

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Génie électrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Electromécanique
Spécialité : Electromécanique
Thème

Etude et simulation d'une installation hydraulique industrielle

Présenté Par :

- 1) Mr. Abdelaziz DERRAR
- 2) Mr. Said BOUHADJLA

Devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------------------------|---------|------------------------------|--------------|
| Mr. Aissou MASSINSSA | MCA | Université d'Ain Temouchent | Président |
| Mr. Zine El Abidine HARCHOUCHE | Docteur | Université de Sidi bel abbès | Examineur |
| Mr. Tayeb KEBIR | Docteur | Université de Sidi bel abbès | Encadreur |
| Mr. Noredine MECIRDI | MAA | Université d'Ain Temouchent | Co-Encadreur |

Année universitaire 2020/2021

Résumé

Résumé :

L'hydraulique est une partie de la mécanique des fluides qui étudie la dynamique des fluides. Actuellement, cette science est l'un des fondements des industries modernes. Le but de ce travail est d'étudier le dimensionnement et la simulation d'une installation hydraulique industrielle à partir du cas d'une table élévatrice. Les résultats obtenus par simulation réalisée à l'aide du logiciel Matlab sont validés par rapport à ceux donnés par le dimensionnement.

Abstract:

Hydraulics is a part of fluid mechanics that studies the dynamics of fluids. Currently, this science is one of the foundations of modern industries. The purpose of this work is to study the dimensioning and simulation of an industrial hydraulic installation using the case of a lifting table. The results obtained by simulation carried out using Matlab software are validated against those given by the dimensioning.

ملخص :

الهيدروليك هو جزء من ميكانيك الموائع الذي يتعامل مع حركة السوائل. يعتبر حاليا هذا العلم من أهم أسس الصناعات الحديثة. الغرض من هذا العمل هو دراسة المكونات الهيدروليكية الأساسية عن طريق محاكاة و تحديد الأبعاد لطاولة الرفع الهيدروليكية. تم التحقق من صحة النتائج المتحصل عليها من المحاكات التي أجريت باستخدام برنامج **ماتلاب** و قربها من المعطيات التي يقدمها المصنع

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein d'Université de Ain Temouchent grâce à l'aide qui m'a été apportée par plusieurs personnes.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à monsieur le docteur Tayeb KEBIR de l'Université de Sidi Bel Abbés pour avoir accepté d'encadrer scientifiquement cette mémoire, de m'avoir guidé et soutenu tout au long de cette étude.

Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude. Mes remerciements vont aussi à monsieur Nour Edine MECIRDI pour avoir accepté de m'encadrer et me guider tout au long de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je tiens aussi à remercier le monsieur Massinissa AISSOU pour avoir accepté de présider ce jury. Qu'il trouve ici l'expression de mes vifs remerciements. Je remercie aussi monsieur le docteur Zine El Abidine HARCHOUCHE particulièrement pour l'intérêt qu'il apporté à ce travail et avoir accepté de faire partie du jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Dédicaces de DERRAR Abdelaziz

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, à ma femme et mes petites filles WISSAL et DJOUMANA sans oublier mes frères et mes sœurs ainsi que mes amies de loin ou de proches surtout Belhachem Rachid je lui adresse un Mercie particulier pour sa coopération durant mes études, A tous les enseignants du département de Génie Electrique qui ont contribué à ma formation et il sera spécialement pour Mr KEBIR TAYEB

DERRAR ABDELAZIZ

Dédicaces de BOUHADJLA Said

A mes chers parents

A mes chères sœurs

A mes chers frères

A toute ma famille

A Tous mes amis et toutes mes amies...

Said BOUHADJLA

Table des matières

| | |
|---|----------|
| Résumé..... | i |
| Remerciements..... | ii |
| Dédicaces de <i>DERRAR Abdelaziz</i> | iii |
| Dédicaces de <i>BOUHADJLA Saïd</i> | iv |
| Table des matières..... | v |
| Listes des figures..... | vii |
| Listes des tableaux..... | ix |
| Introduction Générale..... | 1 |
| Chapitre I : Généralités sur l'hydraulique et pneumatique..... | 2 |
| I.1. Introduction..... | 2 |
| I.2. Bref Historique..... | 2 |
| I.3. Concept de l'hydraulique..... | 2 |
| I.4. Choix d'un fluide hydraulique..... | 3 |
| I.5. Système à air comprimé versus hydraulique..... | 3 |
| I.6. Champs d'études de l'hydraulique..... | 3 |
| I.7. Les études hydrauliques..... | 4 |
| I.8. Réseau hydraulique..... | 5 |
| I.9. Énergie pneumatique..... | 5 |
| I.9.1. Principes de mise en œuvre..... | 6 |
| I.9.2. Bases de la modélisation physique..... | 6 |
| I.9.3. Estimation de l'énergie [2]..... | 7 |
| I.9.4. Classification des systèmes pneumatiques..... | 8 |
| I.10. Domaine d'utilisation de l'hydraulique industrielle..... | 9 |
| I.11. Transmission de puissance..... | 10 |
| I.11.1. Qualités d'une transmission de puissance..... | 10 |
| I.12. Exemples d'utilisation..... | 11 |
| I.12.1. Bétonnière hydraulique..... | 11 |
| I.12.2. Unité d'ultrafiltration dans une station de dessalement..... | 12 |
| I.13. Conclusion..... | 14 |
| Chapitre II : Composants hydrauliques..... | 2 |
| II.1. Introduction..... | 15 |
| II.2. Moteur hydraulique..... | 15 |
| II.1.2. Symboles du moteur hydraulique..... | 15 |
| II. 1.3. Choix du moteur hydraulique..... | 16 |
| II. 3. Pompe hydraulique..... | 17 |
| II. 3.1. Principe de fonctionnement..... | 17 |

| | |
|---|-----------|
| II.3.2. Symbole de la pompe hydraulique | 17 |
| II.3.3. Différents types de pompes | 18 |
| II.3.5. Choix de la pompe hydraulique | 28 |
| II.4. Vérins hydrauliques | 29 |
| II.4.1. Symboles | 30 |
| II.4.2. Architecture du vérin hydraulique..... | 31 |
| II.4.3. Choix des vérins hydrauliques | 33 |
| II.5. Distributeurs | 34 |
| II.5.1. Architecture d'un distributeur | 34 |
| II.5.2. Nombre de position..... | 34 |
| II.5.3. Nombre d'orifice..... | 35 |
| II.5.4. Symbolisation | 36 |
| II.5.5. Type des distributeurs | 36 |
| II.5.6. Types des commandes | 36 |
| II.5.7. Fonctionnement d'un distributeur | 37 |
| I.6. Appareils de contrôle du débit..... | 38 |
| II.6.1. Limiteurs de débit (ou réducteur de débit) | 38 |
| II.6.2. Régulateurs de débit..... | 39 |
| II.7. Régulateur de la pression | 39 |
| II.7.1. Limiteurs de pression | 40 |
| II.7.2. Réducteurs de pression | 40 |
| II.7.3. Valves de séquence | 41 |
| II.7.4. Accumulateurs | 41 |
| II.8. Filtration | 42 |
| II.9. Huile | 44 |
| II.10. Bâches..... | 46 |
| II.11. Règles d'exécution des schémas..... | 46 |
| II.12. Types de circuits (ouverts ou fermés) | 48 |
| II.13. Pertes dans les circuits hydrauliques hydrostatiques | 49 |
| II.14. Exemple d'un système hydraulique | 50 |
| II.15. Conclusion | 51 |
| Chapitre 3 : Dimensionnement et simulation d'un système hydraulique – Cas de table élévatrice | 15 |
| III.1. Introduction | 52 |
| III.2. Description de la table élévatrice hydraulique | 52 |

| | |
|--|-----------|
| III.2.1. Composition | 52 |
| III.2.2. Principe de fonctionnement | 53 |
| III.2.3. Avantage da la table élévatrice hydraulique | 54 |
| III.2.4. Principales applications | 55 |
| III.3. Dimensionnement de table élévatrice | 55 |
| III.3.1. Vérin hydraulique | 55 |
| III.3.2. Moteur hydraulique | 59 |
| III.3.3. Détermination des débits | 61 |
| III.3.4. Détermination de la pompe hydraulique | 63 |
| III.3.5. Tuyauteries du vérin | 65 |
| III.4. Partie de simulation | 67 |
| III.4.1. Simulation du système mécanique | 67 |
| III.4.2. Simulation du Système hydraulique | 68 |
| III.5. Résultats et interprétations..... | 70 |
| III.5.1. Trajectoire de la table élévatrice | 71 |
| III.5.2. Vitesse du mouvement de la table | 71 |
| III.5.3. Débit d'écoulement d'huile | 74 |
| III.5.4. Pression d'huile | 74 |
| Conclusion Générale | 76 |
| Références bibliographiques..... | 77 |

Listes des figures

| | |
|---|----|
| FIGURE I. 1. PRINCIPE DE TRANSMISSION DE PUISSANCE | 10 |
| FIGURE I. 2. BETONNIERE HYDRAULIQUE | 12 |
| FIGURE I. 3. STATION POMPAGE DE L'EAU DE MER..... | 13 |
| FIGURE I. 4. UNITE D'ULTRAFILTRATION (TRAIN) | 13 |
| | |
| FIGURE II. 1. LES SYMBOLES NORMALISES DES MOTEURS HYDRAULIQUES..... | 15 |
| FIGURE II. 2. LES SYMBOLES NORMALISES DES POMPES | 17 |

| | |
|---|----|
| FIGURE II. 3. CLASSIFICATION DES POMPES..... | 18 |
| FIGURE II. 4. VUE DESCRIPTIVE DE LA POMPE CENTRIFUGE..... | 19 |
| FIGURE II. 5. STATION POMPAGE DE L'EAU POTABLE..... | 20 |
| FIGURE II. 6. POMPE VOLUMETRIQUE LINEAIRE..... | 21 |
| FIGURE II. 7. POMPE VOLUMETRIQUE ROTATIVE..... | 21 |
| FIGURE II. 8. CLASSIFICATION DES POMPES VOLUMETRIQUES..... | 22 |
| FIGURE II. 9. POMPE A LOBES..... | 24 |
| FIGURE II. 10. POMPE A MEMBRANE (DIAPHRAGME)..... | 26 |
| FIGURE II. 11. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE A MEMBRANES..... | 26 |
| FIGURE II. 12. FONCTIONNEMENT D'UN VERIN..... | 29 |
| FIGURE II. 13. ARCHITECTURE D'UN VERIN HYDRAULIQUE..... | 31 |
| FIGURE II. 14. SORTIE DU VERIN..... | 33 |
| FIGURE II. 15. ENTREE DU VERIN..... | 33 |
| FIGURE II. 16. VITESSE DE SORTIE DU VERIN..... | 34 |
| FIGURE II. 17. ARCHITECTURE D'UN DISTRIBUTEUR..... | 34 |
| FIGURE II. 18. DISTRIBUTEURS A DEUX POSITIONS..... | 34 |
| FIGURE II. 19. DISTRIBUTEURS A TROIS POSITIONS..... | 34 |
| FIGURE II. 20. RACCORDEMENT CONDUITE GENERALE..... | 35 |
| FIGURE II. 21. RACCORDEMENT ARRIVEE DE PRESSION..... | 35 |
| FIGURE II. 22. ECHAPPEMENT..... | 35 |
| FIGURE II. 23. FONCTIONNEMENT D'UN DISTRIBUTEUR DANS UN CIRCUIT HYDRAULIQUE..... | 37 |
| FIGURE II. 24. LES DEFERENTS TYPES DES LIMITEURS DE DEBIT..... | 39 |
| FIGURE II. 25. SYMBOLE D'UN REGULATEUR DE DEBIT..... | 39 |
| FIGURE II. 26. LIMITEUR DE PRESSION..... | 40 |
| FIGURE II. 27. REDUCTEUR DE PRESSION..... | 40 |
| FIGURE II. 28. VALVES DE SEQUENCE..... | 41 |
| FIGURE II. 29. ACCUMULATEUR DE PRESSION..... | 42 |
| FIGURE II. 30. LES FILTRES HYDRAULIQUES..... | 42 |
| FIGURE II. 31. SYMBOLE D'UN FILTRE HYDRAULIQUE..... | 43 |
| FIGURE II. 32. COMPOSITION D'UN FILTRE POUR CIRCUIT HYDRAULIQUE..... | 43 |
| FIGURE II. 33. FILTRE AVEC INDICATEUR DE COLMATAGE A VOYANT..... | 44 |
| FIGURE II. 34. RESERVOIR HYDRAULIQUE..... | 46 |
| FIGURE II. 35. EXEMPLE DE CIRCUIT OUVERT..... | 48 |
| FIGURE II. 36. EXEMPLE DE CIRCUIT FERME..... | 49 |
| FIGURE II. 37. EXEMPLE D'UN CIRCUIT HYDRAULIQUE..... | 50 |
| | |
| FIGURE III. 1. TABLE ELEVATRICE HYDRAULIQUE..... | 52 |
| FIGURE III. 2. CHOIX DU MODE DE FIXATION..... | 57 |
| FIGURE III. 4. ABAQUE DES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR HYDRAULIQUE..... | 60 |
| FIGURE III. 5. CATALOGUE DU CONSTRUCTEUR EATON [13]..... | 60 |
| FIGURE III. 6. DIAGRAMME DES DEBITS..... | 62 |
| FIGURE III. 7. CATALOGUE DU CONSTRUCTEUR HYDRO LEDUC..... | 63 |
| FIGURE III. 8. CARACTERISTIQUES DE LA POMPE A PISTON HYDRO LEDUC..... | 64 |
| FIGURE III. 9. REPRESENTE LES TROIS CORPS SIMULES..... | 67 |
| FIGURE III. 10. REPRESENTE LES CAGES DE SIMULATION SOUS MATLAB POUR LA PARTIE MECANIQUE..... | 68 |
| FIGURE III. 11. PRESENTATION SOUS MATLAB DE LA PARTIE HYDRAULIQUE..... | 69 |
| FIGURE III. 12. SCHEMA GLOBAL DU SYSTEME ETUDIE..... | 70 |
| FIGURE III. 13. SIGNAL D'ENTREE (LA COMMANDE)..... | 70 |

| | |
|--|----|
| FIGURE III. 14. REPRESENTE LA TRAJECTOIRE DE POSITION DE LA TABLE ELEVATRICE..... | 71 |
| FIGURE III. 15. REPRESENTE LA VITESSE DU MOUVEMENT DE LA TABLE..... | 72 |
| FIGURE III. 16. REPRESENTE LA VITESSE DU MOUVEMENT DE LA TABLE APRES CORRECTION | 73 |
| FIGURE III. 17. DEBIT D'ECOULEMENT D'HUILE | 74 |
| FIGURE III. 18. PRESSION D'HUILE A L'INTERIEUR DU VERIN | 75 |
| FIGURE III. 19. STABILITE DE PRESSION APRES REGLAGE DES CONDITIONS INITIALES | 76 |
| FIGURE III. 20. RESULTAT DE SIMULATION EN TEMPS REEL DE L'ENSEMBLE VERIN-CHARIOT. | 76 |

Listes des tableaux

| | |
|--|----|
| TABLEAU II. 1. LES ORGANES DE POMPE A DENTURE INTERIEUR | 22 |
| TABLEAU II. 2. LES ORGANES DE POMPES A DENTURE EXTERIEURE..... | 23 |
| TABLEAU II. 3. LES ORGANES DE POMPE A PALETTES..... | 24 |
| TABLEAU II. 4. LES ORGANES DE POMPES A PISTON AXIAUX..... | 25 |
| TABLEAU II. 5. LES ORGANES DE POMPES A PISTON RADIAUX | 25 |
| TABLEAU II. 6. LES DIFFERENTS TYPES DE VERIN AVEC LEURS SYMBOLES..... | 30 |
| TABLEAU II. 7. LES COMPOSANTS DE VERIN AVEC LEURS DESCRIPTIONS | 31 |
| TABLEAU II. 8. LES DIFFERENTS TYPES DE DISTRIBUTEUR AVEC LEURS DESIGNATIONS..... | 36 |
| TABLEAU II. 9. REPRESENTE LES DIFFERENTS TYPES DE COMMANDES..... | 37 |
| TABLEAU II. 10. REPRESENTE LES FAMILLES D'HUILES | 45 |
| | |
| TABLEAU III. 1. REPRESENTE LES DIAMETRES DU VERIN [11]..... | 57 |
| TABLEAU III. 2. REPRESENTE LES DIAMETRES DU TUYAU | 66 |

Introduction Générale

De nombreux processus techniques nécessitent la transmission d'une puissance mécanique entre générateur et récepteur. En effet, ces opérations sont principalement effectuées à l'aide de machines électriques ou de moteurs diesel à essence et à vapeur. Ces moteurs peuvent fournir divers mouvements aux objets, en utilisant des attachements mécaniques tels que les vérins. Il y a d'autres systèmes qui contrôlent le mouvement de pièces telles que le système hydraulique. Le système hydraulique est un assemblage de composants fonctionnant de manière unitaire et souvent en interaction, afin d'utiliser un fluide incompressible comme moyen de transmission pour effectuer un travail mécanique.

Ce travail a pour objet d'étudier en dimensionnement et en simulation une installation hydraulique industrielle en utilisant le cas d'une table élévatrice. Le manuscrit est subdivisé en trois chapitres.

- Le premier chapitre présente des généralités sur l'hydraulique ; contenant leurs fonctionnements et leurs rôles dans le système industriels.
- Le deuxième chapitre représente les caractéristiques détaillées des composants d'installation hydraulique industrielle.
- Le troisième chapitre contient deux parties, l'un dimensionnement de vérin de la table élévatrice, ensuite une simulation effectuée sous logiciel Matlab permet de valider les résultats obtenus en dimensionnement.
- Enfin nous terminons par une conclusion.

Chapitre I : Généralités sur l'hydraulique et pneumatique

I.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter une explication sur le concept de l'hydraulique et de l'énergie pneumatique d'une façon générale et de mentionner les principaux hydrauliques avec leur fonctionnement et leurs rôle dans le système industriels. Ainsi, une partie sur l'énergie pneumatique qu'est fondé sur une différence de pressions entre deux zones, qui crée une force, puis un mouvement. A la fin, nous allons aussi citer les différents domaines d'utilisations avec des exemples d'application dans l'industrie.

I.2. Bref Historique

Le mot hydraulique vient du mot grec υδραυλικός (hydraulikos) qui vient de υδραυλος qui signifie orgue à eau qui dérive à son tour de ὕδωρ (eau) et de αὐλός (tuyaux).

Dans le monde méditerranéen, les premiers grands maîtres de cette science furent Héron d'Alexandrie et Ctésibios. Ainsi ce dernier perfectionna la clepsydre, inventa un monte-charge et un orgue hydraulique, l'hydraule.

De manière générale, le fluide utilisé dans les systèmes hydrauliques (eau ou huile) est incompressible. Une pression est appliquée au fluide par l'intermédiaire d'un piston dans un cylindre, provoquant une pression équivalente sur un autre piston qui délivre l'énergie. Si la surface du second piston est supérieure à celle du premier, alors la force exercée par le second piston est supérieure à celle appliquée au premier piston. C'est le principe de la presse hydraulique, qui a été découvert en 1650 par Blaise Pascal et mis en application en 1785 par Joseph Bramah.

I.3. Concept de l'hydraulique

Les fluides sont des corps sans forme propre, ils peuvent subir de grandes variations de formes sous l'action de forces et de sollicitations diverses. Les fluides englobent les liquides et les gaz. La mécanique des fluides étudie leurs équilibres et leurs mouvement que l'on appel écoulement.

L'hydraulique est la partie de la mécanique des fluides qui traite du comportement et du mouvement de l'eau. L'hydraulique vient du grec « Hydro » qui veut dire eau, donc c'est la science de l'eau [1]. L'hydraulique comprend :

- L'hydrostatique : qui traite l'énergie potentielle du fluide incompressible ou la pression qu'exerce sur ce fluide est établie par moyen extérieur comme une pompe, cette forme d'énergie hydrostatique est utilisée dans les systèmes hydrauliques qui fonctionnent sur le principe de la loi de pascal.

- L'hydrodynamique : est l'étude des propriétés physiques d'un fluide en mouvement, fluide a un impact sur un objet et libère une partie de son énergie pour effectuer un travail utile.

En l'hydrodynamique, les ingénieurs ont souvent utilisé l'huile comme fluide transfert pour les deux principaux suivant :

1. L'huile est un fluide presque incompressible et permet donc contrairement à la pneumatique de transmettre un effort en peu de temps.
2. L'huile est un fluide visqueux et permet donc de lubrifier les composants (métalliques) tels que les pompes, distributeurs, vérins et autres.

Comme par exemple l'oléohydraulique qui est un domaine de la mécanique des fluides portant sur la gestion des huiles en mouvement. En haute pression, souvent plus de 400 bars.

I.4. Choix d'un fluide hydraulique

Le choix d'un fluide est très important afin d'obtenir de son installation une efficacité, un rendement et une longévité optimaux. Le fluide devra répondre aux exigences de sécurité, du matériel et de la maintenance.

I.5. Système à air comprimé versus hydraulique

La compression d'un gaz dégage de la chaleur, qui est une énergie perdue. Plus la pression est élevée, plus la chaleur dégagee est importante. Le rendement est donc plus faible.

Inversement, avec un liquide incompressible (huile, eau), la chaleur dégagee lors de la mise en pression n'est due qu'aux frottements (déplacement du liquide) et augmente peu avec la pression. On obtient donc des rendements largement supérieurs à ceux obtenus avec des systèmes à air comprimé.

La perte d'énergie due à la circulation d'un fluide dépend : de la longueur du conduit, du diamètre du conduit, des obstacles au déplacement du fluide, de sa vitesse, de la masse volumique du fluide (eau : 1 000 g/l ; air non comprimé : 1,3 g/l).

Mais autant les fuites d'air ont souvent des effets négligeables, ce n'est pas le cas des fuites d'huile (pollution, risque d'incendie, etc.) ou des fuites d'eau (oxydation des pièces voisines, etc.).

I.6. Champs d'études de l'hydraulique

Les champs d'études qu'elle propose regroupent plusieurs domaines :

- les machines hydrauliques (voir hydromécanique et oléohydraulique) ;

- les écoulements de fluides incompressibles en conduite ou à surface libre ;
- l'énergie hydraulique ;
- l'hydraulique urbaine ;
- l'hydraulique fluviale ;
- l'hydraulique en charge ;
- les canaux.

I.7. Les études hydrauliques

Il existe plusieurs types d'études hydrauliques. Ces études consistent à calculer les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement dans une section mouillée. Toutes ces études utilisent des équations comme celle de Manning-Strickler, Bernoulli, Colebrook ou Barré Saint Venant. Il est possible de classer les études hydrauliques en fonction de la complexité des modèles utilisés [1] :

- méthode classique simple sans modélisation (utilisation sans perte de charge complexe ou d'influence aval - souvent dans des sections régulières comme des conduites circulaires, rectangulaires, des fossés en V ou de forme trapézoïdale)
- modélisation 1D (utilisée dans les domaines des risques majeurs - inondation de vallées)
- modélisation casier (utilisée dans les domaines des risques majeurs - inondation de plaines)
- modélisation 1D/2D (utilisée dans les domaines des risques majeurs - inondation de vallées et de plaines et milieu urbain)
- modélisation 3D (utilisée surtout dans les domaines de l'aérospatiale ou l'automobile)

Les outils de modélisation sont nombreux et bien souvent payants mais il existe des logiciels gratuits comme Matlab (Simscap), Fluidsim, HEC-RAS ou EPANET. Les codes de calculs de ces outils sont aussi performants que les outils payants mais l'interface est moins bien travaillée.

Dans la législation française (code de l'urbanisme), les permis de construire ou les permis d'aménager sont instruits avec une demande d'étude hydraulique ou notice hydraulique permettant d'expliquer à l'administration la gestion des eaux pluviales du futur projet. Certains projets peuvent être en plus soumis au code de l'environnement en fonction de leur importance et de leur impact sur les milieux aquatiques. Les porteurs de projet doivent alors faire valider un dossier appelé dossier "loi sur l'eau" basé sur une étude hydraulique.

I.8. Réseau hydraulique

Un réseau hydraulique est typiquement composé de :

- réservoir ;
- filtres ;
- pompes ;
- limiteur de pression (aussi appelé détendeur) ;
- ballon anti coup de bélier (plus communément appelé « boule d'azote » dans le milieu agricole ou accumulateur de pression) ;
- clapet anti-retour ;
- régulateur de débit ;
- régulateur de pression ;
- distributeurs et appareils de régulation ;
- valves d'équilibrages ;
- clapet parachute (notamment dans le domaine des ascensoristes) ;
- limiteur de capacités ;
- flexibles et conduites (en France, les conduites en plomb des années 1950 sont peu à peu remplacées par des conduites en polyéthylène haute densité couramment appelé PEHD) ;
- clapet unidirectionnel ou by-pass ;
- récepteurs ;
- pompe péristaltique.

I.9. Énergie pneumatique

L'énergie pneumatique utilise l'air comprimé comme fluide pour le transport de l'énergie et sa transformation en énergie mécanique. L'air comprimé est obtenu avec un compresseur d'air entraîné avec un moteur électrique, l'air est aspiré puis comprimé dans une cuve sous pression. De ce réservoir partent les canalisations pour la distribution [2]. Le réseau de distribution comporte des différents éléments pour permettre d'avoir de l'air comprimé :

- Filtrer
- Assécher
- Graisser
- réguler (pression stable et réglable)

L'air est souvent utilisé, sauf quand des contraintes diverses conduisent à choisir d'autres gaz :

- Par exemple, une préoccupation de résistance à l'oxydation conduit à utiliser de l'azote ou un autre gaz neutre chimiquement comme les gaz nobles.

- Des températures particulières peuvent conduire à utiliser des matériaux ayant une phase vapeur aux températures recherchées : les machines à vapeur utilisent un mélange d'air et de vapeur d'eau.
- Enfin, les moteurs à combustion interne sont des systèmes pneumatiques dont le gaz comprimé est issu de la combustion d'un combustible dans de l'air.

I.9.1. Principes de mise en œuvre

Il existe de nombreuses formes de pompes ou moteurs classées en deux grandes familles :

1. Les pompes/moteurs volumétriques, où un organe (piston ou assimilé) fait varier le volume d'une chambre,
2. Les turbines, qui jouent sur un effet dynamique, comme la force centrifuge.

Un système pneumatique repose sur une différence de pressions entre deux zones, différence de pression qui crée une force mécanique. En général la pression la plus forte se situe à l'intérieur de la chambre, et la pression la plus faible à l'extérieur, souvent la pression atmosphérique.

La force (F) résultant de la différence de pression entre les deux zones est proportionnelle à la différence de pression (P1 - P2) et à la surface (S) sur laquelle elle s'exerce : $F = (P1 - P2) * S$
Dans le cas le plus habituel, on utilise une pompe/moteur volumétrique. La chambre est alors fermée par une partie déformable et/ou mobile, que l'on nomme « piston », le déplacement du piston modifie le volume de la chambre.

Dans la plupart des cas, le piston se déplace en translation dans un cylindre, mais il existe une grande variété de pompes volumétriques.

Les armes peuvent souvent être assimilées à des moteurs pneumatiques. Le projectile joue le rôle de piston, animé d'une très grande vitesse linéaire, combinée à une rotation servant à le stabiliser sur sa trajectoire. Enfin, le piston peut être déformable (ballon, diaphragme) voire être liquide (baromètre à mercure, bulle) [3].

I.9.2. Bases de la modélisation physique

La modélisation des systèmes pneumatiques se fait en grande partie dans le cadre de la thermodynamique. Le système ayant de nombreux paramètres de description, la modélisation est souvent délicate.

La loi des gaz parfaits, qui fait intervenir la pression, le volume, la quantité de matière gazeuse et la température, est utilisée pour décrire les situations statiques à faibles pressions. D'autres lois plus complexes sont utilisées lorsque les pressions deviennent importantes ou que les gaz ont un comportement qui s'écarte trop du modèle du gaz parfait.

D'autre part, il faut tenir compte des effets dynamiques dus aux mouvements du gaz étudiés par l'aérodynamique et qui peuvent mener à des résonances, c'est-à-dire des sons.

Les différences de température vont entraîner des transferts thermiques, qui vont également modifier le comportement mécanique du système.

Selon les conditions de température et de pression, les constituants physico-chimiques peuvent changer d'état, entre gaz, liquide, voire solide, ce qui change notamment la densité volumique, la compressibilité et l'énergie disponible. Des réactions chimiques peuvent également se produire, modifiant la composition du système.

Pour réussir à comprendre les interactions entre tous les paramètres, on essaye de se ramener à des situations simples, en gardant certains paramètres constants. Par exemple :

Isotherme : à température constante ;

Isobare : à pression constante ;

Isochore : à volume constant ;

Adiabatique : sans transfert thermique ;

Cependant, dans la réalité, les transformations sont polytropiques. Cela veut dire qu'une partie de l'énergie (travail) est soustraite ou augmentée (notamment dans le cas de la détente) par les échanges thermiques avec l'environnement extérieur.

En outre, on peut aussi essayer de faire les transformations lentement afin de rester proche des équilibres :

- si un piston de pompe à vélo est poussé rapidement, l'air va sortir très chaud ;
- s'il est poussé plus lentement, l'air s'échauffera moins et plus de pression sera disponible.

L'efficacité de la compression sera meilleure.

I.9.3. Estimation de l'énergie [2]

Un réservoir de volume V contenant de l'air à la pression P_a qu'on laisse se détendre contient effectivement de l'énergie mécanique qu'on peut récupérer.

Dans le cas d'une détente adiabatique réversible, sans perte (efficacité énergétique égale à 100 %), l'énergie délivrée (en J/kg d'air) sera :

$$W = -\frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot Z \cdot R_o \cdot T_a \cdot \left[\frac{P_r^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)}}{P_a} - 1 \right] \quad (\text{I. 1})$$

Avec ;

γ : est un constant où $\gamma = C_p/C_v = 1,4$ pour de l'air,

Z : est le coefficient de compressibilité,

R_o : est un constant du gaz,

T_a est la température absolue en K.

Quelques valeurs de W et R_O (la masse volumique de l'air à la pression considérée) :

- pour $P_a = 100$ bars, alors $W = 228,24$ kJ/kg et $R_o = 141$ kg/m³,
- pour $P_a = 300$ bars, alors $W = 250,76$ kJ/kg et $R_o = 423$ kg/m³,

Si on a un réservoir de 300 litres (soit cinq fois un réservoir normal), soit 0,3 m³ :

- pour $P_a = 300$ bars on a 126 kg d'air (en supposant le gaz parfait, ce qui n'est pas vraiment exact dans cette gamme de pression) ;
- pour $P_a = 100$ bars on a 42 kg d'air.

On peut donc stocker (en supposant que la pression est toujours maximale jusqu'à l'utilisation du dernier kg d'air ce qui majore considérablement la valeur calculée) :

- pour $P_a = 300$ bars, Énergie = 31 500 kJ = 8,75 kWh ;
- pour $P_a = 100$ bars, Énergie = 9 576 kJ = 2,7 kWh.

Ces calculs concernent la détente adiabatique, ce qui correspond à une détente rapide (ce qui est habituellement le cas dans une machine) le rendement est meilleur avec une détente lente en maintenant le gaz à température constante (détente isotherme).

I.9.4. Classification des systèmes pneumatiques

On peut classer les systèmes hydrauliques par trois critères comme suite [2] :

a) Classification par fonction :

Les systèmes pneumatiques utilisent quatre fonctions principales :

- compression
- transport
- stockage, avec charge et décharge
- moteur ou actionneur.

b) Classification par utilisation :

Les systèmes pneumatiques sont utilisés dans tous les domaines de la vie quotidienne occidentale :

- Amortisseurs.
- Accumulateurs pour les systèmes hydrauliques, accumulateurs pour la génération d'électricité.
- Armes à feu, armes à air comprimé.
- Automatisation de machines outil.

- Avions.
- Instruments de musique à vent.
- Machines frigorifiques, qui utilisent un gaz compressible sur toute une partie du cycle de fonctionnement.
- Moteurs à vapeurs, turbines à vapeur, moteurs à combustion interne, outils à air comprimé, moteurs à air comprimé, turbines à gaz, réacteurs, éoliennes.
- Postes pneumatiques.
- Système respiratoire.

c) Classification par niveau de pression :

- De quelques mbar à 1 bar : domaine de la régulation, de la fluidique.
- De 1 à 10 bars : domaine de la commande, de la puissance (usage courant).
- De 20 à 40 bars : domaine de la navigation (démarrage diesel).
- De 150 à 250 bars : stockage en bouteilles pour la plongée, avec de l'air où des mélanges spécifiques.
- De 200 à 500 bars : pression pour les systèmes de grande puissance (avions déchasse, etc.).

I.10. Domaine d'utilisation de l'hydraulique industrielle

Les systèmes hydrauliques sont beaucoup utilisés dans les secteurs industriels à cause de ces grandes souplesses de manipulation et de haute performance, ainsi que la transmission de forces et de couples très élevée avec une régulation précise de la vitesse des actionneurs, du fait de l'incompressibilité du fluide, ainsi que la grande durée de vie des composants, du faite la présence de l'huile et l'absence de la corrosion, en plus de la possibilité de démarrer les installations en charge.

Il existe plusieurs applications des systèmes hydrauliques industriel parmi lesquelles on site :

- Machines-outils.
- Les bétonnières hydrauliques.
- Fabrication d'acier et applications d'extraction de métaux primaire.
- Les forages pétroliers.
- Machine de broyeur.
- Engins de chantier.
- Machines de traitement du plastique.
- Aéronavale.
- Industries du papier.

- Machineries textiles.
 - Equipements de Recherche & Développement des systèmes robotiques.
- Lignes de production automatisées...etc

I.11. Transmission de puissance

Une transmission de puissance consiste à véhiculer de l'énergie d'une source primaire à un récepteur, en changeant éventuellement sa "forme" (électrique, mécanique, hydraulique...) et ses caractéristiques (couple, vitesse, intensité...).

Les transmissions hydrostatiques est un autre terme principalement utilisé pour les circuits ouverts et fermés, par exemple une pompe oléohydraulique est entraînée par un moteur diesel, l'énergie est transmise par des canalisations jusqu'aux actionneurs hydrauliques, qui peuvent être à plusieurs dizaines de mètres, et enfin cette énergie oléohydraulique est converti en énergie mécanique : le moteur hydraulique transmet un mouvement de rotation, ou le vérin transmet une énergie de translation. L'huile retourne ensuite au réservoir qui alimente la pompe (circuit ouvert) ou directement à la pompe (circuit fermé), puis le cycle recommence.

En général, les transmissions hydrostatiques, l'énergie primaire est mécanique (produite par un moteur électrique, thermique ...) et l'énergie fournie au récepteur est également mécanique. Cette énergie est transportée sous la forme débit et pression, ce qui explique la grande facilité de contrôle et de régulation que l'on a dans ces transmissions (voir ci-dessous).

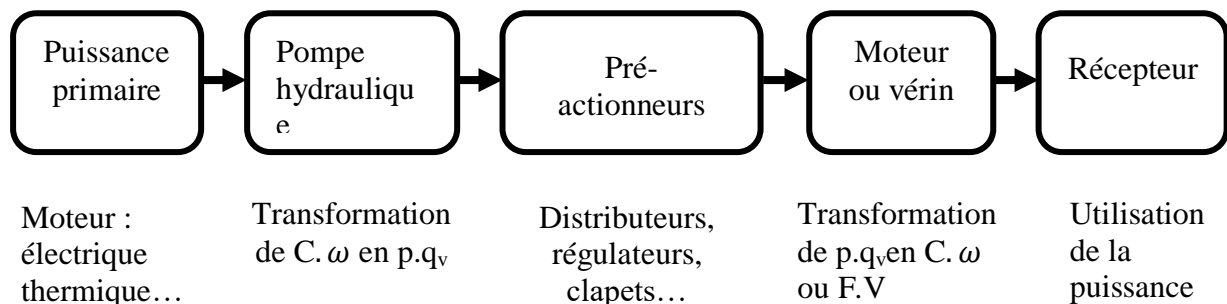


Figure I. 1. Principe de transmission de puissance

I.11.1. Qualités d'une transmission de puissance

Les qualités d'une transmission de puissance en général peuvent être les suivantes :

a) Fondamentales :

- Plage d'utilisation élevée : c'est-à-dire la possibilité d'avoir des variations de vitesse et de couple dans des proportions importantes.

- avoir un rendement élevé sur cette plage : le rendement global d'une transmission est égal au rapport de la puissance utilisable (récepteur) sur la puissance primaire consommée (moteur).

b) Technologiques :

- faible encombrement
- fort rapport puissance/masse
- faible inertie
- pas de rupture de couple (couple maintenu à vitesse nulle)
- réversibilité (l'énergie peut circuler dans l'autre sens "frein moteur")

c) Maintenabilité :

- fiabilité
- maintenabilité

d) Economiques :

- rapport coût/puissance initial faible (en /kW installé)
- coût de fonctionnement réduit

Les transmissions de puissances hydrauliques sont particulièrement performantes dans les domaines suivants:

- rapport poids / puissance très faible (d'où utilisation sur engins mobiles)
- grande souplesse en contrôle - régulation, donc plages d'utilisation élevées
- facilité de réalisation de certaines fonctions de commande
- fiabilité et durée de vie importantes

En revanche, elles peuvent présenter certains désavantages dont les suivants :

- investissement parfois élevé
- demandent une maintenance soignée (protection, filtration, surveillance ...)
- et surtout : rendement médiocre

I.12. Exemples d'utilisation

I.12.1. Bétonnière hydraulique

Le fonctionnement de la bétonnière est assuré par le mouvement des deux vérins hydrauliques actionnés par l'énergie transmise par la pompe hydraulique, les mouvements de ces derniers assurent la réalisation des différentes phases de fonctionnement de la machine (charge, malaxage et décharge) [4].

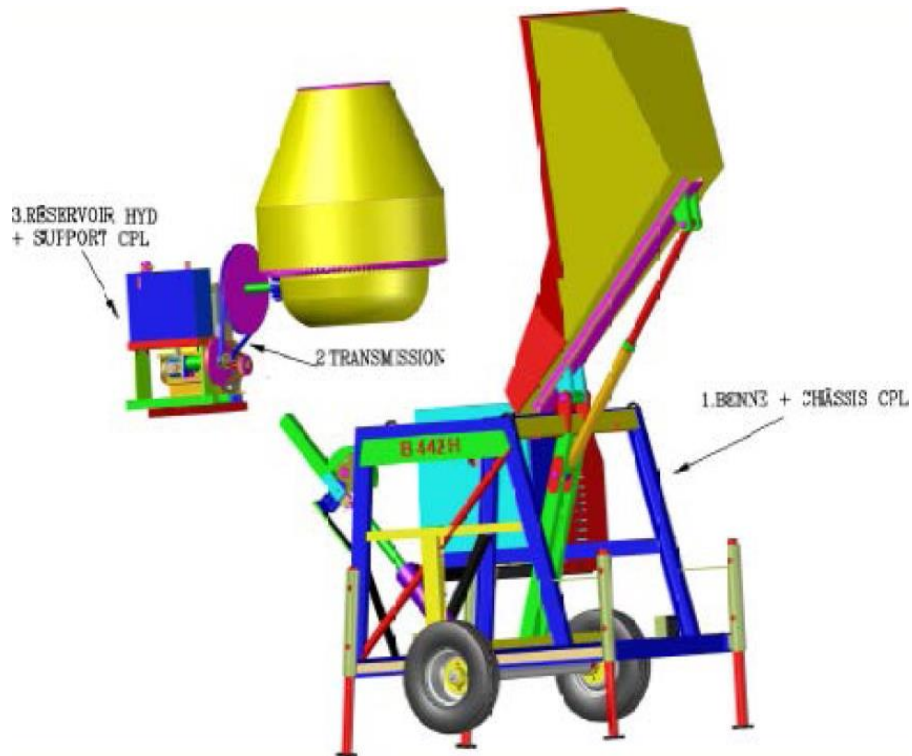


Figure I. 2. Bétonnière hydraulique

I.12.2. Unité d'ultrafiltration dans une station de dessalement

Pour l'alimentation d'une unité d'ultrafiltration (élimination des suspensions solides « TDS ») par l'eau de mer dans la station de dessalement de Souk Telata Tlemcen on est besoin à une station pompage menu de six pompes centrifuges a pour rôle de pomper l'eau dans les tuyauteries de moins de douze mètre par rapport au niveau de mer plus 25 mètre pour assurer un débit de 800 mètre cube par heure pour chaque unité de filtration.

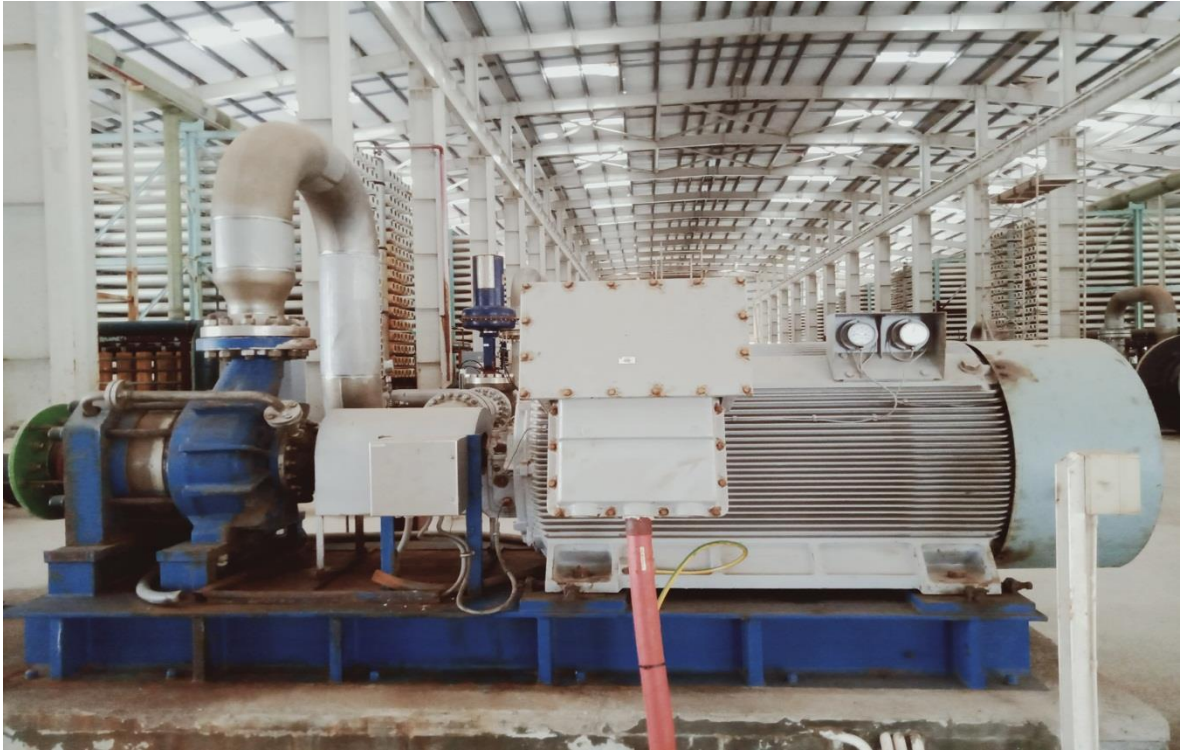


Figure I. 3. Station pompage de l'eau de mer

D'autre part la commande des unités de filtrations (trains) est fait par l'ouverture et la fermeture des vannes pneumatiques sous forme des vérins rotatifs à engrenage dirigé par l'air comprimé dans les deux sens opposé.



Figure I. 4. Unité d'ultrafiltration (train)

I.13. Conclusion

On peut conclure qu'un système hydraulique utilise un fluide non compressible, un liquide, alors qu'un système pneumatique s'appuie sur un fluide compressible, un gaz. En effet, l'énergie pneumatique est l'énergie emmagasinée dans un gaz sous forme mécanique du fait qu'il est comprimé. Elle est exploitée dans un système pneumatique. Dans un système pneumatique, le gaz comprimé est utilisé comme moyen de transport et de stockage d'énergie. De production facile, le système pneumatique présente un certain nombre d'avantages comme un système hydraulique.

Un système pneumatique est fondé sur une différence de pressions entre deux zones, qui crée une force, puis un mouvement. Un système hydraulique comprend souvent un système pneumatique pour un stockage d'énergie, au moins temporaire, le gaz étant utilisé à la manière d'un ressort.

Chapitre II : Composants hydrauliques

II.1. Introduction

L'hydraulique industrielle, c'est un domaine très vaste, alors on s'intéresse d'abord aux composants essentiels participant à la réalisation des circuits hydrauliques : (moteurs, pompes, distributeurs, vérins, limiteur de pression, limiteur de débit...). Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques de ces composants avec leurs fonctionnements, types, caractéristiques, dimensionnements, avantages et inconvénients.

II.2. Moteur hydraulique

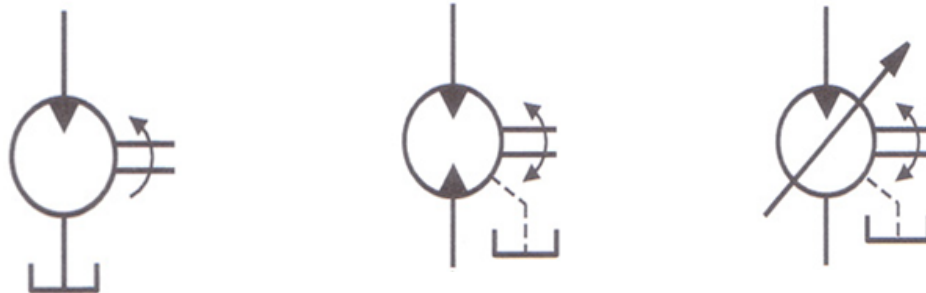
Le moteur hydraulique est un organe qui transforme un débit en vitesse de rotation et une pression en couple de fonctionnement. La vitesse de rotation du moteur est proportionnelle au débit qui l'alimente. Le couple délivré par le moteur est proportionnel à la pression qu'il supporte. Il utilise le débit d'huile qui est poussé dans le circuit hydraulique par une pompe hydraulique pour transforme un mouvement rotatoire à un autre dispositif [3].

Il existe trois types des moteurs hydrauliques soit :

- Moteur à engrenage
- Moteur à palette
- Moteur à piston

II.1.2. Symboles du moteur hydraulique

Le tableau suivant représente les différents symboles du moteur hydraulique :



Moteur hydraulique à un
seul sens de flux

Moteur hydraulique à
deux sens de flux

Moteur hydraulique
réglable à deux sensde flux

Figure II. 1. Les symboles normalisés des moteurs hydrauliques

II. 1.3. Choix du moteur hydraulique

Le choix de moteur hydraulique est se fait à l'aide ces paramètres suivants :

❖ Puissance :

La puissance hydraulique nécessaire pour assurer le fonctionnement du moteur.

$$p = Q * \Delta P \quad (\text{II. 1})$$

p : est une puissance hydraulique (W)

ΔP : est une pression de coté refoulement (Pa)

Q : est un débit volumique (l/min)

❖ Vitesse de rotation :

$$N = \frac{Q * 1000}{Cyl} \quad (\text{II. 2})$$

Q : Le débit volumique (l/min)

N : Vitesse de rotation (tr/min)

Cyl : cylindrée du moteur (m³/tr)

❖ Couple :

Couple sur l'arbre de sortie du moteur hydraulique

$$C = C_{th} * \eta \quad (\text{II. 3})$$

$$C_{th} = \frac{Cyl * \Delta P}{2\pi} \quad (\text{II. 4})$$

C : couple (N/m)

C_{th}: couple théorique (N/m)

η : le rendement du moteur

Cyl : cylindrée du moteur (m³/tr)

ΔP : différence de pression (Pa)

❖ Puissance mécanique :

Puissance sur l'arbre du moteur hydraulique l.

$$p_m = C * \omega \quad (\text{II. 5})$$

Avec

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (\text{II. 6})$$

p_m : La puissance mécanique (W)

N : Vitesse de rotation (tr/min)

C : couple (N/m)

ω : vitesse angulaire (rad/s)

II. 3. Pompe hydraulique

La pompe est le cœur d'une installation hydraulique, elle est destinée à alimenter des machines hydrauliques, ou d'autres systèmes hydromécaniques. Elle transforme l'énergie mécanique de rotation en énergie hydraulique, ensuite transmise par le fluide transporté dans des canalisations vers des récepteurs (vérin ou moteur hydraulique) [5].

II. 3.1. Principe de fonctionnement

La pompe est aspiré ou refoulé un fluide, c'est-à-dire l'orifice d'aspiration est raccordé à un réservoir approprié d'où elle puise le fluide et l'orifice de refoulement est raccordé au circuit hydraulique. Aussi, la pompe est alimenté un réseau de canalisation qui achemine le fluide aux organes de distributions, et par la suite, ces derniers convertissent l'énergie hydraulique en énergie mécanique de mouvement.

II.3.2. Symbole de la pompe hydraulique

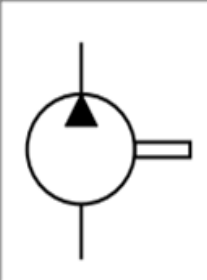
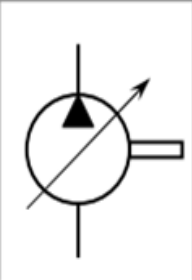
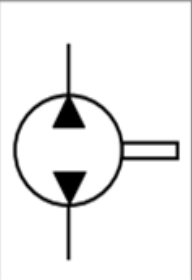
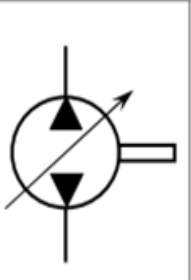
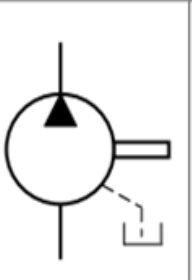
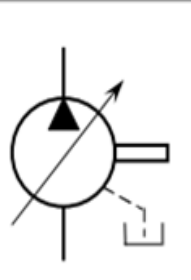
| | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
| Pompe à un sens de flux à cylindrée fixe | Pompe à un sens de flux à cylindrée variable | Pompe à deux sens de flux à cylindrée fixe | Pompe à deux sens de flux à cylindrée variable | Pompe à un sens de flux à cylindrée fixe avec drain | Pompe à un sens de flux à cylindrée variable avec drain |

Figure II. 2. Les symboles normalisés des pompes

II.3.3. Différents types des pompes

Il existe deux grandes familles de pompes hydrauliques :

- ❖ Les pompes centrifuges.
- ❖ Les pompes volumétriques.

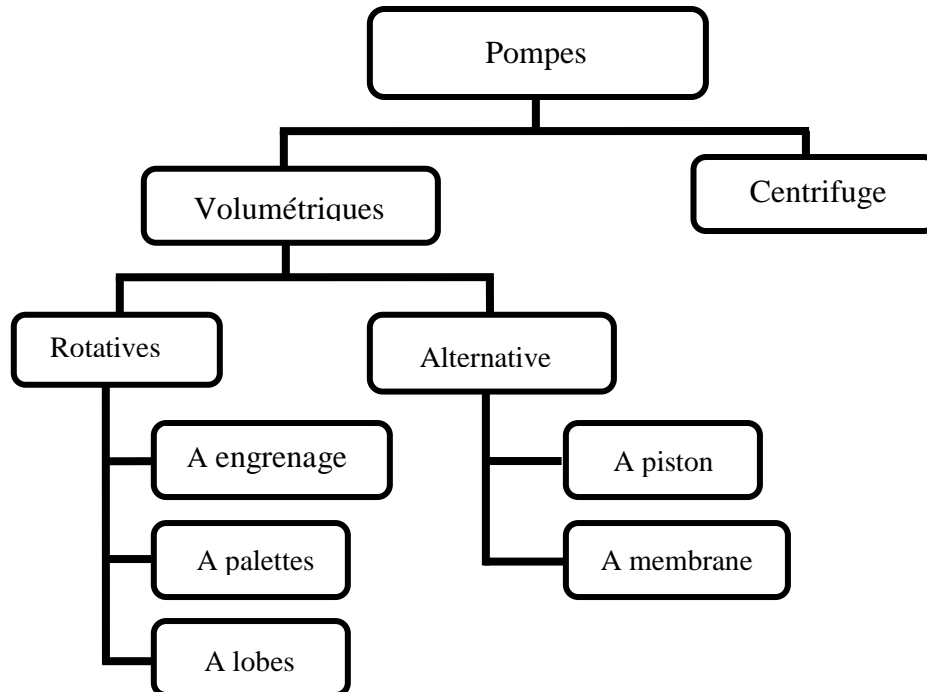


Figure II. 3. Classification des pompes

II.3.4.1. Pompes centrifuges

Une pompe centrifuge est une machine rotative, elle est composée d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre du 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.

L'accélération de fluide qui traverse la roue communique un mouvement de rotation, ce qui est produit une certaine puissance hydraulique.

Cette énergie hydraulique peut être vue comme la somme d'une énergie cinétique déterminée par le mouvement de liquide qui provoque une énergie potentielle stockée soit sous la forme d'un accroissement de pression au niveau de la volute.

Certaines pompes disposent en plus d'un diffuseur, dont le but est de diriger les veines fluides vers la volute en minimisant les pertes de charge [6].

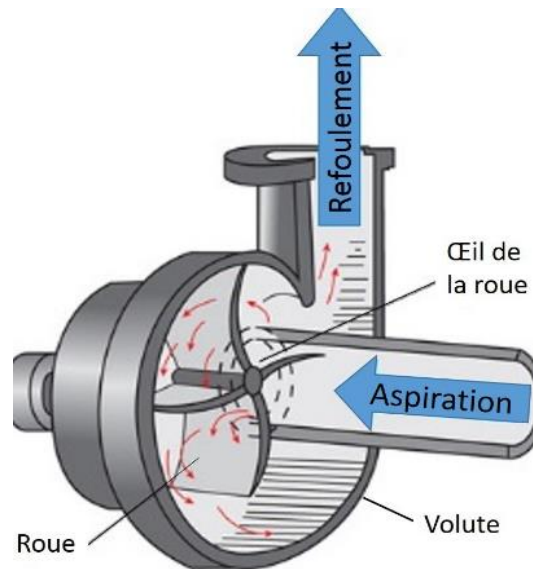


Figure II. 4. Vue descriptive de la pompe centrifuge

➤ Domaine d'application

Le domaine d'utilisation des machines centrifuges est extrêmement vaste et couvre les extrêmes suivants :

- Débits : de 0,001 à 60 m³/s
- Hauteurs de 1 à 5 000 m
- Vitesses de rotation de 200 à 30 000 tr/min

Dans l'ordre des nombres caractéristiques croissants, on trouve successivement

- Les machines multi-étagées, sur lesquelles plusieurs impulsers sont montés en série sur le même arbre.
- Les machines radiales à impulser fermé.
- Les machines radiales à impulser semi-ouvert.
- Les machines mixtes (intermédiaires entre radiales et axiales).
- Les machines axiales.

La pompe centrifuge est au centre de toute installation hydraulique et utilisée dans le domaine environnemental, elle sert à des projets de grande envergure : approvisionnement en eau potable, irrigation et transfert d'eau, captage et dessalement d'eau maritime. Dans le secteur industriel, elle permet efficacement de résoudre les problèmes de captage et de refroidissement.

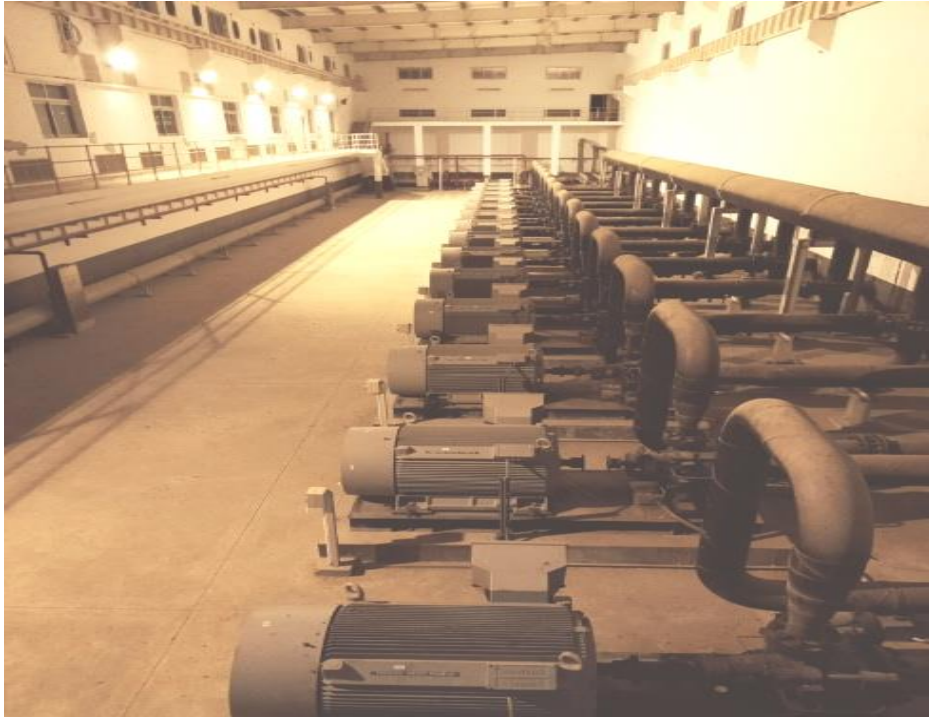


Figure II. 5. Station pompage de l'eau potable

➤ **Avantages des pompes centrifuges**

- Construction simple, peu de composants mobiles, longue durée de service.
- Débit de refoulement facile à ajuster par une soupape à la sortie de pompe ou par la vitesse de rotation.
- Vitesse de rotation élevée, entraînement direct possible par moteur électrique ou turbine.
- Limiteur de pression intégré, pas de soupape de sécurité requise.
- Fonctionnement très silencieux grâce à un bon équilibrage des masses et à l'absence de masse oscillantes.
- Refoulement continu sans pulsations.
- Acheminement possible de matières solides.
- Convient à des puissances élevées.
- Concentration élevée de la puissance et petit espace de construction.

➤ **Inconvénients des pompes centrifuges**

- Pas d'auto-amorçage (des types spéciaux tels que la pompe à canal latéral peuvent être auto-amorçants).
- Risque de cavitation avec de l'eau chaude ou des pressions d'aspiration faible.
- Le débit volumique dépend de la pression de refoulement.
- Plusieurs étages requis pour les pressions de refoulement élevé.

II.3.4.2. Pompes volumétriques

Une pompe volumétrique a pour but de déplacer un volume fixe au cours du temps, elle se compose d'un élément mobile se déplacer dans un corps fixe ; la transmission de l'énergie vers le fluide se fait de manière hydrostatique. Lors de la transmission hydrostatique de l'énergie, un organe mobile réduit un espace de travail rempli de fluide et achemine le en direction de la conduite. L'organe mobile exerce alors une pression sur le fluide. Lorsque l'espace de travail s'agrandit, l'organe est à nouveau rempli de fluide venant de la conduite. On distingue généralement deux types des pompes volumétriques :

- Les pompes volumétriques linéaires : à pistons axiaux, à pistons radiaux.

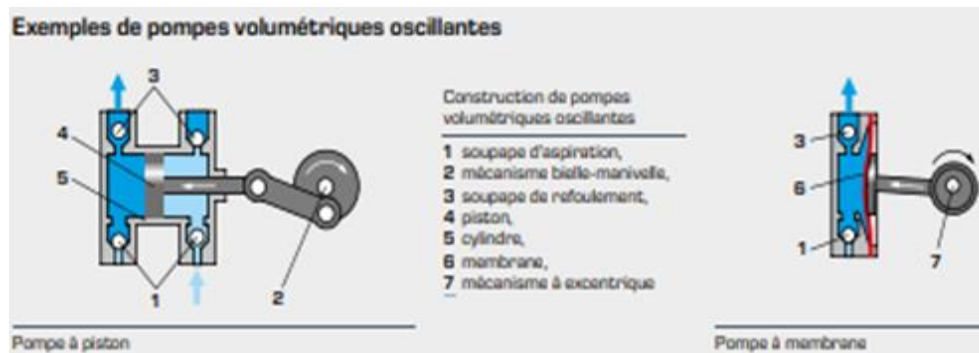


Figure II. 6. Pompe volumétrique linéaire

- Les pompes volumétriques rotatives : à engrenages, à palette, à lobes.

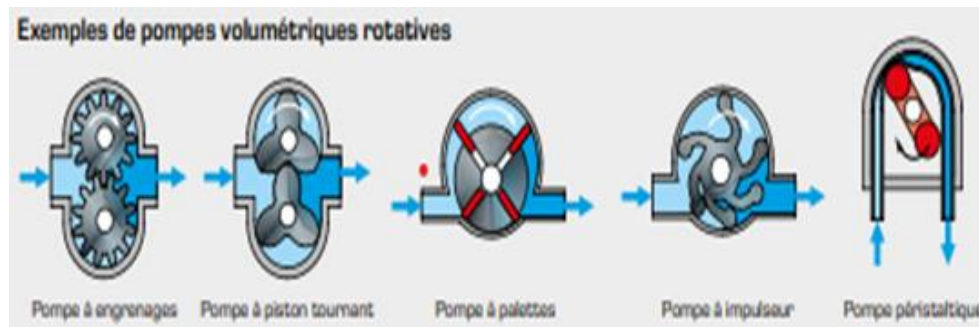


Figure II. 7. Pompe volumétrique rotative

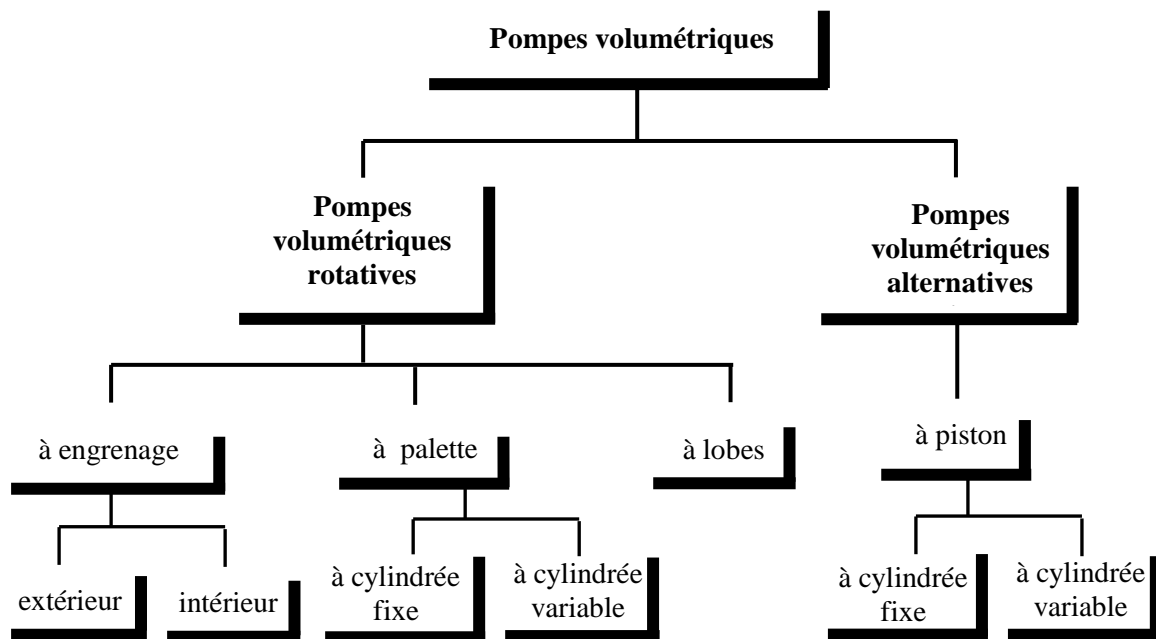


Figure II. 8. Classification des pompes volumétriques

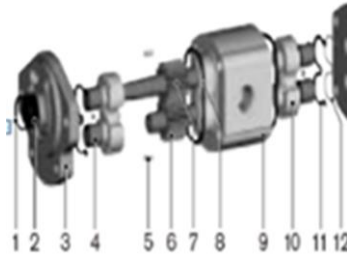
1. Pompe à engrenages à dentures intérieures : Ces pompes hydrauliques sont des pompes à engrenage à denture interne à jeux compensés et cylindrée fixe. Ce type de pompe diffère peu de la précédente. Une couronne dentée est entraînée en rotation par un pignon interne et le transport du fluide aspiré est assuré par l'intermédiaire d'un coin courbe. Cette technologie permet d'obtenir des pompes silencieuses et supportant des pressions élevées (300 bars).

Tableau II. 1. Les organes de pompe à denture intérieur

| Types | Les pompes à engrenage à denture intérieure |
|-----------------------------|--|
| Figure et composants | (1.1) Corps (1.2) Chapeau de palier (2) Couronne à denture interne (3) Arbre à pignon (4) Paliers lisses (5) Disques axiaux (6) Couvercle (7) Flasque de fixation (8) Tige de butée (11) Pièce intercalaire |
| Caractéristiques | $Q (l/mn) = Cyl (l) * N (tr/mn)$. Avec : Cyl : la cylindrée en litre, N : la vitesse de rotation en tr/min. |

2. Pompe à engrenages à dentures extérieures : La pompe à engrenage extérieur, dont la cylindrée est toujours fixe, comporte pour l'essentiel deux pignons appariés tournant dans des douilles-paliers, ainsi qu'un corps avec un couvercle avant et arrière. L'étanchéité du passage de l'arbre d'entraînement à travers le flasque avant est assurée par un joint d'arbre. Les contraintes s'exerçant sur les paliers sont absorbées par des bagues. Celles-ci supportent des pressions élevées et ont une bonne tenue au grippage, spécialement à basse vitesse. L'étanchéité, du côté des faces des pignons et des entre-dents, est assurée par un placage des douilles-paliers. Le contrôle de l'étanchéité sur les faces de pignons résulte donc de l'application en continu de la pression de service sur les faces externes de ces paliers. Les champs de compensation axiaux sont délimités par des joints de forme spéciale. Le jeu radial existant entre le diamètre de tête et la surface interne du corps de pompe est contrôlé par application de cet ensemble flottant contre le corps de pompe. Cette technique d'étanchéité asservie à la pression permet d'obtenir des rendements optimaux.

Tableau II. 2. Les organes de pompes à denture extérieure

| Types | Les pompes à engrenage à denture extérieure |
|-----------------------------|--|
| Figure et composants | (1) Circlips (2) Joint d'arbre (3) Couvercle frontal (4) Bague (5) Goujon de centrage (6) Pignon (7) Pignon (moteur) (8) Joint du corps de pompe (9) Corps de pompe (10) Douille-palier (11) Joint axial (12) Pièce de support (13) Couvercle final (14) Vis torx  |
| Caractéristiques | $Q \text{ (l/mn)} = \text{Cyl (l)} * N \text{ (tr/mn)}$. Avec : Cyl : la cylindrée en litre, N : la vitesse de rotation en tr/min. Pression = 220-550 bar Vitesse de rotation = 750/4000 tr/min |

3. La pompe à lobes : L'action de pompage du principe de la pompe à lobes rotatifs est générée par la contre-rotation de deux rotors à l'intérieur d'une chambre. Les rotors sont situés sur des arbres, qui sont à leur tour montés à l'intérieur d'une boîte à engrenages externe et supporté par des paliers; les engrenages de distribution sont également situés sur les arbres. Les engrenages de distribution transfèrent l'énergie de l'arbre d'entraînement à l'arbre entraîné,

la synchronisation des rotors se fait de telle sorte qu'ils tournent sans contact entre eux. Lorsque les rotors passent devant l'orifice d'aspiration, la cavité générée augmente créant ainsi une diminution de la pression, ce qui induit le fluide pompé à affluer dans le boîtier du rotor.



Figure II. 9. Pompe à lobes

4. Pompes à palettes : Un rotor rainuré tourne dans un alésage excentré. Dans les rainures du rotor sont logées des palettes qui divisent l'espace libre entre le rotor et l'anneau en alvéoles. Le volume de ces alvéoles évolue tout au long de la rotation. Il augmente d'abord dans la zone d'aspiration, puis les alvéoles quittent la chambre, coté aspiration et se retrouvent isolées. Au fur et à mesure, le volume diminue, permettant ainsi le refoulement complet du fluide dans la chambre de refoulement. Les paliers et le rotor sont donc chargés coté refoulement.

Tableau II. 3. Les organes de pompe à palettes

| Types | Les pompes à palettes |
|-----------------------------|--|
| Figure et composants | (1) Corps (2) Stator (3) Rotor (4) Image de refoulement (5) Image d'aspiration (6) Palette |
| Caractéristiques | La pression de fonctionnement est limitée entre 100 et 350 bar pour les rotors équilibrés ; <ul style="list-style-type: none"> • La température de fonctionnement est de -18 à 100 C°. • Le rendement global de la pompe est entre 0.7 et 0.8. |

5. Les pompes à piston : La pompe à piston est composée de plusieurs parties telles que la crépine, la soupape d'aspiration, le piston, la tringle, le tuyau de refoulement ou la superstructure.

Ce type de pompe utilise un piston coulissant de manière étanche dans un cylindre pour repousser un fluide, admis précédemment dans le cylindre par l'intermédiaire d'un clapet, d'une soupape ou d'une lumière, grâce à l'aspiration provoquée par le recul du piston.

Tableau II. 4. Les organes de pompes à piston axiaux

| Types | Pompes à pistons axiaux | |
|-----------------------------|---|--|
| Figure et composants | 1 : corps 2 : plateau face ou inclinable 3 : patin de glissement 4 : piston 5 : barillet 6 : glace de distribution 7 : arbre de pompe | |
| Caractéristiques | Pression : 17 à 210bar Vitesse de rotation : 3500 tr/min | |

Tableau II. 5. Les organes de pompes à piston radiaux

| Types | Figure | Composants | Caractéristiques |
|---|--------|---|--|
| Les pompes à pistons radiaux à bloc cylindre tournant | | (1) Le boisseau fixe (2) Un bloc cylindre (3) La couronne extérieure (4) La course des pistons (5) Les alésages (e) Désaxage permet un mouvement de pompage | Cylindrée : 16-80 cm ³ /tr Pression : 280-350 bar Vitesse de rotation : 3500 tr/min |
| Les pompes à pistons radiaux et cylindres fixes | | (1)Carter (2)Eléments de pompage (3)Alésage (4)Piston (5)Excentrique (6)Ressort (7) Clapet d'alimentation (8) Clapet derefoulement (9) Croisillon (10) Les sorties | Petite cylindrée : 0.4-2 cm ³ /tr Pression : 600-700 bar Vitesse de rotation : 1000-3500 tr/min |

6. Les pompes à membranes : Les pompes à membrane sont du type volumétrique alternatif. L'étanchéité de la pompe est assurée par une membrane déformable. Le mouvement de la membrane peut être engendrée mécaniquement ou hydrauliquement par un excentrique mû par un moteur, un piston, un moteur linéaire, une vibration électromagnétique ou

actionnée par de l'air comprimé. Les pompes à membrane sont considérées comme des pompes sans joints. Les clapets de la pompe à membrane viennent fermer et ouvrir le passage du liquide. Le débit est facilement réglable en faisant varier la vitesse de rotation de la pompe [7].

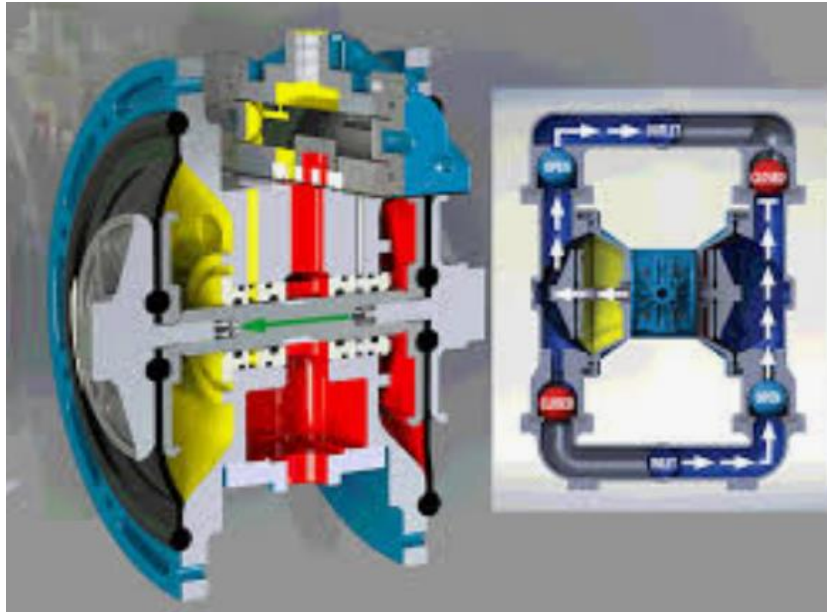


Figure II. 10. Pompe à membrane (diaphragme)

❖ Principe de fonctionnement d'une pompe à membranes

Une pompe à doubles membrane est une pompe à déplacement positif qui utilise deux membranes flexibles se déplaçant en va-et-vient, créant ainsi une chambre temporaire qui aspire et expulse le fluide à travers la pompe. Les membranes fonctionnent comme une paroi de séparation entre l'air et le liquide.

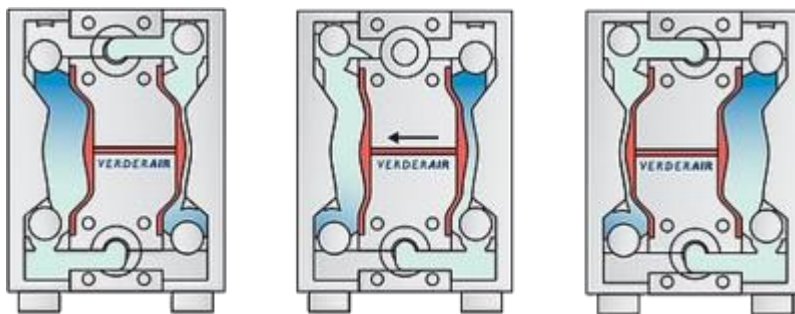


Figure II. 11. Principe de fonctionnement d'une pompe à membranes

- **Le premier coup :** Les deux membranes sont reliées par un arbre dans la partie centrale où se trouve le distributeur pneumatique. Ce dernier sert à diriger l'air comprimé à l'arrière de la membrane numéro 1, l'éloignant de la partie centrale. La membrane provoque une poussée déplaçant le liquide hors de la pompe. En parallèle,

la membrane 2 effectue une course d'aspiration. L'air derrière la membrane 2 est expulsé vers l'échappement, provoquant la pression d'air qui pousse le liquide vers l'orifice de refoulement. La bille d'aspiration est écartée de son siège, permettant au fluide de remplir la chambre côté liquide.

➤ **Le second coup :** Lorsque la membrane 1, sous pression, a atteint la fin de sa course, le mouvement de l'air passe de la membrane 1 à l'arrière de la membrane 2 par le distributeur pneumatique. L'air comprimé expulse la membrane 2 de la partie centrale, entraînant le déplacement de la membrane 1 vers la partie centrale. Dans la seconde chambre de pompage, la bille de clapet est poussée hors de son siège, tandis que le processus inverse se produit dans la première chambre. À la fin de la course, le distributeur pneumatique ramène l'air à l'arrière de la membrane 1 et redémarre le cycle.

➤ **Avantages des pompes volumétriques :**

- Faible dépendance du débit de refoulement par rapport à la hauteur de refoulement; convienne donc bien pour les pompes de dosage et pompes à injection.
- Adaptées à la pression élevée à très élevée; seul un étage requis.
- Très bonne puissance d'aspiration, même avec une part gazeuse.
- Adaptées aux fortes viscosités (pâtes).
- Alimentation cyclique possible
- Bien adaptée à la faible vitesse de rotation d'entraînement
- Pour les pompes oscillantes, entraînement pneumatique, hydraulique ou électromagnétique direct possible.

➤ **Inconvénients des pompes volumétriques :**

- Le principe de fonctionnement n'inclut pas de l'alimentation de la pression, c'est produit une soupape de sécurité ou soupape de limitation de la pression est requise.
- Sur la pompe volumétrique oscillante, un fonctionnement sans vibration n'est possible qu'avec un complexe équilibrage des masses.
- Les pompes volumétriques oscillantes ne sont pas bien adapté au vitesses de rotation élevées.
- Sur les pompes volumétriques oscillantes, un débit de refoulement, et donc un amortisseur de puissance requis.
- Pour certains types, construction avec soupapes compliquées propice aux pannes.

II.3.5. Choix de la pompe hydraulique

La pompe hydraulique se caractérise par :

- ❖ **Débit volumétrique** : C'est le volume d'huile que la pompe peut fournir pendant l'unité de temps.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{II. 7})$$

Q : Débit volumétrique en (l/min), ou (m³/s)

v : Le volume (m³)

t : Unité du temps (min) ou(s)

- ❖ **Cylindrée**: est correspond au volume d'huile théorique débitée par tour en litre.

Donc le débit Q correspond à la cylindrée par la vitesse de rotation.

$$Q = Cyl * N \quad (\text{II. 8})$$

Avec :

Q : Le débit (l/m)

Cyl : cylindrée du moteur (m³/tr)

N : Vitesse de rotation (tr/min)

- ❖ **Puissance hydraulique** :

La puissance hydraulique à la sortie d'une pompe traitant le débit volumique Q est :

$$Ph = \Delta p * Q \quad (\text{II. 9})$$

Avec : Q : débit, en m³/s

$\Delta P = P_s - P_e$: est la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe et P_e et P_s en Pascal (Pa).

La puissance donnée à la pompe par le moteur dont l'axe tourne à la vitesse (N) et transmet un couple (C) est la puissance mécanique (absorbée).

S'écrit :

$$P_m = C * \omega \quad (\text{II. 10})$$

C : moment du couple appliqué à l'arbre d'entraînement de la pompe (N. m).

ω : La vitesse angulaire de l'arbre d'entraînement de la pompe (rad/s).

P_m : La puissance mécanique absorbée par la pompe (W)

- ❖ **Rendements** : Il existe trois types des rendements

- Rendement volumétrique** : rapport du débit réel au débit théorique, (qui permettra de connaître les fuites)

$$\eta_v = \frac{Q_{réel}}{Q_{théorique}} = \frac{Q_{réel}}{Cyl * N} \quad (\text{II. 11})$$

$Q_{théorique} - Q_{réel} = \text{Fuites internes}$

2. **Rendement mécanique** : est le rapport de la pression théorique à la pression réelle, ou le rapport du couple théorique au couple réel.

$$\eta_m = \frac{P_{réelle}}{P_{théorique}} \quad (\text{II. 12})$$

Le produit de ces deux rendements est évidemment le rendement global.

3. **Rendement global** :

$$\eta_g = \eta_v * \eta_m \quad (\text{II. 13})$$

Il est également fonction du rapport puissance hydraulique et puissance mécanique :

$$\eta_g = \frac{Ph}{Pa} = \frac{\Delta p * Q}{C * \omega} \quad (\text{II. 14})$$

❖ **La vitesse de rotation** : La vitesse de rotation maximale en fonctionnement continu (dite vitesse nominale) est principalement limitée par la capacité de la pompe d'aspirer le fluide dans certaines conditions spécifiques.

II.4. Vérins hydrauliques

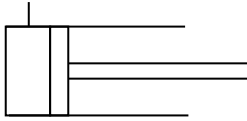
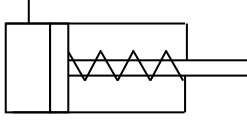
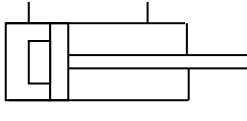
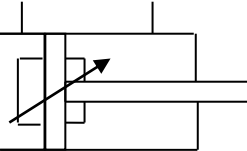
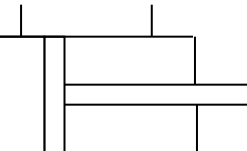
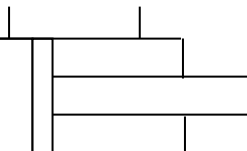
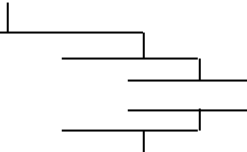
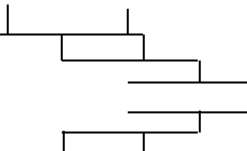
Les vérins hydrauliques sont des appareils qui transforment une énergie hydraulique en énergie mécanique animée d'un mouvement rectiligne. C'est un récepteur linéaire dont le piston est en mesure de recevoir le débit de l'huile en provenance de la pompe sur chacune de ses faces [8].



Figure II. 12. Fonctionnement d'un vérin

II.4.1. Symboles

Tableau II. 6. Les différents types de vérin avec leurs symboles

| symbole | désignation |
|---|---|
|  | <p>Vérin à simple effet à rappel par force non définie.</p> |
|  | <p>Vérin à simple effet à rappel par un ressort.</p> |
|  | <p>Vérin à double effet avec amortisseur fixe d'un côté.</p> |
|  | <p>Vérin à double effet avec amortisseurs réglables des deux côtés.</p> |
|  | <p>Vérin à double effet à simple tige.</p> |
|  | <p>Vérin différentiel.</p> |
|  | <p>Vérin télescopique à simple effet.</p> |
|  | <p>Vérin télescopique à double effet.</p> |

II.4.2. Architecture du vérin hydraulique

Quelque soit le vérin, son type et son constructeur, il sera constitué des mêmes éléments. Le piston est solidaire de la tige qui peut se déplacer à l'intérieur du corps. Le corps est délimité par le nez et le fond dans lesquels sont aménagés des orifices d'alimentation en air comprimé ou en l'huile. Les espaces vides qui peuvent être remplis d'air comprimé ou de l'huile s'appelle les chambres.

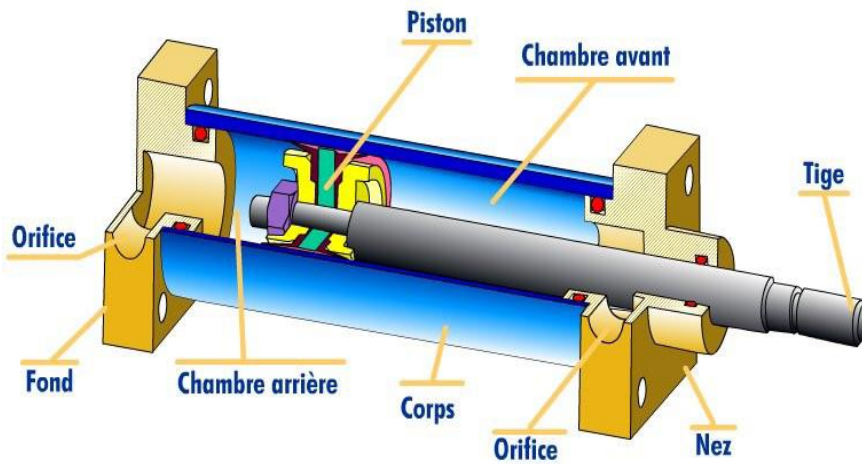
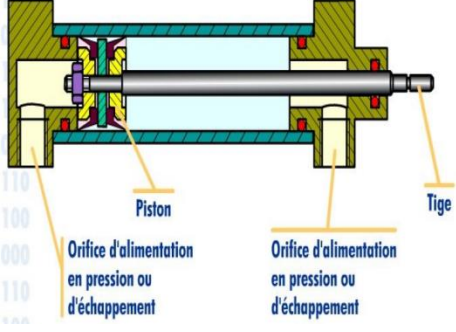
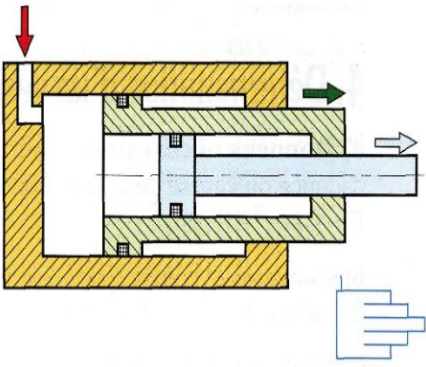
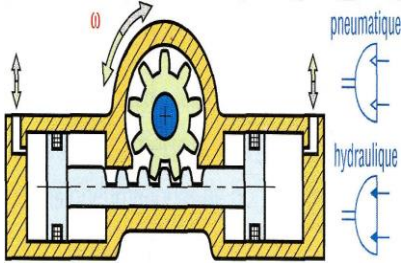


Figure II. 13. Architecture d'un vérin hydraulique

Tableau II. 7. Les composants de vérin avec leurs descriptions

| Types | Figure / Composants | Descriptions |
|-----------------------------------|---|---|
| Les vérins linéaires simple effet | <p>Le schéma montre un vérin linéaire simple effet. Une tige (en gris) est fixée à un piston (en rouge) qui est en contact avec un ressort de rappel (en bleu) à l'intérieur du corps. Un orifice d'alimentation en pression est visible à gauche. Une légende indique : "Cet orifice est toujours à l'échappement et permet l'entrée et la sortie libre de l'air dans la chambre avant. Il ne se câble pas."</p> | <p>L'ensemble tige-piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un autre moyen : ressort, charge...</p> <p>-Avantages : ils sont économiques et la consommation de fluide est réduite.</p> <p>-Inconvénients : à course égale, ils sont plus longs que les vérins double effet ; la vitesse de la tige est difficile à régler en pneumatique et les courses proposées limitées, jusqu'à 100 mm.</p> <p>-Utilisation : travaux simples (serrage, éjection, levage, ...).</p> |
| Types | Figure | Descriptions |
| | | |

| | | |
|---|---|--|
| <p>Les vérins linéaires double effet</p> |  | <p>L'ensemble tige plus piston peut se déplacer dans les deux sens sous l'action du fluide.</p> <p>Avantages: plus grande souplesse d'utilisations ; réglage plus facile de la vitesse, par contrôle du débit à l'échappement ; amortissements de fin de courses, réglables ou non, possibles dans un ou dans les deux sens.</p> <p>Inconvénients: ils sont plus coûteux.</p> <p>Utilisation: les plus utilisés industriellement, ils présentent un grand nombre d'applications.</p> |
| <p>Les vérins spéciaux : à tige télescopique</p> |  | <p>simple effet et généralement hydraulique, il permet des courses importantes tout en conservant une longueur repliée raisonnable.</p> <p>Avantages : Maintenance facile ; la vitesse de sortie augmente au fur et à mesure.</p> <p>Inconvénient : Rentrée s'effectue à l'aide d'une force extérieure</p> <p>Utilisation : une course de travail importante, pour un emplacement réduit.</p> |
| <p>Les vérins rotatifs</p> |  | <p>l'énergie du fluide est transformée en mouvement de rotation ; par exemple, vérin double effet entraînant un système pignon crémaillère. L'angle de rotation peut varier entre 90 et 360°. Les amortissements sont possibles</p> <p>Avantages : L'angle de rotation peut varier entre 90 et 360° ; les amortissements sont possibles.</p> <p>Inconvénient: Il faut éviter les vitesses élevées avec de grandes courses et de lourdes charges.</p> <p>Utilisation: Ouverture et fermeture des vannes pneumatique.</p> |

II.4.3. Choix des vérins hydrauliques

❖ **Efforts exercés dans les deux sens :**

- Sortie du vérin :

$$F = P * S \tag{II. 15}$$

$$F = P * \frac{\pi}{4} * D^2 \tag{II. 16}$$

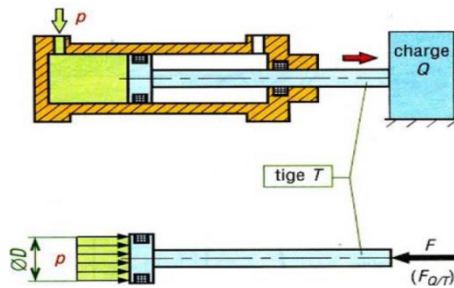


Figure II. 14. Sortie du vérin

- Rentrée du vérin :

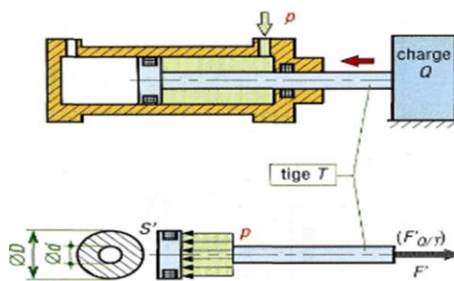


Figure II. 15. Entrée du vérin

$$F = P * \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) \tag{II. 17}$$

D : Diamètre de piston (cm) d : Diamètre de piston (cm)

❖ **Vitesse de déplacement**

En cas de sortie de la tige :

$$v = \frac{Q}{S_t} \tag{II. 18}$$

Ou,

$$V = \frac{c}{t} \tag{II. 19}$$

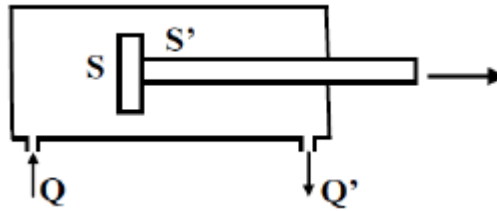


Figure II. 16. Vitesse de sortie du vérin

Q: Débit rentrant dans le vérin (m^3/s) c : Course (m)

v: vitesse de sortie de la tige (m/s) t : Unité du temps (s)

S_t : Section de la tige (m^2)

II.5. Distributeurs

Les distributeurs sont des pré-actionneurs qui orientent la circulation du fluide dans diverses directions selon les besoins du circuit hydraulique, assurent l'alimentation des actionneurs et les retours de fluide à la bêche.

II.5.1. Architecture d'un distributeur

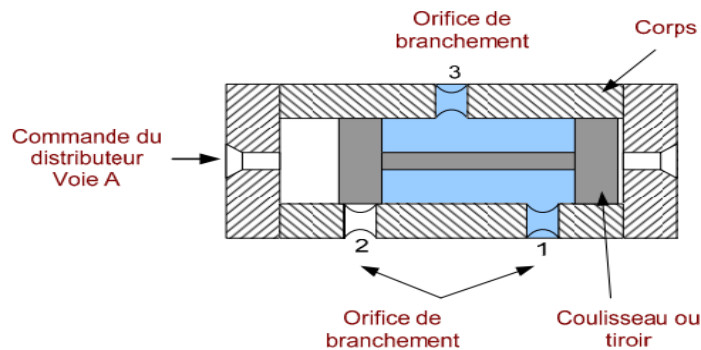


Figure II. 17. Architecture d'un distributeur.

II.5.2. Nombre de position

Le tiroir du distributeur peut prendre différentes positions. Chaque position est symbolisée par une case. A l'intérieur de chaque case, on indique les chemins que peut emprunter le fluide, ainsi que le sens d'écoulement.



Figure II. 18. Distributeurs à deux positions



Figure II. 19. Distributeurs à trois positions

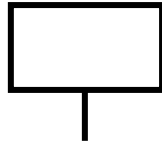


Figure II. 20. Raccordement Conduite générale

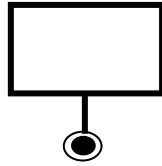


Figure II. 21. Raccordement Arrivée de pression

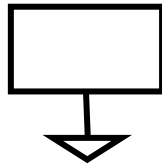


Figure II. 22. Echappement

II.5.3. Nombre d'orifice

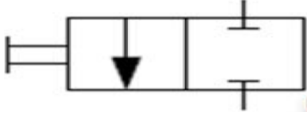
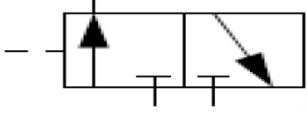

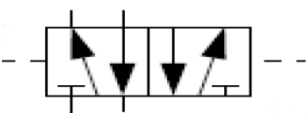
En se déplaçant dans l'alésage du corps, le tiroir vient mettre en communication les différents orifices du distributeur. Ces orifices dont le nombre varie ont une désignation normalisée :

- Arrivée de la pression : P
- Retour au réservoir : R et T
- Utilisation (branchement des actionneurs) : A et B
- Pilotages : X et Y

La désignation du distributeur se fait sous la forme : Distributeur « nombre d'orifice » / « nombre de position ».

II.5.4. Symbolisation

Tableau II. 8. Les différents types de distributeur avec leurs désignations

| symbole | désignation |
|---|------------------|
|  | Distributeur 2/2 |
|  | Distributeur 3/2 |
|  | Distributeur 4/2 |
|  | Distributeur 5/2 |

II.5.5. Type des distributeurs

Il existe deux principaux types de distributeurs

- ❖ **Distributeur monostable** : Si le distributeur possède un rappel par ressort on dit qu'il est « Monostable ». En présence du signal de pilotage, le tiroir bascule et reste dans sa position si le pilotage est maintenu. En l'absence de signal de pilotage le tiroir retrouve sa position repos sous l'action du ressort.
- ❖ **Distributeur bistable** : Si le distributeur possède deux pilotages il est dit « Bistable ». En l'absence de signal de pilotage, le tiroir ne bouge pas et occupe la position qu'il avait précédemment.

II.5.6. Types des commandes

La commande est le dispositif qui permet le déplacement du tiroir à l'intérieur du corps du distributeur. Il existe quatre sortes de dispositifs de commande. Ils sont représentés sur les côtés de la représentation symbolique du distributeur qui sont comme suite :

Commande manuelle ; commande mécanique (ressort) ; commande électrique (électro-aimant) et commande pneumatique (pression).

Tableau II. 9. Représente les différents types de commandes

| Commande | symbole | Commande | symbole |
|--|---------|--|---------|
| Commande musculaire | | Commande mécanique poussoir | |
| Commande Bouton poussoir | | Commande mécanique ressort | |
| Commande levier | | Commande mécanique galée | |
| Commande pédale | | Commande mécanique Galet escamotable | |
| Commande électrique (1) à un enroulement (2) à deux enroulements | | Commande directe par augmentation de pression (1) hyd ; (2) pneum | |
| Commande électrique Moteur électrique | | Commande directe par augmentation de pression (3) hyd (4) pneum | |

II.5.7. Fonctionnement d'un distributeur

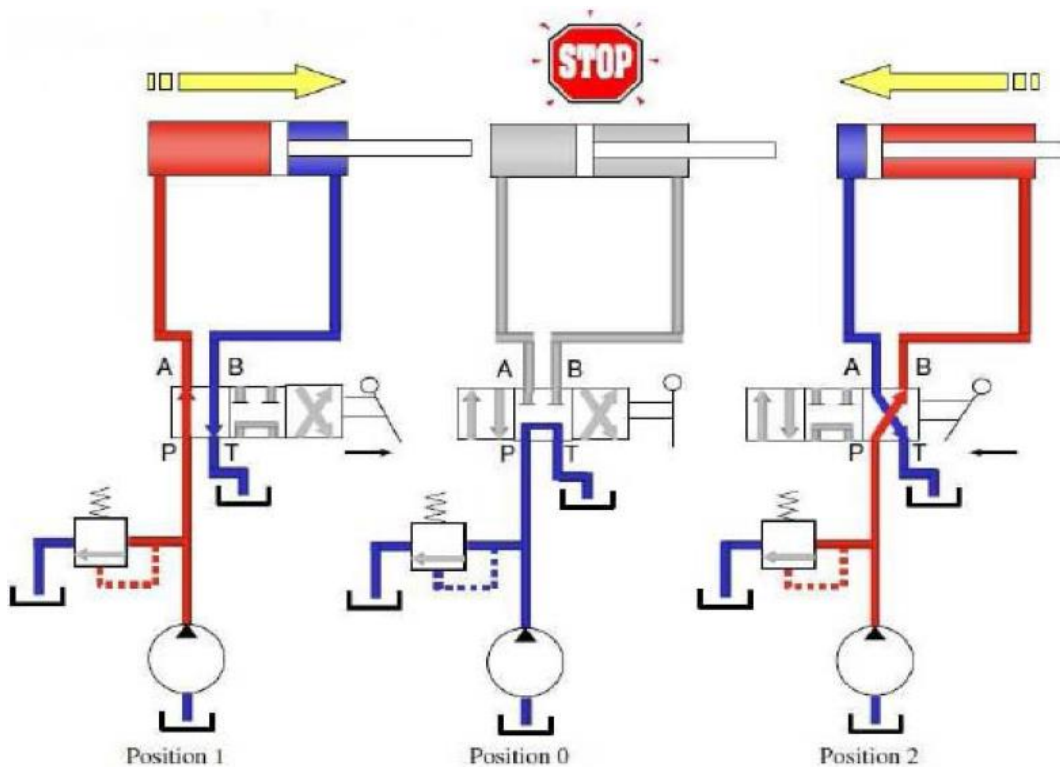


Figure II. 23. Fonctionnement d'un distributeur dans un circuit hydraulique.

- En **rouge** l'huile sous pression.
- En **bleu** l'huile dans le circuit de retour.

Position 1 : sortie du vérin

Le levier de la commande positionne le tiroir du distributeur de manière à mettre en communication les orifices « P » vers « A » et « B » vers « T » provoquant la sortie du vérin.

Position 0 : arrêt du vérin

Les orifices « A » et « B » sont obturé par le tiroir du distributeur immobilisant le vérin en position. Le fluide hydraulique issu de la pompe retourne directement au réservoir par les orifices « P » et « T » qui communiquent.

Position 2 : rentrée du vérin

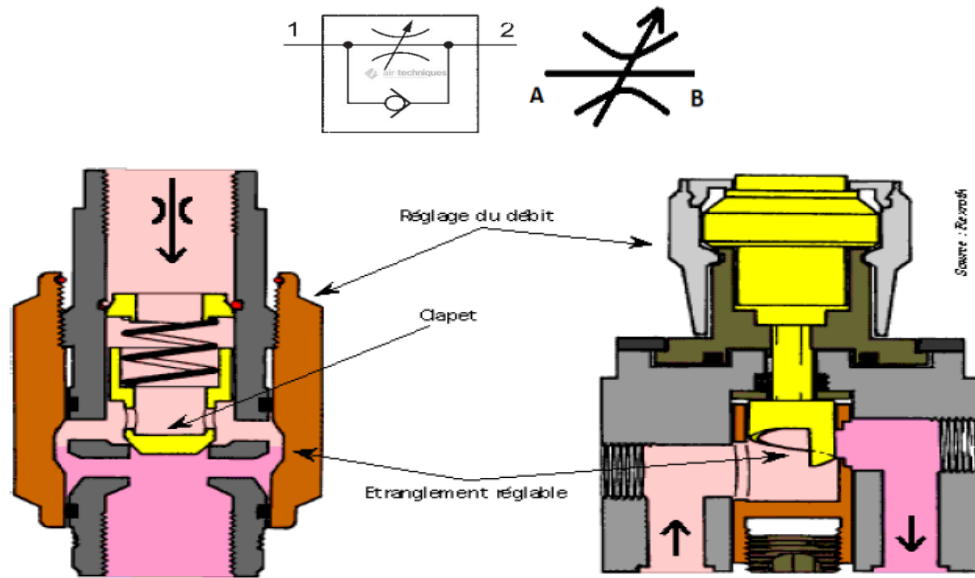
Le levier de la commande positionne le tiroir du distributeur de manière à mettre en communication les orifices « P » vers « B » et « A » vers « T » provoquant la rentrée du vérin.

I.6. Appareils de contrôle du débit

La particularité de ces appareils est que le débit qui les traverse dépend de la perte de charge à leurs bornes. A d'autres termes, si la charge au récepteur varie, la pression demandée par son actionneur change et donc le débit varie également [9].

II.6.1. Limiteurs de débit (ou réducteur de débit)

Le limiteur de débit un simple étrangleur réglable dans une conduite. En effet si on réduit le diamètre de passage, la quantité d'air ou fluide sera ainsi réduite. Certains modèles fonctionnent dans un seul sens, ils sont pourvus d'un clapet anti-retour dans le sens inverse. Avec un limiteur de débit, le débit varie avec la charge entraînée.



Limiteur de débit a un seul sens

Limiteur de débit à deux sens

Figure II. 24. Les différents types des limiteurs de débit.

II.6.2. Régulateurs de débit

Ils sont constitués de deux étranglements successifs, l'un est réglable par l'utilisateur, l'autre change automatiquement en fonction des variations de pression pour conserver un débit constant. De plus, la plupart sont dits compensés en température, donc peu sensibles à la viscosité de l'huile. Avec un régulateur de débit, le débit est indépendant de la charge.

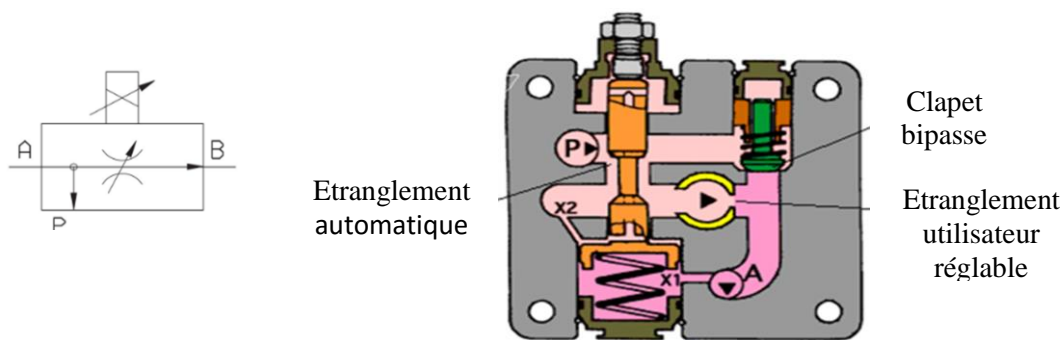


Figure II. 25. Symbole d'un régulateur de débit.

II.7. Régulateur de la pression

Le régulateur a pour fonction de ramener la pression primaire, qui est variable, à une pression secondaire pratiquement constante. Par ailleurs, une pression trop élevée accélère l'usure de l'outillage et des équipements hydrauliques en général. Le régulateur de pression est donc essentiel sur la majorité des systèmes, car il permet de réaliser des économies sur les coûts d'exploitation et d'accroître la durée de vie de l'équipement. On distingue alors les trois principaux types des régulateurs suivants :

II.7.1. Limiteurs de pression

Sont appelés aussi soupape de sûreté. Ce composant peut assurer deux fonctions dans un circuit hydraulique:

- Permet de limiter la pression de fonctionnement dans l'ensemble d'un système hydraulique pour protéger la pompe, les appareils et les tuyauteries contre les surpressions dangereuses. C'est le premier appareil du circuit après la pompe hydraulique. Il assure la sécurité du groupe et des équipements (il est réglé de +10 à +20% de la pression de service et doit être plombé).
- Permet de limiter la pression dans une branche du système pouvant se trouver isolée.

Un circuit peut comporter plusieurs de ces composants.

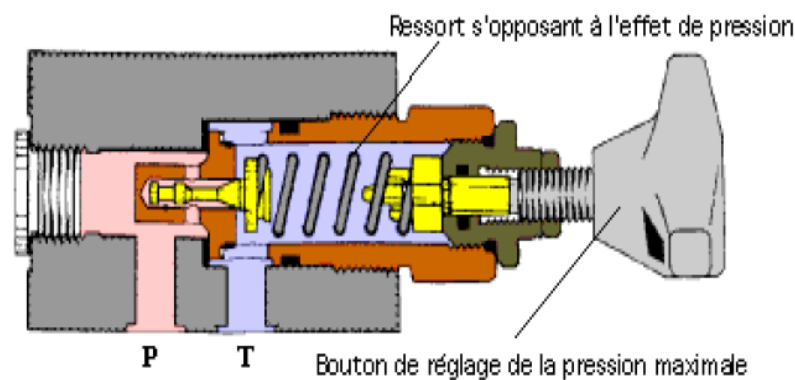


Figure II. 26. Limiteur de pression

II.7.2. Réducteurs de pression

Il assure une pression constante inférieure à la pression d'alimentation, il a comme rôle de couper la communication entre l'entrée et la sortie lorsque la pression en aval dépasse la valeur de tarage.

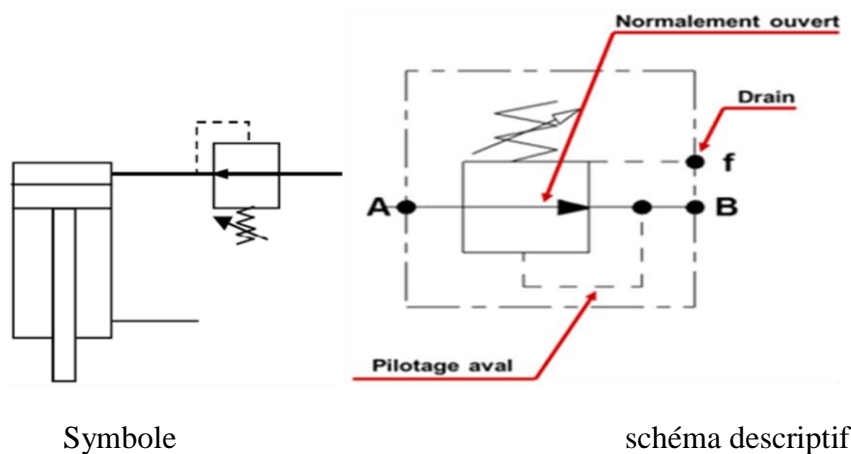


Figure II. 27. Réducteur de pression.

II.7. 3.Valves de séquence

Elle a pour fonction de laisser passer le fluide hydraulique sur une ligne $P \gg A$ lorsque la pression de commande X a atteint sa valeur de tarage.

La valve de séquence est installée en ligne, et ne dégrade aucune énergie lorsqu'elle est "ouverte en grand". Sa phase d'ouverture montre un comportement complexe, mais la fonction "valve de séquence" se trouve en dehors de cette phase.

Cet appareil a un schéma qui ressemble dangereusement à celui du limiteur de pression

Elle doit être impérativement raccordée à la pression atmosphérique (drain) pour pouvoir fonctionner. Cet appareil ne fonctionnant à l'ouverture que dans un seul sens, il sera systématiquement doublé d'un clapet bipasse pour le sens $A \gg$

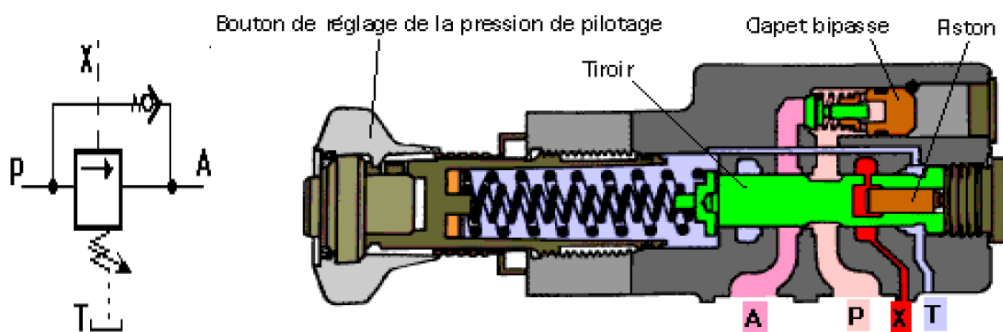


Figure II. 28. Valves de séquence.

Principe de fonctionnement : La pression de commande X agit sur le tiroir (section égale à celle du piston). Dès que cette pression est supérieure à la pression réglée, alors le tiroir se trouve complètement à gauche, le passage $P \gg A$ se fait librement. Si cette pression est insuffisante, alors le tiroir est complètement à droite et le passage $P \gg A$ est fermé. Seule la phase d'ouverture donne une réponse délicate.

II.7.4. Accumulateurs

Son principe de fonctionnement est basé sur la dilatation thermique qui assure l'amortissement de chocs, récupération et restitution d'énergie, compensation de fuites et réserve d'énergie.

On les utilise en particulier dans les circuits où la puissance moyenne utilisée est faible, mais la puissance instantanée importante.

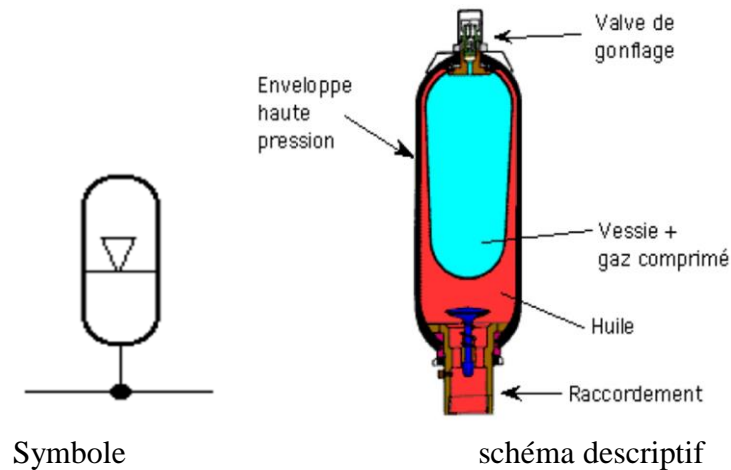


Figure II. 29. Accumulateur de pression.

II.8. Filtration

Les polluants présents dans un circuit occasionnent des dommages et/ou une usure prématurée des composants, ces polluants peuvent être de deux types:

- Solides, par exemple:
 - Particules venant de l'extérieur (exemple: silice)
 - Particules d'usure venant des composants
- Solubles ou non solides, par exemple:
 - Eau (condensation, infiltration...)
 - Lubrifiant, fluide de coupe, solvant
 - Air en émulsion
 - Gommages, boues ...provoquant des dépôts

Pour éliminer ces polluants on utilise différents filtres, de conceptions différentes et positionnés à divers endroits possible du circuit hydraulique.



Figure II. 30. Les filtres hydrauliques

Les filtres les plus courants sont constitués d'une grille dont la maille est appropriée à la taille des particules à retenir. Cette grille peut être constituée de différents matériaux: grillage, feutre, papiers, synthétiques...

D'autres filtres utilisent un champ magnétique pour piéger les particules magnétiques.

a) Symbole

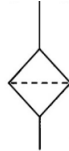


Figure II. 31. Symbole d'un filtre hydraulique

b) Composition

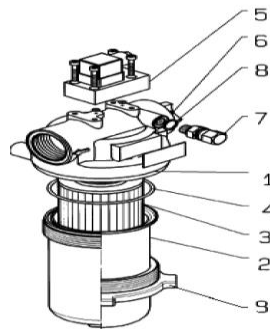


Figure II. 32. Composition d'un filtre pour circuit hydraulique

- 1 - Tête de filtre
- 2 - Pot de filtre
- 3 - Élément filtrant (membrane)
- 4 - Joint tête-pot
- 5 - Indicateur de colmatage à contacts
- 6 - Clapet de sécurité bipasse
- 7 - Soupape de purge d'air
- 8 - Divers joints d'étanchéité
- 9 - Vis d'assemblage tête-pot

c) Sécurité des filtres

Il s'agit essentiellement d'une protection contre le colmatage. A force d'arrêter des particules, le filtre finit par se boucher (se colmater) et il est nécessaire de le remplacer.

Si ce remplacement n'est accidentellement pas fait, les parois du filtre colmaté vont se déchirer sous l'effet de la perte de charge ainsi occasionnée et toutes les particules accumulées vont se déverser d'un coup dans le circuit.

Les protections courantes sont les indicateurs de colmatage ils donnent une information lorsque la perte de charge provoquée par le colmatage devient inacceptable. Cette information peut être un voyant, un contact géré par la partie commande ...



Figure II. 33. Filtre avec indicateur de colmatage à voyant.

II.9. Huile

L'huile est un organe très important dans un circuit hydraulique surtout elle fait prolonger la durée de vie des composant hydraulique. On distingue deux types de l'huile :

- a) **Huile minéral** : Pour la production d'huile minérale on extrait du pétrole certaines catégories de molécules. Mais le procédé n'est pas parfait: les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base (par exemple : paraffines, solvants légers...).
- b) **Huile synthétique** : on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature. On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu. Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles. Cependant, elles sont chères à produire et leur disponibilité dans le monde est limitée. De plus, le choix d'un lubrifiant synthétique dépend du problème posé [10].

Voici quelques familles d'huiles de synthèse :

Tableau II. 10. Représente les familles d'huiles

| | |
|--|--|
| Poly-glycols | Bonnes propriétés lubrifiantes, point éclair élevé. Haut indice de viscosité : 150 à 200, faible volatilité, bonne stabilité thermique, incompatible avec les huiles minérales. Exemples d'utilisations : Poly-glycol soluble à l'eau : fluide difficilement inflammable, fluide d'usinage ... Poly-glycol insoluble : fluide de frein, lubrifiant moteur, lubrifiant engrenage ... |
| Esters | Faible volatilité, bonnes propriétés à froid, bonne tenue thermique, bonne propriété solvant et bonne résistance au cisaillement. Exemples d'utilisation : graisse, turbine à gaz, aviation, utilisé comme additif (pouvoir lubrifiant élevé). |
| Hydrocarbures synthétiques (polyalphaoléfines) | Comportement à froid performant, indice de viscosité élevé. Selon la longueur de la chaîne, bonne propriété thermique. Exemples d'utilisations : lubrifiant d'engrenages, compresseur ... |
| Silicone | Inerte chimiquement, grande résistance à la chaleur et à l'oxydation. Hydrophobe, indice de viscosité élevé (jusqu'à 300), bonne propriété à froid. Incompatibilité chimique avec de nombreux additifs. Pouvoir lubrifiant très médiocre. Exemples d'utilisations : graisse, fluide hydraulique ... |
| Alkylbenzènes | Utilisées dans les compresseurs (air, frigorifiques) pour la propreté des clapets, compatibilité avec les fluides frigorigènes, caloporteur... |
| Glycols | Utilisées dans les compresseurs, compatibilité avec les fluides frigorigène |

❖ *Catégories courantes d'huile pour circuits hydrauliques:*

- **HL** : huiles minérales + propriétés anti-oxydantes et anticorrosion particulières. Elles présentent un bon comportement vis-à-vis de l'eau. Elles sont préconisées dans les installations à moyenne pression lorsque des additives anti-usures ne sont pas nécessaires.
- **HM** : fluides HL + propriétés anti-usure particulières.
- **HV** : fluides HM + propriétés viscosité/température améliorées.
- **HG** : fluides HM + propriétés anti stick-slip(pour glissières de machines-outils).
- **HSx**: fluides de synthèse.
- **HFxx**: fluides difficilement inflammables. Les fluides HFC sont les plus utilisés.

Remarque : Les fluides HM et HV sont les plus utilisés.

- ❖ **Indice de viscosité** : L'indice de viscosité d'une huile caractérise sa qualité à avoir une viscosité plus ou moins stable en fonction de la température.

Si l'indice de viscosité est élevé, moins la viscosité de l'huile varie avec la température.

- ❖ **Contrôle et surveillance des huiles** : La surveillance des huiles en fonctionnement a deux buts essentiels:
 - surveiller l'huile pour vérifier son état conforme.
 - surveiller, à travers l'huile, l'état de l'installation. C'est souvent le but principal.

II. 10. Bâches

La bâche (ou réservoir) a bien sûr pour fonction principale de contenir la réserve d'huile nécessaire au fonctionnement de l'installation, à l'abri des polluants extérieurs. Mais elle a d'autres fonctions:

- Refroidissement du fluide par échange direct avec l'extérieur.
- Décantation du fluide (séparation des insolubles solides et liquides).
- Dés-émulsion du fluide (séparation des fluides)...

La capacité de la bâche dépendra de tous ces facteurs et de sa respiration. La respiration est la quantité d'huile entre les niveaux minimum et maximum. Cette variation de niveau est causée, en particulier, par la rentrée/sortie des tiges des vérins présents dans le circuit.

Les motopompes peuvent se situer au-dessus de la bâche (pompe apparente ou non) ou en dessous (bâche dite en charge).

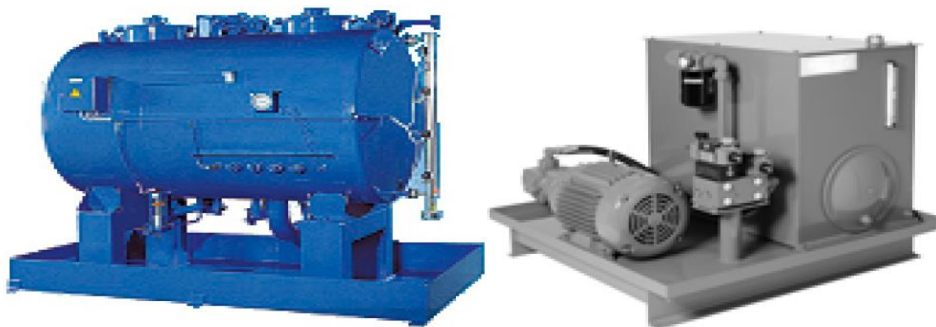


Figure II. 34. Réservoir hydraulique

II.11. Règles d'exécution des schémas

Les symboles pour composants des transmissions hydrauliques doivent être composés des symboles de base et des signes de fonctions contenus dans les normes NF ISO 1219-1, NF E 04-056 et NF E 04-057. Il sera bon de considérer également que les symboles utilisés dans l'industrie peuvent présenter des différences parfois importantes. Cependant il y a toujours

une logique dans la représentation des fonctions hydrauliques, on pourra donc toujours se ramener à un symbole normalisé [11].

La compréhension des fonctions en hydraulique est donc prépondérante sur la représentation.

❖ *Quelques règles générales:*

- Un symbole représente une fonction, un mode de fonctionnement, ou un mode de raccordement extérieur.
- Un symbole ne vise pas à une représentation exacte d'un organe.
- L'élaboration de symboles représentant des fonctions plus complexes doit se faire par combinaison des symboles de base et des signes de fonctions conformément aux règles données par l'ISO 1219.
- Le symbole doit représenter la fonction normale, en position de repos ou neutre.
- Les symboles indiquent la présence de raccordements extérieurs, mais il n'est pas nécessaire de représenter leur emplacement exact sur l'appareil.

Certains repères désignent les orifices sur les appareils et facilitent le travail. Il maintenant normalisés et sont utilisés par la plupart des fabricants :

- Les lettres éventuellement représentées sont purement des marques et ne décrivent pas les paramètres ou les valeurs des paramètres.
- Les symboles fonctionnels peuvent être représentés suivant n'importe quelle orientation sans que leur sens en soit affecté. Il est préférable de choisir des incréments de 90°.
- Lorsqu'un seul bloc ou une seule unité de montage réunit deux symboles ou plus, ces symboles doivent être entourés d'un trait mixte fin désignant un sous-ensemble.

Certains repères désignent les orifices sur les appareils et facilitent le travail. Il maintenant normalisés et sont utilisés par la plupart des fabricants :

P : orifice de raccordement de l'alimentation en pression.

T : orifice de raccordement du retour à la bêche.

A, B : orifices de raccordement des utilisations (vers les actionneurs).

X, Y : orifices de raccordement des pilotages (alimentation, retour).

L : orifices de raccordement des drains.

II.12. Types de circuits (ouverts ou fermés)

a) **Circuits ouverts** : Le fluide hydraulique circule en repassant systématiquement par la bêche, à pression atmosphérique.

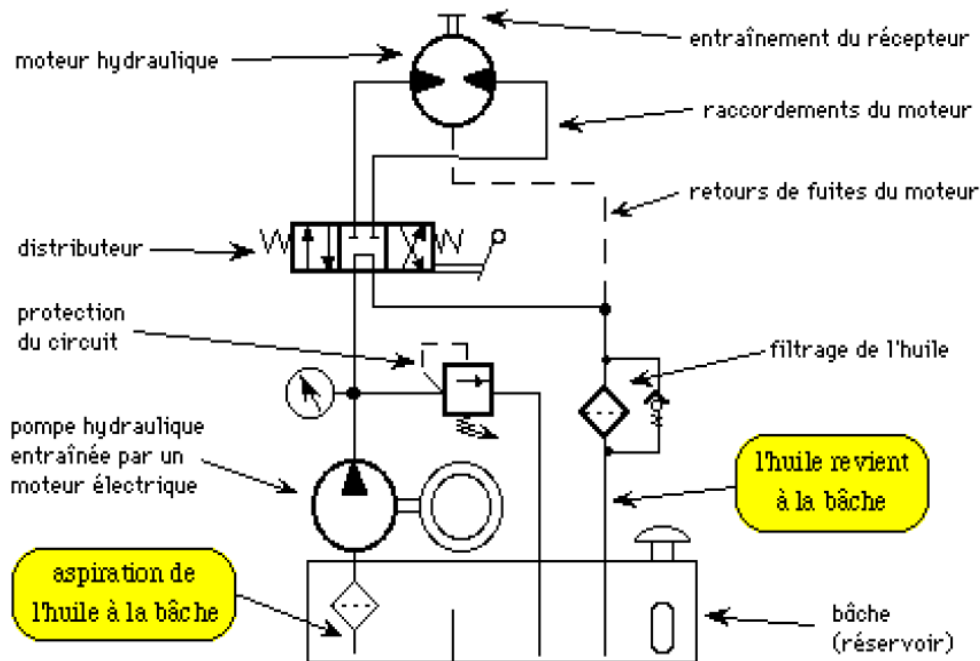


Figure II. 35. Exemple de circuit ouvert.

Ces circuits sont les plus simples à concevoir mais présentent un inconvénient: en effet, la pompe aspirant à la pression atmosphérique (à 1 bar de pression absolue), celle-ci ne peut créer qu'une perte de charge minimale (de l'ordre de -0,2 bar maxi) dans la conduite d'aspiration la reliant à la bêche. En conséquence, pour un débit donné, la taille de la pompe devra être relativement importante à cause de ses tubulures d'aspiration (externes et internes).

Si la perte de charge à l'aspiration venait à augmenter, alors une cavitation (voir lexique) se produirait, détériorant la pompe rapidement. (Ecouter bruits de cavitation).

b) **Circuits fermés** : pour remédier au défaut précédent il suffit de faire aspirer la pompe directement à une pression beaucoup plus importante (dite pression de gavage) que celle de l'atmosphère. Pour cela le moteur recrache directement son huile à la pompe à la pression de gavage. Les tubulures de la pompe peuvent donc être de sections plus faibles.

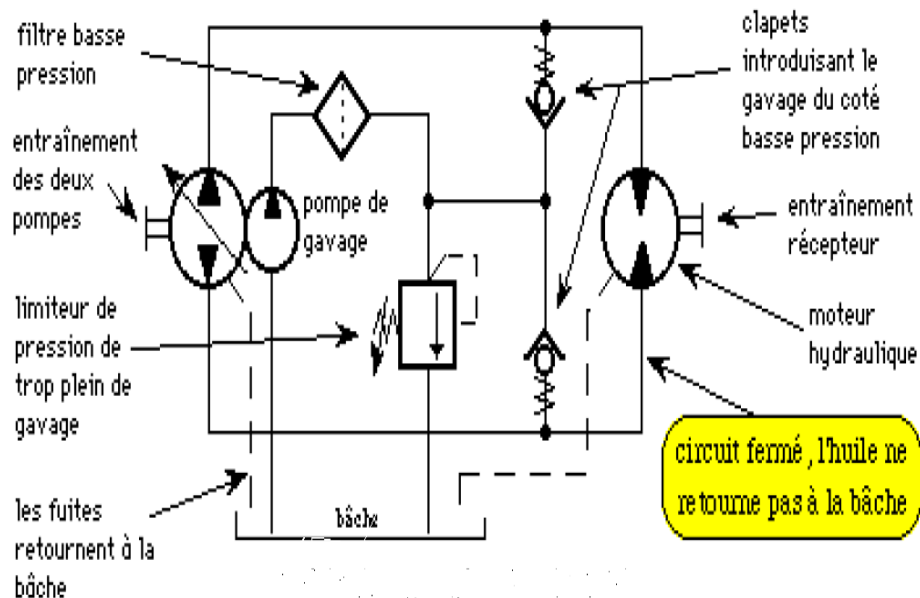


Figure II. 36. Exemple de circuit fermé

Pour une même puissance transmise, un circuit fermé sera donc plus compact qu'un circuit ouvert. Malheureusement, les fuites internes au circuit doivent être comblées en permanence par une pompe annexe, dite de gavage. Les fuites internes pouvant varier de façon importante (à chaud, à froid, matériel neuf ou usagé ...), cette pompe de gavage doit être largement surdimensionnée et nécessite par conséquent un trop plein.

D'autre part, le volume d'huile dans le circuit fermé étant constant, les vérins à simple tige en sont proscrits.

On comprend alors qu'un circuit fermé, bien que plus performant en rapport poids/puissance, est beaucoup plus délicat à concevoir qu'un circuit ouvert

II.13. Pertes dans les circuits hydrauliques hydrostatiques

Les pertes énergétiques (affectant le rendement) ont plusieurs causes. Ces pertes doivent bien sûr être limitées si le but de l'installation est la transmission de puissance. En revanche, si le but est le mouvement de charges importantes, alors le seul côté préoccupant sera la production de chaleur dans le circuit.

Les différentes causes sont énoncées ci-après avec un ordre de grandeur de la perte énergétique en %.

- ❖ **Pertes mécaniques** : Il s'agit des frottements entre les différentes pièces (1 à 2 %).
- ❖ **Pertes hydrodynamiques** : (pertes de charge) : Dues aux écoulements dans les différents organes et conduites (1 à 5 %).

- ❖ **Pertes par compressibilité** : Dues à la compressibilité de l'huile, affectent essentiellement les pompes et moteurs. (2,5 à 10 %). La compressibilité du fluide provient des caractéristiques intrinsèques de l'huile et des gaz dissous (ou en émulsion).
- ❖ **Pertes de gavage** : Dans un circuit fermé la pompe de gavage consomme bien sûr de l'énergie (1 à 2,5 %).
- ❖ **Pertes volumétriques** : Dues aux fuites internes, affectent le rendement volumétrique (2 à 10%). La valeur de ces pertes dépend bien sûr de la qualité du matériel et de son domaine d'application. Ces pertes dépendent également de la viscosité de l'huile employée et de l'âge du matériel.

II.14. Exemple d'un système hydraulique

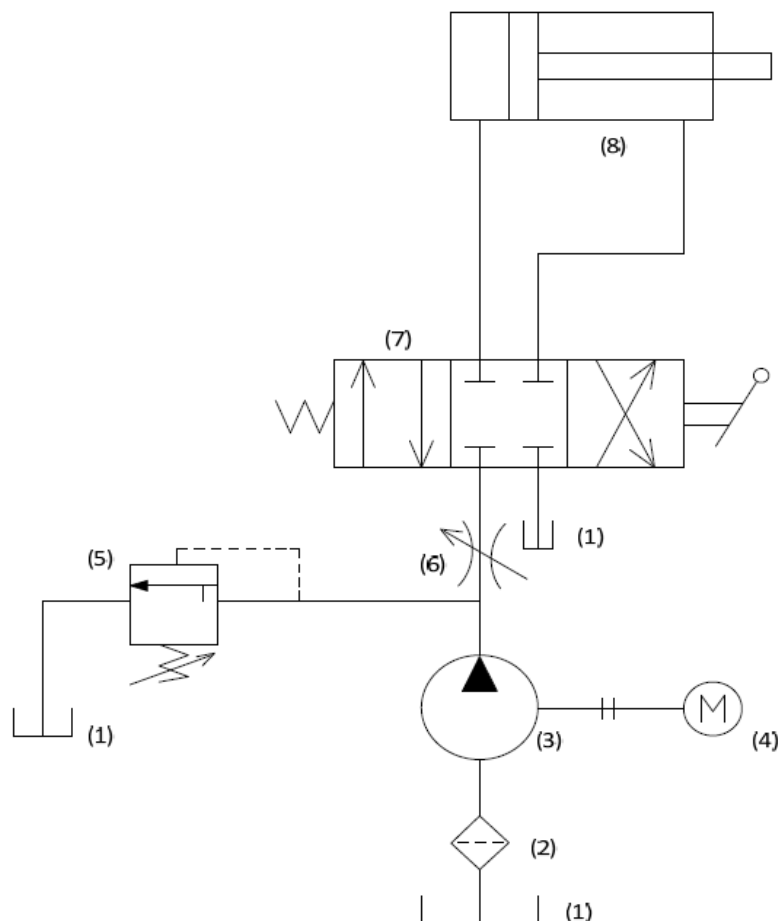


Figure II. 37. Exemple d'un circuit hydraulique

Les composants principaux de cet exemple sont suivants :

1- Réservoir hydraulique : une fois le circuit hydraulique est en fonctionnement, les principales fonctions du réservoir hydraulique sont : stockage de l'huile hydraulique, évacuation de la chaleur de l'huile, et séparation de l'air et d'huile.

2- Filtre : les filtres hydrauliques sont utilisés pour garder les huiles minérales et synthétiques, pures et propres.

3- Pompe hydraulique : permet de faire circuler le fluide à travers le circuit hydraulique, la pompe va aspirer le fluide du réservoir puis va le transmettre aux autres composants du circuit hydraulique.

4- Moteur électrique : machine électrique qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique, la pompe hydraulique est entraînée par le moteur électrique.

5- Régulateur de pression : joue le rôle de limiter la pression de refoulement et de protéger la pompe dans un circuit hydraulique.

6- Régulateur de débit : permet de limiter ou réduire la vitesse du débit dans un circuit hydraulique.

7- Distributeur hydraulique : les distributeurs sont des robinets directionnels qui dirigent le fluide selon les besoins du circuit hydraulique.

8- Vérin hydraulique : le rôle des vérins est de transformer l'énergie de pression du système hydraulique en force mécanique utile.

II.15. Conclusion

À partir d'une énergie électrique (moteur électrique) ou thermique (moteur diesel), un système hydraulique permet de produire une énergie hydraulique. Un système hydraulique (ou installation hydraulique), en hydromécanique, est un ensemble complet de composants qui utilise un fluide sous pression pour effectuer un travail mécanique. Alors dans ce chapitre on a entamé les composants essentiels participant à la réalisation des circuits hydrauliques, avec leur fonctionnement et leurs choix et caractéristiques qui vont nous permettre dans la suite du travail de faire des études sur simulation et dimensionnement de table élévatrice hydraulique.

Chapitre 3 : Dimensionnement et simulation d'un système hydraulique – Cas de table élévatrice

III.1. Introduction

Un système hydraulique (ou installation hydraulique), en hydromécanique, est un ensemble complet de composants qui utilise un fluide sous pression pour effectuer un travail mécanique afin de permettre aux machines hydrauliques de pouvoir soulever un objet.

Dans ce chapitre, nous allons présenter une partie de dimensionnement de système hydraulique d'un cas de table élévatrice, suivi par une autre de simulation qui confirme les résultats obtenus, en utilisant l'application **Simscape multibody physical** intégré dans le code de calcul Matlab.

III.2. Description de la table élévatrice hydraulique

Encore appelée table à ciseaux, est un matériel de manutention permettant de lever ou de baisser une charge. Le mouvement d'élévation est assuré par un vérin hydraulique ; il est manuel pour les faibles charges. La course du vérin est amplifiée par des ciseaux [12].



Figure III. 1. Table élévatrice hydraulique

III.2.1. Composition

La table élévatrice hydraulique est composée des éléments suivants :

a) **Le châssis de base** : Le châssis soutient le reste de l'assemblage. Il doit être solide, rigide et stable. Dans la plupart des cas, il est conçu pour être posé au sol mais il peut également être construit dans une fosse ou équipé de roues ou de galets pivotants, ou bien fourni avec un châssis de manutention.

b) **Les ciseaux** : Les ciseaux fournissent un vrai mouvement vertical de niveau tout en soutenant la plateforme ou partie supérieure. Les deux paires de ciseaux sont connectés par

des arbres aux points de pivotement centraux et aux extrémités des charnières supérieures et inférieures.

c) **La partie supérieure ou plateforme** : La plateforme peut avoir n'importe quelle taille qui soit compatible avec le châssis et les ciseaux. Spécifiquement, la plateforme ne peut pas être plus courte que la longueur ou la largeur des ciseaux/châssis. Les plateformes peuvent être plus grandes que les ciseaux/le châssis. Les plateformes peuvent être équipées d'une grande variété d'options, telles que convoyeurs, plateaux circulaires, plateformes basculantes ou équipées d'œillets de fixations ou d'équipements adaptés à des opérations de travail particulières.

d) **Le bloc d'alimentation** : Le bloc d'alimentation (en général électro-hydraulique) consiste en un moteur électrique, une pompe hydraulique, un réservoir hydraulique, tuyauterie, robinetterie et système de contrôle électrique.

e) **Le boîtier de contrôle** : L'unité de contrôle standard peut être soit un bouton-poussoir, soit une pédale. Dans l'industrie en particulier et dans les infrastructures de notre société en général, il existe un besoin continu de lever et de positionner des pièces, des matériaux et des personnes. Si l'on demande aux ouvriers/ manutentionnaires d'accomplir telle opération de levage et de positionnement sans l'aide d'un équipement mécanique, le résultat peut varier de la fatigue et une faible productivité aux accidents graves de travail. Entre ces deux extrêmes se trouvent les blessures liées au levage et au positionnement difficile, continu et répétitif, telles que les douleurs de dos et le syndrome du canal carpien.

III.2.2. Principe de fonctionnement

Lorsque le bouton de montée est activé, la pompe aspire le fluide contenu dans le réservoir et l'envoie dans les cylindres, ce qui entraîne un mouvement du piston et de l'arbre. L'arbre de piston est lié mécaniquement aux assemblages d'articulations et les entraîne à lever la plateforme. Un clapet anti-retour, qui se trouve dans la ligne hydraulique entre la pompe et le cylindre, empêche le fluide de s'écouler en arrière de manière que la plateforme puisse s'arrêter à n'importe quelle hauteur lorsque le bouton de montée est désactivé.

Lorsque le bouton de descente est activé, une vanne à solénoïde s'ouvre, permettant le retour du fluide hydraulique vers le réservoir. Le moteur ne fonctionne pas lorsque l'élévateur s'abaisse. Le poids de la plateforme et la gravité se combinent pour créer une pression dans le cylindre qui force le fluide à revenir dans le réservoir. Une vanne de débit, située sur la soupape d'abaissement, peut être réglée pour fournir la vitesse d'abaissement la plus favorable.

Lorsque le bouton de descente est désactivé, la soupape d'abaissement se ferme et la table demeure à la même hauteur jusqu'au moment où le bouton est activé. L'agencement de soupapes empêche la table de s'abaisser en cas de panne de courant [12].

III.2.3. Avantage de la table élévatrice hydraulique

Les tables élévatoires représentent la solution idéale pour les problèmes de levage et de positionnement pour les raisons suivantes :

✓ **Plateforme stable** : À la différence des treuils, grues ou manipulateurs, les tables élévatoires à ciseaux disposent d'une plateforme stable pour le levage et l'abaissement de matériel. La probabilité de laisser tomber une pièce de manière accidentelle est plus faible et le danger de voir une charge suspendue se balancer et causer des blessures au personnel est éliminé.

✓ **Réglage infini de la hauteur** : Une table élévatrice est conçue pour se déplacer doucement vers le haut ou vers le bas jusqu'à la hauteur désirée et pour maintenir cette hauteur même en cas de panne de courant

✓ **Polyvalence** : Les tables élévatoires peuvent être fournies avec une large gamme d'accessoires, tels que convoyeurs à rouleaux, plateaux tournants, rampes, abattants... ainsi qu'avec des plateformes munies d'installations spéciales telles qu'étaux et autres dispositifs de positionnement automatique

✓ **Mouvement programmable** : Le mouvement peut être programmé, et les tables peuvent être intégrées à des systèmes spéciaux de manutention et des lignes de production.

✓ **Mobilité** : Les tables élévatoires peuvent être livrées avec des socles sur roulettes ou avec des châssis de manutention.

✓ **Course de levage verticale importante** : Une table élévatrice peut être installée dans une fosse pour obtenir une hauteur d'abaissement de zéro absolu ou sur des versions à hauteur du plancher ou montées au sol, ou équipée de multiples articulations en ciseaux pour un levage extrêmement haut. Une autre option est la table élévatrice extra-plate. En raison de sa faible hauteur en position rétractée, la table élévatrice extra-plate ne nécessite pas l'installation dans une fosse puisqu'elle peut être directement installée au sol.

✓ **Faible maintenance** : Les tables élévatoires sont des machines robustes et résistantes, conçues pour des années d'utilisation avec un niveau minimal de maintenance. L'arrêté du 1er mars 2004 (normes européennes) oblige à vérifier l'état de conformité tout matériel de levage et tables élévatoires (notamment pour le matériel ancien) Le chef d'établissement est tenu d'effectuer les vérifications périodiques. Il est fortement conseillé de souscrire à un contrat de

maintenance avec des sociétés spécialisées dans le domaine des tables élévatrices. Le marché des tables élévatrices en Europe a beaucoup évolué ces dernières années. Concurrencer les importations chinoises à bas coût n'est désormais plus un objectif.

III.2.4. Principales applications

Les tables élévatrices sont utilisées dans tous les secteurs industriels où des levées de charges sont nécessaires. Elles sont également intégrées dans des chaînes de montage et d'assemblage. Elles représentent également une alternative économique dans des projets d'élévateurs et de monte charges. Les tables élévatrices sont utilisées dans la construction de bâtiments publics et privés, dans l'implémentation d'équipements favorisant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite ainsi que dans des solutions sur mesures pour le traitement des ordures ménagères. Enfin, les tables élévatrices sont souvent un élément clef de la politique ergonomique des entreprises.

III.3. Dimensionnement de table élévatrice

Sur un cahier des charges il est demandé de réaliser une installation de table élévatrice hydraulique qui répond aux exigences suivantes [12] :

On veut réaliser un vérin alimenté par un moteur hydraulique.

Le vérin déplace une masse de 3000 Kg sur 850 mm à une vitesse moyenne de 0.53 m/s à l'aller comme au retour.

On pourra considérer que la phase accélération représente environ 1/5 du temps total.

III.3.1. Vérin hydraulique

Pour le cas étudié de la table élévatrice, un vérin hydraulique sert à créer un mouvement mécanique et se caractérise par les paramètres suivants:

m : La masse : 3000 Kg

Vs et Vr : sont des vitesses de sortie et de l'entrée, respectivement, égal : 0.53 m/s

C : La course : 850 mm

η : Le rendement : 0.9 %

g : L'accélération de la pesanteur : 9,83 m/s²

Pour déterminer les dimensions d'un vérin nous devons faire certains calculs en tenant compte des forces exercées.

- Force (F_1) nécessaire pour équilibrer la masse (m) :

$$F_1 = m \times g \quad \Leftrightarrow \quad F_1 = 3000 \times 9,83$$

$$\Leftrightarrow \quad F_1 = 29490 \text{ N}$$

$$\Leftrightarrow \quad F_1 = 2949 \text{ daN}$$

- Force (F_2) nécessaire pour communiquer l'accélération (γ) :

$$F_2 = m \times \gamma$$

Nous allons déduire l'accélération par relation suivante :

$$\gamma = \frac{V}{t} \quad \Leftrightarrow \quad t = \frac{1}{5}T$$

D'où :

$$C = V * T \quad \Leftrightarrow \quad T = \frac{C}{V} = \frac{0.85}{0.53} = 1.60 \text{ s}$$

Et ;

$$t = \frac{1}{5}T \quad \Leftrightarrow \quad t = \frac{1}{5} \times 1.60 = 0.32 \text{ s}$$

Alors ;

$$\gamma = \frac{V}{t} \quad \Leftrightarrow \quad \gamma = \frac{0.53}{0.32} = 1.65 \text{ m/s}^2$$

Donc la force (F_2) est :

$$\begin{aligned} F_2 = m * \gamma &\Leftrightarrow F_2 = 3000 \times 1.65 = 4950 \text{ N} \\ &\Leftrightarrow F_2 = 495 \text{ daN} \end{aligned}$$

- Force réelle totale (F_t) nécessaire à déplacer la charge :

$$\begin{aligned} F_t = \frac{F_1 + F_2}{\eta} &\Leftrightarrow F_t = \frac{29490 + 4950}{0.93} \\ &\Leftrightarrow F_t = 37032,25 \text{ N} \end{aligned}$$

On peut aussi déterminer la section du piston (S) :

$$\begin{aligned} S = \frac{F_t}{p} &\Leftrightarrow S = \frac{36967}{150 \times 10^5} \\ &\Leftrightarrow S = 0.0024 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Alors, d'après la section de piston (S), on peut déduire le diamètre de piston (D) :

$$\begin{aligned} S = \pi \frac{D^2}{4} &\Leftrightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} \\ &\Leftrightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times 0.0024}{\pi}} \\ &\Leftrightarrow D = 0.0560 \text{ m} \\ &\Leftrightarrow D = 56 \text{ mm} \end{aligned}$$

La figure suivante représente les différentes mode de fixation de vérin avec leur coefficient du mode de fixation(k) qui nous a permis de calculer la longueur de la tige, ce dernier aussi est un paramètre important de le vérin hydraulique de la table élévatrice [11].

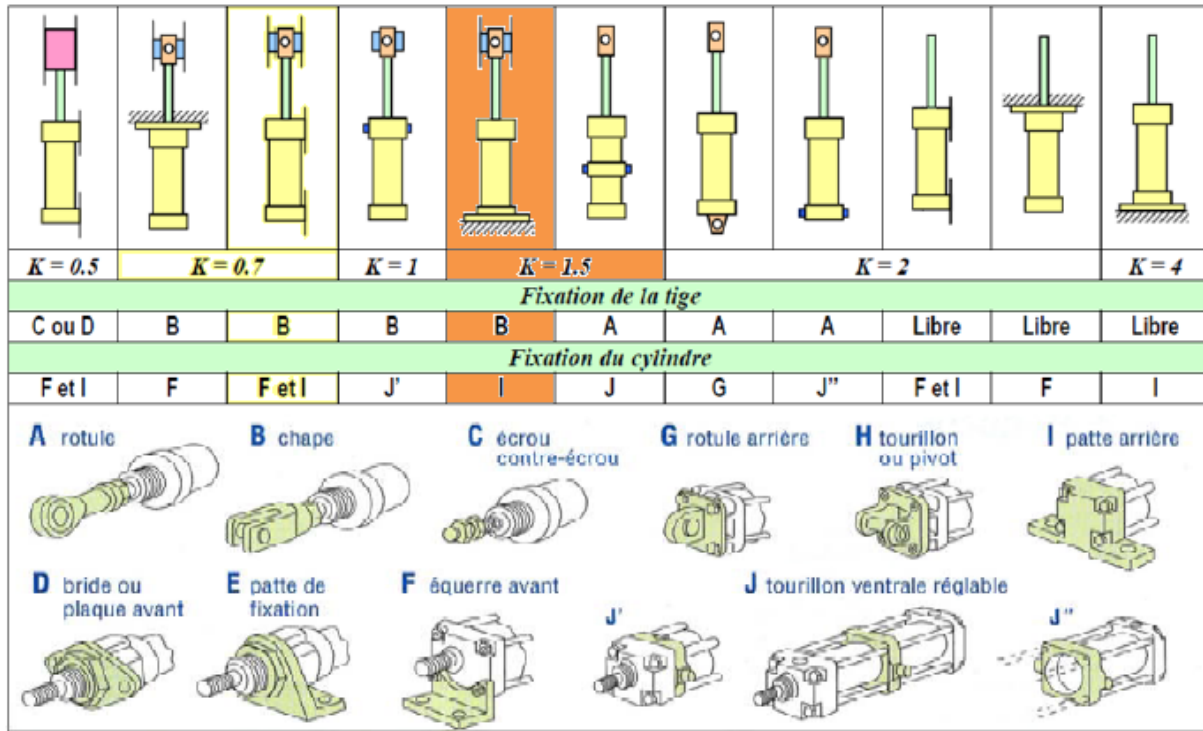


Figure III. 2. Choix du mode de fixation.

D'après la figure précédente on a choisi un type de cylindre de vérin avec une rotule arrière et parallèlement de type fixation de la tige est ainsi avec une rotule, comme montré dans la case coloré en orange qui contient un coefficient de course est égale à $K = 1,5$.

Tableau III. 1. Représente les diamètres du vérin [11]

| | Diamètre d'alésage du vérin (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | 32 | | 40 | | 50 | | 63 | | 80 | | 100 | | 125 | | 160 | | |
| | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | |
| Diamètre de la tige (mm) | 16 | 22 | 28 | 36 | 45 | 56 | 70 | 90 | 100 | | | | | | | | |

D'après le tableau précédent, on a trouvé le diamètre du piston ($D = 63 \text{ mm}$) qui correspondant à une tige du diamètre de 45 mm

Calcul de la longueur libre du flambage (L) :

$$L = C \times K$$

D'après le cahier de charge, on a C = 850 mm, donc :

$$L = 850 \times 1.5$$

$$L = 1275 \text{ mm}$$

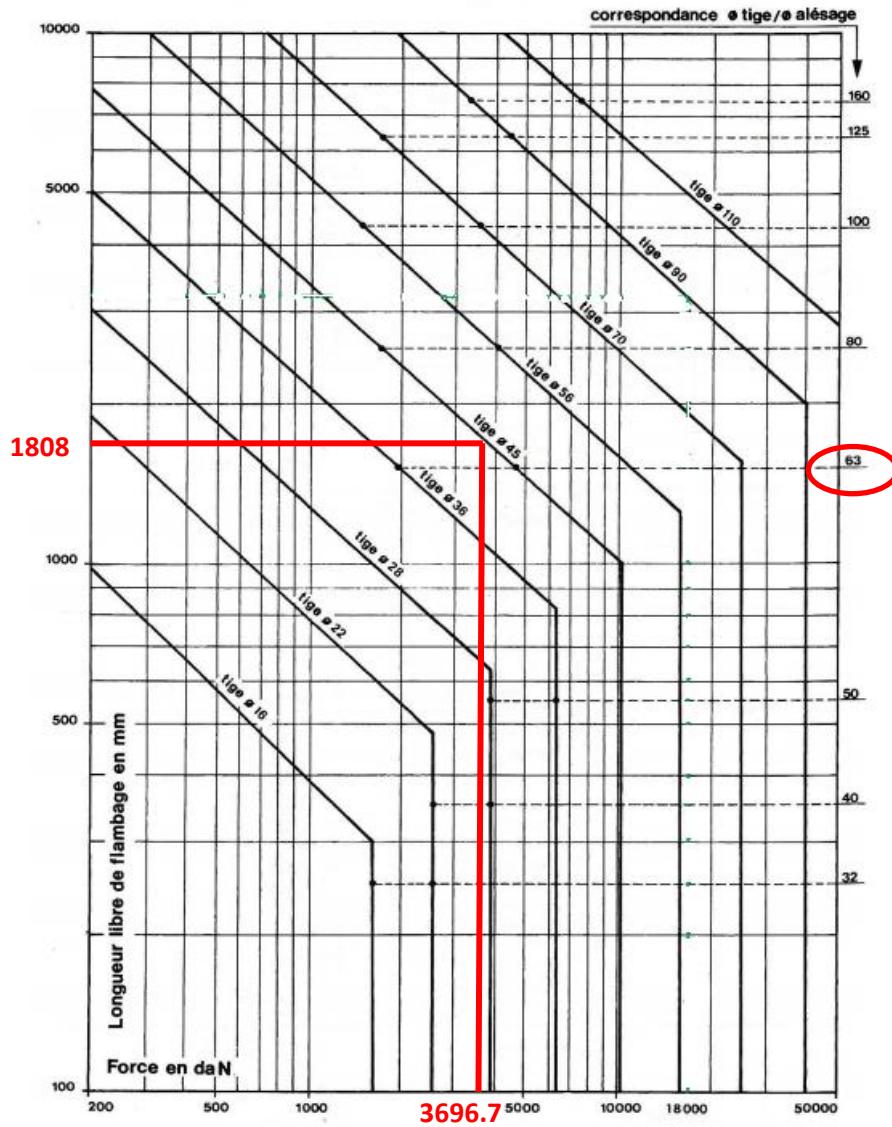


Figure III. 3. Abaque de détermination de longueur maximum de tige sans risque de flambage

D'après la figure précédente et pour une force réelle totale de ($F_t = 3696,7$ daN) et une tige de diamètre 45 mm, on peut déduire la longueur libre du flambage max environ de ($L_{max} \approx 1808$ mm). Donc le vérin qui convient est comme suit : **(Ø 63 × 45)**

III.3.2. Moteur hydraulique

Un moteur hydraulique est un moteur isotherme qui transforme une puissance hydraulique ou hydrostatique (pression × débit) en puissance mécanique (force × vitesse, ou couple × vitesse angulaire). Son utilisation se fait dans le cadre d'une transmission hydrostatique. Pour notre cas étudié de la table élévatrice le moteur utilisé est de paramètres suivants :

C : couple est égal à 75daN .m

N : vitesse de rotation est égal à 270 tr / min

η_m : rendement est égal à 0 ,93

P : pression est égal à 150 bar.

1. Détermination de la cylindrée

On considère que les pertes mécaniques sont faibles devant les pertes volumétriques (η_v).

$$\eta = \eta_v \times \eta_m \quad \Leftrightarrow \quad \eta = 0,93 \quad \text{avec} \quad \eta_v = 1$$

Nous savons le couple théorique est obtenu par la relation suivante :

$$\begin{aligned} C &= C_{th} \times \eta & \Leftrightarrow & \quad C_{th} = \frac{C}{\eta} \\ & & \Leftrightarrow & \quad C_{th} = \frac{850}{1} \\ & & \Leftrightarrow & \quad C_{th} = 850 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Donc la cylindrée (C_{yl}) est trouvée à partir de la formule suivante :

$$\begin{aligned} C_{th} &= \frac{C_{yl} \times \Delta p}{2\pi} & \Leftrightarrow & \quad C_{yl} = \frac{2 \times \pi \times C_{th}}{\Delta p} \\ & & \Leftrightarrow & \quad C_{yl} = \frac{2 \times \pi \times 850}{150 \times 10^5} = 35,5 \times 10^{-5} m^3/tr \\ & & \Leftrightarrow & \quad C_{yl} = 35,5 \times 10^{-5} m^3/tr \\ & & \Leftrightarrow & \quad C_{yl} = 355 \text{ cm}^3/tr \end{aligned}$$

Où : Δp est la pression

Alors ; La cylindrée réel est comme suite :

$$\begin{aligned} C_{yl_r} &= \frac{C_{yl}}{\eta_v} & \Leftrightarrow & \quad C_{yl_r} = \frac{355}{0,93} \\ & & \Leftrightarrow & \quad C_{yl_r} = 381 \text{ cm}^3/tr \end{aligned}$$

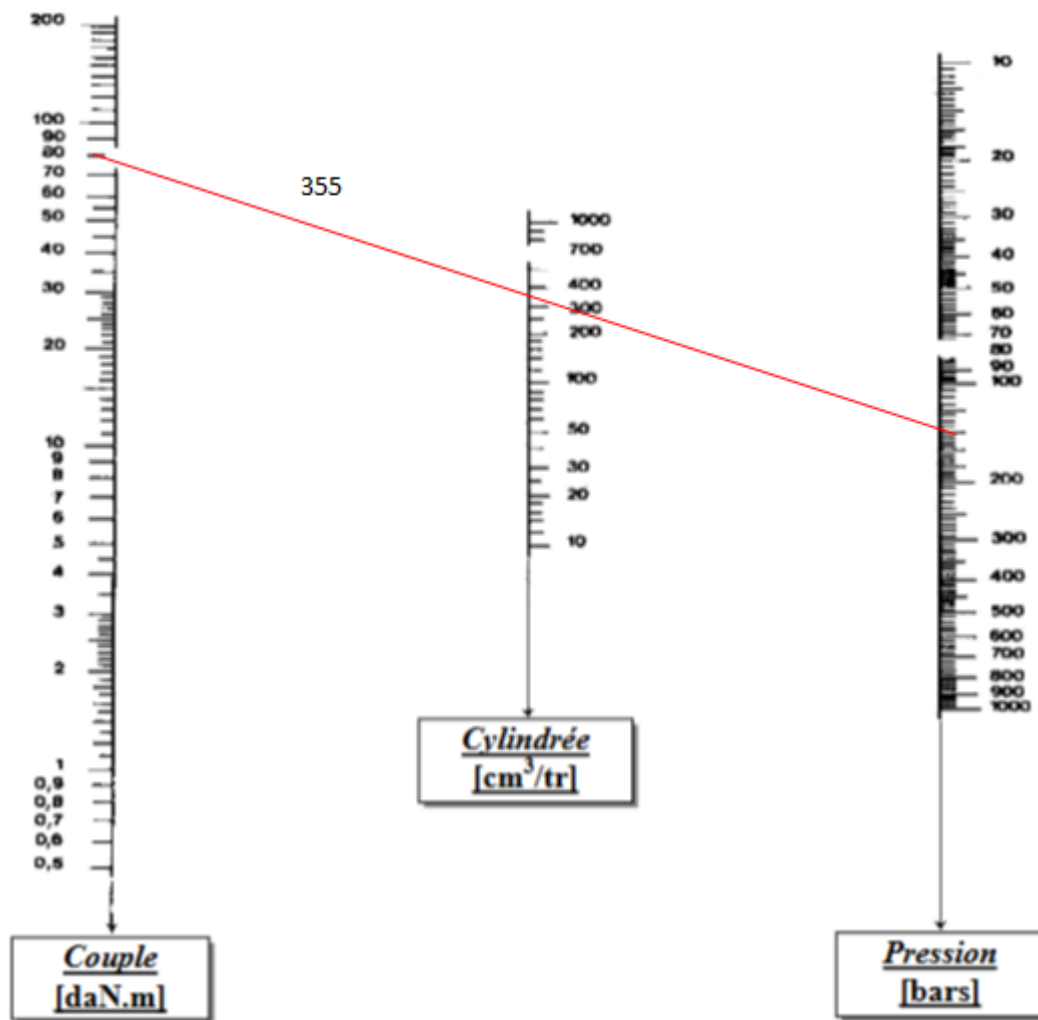


Figure III. 4. Abaque des caractéristiques du moteur hydraulique.

| Cylindrée | cm ³ /tr | 53 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 245 | 315 | 390 | 485 |
|------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Débit (l/min) | Continu | 38 | 45 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| | Intermittent | 45 | 53 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Vitesse maxi. (tr/min) | Continu | 721 | 693 | 710 | 568 | 462 | 354 | 286 | 234 | 174 | 144 | 114 |
| | Intermittent | 864 | 806 | 848 | 678 | 551 | 421 | 341 | 282 | 209 | 171 | 138 |
| Δp (bar) | Continu | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 115 | 110 | 100 | 90 | 83 | 69 |
| | Intermittent | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 124 | 124 | 124 | 124 | 110 | 90 |
| Couple (Nm) | Continu | 83 | 104 | 130 | 162 | 200 | 242 | 287 | 318 | 377 | 419 | 426 |
| | Intermittent | 93 | 116 | 145 | 181 | 223 | 260 | 324 | 391 | 508 | 547 | 507 |
| Masse (kg) | | 5 | 5,3 | 5,5 | 6,1 | 6,2 | 6,4 | 6,7 | 7,1 | 7,4 | 7,7 | 8 |

Figure III. 5. Catalogue du constructeur Eaton [13].

D'après la valeur de la cylindrée et le tableau précédent on peut détecter directement le débit théorique :

$$Q_{th} = 57 \text{ l/min} \quad \Leftrightarrow \quad Q_{th} = 0,057 \text{ m}^3/\text{s}$$

Aussi, la puissance hydraulique (P_h) est calculée par la relation suivante :

$$P_h = C \times \omega \quad \text{et} \quad P_h = P \times Q$$
$$P_h = P * Q \Leftrightarrow P_h = \frac{150 \times 10^5 \times 57}{60\,000} = 14.25 \text{ KW}$$
$$\Leftrightarrow P_h = 14.25 \text{ KW}$$

Alors, on peut calculer la vitesse angulaire (ω) :

$$\omega = \frac{P_h}{C} \quad \Leftrightarrow \quad \omega = \frac{14\,250}{750} = 19 \text{ rad/s}$$
$$\Leftrightarrow \omega = 19 \text{ rad/s}$$

Et la vitesse de rotation (N):

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N}{60} \Rightarrow N = \frac{60 \times \omega}{2\pi}$$
$$\Rightarrow N = \frac{60 \times 19}{2 \times 3.14} = 181.5 \text{ tr/min}$$
$$\Rightarrow N = 181.5 \text{ tr/min}$$

2. Détermination de la pression de travail (ΔP)

$$C = \frac{Cyl \times \Delta P}{2\pi \times \eta} \Rightarrow \Delta P = \frac{2\pi \times C \times \eta}{Cyl} = \frac{2 \times 3.14 \times 750 \times 0.93}{0.000390} = 112.32 \text{ bar}$$
$$\Rightarrow \Delta P = \frac{2 \times 3.14 \times 750 \times 0.93}{0.000390} = 112.32 \text{ bar}$$
$$\Rightarrow \Delta P = 112.32 \text{ bar}$$

3. Détermination du débit absorbé par le moteur :

$$Q_{\text{réel}} = \frac{C \times \omega}{P} \quad \text{avec} \quad \omega = \frac{2 \times \pi \times N}{60} \quad \Leftrightarrow \quad Q_{\text{réel}} = \frac{750 * 2 * \pi * 181.5 * 60000}{150 * 10^5 * 60}$$
$$\Leftrightarrow Q_{\text{réel}} = 567 \text{ l/min}$$
$$\Leftrightarrow Q_{\text{réel}} = 0,00945 \text{ m}^3/\text{s}$$

III.3.3. Détermination des débits

1. Débit du vérin

- Débit nécessaire à l'aller :

$$S_A = \frac{\pi \times D_P}{4} \Leftrightarrow S_A = \frac{\pi \times (6.3)^2}{4} = 31.15 \text{ cm}^2$$
$$\Leftrightarrow S_A = 31.15 \text{ cm}^2$$

$$S_B = \frac{\pi \times (D_P^2 - D_t^2)}{4} \Leftrightarrow S_B = \frac{\pi \times (6.3^2 - 4.5^2)}{4} = 7.41 \text{ cm}^2$$

$$\Leftrightarrow S_B = 7.41 \text{ cm}^2$$

La vitesse est donné par sa valeur $V = 0.53 \text{ m/s}$.

Donc le débit Q est trouvé par :

$$\begin{aligned} Q &= S_A * V && \Leftrightarrow Q = 31.15 * 53 \\ &&& \Leftrightarrow Q = 1650 \text{ cm}^3/\text{s} = 1.65 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 99 \text{ l/min} \\ &&& \Leftrightarrow Q = 99 \text{ l/min} \end{aligned}$$

- Débit nécessaire au retour Q' :

$$\begin{aligned} Q' &= S_B * V && \Leftrightarrow Q' = 7.41 * 53 \\ &&& \Leftrightarrow Q' = 392.7 \text{ cm}^3/\text{s} = 0.392 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 23.56 \text{ l/min} \\ &&& \Leftrightarrow Q' = 23.56 \text{ l/min} \end{aligned}$$

2. Débit du moteur hydraulique :

$$\begin{aligned} Q_{\text{réel}} &= \frac{C * \omega}{P} && \Leftrightarrow Q_{\text{réel}} = \frac{750 * 2 * \pi * 181.5 * 60000}{150 * 10^5 * 60} \\ &&& \Leftrightarrow Q_{\text{réel}} = 56.99 \text{ l/min} \end{aligned}$$

3. Diagramme des débits :

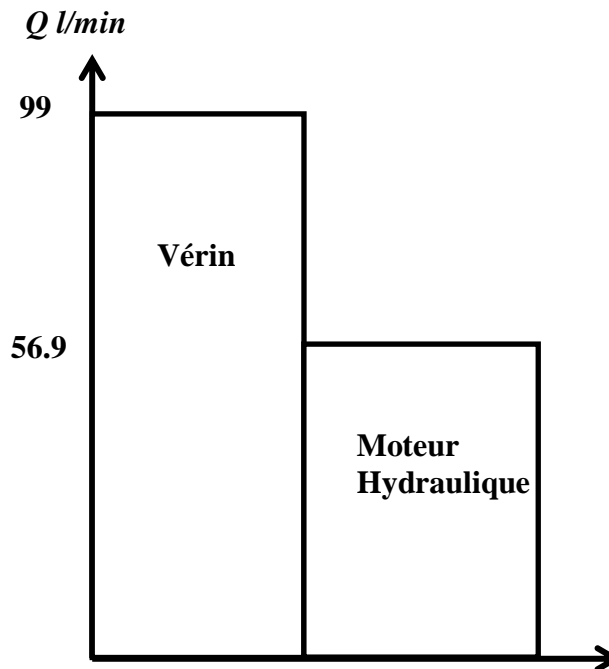


Figure III. 6. Diagramme des débits.

Alors le débit maximal est une somme de ces deux :

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{vérin}} + Q_{\text{Mhyd}} = 99 + 56.99 = 156 \text{ l/min}$$

III.3.4. Détermination de la pompe hydraulique

La pression maximale retenue est de 150bars à laquelle s'ajoutent les pertes de charge du circuit, pour augmenter la durée de vie de la pompe, il faut que la pompe ne fonctionne pas en charge donc on fixe la pression sur 160 bars.

Le débit total est $Q = 156 \text{ l/mn} = 0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour un moteur électrique tournant à 1750 tr/min, il faut une pompe de cylindrée :

$$Cyl = \frac{Q}{N} \Leftrightarrow Cyl = \frac{156}{1750} = 89.14 \text{ cm}^3/\text{tr}$$

$$\Leftrightarrow Cyl = 89.14 \text{ cm}^3/\text{tr}$$

Sur le catalogue du constructeur (HYDRO LEDUC) pour les pompes à pistons, nous avons trouvé une pompe (TXV 92) de cylindrée 92 cm³. Donc, à travers cette valeur on peut essayer de déterminer les différentes caractéristiques de la pompe [14].

| Type de pompe | Sens de rotation | Cylindrée maxi ⁽¹⁾ (cm ³ /tr) | Pression maxi de service (bar) | Vitesse maxi à pleine cylindrée ⁽²⁾ (tr/min) | |
|-----------------------------|--------------------|--|-----------------------------------|--|------|
| ► Gamme standard | | | | | |
| TXV 40 | 0512950 0512955 | SH SIH | 40 | 400 | 3000 |
| TXV 60 | 0512500 0512505 | SH SIH | 60 | 400 | 2600 |
| TXV 75 | 0512510 0512515 | SH SIH | 75 | 400 | 2000 |
| TXV 92 | 0512520 0512525 | SH SIH | 92 | 400 | 1900 |
| TXV 120 | 0515700 0515705 | SH SIH | 120 | 380 | 2100 |
| TXV 130 | 0515300 0515515 | SH SIH | 130 | 365 | 2100 |
| TXV 150 | 0518600 0518605 | SH SIH | 150 | 310 | 2000 |
| TXV 130 <i>indexable</i> | 0520300 | SH/SIH | 130 | 365 | 1750 |
| TXV 150 <i>indexable</i> | 0525070 | SH/SIH | 150 | 310 | 1750 |

Figure III. 7. Catalogue du constructeur HYDRO LEDUC.

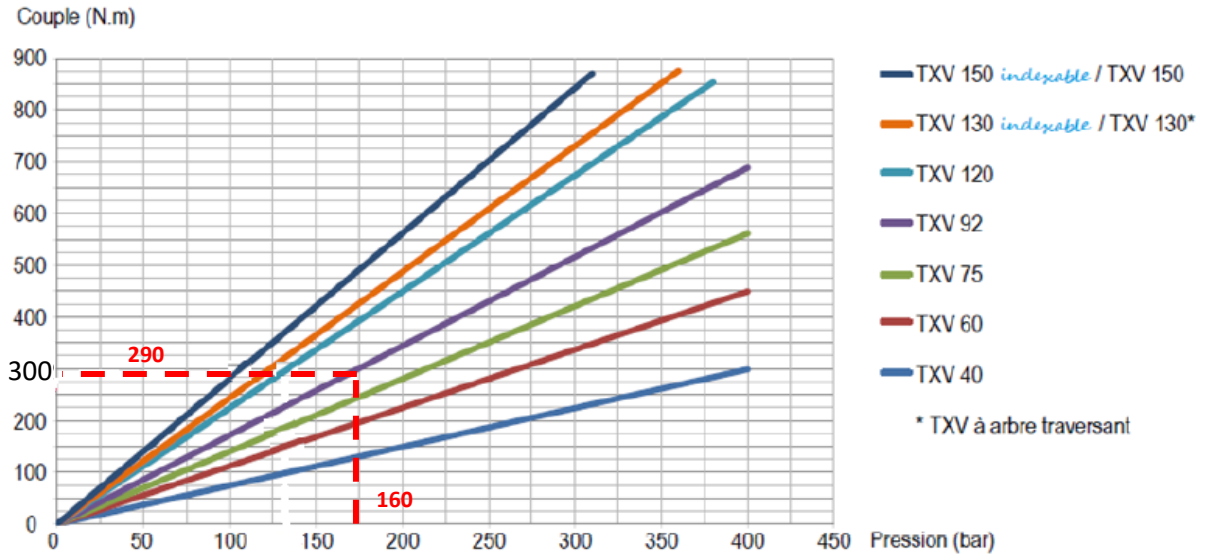


Figure III. 8. Caractéristiques de la pompe à piston HYDRO LEDUC

Pour une pression $P = 160$ bars et vitesse de rotation de $N = 200$ tr/mn, le débit est indiquier par sa valeur $Q = 156$ l/min.

On a ainsi le couple $C = 290$ N.m avec un rendement mécanique de $\eta_m = 0.85$ pour cela, la puissance absorbée par la pompe est obtenue par :

$$P = C * \omega \quad \Leftrightarrow \quad P = 290 * \frac{2 * \pi * 200}{60}$$

$$\Leftrightarrow \quad P = 6,07 \text{ KW}$$

1. Rendement volumétrique

$$\begin{aligned}\eta_V &= \frac{Q_{réel}}{\eta_{th}} && \Leftrightarrow && \eta_V &= \frac{Q_{réel}}{Cyl * N} \\ & && \Leftrightarrow && \eta_V &= \frac{156}{92 * 200} * 100 \\ & && \Leftrightarrow && \eta_V &= 0,84\end{aligned}$$

2. Détermination du rendement totale

$$\eta_t = \eta_V * \eta_m = 0,93 * 0,84 \quad \Leftrightarrow \quad \eta_t = 0,78$$

3. Détermination de la puissance du moteur électrique

Rendement moteur électrique est de 0.85

$$P = \frac{P_a}{\eta} = \frac{6,07}{0,85} \quad \Leftrightarrow \quad P = 7,14 \text{ KW}$$

Le fluide hydraulique correspond à cette pompe est à base minérale a ISO VG 32 de viscosité $\nu = 32.10^5 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$.

III.3.5. Tuyauteries du vérin

Généralement la vitesse de circulation du fluide à l'intérieur des conduites peut avoir comme valeur :

- 4 à 6 m/s dans les conduites de pression.

- 2 m/s dans les conduites de retour.

Pour cette raison on prendre une vitesse de circulation de 4 m/s et une vitesse de retour de 2m/s et pour un débit qui déjà obtenu par les calculs précédents : $Q = 1650 \text{ cm}^3/\text{s}$, on peut déterminer le diamètre de conduite de pression par :




$$\begin{aligned}S &= \frac{Q}{v} && \Leftrightarrow && S &= \frac{1650}{400} \\ & && \Leftrightarrow && S &= 4.12 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

D'où ; la section S est :

$$\begin{aligned}S &= \frac{\pi * D^2}{4} && \Rightarrow && D &= \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} \\ & && \Rightarrow && D &= \sqrt{\frac{4 * 4.12}{\pi}} \\ & && \Rightarrow && D &= 23 \text{ mm}\end{aligned}$$

Le tableau des tubes permet de trouver un tube de $D = 25,4 \text{ mm}$ qui est utilisable jusqu'à 7 MPa.

Tableau III. 2. Représente les diamètres du tuyau

|  |  |  |
|---|---|---|
| Diamètre Intérieur | Diamètre Extérieur | Pression de Service |
| mm | mm | MPa |
| 6.4 | 13.1 | 19.2 |
| 7.9 | 14.7 | 17.5 |
| 9.5 | 17.1 | 15.7 |
| 12.7 | 20.3 | 14 |
| 15.9 | 23.4 | 10.5 |
| 19.1 | 27.4 | 8.7 |
| 25.4 | 35.5 | 7 |
| 31.1 | 43 | 4.3 |
| 38.1 | 49.5 | 3.5 |
| 50.8 | 63 | 2.6 |

D'après le choix de diamètre de la conduite $D = 25.4\text{mm}$, nous allons calculer la section réelle (S_r) et la vitesse réelle (V_r) qui ont permis de vérifier le nombre de Reynolds (R_e).

$$S_r = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \Leftrightarrow \quad S_r = \frac{\pi * 2.54^2}{4}$$

$$\Leftrightarrow S_r = 5 \text{ cm}^2$$

$$V_r = \frac{Q}{S_r} \quad \Leftrightarrow \quad V_r = \frac{1650}{5}$$

$$\Leftrightarrow V_r = 3.3 \text{ m/s}$$

Nombre de Reynolds :

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} \quad \Leftrightarrow \quad R_e = \frac{3.3 * 0.025}{32 * 10^{-5}}$$

$$\Leftrightarrow R_e = 275.8$$

Donc le nombre de Reynolds $R_e < 2000$ qui confirme que l'écoulement est en régime laminaire.

Coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \quad \Leftrightarrow \quad \lambda = \frac{64}{275.8}$$

$$\Leftrightarrow \lambda = 0.332$$

Pour 1 mètre de conduits la perte de charge est :

$$\Delta P = \frac{\lambda * L * \rho * V^2}{2 * D} \quad \Leftrightarrow \quad \Delta P = \frac{0.332 * 1 * 900 * 3.3^2}{2 * 0.025}$$

$$\Leftrightarrow \Delta P = 0.65 \text{ bars}$$

III.4. Partie de simulation

Dans cette partie d'étude, nous allons traiter par simulation un cas d'hydromécanique de table élévatrice d'une manière simplifiée qui contient une combinaison entre deux systèmes mécanique et hydraulique, qui sont liés entre eux. Les résultats de simulation confirmés à ceux obtenus par dimensionnement, en utilisant l'application **Simscape multibody physical** intégré dans le code de calcul Matlab.

III.4.1. Simulation du système mécanique

Pour simuler la table élévatrice, on l'a simplifié par trois corps importants qui sont présentés en suivant :

- Corps (1) : c'est un cylindre de dimensions ($L = 1 \text{ m}$, $\varnothing = 0.063 \text{ m}$)
- Corps (2) : c'est une tige de dimensions ($L = 1 \text{ m}$, $\varnothing = 0.045 \text{ m}$)
- Corps (3) : c'est un prisme de dimensions ($L = 1.5 \text{ m}$, $l = 0.32 \text{ m}$, $h = 0.8 \text{ m}$)

Le corps (2) se trouve à $-0,9 \text{ m}$ sur l'axe «Z» par rapport au corps (1) voir la figure suivante :

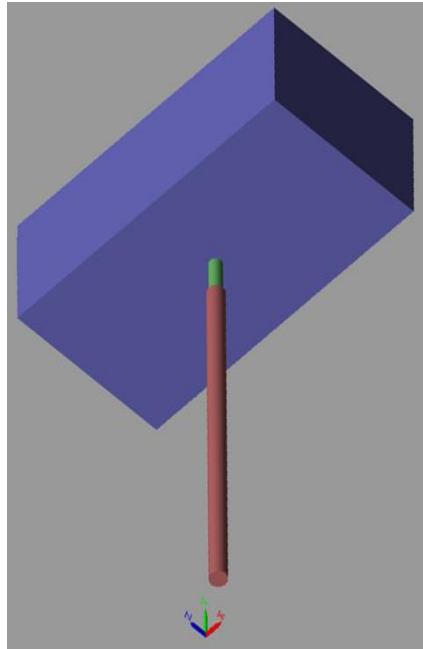


Figure III. 9. Représente les trois corps simulés

Nous avons modélisé le système mécanique en utilisant deux liaisons encastré et une liaison prismatique. Les liaisons peuvent être modélisées comme :

- Liaison (1) entre le corps (1) et la plateforme : liaison encastéré
- Liaison (2) entre le corps (1) et le corps (2) : liaison prismatique
- Liaison (3) entre le corps (2) et le corps (3) : liaison encastéré

L'application **Simscape multibody physical** intégré dans le code de calcul Matlab permet d'utiliser les blocs de Simulink et de développer un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la liaison, l'implémentation et le contrôle de système de mécanique, voir la figure III. 10.

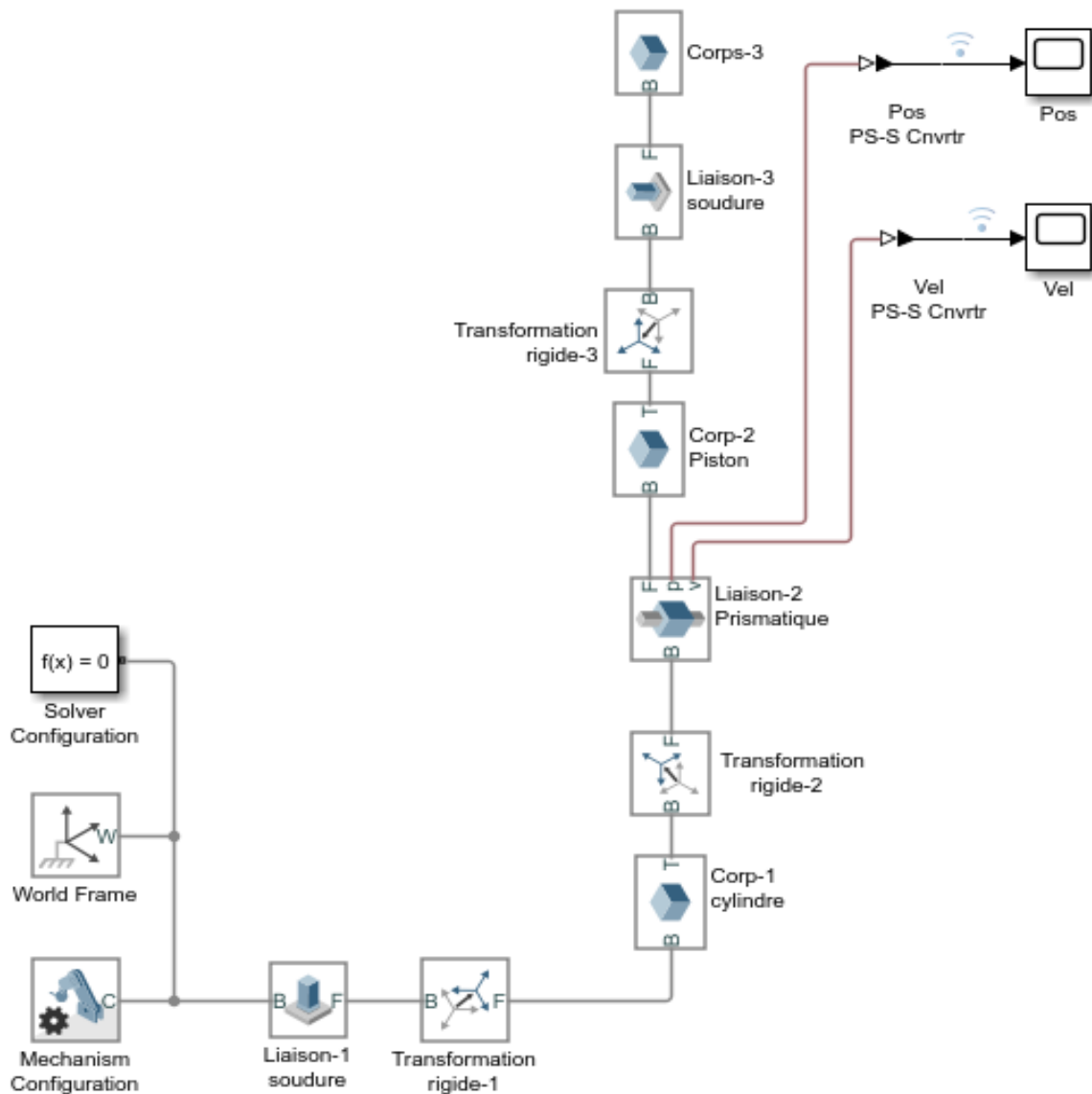


Figure III. 10. Représente les cages de simulation sous Matlab pour la partie mécanique

III.4.2. Simulation du Système hydraulique

Pour modéliser le système hydraulique, on a besoin aux composants suivants :

- Source de pression hydraulique constante
- Le réservoir
- Un fluide hydraulique personnalisé
- Un distributeur 3/2

En utilisant **Simscape multibody physical**, ces composants sont tirés et arrangés par des fenêtres similaires afin de réaliser une plateforme de modélisation permet de les contrôler.

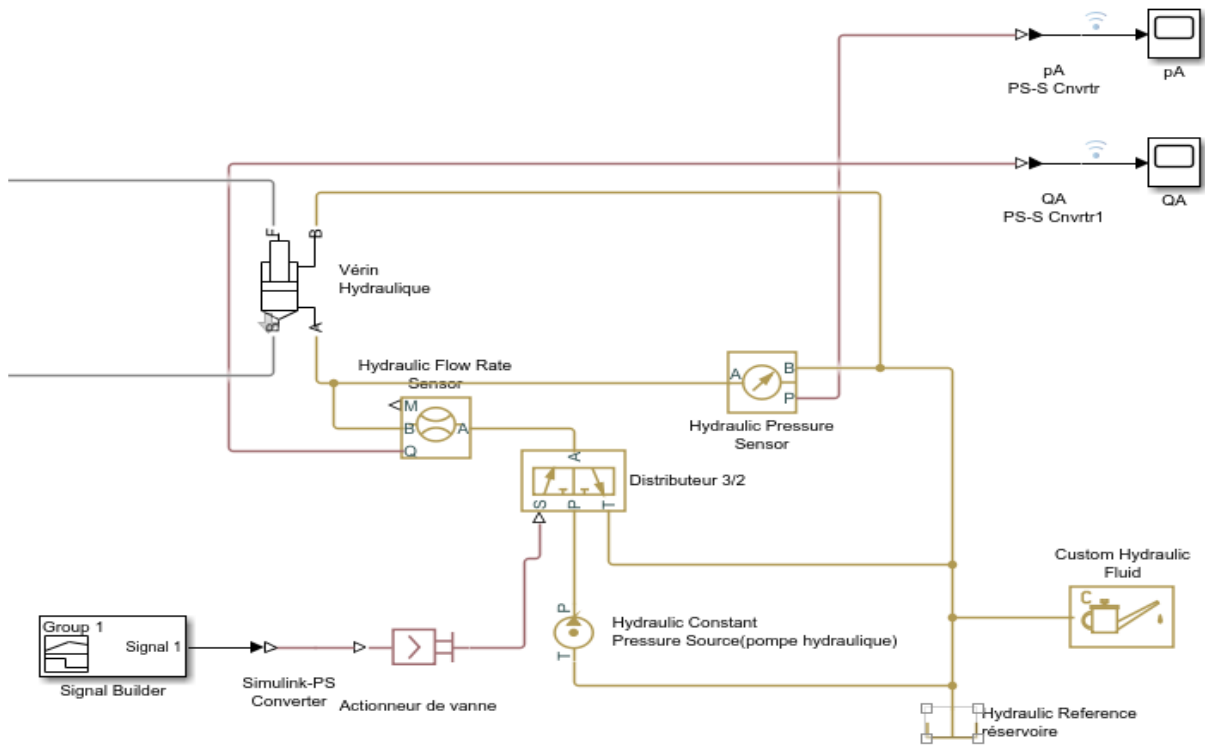


Figure III. 11. Présentation sous Matlab de la partie hydraulique

L'assemblage des deux systèmes (mécanique et hydraulique) nous a donné de développer une interface globale de simulation et de les analyser et contrôler, voir la figure III. 12.

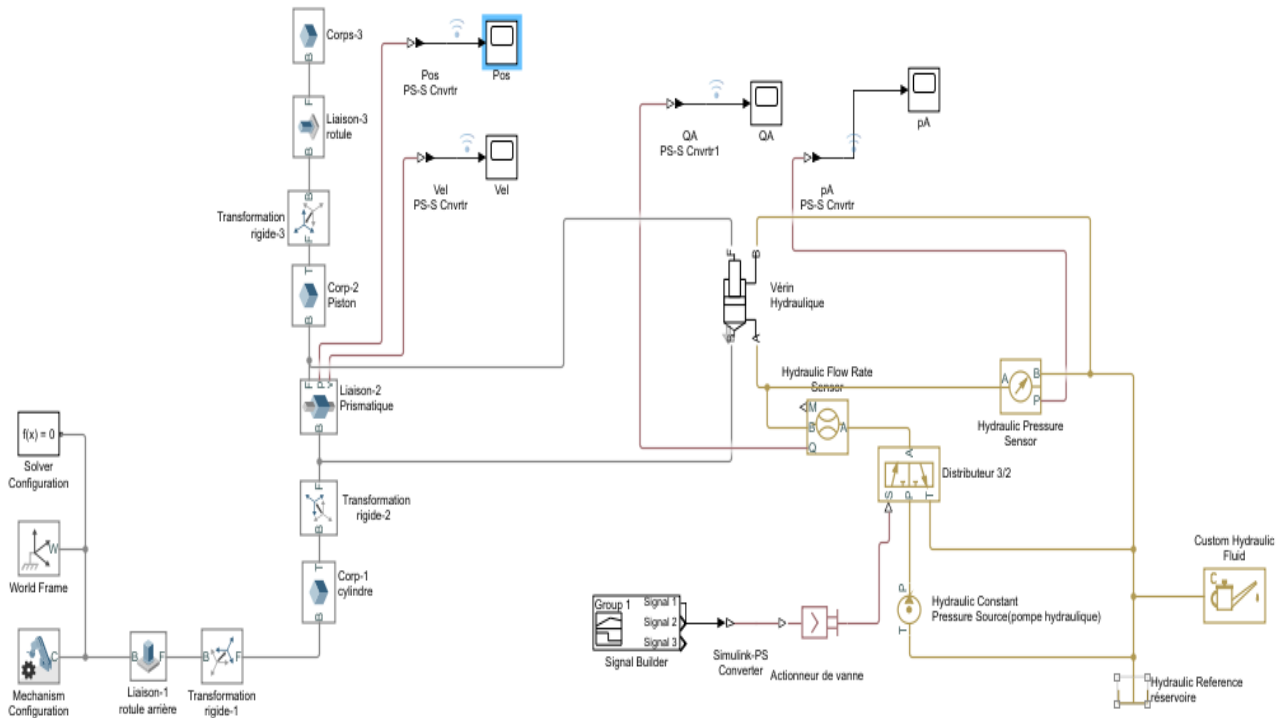


Figure III. 12. Schéma global du système étudié

III.5. Résultats et interprétations

Pour trouver les résultats de simulation à partir de schéma globale du système étudié (voir la figure III. 12), on doit introduire le signal électrique de commande de bobine qui contrôle la distribution d'huile afin d'obtenir le mouvement à réaliser.

Dans notre cas étudié, nous allons utiliser le signal illustré sur la figure III.13 ci-dessous. Ce signal est décomposé en deux niveaux ; niveau (A) sert à monter la table élévatrice en plus haut pendant quelque temps (4s) puis le niveau (B) où descend la table en plus bas.

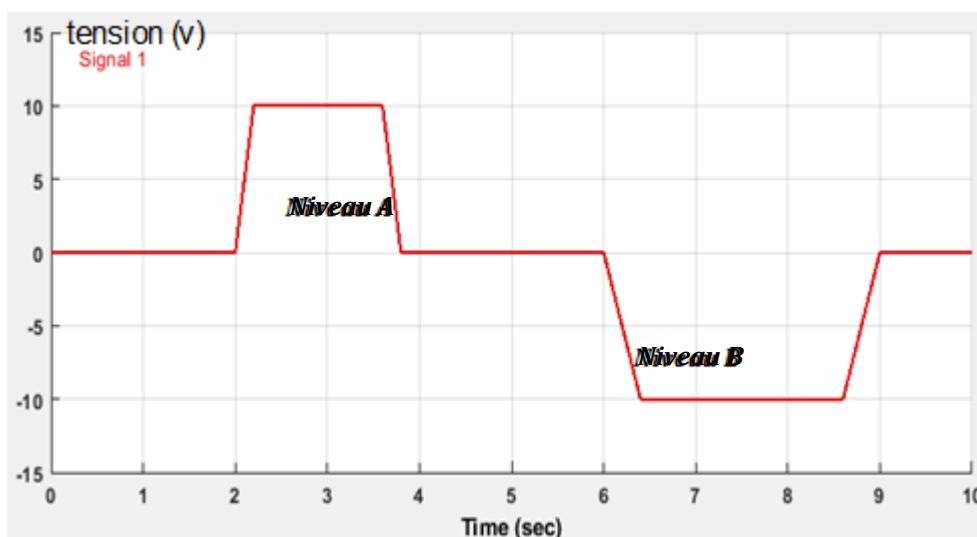


Figure III. 13. Signal d'entrée (la commande)

Si le signal est introduit, nous allons tester notre programme de Simulink de l'interface globale (Figure III. 12) par le bouton (Run) de Matlab et on peut trouver les résultats suivants :

III.5.1. Trajectoire de la table élévatrice

La trajectoire de la position de corps prismatique (3) est représenté sur la figure suivante, on a remarque que le corps (3) a monté à une valeur maximal de (850mm), ceci expliquer par le mouvement du vérin est monté du niveau zéro au niveau supérieur « A » puis descendre au niveau inférieur « B » dépend de l'entrée et de la sortie du vérin.

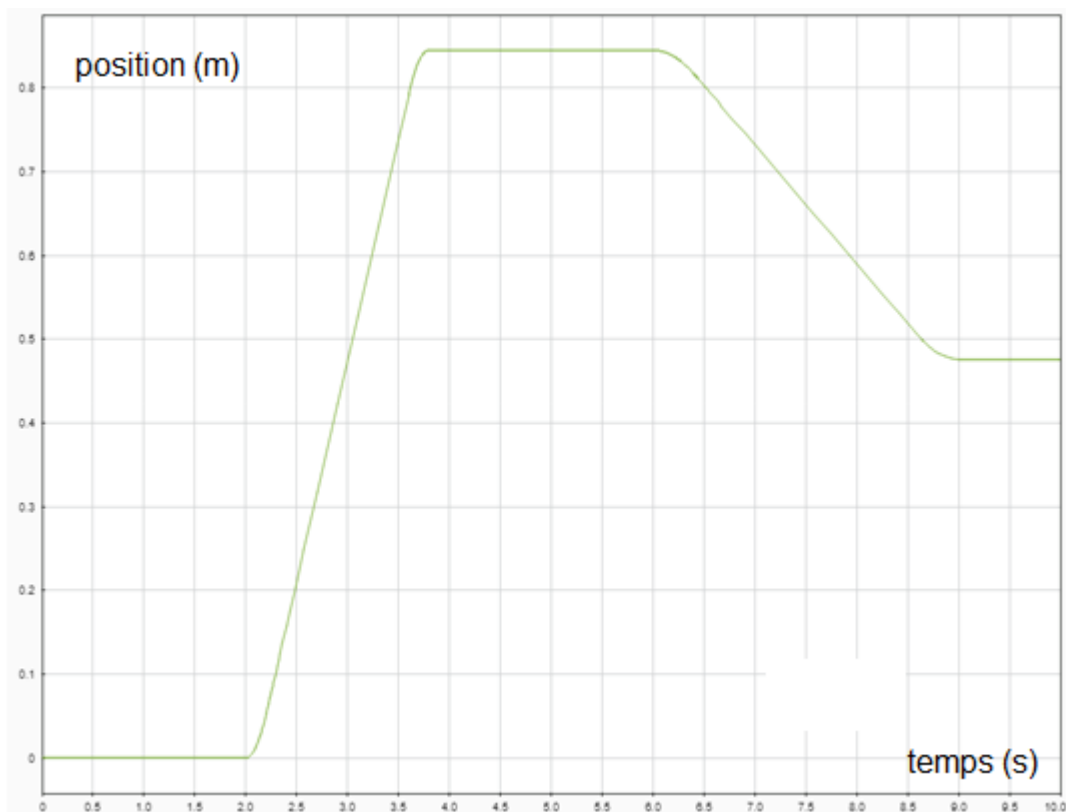


Figure III. 14. Représente la trajectoire de position de la table élévatrice

III.5.2. Vitesse du mouvement de la table

La figure III. 15 représente la vitesse de mouvement de corps (3) prismatique trouvée par l'étude de simulation. Les résultats obtenus par simulation montrés que la vitesse initial rencontre une instabilité résultant des conditions initiales près sélectionnées. En effet, l'équilibre statique est la valeur de système au débit, dans notre cas la pression de piston est inconnu au début cela provoquera une instabilité dans le système au démarrage.

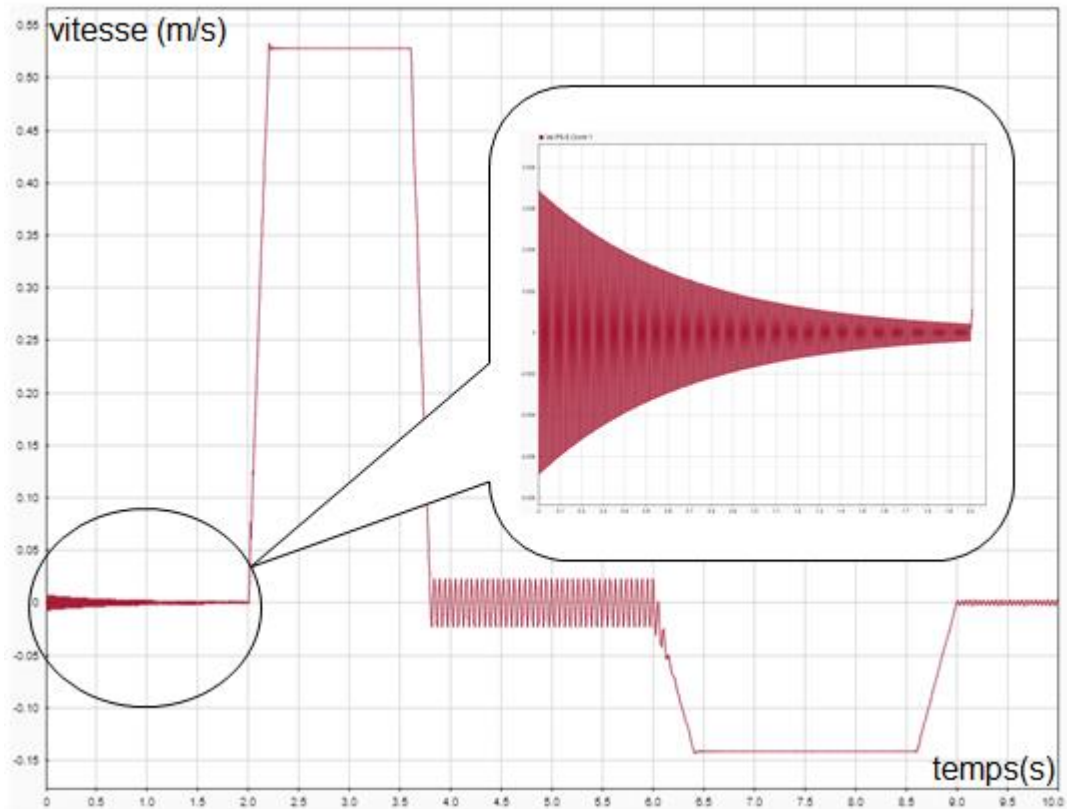


Figure III. 15. Représente la vitesse du mouvement de la table

Il existe plusieurs façon de corriger l'équilibre statique initial du système, soit par :

- Utilisation de l'option « *Optimization Algorithm With Projection* »
- Utilisation de l'option « *Solver Configuration* »
- Utilisation du gestionnaire d'état stable (*Steady State Manager*) comme que nous avons utilisé dans notre cas. Inclus dans « *Simulink Control Design Toolbox* » puis « *Control System Toolbox* »

Après avoir utilisé l'option « steady state manager », nous avons conclus la courbe ci-dessous (Figure III.16) en corrigeant la vitesse initial sans perturbations.

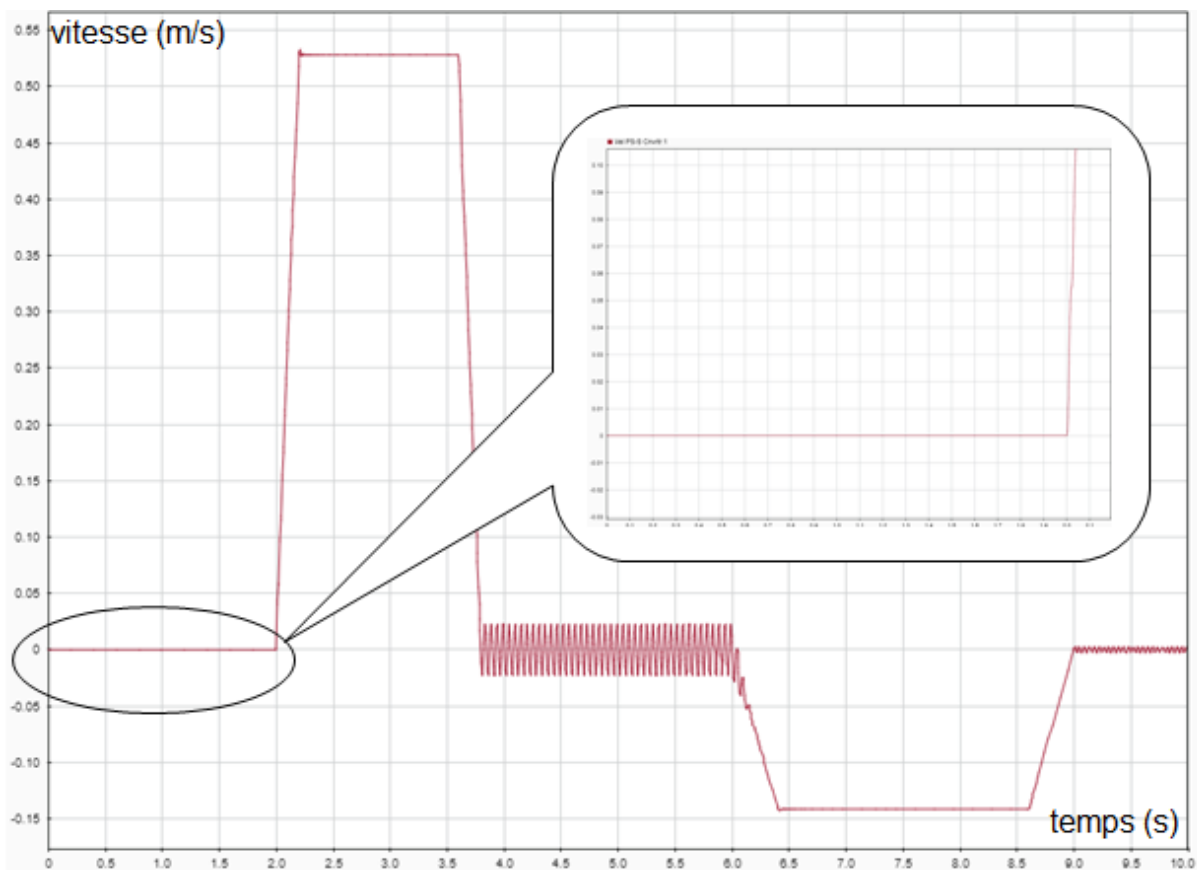


Figure III. 16. Représente la vitesse du mouvement de la table après correction

III.5.3. Débit d'écoulement d'huile

Le volume d'huile V nécessaire pour une course du piston est calculé sur la base de la surface effective du piston (corps 1) et la course du piston nécessaire.

L'analyse du schéma de câblage par simulation nous permet de voir que la pompe débite dans le circuit avec un débit Q et la débit d'huile consommé par le vérin lors de la sortie de sa tige (où la table est montée) est égal à $2,66.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (niveau A) puis en descendant est $7,04.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (niveau inférieur B)..

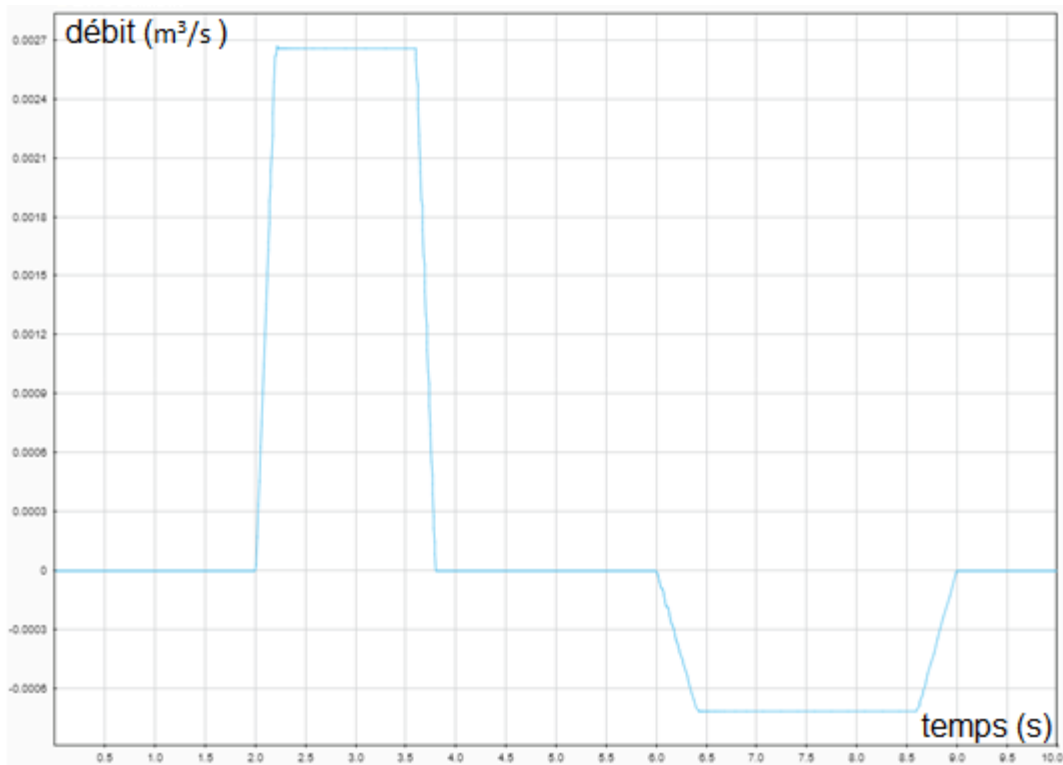


Figure III. 17. Débit d'écoulement d'huile

III.5.4. Pression d'huile

La figure III. 18 représente l'évolution de la pression au cours de la trajectoire de la table. Au démarrage de la course de la table élévatrice, nous avons rencontré des oscillations sur la pression, ce-que provoque une instabilité du système qui se influée sur le fonctionnement de la table élévatrice avec leur rendement. Pour éliminer cette oscillation, il faut choisir des valeurs non nulles de la pression pour les conditions initiales (pression à l'intérieur du vérin au repos).

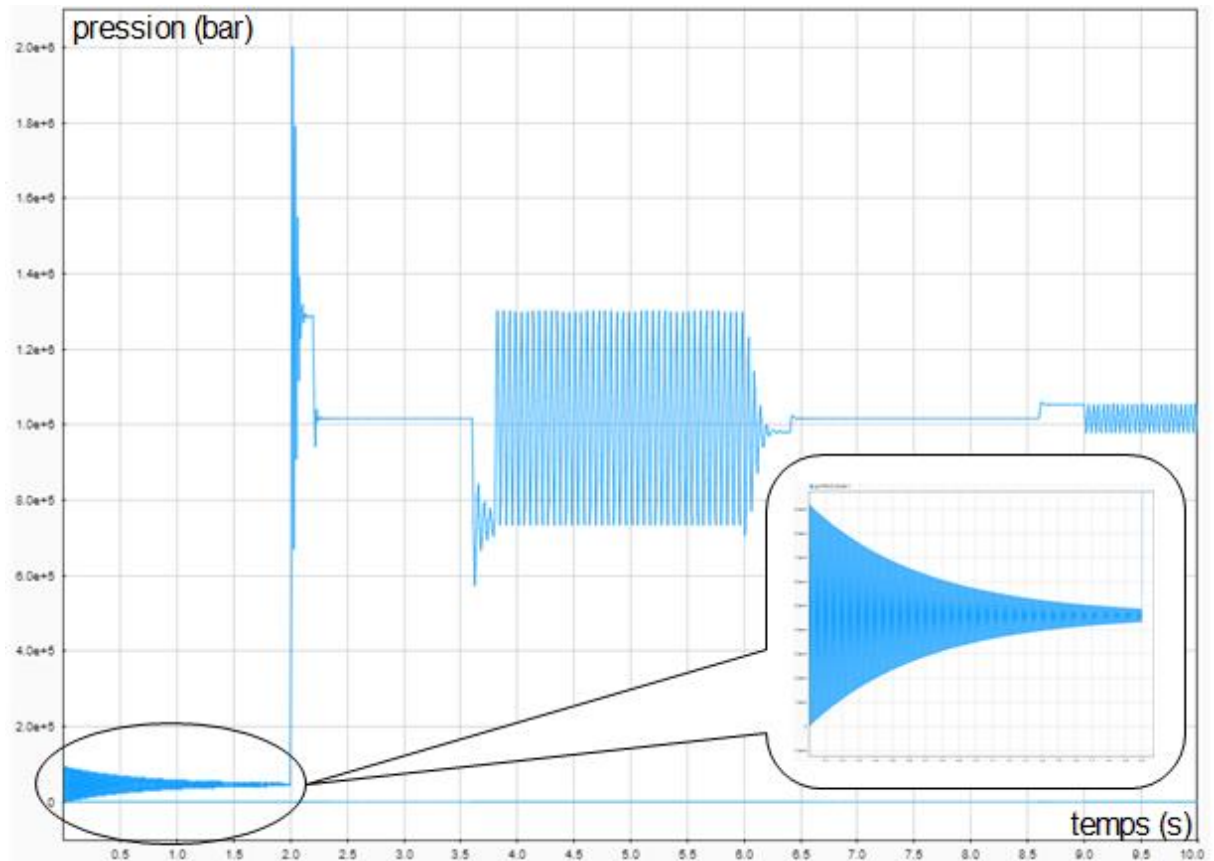


Figure III. 18. Pression d'huile a l'intérieur du vérin

Nous pouvons suivre les étapes suivantes afin de résoudre le problème de perturbation de pression au démarrage, soit par trois méthodes suivantes :

1^{ère} méthode « **Trim option** »

- Utiliser « **nonlinear squares with projections** »
- Si indisponible, alors essayer avec « **Gradient descent** »
- On peut aussi essayer avec « **Gradient descent with projections** »
- Noter que les tolérances par défaut suffisent ici

2^{ème} méthode « **Trim** » pour lancer l'analyse

- Il générera un rapport de coupe
- Ce rapport contient les valeurs atteintes
- Les violations possibles sont marquées en rouge

3^{ème} méthode « **Set Initial Conditions** » pour définir les valeurs obtenues sur le modèle de simulation.

D'après l'un de ces méthodes, on a réussi à éliminer les oscillations en pression, ce qu'assure la stabilité du système au démarrage (Figure III. 19).

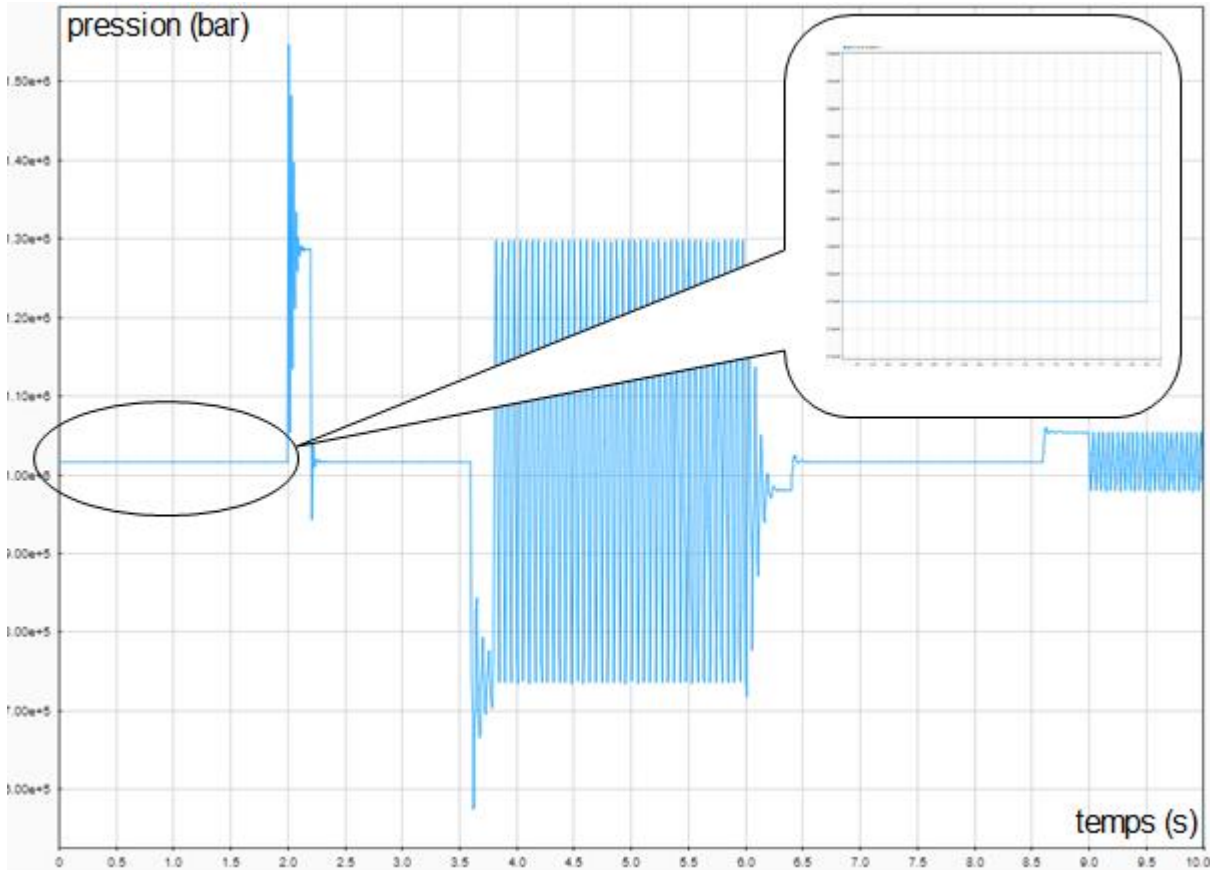


Figure III. 19. Stabilité de Pression après réglage des conditions initiales

En fin de simulation, un vidéo enregistré permet de visualiser la course de vérin avec le corps prismatique qu'ont résumé la table élévatrice pendant le cycle de travail du système (Figure III. 20).

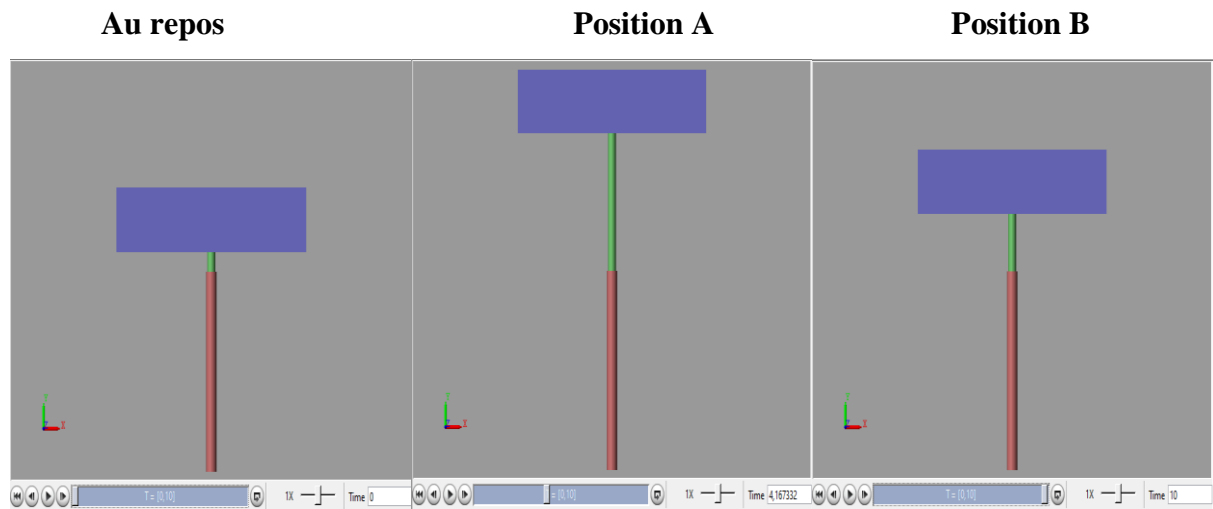


Figure III. 20. Résultat de simulation en temps reel de l'ensemble vérin-chariot.

Conclusion Générale

L'objectif principal de ce travail est de faire une étude générale sur installation hydraulique industrielle qui est représenté par la table élévatrice hydraulique. Notre choix était ciblé sur un système hydraulique constitué d'organes hydrauliques principaux que pouvait contenir tous autres système à savoir la pompe, le vérin hydraulique, le moteur hydraulique, le distributeur hydraulique.

Les résultats obtenus nous permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'étude de dimensionnement permet de déterminer les caractéristiques des éléments de la table élévatrice telle que la pompe, le vérin, les tuyauteries.
- Une simulation sous Matlab (via **Simscape multibody physical**) de système hydraulique de la table élévatrice a nous permis d'extraire les courbes des paramètres de trajectoire, vitesse, pression et débit.
- La correction des perturbations de la vitesse et de la pression pour assurer la stabilité du système au cours de démarrage.
- On met en pratique nos connaissances théoriques pour la réalisation d'un projet ; en répondant à un cahier des charges.

En perspectives, le travail peut être fait expérimentalement dans une table élévatrice en utilisant les résultats obtenus par la simulation sous Matlab via la technique de **Simscape multibody physical**. L'analyse de ces résultats permet de vérifier les avantages de cette technique sur des systèmes hydrauliques industriels.

Références bibliographiques

- [1] Ammari. A ; Hydraulique général.
- [2] Site Web : [http://pamelard.electro.pages.perso-orange.fr/pneumatique/ les composants pneumatiques cours bis](http://pamelard.electro.pages.perso-orange.fr/pneumatique/les_composants_pneumatiques_cours_bis).
- [3] Site Web:http://www.academia.edu/10666867/Pompe_Et_Moteur_Hydraulique.
- [4] Slimani. S ; “Mémoire De Fin D’étude” « Etude conception d’une bétonnière hydraulique », TiziOuzou ,2016.
- [5] Formation TOTAL : MAINTENANCE MECANIQUE DES POMPES « Manuelle de formation ».
- [6] Research Gate : Dr Mohamed Walid “Cours hydraulique industriel”, Centre universitaire de Mila, février 2018.
- [7] Site Web: <https://www.techniquesfluides.fr/pompes-membrane-t-61-fr>
- [8] Site Web: <https://bpmei-prades.com/cours/pneumatique/lessons/le-verin-pneumatique>.
- [9] TOUMI, F. “Mémoire De Fin D’étude de Maser” « Dimensionnement Et Simulation D’une Installation Hydraulique » ANNABA, 2019.
- [10]Site Web : <http://www.maxicours.com>. « Cours de Mécanique des fluides ».
- [11] Site Web : http://www.groupeisf.net/technologie_indus/hydraulique/sym_normes.
- [12]“Service & Maintenance Manuel”. CorporateOffice, JLG Industriel, Inc.1 JLG Drive Mc Connellsburg PA. 17233-9533, USA.
- [13]EATON. Moteurs hydrauliques lents à couple élevé, 2000.
- [14] Site Web : <https://pdf.directindustry.fr/pdf/hydro-leduc-7677.html>