- [3] S.ARORA, E. J. (1979). *Mechanical and Structural Systems*. Canada. Consulté le avril 20, 2023, sur https://www.researchgate.net/profile/Edward-Haug-2/publication/327630206_Applied_Optimal_Design/links/5b9a68e145851574f7c3d08a/Applied-Optimal-Design.pdf
- [4] Pliage . (s.d.). Consulté le avril 20, 2023, sur http://tspeed.free.fr/08_1/JJGpliage.pdf
- [5] Arno Schmitt. (1981). *Le Cours d'hydraulique : ouvrage d'enseignement et d'informations sur l'hydraulique* (éd. Réimpr. 1986). (M. R. Gmbh, Éd.) French. Consulté le Mai 10, 2023, sur <https://www.worldcat.org/title/cours-dhydraulique-ouvrage-denseignement-et-dinformations-sur-lhydraulique/oclc/490484365?referer=di&ht=edition>
- [6] Diez, J. (1984, janvier 1). L'Hydraulique Industrielle Appliquée. Consulté le Mai 10, 023, sur <https://www.eyrolles.com/Loisirs/Livre/l-hydraulique-industrielle-appliquee-9782281310429/>
- [7] Palgrave, R. (2003). *Troubleshooting Centrifugal Pumps and Their Systems*. Consulté le 2023, sur <https://www.sciencedirect.com/book/9781856173919/troubleshooting-centrifugal-pumps-and-their-systems#book-info>
- [8] Ducos, C. (1999). *Oléo-hydraulique: Recueil de schémas et de problèmes*. Consulté le juin 1, 2023, sur <https://www.amazon.fr/O1%C3%A9o-hydraulique-Recueil-sch%C3%A9mas-probl%C3%A8mes-Ducos/dp/2852068729>
- [9] FAMIC Technologies Inc. Guide de l'utilisateur d'Automation studio. (Référence du document : AS5-FF01-001).

Résumé

Ce mémoire concentre sur le dimensionnement et la commande d'une presse plieuse hydraulique spécifiquement pour l'entreprise FAGECO de BEJAIA. Les recherches réalisées ont pour objectif d'étudier en détails le circuit hydraulique de la presse plieuse, d'identifier les composants nécessaires, de déterminer les méthodes de dimensionnement approprié et les techniques de commande adaptées.

Les recherches se concentrent sur l'évolution des spécifications des performances requises pour la presse plieuse hydraulique, en prenant en compte les besoins spécifiques de l'entreprise. Cela impliquera une analyse approfondie des caractéristiques des tôles à plier.

En parallèle, les différents composants du circuit hydraulique seront examinés pour déterminer leurs capacités, leurs caractéristiques et leurs compatibilités avec la presse plieuse. Les méthodes de dimensionnement appropriées seront étudiées afin d'assurer un fonctionnement optimal du circuit hydraulique en prenant en compte les forces, les pressions et les vitesses impliquées dans le processus de pliage.

Enfin, les recherches s'examineront les techniques de commande, en explorant les possibilités de systèmes de contrôle électrique.

Mots clés : presse hydraulique, pompe, vérin, commande électrique.

Abstract

The dissertation focuses on the sizing and controlling of a hydraulic press brake specifically for the FAGECO Company in BEJAIA. The aim of the research carried out is to study the hydraulic circuit of the press brake in details, identify the necessary components, determine the appropriate sizing methods and suitable control techniques.

The research will focus on the evolution of the performance specifications required for the hydraulic press brake, taking into account the company's specific needs. This will involve in-depth analysis of the characteristics of the sheets to be bent.

In parallel, the various components of the hydraulic circuit will be examined to determine their capacities, characteristics and compatibility with the press brake. Appropriate sizing methods will be studied to ensure optimum operation of the hydraulic circuit, taking into account the forces, pressures and speeds involved in the bending process.

Finally, research will examine control techniques, exploring the possibilities of electrical control systems.

Key words: hydraulic press, pump, linear actuator, electric control.