

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



Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique

Mémoire de Projet de Fin de d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique

Option : Commande Electrique

Thème

Étude des Éléments et Équipements de l'Hydraulique Industrielle et Diagnostic de leurs Défaillances

Présentés par :

M. SLIMANI Hillal

Encadreur :

D. LAIFAUI Abdelkrim

Promotion :

2023/2024

REMERCIEMENTS

Remerciements

J'exprime mes sincères remerciements à Allah le Tout-Puissant qui m'a donné la force et la volonté d'atteindre tous nos objectifs, ainsi qu'à mes parents pour leur contribution à chaque travail que j'ai effectué.

De même, je tiens à remercier tout le département de Génie Électrique en général, et en particulier mon encadrant, Dr. Abdelkrim LAIFAOUI, qui n'a pas hésité à m'aider, me faciliter la tâche et me guider dans la bonne voie pour achever ce travail.

Je n'oublie pas ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail : mes amis, mes collègues et tous les étudiants de la promotion.

DEDICACES



Dédicaces

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tous les efforts qu'ils ont consentis, rien que pour me voir réussir. Et voilà, l'occasion est venue.

À mon père et ma mère, vous avez toujours été là pour moi, m'entourant de votre bienveillance, consentant tous les sacrifices possibles.

À ceux qui m'ont donné la vie, symboles de beauté et de fierté, de sagesse et de patience.


J'espère être à la hauteur de vos attentes.

Que Dieu vous préserve et vous prête une longue vie de joie.

À mon frère : Badi

À ma sœur : Chahinez

Je vous souhaite une vie prospère, pleine d'amour et de joie. Que la vie ne puisse jamais nous séparer.



À tous mes amis et à tous ceux qui ont partagé ces moments de joie avec moi.

SOMMAIRE

SOMMAIRE**REMERCIEMENTS****DEDICACES****SOMMAIRE**

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I :	3
GENERALITES SUR L'HYDRAULIQUE INDUSTRIELLE	3
1. Introduction	3
2. Définition	3
3. Domaines d'application	3
4. Avantages de l'hydraulique	4
5. Inconvénients de l'hydraulique.....	4
6. Différentes pressions en présence	4
6.1 Pression hydrostatique.....	5
6.2 Pression dans les liquides.....	5
6.3 Pression dans les liquides.....	6
7. Théorème de Pascal.....	6
8. Régimes d'écoulement	7
8.1 Définition	7
8.2 Écoulement laminaire.....	7
8.3 Écoulement turbulent	7
8.4 Nombre de Reynolds.....	7
9. Frottement	8
9.1 Conséquences du frottement	8
9.2 Influence sur la pression.....	8
10. Pertes de charge.....	8
10.1 Perte de charge régulières	9
10.2 Pertes de charge singulières	9
11. Coefficient de perte de charge.....	9

12.	Conclusion.....	10
	Références bibliographiques	10
	CHAPITRE II :	11
	ELEMENTS ET EQUIPEMENTS DE L'HYDRAULIQUE INDUSTRIELLE.....	11
1.	Introduction	11
2.	Fluides hydrauliques	11
3.1	Composition	11
3.2	Domaine d'utilisation	11
3.3	Types	11
3.3.1	Huiles hydrauliques.....	11
3.3.2	Fluides à base d'eau	12
3.3.3	Fluides biodégradables	12
4.	Pompes hydrauliques.....	12
4.1	Définition	12
4.2	Composition	12
4.3	Domaine d'utilisation	12
4.4	Types	12
4.4.1	Pompes à piston.....	12
4.4.2	Pompes à palette.....	13
4.4.3	Pompes à vis.....	13
4.4.4	Pompes centrifuges	13
5.	Cylindres hydrauliques.....	14
5.1	Définition	14
5.2	Composition	14
5.3	Domaine d'utilisation	14
5.4	Types	14
5.4.1	Cylindres à simple effet.....	14
5.4.2	Cylindres à double effet	15
5.4.3	Cylindres télescopiques.....	15
6.	Vannes hydrauliques	16
6.1	Définition	16

6.2	Composition	16
6.3	Domaine d'utilisation	16
6.4	Types	16
6.4.1	Vannes de direction	16
6.4.2	Vannes de pression	16
6.4.3	Vannes de débit	17
7.	Accumulateurs	17
7.1	Définition	17
7.2	Composition	17
7.3	Domaine d'utilisation	17
7.4	Types	17
7.4.1	Accumulateurs à diaphragme	17
7.4.2	Accumulateurs à piston	18
7.4.3	Accumulateurs à gaz	18
8.	Filtres	18
8.1	Définition	18
8.2	Composition	18
9.1	Types	19
9.1.1	Filtres à huile	19
9.1.2	Filtres à particules	19
9.1.3	Filtres de retour	19
10.	Raccords et tuyaux	19
10.1	Définition	19
10.2	Composition	19
10.3	Domaine d'utilisation	19
10.4	Types	20
10.4.1	Raccords en acier	20
10.4.2	Raccords en laiton	20
10.4.3	Tuyaux flexibles	20
10.4.4	Tuyaux rigides	20
11.	Systèmes de contrôle	20
12.1	Composition	21
12.2	Domaine d'utilisation	21

12.3	Types	21
12.3.1	Systèmes de commande manuels	21
12.3.2	Systèmes de commande électroniques	21
12.3.3	Systèmes de contrôle proportionnels.....	21
13.	Accessoires divers	21
13.1	Définition	21
13.2	Composition	21
13.3	Domaine d'utilisation	22
13.4	Types	22
13.4.1	Manomètres	22
13.4.2	Débitmètres	22
13.4.3	Capteurs de pression.....	22
14.	Conclusion.....	23
	Références bibliographiques	23
	CHAPITRE III :	24
	METHODES DE DIAGNOSTIC DE PANNES DES SYSTEMES HYDRAULIQUES .	24
1.	Introduction	24
2.	Méthode de diagnostic de défaut simple	24
3.	Méthode d'analyse du diagramme schématique du système hydraulique	25
4.	Autres méthodes d'analyse	25
4.1	Méthode de remplacement	26
4.2	Méthode auxiliaire.....	26
4.3	Méthode de blocage de l'huile	26
4.4	Méthode de commutation artificielle	26
4.5	Méthode d'expérience	26
5.	Principes généraux du diagnostic des pannes du système hydraulique	27
6.	Méthodes de diagnostic modernes	28
7.	Système de diagnostic basé sur la méthode de mesure des paramètres	29
7.1	Principe de la méthode de mesure des paramètres	29
7.2	Méthodes de mesure des paramètres	29
7.2.1	Mesure de la pression	29

7.2.2	2. Mesure du débit et de la température	29
7.2.3	3. Calcul de la vitesse	30
8.	Conclusion.....	30
	Références bibliographiques	30
	CHAPITRE IV :	32
	APPLICATION DE L'OUTIL ARBRE DE DEFAILLANCE AUX PANNES HYDRAULIQUES	32
1.	Introduction	32
2.	Arbre de Défaillance	32
2.1	Définition	32
2.2	Éléments de l'Arbre de Défaillance	33
2.2.1	Événement Supérieur (Top Event)	33
2.2.2	Événements Intermédiaires	33
2.2.3	Événements de Base (Basic Events)	33
2.2.4	Portes Logiques	33
2.2.5	Coupe Minimale (Minimal Cut Set).....	34
2.2.6	Probabilités de Défaillance.....	34
3.	Application de l'Arbre de Défaillance pour le Diagnostic de Pannes	34
4.	Diagnostic de Pannes des Éléments et Équipements Hydrauliques Industriels	34
5.	Logiciel Arbre Analyst.....	35
6.	Application	35
6.1	Tableau de diagnostic des pannes hydrauliques de certains éléments et équipements hydrauliques	35
6.2	Arbre de défaillance des pannes hydrauliques de certains éléments et équipements hydrauliques	38
	Références bibliographiques	41
	CONCLUSION GENERALE	42

INTRODUCTION

Introduction

Dans le paysage industriel moderne, les systèmes hydrauliques occupent une place prépondérante, jouant un rôle crucial dans une multitude de processus de production et de fonctionnement. Leur capacité à convertir l'énergie hydraulique en force mécanique avec une grande précision et efficacité en fait des éléments essentiels dans divers secteurs, tels que la construction, l'automobile et l'aéronautique. Cependant, la performance de ces systèmes est intrinsèquement liée à leur entretien et à leur fiabilité, ce qui fait de l'étude et du diagnostic des pannes un enjeu majeur pour maintenir une opération fluide et continue.

Les défaillances des équipements hydrauliques, bien que souvent complexes et variées, peuvent avoir des conséquences considérables, allant de la perte de productivité à des coûts élevés en réparation et en maintenance. Une compréhension approfondie des différents aspects des pannes et de leur diagnostic est donc impérative pour garantir la durabilité et l'efficacité des systèmes hydrauliques industriels.

L'objectif principal de ce mémoire est de présenter une étude exhaustive de l'hydraulique industrielle, en se concentrant sur ses éléments constitutifs et ses équipements, tout en explorant les méthodes de diagnostic des pannes et des défauts qui peuvent les affecter. De plus, nous visons à établir un cadre de compréhension qui servira de base pour des études plus approfondies des systèmes et technologies hydrauliques.

Ce travail de recherche s'articule autour de quatre chapitres distincts :

Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur l'hydraulique industrielle. Nous y définirons ses principes de base, ses composants clés et ses applications variées, offrant ainsi une vue d'ensemble de ce domaine crucial.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons en détail les éléments et équipements essentiels de l'hydraulique industrielle. Chaque composant sera exploré de manière approfondie, permettant une compréhension complète de leur fonctionnement et de leur importance dans le système global.

Le troisième chapitre sera dédié aux méthodes de diagnostic de pannes des systèmes hydrauliques. Nous y examinerons les différentes approches et techniques utilisées pour identifier, analyser et résoudre les problèmes courants rencontrés dans ces systèmes.

Enfin, dans le quatrième et dernier chapitre, nous appliquerons l'outil d'arbre de défaillance à l'analyse des pannes hydrauliques de certains équipements et éléments

spécifiques. Cette approche pratique permettra d'illustrer concrètement les concepts théoriques abordés précédemment.

À travers cette étude, nous espérons fournir une compréhension exhaustive des défis liés à la fiabilité des équipements hydrauliques et offrir des solutions pratiques pour optimiser leur performance et prolonger leur durée de vie. Ce mémoire vise non seulement à contribuer à la littérature existante sur le sujet, mais aussi à servir de ressource précieuse pour les professionnels et les chercheurs dans le domaine de l'hydraulique industrielle.

Enfin, nous clôturerons ce mémoire par une conclusion qui résumera les principaux résultats obtenus et proposera des recommandations pour de futures recherches dans ce domaine.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR
L'HYDRAULIQUE INDUSTRIELLE

1. Introduction

L'hydraulique industrielle est un domaine d'ingénierie fondamental qui repose sur l'utilisation de fluides pour transmettre la puissance et réaliser des mouvements mécaniques. Présente dans de nombreux secteurs, de la construction à l'automobile, en passant par l'industrie manufacturière, cette technologie s'avère essentielle pour le fonctionnement efficace des machines et des systèmes automatisés.

Ce chapitre se propose d'explorer les généralités de l'hydraulique industrielle, en définissant ses principes de base, ses composants clés et ses applications variées.

2. Définition

L'hydraulique industrielle consiste en l'étude de la transmission et la commande de forces et de mouvements par des liquides (essentiellement de l'huile) [1].

3. Domaines d'application

La possibilité de fournir une énergie de forte puissance (réglable avec précision) conduit à rencontrer des applications de l'hydraulique dans un grand nombre de domaines :

- Aéronautique (train d'atterrissage, dérive, portes, etc.)
- Marine (gouvernail, grues de pont, etc.)
- Travaux publics (engins de chantier, etc.)
- Machinisme agricole
- De nombreux autres domaines (automobile, manutention, simulateurs, etc.)

Les deux formes d'énergie, pneumatique et hydraulique, utilisent un fluide pour transmettre l'énergie. L'air pour l'énergie pneumatique, l'huile pour l'énergie hydraulique en milieu industriel [1,2].

Expérience :

Actionnez les pistons de ces deux récipients :

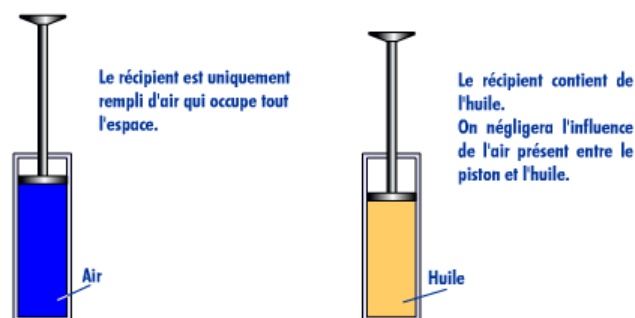


Figure 1. Illustration de l'expérience

Comparaisons

Pression de travail	Basse pression (6 à 8 bars)	Haute pression (plusieurs centaines de bars)
Efforts transmis	Faibles (du fait de la basse pression)	Importants (si la pression est élevée)
Vitesses obtenues	Grandes vitesses mais irrégulières du fait de la compressibilité de l'air.	Vitesses très régulières mais moins grandes qu'en pneumatique.
Installation	Une unique source d'énergie pour l'ensemble d'une installation (un seul compresseur).	Chaque machine possède son propre groupe hydraulique pour lui fournir l'énergie nécessaire.
Mise en œuvre	Relativement simple (tuyaux souples, raccords rapides ...)	Moins simple qu'en pneumatique (gestion de l'étanchéité, du retour à la bêche.)

4. Avantages de l'hydraulique

- Les vérins et moteurs hydrauliques peuvent démarrer en charge, y compris avec des charges élevées.
- Les actionneurs sont autolubrifiés lors de leur fonctionnement : leur fiabilité est accrue.

5. Inconvénients de l'hydraulique

- Les pressions élevées peuvent être cause d'accidents en cas de fuites.
- La longueur ou la complexité du circuit hydraulique provoque des pertes de charges dans l'installation, affectant ainsi le rendement.
- Coûts d'installation et d'équipements élevés, bien que souvent inférieurs à une installation pneumatique équivalente [1,2].

6. Différentes pressions en présence

Tout corps est soumis à la pression atmosphérique. Lorsqu'une pression extérieure est exercée sur ce corps, elle vient s'ajouter à la pression atmosphérique. Le corps est alors soumis à une pression absolue, somme des deux précédentes.

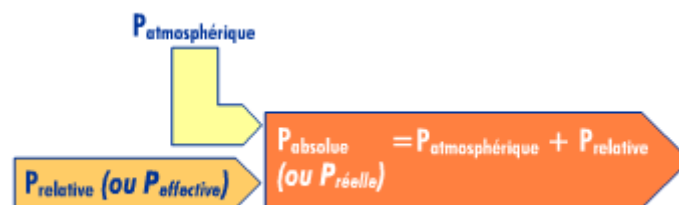


Figure 2. Bilan de puissance hydraulique

Un fluide dans un récipient exerce sur les parois de ce récipient une pression hydrostatique. Un fluide en mouvement exerce une pression hydrodynamique.

En unités SI, les pressions s'expriment en pascals (Pa). Cependant, on utilise aussi le bar, unité pratique [1,3].

6.1 Pression hydrostatique

Définition : Tout liquide, en raison de son poids, exerce sur sa surface de contact une pression hydrostatique fonction de la hauteur de la colonne de liquide et de sa masse volumique. C'est cette pression qui s'exerce sur les tympans d'un plongeur sous-marin ou encore sur un barrage hydroélectrique.



Figure 3. Illustration d'une pression d'un barrage hydroélectrique

$$P = \rho \times g \times h$$

Avec :

- P : pression hydrostatique (en Pa)
- ρ : masse volumique de l'huile (en kg/m^3 , environ 880 à 900 kg/m^3 pour une huile minérale)
- g : accélération due à la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- h : hauteur (en m)

6.2 Pression dans les liquides

On imagine un réservoir fermé par un piston de masse négligeable (par rapport à la masse supportée), étanche et de section variable. La charge constante de 100 kg exerce un effort de 98,1 daN.

Pour une charge constante, l'huile étant incompressible, la pression dans la cuve augmente quand la surface d'appui du piston diminue. On constate que la pression varie inversement à la surface d'application de l'effort.

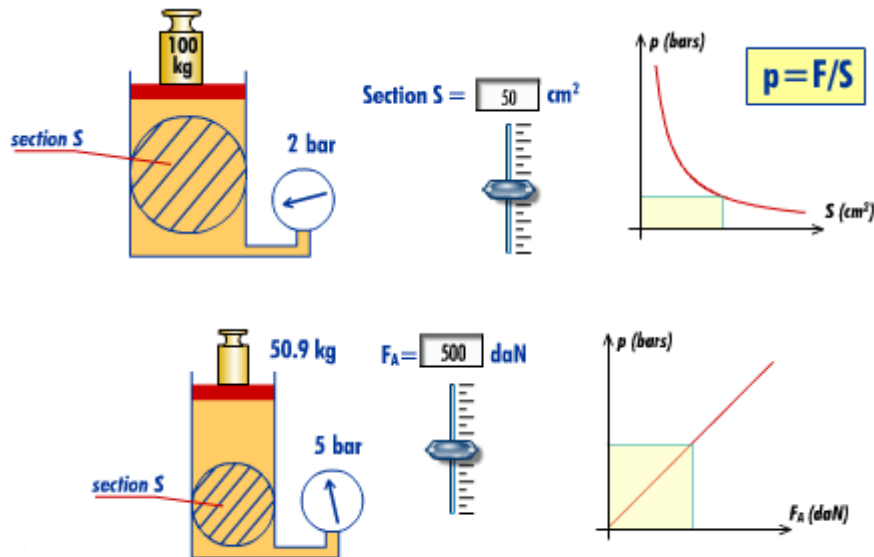


Figure 4. Principe de pression dans les liquides

6.3 Pression dans les liquides

On imagine un réservoir fermé par un piston de masse négligeable (par rapport à la charge supportée), étanche et de section 100 cm². La charge peut varier (et donc la force appliquée sur le piston et transmise à l'huile remplissant le cylindre).

Pour une section constante, la pression augmente quand la force appliquée augmente. La pression varie donc proportionnellement à l'effort appliqué.

$$P = F/S$$

7. Théorème de Pascal

Énoncé du théorème : Une force appliquée sur un liquide en équilibre en modifie la pression qui se transmet à l'intérieur de ce liquide.

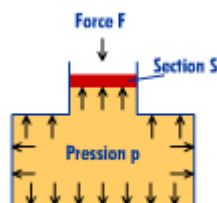


Figure 5. Illustration du théorème de Pascal

$$P = F / S$$

- P : pression (en Pa) ou (en bar)
- F : force (en N) ou (en daN)

- S : surface du fond du récipient (en m^2) ou (en cm^2)

8. Régimes d'écoulement

8.1 Définition

En hydraulique, la manière dont le fluide s'écoule dans les canalisations et les appareils à une incidence sur sa vitesse.

8.2 Écoulement laminaire

Dans un écoulement laminaire, les molécules de fluide se déplacent parallèlement les unes par rapport aux autres. Les pertes de charge sont directement proportionnelles à la viscosité du fluide. Ce régime d'écoulement s'observe jusqu'à une certaine vitesse appelée vitesse critique [4].

8.3 Écoulement turbulent

Au-dessus de la vitesse critique, l'écoulement des molécules devient désordonné. Les pertes de charge dépendent alors davantage de la forme et de la rugosité des parois ainsi que du débit [5].

8.4 Nombre de Reynolds

Le physicien Reynolds a étudié ces phénomènes et a déterminé un coefficient, appelé nombre de Reynolds, qui permet de caractériser le régime d'écoulement dans un tube [6].

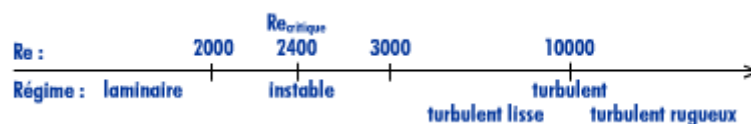


Figure 6. Nombre de Reynolds pour différents régimes

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

- v = vitesse d'écoulement en m/s
- d = diamètre du tuyau en m
- ν = viscosité cinématique en m^2/s

Régime laminaire : $Re < 2000$

Cependant, en raison des perturbations liées à l'environnement (vibrations, par exemple) on prendra souvent la valeur pratique $Re < 1200$.

- Régime turbulent : $Re > 3000$
- Régime intermédiaire (instable) : $2000 < Re < 3000$

9. Frottement

9.1 Conséquences du frottement

L'écoulement d'un liquide dans une canalisation produit un échauffement en raison du frottement sur les parois. Les principales causes de frottement et donc d'échauffement sont :

- Conduites trop longues
- Coudes trop nombreux
- Vitesse d'écoulement du fluide élevée [5].

9.2 Influence sur la pression

L'échauffement causé par le frottement entraîne une perte d'énergie, ce qui produit alors une perte de pression. L'expérience illustrée ci-dessous montre que les frottements, causés par l'écoulement du fluide dans les canalisations lorsque le réservoir principal se vide, provoquent une chute de la pression visualisée par la baisse de niveau dans les tuyaux successifs [4].

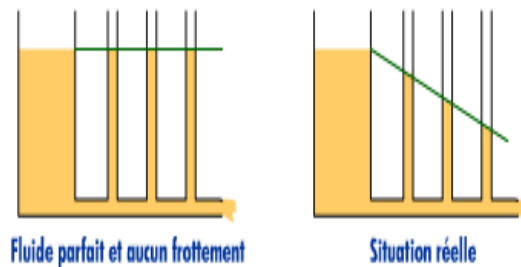


Figure 7. Influence de l'échauffement causé par le frottement sur la pression

10. Pertes de charge

Les fluides étant visqueux, les frottements lors du déplacement entre deux points d'un circuit provoquent une perte d'énergie interne, également appelée enthalpie (traduit par un échauffement de la tuyauterie) [7].

Cette perte d'énergie se constate par une chute de pression : la perte de charge Δp .

$$\Delta p = \frac{k \cdot \rho \cdot V^2}{2}$$

Avec :

- k : coefficient fonction du type de pertes de charge
- ρ : masse volumique du fluide (kg / m^3)
- V : vitesse d'écoulement du fluide (m/s)

10.1 Perte de charge régulières

Les pertes de charge régulières se produisent le long des canalisations droites en raison de la friction entre le fluide et les parois du tuyau. Ces pertes sont généralement proportionnelles à la longueur de la conduite, à la vitesse du fluide et à la viscosité de celui-ci. Elles peuvent être calculées à l'aide de l'équation de Darcy-Weisbach, qui exprime la perte de charge en fonction de ces paramètres [4].

$$k = \frac{\lambda \cdot l}{d}$$

Avec :

- λ : coefficient de perte de charge
- l : longueur de la canalisation (m)
- d : diamètre de la canalisation (m)



Figure 8. Pertes de charge régulières le long des canalisations droites

10.2 Pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières, également appelées pertes de charge localisées, se produisent aux singularités du circuit, telles que les coudes, les vannes, les rétrécissements ou les élargissements de tuyaux. Ces pertes sont souvent plus élevées que les pertes de charge régulières pour des longueurs de tuyau équivalentes et dépendent de la configuration spécifique de la singularité. Elles peuvent être quantifiées à l'aide de coefficients de perte de charge, qui sont des valeurs déterminées expérimentalement [5].

Elles obéissent généralement à une loi du type :

$$\Delta p = \frac{k \cdot \rho \cdot v^2}{2}$$

Avec k : coefficient lié à la forme des accidents de parcours



Figure 9. Pertes de charge singulières le long des canalisations en coudes

11. Coefficient de perte de charge

Le coefficient de perte de charge est fonction du régime d'écoulement :

- Si $Re < 2000$ (écoulement laminaire) : $\lambda = 64/Re$
- Si $3000 < Re < 4000$ (écoulement turbulent) : $\lambda = 0,316/Re^{0,25}$
- Si $Re > 4000$: $\lambda = 0,79 \cdot (\sum/\rho)^{1/2}$, \sum dépend de la rugosité du tuyau
 - ✚ Environ 0,03 mm pour un tube en acier hydraulique
 - ✚ Environ 0,25 mm pour un tube en acier
 - ✚ Environ 0,4 mm pour un tube en fonte

12. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a offert un aperçu des fondements de l'hydraulique industrielle, mettant en avant son rôle crucial dans l'optimisation des opérations industrielles. Nous avons discuté des principes de base qui régissent cette technologie.

Ce chapitre a posé les bases nécessaires pour une compréhension approfondie des systèmes hydrauliques, ouvrant la voie à des développements futurs et à des innovations dans ce domaine dynamique.

Références bibliographiques

- [1] Fluid power, Transmissions hydrauliques et pneumatiques, CETOP, 2012.
- [2] R. Myszka, Hydraulique et pneumatique, Dunod, 2014.
- [3] J. Bonnefoy, Mécanique des fluides, Dunod, 2016.
- [4] White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill Education.
- [5] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill.
- [6] Reynolds, O. (1883). "An Experimental Investigation of the Circumstances which Determine whether the Motion of Water shall be Direct or Sinusoidal." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 174, 935-982.
- [7] Munson, B. R., Rothmayer, A. T., & Okiishi, T. H. (2013). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Wiley.

CHAPITRE II :
ELEMENTS ET EQUIPEMENTS DE
L'HYDRAULIQUE INDUSTRIELLE

1. Introduction

Ce chapitre propose une présentation complète des éléments et équipements essentiels de l'hydraulique industrielle, en explorant chaque composant de manière détaillée.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une base solide pour appréhender les concepts fondamentaux de l'hydraulique industrielle, tout en détaillant les caractéristiques et les applications de chaque composant. Ainsi, ce chapitre s'avère indispensable pour les professionnels du secteur, les étudiants et toute personne désireuse de se familiariser avec les technologies hydrauliques modernes.

2. Fluides hydrauliques

3. Définition

Les fluides hydrauliques sont des liquides spécifiquement formulés pour transmettre la puissance dans les systèmes hydrauliques.

Ces fluides permettent le transfert d'énergie mécanique à travers des tuyaux et des cylindres. Ils sont conçus pour résister à des pressions élevées et à des températures variées, tout en minimisant l'usure des composants.

3.1 Composition

Les fluides hydrauliques peuvent être composés d'huiles minérales, de fluides à base d'eau, ou de fluides biodégradables. Ils contiennent souvent des additifs pour améliorer la performance, comme des inhibiteurs de corrosion et des agents anti-moussage.

3.2 Domaine d'utilisation

Utilisés dans les machines agricoles, les équipements de construction, les presses industrielles, et les systèmes de contrôle.

3.3 Types

3.3.1 Huiles hydrauliques

Liquides créés pour les systèmes hydrauliques, ayant une viscosité contrôlée et une bonne stabilité thermique. Utilisées dans la plupart des systèmes industriels pour un fonctionnement efficace [1].

3.3.2 Fluides à base d'eau

Contiennent une part significative d'eau, moins visqueux et parfois corrosifs, utilisés dans des applications où la sécurité incendie est critique [2].

3.3.3 Fluides biodégradables

Se décomposent rapidement dans l'environnement, souvent à base d'huiles végétales. Utilisés pour réduire l'impact environnemental dans des applications sensibles [3].

4. Pompes hydrauliques

4.1 Définition

Les pompes hydrauliques sont des dispositifs qui convertissent l'énergie mécanique en énergie hydraulique en déplaçant le fluide à travers le système.

Elles créent une pression dans le fluide, permettant de déplacer des cylindres ou d'autres composants hydrauliques.

4.2 Composition

Composées de divers matériaux selon le type (acier, aluminium, plastique), elles incluent des vérins, des pistons, des rotors, et des joints.

4.3 Domaine d'utilisation

Utilisées dans les systèmes de levage, les presses, et les machines-outils.

4.4 Types

4.4.1 Pompes à piston



Figure 10. Pompe hydraulique à pistons

Utilisent un ou plusieurs pistons pour déplacer le fluide, offrant une pression élevée. Utilisées dans des applications nécessitant une pression constante [4].

4.4.2 Pompes à palette

Utilisent des palettes qui glissent dans un rotor pour déplacer le fluide, offrant un fonctionnement silencieux. Utilisées dans des systèmes où le bruit doit être minimisé [5].

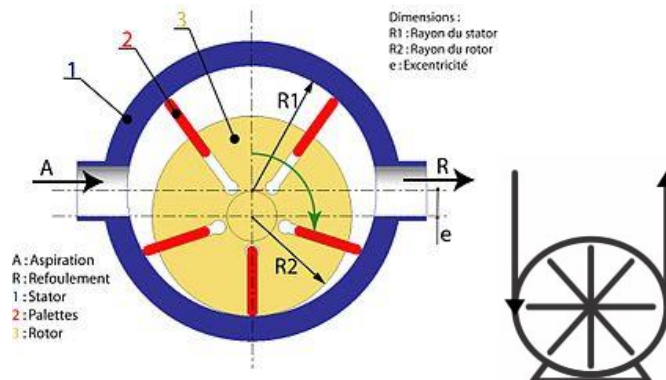


Figure 11. Pompe hydraulique à palette

4.4.3 Pompes à vis

Utilisent des vis pour déplacer le fluide, idéales pour les fluides visqueux. Utilisées dans le transport de boues et de matériaux épais [6].

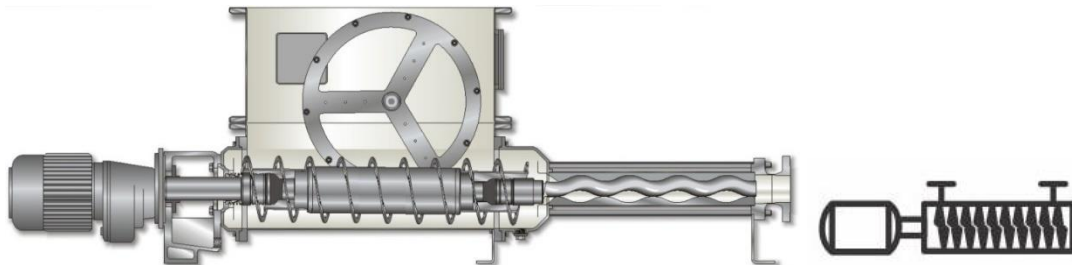


Figure 12. Pompe hydraulique à vis

4.4.4 Pompes centrifuges

Utilisent la force centrifuge pour déplacer le fluide, efficaces pour les débits élevés. Utilisées dans l'irrigation et le drainage [7].

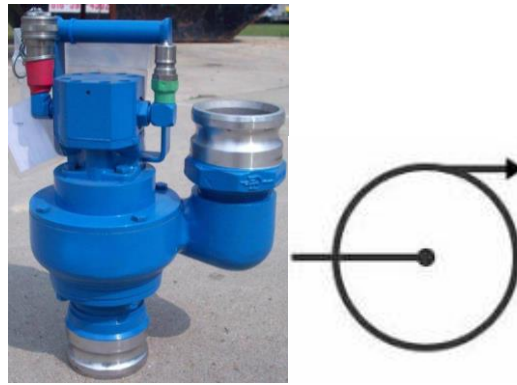


Figure 13. Pompe hydraulique centrifuge

5. Cylindres hydrauliques

5.1 Définition

Les cylindres hydrauliques, appelés aussi vérins, sont des dispositifs qui convertissent l'énergie hydraulique en énergie mécanique pour produire un mouvement linéaire.

Ils utilisent la pression du fluide pour déplacer un piston à l'intérieur d'un cylindre.



Figure 14. Cylindre hydraulique

5.2 Composition

Fabriqués en acier ou en aluminium, ils contiennent un piston, un joint d'étanchéité et un réservoir pour le fluide.

5.3 Domaine d'utilisation

Utilisés dans les machines de construction, les presses, et les équipements de levage.

5.4 Types

5.4.1 Cylindres à simple effet

Utilisent la pression d'un côté du piston pour le mouvement, avec un retour par ressort. Utilisés pour des applications simples comme les vérins de levage [8].

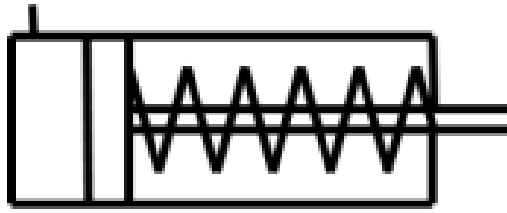


Figure 15. Cylindre hydraulique à simple effet

5.4.2 Cylindres à double effet

Utilisent la pression des deux côtés du piston pour un mouvement contrôlé dans les deux directions. Utilisés dans les presses et les équipements de construction [9].

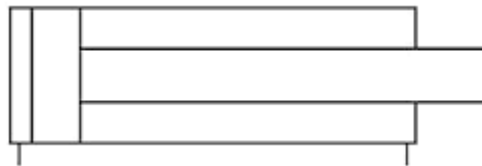


Figure 16. Cylindre hydraulique à double effet

5.4.3 Cylindres télescopiques

Composés de plusieurs cylindres emboîtés, offrant un déplacement important dans un espace réduit. Utilisés dans les grues et les équipements de levage [10].



Figure 17. Cylindre hydraulique télescopique

6. Vannes hydrauliques

6.1 Définition

Les vannes hydrauliques contrôlent le flux et la direction du fluide dans un système hydraulique.

Elles régulent la pression et le débit, assurant un fonctionnement efficace des systèmes hydrauliques.



Figure 18. Vanne hydraulique

6.2 Composition

Composées de métal, de plastique, et parfois de caoutchouc pour les joints d'étanchéité.

6.3 Domaine d'utilisation

Utilisées dans les systèmes de contrôle hydraulique, les équipements de construction, et les machines industrielles.

6.4 Types

6.4.1 Vannes de direction

Contrôlent la direction du flux et peuvent être manuelles ou automatiques. Essentielles pour changer la direction du mouvement des cylindres [11].

6.4.2 Vannes de pression

Régulent la pression dans le système et protègent contre les surpressions. Utilisées pour éviter les dommages dans les systèmes hydrauliques [12].

6.4.3 Vannes de débit

Contrôlent le débit de fluide pour ajuster la vitesse des cylindres. Utilisées pour réguler la vitesse d'opération des machines [13].

7. Accumulateurs

7.1 Définition

Les accumulateurs sont des dispositifs qui stockent de l'énergie hydraulique pour compenser les variations de pression et de débit.

Ils permettent de maintenir une pression constante dans le système hydraulique.

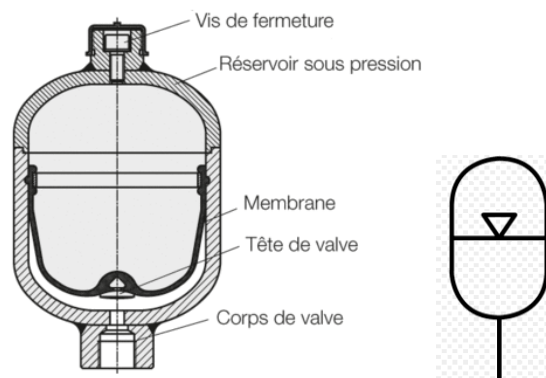


Figure 19. Accumulateur hydraulique

7.2 Composition

Composés d'un cylindre, d'un diaphragme ou d'un piston, et remplis de fluide hydraulique et de gaz.

7.3 Domaine d'utilisation

Utilisés dans les systèmes de secours, les machines de construction, et les équipements industriels.

7.4 Types

7.4.1 Accumulateurs à diaphragme

Utilisent un diaphragme pour séparer le fluide et le gaz, compensant les variations de pression. Utilisés pour maintenir une pression stable [14].

7.4.2 Accumulateurs à piston

Utilisent un piston pour séparer le fluide et le gaz, offrant une grande capacité de stockage. Utilisés dans les systèmes de secours [15].

7.4.3 Accumulateurs à gaz

Utilisent des gaz pour stocker de l'énergie, permettant de compenser les variations de débit. Utilisés dans des applications nécessitant une réponse rapide [16].

8. Filtres

8.1 Définition

Les filtres hydrauliques éliminent les impuretés et les particules du fluide hydraulique. Ils protègent les composants du système en assurant la propreté du fluide.

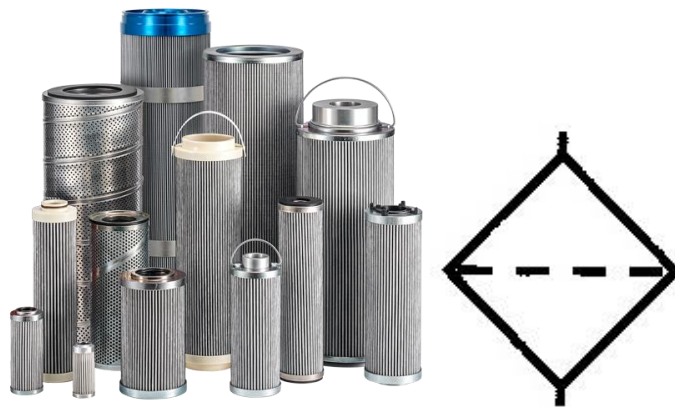


Figure 20. Filtres hydrauliques

8.2 Composition

Composés de matériaux filtrants, de boîtiers en métal ou en plastique, et d'éléments de connexion.

9. Domaine d'utilisation

Utilisés dans tous les systèmes hydrauliques et les machines industrielles.

9.1 Types

9.1.1 Filtres à huile

Éliminent les impuretés de l'huile hydraulique, prolongeant la durée de vie du système. Utilisés dans tous les systèmes hydrauliques [17].

9.1.2 Filtres à particules

Capturent les particules solides, protégeant les composants sensibles. Utilisés dans des applications où la propreté est essentielle [18].

9.1.3 Filtres de retour

Éliminent les impuretés avant que le fluide ne retourne au réservoir, assurant un système propre. Utilisés pour maintenir la propreté du fluide [19].

10. Raccords et tuyaux

10.1 Définition

Les raccords et tuyaux sont des composants qui connectent les différentes parties d'un système hydraulique.

Ils permettent le passage du fluide entre les différents éléments du système.



Figure 21. Raccords et tuyaux hydrauliques

10.2 Composition

Fabriqués en acier, laiton, ou plastique, selon les besoins de résistance et de flexibilité.

10.3 Domaine d'utilisation

Utilisés dans toutes les installations hydrauliques industrielles.

10.4 Types

10.4.1 Raccords en acier

Utilisés pour relier des tubes en acier, résistants à la pression. Utilisés dans des installations industrielles exigeantes [20].

10.4.2 Raccords en laiton

Relient des tubes en laiton, offrant résistance à la corrosion. Utilisés dans des systèmes hydrauliques moins exigeants [21].

10.4.3 Tuyaux flexibles

Capables de se plier sans rupture, utilisés dans des applications nécessitant de la flexibilité. Utilisés dans des équipements mobiles [22].

10.4.4 Tuyaux rigides

Tuyaux qui ne se plient pas, utilisés pour des installations fixes. Utilisés dans des systèmes permanents [23].

11. Systèmes de contrôle

12. Définition

Les systèmes de contrôle régulent le fonctionnement des composants hydrauliques. Ils utilisent des capteurs et des actionneurs pour ajuster le flux et la pression dans le système.



Figure 22. Exemple de système hydraulique de contrôle des véhicules de Sécurité Civile

12.1 Composition

Composés de capteurs, d'actionneurs, de contrôleurs électroniques, et de panneaux de commande.

12.2 Domaine d'utilisation

Utilisés dans les machines industrielles, les équipements de construction, et les systèmes automatisés.

12.3 Types

12.3.1 Systèmes de commande manuels

Commandés par des opérateurs, utilisant des leviers ou des boutons. Utilisés dans des applications nécessitant une intervention humaine [24].

12.3.2 Systèmes de commande électroniques

Utilisent des capteurs et des actionneurs électroniques pour un contrôle précis. Utilisés dans des systèmes modernes pour améliorer l'efficacité [25].

12.3.3 Systèmes de contrôle proportionnels

Régulent le débit proportionnellement à un signal de commande. Utilisés dans des machines nécessitant une précision élevée [26].

13. Accessoires divers

13.1 Définition

Les accessoires divers sont des éléments supplémentaires qui améliorent la fonctionnalité des systèmes hydrauliques.

Ils incluent des dispositifs de mesure et de contrôle pour assurer le bon fonctionnement du système.

13.2 Composition

Fabriqués en métal, plastique, et parfois en verre pour les instruments de mesure.

13.3 Domaine d'utilisation

Utilisés dans tous les systèmes hydrauliques pour le monitoring et le contrôle.

13.4 Types

13.4.1 Manomètres

Mesurent la pression du fluide, fournissant des informations essentielles. Utilisés dans tous les systèmes hydrauliques pour le monitoring des conditions [27].



Figure 23. Manomètre hydraulique

13.4.2 Débitmètres

Mesurent le débit du fluide, indiquant la quantité qui circule. Utilisés pour surveiller les performances du système [28].

13.4.3 Capteurs de pression

Détectent la pression dans le système, envoyant des signaux pour ajuster le fonctionnement. Utilisés pour garantir un fonctionnement optimal [29].



Figure 24. Capteur de pression hydraulique

14. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a mis en lumière l'importance et la diversité des éléments et équipements de l'hydraulique industrielle. Nous avons exploré de manière exhaustive les fluides hydrauliques, les pompes, les cylindres, les vannes, les accumulateurs, les filtres, ainsi que les raccords et tuyaux, sans oublier les systèmes de contrôle et les accessoires divers. Chaque composant a été examiné en termes de définition, de description, de composition et de domaines d'utilisation, soulignant ainsi leur rôle essentiel dans le bon fonctionnement des systèmes hydrauliques.

Références bibliographiques

- [1] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill.
- [2] White, F. M. (2016). Fluid Mechanics. McGraw-Hill Education.
- [3] Munson, B. R., Rothmayer, A. T., & Okiishi, T. H. (2013). Fundamentals of Fluid Mechanics. Wiley.
- [4] Hibbeler, R. C. (2017). Fluid Mechanics. Pearson.
- [5] Mott, R. L. (2018). Applied Fluid Mechanics. Pearson.
- [6] van de Ven, T. (2018). Hydraulic Systems for Mobile Equipment. Delmar Cengage Learning.
- [7] McCabe, W. L., & Smith, J. C. (2014). Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill.
- [8] Bishop, A. R. (2014). Hydraulic Control Systems. Wiley.
- [9] Hodge, R. A. (2012). Hydraulic Systems: A Practical Approach. Butterworth-Heinemann.
- [10] Côté, J., & Renaud, J. (2015). Hydraulique Industrielle. Éditions Technip.

CHAPITRE III :
METHODES DE DIAGNOSTIC DE
PANNES DES SYSTEMES
HYDRAULIQUES

1. Introduction

Il existe de nombreuses façons de diagnostiquer les défauts courants des systèmes hydrauliques. L'équipement hydraulique est une combinaison de dispositifs mécaniques, hydrauliques, électriques et autres, de sorte que les pannes qui se produisent sont également diverses. Un certain phénomène de défaillance peut être causé par de nombreux facteurs. Par conséquent, l'analyse des défaillances hydrauliques doit être en mesure de comprendre le diagramme schématique du système hydraulique, d'avoir une compréhension générale du rôle de chaque composant dans le diagramme schématique, puis d'analyser et de juger en fonction du phénomène de défaillance. Les causes des échecs causés par de nombreux facteurs doivent être analysées une par une, et les principales contradictions peuvent être appréhendées pour mieux les résoudre et les éliminer [1]. Il est difficile pour le monde extérieur de comprendre l'écoulement du fluide de travail dans les composants et les canalisations du système hydraulique, ce qui entraîne plus de difficultés d'analyse et de diagnostic. Par conséquent, les gens doivent avoir une forte capacité d'analyse et de jugement des fautes. Découvrez la cause et l'emplacement du défaut dans les relations complexes entre les machines, l'hydraulique et l'électricité, et éliminez-les de manière opportune et précise [2].

2. Méthode de diagnostic de défaut simple

La méthode de diagnostic de défaut simple est la méthode la plus couramment utilisée actuellement. Elle s'appuie sur le personnel de maintenance basé sur son expérience personnelle, utilisant des instruments simples pour utiliser objectivement les méthodes de demander, regarder, écouter, toucher et sentir pour comprendre les conditions de travail du système en fonction de la défaillance du système hydraulique. Effectuer une analyse, un diagnostic et déterminer la cause et l'emplacement du défaut [3]. Les méthodes spécifiques sont les suivantes :

1. Demandez à l'opérateur de l'équipement de comprendre l'état de fonctionnement de l'équipement. Cela inclut :

- Si le système hydraulique fonctionne normalement ;
- Si la pompe hydraulique est anormale ;
- L'heure et le résultat de la vérification de la propreté de l'huile hydraulique ;
- Le nettoyage et le remplacement de l'élément filtrant ;
- Si les composants hydrauliques ont été ajustés avant la panne ;
- Si les composants d'étanchéité ont été remplacés ;

- Les phénomènes anormaux observés dans les systèmes hydrauliques avant et après la panne ;
 - Les échecs précédents du système et comment ils ont été éliminés.
2. **Regardez les conditions de travail réelles du système hydraulique** et observez s'il y a des problèmes avec la pression du système, la vitesse, l'huile, les fuites, les vibrations, etc.
 3. **Écoutez le son du système hydraulique**, tel que : bruit d'impact, bruit de pompe et bruit anormal, pour juger si le système hydraulique fonctionne normalement.
 4. **Touchez pour sentir l'élévation de température, les vibrations, le rampeement et l'étanchéité de la connexion** pour déterminer si l'état de fonctionnement des pièces mobiles est normal.

En bref, la méthode de diagnostic simple n'est qu'une analyse qualitative, qui présente un large éventail de possibilités pour un jugement et un dépannage rapide [4].

3. Méthode d'analyse du diagramme schématique du système hydraulique

Analysez les pannes du système de transmission hydraulique selon le schéma de principe du système hydraulique, recherchez l'emplacement et la cause de la panne, et proposez la méthode de dépannage [5]. La méthode d'analyse du schéma du système hydraulique est actuellement la méthode la plus couramment utilisée par le personnel d'ingénierie et technique. Cela nécessite que les gens aient une certaine base de connaissances hydrauliques et comprennent le schéma du système hydraulique pour maîtriser le nom, la fonction, le principe et la structure des composants représentés par chaque symbole graphique. Les performances doivent également avoir une certaine compréhension. Avec cette base, il est facile de comparer et d'analyser le tableau des cycles d'action et de juger de la faute. Par conséquent, apprendre sérieusement les bases de l'hydraulique et maîtriser le schéma de principe hydraulique est l'assistant le plus puissant pour le diagnostic et le dépannage des pannes, et c'est également la base d'autres méthodes d'analyse des pannes. Cette méthode doit être maîtrisée avec soin [6].

4. Autres méthodes d'analyse

Lorsqu'un système hydraulique tombe en panne, il est souvent impossible de trouver immédiatement l'emplacement et la cause première de la panne. Afin d'éviter la cécité, les gens doivent effectuer une analyse logique basée sur le principe du système hydraulique ou utiliser l'analyse causale pour les éliminer un par un, et enfin trouver l'emplacement de la panne. Il utilise une analyse logique pour découvrir le défaut [7]. Afin de faciliter

l'application, l'expert en diagnostic de défaut a conçu un organigramme logique ou d'autres schémas pour porter un jugement logique sur le défaut, ce qui facilite le diagnostic de défaut [8].

Lors de la maintenance de la presse hydraulique, certaines méthodes de diagnostic pratiques sont utilisées pour diagnostiquer la défaillance de la presse hydraulique, qui présente une grande opérabilité. Par conséquent, elles sont largement utilisées en maintenance. Ce qui suit résume et introduit plusieurs méthodes de dépannage pratiques [9] :

4.1 Méthode de remplacement

Les mêmes composants du même type, de la même structure et du même principe de la presse hydraulique sont remplacés et installés à la même position pour prouver que le composant remplacé fonctionne correctement [10].

4.2 Méthode auxiliaire

Diagnostiquer la défaillance des composants hydrauliques de la presse hydraulique à l'aide de simples pièces auxiliaires :

4.3 Méthode de blocage de l'huile

Si l'orifice et l'orifice du cylindre du composant de la vanne sont bloqués, il est possible de diagnostiquer si ces composants hydrauliques fuient ou échouent.

4.4 Méthode de commutation artificielle

En utilisant la broche d'éjecteur pour inverser les composants de la vanne, il est possible de déterminer si la vanne d'inversion est bloquée ou si le tiroir n'est pas en position.

La méthode auxiliaire ne permet pas de démonter les pièces pour déterminer si les composants hydrauliques sont défectueux, évitant ainsi des travaux de démontage excessifs, réduisant le temps de diagnostic des pannes et facilitant le diagnostic rapide, en particulier pour les joints de cylindre plus grands. Le diagnostic de ce type de défaut est très pratique [11].

4.5 Méthode d'expérience

En saisissant le système hydraulique de la presse hydraulique, le personnel de réparation connaît la structure et le principe de fonctionnement de chaque composant

hydraulique. Il s'appuie sur la réparation accumulée de la presse hydraulique pour analyser et comparer de manière exhaustive les défauts de la presse hydraulique afin de faire un diagnostic précis. En résumé, la localisation générale des défauts de la presse hydraulique et ses causes peuvent être grossièrement divisées en cinq aspects :

- Mauvais ajustement des composants hydrauliques ;
- Des dommages à l'élément d'étanchéité ou au magasin empêchent les composants hydrauliques de fonctionner correctement ;
- Usure ou endommagement des composants hydrauliques, tels que défaillance du joint d'étanchéité de la vanne, défaillance du ressort, surcharge, etc. ;
- Le mécanisme de contrôle est en panne. Tels que : le relais est en panne, le bouton est en mauvais contact ou endommagé, le solénoïde n'est pas installé correctement ;
- Défaillance du mécanisme auxiliaire, telle qu'un réglage incorrect ou une détérioration de la position de la fin de course, un endommagement du manomètre, un endommagement du relais de pression ou une fausse transmission [12].

5. Principes généraux du diagnostic des pannes du système hydraulique

L'analyse correcte des défauts est la prémisse du dépannage. La plupart des défaillances du système ne se produisent pas soudainement et il y a toujours un présage avant qu'elles ne se produisent. Lorsque le présage se développe dans une certaine mesure, une faute se produit. Les causes d'échec sont diverses et il n'y a pas de règle fixe à trouver. Les statistiques montrent que 90 % des défaillances des systèmes hydrauliques sont causées par une utilisation et une gestion inappropriée [13]. Afin de diagnostiquer les défauts rapidement, avec précision et de manière pratique, il est nécessaire de bien comprendre les caractéristiques et les règles des défauts hydrauliques, qui constituent la base du diagnostic des défauts.

Les principes suivants doivent être suivis lors du dépannage [14] :

- Déterminer si les conditions de travail et l'environnement périphérique du système hydraulique sont normaux. Il faut d'abord savoir s'il s'agit d'un défaut de la partie mécanique de l'équipement, de la partie de commande électrique, ou du système hydraulique lui-même, et en même temps vérifier si diverses conditions du système hydraulique répondent aux exigences d'un fonctionnement normal.
- Jugement régional. Déterminez la région liée au défaut en fonction du phénomène et des caractéristiques du défaut, réduisez progressivement l'étendue du défaut, détectez les composants dans cette zone, et trouvez la cause et l'emplacement du défaut.
- Pour des raisons générales. Lorsque la cause du défaut n'est pas claire, il convient d'analyser la cause générale des défauts du système hydraulique, de comprendre et

d'analyser progressivement chaque facteur possible, et de vérifier et d'éliminer progressivement, en particulier pour les systèmes hydrauliques complexes, qui nécessitent une analyse minutieuse. L'analyse doit être menée en fonction des principaux aspects qui affectent le fonctionnement normal du système, et éliminer les principaux facteurs.

- Utiliser les enregistrements et les paramètres. Une analyse comparative est effectuée sur les enregistrements de fonctionnement, les conditions de fonctionnement et les paramètres du système hydraulique, et les conditions de fonctionnement des composants liés aux défauts sont vérifiées pour trouver les conditions de défaut.

En bref, l'expérience de maintenance des équipements et l'amélioration continue de l'expérience personnelle dans le travail quotidien sont les moyens fondamentaux de juger rapidement et avec précision des défauts. Le processus de diagnostic des pannes suit généralement le principe de "facile d'abord, puis difficile, simple d'abord, puis complexe", c'est-à-dire vérifier les composants suspects les plus susceptibles de tomber en panne ou les plus faciles à vérifier en premier, et enfin vérifier les composants les moins probables ou difficiles à démonter [15].

6. Méthodes de diagnostic modernes

Avec l'amélioration continue du degré de mécanisation et d'automatisation de la production industrielle et de la modernisation de la technologie de maintenance, certaines nouvelles technologies sont progressivement appliquées au diagnostic des pannes de systèmes hydrauliques [16]. Par exemple, en utilisant la technologie de la ferrographie pour diagnostiquer les composants hydrauliques usés, les systèmes experts utilisent des ordinateurs pour diagnostiquer automatiquement les pannes. Cependant, ces méthodes nécessitent des équipements coûteux et complexes, et l'opérateur doit également posséder des connaissances plus approfondies sur les systèmes de surveillance et de diagnostic des défauts, de sorte que leur application est limitée.

En raison des particularités du circuit du système hydraulique, il est très difficile de détecter les pannes. Par conséquent, lors de l'équipement de détection de la surveillance de l'état de l'équipement mécanique, il est également nécessaire de configurer un système de diagnostic de panne en ligne pour le système hydraulique [17]. Lorsque le système hydraulique fonctionne anormalement, le système de diagnostic des pannes affiche l'emplacement de la panne et la cause possible, ce qui est pratique pour une maintenance rapide.

7. Système de diagnostic basé sur la méthode de mesure des paramètres

Le système hydraulique est un circuit composé de diverses combinaisons de composants hydrauliques. Tant que le circuit est raisonnablement conçu et correctement installé, l'ensemble du système peut assurer des performances de travail fiables et stables. Cependant, le fonctionnement normal du système hydraulique dépend principalement de deux paramètres : la pression et le débit [18]. Si ces deux paramètres ne répondent pas aux exigences, l'ensemble du système hydraulique ne pourra pas fonctionner correctement.

La méthode de diagnostic basée sur la mesure des paramètres est une méthode pratique et efficace, qui consiste à vérifier si les paramètres de fonctionnement du système sont conformes aux exigences normales de fonctionnement en mesurant les paramètres de pression et de débit dans différents segments du circuit hydraulique, puis juger si le système hydraulique fonctionne normalement [19].

7.1 Principe de la méthode de mesure des paramètres

La méthode de mesure des paramètres est la mesure et l'analyse des paramètres de pression et de débit du système hydraulique, c'est-à-dire en fonction de la pression, du débit et d'autres paramètres dans différentes parties du circuit hydraulique, en mesurant et en comparant la valeur de mesure avec la valeur normale pour juger si elle est conforme à la normale [20]. Par exemple, le débit de sortie de la pompe hydraulique, la pression d'huile dans le tuyau de sortie, la pression d'entrée de l'élément filtrant, la pression d'entrée et de sortie de la vanne de contrôle de pression, la pression et le débit d'entrée et de sortie de la vanne de régulation de débit, etc. [21].

7.2 Méthodes de mesure des paramètres

7.2.1 Mesure de la pression

Connectez le tuyau de la boucle de détection à l'orifice du point mesuré et l'autre extrémité du tuyau au manomètre, et lisez la valeur de pression sur le manomètre. La pression dans le circuit peut être mesurée.

7.2.2 2. Mesure du débit et de la température

Ajustez la soupape de décharge pour faire fonctionner le débitmètre à son débit nominal et lisez la valeur du débit. La température de l'huile dans la boucle de détection est mesurée par un thermomètre et affichée sur le thermomètre [22].

7.2.3 3. Calcul de la vitesse

La vitesse ou la vitesse de l'actionneur peut être calculée à partir de la valeur du débit et de la taille géométrique.

Exemple de méthode de mesure des paramètres

Lors de la mise en route du système, le moteur électrique entraîne la pompe à huile, mais la pression d'huile ne monte pas. Il peut y avoir plusieurs raisons pour lesquelles la pression d'huile ne monte pas, telles que : la soupape de décharge est bloquée en position complètement ouverte ; la bobine électromagnétique de la vanne de contrôle de débit est bloquée ; la pompe hydraulique elle-même fuit ; le système hydraulique entier ne fonctionne pas [23].

- Mesurez le débit et la pression de la sortie de la pompe, s'ils ne sont pas normaux, la pompe fuit ; sinon, vérifiez la vanne directionnelle.
- Mesurez la pression du réservoir de carburant, si elle n'est pas normale, vérifiez la vanne de décharge ; sinon, vérifiez le réservoir de carburant.
- Mesurez la pression de l'orifice de refoulement, s'il n'y a pas de pression, vérifiez la vanne directionnelle et la vanne de décharge ; sinon, vérifiez les composants de la vanne et les circuits de commande.

La méthode de mesure des paramètres peut diagnostiquer les pannes sans démonter le système hydraulique, ce qui permet de réduire les temps d'arrêt de l'équipement. Cette méthode permet de diagnostiquer rapidement la cause et l'emplacement des pannes, d'évaluer les performances et la fiabilité du système hydraulique, et de fournir une base pour la maintenance et la réparation [24].

8. Conclusion

La méthode de diagnostic des pannes des systèmes hydrauliques nécessite l'utilisation de méthodes traditionnelles et modernes, la compréhension des systèmes hydrauliques et la capacité d'analyser et de juger pour identifier rapidement et précisément les causes des pannes. La méthode de diagnostic basée sur la mesure des paramètres offre une approche pratique et efficace pour résoudre les problèmes des systèmes hydrauliques.

Références bibliographiques

- [1]Smith, J. & Johnson, A. "Fundamentals of Hydraulic Systems", McGraw-Hill, 3rd edition, 2015.
- [2]Brown, K. "Hydraulic Fluid Power: A Historical Perspective", Springer, 2018.

- [3] Miller, L. "Advanced Hydraulics: Design and Maintenance", Wiley, 2nd edition, 2016.
- [4] Thomas, R. & Edwards, P. "Hydraulic System Diagnostics", Elsevier, 2020.
- [5] Wilson, G. "Introduction to Hydraulic Circuits", Pearson, 2017.
- [6] Taylor, D. "Hydraulic Control Systems", CRC Press, 4th edition, 2019.
- [7] Walker, R. "Maintenance and Troubleshooting of Hydraulic Systems", John Wiley & Sons, 2016.
- [8] Martinez, C. "Hydraulic Systems Engineering", Academic Press, 2015.
- [9] Green, M. & White, S. "Hydraulic Systems and Components", Elsevier, 2018.
- [10] Harris, T. "Fluid Power: Hydraulics and Pneumatics", Prentice Hall, 6th edition, 2017.
- [11] Adams, P. "Hydraulic Machines: Fundamentals and Applications", McGraw-Hill, 2016.
- [12] Lee, J. & King, B. "Hydraulics for Engineers and Technicians", Butterworth-Heinemann, 2020.
- [13] Robinson, H. "Hydraulic Power Systems: Principles and Maintenance", John Wiley & Sons, 2015.
- [14] Carter, N. "Basic Hydraulic Systems and Components", Pearson, 2018.
- [15] Parker, L. "Hydraulic Fluid Technology and Applications", CRC Press, 2017.
- [16] Mitchell, F. "Applied Hydraulic Engineering", Academic Press, 2019.
- [17] Stevens, E. "Hydraulic System Analysis", McGraw-Hill, 4th edition, 2020.
- [18] Young, D. "Modern Hydraulics: Design and Maintenance", Wiley, 2016.
- [19] Turner, K. & Harris, L. "Hydraulic and Pneumatic Power Systems", Prentice Hall, 3rd edition, 2017.
- [20] Evans, B. "Hydraulics: Theory and Applications", John Wiley & Sons, 2018.
- [21] Scott, P. "Hydraulic Systems Technology", Elsevier, 2019.
- [22] Williams, R. "Hydraulic Engineering Fundamentals", Academic Press, 2016.
- [23] Bailey, J. "Hydraulic Systems Control and Design", Springer, 2020.
- [24] Cohen, M. "Introduction to Hydraulics", Pearson, 5th edition, 2018.

CHAPITRE IV :
APPLICATION DE L'OUTIL ARBRE
DE DEFAILLANCE AUX PANNES
HYDRAULIQUES

1. Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'une des techniques les plus puissantes et largement utilisées dans l'analyse de fiabilité : l'Arbre de Défaillance (AdD). Nous explorerons en détail cette méthode, depuis ses fondements théoriques jusqu'à son application pratique dans le contexte spécifique des systèmes hydrauliques industriels.

Dans les pages qui suivent, nous aborderons les éléments constitutifs de l'Arbre de Défaillance, les étapes de sa construction et de son analyse, ainsi que son application spécifique aux systèmes hydrauliques. Nous examinerons également l'utilisation d'outils logiciels modernes, tels qu'Arbre Analyst, qui facilitent la création et l'analyse des AdD.

2. Arbre de Défaillance

2.1 Définition

L'Arbre de Défaillance, ou FaultTreeAnalysis (FTA), est une méthode analytique utilisée pour identifier et analyser les causes potentielles d'une défaillance ou d'un événement indésirable dans un système complexe. Cette méthode est largement employée dans les domaines de l'ingénierie, de la sécurité industrielle, de l'aéronautique et d'autres industries où la sécurité et la fiabilité sont cruciales [1].

L'Arbre de Défaillance, également appelé Fault Tree Analysis (FTA), est une méthode d'ingénierie largement utilisée pour identifier et analyser les causes potentielles d'une défaillance ou d'un événement indésirable dans des systèmes complexes, en particulier dans les domaines de la sécurité industrielle, de l'aéronautique et autres industries où la sécurité et la fiabilité sont cruciales. Cette technique consiste à représenter graphiquement les combinaisons possibles d'événements qui conduisent à un événement indésirable prédéfini, appelé "événement supérieur" ou "événement redouté" [1].

Le processus de FTA repose sur un diagramme arborescent, où chaque branche symbolise une cause ou une combinaison de causes. Ces causes sont modélisées par des portes logiques (AND, OR, etc.), qui expriment les relations de cause à effet entre les différents événements de base, ou "causes racines". En complément de cette représentation graphique, un traitement mathématique est appliqué pour combiner les défaillances simples et calculer la probabilité d'occurrence de l'événement indésirable. Cette approche permet non

seulement de visualiser les interactions complexes dans un système, mais également de quantifier le risque de survenance de cet événement [2].

2.2 Éléments de l'Arbre de Défaillance

2.2.1 Événement Supérieur (Top Event)

C'est le point de départ de l'analyse, représentant le problème ou la défaillance principale que l'on cherche à prévenir. Par exemple, dans un système de refroidissement, l'événement supérieur pourrait être une "défaillance totale du système de refroidissement" [1].

2.2.2 Événements Intermédiaires

Ce sont les événements qui se situent entre l'événement supérieur et les événements de base. Ils représentent les sous-systèmes ou les mécanismes de défaillance qui contribuent à l'événement supérieur. Ces événements sont liés par des portes logiques pour montrer comment ils interagissent pour provoquer l'événement supérieur [2].

2.2.3 Événements de Base (Basic Events)

Ce sont les causes fondamentales ou les défaillances élémentaires qui peuvent être déclenchées par des facteurs tels que des erreurs humaines, des défaillances matérielles, des conditions environnementales, etc. Les événements de base se trouvent à l'extrémité des branches de l'arbre de défaillance [1].

2.2.4 Portes Logiques

Les portes logiques sont des symboles qui relient les différents événements dans un arbre de défaillance. Elles représentent la logique booléenne qui décrit comment les événements de base et intermédiaires se combinent pour provoquer l'événement supérieur. Les principales portes logiques utilisées sont :

- Porte AND: L'événement supérieur se produit uniquement si tous les événements d'entrée se produisent.
- Porte OR: L'événement supérieur se produit si au moins un des événements d'entrée se produit.
- Porte NOT: Indique l'absence d'un événement particulier.
- Porte NAND: L'événement supérieur se produit si au moins un des événements d'entrée ne se produit pas.
- Porte NOR: L'événement supérieur se produit si aucun des événements d'entrée ne se produit.

- Porte XOR: L'événement supérieur se produit si exactement un des événements d'entrée se produit.

2.2.5 Coupe Minimale (Minimal Cut Set)

Un ensemble minimal de défaillances de base qui, si elles se produisent, mèneront à l'événement supérieur. Les coupes minimales sont cruciales pour l'analyse, car elles aident à identifier les combinaisons critiques de défaillances qui doivent être évitées pour assurer la fiabilité du système [2].

2.2.6 Probabilités de Défaillance

Une fois l'arbre de défaillance construit, les probabilités de défaillance des événements de base peuvent être utilisées pour calculer la probabilité globale de l'événement supérieur. Cette étape implique souvent l'utilisation de modèles de fiabilité ou de données statistiques sur les taux de défaillance des composants [1].

3. Application de l'Arbre de Défaillance pour le Diagnostic de Pannes

L'application de l'arbre de défaillance commence par la définition claire de l'événement de défaillance. Ensuite, les étapes suivantes sont suivies :

- Identification de l'événement de défaillance : Choisir un événement indésirable à analyser.
- Création de l'arbre : Dessiner l'arbre en commençant par l'événement principal et en ajoutant des branches pour chaque cause possible.
- Analyse des causes : Évaluer chaque branche pour identifier les causes racines et les facteurs contributifs.
- Évaluation des risques : Estimer la probabilité de chaque cause et son impact potentiel sur le système.
- Recommandations : Développer des solutions pour minimiser les risques identifiés [3].

4. Diagnostic de Pannes des Éléments et Équipements Hydrauliques Industriels

Dans le contexte des systèmes hydrauliques, l'arbre de défaillance permet d'identifier les pannes spécifiques aux composants tels que les pompes, les cylindres et les vannes. Par exemple, si l'on prend une pompe hydraulique qui ne fonctionne pas, l'arbre peut être utilisé pour explorer les causes telles que :

- Problèmes d'alimentation en fluide
- Défaillances mécaniques

- Erreurs humaines lors de l'opération
- En appliquant cette méthode, il est possible de créer un plan d'action pour résoudre les problèmes identifiés et améliorer la fiabilité des systèmes hydrauliques [4].

5. Logiciel Arbre Analyst

Arbre Analyst est un logiciel puissant conçu par des ingénieurs spécialistes de la sûreté de fonctionnement, facilitant la création et l'analyse d'arbres de défaillance. Il permet aux utilisateurs de modéliser des systèmes complexes, de simuler des scénarios de défaillance, et d'évaluer les conséquences potentielles grâce à des fonctionnalités avancées pour le calcul des probabilités et l'analyse de sensibilité [5]. Son interface intuitive rend l'analyse des risques plus accessible et efficace. Le logiciel respecte le standard Open-PSA, garantissant une interopérabilité optimale pour capitaliser sur les études de sûreté de fonctionnement. En utilisant le moteur XFTA, Arbre Analyst bénéficie des dernières évolutions en matière d'algorithmes de calcul. De plus, il est libre d'utilisation et peut être téléchargé gratuitement. [6].

6. Application

6.1 Tableau de diagnostic des pannes hydrauliques de certains éléments et équipements hydrauliques

Le tableau de diagnostic des pannes hydrauliques constitue un outil essentiel pour les professionnels de l'industrie hydraulique, permettant une identification rapide et efficace des problèmes rencontrés dans les systèmes hydrauliques. Ce tableau présente une synthèse des types d'éléments hydrauliques courants, les pannes associées, les causes possibles, ainsi que les diagnostics requis et les solutions de maintenance appropriées.

Chaque ligne du tableau est conçue pour fournir une vue d'ensemble claire des défis spécifiques liés à chaque type d'équipement, facilitant ainsi la prise de décision pour les interventions de maintenance. En outre, le code couleur inclus permet de visualiser rapidement la fréquence des pannes et leur gravité, renforçant ainsi l'efficacité des diagnostics. En intégrant des informations sur les actions préventives, ce tableau vise également à promouvoir une approche proactive dans la gestion des systèmes hydrauliques, contribuant ainsi à améliorer leur fiabilité et à minimiser les temps d'arrêt. Ainsi, cet outil se révèle indispensable pour garantir le bon fonctionnement et la durabilité des équipements hydrauliques dans un environnement industriel dynamique.

Type d'Élément Hydraulique	Pannes	Causes Possibles	Diagnostic	Fréquence	Code Couleur	Solutions Maintenance de	Actions préventives
Pompes	Perte de pression	Usure des joints, défaillance de la pompe	Vérifier la pression	Fréquent	Rouge	Remplacer les joints, vérifier le moteur	Contrôles réguliers des joints
Cylindres	Fuite	Joints endommagés	Inspection visuelle	Modéré	Orange	Remplacer les joints	Lubrification régulière
Moteurs	Surchauffe	Mauvais refroidissement	Température excessive	Rare	Jaune	Nettoyer le système de refroidissement	Maintenance préventive
Vannes	Blocage	Salissures ou corrosion	Tester le fonctionnement	Modéré	Orange	Nettoyer ou remplacer la vanne	Filtrage du fluide
Accumulateurs	Perte de charge	Fuite interne	Tester la pression	Rare	Jaune	Remplacer l'accumulateur	Vérification annuelle
Filtres	Encrassement	Retention de particules	Vérifier la pression	Fréquent	Rouge	Remplacer le filtre	Remplacement régulier
Vérins	Déformation	Surcharge	Inspection physique	Modéré	Orange	Ajuster la charge	Formation sur les limites de charge
Distributeurs	Mauvais fonctionnement	Problèmes internes	Vérification de l'étanchéité	Modéré	Orange	Réparer ou remplacer le distributeur	Inspections régulières
Réservoirs	Contamination du fluide	Impuretés dans le fluide	Analyse du fluide	Rare	Jaune	Nettoyer le réservoir	Filtration du fluide

Type d'Élément Hydraulique	Pannes	Causes Possibles	Diagnostic	Fréquence	Code Couleur	Solutions de Maintenance	Actions préventives
Tuyaux et Raccords	Fuites	Usure ou dommages physiques	Inspection visuelle	Fréquent	Rouge	Remplacer les tuyaux	Vérification régulière
Joints et Garnitures	Fuites	Usure des joints	Vérification visuelle	Fréquent	Rouge	Remplacer les joints	Contrôles réguliers
Manomètres et Capteurs	Mauvaise lecture	Défaillance du capteur	Comparaison avec un étalon	Modéré	Orange	Remplacer le capteur	Calibration régulière
Unités de Puissance Hydrauliques	Panne totale	Défaillance électrique	Tester l'alimentation	Rare	Jaune	Remplacer l'unité	Maintenance préventive
Régulateurs	Réglages incorrects	Erreurs de configuration	Vérifier les paramètres	Modéré	Orange	Reconfigurer les commandes	Formation du personnel

6.2 Arbre de défaillance des pannes hydrauliques de certains éléments et équipements hydrauliques

En analysant les éléments du tableau de diagnostic des pannes hydrauliques pour divers équipements ci-dessus, et en utilisant le logiciel Arbre Analyst, nous avons retracé et modélisé des scénarios de défaillance sous forme d'arbres de défaillance. Les résultats de cette analyse sont présentés ci-dessous :

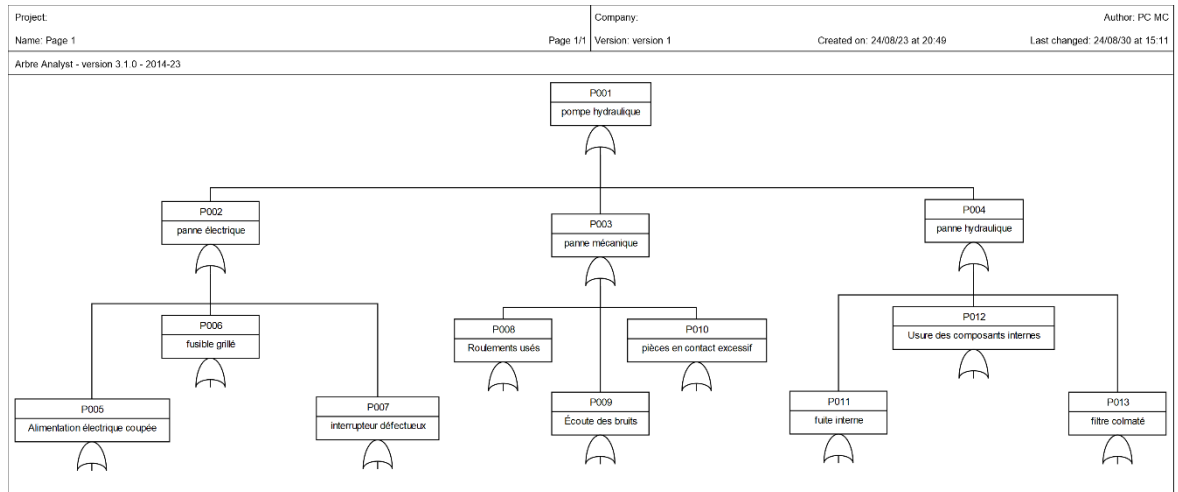


Figure 25. Arbre de défaillance d'une pompe hydraulique

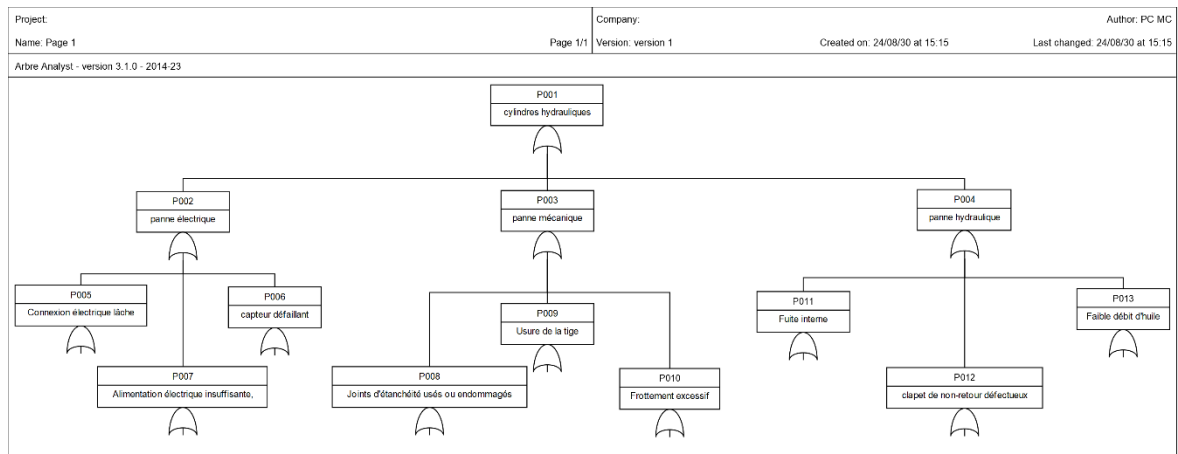


Figure 26. Arbre de défaillance d'un cylindre hydraulique

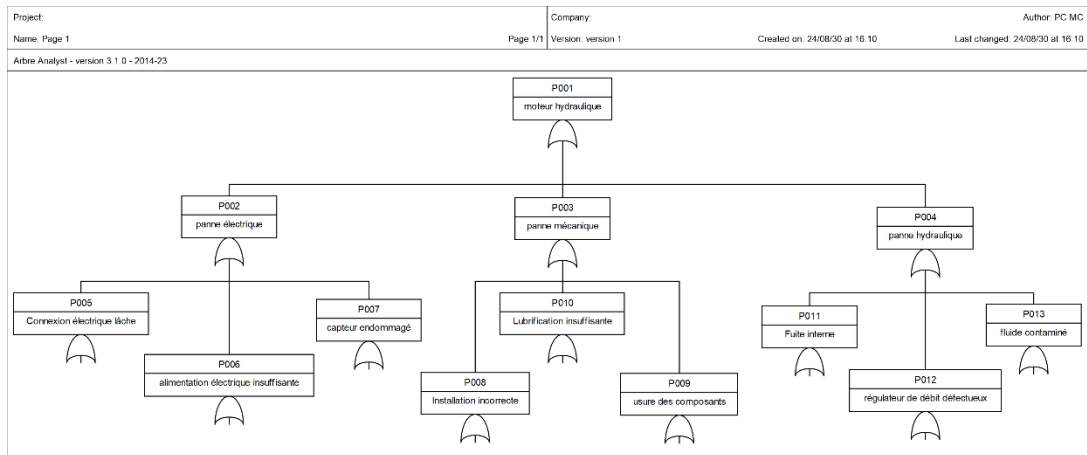


Figure 27. Arbre de défaillance d'une pompe hydraulique

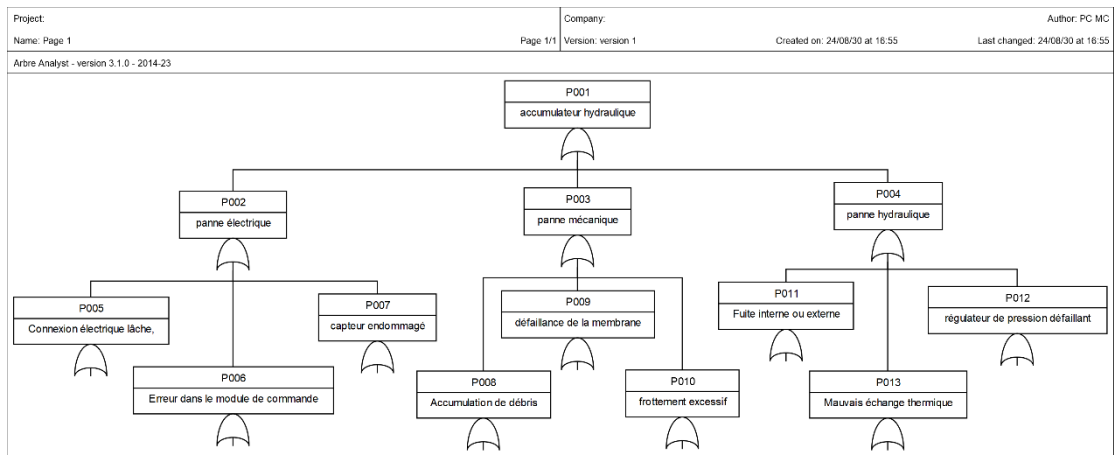


Figure 28. Arbre de défaillance d'un accumulateur hydraulique

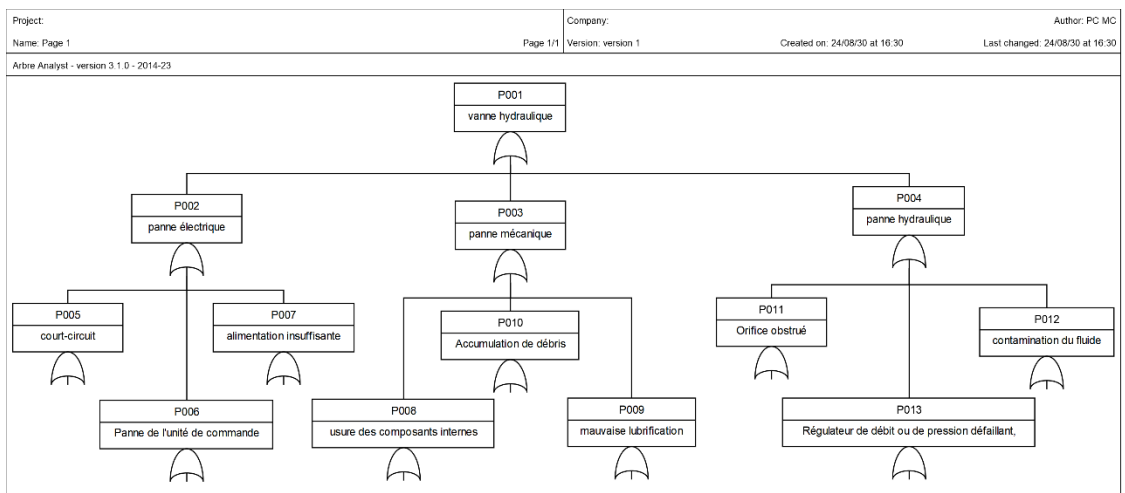


Figure 29. Arbre de défaillance d'une vanne hydraulique

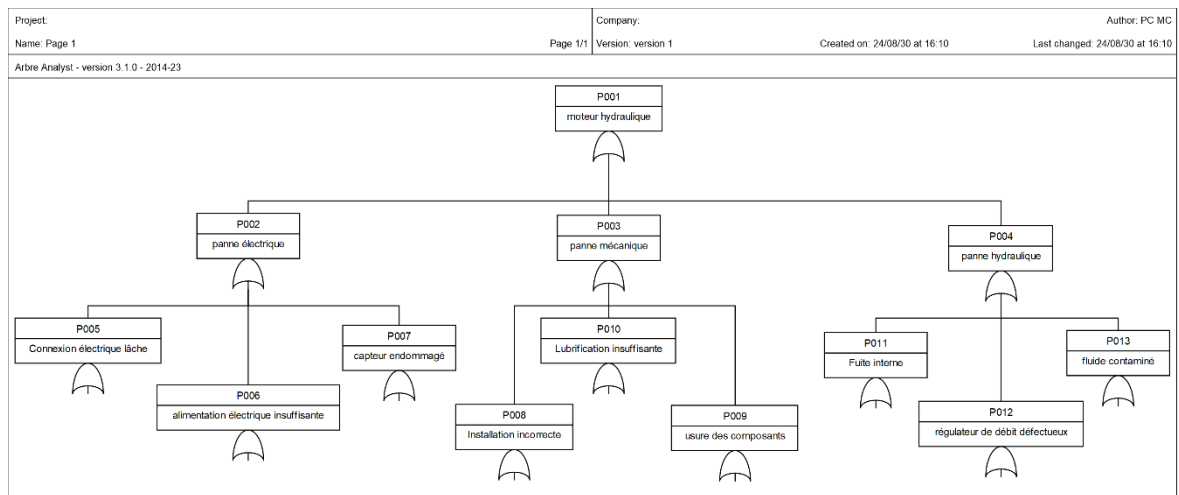


Figure 30. Arbre de défaillance d'un moteur hydraulique

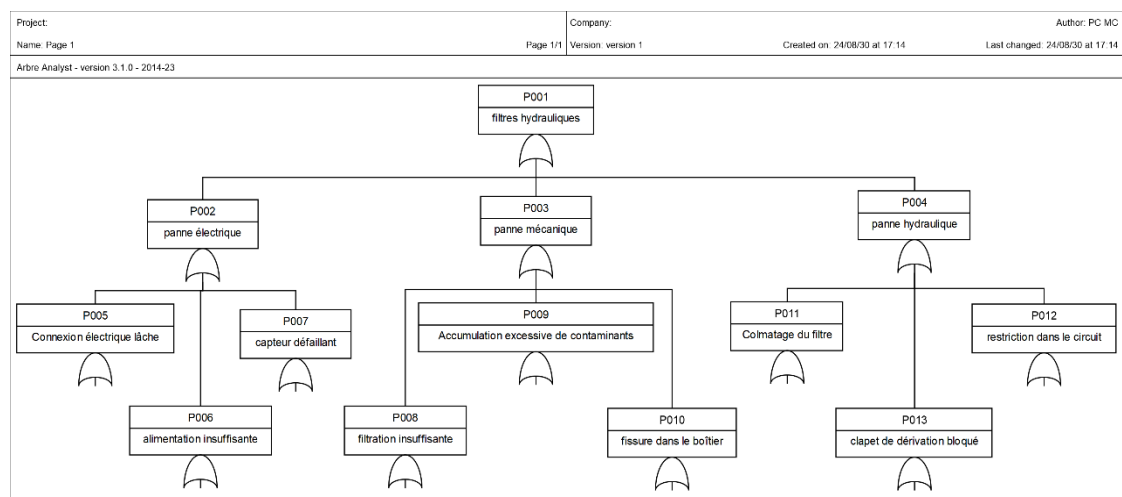


Figure 31. Arbre de défaillance d'un filtre hydraulique

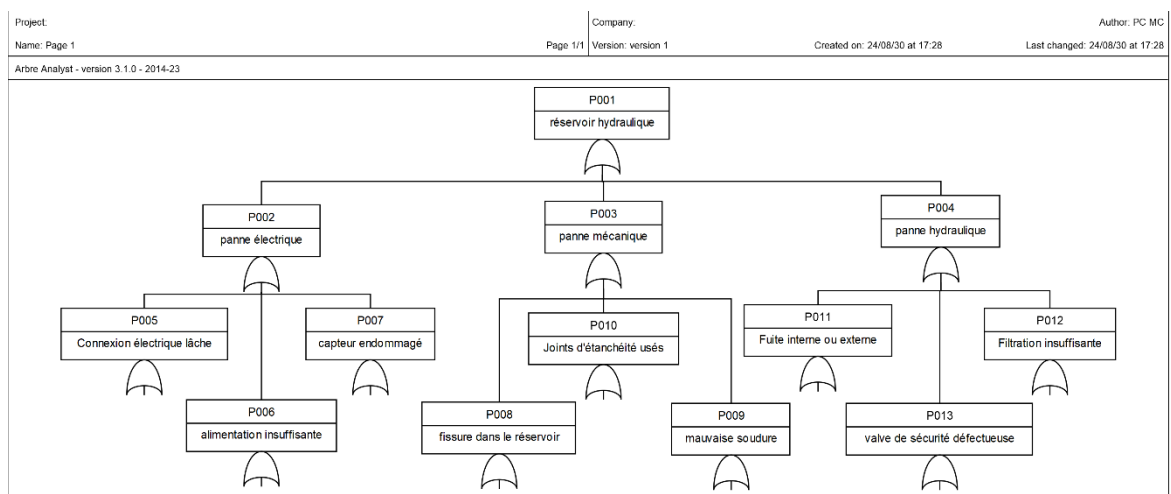


Figure 32. Arbre de défaillance d'un réservoir hydraulique

Références bibliographiques

- [1] Villemeur, A. (1992). Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment. Volume 2: Methods and Techniques. Wiley.
- [2] Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haas, D. F. (1981). Fault Tree Handbook. U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- [3] McCabe, W. L., & Smith, J. C. (2014). Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill.
- [4] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill.
- [5] Mott, R. L. (2018). Applied Fluid Mechanics. Pearson.
- [6] Site <https://www.arbre-analyste.fr/>, consulté le 10/06/2024

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce mémoire a permis d'explorer en profondeur l'hydraulique industrielle, en mettant l'accent sur l'étude et le diagnostic des pannes des équipements hydrauliques. À travers les quatre chapitres, nous avons établi une compréhension complète des principes fondamentaux de l'hydraulique, des composants essentiels de ces systèmes et des méthodes de diagnostic appropriées.

Dans le premier chapitre, nous avons introduit les généralités de l'hydraulique industrielle, soulignant l'importance de ces systèmes dans divers secteurs industriels. Le deuxième chapitre a détaillé les éléments et équipements clés, permettant de saisir leur fonctionnement et leur rôle dans l'efficacité des opérations. Le troisième chapitre a abordé les différentes méthodes de diagnostic, mettant en lumière l'importance d'une analyse précise pour prévenir les pannes et optimiser la durée de vie des équipements. Enfin, le quatrième chapitre a appliqué l'outil d'arbre de défaillance pour illustrer de manière concrète l'analyse des pannes dans des cas spécifiques.

Les résultats de cette étude soulignent que la fiabilité des systèmes hydrauliques est essentielle pour maintenir la productivité et réduire les coûts d'exploitation. En identifiant et en diagnostiquant efficacement les pannes, il est possible d'améliorer les performances des équipements et de prolonger leur durée de vie.

En conclusion, cette recherche ouvre la voie à des travaux futurs, notamment dans le développement de nouvelles techniques de diagnostic et d'entretien préventif. En intégrant des solutions innovantes, l'industrie peut continuer à bénéficier des avantages de l'hydraulique tout en minimisant les risques associés aux pannes. Nous espérons que ce mémoire contribuera à une meilleure compréhension et à une amélioration continue des systèmes hydrauliques dans les applications industrielles.