

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique

Mémoire de Master

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

**Etude des huiles utilisées dans les accumulateurs  
hydrauliques**

Hidayette KHALFI

Sous la direction de

Pr Saâdia BENMAMAR (ENP)

Présenté et soutenue le 05 Octobre 2017

Composition du Jury :

Président	M. Maamar NAKIB	MCB	ENP
Promoteur	Mme Saâdia BENMAMAR	Professeur	ENP
Examineur	M. Salim BENZIADA	MAA	ENP

**ENP 2017**



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique

Mémoire de Master

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

**Etude des huiles utilisées dans les accumulateurs  
hydrauliques**

Hidayette KHALFI

Sous la direction de

Pr Saâdia BENMAMAR (ENP)

Présenté et soutenue le 05 Octobre 2017

Composition du Jury :

Président	M. Maamar NAKIB	MCB	ENP
Promoteur	Mme Saâdia BENMAMAR	Professeur	ENP
Examineur	M. Salim BENZIADA	MAA	ENP

ENP 2017

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ

الرَّحِيمِ

## ملخص

الهدف الرئيسي من دراستنا هو دراسة خصائص مختلفة من الزيت المستخدمة في النظام الهيدروليكي. لمعرفة المزيد عن تدهور نوعية السوائل الهيدروليكية الناجمة عن التلوث ا. هذا التلوث تسبب في حالة دراستنا فشل بعض المعدات مثل المراكم الهيدروليكية، الأمر الذي أدى في وقت لاحق إلى اغلاق الجهاز. أجريت التحاليل على عينات الزيت الجديدة والمستعملة لمقارنة الخصائص قبل وبعد فترة محددة من الخدمة.

## الكلمات الدالة:

المركمات، نظام هيدروليكي، مئانة

## Abstract :

The main goal of our study is to analyze the different properties of hydraulic oil used in a turbomachine and to learn more about the degradation of oil's quality caused by several types of contaminants. In the case of our study, the contamination generated the explosion of accumulator's bladder leading to a suspension of machine's operation.

Analyses were performed on new and used oil samples in order to compare its properties before and after a period of operation.

## Key words :

Accumulator, hydraulic system, bladder.

## Résumé :

L'objectif principal de notre étude est d'étudier les différentes propriétés de l'huile utilisée dans un système hydraulique d'une turbomachine. Afin d'en savoir plus sur la dégradation de la qualité des fluides hydrauliques provoquée par une contamination liquide, solide ou gazeuse. Cette contamination a provoqué dans le cas de notre étude la défaillance de certains équipements tels que les accumulateurs hydrauliques, chose qui a entraîné par la suite l'arrêt de la machine. Des analyses ont été effectués sur des échantillons d'huile neuve et usée afin de comparer les propriétés avant et après une durée déterminée de service.

## Mots clés :

Accumulateur, système hydraulique, vessie.

# Table des matières

## Liste des figures

## Liste des tableaux

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>8</b>
<b>CHAPITRE I : Les systèmes hydrauliques.....</b>	<b>10</b>
I.1. Introduction.....	10
I.2. Généralité.....	10
I.3. Principe defonctionnement .....	10
I.4. Les accumulateurs hydrauliques .....	11
I.4.1. Définition .....	11
I.4.2. Rôle d'un accumulateur .....	12
I.4.3. Principe de fonctionnement.....	12
I.4.4. Types d'accumulateurs .....	13
<b>CHAPITRE II : Les fluides hydrauliques .....</b>	<b>16</b>
II.1. Introduction .....	16
II.2. Généralités .....	16
II.3. Fonctions des fluides hydrauliques .....	16
II.4. Classification des fluides hydrauliques .....	17
II.5. Propriétés des fluides hydrauliques .....	18
II.5.1.La masse volumique.....	18
II.5.2.La viscosité.....	18
II.6. Conclusion .....	19
<b>CHAPITRE III : Pollution des fluides hydrauliques .....</b>	<b>21</b>
III.1. Introduction.....	21
III.2. Type de pollution .....	21
III.2.1. La pollution chimique .....	21

III.2.2. La pollution chimique .....	21
III.2.3. La pollution physique.....	22
III.3. Classification des types de polluants des fluides hydrauliques .....	23
III.3.1. Polluants liquides.....	23
III.3.2. Polluants gazeux .....	24
III.3.3. Polluants solides .....	26
□ Classification suivant la norme ISO 4406 .....	26
<b>CHAPITRE IV : Résultats des analyses .....</b>	<b>34</b>
IV.1. Introduction.....	34
IV.2. Analyses effectuées sur les échantillons de l'huile hydraulique :.....	34
IV.2.1. Karl Fischer :.....	34
IV.2.2. Evaluation de la stabilité de mousse : .....	35
IV.2.3. Test Ruler :.....	35
IV.3. Résultats obtenus :.....	36
IV.3.1. Teneur en eau :.....	36
IV.3.2. Moussage :.....	36
IV.3.3. RULER .....	36
IV.4. Interprétation des résultats : .....	36
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>38</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>39</b>

## Liste des figures

Figure III.1 : Schéma des différents types de polluants .....	23
Figure III.2 : Pollution grossière .....	27
Figure III.3 : Pollution à particules dures .....	27
Figure III.4 : Pollution à particules fines .....	28
Figure III.5 : Pollution à la mise en service .....	29
Figure III.6 : Abrasion .....	30

## Liste des tableaux

Tableau VI.1 : Résultat de la teneur en eau .....	36
Tableau VI.2 : Résultat du moussage .....	36
Tableau VI.3 : Résultat du ruler .....	36

# Introduction Générale

Les systèmes et les composants hydrauliques évoluent avec le développement de la recherche scientifique. Des pressions et des températures de plus en plus élevés, des cycles de plus en plus courts accentuent les contraintes appliquées sur les différents éléments du système hydraulique, ce qui entraîne une usure plus rapide. Cette dernière peut générer une forte contamination du fluide de service notamment l'huile dans le cas des turbomachines, chose qui mène assurément vers une défaillance de la machine.

Le système hydraulique doit impérativement rester propre et exempt de toute pollution afin d'assurer un bon fonctionnement mais également une bonne durée de vie. Il est donc essentiel de respecter un calendrier rigoureux de maintenance et bien choisir la qualité du fluide utilisé.

Les travaux entrepris dans ce master s'inscrivent dans une démarche visant à étudier les différentes caractéristiques de l'huile utilisé dans le système hydraulique d'une turbomachine, afin de déterminer les facteurs influençant le comportement de l'huile au sein du système.

Le présent manuscrit est composé de 4 chapitres :

Le premier chapitre décrit les différents composants du système hydraulique ainsi que le fonctionnement des éléments les plus importants pour notre étude.

Le second chapitre présente les caractéristiques et les propriétés des fluides hydrauliques, ces caractéristiques vont être par la suite analysées afin de vérifier si le fluide de service répond aux normes exigées.

Le troisième chapitre est consacré à une étude théorique sur la pollution des huiles hydrauliques par différents types de contaminants, en précisant l'impact de chaque type de contamination sur le fluide de service ainsi que sur le fonctionnement de la machine.

Et enfin, nous présentons les résultats des analyses effectuées sur les échantillons d'huile neuve et usée et nous clôturons notre étude par l'interprétation des résultats obtenus et quelques recommandations.

---

# **CHAPITRE I : LES SYSTEMES HYDRAULIQUES**

---

## CHAPITRE I : Les systèmes hydrauliques

### I.1. Introduction

Un système hydraulique est un système qui utilise l'eau ou n'importe quel autre fluide pour son fonctionnement. Dans le système industriel, l'hydraulique se traduit par la transmission et la commande des forces par le liquide qui est le fluide hydraulique.

Différentes formes d'énergie sont utilisées dans ce genre de système :

- L'énergie potentielle (par gravité), exemple : un château d'eau.
- L'énergie cinétique (par vitesse), exemple : une turbine hydroélectrique.
- L'énergie par pression : C'est cette forme d'énergie qui est utilisée dans les systèmes hydrauliques industriels et mobiles.

Les circuits ou systèmes hydrauliques connaissent une large utilisation parmi lesquelles : la production d'électricité.

### I.2. Généralité

Le système d'alimentation hydraulique fournit le fluide hydraulique essentiel au bon fonctionnement des équipements de commande de la turbine à gaz. Ce fluide assure l'ouverture et la fermeture de la soupape d'arrêt du combustible alimentant la turbine, il contrôle également le mouvement des aubes directrices de la turbine ainsi que le déclenchement des appareils responsables de la protection de la turbine [15].

### I.3. Principe de fonctionnement

L'huile lubrifiante filtrée et régulée provenant du collecteur des paliers de la turbine à gaz est utilisée comme fluide de haute pression nécessaire pour répondre aux besoins du système hydraulique. Une pompe à piston, entraînée par un arbre de transmission des auxiliaires, est la pompe principale de cette huile à haute pression avec une pompe à palettes entraînée par un moteur fournit la réserve auxiliaire nécessaire [15].

L'huile hydraulique, mise sous pression par la pompe principale, est contrôlée par un compensateur de pression incorporé dans la pompe. L'action du compensateur varie en fonction du rendement de la pompe aidant à maintenir une pression de consigne sur son refoulement.

La pompe auxiliaire démarre au moment de la mise en marche de la turbine, contrairement à la pompe principale qui n'atteint même pas sa vitesse nominale. La pompe auxiliaire continue

à tourner jusqu'à ce que le capteur de vitesse indique que la vitesse minimale de contrôle a été dépassée [15].

Quand la pompe principale est mise en marche et qu'elle n'arrive pas à fournir la pression adéquate, le pressostat intervient en indiquant cette défaillance, il envoie par la suite un signal qui se charge du déclenchement de la pompe auxiliaire. Le système est généralement équipé d'un deuxième pressostat pour une éventuelle défaillance au niveau du premier.

Le fluide hydraulique est pompé vers le collecteur, un ensemble conçu pour fournir des moyens d'interconnexion de plusieurs petits composants. La sortie des deux pompes principale et auxiliaire est reliée au raccord d'entrée réceptif du collecteur hydraulique. L'ensemble comprend deux soupapes de surpression contrôlant la pression de sortie de la pompe auxiliaire alors que l'autre protège le circuit de la pompe hydraulique principale d'une détérioration en cas de panne du compensateur de pression de la pompe principale [15].

Chaque circuit de pompe comprend une soupape de retenue, en aval de la soupape de surpression qui maintient les lignes hydrauliques pleines quand la turbine est arrêtée. Les soupapes purgent tout l'air présent dans la tuyauterie de refoulement des pompes.

A partir d'une simple connexion de sortie du collecteur, le fluide à haute pression est conduit à travers le ou les filtres du système et devient alors un fluide de commande à haute pression, une protection primaire est intercalée entre le système de protection et de commande de la turbine et les composants de la turbine qui alimentent ou coupent le combustible.

Un accumulateur hydraulique est également relié dans la ligne haute pression du système d'alimentation hydraulique pour absorber tous les chocs importants susceptibles de se produire lors du démarrage des pompes d'alimentation [15].

Le flux d'huile lubrifiante pour les pompes est prélevé sur le collecteur des paliers de la turbine après avoir été filtrée. Le filtre du système d'alimentation hydraulique installé dans la tuyauterie de sortie du collecteur d'alimentation hydraulique est nécessaire pour éviter que des contaminants et autres particules engendrés par l'usure des pompes ne pénètrent dans les dispositifs de déclenchements du système de protection de la turbine.

Des indicateurs de pression différentielle sont prévus au niveau de la tuyauterie de chaque filtre pour fournir une indication de pression de l'huile de part et d'autre du filtre [15].

### **I.4. Les accumulateurs hydrauliques**

#### **I.4.1. Définition**

L'accumulateur peut être défini comme une réserve d'énergie sous pression. Il donne une apparence de compressibilité à un liquide incompressible en emmagasinant un volume

variable d'un liquide sous la pression d'un gaz pour le restituer ensuite au système hydraulique.

Le stockage de l'énergie s'opère en comprimant le gaz enfermé dans la vessie, ce qui permettra au fluide de pénétrer à l'intérieur du corps de l'accumulateur, et ce quand la pression du système est supérieure à celle des accumulateurs. Inversement, l'énergie est restituée quand la pression au niveau des accumulateurs est supérieure à celle du système ; le temps nécessaire à la restitution de l'énergie dépend du débit de fluide évacué.

### **I.4.2. Rôle d'un accumulateur**

Le rôle principal des accumulateurs hydrauliques est d'emmagasiner un certain volume de fluide sous pression et le restituer ensuite pour assister la pompe, ils permettent également de maintenir une pression constante dans tout le circuit pendant les périodes de transition du régime, en absorbant les pics et en délivrant instantanément un débit avant que la pompe agisse.

De plus, les accumulateurs sont utilisés pour répondre à certaines problématiques comme :

- Les dilatations thermiques ;
- Le cumul de puissance ;
- L'amortissement des chocs dans les démarrages ou les arrêts des installations ;
- L'amortissement des pulsations...

### **I.4.3. Principe de fonctionnement**

De par leur nature, les liquides ont une compressibilité très faible ce qui rend difficile le stockage de leur énergie dans des volumes restreints, néanmoins ils peuvent transmettre des efforts importants contrairement aux gaz.

En effet, ces derniers possèdent un taux de compressibilité très important et peuvent donc emmagasiner une énergie considérable sous un faible volume. L'accumulateur hydropneumatique réalise l'association de ces deux propriétés en permettant au gaz de communiquer son élasticité au fluide de service.

Avant la mise en marche des pompes, la vessie est remplie d'Azote à une pression  $P_0$  à l'aide d'une valve de remplissage, par conséquent elle prend la forme du corps de l'accumulateur. Quand la pression du fluide traversant le système est supérieure à  $P_0$ , le gaz se comprime à une pression  $P_1$  permettant à l'huile de pénétrer dans l'accumulateur. Dans le cas contraire, le fluide se répand dans le système hydraulique une fois que la pression du système passe sous la pression du gaz. Autrement dit toute baisse de pression au niveau du fluide de service entraîne la détente du gaz et provoque forcément la restitution du fluide par les accumulateurs.

Lorsque le coussin gazeux est entièrement comprimé, la pression de l'azote et celle du fluide de service sont égales. Il se dilate au fur et à mesure que la pression du système hydraulique baisse, forçant ainsi la restitution du fluide par l'accumulateur. La dilatation de la vessie s'effectue progressivement jusqu'à ce que sa pression atteigne la pression recommandée (qui est forcément inférieure à la pression nominale du système), une fois que la pression hydraulique est atteinte, la vessie occupe à nouveau entièrement le volume de l'accumulateur.

Une vanne à clapet empêche la vessie d'être tirée vers l'aval de l'accumulateur, car si cela se produit l'accumulateur risque de ne plus jamais pouvoir se recharger. Par conséquent l'écoulement de la pompe peut être étouffé [20] [25].

La déformation de la vessie peut se manifester sous diverses formes [23] :

- Position repos : Dans cette position, l'azote renfermé dans la vessie occupe l'intégralité du volume de l'accumulateur, quant à la pression elle est égale à la pression de gonflage de la vessie. La valve supérieure de l'accumulateur se ferme évitant ainsi toute perte de gaz.
- Pression minimale de service : Correspond à la pression de travail minimale. Dans ce cas la vessie se comprime et son volume se réduit au profit du volume d'huile.
- Pression maximale de service : Correspond à la pression maximale de travail. Dans cette forme, la pression augmente au fur et à mesure que la vessie se comprime, la différence entre le volume de la vessie dans les deux dernières positions correspond au volume de fluide accumulé.

#### **I.4.4. Types d'accumulateurs**

- Accumulateur à diaphragme

L'accumulateur à diaphragme est constitué de deux parties détachables, boulonnées ou vissées l'une à l'autre, et séparées par une membrane flexible appelée diaphragme. Cette dernière possède une forte résistance aux réactions chimiques, aux hautes et basses pressions ainsi qu'aux forces de cisaillement exercées tout au long des cycles de fonctionnement.

Ce type d'accumulateur n'est pas recommandé pour les grands volumes du fait de sa faible capacité de stockage, qui peut être désavantageuse dans certains cas bien qu'elle lui permette d'atteindre un rapport de compression très satisfaisant.

En revanche, il est souvent utilisé en aéronautique dans la mesure où le rapport masse/volume de la forme sphérique est faible, de même, il est utilisé dans le cas des utilisations non centralisées car il est facile à transporter, à installer et à réparer. L'accumulateur à diaphragme possède une longue durée de vie et une fiabilité incomparable [20] [22].

- Accumulateur à piston

L'accumulateur à piston est constitué de deux chambres isolées l'une de l'autre par un piston étanche, la chambre contenant l'huile est connectée au circuit hydraulique de l'installation de telle façon que l'accumulateur soit chargé et le gaz soit comprimé une fois que le système est mis en marche.

Le piston de séparation est doté de joints d'étanchéité adaptés au fluide utilisé et à la température ambiante, son rôle principal est de réduire l'effet des pics de pression afin de minimiser les risques dus à une compression rapide de l'azote.

Ce type d'accumulateur permet de supporter des rapports volumétriques très importants, il ne nécessite aucun entretien ni gonflage et il assure une vidange complète et rapide. De plus, il garantit une étanchéité incomparable ainsi qu'une très bonne résistance aux pressions intenses.

Bien qu'il semble être l'outil révolutionnaire pour atténuer les variations brusques de pression, son temps de réponse reste néanmoins relativement long par rapport aux autres types d'accumulateurs. Il est également prédisposé à toute contamination et dépôt de particules polluantes, de ce fait, il est préférable de l'installer verticalement [21].

- Accumulateur à vessie

Appelé également hydropneumatique, ce type d'accumulateur est constitué d'une vessie séparant deux chambres, l'une contenant un gaz et l'autre un fluide de service (l'huile dans notre cas). Il est muni d'une ouverture assez large permettant d'introduire la vessie, celle-ci est maintenue en place grâce à un bouchon qui renferme la valve de remplissage d'air.

---

## **CHAPITRE II : LES FLUIDES HYDRAULIQUES**

---

## CHAPITRE II : Les fluides hydrauliques

### II.1. Introduction

Dans une installation hydraulique, le fluide assure la transmission d'énergie aux organes du système via des pompes. Ces organes peuvent être des vérins ou des moteurs hydrauliques.

Le choix de l'huile peut affecter la qualité de fonctionnement du système ainsi que la durée de vie du matériel utilisé. C'est pourquoi, en vue d'optimiser le fonctionnement de l'installation, l'huile hydraulique doit répondre à certains critères tels que le pouvoir lubrifiant, la neutralité chimique, le pouvoir anticorrosion, une très faible compressibilité...etc.

Généralement, une seule huile ne rassemble pas toutes ces qualités, cependant il existe plusieurs types d'huiles hydrauliques classées en fonction de leurs finalités, de façon à ce que dans chaque type d'huile hydraulique certaines caractéristiques sont plus dominantes par rapport à d'autres.

### II.2. Généralités

La fonction principale d'un fluide hydraulique, au sein d'un système, est de transmettre la force appliquée en un point à un autre, cette opération doit s'établir avec précision et dans un laps de temps très réduit étant donné que c'est ce qui détermine la performance du fluide hydraulique utilisé.

On entend par un fluide hydraulique efficace, un fluide qui s'écoule facilement peu importe la température d'opération du système hydraulique. Par ailleurs, les conditions de service doivent assurer un fonctionnement optimal.

Pour achever avec satisfaction ses fonctions, le fluide hydraulique doit disposer de certaines qualités telles que : Un bon coefficient de transfert de chaleur, un pouvoir anti usure, une bonne résistance au feu, un bon pouvoir lubrifiant... [26]

### II.3. Fonctions des fluides hydrauliques

Généralement, on définit vingt et une (21) caractéristiques ou qualités qu'il y a lieu de prendre en considération, à savoir [26] :

- Stabilité à la chaleur, à l'oxydation et à l'hydrolyse ;
- Propriétés « viscosité-température » ;
- Résistance au feu ;
- Module de compressibilité ;
- Aptitudes lubrifiantes ;
- Compatibilité et non-corrosivité vis-à-vis des matériaux constituant le système hydraulique ;

- Volatilité ;
- Résistance aux radiations ;
- Tendance à la détérioration ;
- Facteur coût compte tenu des performances ;
- Durée de service ;
- Tendance à la cavitation ;
- Toxicité ;
- Facilité de manipulation et de stockage ;
- Coefficient de transfert de chaleur ;
- Coefficient d'expansion Masse volumique ;
- Compatibilité avec les autres matériaux extérieurs au circuit hydraulique ;
- Propriétés électriques telles que conductivité, constante diélectrique... ;
- Tendance au moussage, persistance de la mousse et relargage des gaz occlus ;
- Possibilité de régénération...etc ;

La liste des propriétés recommandées ne se réduit pas à ce qui vient d'être susmentionné. Néanmoins, dans le choix des fluides hydrauliques il est important de tenir compte des caractéristiques de l'équipement ainsi que les conditions de fonctionnement.

En pratique, le fluide hydraulique s'adapte forcément aux régimes de fonctionnement pour lesquels il est employé. Il doit obligatoirement disposer d'une bonne stabilité thermique, et il est préférable qu'il possède aussi une bonne résistance à l'oxydation et un bon facteur de compressibilité. Or dans le cas où le fluide hydraulique est utilisé sous haute pression, une autre caractéristique s'impose, celle de la résistance au feu [26].

### **II.4. Classification des fluides hydrauliques**

Les fluides hydrauliques ne diffèrent des huiles lubrifiantes que par des détails. En effet, sous des conditions d'utilisation normales, une huile minérale peut jouer le rôle d'une huile lubrifiante et d'un fluide de contrôle hydraulique en même temps.

Ces fluides hydrauliques sont obtenus par transformation chimique du pétrole. La seule différence réside dans le processus de raffinage. Dans le cas des huiles minérales, les impuretés sont éliminées au cours de processus de raffinage. Or, dans le cas des huiles de synthèse, le processus est plus élaboré et permet de modifier la composition des molécules pour les rendre plus homogènes. Cela permet d'obtenir des qualités lubrifiantes améliorées :

- Les huiles minérales : sont les plus utilisées. Elles sont composées d'huile aromatique, d'hydrocarbure saturé de type naphène et d'hydrocarbure de type paraffine, et comportent des additifs qui permettent d'adapter leurs propriétés à certaines fonctions

spécifiques.

- Les huiles synthétiques : ont pour intérêts d'être multigrades, et sont généralement utilisées sur une plage de température très étendue (à très basse ou très hautes températures). De plus, leurs viscosités varient peu avec la température [26]

### II.5. Propriétés des fluides hydrauliques

#### II.5.1. La masse volumique

Cette grandeur physique correspond à la masse d'un matériau par son unité de volume, elle s'exprime en  $Kgm^3$  et est donnée par  $\rho = m/V$ . La masse volumique dépend des conditions de l'environnement dans lequel on cherche à la mesurer, elle varie en fonction de la température et la pression et cette variation est généralement plus remarquable dans le cas des gaz.

Quand la pression est constante, une augmentation de pression entraîne la dilatation de la substance chimique étudiée, cette dernière occupera un volume plus important que le volume initial, et par conséquent sa masse volumique diminue.

En outre, quand la température est constante, l'augmentation de pression engendre une compression du fluide qui occupe un volume moins important que le volume initial et par conséquent la masse volumique augmente [27].

La masse volumique des huiles hydrauliques varie dans d'assez grandes proportions, le tableau suivant regroupe les différents types d'huiles hydrauliques ainsi que leurs masses volumiques :

#### II.5.2. La viscosité

Les coefficients de viscosité sont des grandeurs physiques qui jouent un rôle essentiel en rhéologie. Leur connaissance suffit parfois à caractériser de façon précise le comportement rhéologique du matériau.

La viscosité d'un fluide hydraulique est la propriété qui caractérise la résistance de ce liquide à l'écoulement. Plus précisément, la viscosité résulte de la résistance qu'opposent les molécules du fluide à des efforts qui tendent à les déplacer par glissements relatifs en son sein. Un liquide homogène, de masse volumique supposée constante, subit des déformations relatives (glissements ou cisaillements) auxquelles il oppose une résistance mesurable.

Selon leur comportement rhéologique, les fluides peuvent être classés en deux catégories : les fluides dits « newtoniens » et les fluides dits « non newtoniens »

### **II.6. Conclusion**

Pour que le fluide hydraulique puisse transmettre de l'énergie fournie par une pompe aux autres organes, il doit présenter certaines caractéristiques assurant un rendement optimum. Ces caractéristiques peuvent être : l'incompressibilité, le pouvoir de lubrification, la résistance à la corrosion ...etc. Pour qu'une huile soit efficace, elle doit conserver au maximum ses propriétés et ce pour éviter toute détérioration pouvant avoir un impact négatif sur les équipements utilisés.

Pour préserver la qualité de l'huile, il est important de l'analyser régulièrement, éviter les températures excessives, utiliser des joints compatibles avec le fluide de service et respecter la filtration imposée par le fabricant. D'autre part, l'étude de l'influence de la viscosité sur l'huile est primordiale. Il est recommandé d'évaluer la viscosité à différentes températures et tracer par la suite une courbe pour pouvoir visualiser la dégradation de l'huile.

---

# **CHAPITRE III : POLLUTION DES FLUIDES**

## **HYDRAULIQUES**

---

## **CHAPITRE III : Pollution des fluides hydrauliques**

### **III.1. Introduction**

Le choix d'un fluide et des composants sensibles de la machine, même effectué avec soin, ne protège pas des méfaits du vieillissement, de l'environnement et des conditions climatiques. Quelques solutions simples peuvent pourtant limiter ces inconvénients et augmenter considérablement les durées de vie.

La pollution est l'ennemi n°1 des circuits. Plusieurs types de pollutions s'insinuent en effet dans le circuit. Pollution intrinsèque du fluide, pollution due à l'environnement de la machine (poussières extérieures, bactéries), pollution interne (propreté des composants, particules métalliques d'usure, pollution accidentelle, particules oxydées (rouille), débris de peinture...) : rien n'est épargné au circuit hydraulique.

### **III.2. Type de pollution**

#### **III.2.1. La pollution chimique**

La pollution chimique est particulièrement fréquente et connaît des origines très diverses. La dissolution de l'air dans l'huile, notamment au niveau du réservoir, génère des phénomènes de cavitation dans le circuit.

Une élévation de température entraîne une oxydation accélérée de l'huile. Le contact eau/huile, souvent dû à la condensation lors d'un arrêt machine qui implique un refroidissement des circuits, augmente l'acidité de l'huile et provoque la corrosion des matériaux. Les réactions de certains produits de traitement pénétrant par les reniflards dans le réservoir, altèrent l'huile qui se dégrade et perd ses agents protecteurs de composants.

La mesure du vieillissement du fluide est notamment liée au degré d'acidité (TAN : Total Acid Number). Cette valeur augmente tout au long du vieillissement. Il y a une limite définie au-delà de laquelle la vidange est obligatoire. L'acidité joue sur la viscosité car elle transforme les additifs et le fluide de base et rend l'ensemble agressif. Le monitoring est apparu, qui surveille le fluide (degré de pollution, acidité, viscosité...). Ainsi, les vidanges ne sont plus préventives mais réalisées au bon moment.

#### **III.2.2. La pollution chimique**

Est aussi envisageable, l'eau industrielle ou l'eau/glycol, souvent utilisée sur les circuits de refroidissement ouverts, est en contact extérieur avec l'air où elle récupère polluants et bactérie les (surtout l'été, avec la chaleur). Le fluide devient agressif vis à vis de l'acier et des joints à cause de l'action des bactéries. Actuellement, il y a une mutation technologique : l'utilisation des circuits fermés qui évitent la formation des bactéries. D'autant que les

produits de traitement des bactéries, à concentration plus ou moins maîtrisée, posent aussi des problèmes. La pollution solide, d'origine fonctionnelle ou extérieure, est également très fréquente. La peinture utilisée sur les reniflards et les raccords génère notamment des micro particules de plomb dans le circuit.

### **III.2.3. La pollution physique**

L'atmosphère du site d'implantation de la machine est également une source de situations délicates. En plasturgie, de la silice est fréquemment retrouvée dans l'huile car le silicone est un additif anti-moussant très utilisé. Elle crée une abrasion au niveau des composants mobiles. En compactage de déchets, il y a des contraintes inattendues dues aux natures très diverses des produits traités. En métallurgie, l'ambiance est chargée de particules de métal. Il existe également une pollution dans les entreprises de travail du bois à grande échelle. Les réservoirs hydrauliques à titre d'exemple se retrouvent souvent inaccessibles sous des tas de copeaux, voire de sciure.

Des ouvertures du circuit (au niveau des vérins, du réservoir) ou une révision du design permettent de réduire considérablement les inconvénients atmosphériques. Un autre problème récurrent, intrinsèque celui-là, se présente avec les fluides résultant du recyclage des huiles de vidange. Elles contiennent encore du calcium, qui vient des huiles moteur. Lorsque l'eau entre en jeu, il y a formation de cristaux de calcium qui bouchent les filtres de moins de 10 microns de finesse. Cela aboutit à une mauvaise lubrification, ce qui casse les servovalves, crée des cavitations de pompes, et dégrade l'ensemble du circuit. L'ensemble de ces phénomènes entraînent des dépôts importants et accélèrent la colmatations des filtres et l'usure des composants.

Mais l'utilisation d'un fluide approprié et de haute qualité permettra de minimiser leurs effets et de résister aux conditions sévères d'utilisation. C'est applicable aussi pour les autres composants.

### III.3. Classification des types de polluants des fluides hydrauliques

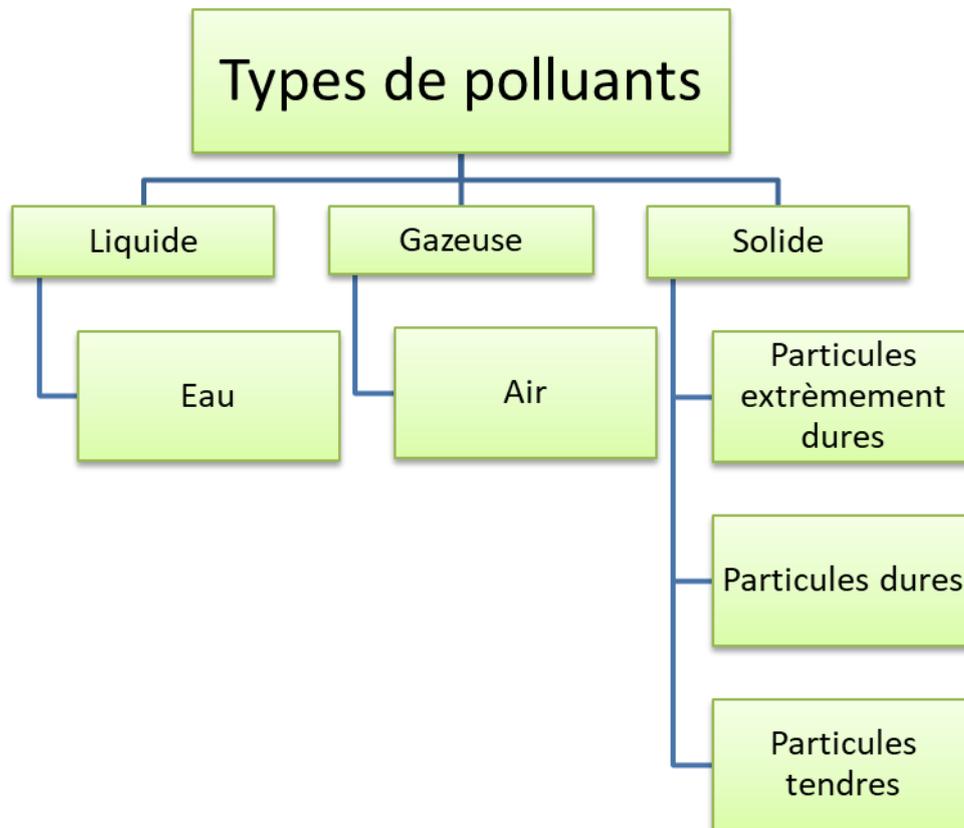


Figure III.1 : Schéma des différents types de polluants

#### III.3.1. Polluants liquides

➔ **Conséquences de la pollution liquide :**

- Détérioration de fluide ;
- Formation d'émulsion ;
- Corrosion ;
- Mauvaise désaération ;
- Blocage des composants suite à la formation de gel ;
- Diminution de l'épaisseur du film lubrifiant.

➔ **Seuil de saturation :**

Afin de réduire les effets corrosifs de l'eau (non dissoute) la concentration d'eau dans l'huile doit rester aux seuils de saturation recommandés :

- **Huile Hydraulique** : 400 ppm (parties par million) soit 0.04% à 55°C.
- **Huile de lubrification** : 700 ppm soit 0.07% à 60°C.

Il existe des appareils permettant de la mesurer la saturation en eau de l'huile.

### ➔ **Humidité relative à l'huile :**

La saturation est également exprimée en pourcentage d'humidité relative (HR) , cela représente la proportion d'eau dissoute par rapport à la saturation , ce pourcentage doit être inférieur à 85%.

### **III.3.2. Polluants gazeux**

La contamination gazeuse ou l'aération signifie la présence des bulles d'air dans un fluide, elle peut se manifester sous différentes formes : grosses bulles, mousse à différents niveaux de suspension...etc. Les petites bulles provoquent une usure extrêmement rapide de certains composants du système hydraulique tels que : le ring et les vannes. Ce type de contamination peut avoir différentes origines :

- Milieu ambiant humide ;
- Condensation ;
- Appoint d'huile ;
- Fuite dans le système de refroidissement ;
- Tiges de vérins humides.

La contamination gazeuse peut avoir des origines différentes :

- Respiration du réservoir ;
- Ingestion par les joints de vérin ;
- Accumulateurs défectueux.

### ➔ **Causes possibles et remèdes :**

#### ➤ **Fuites au niveau des joints toriques :**

Les joints toriques sont utilisés pour sceller les entrées / sorties dans beaucoup de valves de contrôles. Ces joints peuvent être contrôlés en appliquant de la graisse autour de la partie à vérifier. Si le bruit cesse, le problème a été localisé et peut être réparé.

Sur les systèmes qui sont opérés à des températures excessives, les joints toriques peuvent durcir, permettant à l'air de pénétrer dans le système. Ceci se produit au niveau des pompes ainsi qu'au niveau des autres composants du système hydraulique. Un autre facteur accentuant l'admission de l'air dans le système est la composition du fluide hydraulique. Les fluides qui contiennent beaucoup de sulfure ont tendance à accélérer le durcissement des joints toriques.

### ➤ Fuites au niveau du joint d'étanchéité de l'arbre de la pompe :

La plupart des pompes à vannes sont drainées intérieurement. La cavité du joint d'étanchéité de l'arbre est connectée à l'admission de la pompe. Des vides excessifs à l'admission, peuvent causer la pénétration de l'air par le joint d'étanchéité de l'arbre. Un mauvais alignement de l'arbre peut augmenter l'admission de l'air au-delà du joint d'étanchéité de l'arbre. Les accouplements à joints universels ou à rainures peuvent causer l'admission d'air par le joint d'étanchéité lorsqu'ils ne sont pas parfaitement alignés. Les accouplements directs ne devraient jamais être utilisés.

L'utilisation d'outils inappropriés peut mutiler les joints d'étanchéité au moment de l'installation. Le diamètre extérieur de l'arbre devrait être légèrement poli avant l'installation, pour enlever les bavures et la rugosité à l'endroit où sera installé le joint d'étanchéité.

### ➤ Turbulence dans le réservoir

Lorsqu'elles ne sont pas convenablement localisées, les lignes de retour peuvent causer de la turbulence et de l'aération dans le réservoir. Une fenêtre en plexiglas devrait être placée sur le réservoir pour étudier les conditions du débit. Des lignes de retour qui déchargent au-dessus du niveau du fluide favorisant la formation de bulles dans le système. Les lignes devraient toujours être terminées au-dessous du niveau du fluide. Le réservoir doit être assez profond pour prévenir l'aération.

### ➤ Fluide tourbillonnant dans le réservoir

Si le niveau du fluide dans le réservoir est bas et la demande à l'admission est grande, une turbulence peut se développer, ce qui a pour effet d'admettre de l'air dans l'admission de la pompe. Dans un système hydraulique, la turbulence est normalement le résultat d'un niveau de fluide trop bas ou une conception inadéquate du réservoir.

### ➤ Libération de l'air en suspension dans le fluide insuffisante

Il y a une quantité considérable d'air en suspension dans le fluide hydraulique froid. L'augmentation de la température provoque la libération de l'air dans le système. De même, une réduction de la pression du fluide libérera l'air en suspension.

Une simple soupape soulevant peut créer un orifice qui augmentera la vitesse et diminuera sa pression. Avec la pression ainsi réduite, l'air se libérera dans le système. Le retour de ce type de valve devrait être en dessous du niveau du fluide du réservoir et aussi le plus loin possible de la sortie.

### ➔ Effets de la pollution gazeuse :

- Cavitation des pompes ;
- Moussage ;
- Oxydation accélérée de l'huile ;
- Allongement des temps de repose de l'huile.

### III.3.3. Polluants solides

Les origines de la contamination solide peuvent être très diverses :

Pollution originelle : Circuit non ou mal rincé après réalisation (sablage, soudures, limailles ...), stockage du matériel ( flexibles et tuyaux sans bouchons, composants sans plaque de protection), huile polluée ( une huile neuve a souvent un niveau de pollution incompatible avec la plupart des installations hydrauliques).

Pollution générée par l'équipement : usure normale ou anormale du matériel ...

Pollution externe : Tiges de vérin, reniflard, appoint d'huile sans passer par un groupe de filtration, poussières.

### ➔ Caractérisation de la pollution par particules solides

#### ➤ Principe

Il existe plusieurs systèmes de classification pour ce type de pollution. Dans tous les cas on **compte les particules d'une taille définie dans 100 millilitres** de fluide. On ne définira dans ce paragraphe que la classification selon la norme européenne **ISO 4406**.

#### ➤ Classification suivant la norme ISO 4406

Le taux de pollution est défini par 3 chiffres indiquant indirectement le nombre de particules solides de taille supérieure à :

- 4 micromètres pour le premier chiffre,
- 6 micromètres pour le deuxième chiffre,
- 14 micromètres pour le troisième chiffre,

On décompose généralement la pollution solide en trois catégories :

#### a) Pollution à particules extrêmement dures (pollution grossière) :

Correspond aux particules de diamètres supérieurs à 15 microns. Ce type de pollution a des conséquences instantanées sur le circuit hydraulique, elle provoque le grippage et un arrêt de la machine.

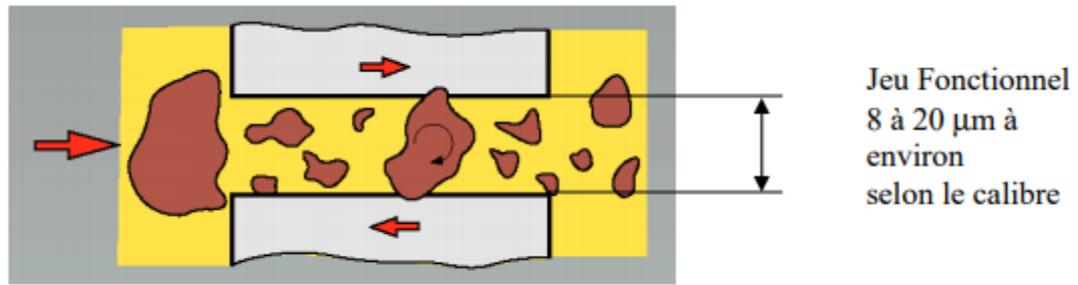


Figure III.2 : Pollution grossière

**b) Pollution à particules dures :**

Elle correspond à des particules allant de 5 à 15 micromètres. L'expérience montre que ce type de pollution représente plus de 70% de la pollution rencontrée dans un fluide hydraulique.

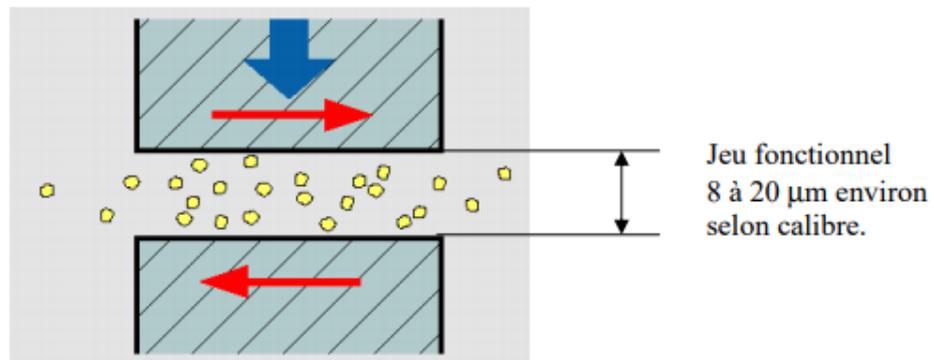


Figure III.3 : Pollution à particules dures

Les conséquences de ce type de pollution sont :

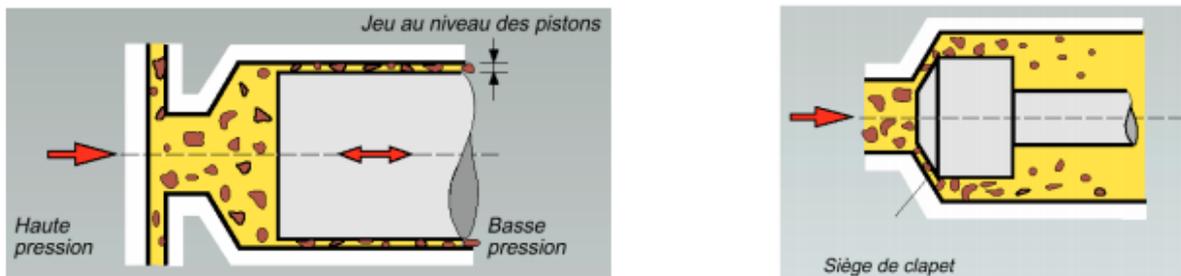
- Usure par abrasion ;
- Augmentation des jeux ;
- Fuites internes ;
- Chute du rendement volumétriques ;
- Blocage des valves ;
- Ralentissement du mouvement ;
- Augmentation de la température ;
- Diminution de la viscosité ;

- Grippage.

Les effets de la pollution à particules dures s'étalent sur un temps plus ou moins long qui peut aller de quelques minutes à plusieurs centaines d'heures. Dans certains cas, l'incident peut être très rapide à cause du phénomène d'avalanche, la pollution produit de la pollution et ainsi de suite. Ce type de pollution nécessite la mise en œuvre de filtres fins, aux endroits judicieux du circuit.

**c) La pollution à particules tendres (fines) :**

La pollution ultra fine correspond aux particules de 0 à 5 micromètres Cette pollution est appelée également « boues microniques » comprend les petites particules métalliques, mais aussi les gels de fluide (paraffine, vernis et autres additifs issus du raffinage pétrolier). Elle concerne également les sels et oxydes métalliques.



**Figure III.4 : Pollution à particules fines**

En plus de l'effet de pâte à roder comme pour le cas de la pollution à particules dures, les particules microniques vont avoir des effets néfastes sur les systèmes à jeux fonctionnels très faibles, rencontrés par exemple dans les servovalves. Les conséquences sont les suivantes :

- Obturation des gicleurs de petit diamètre ;
- Colmatage des tiroirs à arêtes vives et recouvrement nul ;
- Blocage des tiroirs à faible jeu à commande électrique ;
- Usure prématurée des paliers avec roulements ;
- Pour finir, on doit savoir que la pollution ultra fine provoque l'oxydation du fluide hydraulique.

La contamination affecte tous les types d'équipements hydrauliques. Les pièces de précision à haute tolérance sont susceptibles aux effets de la contamination. Un fluide contaminé provoque l'usure des matériaux, qui accélère par la suite les fuites et le développement du chauffage dans le système. La chaleur réduit le pouvoir lubrifiant d'un fluide hydraulique.

Le dysfonctionnement d'une pompe hydraulique ou d'un moteur cause la contamination de tout le système hydraulique ; Le réservoir doit toujours être bien drainé et nettoyé, une inspection des boyaux, conduites, cylindres et valves devrait être effectuée dans le cas de

présence de particules provenant de l'unité défectueuse. Il est cependant important de vérifier régulièrement l'état des éléments de filtration et les remplacer en cas d'usure.

➤ **Les origines de la pollution solide**

Si nous devons considérer la pollution originelle et extérieure comme faute technique, imputable à la conception et à la réalisation de l'équipement « Le monteur hydraulicien doit travailler dans les règles de l'art ». Il n'en va pas de même pour la pollution fonctionnelle générée en permanence par les organes en mouvements à l'intérieur du circuit. Le processus générateur de pollution solide peut avoir plusieurs causes décomposées comme suit :

➔ **La pollution à la mise en service :**

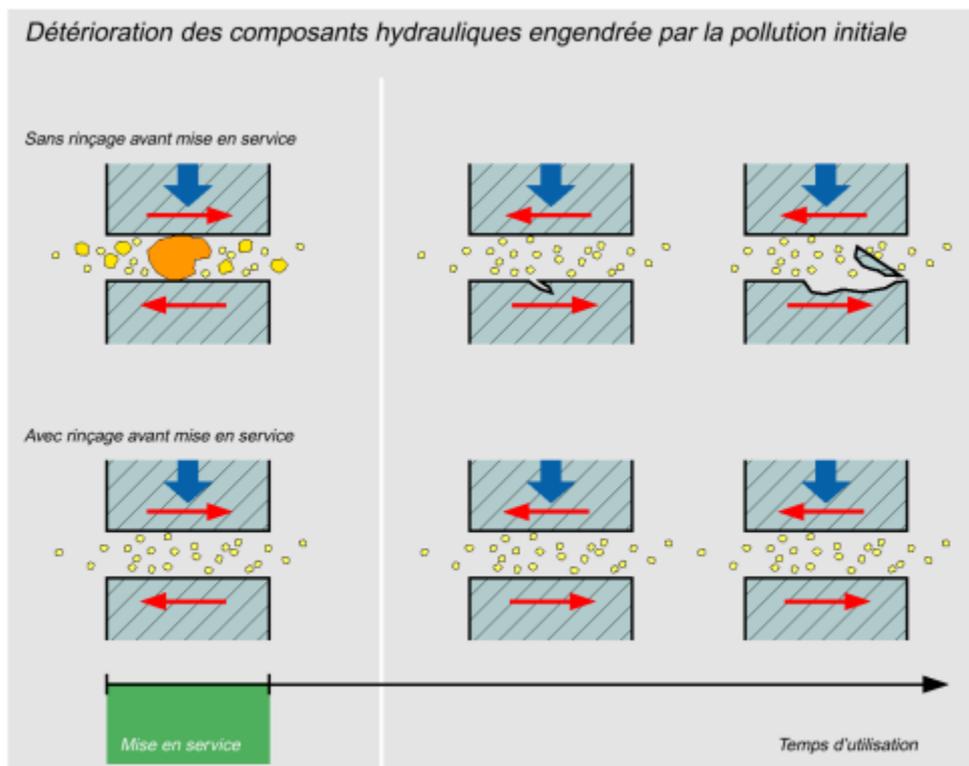


Figure III.5 : Pollution à la mise en service

- Origine mécanique :
  - L'abrasion ;
  - L'érosion ;
  - La fatigue mécanique ;
  - L'adhérence.
  
- Origine chimique :
  - La cavitation ;
  - La corrosion ;
  - Les sels et oxydes métalliques.

- L'abrasion :

Elle est provoquée par les particules fines et microniques de dimensions sensiblement égales au jeu fonctionnel pénétrant entre deux surfaces en mouvement. Elle provoque des arrachements de métal avec rayures, augmentation du jeu et du taux de fatigue des pièces mécaniques chargées.

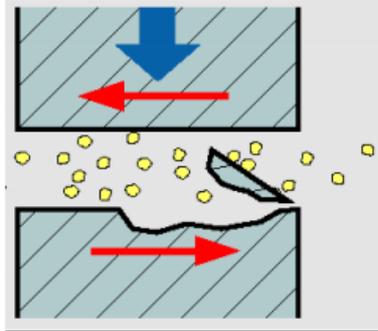


Figure III.6 : Abrasion

- L'érosion :

Elle est provoquée par l'effet de jet d'une particule liquide ou solide s'écoulant à grande vitesse et venant frapper la surface métallique. L'énergie cinétique de la particule est supérieure aux forces de cohésion de la surface métallique et génère des arrachements de métal. L'érosion est surtout sensible en hydrauliques aux endroits où prennent naissance des forces hydrodynamiques élevées en particulier aux faibles ouvertures de tiroirs de servovalves et distributeurs à effets proportionnels. Le défaut est également constaté sur les arêtes de tiroirs de réduction de pression, et cônes de clapets à fortes  $\Delta P$ . (limiteurs de pression).

- La fatigue mécanique :

Elle est provoquée par des surcharges mécaniques agissant à la surface métallique et provoquant des déformations élastiques et plastiques en sous couche non traitée. Des fissures apparaissent et des fragments métalliques se détachent générant de la pollution solide. Les particules de fatigue se présentent souvent au microscope sous la forme de sphère. Naturellement les phénomènes de fatigue se rencontrent essentiellement sur les paliers de pompes et moteurs hydrauliques.

- L'adhérence :

Elle est provoquée par la rupture du film d'huile entre deux pièces chargées animées d'un mouvement relatif. Des microsoudures prennent naissance au point de contact avec pour conséquence le grippage.

### ▪ La cavitation :

La destruction de pompes ou de moteurs hydrauliques par la cavitation, a pour origine le dégazage des essences et aromates présents dans les fluides hydrauliques. A l'implosion de ces bulles, des jets de 0,1 à 0,2 mm de longueur prennent naissance et attaquent les surfaces métalliques à la vitesse de 1.000m/sec, avec des pressions de 10.000 à 100.000 bars. Des particules se détachent et polluent le circuit.

### ▪ La corrosion :

La corrosion est un phénomène d'origine chimique. Elle est provoquée par une réaction entre des corps chimiques contenus dans le fluide qui attaque les surfaces métalliques. Les éléments couramment rencontrés à l'origine de la corrosion dans les systèmes hydrauliques sont : L'eau, l'air, les solvants chlorés, L'hydrogène. Une autre source de pollution est l'huile neuve, celle-ci est livrée avec une classe de pollution plus élevée que celle du circuit hydraulique, le remplissage du réservoir doit donc être effectué impérativement par l'intermédiaire d'un filtre (utilisation d'un groupe de remplissage).

- Design inadéquat :
- Réservoirs inaccessibles ;
- Bouchon, d'évent avec filtration inadéquate, qui laisse passer les contaminants contenus dans l'air ;
- Design des joints d'étanchéité de cylindre inadéquat ;
- Matériau de la tige avec caractéristiques d'usure faible ;
- Filtration inadéquate.
- Système mal entretenu :
- Contamination lors de remplissage d'huile ;
- Event de réservoir défectueux ou inadéquat ;
- Tige de cylindre endommagée ;
- Changement des éléments de filtre non respecté ;

Une autre source de contamination est possible, les conduites et les raccords reçus des fournisseurs sans bouchons pour obstruer les ouvertures, ce qui laisse accès à toutes sortes de particules.

### ➔ **Les effets de la pollution solide sur les différents composants du système hydraulique :**

#### **1) Les pompes :**

Les impuretés dans le bloc de distribution causent le grippage des palettes, donc comportement anormal.

- Elles causent donc l'usure de ces palettes sur le rotor.

- Elles amènent l'usure de la portée de l'arbre et du roulement.
- Elles augmentent l'usure des engrenages, ce qui diminue le rendement.
- Elles causent également l'usure des pistons et des alésages.
- Dans les pompes à débit à cylindrée variable, elles créent un freinage, une réponse lente et un débit incontrôlable, ce qui altère le fonctionnement de l'ensemble, crée une température excessive avec une mauvaise utilisation de la puissance.

### **2) Limiteurs de pression :**

Les impuretés créent des vibrations. L'accumulation des impuretés altère le fonctionnement et la pression devient irrégulière. De plus, elles amènent l'usure du siège du limiteur.

### **3) Distributeurs :**

Les impuretés obturent les orifices, causent l'usure du tiroir et du corps créant une fuite trop importante.

### **4) Clapets anti-retours :**

Les impuretés dans les valves permettent au fluide de by-passer le clapet. Elles causent l'usure des sièges et créent des fuites.

### **5) Vérins :**

Les impuretés sont la cause de l'usure des tiges de piston, des joints de l'alésage du tube et des pistons. Elles sont la cause du mauvais fonctionnement des amortisseurs.

### **6) Moteurs hydrauliques :**

Les impuretés opèrent comme catalyseurs, cassant les structures moléculaires, amènent des résidus de caoutchouc et conduisant au gommage. Dans l'hypothèse de vitesse de rotations lentes, la boîte à joints peut être lubrifiée à la graisse propre. On doit signaler que la pénétration de la pollution extérieure est favorisée dans deux cas de montage :

- Moteur hydraulique avec temps prolongés à l'arrêt, drain décomprimé au-dessus du niveau d'huile
- Pompe hydraulique montée en dépression avec drain interne.

### **7) Tiges de vérin :**

La pollution extérieure passe aisément par les tiges de pistons. Cette aptitude pourra être favorisée si la conception du guidage de tige engendre le phénomène de « pression de remorque » bien connu des spécialistes. Dans ces conditions, une dépression peut prendre naissance derrière le dos du joint et, favorise la pénétration des particules à l'intérieur du cylindre.

---

## **CHAPITRE IV : RESULTATS DES ANALYSES**

---

## CHAPITRE IV : Résultats des analyses

### IV.1. Introduction

Quand on procède à l'analyse d'un échantillon d'huile industrielle, différentes caractéristiques peuvent être mises en exergue. Dans notre cas, les caractéristiques soumises à l'examen sont celles qui nous permettent de déterminer la cause principale de l'arrêt de la machine.

Les caractéristiques analysées sont la teneur en eau, la stabilité de la mousse et le pourcentage des antioxydants présents dans l'huile. La couleur et l'aspect de l'huile peuvent également fournir des informations utiles, une couleur sombre à titre d'exemple indique généralement que le processus de la dégradation de l'huile a déjà été entamé.

### IV.2. Analyses effectuées sur les échantillons de l'huile hydraulique :

#### IV.2.1. Karl Fischer :

La méthode de Karl Fischer est une méthode chimique de mesure de la teneur en eau d'un échantillon par titrage. Elle fut inventée en 1935 par le chimiste allemand Karl Fischer.

Elle est particulièrement adaptée au dosage de l'eau que contient un liquide ou à la détection de traces d'eau, de l'ordre de ppm, dans un échantillon.

La procédure est basée sur l'oxydation du dioxyde de soufre par le diode, à l'origine observée par Robert Bunsen. Outre les méthodes chimiques, des méthodes thermogravimétriques (dessiccation par étuvage, infrarouge, halogène, hyperfréquence) et électriques sont également répandues pour la détermination du taux d'humidité.

#### ➤ Le principe du titrage Fischer

La méthode scientifique Karl Fischer sert à déterminer la teneur en eau d'un échantillon. Très précise et facile à mettre en œuvre, cette technique permet de trouver les plus infimes traces d'eau contenu dans un échantillon donné. Cette mesure extrêmement précise est capable de détecter des traces pouvant aller ppm (partie par million).

- Méthode volumétrique : Dans une cellule de titrage, on dissout l'échantillon dans du méthanol. Avec une micro burette, on ajoute une solution titrante, la pyridine pouvant servir de base. Le volume d'iode convertie est déterminé grâce aux graduations de la burette contenant la solution.

- Méthode oculométrique : Dans une cellule de titrage dotée de trois électrodes, on dissout l'échantillon dans une solution (méthanol base), l'imidazole pouvant être utilisé comme base. Sous tension, l'anode génère du diiode tandis qu'à la cathode l'hydrogène est transformé en dihydrogène. La troisième électrode permet de déterminer le point de titrage par ampèremètre. C'est la quantité d'électricité nécessaire pour transformer l'eau en composé non conducteur qui va permettre de déterminer la teneur en eau.

### IV.2.2. Evaluation de la stabilité de mousse :

Une mousse est une dispersion de gaz dans du liquide (contenant des tensioactifs). Elle est ainsi constituée d'un ensemble de bulles compressées les unes contre les autres, séparées par un réseau de canaux contenant le liquide.

La diffusion multiple de la lumière couplée à un balayage vertical est la technique la plus employée pour suivre l'état de dispersion d'un produit, et par là même identifier et quantifier les phénomènes d'instabilité. Elle fonctionne avec les dispersions concentrées, sans dilution. Quand la lumière est envoyée dans l'échantillon, elle est rétrodiffusée par les bulles. L'intensité rétrodiffusée est directement proportionnelle à la taille et à la fraction volumique de la phase dispersée. Ainsi, les variations locales de concentration (drainage, synérèse) et les variations globales de la taille (mûrissement, coalescence) sont détectées et suivies.

### IV.2.3. Test Ruler :

Les tests RULER comparent les niveaux d'antioxydants de l'huile neuve par rapport à ceux de l'échantillon d'huile en service, en mesurant la teneur en additifs par différence de tension. La connaissance de la réserve en antioxydant restant dans les huiles turbines peut être utile pour prédire la durée de vie restante de l'huile et estimer ainsi le risque de formation de vernis.

De nombreux concentras d'additifs antioxydants pour huiles turbines sont composés d'un mélange d'antioxydants aminés et phénoliques, de type et concentration différents suivant le mélange. Par conséquent, il est très important que le laboratoire effectuant les analyses dispose d'un échantillon de référence approprié, à partir duquel il lui sera possible de mesurer la variation des teneurs en antioxydants.

Dans de nombreuses applications à température élevée, comme les turbines à gaz, la concentration de phénol aura tendance à diminuer plus vite que la concentration d'amine. Le phénol peut se transformer en un antioxydant intermédiaire, qui peut soit stabiliser davantage l'amine ou se volatiliser. Ainsi, les deux pics de phénol et d'amine doivent être mesurés pour déterminer la quantité restante d'antioxydants.

La limite du test RULER est fixée à 25 % de l'antioxydant restant, qui est généralement l'antioxydant aminé. La connaissance de la tendance en antioxydants restants, via le test RULER,

a un intérêt limité. Cela peut même être trompeur dans le cas de réservoirs mixtes ou de mélanges d'huiles de formulations différentes.

### IV.3. Résultats obtenus :

#### IV.3.1. Teneur en eau :

Tableau VI.1 : Résultat de la teneur en eau

Huile usée	1450
Huile neuve	698

#### IV.3.2. Moussage :

Tableau VI.2 : Résultat du moussage

	FT-I	FT-II	FT-III	FS-I	FS-II	FS-III
<b>Huile usée</b>	560	50	550	280	0	140
<b>Huile neuve</b>	80	0	140	0	0	0

#### IV.3.3. RULER

Tableau VI.3 : Résultat du ruler

	Amine %	Phénol %	ZDDP %	Solvant %
<b>Huile usée</b>	N/D	139.4	N/D	Vert
<b>Huile neuve</b>	N/D	100	N/D	Vert

### IV.4. Interprétation des résultats :

- Karl Fischer : le résultat indique une présence élevée d'humidité, les huiles phosphates esters démontrent une faiblesse lorsque la présence d'eau n'est pas contrôlée et l'huile risque de se détériorée très rapidement.

- Moussage : La tendance et la stabilité au moussage sont élevées et peuvent affecter le fonctionnement des pompes et le niveau de contrôle.
- Ruler : le Ruler mesure les antioxydants présents dans l'huile en pourcentage. Puisque la valeur de phénols dépasse 100%, il est suggéré que le lubrifiant s'est épuisé de ses antioxydants. Les phosphates esters sont connus à recréer des phénols inactifs, lorsque complètement épuisés. Des tendances sont nécessaires pour bien évaluer ce paramètre.

## **Conclusion Générale**

Un choix judicieux de la qualité du fluide hydraulique utilisé dans le système est un enjeu majeur pour le bon fonctionnement de la machine, mais cela n'est pas suffisant pour maintenir les différents composants de la machine en bon état. Il est donc primordial de bien entretenir le fluide hydraulique si l'on veut augmenter sa durée de vie et celle des autres éléments du circuit hydraulique.

Nous avons pu constater à travers les résultats obtenus des différents tests effectués sur les échantillons d'huile usée et neuve que la qualité des fluides hydrauliques varie considérablement en fonction des conditions d'opération de la machine et que la moindre dégradation représente un risque capital pour le bon fonctionnement du système et risque donc d'affecter la production.

La pollution des fluides est en effet l'ennemi majeur des circuits hydrauliques, mais il existe quelques solutions simples qui permettent de prolonger la durée de vie du fluide ce qui signifie une augmentation de la durée de vie des autres composants du système. Il est important de respecter les périodes de maintenance et d'analyser régulièrement la qualité du fluide utilisé afin de pouvoir intervenir avant que la contamination se propage dans tout le système.

## Références bibliographiques

- [1] :BOULAY, Thierry. Hydraulique industrielle [en ligne]. IUT de Sénart, 1975. Disponible sur : <<http://thierryboulay.free.fr/enseignements/hydraulique/hydraulique.pdf>>.
- [2] :BOUAJILA, Sofiane. Dynamique des fluides appliqués [en ligne]. ISET Nabeul, 2006. Disponible sur : <<http://cregen.free.fr/1%20-%20Cours/Dynamique%20des%20fluides%20appliqu%E9e.pdf>>.
- [3] : JEAN-MICHEL BLEUX. Hydraulique industrielle : Connaissance de base. Edition : Nathan, 1994. 127 p. ISBN 2-09-176855-3.
- [4] :REKIK, Sami. Circuit Hydraulique : conception et maintenance [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.electromecanique.org/images/images/circuitHydraulic.pdf>>.
- [5] : GE documents, HPU-EOS.
- [6] : SERAFI, Nabil. Cours d'hydraulique industrielle [en ligne]. Disponible sur : <<https://fr.scribd.com/doc/79703861/cours-hydraulique-industrielle-1#>>
- [7] : W. Forshoffer .Forshoffer's Best Practice Handbook for rotating machinery. Elseiver , 2011.352P. ISBN 978-0-08-096676-2.
- [8] : Mechanical Engineer's Handbook. 875 p. 2004.
- [9] : OLAER. Accumulateur hydraulique : Généralité. OSP 030.
- [10] : PARKER. Accumulateur à membrane. Catalogue HY07-1248/FR.
- [11] : ETNA industrie. Accumulateur à piston. FP 014.
- [12] : [www.experts-insitu.com](http://www.experts-insitu.com)
- [13] : José Roldan Viloría. Aide-Mémoire Hydraulique industrielle. France : DUNOD, 2014. 310 p. Aide-Mémoire Ingénieur. ISBN 2100714341.
- [14] : PRESTA, Elio. Accumulateur : fiches pratiques. 10 pages. 2009.