

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVENIVERSITE DE 20 AOUT 1955-SKIKDA
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



Mémoire
En vue de l'obtention du grade
Master
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie chimique

**Contribution a valorisation des huiles usagées
dans les revêtements de protection contre la
corrosion**

Réalisée par :

-Djihane Boudoucha

-Chourouk Ayachi

Soutenu le 20/06/2026, devant le jury suivant :

N	Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
1	Boussaha EL Hadi	Professeur	Université de 20 Aout 1995-Skikda	Encadrant
2	Addala Abd EL Hamid	Maitre de conférence A	Université de 20 Aout 1995-Skikda	Président
3	Boultif Walid	Maitre de conférence B	Université de 20 Aout 1995-Skikda	Examineur
4	Boudaoud Naila	Maitre de conférence B	Université de 20 Aout 1995-Skikda	Examineur
5	Chenouf Meriem	Maitre de conférence B	Université de 20 Aout 1995-Skikda	Examineur

Année universitaire : 2025/2026



Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nos sincères remerciements s'adressent en premier lieu à notre encadreur, Monsieur Boussaha El Hadi pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien tout au long de ce travail.

Nous remercions également les membres du jury pour l'intérêt qu'ils portent à notre mémoire et pour le temps consacré à son évaluation. Nous adressons aussi nos remerciements à l'ensemble des enseignants et du personnel de notre établissement pour la qualité de leur enseignement et leur contribution à notre formation.

Nous exprimons notre reconnaissance à nos familles respectives pour leur soutien moral, leur patience et leurs encouragements permanents tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous remercions nos amis, collègues et toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin, à mener à bien ce travail.

À toutes ces personnes, nous adressons nos plus sincères remerciements.



Dédicace

**Qui m'a accordé la force, la patience et la sagesse nécessaire pour
accomplir ce travail
Louange à dieu pour ces bienfaits innombrables et son soutien tout au
long de ce parcours
A mes chers parents, qui ont été mes piliers mon inspiration et ma
motivation
à ma mère pour sa lumière son amour inconditionnel et sa patience
infinie
A mon père pour son soutien inébranlable
Que dieu les protège
À ma Sœur Abir et mon frère Fadi qui ont été mes complices, mes
confidents et mes meilleurs supporteurs votre présence a été un
réconfort constant
A mes amies Anfel, Imene, Djihane qui ont partagé mes joies mes peines
et mes succès votre amitié est un trésor que je chérirai jamais
A mon binôme Djihane avec qui j'ai partagé ce voyage académique
merci pour notre collaboration fructueuse et notre soutien mutuel
Enfin, à ceux qui ont cru en moi quand je doutais,
Merci du fond du cœur**

Chourouk



Dédicace

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Je commence par invoquer le nom d'Allah, Celui par la grâce de qui s'accomplissent toutes les bonnes œuvres. Je Le remercie pour Sa guidance et Son infinie miséricorde qui m'ont accompagnée dans mes moments de faiblesse avant ma force, dans mes peines avant mes joies. Louange à Allah, aujourd'hui et pour toujours.

À ma très chère mère, dont les prières ont illuminé mon chemin et dont l'amour inconditionnel a toujours été mon plus grand soutien, je dédie le fruit de tous mes efforts avec une profonde gratitude et un amour éternel.

À mon très cher père, qui m'a appris la persévérance, le courage et la valeur du travail, je présente toute ma reconnaissance et mon profond respect. Que Dieu te protège et te récompense pour tous les sacrifices consentis.

À ma chère petite sœur Dhikra, dont le sourire apporte de la lumière à ma vie, je dédie ce travail avec toute mon affection.

À mes chers frères Zakaria et Abdellah, merci pour votre soutien, votre présence et vos encouragements constants. Que Dieu vous accorde réussite et bonheur.

À toute la famille Boudoucha ainsi qu'à toute la famille Boudebza, je témoigne ma sincère reconnaissance pour leur affection et leur soutien.

À ma collègue et partenaire de mémoire, Chourouk, je remercie pour son esprit de collaboration, sa patience et tous les efforts partagés tout au long de ce travail. Je lui souhaite un avenir plein de succès.

Enfin, je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont cru en moi et m'ont encouragée à poursuivre mon chemin vers le savoir. J'espère que ce travail constituera une modeste contribution utile et bénéfique.

Djihane

الملخص

يمثل تآكل المعادن مشكلةً رئيسية في العديد من القطاعات الصناعية، لما يسببه من خسائر اقتصادية كبيرة وتدهور في عمر المعدات والمنشآت. وفي إطار تحقيق التنمية المستدامة، تهدف هذه الدراسة إلى تثمين زيوت التشحيم المستعملة من خلال عملية تجديدها وإعادة استخدامها في تحضير ورنيش مضاد للتآكل. بعد معالجة الزيوت المستعملة وتجديدها، تم دمجها في تركيبة الورنيش، ثم استُخدمت كطلاء واقٍ على عينات معدنية. وقد تم تقييم الأداء المضاد للتآكل لهذه الطلاءات باستعمال الطريقة الوزنية، وذلك في أوساط عدوانية تتمثل في محاليل حمض الكبريتيك (H_2SO_4) وكلوريد الصوديوم (NaCl)، عند تراكيز مختلفة وتحت ظروف حرارية متنوعة.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن إضافة الزيوت المجددة إلى الورنيش ساهمت في تحسين مقاومة العينات المعدنية للتآكل مقارنةً بالورنيش وحده، ويُعزى ذلك إلى تكوين طبقة واقية أكثر فعالية تحد من نفاذ العوامل المسببة للتآكل إلى سطح المعدن. وتبرز هذه الدراسة الإمكانيات الواعدة للزيوت المجددة كمادة مضافة في الطلاءات المضادة للتآكل، مما يوفر حلاً مبتكراً وصديقاً للبيئة واقتصادياً للمساهمة في حماية المواد المعدنية وإعادة تثمين النفايات الزيتية.

الكلمات المفتاحية: زيوت التشحيم المستعملة، تجديد الزيوت، الورنيش المضاد للتآكل، التآكل، الطريقة الوزنية، تثمين النفايات الزيتية.

Résumé

Résumé

La corrosion des métaux représente un problème majeur dans de nombreux secteurs industriels en raison des pertes économiques et des dégradations qu'elle engendre. Dans une perspective de développement durable, cette étude s'intéresse à la valorisation des huiles lubrifiantes usagées par un procédé de régénération afin de les intégrer dans la formulation d'un vernis anticorrosion.

Après leur traitement, les huiles régénérées ont été incorporées dans un vernis, puis appliquées comme revêtement protecteur sur des échantillons métalliques. Les performances anticorrosion des revêtements obtenus ont été évaluées par la méthode gravimétrique dans des milieux agressifs, notamment des solutions d'acide sulfurique (H_2SO_4) et de chlorure de sodium ($NaCl$), à différentes concentrations et sous différentes conditions de température.

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation des huiles régénérées améliore la résistance à la corrosion des échantillons métalliques par rapport au vernis seul. Cette amélioration est attribuée à la formation d'une couche protectrice plus efficace, limitant la pénétration des agents corrosifs. L'étude met ainsi en évidence le potentiel des huiles lubrifiantes régénérées comme additif dans les revêtements anticorrosion, offrant une solution à la fois économique, écologique et innovante pour la protection des matériaux métalliques.

Mots-clés : Huiles lubrifiantes usagées, Régénération des huiles, Vernis anticorrosion Corrosion, Méthode gravimétrique, Valorisation des déchets huileux.

Résumé

Abstract

Metal corrosion represents a major challenge in many industrial sectors due to the economic losses and material degradation it causes. From a sustainable development perspective, this study focuses on the valorization of used lubricating oils through a regeneration process in order to incorporate them into the formulation of an anticorrosive varnish.

After treatment, the regenerated oils were incorporated into a varnish and then applied as a protective coating on metallic samples. The anticorrosion performance of the obtained coatings was evaluated using the gravimetric method in aggressive media, particularly sulfuric acid (H_2SO_4) and sodium chloride (NaCl) solutions, at different concentrations and under various temperature conditions.

The results showed that the incorporation of regenerated oils improved the corrosion resistance of the metallic samples compared with the varnish alone. This improvement is attributed to the formation of a more effective protective layer, which limits the penetration of corrosive agents. The study therefore highlights the potential of regenerated lubricating oils as an additive in anticorrosive coatings, offering an economical, environmentally friendly, and innovative solution for the protection of metallic materials.

Keywords: Corrosion, Regenerated Lubricating Oils, Anticorrosive Varnish, Protective Coating, Gravimetric Method, Sulfuric Acid, Sodium Chloride, And Sustainable Development.

Table de matière

Titres	Page
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les huiles lubrifiantes	
I.1. Huiles de lubrification	3
I.1.1.Définition des huiles de lubrification	3
I.1.2.Origine des lubrifiants	3
I.1.3.Procédés de raffinage des huiles lubrifiantes	3
I.2.Composition des huiles de lubrification	4
I.2.1.Huile minérales	4
I.2.2. huiles synthétiques	5
I.2.3.Huiles semi-synthétiques	6
I.2.4.Additifs et rôle des additifs	7
I.2.4.1.Les antioxydants	7
I.2.4.2.Les détergents	7
I.2.4.4.Les anti-mousses	7
I.2.4.5.Améliorants de l'indice de viscosité	7
I.2.4.5.améliorants le Point d'écoulement	8
I.2.4.6.Les modificateurs de frottement	8
I.2.4.7.additifs extrêmes de pression	8
I.3.Propriétés physico-chimiques des huiles de lubrification	9
I.3.1 Viscosité	9
I.3.2 Indice de viscosité	10
I.3.3 Densité	10
I.3.4 Masse molaire	10
I.3.5 Indice de réfraction	10
I.3.6 Point d'éclair	10
I.3.7 Point d'écoulement	11
I.3.8 Indice d'acidité totale (TAN)	11
I.3.9 Indice de basicité totale (TBN)	11

Table de matière

I.3.10 Tension de vapeur	11
I.3.11 Teneur en eau	12
I.3.12 Onctuosité	12
I.3.13 Couleur	12
I.4.Fonctions des huiles de lubrification	12
I.4.1.Lubrification	13
I.4.2.Refroidissement	13
I.4.3.Nettoyage	13
I.4.4.Étanchéité	13
I.5.Dégradation des huiles de lubrification	13
I.5.1 Oxydation	13
I.5.2 Cisaillement mécanique	14
I.5.3 Contamination	14
I.5.3.1Contamination solide	15
I.5.3.2Contamination liquide (eau)	18
I.6.Huiles lubrifiantes usagées	21
I.6.1.Huiles claires	21
I.6.2.Huiles noire	22
I.7.Classification des huiles lubrifiantes	23
I.7.1 Classification selon la viscosité	23
I.7.1.1 ISO-VG	23
I.7.1.2.SAE	24
I.7.1.3 AGMA	25
I.7.2 Classification selon le niveau de performance	25
I.7.2.1 Norme ACEA	26
I.7.2.2 Norme API	26
I.9.Impact des huiles usagées sur l'environnement et la santé	26
I.10. Possibilité de récupération des huiles usagées	28
I.11. Récupération et recyclage des huiles usagées	29
I.11.1 Méthodes de récupération	29

Table de matière

I.11.2 Étapes de récupération	30
I.11.3 Procédés de recyclage	30
I.12. Conclusion	32
Chapitre II : Généralités sur les peintures et les vernis	
II.1. Introduction	34
II.2.La peinture	34
II.2.1.Définition et généralité sur la peinture	34
II.2.2.Historique et évolution des peintures	35
II.2.3.Composition des peintures	36
II.2.3.1. Liant	36
II.2.3.2.Pigment	36
II.2.3.3.Charge	37
II.2.3.4.Solvants	38
II.2.3.5.Additifs	38
II.2.4.Classification des peintures	41
II.2.4.1.les peintures synthétique	41
II.2.4.2.Les peintures naturelle	42
II.2.5.1.Pouvoir couvrant	42
II.2.5.2.Pouvoir mouillant et pouvoir adhérent	43
II.2.5.3.Pouvoir séchant	43
II.2.5.4.Souplesse	43
II.2.6.Formulation	44
II.2.7.Procédés de fabrication des peintures	44
II.2.7.1.Empattage (mouillage)	45
II.2.7.2. Broyage et dispersion	45
II.2.7.3. Finition et ajustement	45
II.2.7.4.Filtration	45
II.2.7.5. Conditionnement	46
II.2.7.6. Stockage	46
II.2.8.domaine d'application des peintures	46

Table de matière

II.2.8.1. Peinture destinée aux bâtiments	46
II.2.8.2. Peinture carrosseries	46
II.2.8.3. Les peintures marines	47
II.2.8.4. Peinture anticorrosion	47
II.3. Les vernis	47
II.3.1. Définition et généralités sur les vernis	47
II.3.2. Composition des vernis	47
II.3.4. Classification des vernis	48
II.3.4.1. Vernis à base d'eau	48
II.3.4.2. Vernis à base d'huile	49
II.3.5. Propriétés physiques et mécaniques des vernis	49
II.3.6. Procédés de fabrication des vernis	50
II.3.7. Domaine d'application des vernis	50
II.4. Domaine d'application des vernis	51
II.4.1. Application manuelle	51
II.4.2. Application par trempage	51
II.4.3. Application par pulvérisation	52
II.5. Les différentes étapes de séchage d'une peinture [25]	53
II.5.1. Peinture humide	53
II.5.2. Formation du film	53
II.5.3. Séchage	53
II.5.4. Résistance	53
II.5.5. Durcissement	53
II.5.6. Stabilité	53
II.6. Paramètres affectant le temps de séchage d'une peinture	54
II.6.1. La température	54
II.6.2. L'humidité	54
II.6.3. La ventilation	55
II.6.4. Épaisseur de la couche	55
II.6.5. L'humidité du bois	55

Table de matière

II.7. Conclusion	56
Chapitre III : Partie Expérimentale	
III.1.Introduction	58
III.2. Objectif de l'étude	58
III.3.Matériel et produits utilisés	58
III.4.Préparation des échantillons métalliques	59
III.5. Régénération des huiles usagées	60
III.5.1. Le prétraitement	60
III.5.2. Le traitement à l'acide	61
III.5.3. La fin du traitement	61
III.6.Préparation des revêtements	62
III.7.Séchage des revêtements	62
III.8.Préparation des milieux corrosifs	63
III.9. Consignes de sécurité	66
III.10.Méthode d'évaluation de la corrosion	66
III.10.1.Méthode gravimétrique	66
III.10.1.1 Principe	66
III.10.1.2.Procédés expérimental	67
III.11.Résultats expérimentaux	69
III.11.1.Partie de la régénération	69
III.11.2.Partie du revêtement	71
III.11.2.1.Revetement par vernis	71
III.11.2.2. Revêtement par vernis et huile traité	73
III.11.2.3. Revêtement par vernis et huile neuve	75
III.12.Discussion des résultats	77
III.12.1 Analyse de la variation de masse des échantillons vernis	79
III.12.2 Effet de la concentration de H_2SO_4 sur les échantillons vernis	79
III.12.3 Effet de la concentration de NaCl sur les échantillons vernis	80
III.12.4 Effet de l'huile traitée dans H_2SO_4 5 %	80
III.12.5 Effet de l'huile traitée dans NaCl	81

Table de matière

III.12.6 Effet de l'huile neuve dans NaCl	82
III.12.7. Effet de température sur les échantillons métalliques	82
III.13.Conclusion	83
Conclusion générale	84
Référence	

Liste Des Figures

Figures	Titres des figures	Page
Chapitre I		
Figure I.1	un Schéma illustrant les différentes étapes du procédé de fabrication d'une huile de base minérale issue du pétrole [6]	4
Figure I.2	Principe d'une composition d'une huile [18]	8
Figure I.3	Gradient de la viscosité en fonction de la température pour les différents types d'huiles lubrifiantes [37].	16
Figure I.4]	Impactes des huiles usagées sur l'environnement [42]	25
Figure I.5	Schéma de processus de récupération des huiles usées [48].	32
Chapitre II		
Figure II.1	Boites de peintures [4]	35
Figure II.2	liant [7]	36
Figure II.3	des pigments [8]	37
Figure II.4	carbonate de calcium [9]	38
Figure II.5	Représentation schématique d'un Agent mouillant [10]	39
Figure II.6	procédé de fabrication des peintures.	46
Chapitre III		
Figure III.1	Processus de filtration	60
Figure III.2	Centrifugeuse	61
Figure III.3	huile après la régénération	61
Figure III.4	huile avant la régénération	61
Figure III.5	Le chlorure de sodium.	63
Figure III.6	L'acide sulfurique.	64
Figure III.7	Les solutions préparées	66
Figure III.8	Les échantillons immergés dans les solutions.	67
Figure III.9	Pesée des échantillons	68
Figure III.10	Effet de la température dans une solution H ₂ SO ₄	68
Figure III.11	Effet de la température dans une solution NaCl	69

Liste Des Figures

Figure III.12	variation du volume de boues	69
Figure III.13	Effet du ratio V H ₂ SO ₄ /V huile sur la viscosité	70
Figure III.14	Effet du ratio V H ₂ SO ₄ /V huile sur l'indice de la viscosité	70
Figure III.15	Effet du ratio V H ₂ SO ₄ /V huile sur le point d'écoulement	71
Figure III.16	Effet du ratio V H ₂ SO ₄ /V huile sur le point d'éclaire	71
Figure III.17	Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis dans un milieu acide (H ₂ SO ₄).	72
Figure III.18	Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis dans un milieu salin (NaCl).	73
Figure III.19	Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu acide (H ₂ SO ₄)	74
Figure III.20	Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu salin (NaCl).	75
Figure III.21	Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu acide (H ₂ SO ₄).	76
Figure III.22	Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu salin (NaCl).	77

Liste Des Tableaux

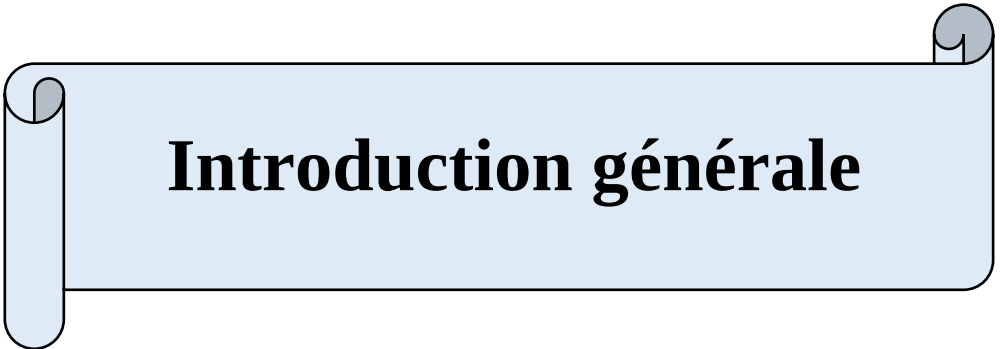
<i>N°</i>	<i>Titres des tableaux</i>	<i>Page</i>
Chapitre I		
Tableau I.1	Exemples de familles d'huiles de synthèses[10]	4
Tableau I.2	Classification des particules selon la forme selon Hunt (Hunt, 1993)[28].	6
Tableau I.3	Les contaminants solides (Total lubrifiants, 2010)[29]	16
Tableau I.4	Huiles générant des huiles usagées claires [35]	21
Tableau I.5	Huiles générant des huiles usagées noire[35].	22
Tableau I.6	Classification des huiles moteur [9]	24
Tableau I.7	Composés polluants des huiles usagées [43]	27
Chapitre III		
Tableau III.1	tableau du matériel, des appareils et des produits utilisés.	58
Tableau III.2	Résultats de la surface des échantillons métallique.	60
Tableau III.3	Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis dans un milieu corrosif acide H ₂ SO ₄	71
Tableau III.4	Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis dans un milieu corrosif salin NaCl	71
Tableau III.5	Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu corrosif acide H ₂ SO ₄	73

Liste Des Tableaux

Tableau III.6	Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu corrosif salin NaCL	74
Tableau III.7	vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu corrosif acide H ₂ SO ₄	75
Tableau III.8	vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu corrosif salin NaCL	76
Tableau III.9	Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile traitée dans les milieux corrosifs sur l'effet de température	77
Tableau III.10	Effet de la concentration de NaCl sur les échantillons vernis	80
Tableau III.11	La variation de la masse des échantillons dans les différents volumes d'huile traitée	81
Tableau III.12	Dégradation de la masse des échantillons dans les solutions NaCl 3% et 5%	82

Liste Des abréviations

Abréviation	Désignation
Iso vg	International Organization for Standardization (Viscosity Grade)
Sae	Society of Automotive Engineers.
AGMA	American Gear Manufacturers Association.
ACEA	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
API	American Petroleum Institute.
TBN	Total base number
TAN	Total acid number



Introduction générale

Introduction générale :

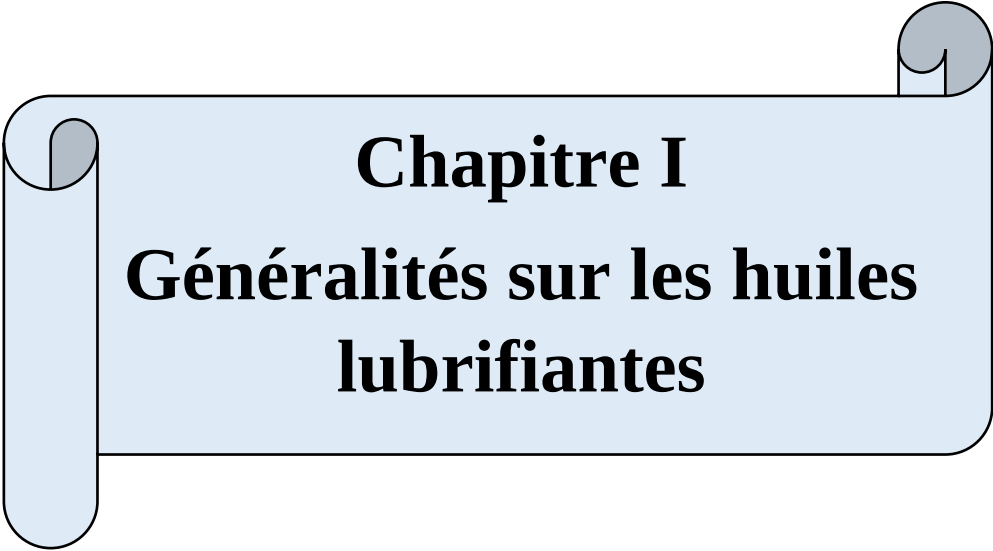
La pollution de l'environnement est l'un des plus grands problèmes auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui. Il y a plusieurs causes qui aggravent la pollution de notre environnement, et l'une d'entre elles est l'utilisation inappropriée et, surtout, l'élimination finale des huiles lubrifiantes usagées [1].

La demande mondiale d'huiles lubrifiantes est d'environ 40 000 000 de tonnes par an et d'environ 40 000 000 de tonnes par an et environ 60 % de sa production devient des déchets [2], ce qui représente un coût de 1,5 milliard d'euros en déchets [2], ce qui signifie qu'environ 24 000 000 de tonnes d'huiles usagées sont produites chaque année, ce qui en fait l'un des déchets polluants les plus abondants actuellement [3].

Le recyclage des huiles industrielles usagées demeure une activité inexploitée en Algérie, en l'absence d'unités spécialisées dans le traitement de ces déchets [2]. Selon les statistiques algérienne, environ 180.000 tonnes de lubrifiants, utilisés annuellement dans les deux secteurs des transports et de l'industrie, génèrent près de 90.000 tonnes d'huiles usagées, soit 50% du volume global des lubrifiants, selon le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement [3].

Ce travail a été réparti en trois parties. Les deux premières parties sont consacrées à l'étude bibliographique. La première partie comprend plusieurs chapitres portant sur les généralités des huiles, leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine, la législation relative aux huiles usagées, ainsi que les possibilités de leur régénération. La deuxième partie est consacrée aux peintures et vernis ainsi qu'à leurs différentes propriétés.

La troisième partie est dédiée au travail expérimental réalisé, portant sur la régénération d'une huile lubrifiante usagée et son utilisation comme additif dans un revêtement. Cette partie présente également les résultats obtenus ainsi que leurs discussions, suivies d'une conclusion générale.



Chapitre I

Généralités sur les huiles lubrifiantes

I.1. Huiles de lubrification :**I.1.1.Définition des huiles de lubrification :**

l'huile de lubrification est dérivée du mot latin «lubricus» ,qui signifie «glissant» .

sont essentiellement des produits pétroliers dérivés d'extraits pétroliers raffinés, se présentant sous forme de liquides visqueux utilisés pour assurer la lubrification des parties mobiles des moteurs et des machines. Elles sont principalement constituées d'une base huileuse, qu'il s'agisse d'une huile minérale ou d'une huile synthétique, à laquelle est ajoutée une gamme d'additifs tels que des agents anticorrosion, anti-usure et des améliorants de viscosité, incorporés à des proportions variables et contrôlées, en fonction des exigences spécifiques et fonctionnelles de chaque type d'huile [4].

I.1.2.Origine des lubrifiants :

Les premiers lubrifiants utilisés par l'homme furent, exclusivement, des huiles d'origine animale ou végétale. Actuellement, sont des huiles minérales dérivées du pétrole qui constituent la majeure partie des huiles lubrifiantes.[5]

I.1.3.Procédés de raffinage des huiles lubrifiantes :

Tous les lubrifiants, qu'ils soient d'origine minérale ou synthétique, sont dérivés du pétrole brut en tant que matière première. La production de lubrifiants industriels exige plusieurs étapes de raffinage. La phase initiale consiste à réaliser la distillation atmosphérique du pétrole brut à une température de 350°C. Elle génère un résidu atmosphérique composé de produits lourds qui seront en partie utilisés pour la récupération des huiles lubrifiantes suite à une distillation sous vide. Il est également nécessaire d'effectuer d'autres processus de raffinage afin de séparer les diverses fractions des résidus. Le processus du craquage catalytique est la première étape de traitement thermique que subit le résidu pour produire des molécules d'hydrocarbures à courtes chaînes, et donc des produits légers.

Le deuxième traitement des huiles repose sur la réalisation d'une extraction partielle des structures aromatiques par solvation.

Par la suite, ces huiles subissent une troisième opération de raffinage, consistant en un déparaffinage par solvant.

Lors de la dernière étape du traitement, un hydrotraitement est appliqué, permettant d'éliminer environ 90 % des contaminants, tels que l'azote, le soufre, les métaux et les hydrocarbures non saturés [3].

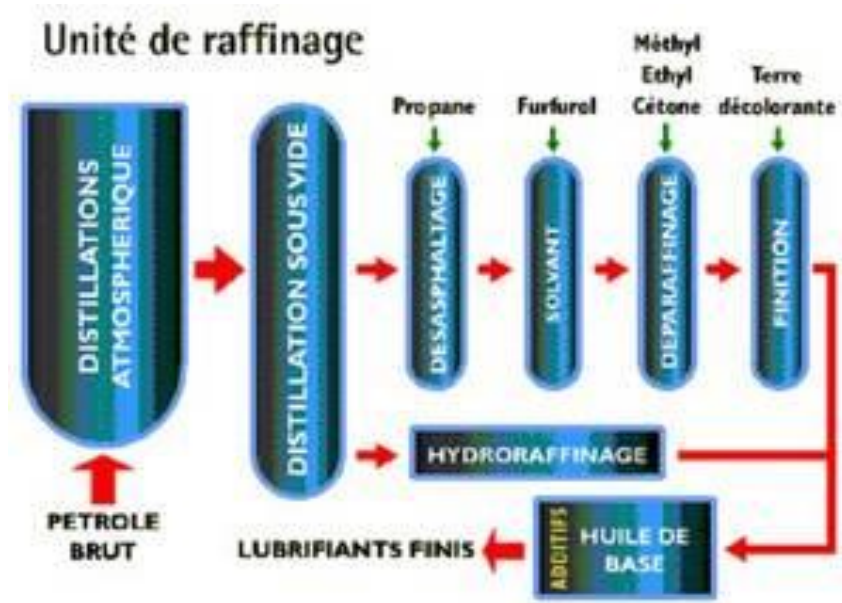


Figure I.1: un Schéma illustrant les différentes étapes du procédé de fabrication d'une huile de base minérale issue du pétrole [6].

I.2.Composition des huiles de lubrification :

Les domaines d'utilisation des huiles de base pour la lubrification sont multiples, notamment dans les secteurs industriel, aéronautique et automobile.

Elles sont constituées d'une huile de base minérale, semi-synthétique ou synthétique, associée à un ensemble d'additifs, chaque additif, conférant une propriété spécifique ce qui permet d'améliorer les performances de ces huiles.

I.2.1.Huile minérales

Les huiles minérales d'origine pétrolière sont extraites de coupes pétrolières provenant de la distillation du pétrole brut. Ces coupes, que l'on nomme des distillats,

subissent des opérations de raffinage dont la complexité dépend à la fois de l'origine du brut utilisé et de la qualité recherchée des produits [7].

Ce sont des huiles les plus utilisées dans les applications Automobile, qu'industrielles.

En Algérie, la majorité des raffineries fabriquent des huiles minérales à dominante paraffinée, en raison de leur coût relativement faible, de leur meilleure tenue thermique, de leur faible toxicité, ainsi que, surtout de leur large disponibilité sur le marché.

I.2.2. huiles synthétiques

Elles sont obtenues par synthèse chimique (addition d'un produit sur lui-même ou polymérisation ou addition d'un produit sur un autre comme l'estérification, l'alkylation, etc.) de composants provenant de la pétrochimie, la carbochimie, la lipochimie (ou chimie des corps gras) et de la chimie minérale tels que : oléfines, aromatiques, alcools, acides, composés halogénés, phosphorés, silices, etc. (Ayl et Born, 1998)[8]. Les bases synthétiques sont de plusieurs sortes (Wauquier, 1994)[9]:

- Les polymères d'oléfines : polyalphaoléfines (PAO) polybutène et les alkylaromatiques, en particulier les dialkylbenzènes (DAB).
- Les polyesters organiques, obtenus soit à partir d'un diacide et d'un mono alcool, soit à partir de polycols et d'un monoacide, soit encore à partir de diols et diacide.
- Les polyalkylènes glycols, en particulier les polypropylènes glycols.
- Les esters phosphoriques, peu répandus comme bases, mais qui servent comme additifs.
- Des produits spéciaux : silicones, silicates, polyphényléthers, peu utilisés, et pour des applications très ciblées, car ils sont onéreux.

Tableau I.1 : Exemples de familles d'huiles de synthèses [10]

Exemples des familles d'huiles de synthèse	
Poly glycols	Bonne propriétés lubrifiantes, haut indice de viscosité : 150 à 200 m ² /s faible volatilité, bonne stabilité thermique, incompatible avec les huiles minérales.
Esters	Faible volatilité, bonnes propriétés lubrifiantes à froid, bonne tenue thermique, bonne propriété solvant et bonne résistance au cisaillement.
Hydrocarbures synthétiques	Comportement à froid performant, indice de viscosité élevé. Selon la longueur de la chaîne, bonne propriété thermique.
Silicone	Inerte chimiquement, grande résistance à la chaleur et à l'oxydation, hydrophobe (qui n'absorbe pas de l'eau), indice de viscosité élevé, bonne propriété à froid, incompatibilité chimique avec de nombreux additifs.

I.2.3. Huiles semi-synthétiques

Selon Total Energies, l'huile semi-synthétique est un mélange d'huile minérale et d'huile de synthèse, avec au maximum 30% d'huile synthétique (et parfois seulement 1%).

Ce type d'huile offre un bon compromis entre performance et prix, adaptée aux véhicules de bardage, remorquage ou utilitaires hors route.

I.2.4. Additifs et rôle des additifs :

Les additifs sont très nombreux ; ils présentent environ 25% de la masse totale de l'huile utilisée, chacun ayant une fonction bien définie. Leur rôle est d'améliorer les propriétés chimiques des huiles lubrifiantes, afin de prolonger la durée de vie soit du moteur soit de l'huile et pour interdire la dégradation rapide des huiles usagées [11]. Les additifs généralement utilisés sont :

I.2.4.1.Les antioxydants

Désactivation des ions métalliques et par formation d'un film protecteur sur les surfaces Afin d'éliminer l'action catalytique des métaux, ces additifs sont des phénates. [12]

I.2.4.2.Les détergents :

Nettoyant vis-à-vis d'une surface solide mouillée

Caractérisent par un pH basique ou neutre pour prévenir la formation de dépôts à chaud sur les Surfaces chaudes. [13]

I.2.4.3Les dispersants :

_ Qui ont les propriétaires de maintenir en Suspension des particules solides dans L'huiles, Ils évitent ainsi le risque de dépôt. [14]

I.2.4.4.Les anti-mousses

Le rôle de l'additif anti mousse :

- Réduire la tension de Surface.
- Réduire l'explosion des bulles d'huile. [15]

I.2.4.5.Améliorants de l'indice de viscosité

Le rôle d'améliorants de l'indice de viscosité:

- Diminution de la viscosité de l'huile La lors de l'élévation de température dans le Moteur [13].

I.2.4.5.améliorants le Point d'écoulement

Le rôle d'améliorants le point d'écoulement :

- Ils permettent au lubrifiant de garder une bonne fluidité à basse température (de -15°C à -45°C) [5]. Les additifs améliorant le point d'écoulement sont généralement des polymères hydrocarbonés et oxygénés [16]

I.2.4.6. Les modificateurs de frottement

Le rôle de ces additifs :

- Permettent de réduire le coefficient de frottement des pièces lubrifiées, en améliorant ainsi leur rendement mécanique [3].

I.2.4.6. Additifs extrême de pression

Le rôle de ces additifs :

- Permettent à l'huile de réduire les frottements et par conséquent économiser de l'énergie. Et protéger les surfaces des fortes charges [17] :

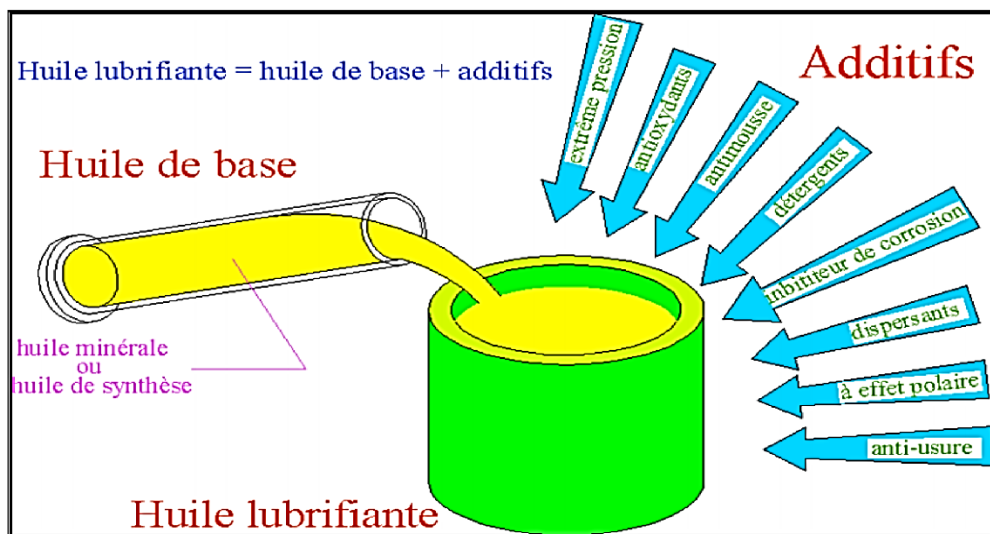


Figure I.2: Principe de composition d'une huile [18].

I.3. Propriétés physico-chimiques des huiles de lubrification

Les lubrifiants se caractérisent par un ensemble de propriétés physiques et chimiques. Parmi ces propriétés, on trouve : la viscosité, l'indice de viscosité, le point d'écoulement, l'indice d'acidité, le point d'éclair, la densité, etc.

Ces propriétés sont classées en deux groupes : les caractéristiques d'identification et les caractéristiques d'utilisation.

Les caractéristiques d'identification (telles que la densité, l'indice de réfraction, etc.) et les caractéristiques d'utilisation, qu'elles soient physiques ou chimiques, peuvent être évaluées par des tests simples en laboratoire. Certaines de ces propriétés constituent en réalité des propriétés fonctionnelles, comme la compressibilité ou la viscosité.

Quant aux caractéristiques de performance, qu'elles soient physico-chimiques, mécaniques ou complexes, elles sont évaluées par des essais effectués en laboratoire, sur cellules ou bancs d'essai, ou en conditions réelles de service

I.3.1 Viscosité

La viscosité est la propriété qui caractérise la résistance du film lubrifiant qui protège les pièces en mouvements, pour des conditions de fonctionnement données [19]

C'est-à dire c'est le rapport entre la force de cisaillement et l'épaisseur du film d'huile [20].

Elle dépend de la température, lorsque la température est faible la viscosité est trop élevée, et les frottements entre les surfaces des pièces mobiles sont importants. Et plus la température est élevée, plus la viscosité est basse pour réduire les frottements internes. Ils existent deux types de viscosité : la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

* **Viscosité dynamique (μ)** : La viscosité dynamique caractérise les couches de lubrifiant à frotter ou à glisser les unes sur les autres, c'est aussi le produit de la viscosité cinématique par la masse volumique du fluide : Unités légales (μ) : Pa.s (pascal. Seconde) ou N.s/m² ; poise (P) et centpoise (cP) 1 poise = 1 P = 0,1 Pa.s 1000 centpoises = 103 Cp = 1 Pa. s.

* **Viscosité cinématique** : La viscosité cinématique est déterminée en mesurant, à une température donnée, la durée de l'écoulement d'un volume connu de liquide à travers un appareil comportant un orifice (tube calibré ou tube capillaire) de dimensions normalisées. Unites : m²/s ; Stoke (St) Ou centistoke (cSt) 10000 St = 1 m².s⁻¹ ; 1 cSt = 1 mm².s⁻¹ ; 106cSt = 1 m².s⁻¹ .

I.3.2 Indice de viscosité

C'est le nombre conventionnel, qui traduit l'importance de la variation de la viscosité d'un lubrifiant issu du pétrole brut, en fonction de la température, dont il permet de juger la tenue à chaud et à froid d'un lubrifiant [17] Si l'indice de viscosité est élevé, la variation de viscosité avec la température est faible. Cela signifie que l'huile possède une stabilité thermique élevée et protège bien le moteur. [21]

I.3.3 Densité

La densité est le rapport entre la masse volumique du produit à une température donnée, et la masse volumique du corps de référence qui est en générale celle de l'eau, à une température standard [17].

I.3.4 Masse molaire

La masse molaire est définie comme un rapport entre la masse et la quantité de matière, elle se mesure en Kg/mole [17].

I.3.5 Indice de réfraction

C'est un nombre (n) sans dimension, qui permet d'identifier un produit ou une espèce chimique, et de contrôler leurs puretés, et déterminer leurs fractions molaires. Sa définition repose sur le résultat du rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide qui dépende de la longueur d'onde et de la température, avec la vitesse de la lumière du milieu transparent considéré [17].

I.3.6 Point d'éclair

C'est la température minimale, à laquelle les vapeurs libérées par l'huile moteur explosent, lors de la présence d'une flamme. Celle-ci s'éteint aussitôt dans des conditions normalisées [17], lorsqu'elle est enflammée par une flamme ou une étincelle. Cette propriété présente un intérêt particulier dans les régions aux climats froids. Une diminution du point d'éclair par rapport au indicateur .Une contamination due à la dilution du lubrifiant par le carburant non brûlé. Une augmentation du point d'éclair indique l'évaporation des composants légers de l'huile. [22]

I.3.7 Point d'écoulement

Le point écoulement est la température à laquelle l'huile se solidifie en formant des cristaux en paraffine, qui s'accumulent. Au point d'écoulement, l'huile perd la caractérisation d'écoulement. Ce dernier est très important pour l'usage des huiles moteur à basse température [17].

I.3.8 Indice d'acidité totale (TAN)

C'est le nombre de milligramme de potasse, nécessaire pour neutraliser les acides contenus dans 1 gramme d'huile. L'apparition de l'acidité dans une huile moteur, ne peut provenir que lors de l'oxydation, et pour cela son augmentation indique une oxydation due à la température ou à la contamination [17].

I.3.9 Indice de basicité totale (TBN)

C'est le nombre de milligramme de potasse stœchiométrique, équivalent à la quantité d'acidité d'une huile, renfermant des additifs alcalins. L'indice de basicité a pour but de neutraliser les acides formés dans des gaz de combustion, ou par oxydation. Il est inversement proportionnel à l'indice de basicité [17].

I.3.10 Tension de vapeur

C'est le rapport entre le volume du gaz et celui de l'huile, d'où la pression d'un carburant est développée par la vapeur à une température donnée et des conditions bien définies [23].

I.3.11 Teneur en eau

C'est la quantité d'eau contenant dans une huile moteur lors de son service exprimée en pourcentage du poids ou du volume du produit, et elle augmente en fonction de son usage. L'eau c'est un très mauvais lubrifiant en milieu métallique, il provient des fuites, de vapeurs émises par l'huile lors de hautes températures, et autres. L'eau cause beaucoup d'inconvénients pour la lubrification du moteur, tel que le vieillissement prématuré de l'huile, la formation d'émulsion, la corrosion de pièces métalliques et la perte de pouvoir visqueux [17].

I.3.12 Onctuosité

Propriété d'un corps lubrifiant étendu en film mince, des surfaces métalliques lubrifiées, elle se caractérise par la continuité et la solidité de ce film. On l'améliore par des additifs de base [17].

I.3.13 Couleur

La couleur des huiles moteur n'est pas artificielle. Elle change progressivement au cours de son service dans le moteur. En particulier, elle noircit rapidement à cause des résidus de combustion métallique. La couleur noire d'une huile moteur mis en service est un moyen d'apprécier son altération, et nous permet d'indiquer la présence de l'eau [17].

Une couleur inhabituellement foncée dans l'huile lubrifiante indique la présence d'hydrocarbures oléfiniques. Ces hydrocarbures ne sont pas souhaitables dans les huiles lubrifiantes car ils sont thermiquement instables. Cette couleur change progressivement lors de l'entretien du moteur de la voiture. En particulier, les résidus de combustion des métaux provoquent un assombrissement rapide. [24]

I.4.Fonctions des huiles de lubrification

Les principales utilisations et fonctions de l'huile lubrifiante comprennent la réduction de la friction, le refroidissement, le nettoyage, l'étanchéité, la prévention de la rouille, l'absorption des chocs, etc. Ces fonctions confèrent à l'huile lubrifiante une grande importance dans divers équipements mécaniques et applications humaines [25].

Dans ce contexte, les fonctions spécifiques de l'huile lubrifiante se présentent comme suit :[25]

I.4.1.Lubrification : La fonction principale de l'huile lubrifiante est de réduire la friction et de réduire l'usure. L'application d'huile lubrifiante entre les pièces mobiles d'un équipement mécanique peut former un film d'huile de sorte que les deux surfaces de contact ne soient pas en contact direct, réduisant ainsi la friction et prolongeant la durée de vie de l'équipement.

I.4.2.Refroidissement : l'huile lubrifiante a de bonnes performances de transfert de chaleur et peut transférer efficacement la chaleur entre les pièces mobiles pour éviter

qu'une température excessive ne provoque des dommages ou des anomalies des pièces.

I.4.3. Nettoyage : Les additifs contenus dans l'huile lubrifiante peuvent absorber les impuretés et la saleté à la surface des pièces mobiles, garder l'équipement propre et améliorer l'efficacité de fonctionnement.

I.4.4. Étanchéité : L'huile lubrifiante possède certaines propriétés d'adhésion et d'étanchéité, qui peuvent empêcher les polluants de pénétrer à l'intérieur des équipements mécaniques et protéger les pièces internes de la corrosion et de la pollution.

I.5. Dégradation des huiles de lubrification

I.5.1 Oxydation

Pendant la phase de compression, une quantité de gaz comprimé s'échappe à travers les passages entre les segments et les chemises du moteur, se retrouvant ainsi dans le carter où se trouve l'huile de lubrification. Ce gaz contient environ 20% d'oxygène (O₂), ce qui entraîne une oxydation progressive de l'huile au fil du temps. De plus, la présence de particules métalliques agissant comme des catalyseurs accélère ce processus d'oxydation. Non seulement les particules métalliques et l'oxygène contribuent à l'oxydation de l'huile, mais les gaz d'échappement (EGR) jouent également un rôle. Les gaz d'échappement produisent une quantité significative de suie dans la chambre de combustion, qui se condense avec le temps et s'accumule, entraînant ainsi l'oxydation des composants métalliques. Tous ces facteurs contribuent à la dégradation de l'huile de lubrification du moteur. (Ayel et Born, 1998)[8].

I.5.2 Cisaillement mécanique

Il est d'une importance vitale de noter les températures auxquelles la viscosité est mesurée, car celle-ci change en fonction de la température. Plus la température augmente, plus la viscosité diminue. Pour compliquer encore davantage les choses, des huiles différentes se liquéfient à des vitesses différentes lorsque la température augmente. Ceci introduit la notion d'indice de viscosité ou VI (pour viscosité index).

Le VI d'une huile est un nombre sans unité qui donne une mesure de la rapidité à laquelle la viscosité change en fonction de la température. Les huiles avec un faible VI se liquéfient plus rapidement, lorsque la température augmente, que celles d'un VI supérieur. Il est possible d'augmenter le VI d'une huile de diverses manières. Les huiles multigrades minérales typiques comportent un additif VII (pour viscosité index improver), améliorant la viscosité, un polymère organique à longue chaîne qui reste recroquevillé sur lui-même à froid. Lorsque la température augmente, les chaînes polymères se déplient et retardent l'action fluidifiante de l'augmentation de température. Le VI des huiles minérales extrêmement raffinées est naturellement élevé dans la mesure où le processus de raffinage supprime les composants du pétrole brut possédant un VI médiocre. Malheureusement ces longues chaînes polymères organiques, qui se déplient lorsque l'huile chauffe, ne présentent pas une totale stabilité au cisaillement. Cela signifie que lorsque les composés sont soumis à des forces de cisaillement élevées, comme il en existe dans les transmissions automatiques, elles commencent à se briser, entraînant une perte de viscosité permanente. Les huiles dont le VI élevé provient du procédé de raffinage ou de leur huile synthétique de base ne sont pas soumises à ce phénomène [26].

I.5.3 Contamination

La dégradation de l'huile est facilement observable par un changement de couleur, où elle devient progressivement noire au fil de son utilisation. Cette dégradation de l'huile est causée par des contaminants, à la fois liquides et solides, indésirables. Ces contaminants peuvent entraîner une détérioration des composants du système de lubrification, que ce soit pour le moteur lui-même ou pour l'huile lubrifiante. La contamination se présente principalement sous deux formes [19].

I.5.3.1 Contamination solide

Les particules solides qui peuvent contaminer le lubrifiant peuvent avoir cinq origines principales (Ville, 1998) [27] : - Présente dans une huile neuve ; - Due à la fabrication. Lors des usinages, il arrive que des copeaux ou encore des particules issues des outils coupants ou des meules de rectification restent dans le mécanisme :

- Générée. Lors du fonctionnement du dispositif, des particules d'usure se forment à partir des composants en mouvement. Il peut y avoir également de la pollution due à l'oxydation et à la décomposition du lubrifiant ;
- Ingérée de l'environnement. Cela provient d'une étanchéité insuffisante, des filtres qui n'éliminent pas toutes les particules (des filtres de taille absolue 40 μm sont utilisés dans l'automobile) ou encore de l'ouverture des réservoirs
- Ingérée lors des opérations de maintenance. Cela se produit lors des démontages et remontages des pièces ou lors des pleins et appoints en lubrifiants. La présence de polluants solides dans le lubrifiant ou sur les parois peut causer des dommages extrêmement importants au mécanisme qu'il doit lubrifier (Denis, 1997) [17]:
- Polissage, rayures, abrasion provoquant une usure importante, grippage
- Dépôt, colmatage des circuits de lubrification
- Augmentation de la viscosité du lubrifiant, formation de gels d'où une circulation défectueuse de l'huile et une mauvaise lubrification. Les contaminants solides peuvent avoir différentes formes, ils peuvent être classés en - sept familles. Cette classification basée essentiellement sur la forme des particules et permet de déterminer leurs origines. Le tableau 3.1 donne la forme et l'origine des polluants ou les contaminants solides (Hunt, 1993) [28] :

Tableau I.2 : Classification des particules selon la forme selon Hunt (Hunt, 1993) [28].

Forme	Schémas	Origine
Sphères		Agglomération et fusion de débris métallique d'usure.
Ovoïdes déformés lisses (galets)		Poussières issues de l'extérieur
Gros morceaux et pavés		Particules métallique produites par la fatigue des surfaces
Plaquettes et écailles		Particules métalliques produites lors du rodage ou d'une usure dite anormale
Boucles, copeaux et lamelles		Particules produite lors de l'usinage ou par labourage de la surface
Rouleaux		Particules étant à la fois des copeaux et des écailles
Brins et fibres		Particules non métalliques en général issues d'une atmosphère polluée

Les contaminants solides peuvent avoir différentes origines, le tableau 3.2 donne la source des différents contaminants solides qui peuvent être présents dans les huiles en service.

Tableau I.3 : Les contaminants solides (Total lubrifiants, 2010) [29]

Élément	Élément d'usure	Polluant	Additif	Commentaires
Aluminium(Al)	Usure et corrosion de pièces en alliage léger.	Poussières atmosphériques Usinage.	Savons de certaines graisses	Élément présent dans certaines argiles sous forme d'alumine
Argent (Ag)	Usure du revêtement de certaines pompes hydrauliques	-	-	Très rarement rencontré
Bore (B)	-	Inhibiteurs de corrosion des fluides aqueux.	Additifs EP (Borates).	Présent aussi dans les huiles moteurs (additifs dispersants).
Calcium (Ca)	-	Poussières atmosphériques Calcaire.	Additifs détergents. Savons de graisse.	Polluant très fréquent en cimenteries.

Chrome (Cr)	Usure de pièces chromées.	-	-	Souvent allié au Nickel ou au Vanadium.
Cuivre (Cu)	Usure et corrosion des métaux cuivreux (Bronze, Laiton,...)	Canalisations d'eau (réfrigérants ...)	Charge de graisses antigrippes ou conductrices.	-
Étain (Sn)	Usure et corrosion de pièces étamées.	Soudure l'étain. Bidons étamés	-	-
Fer (Fe)	Usure et corrosion des fontes et aciers.	-	-	-

I.5.3.2 Contamination liquide (eau) :

Les huiles en service La présence d'eau dans un lubrifiant peut entraîner plusieurs effets, dont la corrosion des métaux ou l'hydrolyse de certains additifs, dont les additives anti usures. Cette contamination provient en majorité de la condensation de l'humidité présente dans l'air ambiant lors du refroidissement du système lubrifié ou d'une entrée d'eau accidentelle dans le système lubrifié. La quantité nécessaire peut être très faible : moins de 0,1 % en masse et son effet très rapide. Le premier mode d'entrée de l'eau est dû à la « respiration » du système lubrifié. En effet, lors du fonctionnement, le système chauffe le lubrifiant et l'air contenu qui augmente alors de volume. Puis, lors de l'arrêt, le système se refroidit et aspire, suite à la rétraction du lubrifiant et de l'air contenu, de l'air extérieur chargé d'humidité. Cette

dernière va ensuite se condenser sur les parties froides du système lubrifié. Ce phénomène est d'autant plus sensible que les volumes de lubrifiant et d'air contenu sont grands, et que l'écart de température est important (Giram, 2000) [30].

La forme de l'eau dans l'huile Il existe trois formes ou états dans lesquels l'eau est trouvée lorsqu'elle est combinée avec de l'huile (Garvey et Foge, 1996)[31] - L'eau peut être dissoute dans l'huile en ce sens qu'elle est hydratée, dissoute ou mise à réagir avec des additifs mélangés à l'huile. - Dans un autre état, l'huile peut être dispersée ou émulsifiée avec l'huile.

Enfin, il peut être indépendamment stratifié ou mélangé sous forme de gouttelettes d'eau libre séparées de l'huile. La présence d'eau dans les lubrifiants peut avoir des effets néfastes sur les composants du système, dont les plus importants sont :

a) Effet à court terme

- **Altération de la viscosité**

La viscosité de l'eau étant largement plus faible que celle des huiles de lubrification, un mélange huile/eau peut avoir une viscosité plus faible que celle de l'huile. Dans ce cas, une lubrification par ce mélange aboutira à des épaisseurs de film plus petites que celles obtenues avec de l'huile pure. Cela augmente la probabilité d'aboutir au contact entre les pièces en mouvement ou au contact entre ces pièces et les particules transportées dans le film, dans le cas de l'existence de particules (Harika, 2011) [32].

- **Cavitation**

Les huiles en service Des bulles de vapeur d'eau (ou d'air entraîné) peuvent provoquer des micros piquûres sur les surfaces d'appui au cours de l'implosion provoquée par la pression dans laquelle elles se condensent pour revenir à la phase liquide. C'est ce qu'on appelle les dommages par cavitation.

De plus, la présence d'eau dans un lubrifiant peut améliorer l'entraînement de l'air dans celui-ci, ouvrant la voie à une plus grande cavitation. L'eau peut être adsorbée directement sur les surfaces métalliques hydrophiles, déplaçant la couche d'huile protectrice et même certains additifs pour lubrifiants. Cela permet une exposition directe de la surface métallique désormais non protégée à des conditions corrosives et à des particules, entraînant une usure excessive.

L'eau libre est particulièrement sujette à ce genre de comportement (Eachus, 2005)

- **Altération des additifs** Les additifs sont incorporés dans les lubrifiants pour servir d'améliorants de l'indice de viscosité, d'additifs anti-usure et extrême-pression (EP), d'inhibiteurs de corrosion, d'antioxydants et d'agents anti-mousse. L'incorporation de l'eau dans l'huile peut changer les caractéristiques de solubilisation de cette huile. Certains additifs peuvent être dé-solubilisés et, par conséquent, précipités par ce changement, contribuant ainsi à la formation de boues ; cet épuisement physique les rend également indisponibles pour fonctionner efficacement dans le lubrifiant. D'autres additifs peuvent préférentiellement être solubilisés par l'eau et éliminés par lavage. L'eau peut réagir avec certains additifs, non seulement en les rendant chimiquement indisponibles, mais également en les transformant en substances nocives telles que les acides ou davantage de boues. Par exemple, certains additifs sulfurés peuvent être hydrolysés et être transformés en produits acides tels que l'hydrogène sulfuré ou l'acide sulfurique, conduisant à l'attaque chimique des surfaces de roulement (Eachus, 2005) [33].

b) Effet à long terme

• Rouille et corrosion

Bien que la contamination de l'eau par les lubrifiants se traduise par la corrosion, une usure excessive et une défaillance prématurée des surfaces métalliques lubrifiées, cette destruction est provoquée de différentes façons. L'eau peut agir directement sur les surfaces métalliques et peut également nuire à l'efficacité du lubrifiant (Eachus, 2005) [33].

• Propagation des fissures

Les huiles en service La présence de l'eau à proximité des surfaces métalliques peut déclencher un phénomène nuisible à ces surfaces connu sous le nom de « Hydrogen Embrittlement » : les molécules d'eau pénètrent par capillarité dans les microfissures du métal, où elles seront cassées à cause de la grande pression et du contact direct avec le métal. Il en résulte des atomes d'hydrogène libres qui

s'accumulent dans les fissures, augmentent davantage la pression dans ces dernières et contribuent finalement à leur propagation (Harika, 2011) [32].

- Oxydation de l'huile et attaque des additifs L'eau peut provoquer l'oxydation de l'huile ou réagir chimiquement avec certains de ses additifs produisant, dans les deux cas, des acides corrosifs qui attaquent les surfaces internes des paliers (Harika, 2011) [32].
- Dégradation biologique En outre, une concentration en eau de 500 ppm peut être suffisante pour assurer une ambiance favorable au développement de certaines bactéries qui se nourrissent des additifs et laissent des déchets acides qui vont altérer les surfaces (Harika, 2011)[32].

I.6.Huiles lubrifiantes usagées

Les huiles lubrifiantes usagées sont des huiles qui ont été contaminées et dont les propriétés ont été altérées à la suite de leur utilisation.

I.6.1.Huiles claires

Sont les huiles industrielle, elles sont peu détériorées, donc facile à valoriser sous forme de matière ou récupéré sous forme d'une huile de base [34].

Tableau I.4 : Huiles générant des huiles usagées claires [35]

Origine	Spécificité
Industriel	✓ Huiles pour mouvements -Huiles pour turbines. ✓ Huiles pour transmissions hydrauliques. -Huiles pour isolante pour transformateurs ✓ Huiles non solubles pour le travail des métaux
Industriel/automobile	✓ Huile pour amortisseurs

I.6.2. Huiles noire

Sont les huiles qui proviennent généralement de la lubrification automobile, elles représentent un pourcentage important dans la totalité des huiles usagées, elles sont obtenues par un mélange des résidus lourds. Le traitement de ces huiles noires est plus difficile et complexe, à cause de leur forte dégradation et la présence de contaminants. Les huiles noires sont récupérables par des prestataires spécialisés dans des lieux dédiés, pour produire de l'huile de base destinée à la lubrification des moteurs, ou pour incinérées en cimenterie et autres matières [34].

Tableau I.5 : Huiles générant des huiles usagées noires [35].

Origine	Spécificité
Automobile	➤ Toutes huiles finies pour moteurs essences y compris les huiles dites mixtes. ➤ Huiles pour moteurs Diesel dites tourisme. ➤ Huiles pour moteurs Diesel, pour les véhicules utilitaires y compris pour marine. ➤ Huiles multifonctionnelles. ➤ Huiles pour transmissions automatiques. ➤ Huiles pour engrenages automobiles.

Industrie	Tous fluides caloporteurs. ➤ Huiles pour le traitement thermique. ➤ Huiles pour compresseurs frigorifique. ➤ Huiles pour compresseurs d'air à gaz. ➤ Huiles pour engrenages industriels.
Aviation	➤ Huiles pour moteurs d'avions

I.7. Classification des huiles lubrifiantes

Il existe principalement deux types de classification pour les huiles, qui sont différents mais également complémentaires. - Classification selon la viscosité (fluidité). - Classification selon le service (niveau de performance).

I.7.1 Classification selon la viscosité

Le premier paramètre de classification des huiles est la viscosité. Il existe dans le monde trois organismes qui s'occupent de classer les huiles selon leur viscosité : - L'ISO- « International Standard Organisation ».

- La SAE -« Society of Automotive Engineering ».

- L'AGMA -« American Gear Manufacturers Association ».

I.7.1.1 ISO-VG

Le grade ISO est utilisé comme référence pour déterminer la viscosité des huiles industrielles, ce qui permet de caractériser leur consistance. La norme ISO-VG (International Organization for Standardization - Viscosity Grade) définit 18 classes de viscosité. Chaque classe représente la viscosité de l'huile à 40°C. Plus le chiffre associé est élevé, plus la viscosité de l'huile est importante [3].

I.7.1.2 SAE

La classification internationale couramment utilisée pour les huiles moteur et les huiles de transmission est celle de la SAE américaine (Society of Automotive Engineers), qui est basée sur la viscosité [19]. La viscosité d'une huile moteur est indiquée par deux grades, un grade à froid et un grade à chaud. Le grade à froid est représenté par la lettre W (Winter) et reflète la viscosité dynamique à basse température, c'est-à-dire la capacité de l'huile à démarrer le moteur et à amorcer la pompe à huile. Les valeurs courantes pour le grade à froid sont 0W, 5W, 10W, 15W, où un chiffre plus bas indique une meilleure fluidité à basse température. Le grade à chaud indique la viscosité cinématique à une température élevée (100°C) et est représenté par des chiffres tels que 20, 30, 40, 50, 60. Un chiffre plus élevé indique une viscosité plus élevée à haute température, ce qui se traduit par une meilleure résistance de l'huile [36]. Les huiles qui satisfont aux limites de viscosité pour un seul grade à froid ou à chaud sont appelées mono grades (par exemple, SAE 10W, SAE 40, SAE 30), tandis que celles qui respectent à la fois les limites de viscosité pour un grade à froid et un grade à chaud sont appelées multigrades (par exemple, 5W40, 10W30, 20W40 [9]).

Tableau I.6 : Classification des huiles moteur [9]

Grades SAE	Viscosité (CP) à la température (°C)	Température (°C) limite de pompabilité	Viscosité (cst) à 100°C
	ASTM D 2602	ASTM D 3829	ASTM D 445
	Maxi	Maxi	Min
0 W	3250 à -30	-35	3.8
5W	3500 à -25	-30	3.8
10W	3500 à -20	-25	4.1
15W	3500 à -15	-20	5.6

20W	4500 à -10	-15	5.6
25W	6000 à -5	-10	9.3
20			5.6
30			9.3
40			12.5
50			16.3
60			21.9

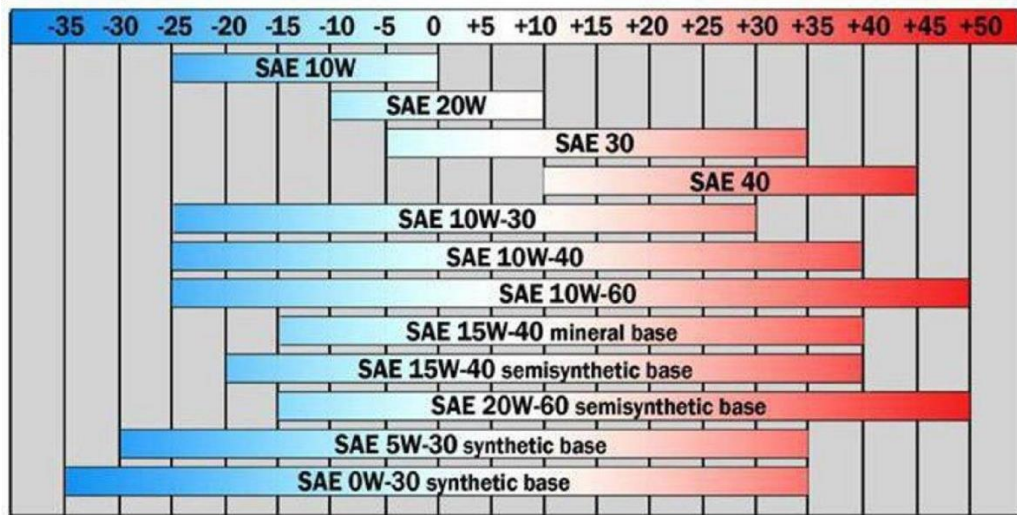


Figure 1 : Gradient de la viscosité en fonction de la température pour les différents types d'huiles lubrifiantes [37].

I.7.1.3 AGMA

AGMA (American Gear Manufacturers Association) définit 9 gammes de viscosité pour les huiles d'engrenages industrielles [19].

I.7.2 Classification selon le niveau de performance

- La classification qui se réfère seulement à la viscosité, ne donne pas une réponse définitive au niveau qualitatif. Pour remédier à cela des grandes organisations, ont rédigé des spécifications, en fonction des prestations, qui sont exigées des huiles. [38].

I.7.2.1 Norme ACEA

- En Europe, l'ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) propose ses propres classifications pour les véhicules européens dont les moteurs ont souvent des performances et donc des exigences spécifiques plus élevées que les moteurs américains. [39].

I.7.2.2 Norme API

- La désignation AP ((l'American Petr oléum Institute) permet de connaître les performances de l'huile. Pour les huiles moteur, le service API s'indique avec deux lettres, la première indique le type de carburant utilisé dans le moteur (S = essence et C = Diesel), la deuxième indique la performance. - Plus la lettre est élevée dans l'alphabet plus la performance est importante. Pour les huiles destinées aux transmissions, les deux lettres GL sont suivies d'un chiffre donnant la performance. On peut trouver des indications supplémentaires, telles que EP = extrême pression [23].

I.9.Impact des huiles usagées sur l'environnement et la santé

De nombreux produits chimiques toxiques présents dans ces huiles en grandes quantités n'ont pas de place aujourd'hui dans l'environnement en raison de leur singulière et dangereuse faculté de persistance et de bioaccumulation.

Une large quantité de composés organiques chlorés ou non que l'on trouve dans ces déchets est relativement persistante, présente un pouvoir lipophile très élevé, s'accumule très vite dans les graisses, les huiles et a une grande chance de s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Les études réalisées sur les produits organiques chlorés ou non chlorés montrent que ces derniers sont très dangereux et menacent tout organisme vivant exposé de loin ou de près même à des concentrations infimes [40-41].

On peut résumer l'impact des huiles usagées sur l'environnement en trois points :

- Pollution ponctuelle .
- Risques de pollution de la nappe phréatique et des eaux de surface.
- Risques de maladies.



Figure I.4 : Impacts des huiles usagées sur l'environnement [42]

Tableau I.7 : Composés polluants des huiles usagées [43]

Polluants	Exemples	Source
Hydrocarbures aromatique polynucléaires	/	Pétrole-base lubrifiante
Hydrocarbure aromatiques mononucléaires	Alkyl benzènes	Pétrole-base lubrifiante
Hydrocarbures aromatiques di-nucléaires	Naphtalènes	Pétrole-base lubrifiante
Hydrocarbures chlorés	Trichloréthylène	Utilisation huile polluée
Métaux	Baryum	Dans les additifs
	Aluminium	Dans les moteurs
	Plomb	Dans le combustible

Pour ces raisons, les détenteurs doivent recueillir les huiles usagées provenant de leurs installations et les stocker dans des conditions de séparation satisfaisantes qui sont comme suite [44] :

- * Ne pas mélanger les huiles avec autres produits non huileux comme l'eau.
- * Conservation des huiles dans des installations étanches, jusqu'à leur ramassage ou re-raffinage.
- * Remettre les huiles usagées aux ramasseurs, en vue de les mettre directement à la disposition des éliminateurs ayant un agrément délivré par l'autorité administrative

I.10. Possibilité de récupération des huiles usagées

Les huiles lubrifiantes usagées sont des produits pétroliers visqueux, au cours de l'utilisation ces huiles se dégradent après un certain temps, par l'influence des différents types de contaminants. Ces huiles nécessitent une gestion appropriée pour en faire un produit à valeur ajoutée, qui est pour objectif [35] :

- Réduire la quantité de l'huile usagée considérée comme un déchet très dangereux soit sur la santé humaine ou sur l'environnement.
- L'économie d'achat des huiles neuves.
- Grâce à la récupération de ces huiles usagées, elles auront une durée de vie plus longue.

Le choix d'un processus de traitement des huiles usagée doit être basé sur :

- Le cout de l'opération ; avoir un faible taux de dispense sur les machines et les solvants chimiques utilisées.
- Avoir un bon rendement.
- Le processus ne doit pas avoir beaucoup d'inconvénients, surtout sur l'environnement.

I.11. Récupération et recyclage des huiles usagées

Les huiles usagées deviennent impropres à leur utilisation d'origine en raison de la présence d'impuretés ou de la perte de leurs propriétés initiales. Il est important de

ne pas les jeter. Grâce à l'utilisation d'une machine de récupération des huiles usagées, les huiles usées peuvent être nettoyées, raffinées et recyclées de manière répétée, permettant ainsi la production d'une huile de lubrification propre et dépourvue d'impuretés. Les machines de recyclage des huiles usagées permettent de récupérer les huiles usées et de les transformer en une huile de base de couleur jaune, qui peut être utilisée dans les moteurs et d'autres machines [45].

Selon l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis, le recyclage consiste à transformer les substances usagées afin qu'elles puissent être réutilisées. Ce principe s'applique à l'huile de moteur usagée, dont le recyclage englobe des mécanismes et des procédés visant à éliminer les impuretés et à la ramener à son état initial. Ainsi, l'huile de moteur usagée prend une couleur foncée en raison de l'accumulation de carbone résultant de l'usure.

Habituellement, l'huile moteur garde sa couleur grâce à la présence d'un acide. Cependant, dans l'huile usée, cet acide est atténué par la neutralisation d'une base. Les techniques physiques fréquemment employées pour le recyclage de l'huile moteur comprennent l'affinage, la centrifugation, la filtration, la distillation et le lavage à l'eau. Ces procédés facilitent l'élimination des acides solubles dans l'eau.

Lors du recyclage, des additifs peuvent être incorporés dans l'huile de moteur recyclée, parfois en la mélangeant avec de l'huile neuve. Les processus de recyclage comprennent. Différentes étapes de purification visant à traiter l'huile de moteur usagée afin de la rendre réutilisable [46]

I.11.1 Méthodes de récupération

Nous comptons deux filières de traitements pour les huiles usagées, la valorisation énergétique par incinération et la régénération par « re-raffinerie ».

* La méthode de régénération ou re-raffinage Cette méthode permet de récupérer 2 litres d'huile de base, similaire aux huiles de base neuve, à partir de 3 litres d'huiles usagées. C'est un procédé de régénération par « re-raffinage ».

* La méthode de valorisation Avec ce procédé, les huiles usagées sont utilisées comme combustibles dans les cimenteries autorisées. Les matières premières,

utilisées pour la fabrication du ciment, sont cuites à 1 450°C. Avec une telle température la destruction, des huiles usagées, est quasi complète.

I.11.2 Étapes de récupération

Les processus de récupération des huiles usagées sont basés sur les étapes suivantes [46] :

- * Distillation sous vide : pour séparer les différentes fractions des résidus lourds.
- * Ultrafiltration : l'huile est soumise à des différentes opérations de filtration et sédimentation, pour but d'éliminer les particules solides.
- * Ré-addition : ajouter une quantité d'additifs afin d'améliorer les performances et caractéristiques de l'huile.

I.11.3 Procédés de recyclage

Voici à présent, une description d'un processus pour la récupération des huiles usagées existant. Ce processus est appelé VAXON, il est pratiqué dans une usine de traitement CATOR située à Alcover (Tarragone). Ce processus a été spécialement conçu pour la régénération des huiles usées de tout type d'automobilisme et industrielle. Pour les récupérer sous forme d'une huile de base prête à prendre le rôle d'un lubrifiant. L'utilisation des évaporateurs cycloniques, des séparateurs à vide, doté d'un système de circulation de l'huile et de chauffe spécialement destiné à cet emploi, lui permet d'être plus compatible. [47]. Voici les principales étapes du processus :

1- Distillation fractionnée sous vide Lors cette distillation on réalise la séparation de tous les composants indésirables des huiles usagées. Cette distillation travaille

Dans quatre étapes de distillation, dans des conditions de température et de vide différentes. [47].

- **La première distillation:** cette étape, l'eau et les hydrocarbures légers sont éliminés dans des conditions spécifiques de température 200°C et de pression 0,5 bar.
- **La deuxième distillation :** cette étape se déroule a une température spécifique 280°C et a pression 75mbars, durant laquelle l'huiles qui n'a pa été distillée lors de la première étape passe par ce processus afin d'éliminer le gasoil léger et les huiles de type spindle.

- **La troisième distillation :** La troisième distillation concerne le traitement des produits qui n'ont pas été distillés lors de l'étape précédente. Cette opération se réalise à une température de 310 °C et sous une pression basse de 5 mbar. Elle permet d'obtenir des huiles de base comparables à celles disponibles sur le marché, connues sous les appellations SN100 et SN150, indiquant qu'il s'agit de solvants neutres de type paraffinique
- **La quatrième distillation :** consiste à éliminer des produits de nature bitumineux, elle s'effectue à une température de 350 °C, et une pression entre 5 et 10 mbar. Dans cette distillation on aura des huiles de base équivalente aux SN150 ET SN330. . [47].

2- Traitement chimique

Les différents produits obtenus dans la troisième et les quatrième distillations précédentes, sont libre de toute impureté et métaux. Ils passent dans un réacteur à température, avec une solution d'hydroxyde potassique afin de nettoyer l'huile une nouvelle fois, par la suite on sépare les eux potassiques et on sèche l'huile [47].

3-Distillation sous vide

L'huile séchée est soumise à une dernière distillation à 340 °C, et à un vide de 10 mbar cette distillation permet d'obtenir une huile de base de quantité qui sera minimum égale à celle des huiles de premier raffinage. A condition, l'huile obtenue est dopée avec une quantité d'additifs afin qu'elle soit plus performante au travail désiré qui est la lubrification. [47].

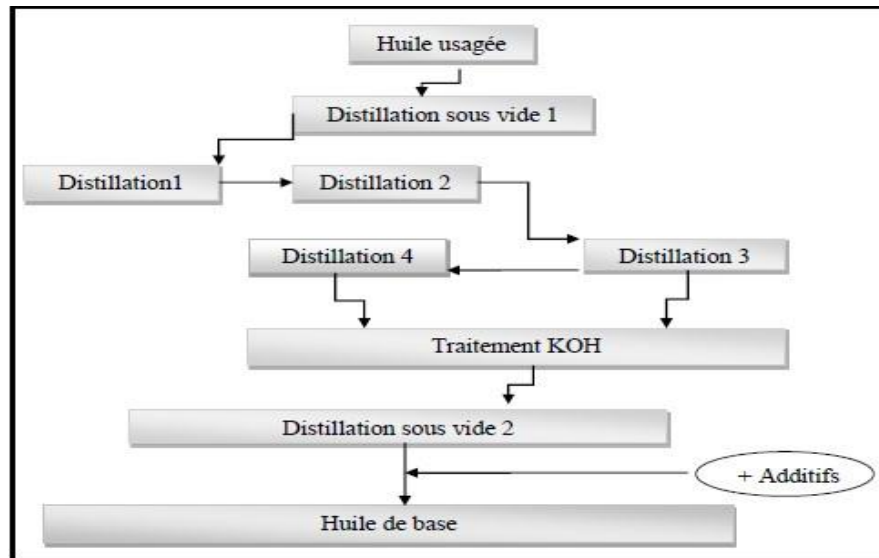
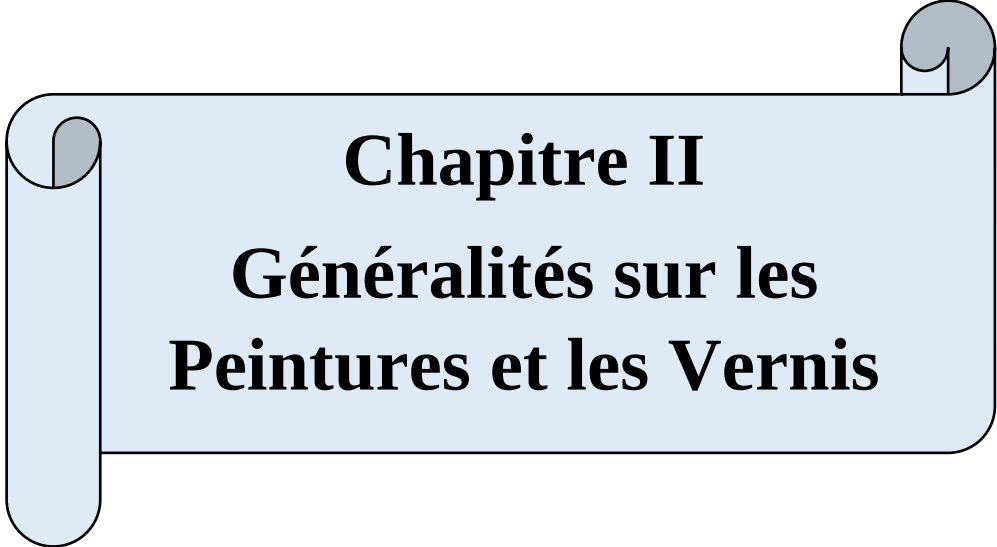


Figure I.5 : Schéma de processus de récupération des huiles usées [48].

I.12. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les concepts fondamentaux relatifs aux huiles lubrifiantes, en mettant en évidence leur origine, leur classification, leurs fonctions principales, ainsi que leurs propriétés physico-chimiques les plus importantes, tout en soulignant leur rôle et leur importance dans l'amélioration des performances des machines et des moteurs à travers la réduction des frottements, la protection contre la corrosion chimique, ainsi que l'étude des phénomènes de leur dégradation au cours de l'utilisation.

Par ailleurs, nous avons abordé l'impact des huiles usagées sur l'environnement et la santé humaine, ainsi que les méthodes de leur traitement visant à réduire leurs effets néfastes tant sur le plan matériel que sanitaire, et à permettre leur valorisation. Cet aspect constituera l'axe principal du chapitre suivant, qui sera consacré aux travaux expérimentaux appliqués.



Chapitre II

Généralités sur les Peintures et les Vernis

II.1. Introduction

La fabrication des peintures est hautement demandée sur les marchés mondiaux, et la personnalisation de la teinte revêt une importance significative dans divers domaines d'application. Ces peintures sont utilisées de manière répandue dans le bâtiment, l'industrie automobile, navale, et bien d'autres secteurs. Elles remplissent un double rôle en offrant à la fois une protection, notamment contre la corrosion due aux intempéries ou dans les environnements maritimes pour les bateaux, et une dimension esthétique, comme dans le cas de la décoration. Dans le domaine de la sécurité routière, les peintures jouent un rôle crucial en fournissant des éléments tels que les plaques de signalisation et les bandes routières [49].

II.2. La peinture**II.2.1. Définition et généralités sur la peinture**

Une peinture, « paint » en anglais, est une préparation fluide qui peut s'étaler en couches minces sur différents supports et former par l'évaporation d'un solvant un film adhérent, résistant, opaque, blanc ou coloré. Elle sert à protéger et à décorer, sa fonction protectrice est principale à l'extérieur (contre la corrosion) tandis qu'à l'intérieur, son application se base sur l'aspect décoratif. Selon les produits qui entrent dans sa composition le film de peinture peut être brillant, semi brillant, satiné ou mat. Avec un fort pourcentage d'huile, la peinture est brillante, au-dessous de 20 %, elle est semi brillante ou satinée et la peinture à eau est mate [50].

Elle est appliquée à l'aide d'un pinceau ou d'un rouleau, ou par projection (pulvérisation). À l'échelle industrielle, on utilise également des peintures en poudre, appliquées par projection électrostatique ou par immersion [51].



Figure II.1 : Boîtes de peintures [52].

II.2.2. Historique et évolution des peintures [53]

L'art de la peinture remonte aux premières civilisations, où il était utilisé notamment dans des contextes rituels au sein des cavernes. À cette époque, les peintures murales étaient réalisées à partir de mélanges simples de pigments naturels, tels que l'ocre ou le charbon, dilués dans l'eau, puis appliqués sur la pierre calcaire avec laquelle ils finissaient par s'intégrer.

Vers 4000 ans avant notre ère, l'Égypte antique a connu des progrès significatifs dans le domaine des liants, contribuant à améliorer la qualité des peintures. Les premiers liants utilisés étaient d'origine naturelle, notamment le jus de figue et le miel, avant l'apparition de la technique de l'encaustique. Par la suite, la peinture à l'œuf s'est largement répandue dès le début de l'ère chrétienne et a conservé son importance pendant plusieurs siècles grâce à sa grande stabilité. Elle a été utilisée par les artistes du Moyen Âge ainsi que par certains peintres de la Renaissance, tels que Mantegna, Raphaël et plus tard Rubens.

Pendant longtemps, la peinture est restée limitée au domaine artistique. Ce n'est qu'à la fin du XVIII^e siècle que sa fabrication s'est développée pour devenir une activité industrielle. Les XVIII^e et XIX^e siècles ont été marqués par des avancées importantes concernant les matières premières, grâce aux travaux de nombreux chercheurs.

Au XX^e siècle, la peinture a acquis une fonction protectrice en plus de son rôle décoratif, notamment contre les effets des intempéries sur le bois et les matériaux de construction,

ainsi que contre la corrosion des métaux. Dès lors, la fabrication des peintures, vernis et produits associés, composés de phases liquides et solides, s'est largement industrialisée

II.2.3. Composition des peintures

Quel que soit les différents types de peinture on peut dégager le schéma d'une composition Générale, une peinture est un mélange complexe de matières premières suivantes: Les polymères (résines ou liants), les solvants (ou diluants à l'exception des peintures poudres et des peintures sans solvant), les pigments, les charges et les additifs.

II.2.3.1. Liant

Une peinture est nommée par son liant. Par exemple, une peinture est dite "Glycéro" car son liant est une résine glycérophthalique à l'eau ou à l'huile. C'est un liquide visqueux ou solide mais non volatil. Il lie les pigments et/ou charges dans le solvant et il fixe les pigments sur le support pour former le feuil, c'est-à-dire le film sec restant sur le support après le séchage, et donne l'aspect final : mat, brillant miroir ... [54].

Exemples : Résine (alkyde, acrylique, époxy etc.), styrène.



Figure II.2: liant [55]

II.2.3.2. Pigment

C'est une particule solide très fine et insoluble mise en suspension dans un milieu, il donne l'opacité à la peinture. Il peut être naturel, d'origine minérale ou organique, ou synthétique. Les pigments issus de la pétrochimie offrent la plus grande diversité de couleurs [54].

Exemples:

- Pigments minéraux : Dioxyde de titane, Oxyde de fer rouge.
- Pigments organiques : Vert phtalocyanine, rouge molybdène.
- Pigments métalliques : poussière de zinc, pâte d'aluminium.



Figure II.3:des pigments [56]

II.2.3.3. Charge

C'est un solide pulvérulent, de granulométrie supérieure à celle des pigments principalement d'origine minérale, de couleur blanche, insoluble dans le milieu de dispersion et présente peu de pouvoir opacifiant, permet de réduire la quantité de pigment employée, et donc le cout de production des peintures, elles sont aussi utilisés pour modifier ces propriétés [54].

Exemples :

Carbonate de calcium, talc, sulfate de baryte etc.



Figure II.4:carbonate de calcium [57]

II.2.3.4.Solvants

Le solvant est une substance importante dans la formulation et la fabrication des peintures. Notamment pour le réglage de sa viscosité de telle sorte que son application est adéquate. Les solvants sont aussi des composées qui servent à solubiliser le liant polymère (résines) et pour faciliter l'étalement sur le support. Après leur utilisation, ils sont éliminés du film par évaporation pendant le séchage. A l'exception de l'eau, les solvants sont aussi appelées composés organiques volatils (COV). Les composés organiques volatils sont des composés contenant au moins l'élément de carbone et un ou plusieurs autres éléments tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, les halogènes, le soufre [54].

Exemples : Hydrocarbures (white spirit, toluène, xylène), cétones, alcools etc.

II.2.3.5.Additifs

Appelés aussi adjuvants, ils maintiennent l'homogénéité et la stabilité de la peinture Dans le temps et confèrent diverses propriétés : viscosité, épaisseur, effet Stabilisateur, etc. [54].

a) Peinture *en phase aqueuse*

Agent mouillant

Ce sont des surfs actifs qui ont la capacité de s'adsorber en surface des matières pulvérulentes hydrophobes et permettent le mouillage des particules solides par la phase liquide de la peinture [54].

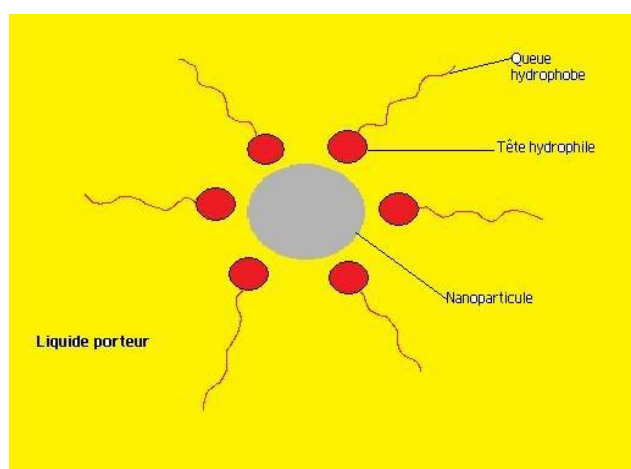


Figure II.5: Représentation schématique d'un Agent mouillant [58]

Ils appartiennent à deux grandes familles.

Agents mouillants ioniques :

On distingue parmi eux :

- Les anioniques qui sont principalement des carboxylates, des alkyl sulfates, des arylsulfonates et des alkylarylsulfonates.
- Les cationiques parmi lesquels on trouve les amines primaires, secondaires, tertiaires et les ammoniums quaternaires.
- Les amphotères qui ont un comportement cationique en milieu acide et anionique en milieu basique [11].

Agents mouillants non ioniques:

Ils renferment dans leur molécule des groupements chimiques hydroxylés et d'oxyde d'éthylène. Ces agents mouillants appartiennent à la classe des acides gras oxyéthylénés, alcools gras oxyéthylénés et alkylphénolsoxyéthylénés [59].

Agents dispersants

Les agents dispersants sont des liquides ou solides qui permettent la stabilisation des particules dans le milieu de dispersion soit par répulsion électrostatique soit par effet stérique, réduisant ainsi la tendance à la floculation et la sédimentation. Ces additifs sont des poly électrolytes de masse moléculaire élevée qui portent dans leur chaîne latérale un grand nombre de charges électriques [60].

Agents épaississants

Ce sont des composés minéraux (Benton) ou synthétiques (copolymères acryliques, Polyuréthanes) qui permettent d'ajuster les propriétés rhéologiques des peintures. Exemple : Augmenter la viscosité, éviter la sédimentation de matière de charge et pigment et la coulure de la peinture lors de l'application [60].

Agents antimoussants

Ces composés organiques, solutions de polymères sans ou avec silicone, permettent d'éliminer la mousse qui se forme pendant la dispersion des matières pulvérulentes lors de la fabrication des peintures [59].

Agents biocides

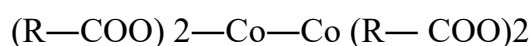
Ils permettent la prévention du développement des micro-organismes pendant le stockage de la peinture mais aussi pendant sa durée d'usage sous forme de feuil. Ces composés comprennent les bactéricides et les fongicides [59].

b) Peinture en phase solvant :**Agent mouillant, Agent dispersant, Agents anti-peaux**

Ce sont des agents antioxydants, empêchant la réticulation, dans les récipients, des liants qui sèchent par fixation d'oxygène et ainsi empêcher la formation d'une peau en surface. Cet empêchement est provisoires car les anti-peaux sont volatils et quittent le film en même temps que les solvants. Le plus connu est la Méthyl-éthyl-cétoxime (MECO) [59].

Siccatifs

Sont des produits à base de sels métalliques d'acide organique naturels (naphténiue) ou d'acide organique synthétique (octoate), ajoutés aux huiles et aux peintures glycérophtaliques pour accélérer la réticulation et le durcissement du film de peinture après application [5]. Ils favorisent la fixation de l'oxygène de l'air sur les doubles liaisons des huiles ou acides gras de ces résines. Les métaux engagés dans les siccatifs sont le cobalt, le calcium, le zir conium, le manganèse et le zinc [59].

**Naphténate de cobalt**

R = radical de l'acide naphténique

Plastifiants

Généralement des composés liquides qui modifient les propriétés rhéologiques des mélanges polymères, améliorent la mise en œuvre et la souplesse du produit fini, sa tenue aux chocs et aux basses températures [59].

Exemple : dibutylephtalate (DBP), dioctylephtalate (DOP).

II.2.4. Classification des peintures

. Sur le marché des peintures, bien qu'il existe déjà d'autres types de peintures comme les peintures à l'eau, leur développement n'est pas prometteur en raison de la commodité d'utilisation de solvants. Mais la pression de ces nouvelles réglementations oblige les fabricants développer de nouveaux types de produits [61], tels que :

II.2.4.1.les peintures synthétique :

a) les Peintures synthétique à l'eau

Alternativement, la matrice est constituée d'un liant soluble dans l'eau, ou d'un système colloïdal ou d'une dispersion aqueuse de polymère et de quantités variables de co-solvants, en fonction du système [61].

b) Peintures synthétique à l'huile

L'application de la peinture à l'huile se fait en trois étapes : le primaire, une sous-couche et la couche finale. Il se distingue par son efficacité nettoyante et sa facilité d'application. Ce genre de revêtement est habituellement mis en œuvre à l'intérieur (sur les murs, les portes, les fenêtres et les structures métalliques). Toutefois, ces peintures ne sont pas adaptées aux conditions humides puisqu'elles exigent un temps de séchage considérablement plus long que les peintures à base d'eau.

II.2.4.2.Les peintures naturelles

a) Les peintures naturelles classiques

Chaque matière première provient le plus possible de ressources naturelles renouvelables.

Les liants sont a base d'huiles végétale (lin,ricin,romarin,lavande,.....), de cires d'abeilles, de résines naturelles (pin), de caséine, deCaire,les solvant naturels (essence de térébenthine balsamique, écorces d'agrumes,...) peuvent aussi entrainer des troubles dermatologiques. Aucun solvant n'est complètement inoffensif. Les pigments sont de nature végétale (valériane,thé,oignon,...) ou minérale (terre de sienne, oxydes de fer,...) les additifs chimiques et les charges sont absent dans les peintures naturelles, elles sont moins fragiles que les peintures synthétiques. Les peintres naturelles

imprègnent en profondeur le support et séchant donc plus lentement. Elles ne sont pas lavables mais laissent passer l'humidité.

b) Les peintures à la chaux :

Les peintures à la chaux ont traversé l'histoire car elles étaient déjà utilisées pendant l'Antiquité. Il s'agit de mélanges simples combinant chaux, Eau, pigments et adjuvants. la chaux joue le rôle du liant, l'eau est utilisée comme agent de dissolution, les pigments principalement des terres, ne peuvent être que des minéraux, et les adjuvants servent à retenir l'eau ou à fixer les pigments. Ces peintures étant très alcalines, il faut protéger le corps lors de l'application en portant à des gants, des lunettes et des vêtements avec des manches. Les contrevenants s'exposent à des brûlures chimiques cutanée ou oculaire. C'est l'inconvénient des peintures minérales comme la chaux. En revanche, les émissions de composés organique volatiles (C.O.V) sont pratiquement nulles pendant et après la mise en œuvre [59].

II.2.5. Propriétés des peintures

En plus des avantages esthétiques offerts par les revêtements de peinture, il existe également des propriétés d'usage.

II.2.5.1. Pouvoir couvrant

La propriété d'une peinture ou d'un vernis est de protéger une surface en créant une épaisseur de pellicule aussi fine que possible. La qualité du pouvoir couvrant dépend de la dilution, du Pouvoir mouillant du fluxage, de la viscosité, de la rapidité de séchage et de la finesse des Pigments. On peut distinguer différents types de pouvoir couvrant :

- La quantité de peinture ou de vernis nécessaire pour couvrir une surface exprimée en Mètre carré (m^2) permet de déterminer le pouvoir couvrant en surface. Le mode de mise En œuvre (pinceau, rouleau, pistolet, etc.) et le support influencent le pouvoir couvrant. Le pouvoir couvrant par opacité, est défini par la quantité de peinture qu'il est nécessaire D'appliquer au mètre carré pour masquer complètement, et d'une manière homogène, la Couleur du support [62].

II.2.5.2. Pouvoir mouillant et pouvoir adhérent

La peinture ou le vernis possède un pouvoir mouillant qui abaisse la tension superficielle à l'interface entre le corps solide et le liquide, ce qui facilite l'étalement de la peinture sur son Support. Le pouvoir adhérent d'une peinture est sa capacité de se liasonner à son support. Il dépend du degré d'alcalinité de la surface de ce dernier (alcalin, acide ou neutre), de son état de surface (rugueux ou lisse), de son degré de siccité (sec ou humide) et enfin de sa porosité [62].

II.2.5.3. Pouvoir séchant

Le séchage physique permet de transformer les peintures et vernis pour bâtiments, qui sont Liquides à l'état initial, en une pellicule solide appelée film ou feuillet. Le séchage peut également s'opérer par coalescence (dispersion), par oxydation à l'air ou par évaporation des solvants (peintures et vernis celluloseux) [62]

II.2.5.4. Souplesse et la résistance à la déformation

La souplesse d'une peinture ou du vernis réside dans la capacité de la pellicule à se déformer sans se rompre, se fissurer ou se décoller du support, même lorsque celui-ci subit des extensions et des flexions. La résistance à la déformation diffère de la souplesse car elle est liée aux possibilités de déformation permanente sans rupture [62].

II.2.6. Formulation des peintures

Avant d'élaborer une formule, il est essentiel que le chimiste comprenne les propriétés recherchées.

Et les besoins d'application. Dans la majorité des situations, nous ajustons une formule qui est déjà en place.

Il s'agit en réalité d'un savoir-faire, qui implique la modification d'un ou plusieurs éléments. Le chimiste est On vous demande de fournir une formule qui détermine le pourcentage de chaque composant.

Le principe est d'avoir un système dispersé des pigments qui est stable, le problème est de choisir le bon liant, solvant et additif. Pour se faire on se base sur l'efficacité du

mouillage assuré par le couple liant-solvant, il existe des courbes de mouillage (The wetting efficiency curves) pour sélectionner le meilleur couple liant-solvant pour avoir un mouillage optimale, pour construire ces courbes on test des différentes solution de liant et solvant sur un pigment, puis on trace le volume de pigment VP% en fonction du volume de la solution VS%, les résultats sont obtenue par le moyen d'un Torque Rhéomètre.

Le chimiste peut aussi mesurer la prise d'huile (titrage du pigment par une résine) pour sélectionner la bonne résine, mais cette technique ne donne pas d'information sur l'efficacité du mouillage assuré par le système liant-solvant.

Il existe d'autres techniques qui consistent en la mesure de la taille des particules, l'intensité de la couleur, la viscosité...etc. Toute ces technique nous permettent d'avoir une modélisation du problème et oriente le chimiste à produire une formule qui possède des bonnes caractéristiques.

Parfois la formule est de source empirique, c'est-à-dire le chimiste fait beaucoup d'essai jusqu'à obtenir un produit qui présente de bonnes propriétés.

Le revêtement doit présenter les caractéristiques suivantes : Adhésion, Durabilité et une flexibilité, ce qui lui permet de couvrir et protéger la surface du support [59].

II.2.7. Procédés de fabrication des peintures

Notre but est de créer un mélange uniforme, facile à voir à l'œil nu, et de favoriser le développement de la végétation.

Maximum la force colorante des pigments. L'utilisation d'un agent mouillant est souvent

Nécessaire afin d'améliorer et faciliter l'introduction des pigments dans la phase liquide. L'additif permet également de réduire la tension superficielle du liquide, ce qui signifie que cet effet est aussi important.

Augmenter sa capacité de mouillage. Cela peut être obtenu en réduisant la taille des agrégats.

Agglomérats jusqu'à une dimension optimale des particules grâce à l'utilisation des additifs.

Adéquat pour un bon ancrage et une bonne dispersion (taux de cisaillement élevé 1000-2500 trs/min). Le mode opératoire suivi est le suivant :

II.2.7.1. Empattage (mouillage)

Au cours duquel les éléments solides (pigments et charges) sont dispersés dans une partie du liant ; des solvants et d'adjuvants [63].

II.2.7.2. Broyage et dispersion

Les forces de cisaillement développées dans cette phase doivent être supérieures aux forces de cohésion qui unissent les particules pour dés agglomérer les pigments et charges et avoir un mélange uniforme et obtenir la finesse maximale recherchée pour le film [60].

II.2.7.3. Finition et ajustement

Au cours de cette étape les compléments sont bien répartis de façon homogène dans la pâte c'est-à-dire réservé un temps de mélangeage suffisant pour éviter un ré agglomération des particules. Donc le broyage de formule est complété, la teinte est ajustée et la peinture est conduite aux caractéristiques désirées [63].

II.2.7.4. Filtration

La filtration est effectuée pour enlever les impuretés et pour attraper de petites particules les moyens de broyage (billes de verre, billes de zirconium, billes de céramique). Les peintures peuvent être filtrées par une multitude de moyens et l'utilisation finale du produit détermine le type de filtration. L'utilisation des filtres de 40 à 80 μm est recommandée pour la filtration des peintures et laques de finition [64].

II.2.7.5. Conditionnement

Remplir la peinture dans des bidons ou futs et qui seront palettisés

II.2.7.6. Stockage

Dans les bâtiments de stockage à l'abri et sous une température ambiante.

Le schéma suivant résume les étapes de fabrication des peintures :

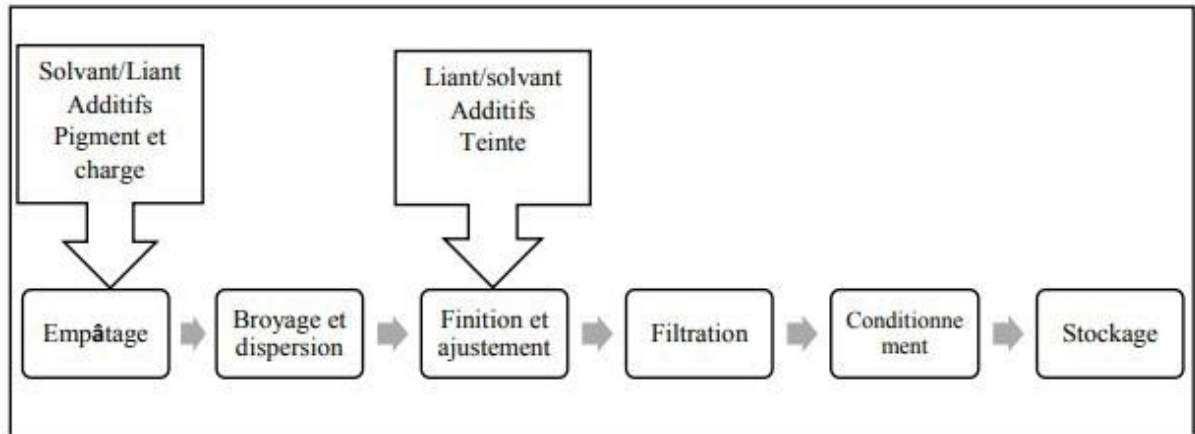


Figure II.6: procédé de fabrication des peintures.

II.2.8. Domaines d'application des peintures

II.2.8.1. Peinture destinée aux bâtiments

On utilise fréquemment les peintures intérieures, qu'elles soient brillantes, satinées ou mates, ainsi que les peintures extérieures. Dans la majorité des cas, le sujet se réfère au béton et les surfaces doivent être débarrassées de leur poussière.

II.2.8.2. Peinture carrosseries

Ces produits sont destinés à la réparation et à l'entretien des carrosseries de véhicules, les Revêtements destinés à l'industrie automobile doivent répondre à de nombreuses Spécifications. Bien que l'aspect esthétique soit un critère primordial aux yeux du Consommateur, la résistance à la corrosion ainsi qu'aux impacts divers (stone shipping) doit Être garantie. Pour assurer ces diverses fonctions, les revêtements modernes sont constitués de plusieurs couches remplissant chacune une fonction spécifique [65]

II.2.8.3. Les peintures marines

Il s'agit de peintures spécialement conçues et formulées pour protéger les surfaces en contact avec l'eau ou situées près de la mer.

II.2.8.4. Peinture anticorrosion

Ces peintures sont destinées à être utilisées sur des surfaces typiquement métalliques (fer ou autres métaux), pour la protection et l'embellissement des projets de travaux publics ou de génie civil, ainsi que sur les structures de bâtiments ; on les utilise principalement dans des domaines comme l'industrie chimique, les installations

agroalimentaires, les ouvrages d'art, les installations maritimes et fluviales, les sols industriels, les parkings, et les structures métalliques fixes dans le secteur des transports.

II.3. Les vernis

II.3.1. Définition et généralités sur les vernis

Un Vernis est un liquide plus ou moins visqueux, généralement à base d'une résine naturelle (copal, mastic, dammare, gomme-laque) ou synthétique (polymère ou monomère+catalyseurs) en solution ou dispersion.

Il est appliqué sur les surfaces (meuble, tableau) à des fins esthétique (brillances matité) et /ou protectrices (poussière, ultraviolet, coups) pour former un film solide coloré ou incolore.

On les a beaucoup utilisés pour protéger les meubles (vernis Martin) et les bois extérieurs (vernis de « qualité marine » sur les bateaux). Les caractéristiques de transparence, de brillance et de résistance varient en fonction des composantes du vernis.

Contrairement aux vernis, les lasures peuvent être composées de matières solides comme le pigment par exemple [66].

II.3.2. Composition des vernis

Le vernis est composé de divers ingrédients :

- **Une résine** : naturelle (comme le copal, le mastic, le dammare) ou synthétique (telle que l'acrylique, la cétone, le polyuréthane)
- **Un solvant** : essence végétale (térébenthine) ou minérale (de pétrole), indispensable pour diluer le vernis et lui donner une texture fluide.
- **Un adjuvant éventuel** : agent ratifiant (comme la cire d'abeille ou la silice colloïdale), agent qui absorbe les ultraviolets.

Résines naturelles

Elles sont utilisées depuis très longtemps et réservées aux vernis pour la peinture à l'huile.

Les résines tendres (mastic, Dammar) donnent des vernis dits 'maigres'. Ils sont facilement réversibles mais accusés de jaunir sous l'action de la lumière et de craqueler.

Les résines dures (copal, ambre) donnent des vernis dits 'durs' Ils sont résistants au vieillissement et aux solvants mais on tend à en se colorer avec le temps.

Résine synthétique :

Elles sont d'utilisation récente et conviennent à la fois aux peintures à l'huile et à l'acrylique.

Acrylique ou cétonique (cyclohexanone), elles sont dérivées des hydrocarbures et s'apparentent aux résines tendres sans pour autant égaler leur profondeur et leur éclat.

Elles sont en revanche incolores, sans que leur garantie dans le temps soit totalement assurée [67]

II.3.4. Classification des vernis [68]**II.3.4.1. Vernis à base d'eau**

Le Vernis à Base d'Eau : L'Éclat Moderne

Le vernis à base d'eau est devenu de plus en plus populaire ces dernières années, et ce n'est pas sans raison. Voici quelques caractéristiques clés de cette option :

Séchage Rapide: L'un des avantages majeurs du vernis à base d'eau est son temps de séchage rapide. Cela signifie que vous pourrez réutiliser votre espace en un minimum de temps après la fin du sablage et du vernissage.

Moins d'Odeurs: Contrairement au vernis à base d'huile, le vernis à base d'eau dégage moins d'odeurs désagréables pendant l'application. Cela rend le processus de rénovation beaucoup plus agréable pour vous et votre famille.

Durabilité: Bien que certains puissent penser que le vernis à base d'eau est moins durable que son homologue à base d'huile, les avancées technologiques ont considérablement amélioré sa résistance. Il peut résister à l'usure quotidienne tout en conservant sa brillance.

Moins de Décoloration: Le vernis à base d'eau a tendance à préserver la couleur naturelle du bois sans jaunissement excessif. Cela peut être un facteur décisif si vous souhaitez conserver l'aspect original de vos planchers en bois.

Le Vernis à Base d'Huile : La Robustesse Traditionnelle.

II.3.4.2. Vernis à base de l'huile

'Un autre côté, le vernis à base d'huile a ses propres caractéristiques distinctes qui en font un choix solide pour de nombreux propriétaires :

Durabilité Exceptionnelle: Le vernis à base d'huile est réputé pour sa durabilité exceptionnelle. Il peut résister aux égratignures, aux chocs et à l'usure pendant de nombreuses années, en particulier dans les zones à fort trafic.

Finition Riche: Ce type de vernis offre généralement une finition riche et chaleureuse qui peut mettre en valeur la beauté naturelle du bois. Si vous recherchez une esthétique intemporelle, le vernis à base d'huile pourrait être votre meilleur choix.

Entretien Facile: Les planchers vernis à l'huile sont faciles à entretenir. Vous pouvez réparer de petites imperfections en ponçant légèrement la zone affectée et en appliquant une nouvelle couche de vernis.

Temps de Séchage Plus Long: L'inconvénient majeur du vernis à base d'huile est son temps de séchage plus long, ce qui signifie que vous devrez attendre un peu plus longtemps avant de pouvoir utiliser la zone rénovée.

II.3.5. Propriétés physiques et mécaniques des vernis

Les propriétés recherchées des vernis dépendent des applications spécifiques et des exigences de performance. Cependant, certaines propriétés communes sont

Généralement recherchées dans la plupart des formulations de vernis. Voici quelques-unes de ses propriétés clés [69] :

Aspect esthétique:

L'aspect esthétique des vernis est primordial dans plusieurs usages, car il participe à l'embellissement et à l'attraction visuelle des surfaces traitées

Résistance aux rayures:

L'importance de la résistance aux rayures est primordiale pour les vernis, surtout dans les cas d'utilisation où la surface traitée peut être soumise à des frottements ou à des

chocs physiques. Une bonne résistance aux éraflures aide à préserver tant l'aspect esthétique que la fonctionnalité de la surface

Adhérence:

L'adhésion du vernis est une propriété essentielle qui détermine la force avec laquelle le revêtement se fixe à la surface sur laquelle il est appliqué. Une adhérence optimale est cruciale pour garantir la longévité et l'efficacité à long terme du vernis

II.3.6. Procédés de fabrication des vernis

Cette opération prend différents aspects suivant qu'elle se résume une simple dissolution du constituant feuillogènes dans le solvant soit à froid, soit à chaud, ou qu'on procède de une cuisson de certains des constituants feuillogènes, comme les résines dans les huiles, en opérant dans des récipients à chauffage direct ou chauffage par serpentin ou par double enveloppe pour éviter des surchauffes locales, l'appareil étant muni d'agitateurs efficaces.

Elle peut s'effectuer en atmosphère de gaz inerte pour éviter l'oxydation et le jaunissement du vernis. La solution obtenue est amenée la consistance d'emploi par addition de solvants et de diluants.

Enfin, on procède un tamisage, aune filtration ou a une centrifugation du vernis afin D'éliminer les impuretés et les constituants insuffisamment dissous [70].

II.3.7. Domaines d'application des vernis

- **Les vernis polyuréthane:**

Ils sont utilisés pour l'extérieur et l'intérieur, et se diluent avec un diluant adapté.

Les vernis glycérophtaliques:

Ils peuvent être également utilisés pour l'extérieur et l'intérieur, et se diluent au white spirit

- **Les vernis marins, les vernis montagnes**

Ils sont résistants aux conditions atmosphériques les plus difficiles comme l'atmosphère marin, le froid ou encore la neige. Les vernis marins sont en fait des résines polyuréthannes en phase aqueuse qui contiennent notamment un agent anti UV. Ils permettent de protéger efficacement les huisseries extérieures, les ponts des bateaux, les boiseries, etc.

- **Les vernis à l'eau**

Ils sont seulement utilisés pour l'intérieur et se diluent à l'eau. Ils présentent un double avantage, ils sont sans odeur et sèchent rapidement [71].

II.4. Méthodes d'application des peintures et des vernis [72]

II.4.1. Application manuelle

- **Brosse :**

L'application de pinceau est utilisée pour :

Revêtement décoratif relativement petites et complexes.

Méthode d'application lente mais : offre une bonne pénétration de la peinture.

Prévenir les pertes de peinture associées avec l'application de spray méthode.

- **Roulette :**

La technique du rouleau est appliquée pour le revêtement large et plat surfaces Cette méthode est plus rapide que l'application de brosse.

- **Bloc de peinture:**

Reposant à plat sur la surface, permettant à l'utilisateur d'éviter les éclaboussures

La plupart des tampons sont en mousse et peuvent appliquer soit du latex, soit à base d'huile peintures.

Un pad d'angle est un pad peindre en forme d'angle de 90 degrés pour permettre Peinture facile des coins.

II.4.2. Application par trempage

Le revêtement par immersion fait référence à l'immersion d'un substrat dans un réservoir.

Matériau de revêtement, retirer la pièce du réservoir, et laisser sécher.

La méthode de revêtement par immersion est rapide et efficace et fonctionne mieux avec peintures épaisses avec une forte qualité adhésive.

Le trempage est utilisé pour:

- Mobilier médical.
- Composant de transmission et de boîte de vitesse.

- Travail de fil domestique.
- Wheel chair parts Litter Boins.
- Accessoires automobile.

II.4.3. Application par pulvérisation (application mécanique)

- **Pulvérisation électrostatique :**

L'application de pulvérisation électrostatique est basé sur l'électrostatique attraction de particules atomisées chargées électriquement (soit sèches gouttes de peinture en poudre ou en liquide) sur le sol (ayant la terre pièce de travail potentielle).

Le spray électrostatique est caractérisé par un très faible sur pulvérisation

La méthode utilise au moins 95% de la peinture.

AEROSOL:

Une pulvérisation utilise de l'air comprimé pour atomiser (casse en petites gouttes) la peinture en une brume ou un fin brouillard et ensuite la peinture est livrée par un flux de l'air comprimé. La pression atmosphérique typique dans l'air le spray est de 40 50 psi.

Désavantage:

Pulvérisation inévitable

Pertes de la peinture et solvants organiques coûteux et diluants.

Pertes coûteuses Investissement dans l'équipement de sécurité Pour protéger les travailleurs exposés aux vapeurs de solvant dangereux.

- **Vaporisation sans air :**

Dans le brouillard sans air (contrairement le spray) la peinture n'est pas mélangé avec de l'air.

La peinture liquide est livrée au pistolet par une pompe hydraulique produisant une pression élevée de 300- 7000 psi.

Utilise principalement pour de grandes surfaces ou le graffiti est permis

Applicable à toutes les peintures et revêtements pour lisse et rugueux surfaces.

Moins de solvant dans les peintures pour application sans air résultats en une réduction de la pulvérisation excessive.

II.5. Les différentes étapes de séchage d'une peinture [73]

Le séchage d'une peinture se déroule en plusieurs étapes successives, permettant le passage de l'état liquide à un film solide. Ces étapes peuvent être résumées comme suit :

II.5.1. Peinture humide : La peinture humide correspond à l'état initial du produit immédiatement après son application. À ce stade, elle contient encore toute son humidité et se présente sous forme liquide sur le support.

II.5.2. Formation du film : une sorte de film sec commence souvent à se former très rapidement à la surface, surtout lorsqu'il fait très chaud. La peinture commence alors à sécher et devient mate.

II.5.3. Séchage : Après un certain temps, la peinture devient sèche en surface. Cette étape correspond à la formation d'une couche superficielle permettant un contact léger sans altération du film.

II.5.4. Résistance : À ce stade, la surface de la peinture ne présente plus de zones humides visibles. Cependant, le film n'est pas encore totalement sec en profondeur et peut être altéré par des actions mécaniques ou une humidité externe.

II.5.5. Durcissement : Le durcissement correspond à l'élimination progressive de l'humidité résiduelle et à la stabilisation des composants de la peinture. Le film acquiert alors une structure solide et cohérente.

II.5.6. Stabilité : Après durcissement, une faible quantité d'humidité peut encore s'évacuer lentement du film. Cette phase correspond à la stabilisation finale du revêtement, permettant une certaine perméabilité résiduelle du film

II.6. Paramètres affectant le temps de séchage d'une peinture**II.6.1. La température**

La température joue un rôle très important dans le séchage de la peinture. Au-dessus de 20 °C, la peinture sèche plus rapidement. Une deuxième couche peut généralement être appliquée après environ 6 heures. Après 2 à 3 jours, le film devient suffisamment résistant pour supporter des conditions climatiques telles que la pluie.



II.6.2.L'humidité

L'humidité de l'air joue un rôle important dans le temps de séchage de la peinture. Une humidité relative élevée ralentit l'évaporation de l'eau ou des solvants, ce qui prolonge la durée de séchage. En général, il est recommandé d'appliquer la peinture lorsque l'humidité relative est inférieure à 80 %, une valeur autour de 40 % étant considérée comme optimale. Lorsque l'air est saturé en humidité, la peinture reste humide plus longtemps et le séchage devient plus lent.



II.6.3.La ventilation

La ventilation joue un rôle essentiel dans le temps de séchage de la peinture. Une bonne circulation de l'air permet d'évacuer l'humidité présente dans l'environnement et de favoriser l'évaporation de l'eau ou des solvants contenus dans la peinture. Ainsi, le renouvellement de l'air accélère le processus de séchage.

En revanche, une ventilation insuffisante entraîne une accumulation de l'air humide autour de la surface peinte, ce qui ralentit l'évaporation et prolonge le temps de séchage. Cela peut également provoquer un séchage non uniforme du film de peinture.



II.6.4.Épaisseur de la couche

L'épaisseur de la couche de peinture influence directement le temps de séchage. Une couche mince sèche plus rapidement qu'une couche épaisse, car l'évaporation des solvants ou de l'eau y est plus facile. En revanche, une couche épaisse ralentit ce processus, ce qui prolonge la durée de séchage et peut affecter la formation du film.



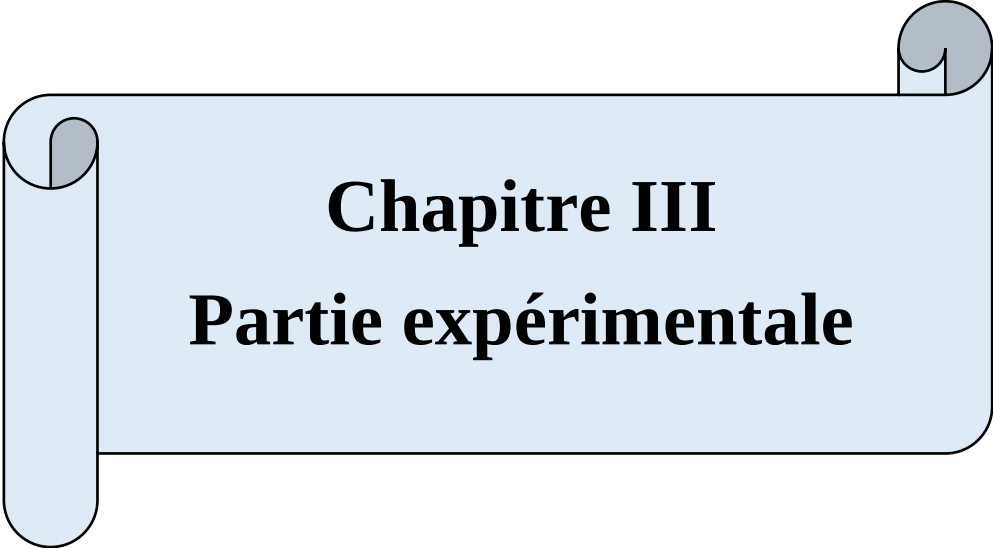
II.6.5.L'humidité du bois

La teneur en humidité du bois peut également affecter le temps de séchage d'une peinture à l'eau. Lorsque le bois a une teneur élevée en humidité, l'humidité peut rester sous la couche de peinture, ce qui fait que la peinture reste humide plus longtemps et sèche lentement ou de manière inégale. Dans certains cas, l'humidité peut même migrer à travers la couche de peinture, entraînant des problèmes tels que la décoloration.



II.7.Conclusion

Les peintures et les vernis jouent un rôle crucial dans la protection et l'embellissement des surfaces. Ils participent à l'amélioration de l'aspect esthétique des matériaux tout en garantissant leur robustesse face à des agressions externes comme la corrosion, l'humidité et les substances chimiques. De plus, l'avancement technologique a rendu possible la création de produits plus efficaces et davantage soucieux de l'environnement. Par conséquent, leur emploi reste essentiel dans divers secteurs, combinant sécurité, pérennité et excellence.



Chapitre III

Partie expérimentale

III.1.Introduction

Ce chapitre présente les équipements et les produits chimiques utilisés, ainsi qu'une description des méthodes expérimentales adoptées pour la préparation des milieux corrosifs appliqués aux échantillons et l'étude des effets de leur influence en présence et en absence d'additifs.

Cette partie expérimentale a été réalisée au niveau des laboratoires de pétrochimie d'Université de Skikda.

III.2. Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail est l'élaboration d'un revêtement écologique à partir d'une huile lubrifiante régénérée, en utilisant l'acide sulfurique (H_2SO_4). Cette étude vise également à évaluer sa résistance dans des milieux corrosifs acides (H_2SO_4) et salins ($NaCl$) à différentes concentrations au cours du temps, à travers son application sur des échantillons métalliques préalablement préparés.

III.3.Matériel et produits utilisés

Tableau III.1 : tableau du matériel, des appareils et des produits utilisés.

Matériels	Produits	Appareillages
• Bécher. • Fiole jaugée de 1000ml. • Fiole jaugée de 500ml. • Burette. • Eprouvette graduée. • Balance analytique. • Pinceau. • Fil.	• acide sulfurique(H_2SO_4). M=98,08g/mol. Odeur: inodore. Densité : 1,84 g/cm^3 Pureté:95-97. • chlorure de sodium ($NaCl$). M=58,44g/mole.	• Centrifugeuse. • Pompe à vide. • Haute chimique. • Plaque chauffante. • Viscosimètre à capillaire d'Ubblohde. • Testeur de point d'éclair HFP de

• Papier filtre. • Ampoule à décanter. • Thermomètre. • Barreau magnétique. • Tige de récupération de barreau.	Odeur: inodore. Densité=2,16 g/cm³ • Eau distillée. • Huile neuve. • Huile régénérée. • Echantillon en acier. • Vernis.	type Cleveland Open Cup. • Testeur de point d'écoulement. • Colorimètre comparatif. • Agitateur. • Balance analytique.
--	--	--

III.4.Préparation des échantillons métalliques

Les échantillons métalliques ont été préparés au niveau du laboratoire du département de génie mécanique. Après le découpage, les échantillons ont subi une opération de polissage afin d'éliminer la couche corrodée et les irrégularités présentes à leur surface. Le polissage a été effectué à l'aide d'une machine de polissage et de papier abrasif vert. Après le polissage, les échantillons ont été nettoyés à l'eau distillée afin d'éliminer les impuretés et les résidus présents sur leur surface, puis séchés pour éliminer toute trace d'humidité.

Enfin, les échantillons ont été pesés à l'aide d'une balance analytique, puis leurs dimensions et leur surface ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse.

Quatre échantillons métalliques ont été utilisés.

Leur surface a été calculée à partir de la formule suivant :

$$S=2 \times [(L \times l) + (L \times e) + (l \times e)]$$

Les résultats des calculs sont présentés ci –dessous.

Tableau III.2 : Résultats de la surface des échantillons métallique.

L'échantillon	1	2	3	4
Surface (Cm2)	3440,564372	3424,206154	3422,893698	3405,535672

III.5. Régénération des huiles usagées

L'élaboration du procédé de traitement de l'huile se fait en trois parties :

Le prétraitement, le traitement à l'acide sulfurique et la fin du traitement.

III.5.1. Le prétraitement

Avant de commencer le traitement à l'acide sulfurique, il faut faire un prétraitement de L'huile usagée qui est résumé dans les deux étapes suivantes :

- **La filtration** : c'est une opération qui se fait à l'aide d'un Buchner muni d'un papier filtre Et d'une pompe à vide pour accélérer le phénomène de filtration. Elle est pour raison D'éliminer les impuretés métalliques, le sable, la poussière, etc. Donc, éliminer les Contaminants physiques.



Figure III.1: Processus de filtration

- **La centrifugation** : après la filtration, l'huile est centrifugée à une vitesse de 1500 tr/min Pendant 10 minutes. La centrifugation a aussi révélé l'absence de contamination Physique et celle de l'humidité. Et donc cela compense l'étape de la distillation.



Figure III.2: Centrifugeuse

III.5.2. Le traitement à l'acide

Dans cette étape, on a obtenu les ratios ($V_{H_2SO_4}/V_{Huile}$) suivants comme suit : 1/10, 1/20, 1/50 et 1/100. On prend différentes manipulations de volume : 250 ml d'huile Usagée avec certains volumes de l'acide sulfurique H_2SO_4 concentré à 97 %. Le Mélange huile-acide se place dans un bécher sous agitation et en maintenant la Température constante à 25 °C. Après le traitement, on laisse le mélange reposer pendant 24 heures dans une ampoule à décanté.

III.5.3. La fin du traitement

Après le traitement à l'acide sulfurique, on procède à la neutralisation de l'acide qui Reste par le mélange de 50 ml de solution NaOH de concentration 10 %. En plaçant le Mélange dans un bécher sous agitation pendant 15 min.



Figure III.3: huile après la régénération



Figure III.4: huile avant la régénération

III.6.Préparation des revêtements

L'application des revêtements a été réalisée soigneusement à l'aide d'un Pinceau, tout en veillant à obtenir une couche régulière, mince et uniforme sur l'ensemble de la surface des échantillons métalliques.

Dans un premier temps, un vernis a été appliqué sur les échantillons métalliques afin d'assurer une protection initiale contre les effets du milieu corrosif.

Par la suite, les revêtements ont été préparés en utilisant un volume fixe de 5 ml de vernis mélangé à différents volumes d'huile régénérée : 1 ml, 2 ml, 3 ml et 5 ml. Chaque échantillon métallique a été recouvert d'une formulation différente afin d'étudier l'influence de l'huile régénérée sur la résistance à la corrosion.

Une seconde série de revêtements a également été préparée en utilisant toujours un volume constant de 5 ml de vernis associé à différents volumes d'huile neuve : 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml et 5 ml. Chaque formulation a été appliquée séparément sur les échantillons afin de comparer l'efficacité protectrice des différents revêtements élaborés.

III.7.Séchage des revêtements

Après l'application des différents revêtements sur les échantillons métalliques,

Les échantillons ont été laissés à sécher à température ambiante pendant une durée déterminée afin d'assurer une bonne adhérence du revêtement à la surface métallique. Les échantillons ont été placés dans un endroit propre et sec, à l'abri de la poussière et de l'humidité, afin d'éviter toute contamination de la surface revêtue. Durant cette étape, le revêtement appliqué a progressivement durci jusqu'à la formation d'un film protecteur continu et homogène.

Cette opération de séchage est importante car elle permet de stabiliser le revêtement, d'améliorer son adhérence au métal et d'assurer une meilleure résistance des échantillons lors de leur immersion dans le milieu corrosif.

III.8.Préparation des milieux corrosifs

❖ La solution NaCl

Deux solutions de concentrations différentes ont été préparées.



Figure III.5 : Le chlorure de sodium.

La concentration massique est définie par la relation suivante :

$$C (\%) = (m \div v) \times 100$$

$$M = (c \times v) \div 100$$

V= le volume de la solution est 500 ml

➤ **solution de concentration 3% de NaCl**

$$m = (3 \times 500) \div 100 \rightarrow m = 15 \text{ g}$$

➤ **solution de concentration 5% de NaCl**

$$m = (5 \times 500) \div 100 \rightarrow m = 25 \text{ g}$$

❖ La solution de l'acide sulfurique H₂SO₄

3 solutions d'acide sulfurique (H₂SO₄) de concentrations différentes ont été préparées.

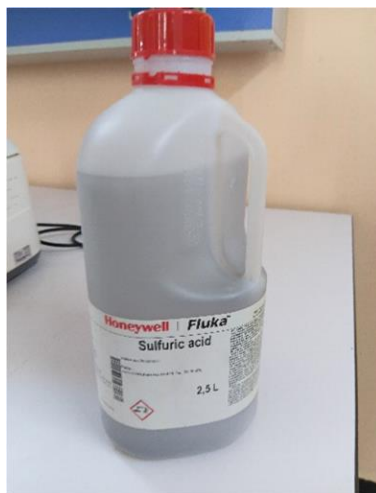


Figure III.6: L'acide sulfurique.

Le volume de chaque solution est calculé à l'aide de la relation suivante :

➤ **Solution de concentration 1 % d' H_2SO_4**

$$V(\text{solutions}) = V(\text{soluté}) + V(\text{solvant})$$

$$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.84$$

H_2SO_4 97 %

$$1/1.84=0.54$$

↘ ↗

1%

H_2O 0% ↗

↘ $96/1=96$

$$V(\text{solutions}) = 0.54 + 96 = 96.54 \text{ ml}$$

$$0.54 \rightarrow 96.54$$

$$V \rightarrow 1000 \text{ ml}$$

$$V=5.59 \text{ ml}$$

➤ Solution de concentration 3% d'H₂SO₄

H₂SO₄ 97 % 3/1.84=1.63

↘ ↗

3%

H₂O 0% ↗ ↘ 94/1=94

$$V(\text{solutions}) = 1.63 + 94 = 95.63 \text{ ml}$$

$$1.63 \rightarrow = 95.63$$

$$V \rightarrow 1000 \text{ ml}$$

$$V = 17.04 \text{ ml}$$

➤ Solution de concentration 5% d'H₂SO₄

H₂SO₄ 97 % 5/1.84=2.71

↘ ↗

5%

H₂O 0% ↗ ↘ 92/1=92

$$V(\text{solutions}) = 2.71 + 92 = 94.71 \text{ ml}$$

$$2.71 \rightarrow = 94.71$$

$$V \rightarrow 1000 \text{ ml}$$

$$V = 28.04 \text{ ml}$$



Figure III.7: Les solutions préparées

III.9. Consignes de sécurité

- ✓ Porter une blouse de laboratoire, des gants de protection et des lunettes de sécurité lors de la préparation des solutions et de la manipulation des échantillons métalliques.
- ✓ Utiliser une hotte (hotte aspirante) lors de la préparation des solutions d'acide sulfurique (H_2SO_4) afin d'éviter l'inhalation des vapeurs corrosives.
- ✓ Respecter strictement la règle de sécurité : toujours verser l'acide dans l'eau et jamais l'inverse, afin d'éviter les projections dangereuses.
- ✓ Travailler avec prudence en évitant tout contact direct avec les acides et en nettoyant immédiatement toute éclaboussure.
- ✓ Étiqueter correctement toutes les solutions préparées pour éviter toute confusion.

III.10. Méthode d'évaluation de la corrosion

III.10.1. Méthode gravimétrique

III.10.1.1 Principe

La méthode gravimétrique consiste à évaluer la corrosion d'un métal en mesurant sa perte de masse après exposition à un milieu corrosif pendant un temps déterminé. L'échantillon est pesé avant et après immersion, puis la différence de masse permet de

quantifier l'attaque corrosive. Cette méthode simple permet de déterminer la vitesse de corrosion et de comparer l'efficacité des différents revêtements.

La vitesse de corrosion :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{t.s}$$

III.10.1.2.Procédés expérimental

Le procédé expérimental adopté dans cette étude repose sur une série d'étapes visant à évaluer le comportement à la corrosion des échantillons métalliques revêtus.

Dans un premier temps, les échantillons sont revêtus manuellement à l'aide d'un pinceau, en appliquant une couche uniforme de vernis seul ou d'un mélange vernis/huile. Les échantillons sont ensuite laissés à sécher à température ambiante afin de permettre la formation d'un film protecteur homogène et stable.

Par la suite, les échantillons sont immergés dans différents milieux corrosifs, à savoir une solution de chlorure de sodium (NaCl) et une solution d'acide sulfurique (H₂SO₄). L'exposition est réalisée pour différentes durées (1 h, 3 h, 5 h, 7 h et 9 h) afin d'étudier l'évolution de la corrosion en fonction du temps.

À chaque intervalle de temps, les échantillons sont retirés, soigneusement rincés et séchés, puis pesés avec précision. La comparaison entre la masse initiale et la masse finale permet de déterminer la perte de masse et d'évaluer la vitesse de corrosion.



Figure III.8 : Les échantillons immergés dans les solutions.



Figure III.9: Pesée des échantillons

- De plus, l'effet de la température a été étudié en exposant les échantillons à une température de 60°C dans des solutions de chlorure de sodium (NaCl) et d'acide sulfurique (H_2SO_4) pendant différentes durées (1 h, 2 h, 3 h et 5 h), afin d'évaluer l'influence de la chaleur sur le comportement de corrosion.

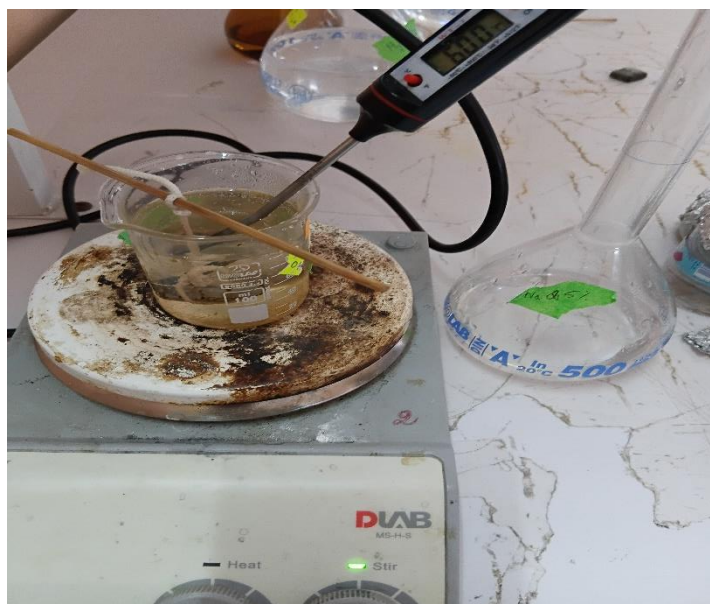


Figure III.10 : Effet de la température dans une solution H_2SO_4

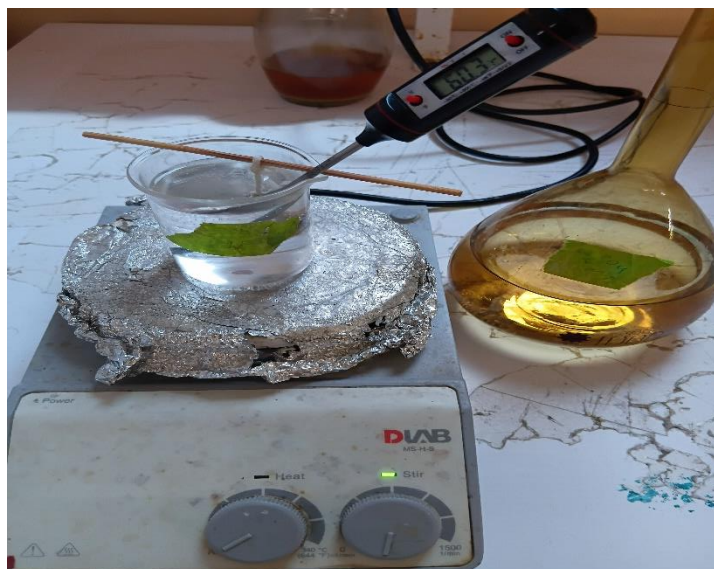


Figure III.11 : Effet de la température dans une solution NaCl

III.11. Résultats expérimentaux

III.11.1. Partie de la régénération

III.11.1.2. Effet du ratio sur le volume de la boue

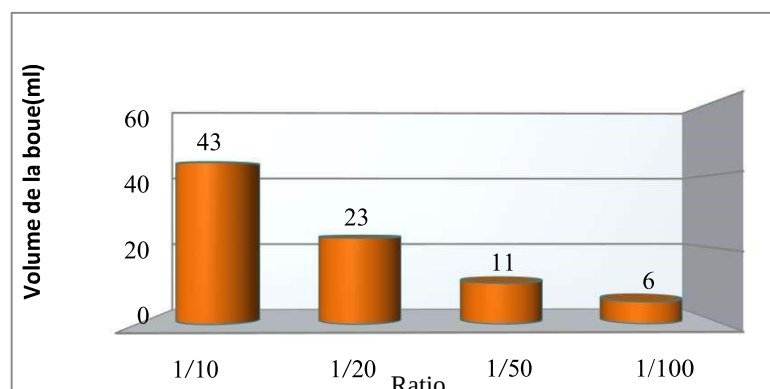


Figure III.12 : variation du volume de boues

III.11.1.3. Effet du ratio sur la viscosité

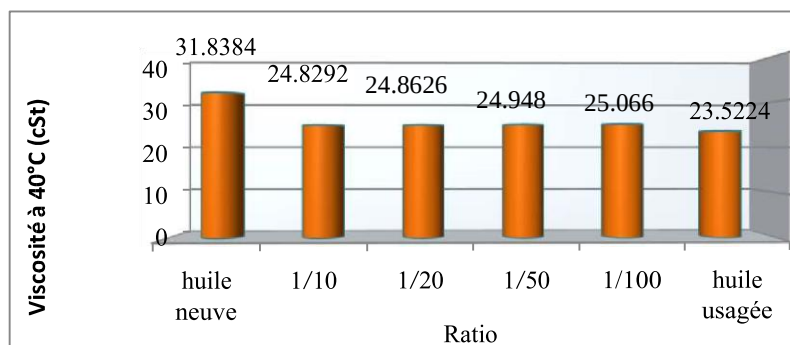


Figure III.13 : Effet du ratio V H₂SO₄ /V huile sur la viscosité

III.11.1.4. Effet du ratio sur l'indice de viscosité

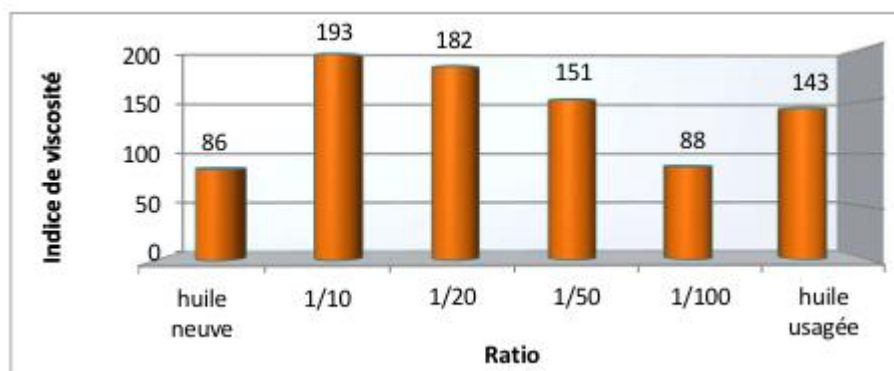


Figure III.14 : Effet du ratio V H₂SO₄ /V huile sur l'indice de la viscosité

III.11.1.5. Effet du ratio sur le point d'écoulement

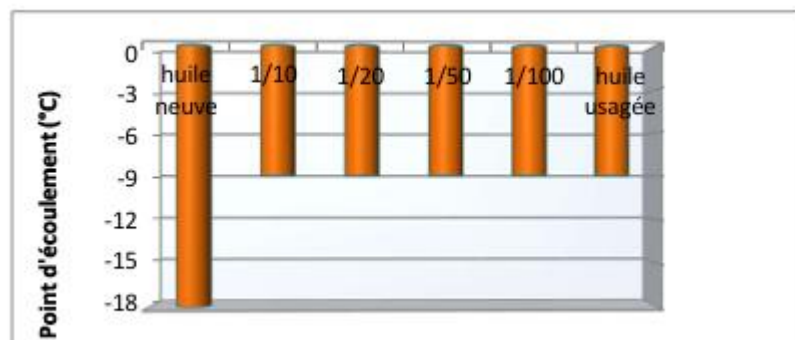


Figure III.15: Effet du ratio V H₂SO₄ /V huile sur le point d'écoulements

III.11.1.6. Effet du ratio sur le point d'éclair

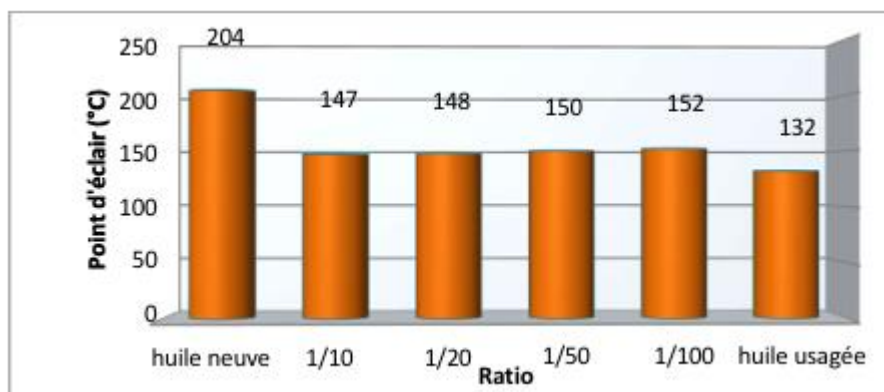


Figure III.16 : Effet du ratio V H₂SO₄ /V huile sur le point d'éclair

III.11.2.Partie du revêtement

III.11.2.1.Revetement par vernis

Tableau III.3: Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis dans un milieu corrosif acide H₂SO₄

H ₂ SO ₄	1% (10 ⁻⁷)	3% (10 ⁻⁷)	5% (10 ⁻⁶)
1h	1.5548	5.02499	5.52816
3h	4.09463	4.22339	2.02971

5h	3.84993	3.50581	1.57367
7h	2.92381	3.24287	1.54626
9h	2.84504	2.11283	1.21411

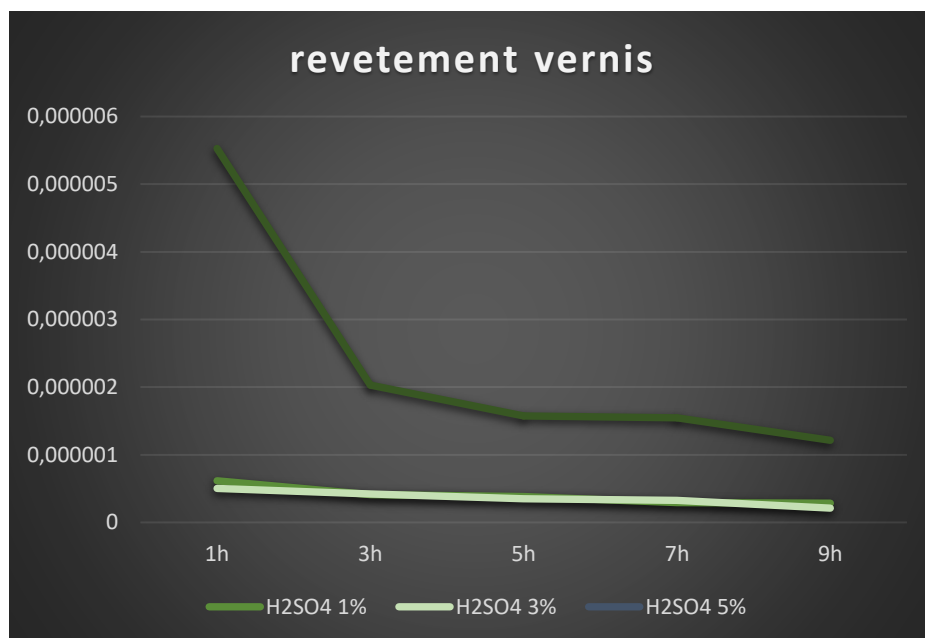


Figure III.17 : Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis dans un milieu acide (H₂SO₄).

Tableau III.4: Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis dans un milieu corrosif salin NaCL

NaCl	3% (10 ⁻⁶)	5% (10 ⁻⁶)
1h	5.52816	8.53195
3h	2.02971	5.46552
5h	1.57367	4.55242
7h	1.54626	3.77564
9h	1.21411	3.38765

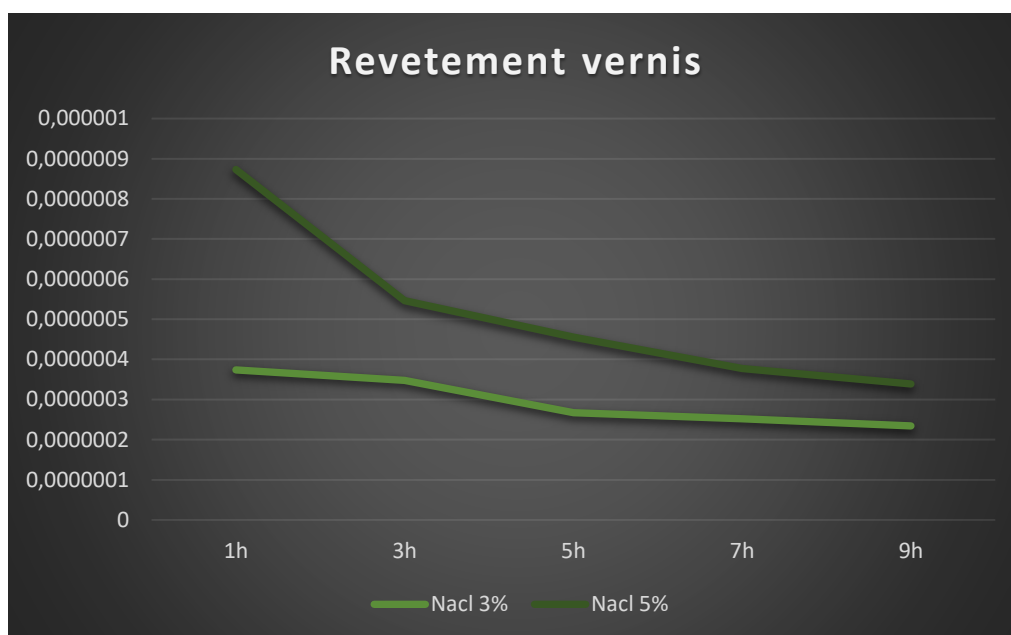


Figure III.18 : Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis dans un milieu salin (NaCl).

III.11.2.2.Revetement par vernis et huile traitée

Tableau III.5: Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu corrosif acide H₂SO₄

5% H ₂ SO ₄	1ml(10^{-7})	2ml(10^{-7})	3ml(10^{-7})	4ml(10^{-7})	5ml(10^{-7})
1h	2.90649	6.33720	1.76184	3.33720	1.45325
3h	2.71273	5.64822	1.076668	0.274946	0.794443
5h	0.302276	2.4723	0.8016360	0.150944	0.674308
7h	0.155013	0.729461	0.508835	0.1348065	0.560539
9h	0.128301	0.687852	0.230800	0.133220	0.522396

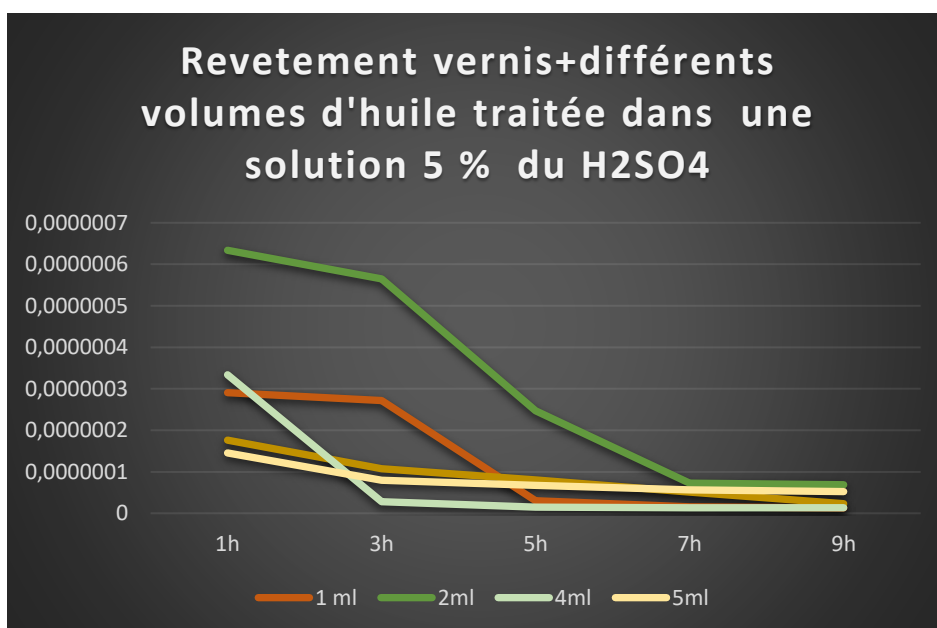


Figure III.19: Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu acide (H₂SO₄)

Tableau III.6 : Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu corrosif salin NaCl

NaCl	5ml 3% (10^{-7})	5ml 5% (10^{-6})
1h	10.93802	2.80766
3h	6.86529	2.28958
5h	5.588994	1.95999
7h	5.14289	1.65099
9h	4.31324	1.37162

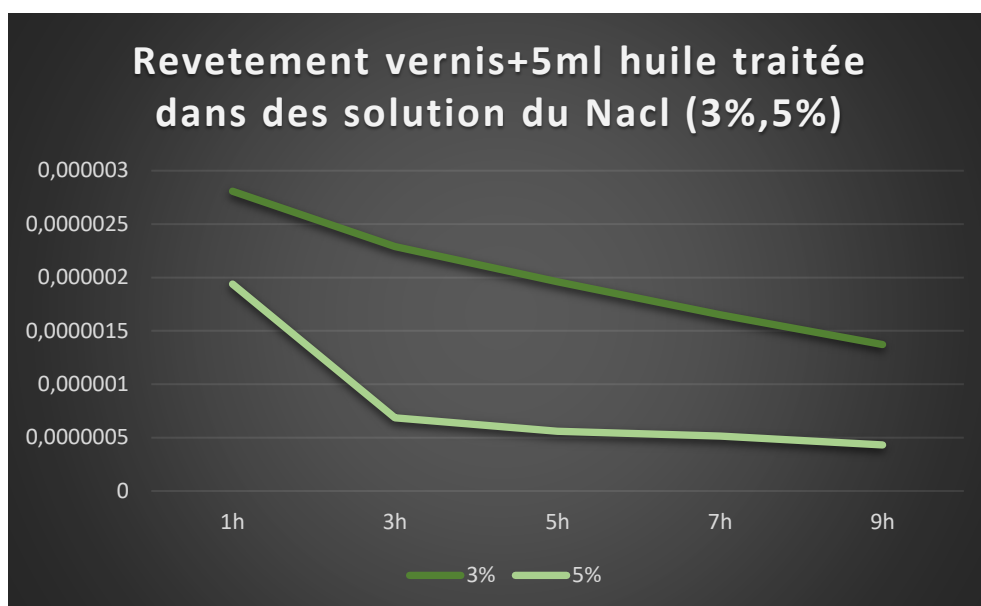


Figure III.20 : Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile traitée dans un milieu salin (NaCl).

III.11.2.3.Revetement par vernis et huile neuve

Tableau III.7 : vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu corrosif acide H₂SO₄

5% H ₂ SO ₄	1ml(10 ⁻⁷)	2ml(10 ⁻⁷)	3ml(10 ⁻⁷)	4ml(10 ⁻⁷)	5ml(10 ⁻⁷)
1h	5.87279	5.95987	4.49269	7.84755	10.82886
3h	0.773251	4.23034	2.835253	0.151784	6.54417
5h	0.540297	3.6453	2.41623	0.138931	4.33551
7h	0.250572	3.48911	1.72269	0.135673	3.468243
9h	0.161082	2.74621	1.16869	0.124979	2.76244

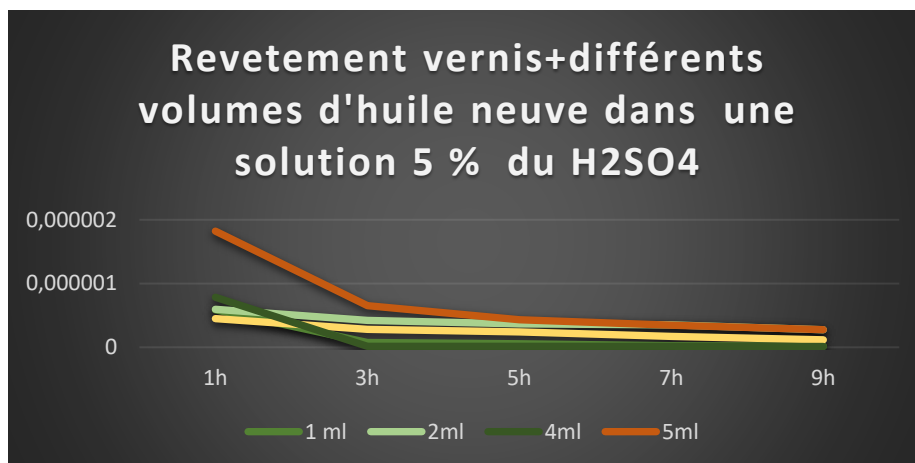


Figure III.21 : Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu acide (H₂SO₄).

Tableau III.8: vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu corrosif salin NaCL

NaCl	5ml 3%(10 ⁻⁷)	5ml 5%(10 ⁻⁶)
1h	30.04129	10.06197
3h	10.28644	3.61195
5h	8.82879	2.42134
7h	7.09926	1.72995
9h	6.39809	1.36077

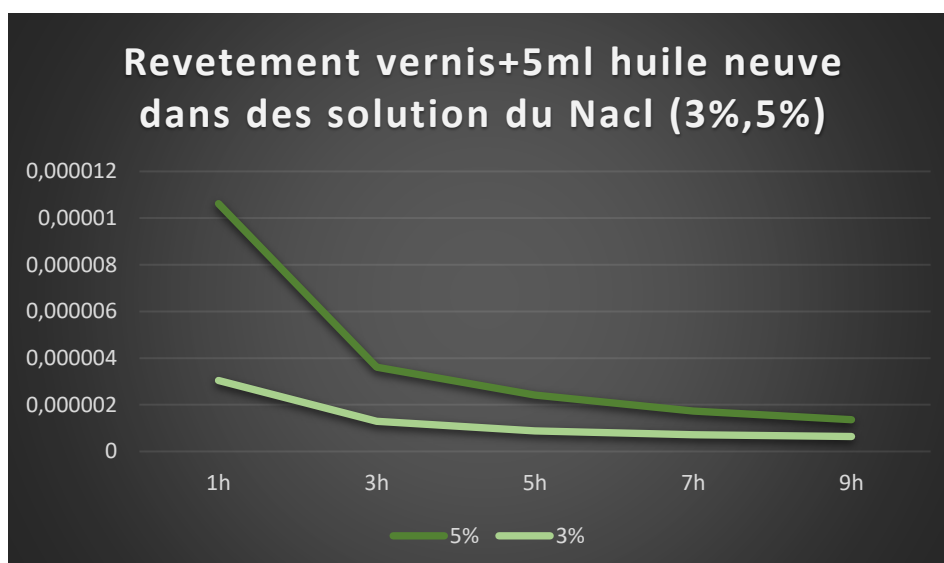


Figure III.22 : Courbe de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus de vernis et d'huile neuve dans un milieu salin (NaCl).

Tableau III.9: Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile traitée dans les milieux corrosifs sur l'effet de température

Temps	H2SO4 5%	NaCl 5%
1h	$0,766399 \times 10^{-6}$	$2,82801 \times 10^{-6}$
3h	$5,14554 \times 10^{-6}$	$2,08206 \times 10^{-6}$
5h	$4,55787 \times 10^{-6}$	$1,13880 \times 10^{-6}$

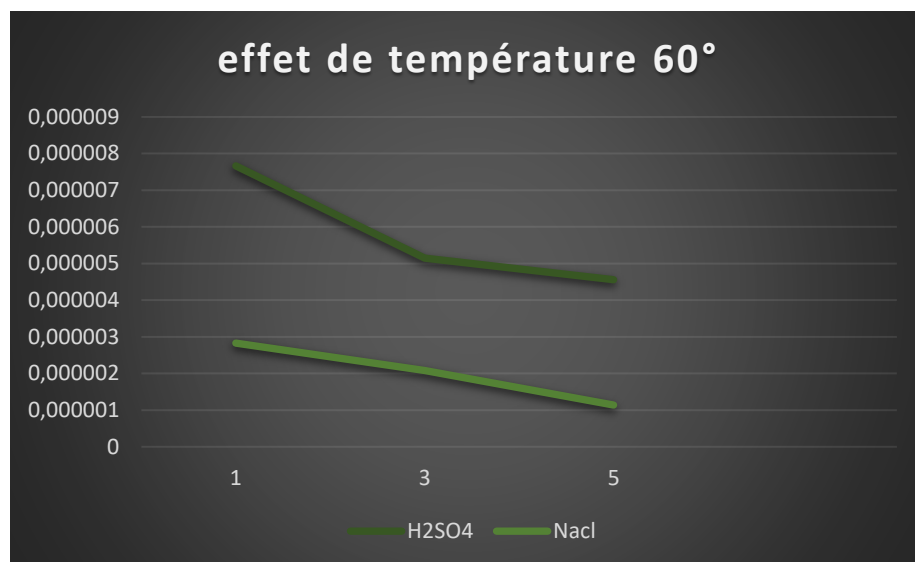


Figure III.23 : Courbe de la Vitesses de corrosion des échantillons métallique revêtus de vernis et d'huile traitée dans les milieux corrosifs sur l'effet de température.

III.12.Discussion des résultats

III.12.1.Partie de la régénération

➤ Effet de la variation du ratio $V_{H_2SO_4} / V_{huile}$ sur l'efficacité du traitement

En industrie, La quantité d'acide nécessaire à traiter un certain volume d'huile usagée est très important. Afin d'évaluer son effet, le ratio V_{Acide} / V_{huile} a été

varié, les valeurs choisies dans le présent travail sont: 1/10, 1/20, 1/50 et 1/100 à 30°C. Les analyses ont montré qu'il y a un changement chaque fois que le volume d'acide change.

➤ **Effet du ratio sur le volume de la boue**

D'après les résultats de la quantification de la boue, on remarque une diminution continue chaque fois que le volume d'acide diminue (le ratio augmente). Ces boues se composent généralement d'acide sulfurique utilisé dans les essais de la régénération et des impuretés de la boue nous renseignent sur l'efficacité de l'acide et le volume optimal pour une régénération idéale. La figure III.13 montre que la valeur 1/10 est la valeur optimale pour une purification d'huile usagée. Alors on prend cette valeur pour les essais suivants.

➤ **Effet du ratio sur la viscosité**

La figure III.13 montre que la viscosité à 40°C de l'huile traitée se situe entre la viscosité de l'huile neuve et usagée, ce qui indique qu'après le traitement, l'huile a repris sa viscosité.

On remarque que la viscosité est inversement proportionnelle au volume de l'acide (proportionnelle au ratio). En général la diminution de la viscosité peut être causée par dilution de l'huile avec du carburant léger.

➤ **Effet du ratio sur l'indice de viscosité**

D'après les résultats, on remarque que l'indice de viscosité diminue avec la diminution du volume de l'acide donc il est inversement proportionnel au ratio.

➤ **Effet du ratio sur le point d'écoulements**

La figure III.15 montre que les valeurs de points d'écoulement pour tous les ratios sont les mêmes que celle de l'huile usagée, ce qui signifie que le traitement par acide sulfurique, quel que soit le volume de l'acide ajouté, a aucun effet sur le point d'écoulement de l'huile 10w40

➤ **Effet du ratio sur le point d'éclair**

D'après l'histogramme, on remarque que le point d'éclair de l'huile traitée s'est rétabli par rapport à celui de l'huile usagée. On observe aussi que le point d'éclair augmente avec l'augmentation du ratio, ce qui signifie qu'il est inversement

proportionnel au volume de l'acide. Chaque fois que le volume de l'acide diminue, le point d'éclair augment.

III.12.2.Partie du revêtement

➤ Analyse de la variation de masse des échantillons vernis

Les résultats obtenus permettent d'évaluer l'influence de la concentration du milieu corrosif, du temps d'exposition ainsi que de la présence d'huile (neuve ou traitée) sur la variation de masse des échantillons protégés par un vernis.

➤ Effet de la concentration de H_2SO_4 sur les échantillons vernis

Les valeurs montrent que la variation de masse est fortement influencée par la concentration d'acide sulfurique.

- Après 1 h d'exposition, la variation de masse augmente avec la concentration d'acide :
 - 1 % : $1,55 \times 10^{-7}$
 - 3 % : $5,02 \times 10^{-7}$
 - 5 % : $5,53 \times 10^{-6}$
- La concentration de 5 % produit la plus forte attaque initiale, ce qui traduit une dissolution rapide des espèces superficielles du revêtement.
- Pour toutes les concentrations, une diminution progressive de la variation de masse est observée entre 1 h et 9 h.

Cette diminution peut être attribuée à la formation d'une couche de produits de corrosion ou à la stabilisation du système vernis/métal qui ralentit progressivement les échanges avec le milieu corrosif.

À 9 h :

- 1 % : $2,85 \times 10^{-7}$
- 3 % : $2,11 \times 10^{-7}$

- 5 % : $1,21 \times 10^{-6}$

Même après 9 h, la solution à 5 % reste la plus agressive.

➤ **Effet de la concentration de NaCl sur les échantillons vernis**

La comparaison entre 3 % et 5 % de NaCl montre également une influence importante de la concentration saline.

À 1 h :

- 3 % : $5,53 \times 10^{-6}$
- 5 % : $8,53 \times 10^{-6}$

La solution à 5 % provoque une variation de masse supérieure d'environ 54 %.

Une diminution régulière est observée au cours du temps :

Tableau III.10: Effet de la concentration de NaCl sur les échantillons vernis.

Temps (h)	NaCl 3%	NaCl 5%
1	$5,53 \times 10^{-6}$	$8,53 \times 10^{-6}$
9	$1,21 \times 10^{-6}$	$3,39 \times 10^{-6}$

La présence des ions chlorure favorise la dégradation du film protecteur et accélère les phénomènes de corrosion localisée.

➤ **Effet de l'huile traitée dans H₂SO₄ 5 %**

L'ajout d'huile traitée modifie significativement le comportement du système.

Les résultats indiquent que :

- Les plus faibles variations de masse sont observées pour les dosages de 4 ml et 5 ml.
- La concentration de 2 ml présente les valeurs les plus élevées durant toute l'expérience.

- Après 9 h :

Tableau III.11: La variation de la masse des échantillons dans les différents volumes d'huile traitée

Volume d'huile traitée	Variation de masse
1 ml	$0,128 \times 10^{-7}$
2 ml	$0,688 \times 10^{-7}$
3 ml	$0,231 \times 10^{-7}$
4 ml	$0,133 \times 10^{-7}$
5 ml	$0,522 \times 10^{-7}$

Les faibles valeurs obtenues avec 4 ml suggèrent une meilleure couverture de la surface et une amélioration de la protection contre l'attaque acide.

➤ **Effet de l'huile neuve dans H₂SO₄ 5 %**

Les échantillons contenant de l'huile neuve présentent généralement des variations de masse plus importantes que ceux contenant de l'huile traitée.

À 1 h :

- **1 ml :** $5,87 \times 10^{-7}$
- **5 ml :** $10,83 \times 10^{-7}$

Après 9 h :

- **4 ml :** $0,125 \times 10^{-7}$ (meilleure performance)
- **5 ml :** $2,76 \times 10^{-7}$

Le dosage de 4 ml apparaît comme le plus efficace pour limiter la dégradation du système vernis-acier dans le milieu sulfurique.

➤ **Effet de l'huile traitée dans NaCl**

Pour les systèmes contenant du vernis et de l'huile traitée :

Tableau III.12: Dégradation de la masse des échantillons dans les solutions NaCl 3% et 5%

Temps (h)	3 % NaCl	5 % NaCl
1h	$10,94 \times 10^{-7}$	$2,81 \times 10^{-6}$
9h	$4,31 \times 10^{-7}$	$1,37 \times 10^{-6}$

Une diminution continue est observée avec le temps.

La concentration saline élevée demeure la plus agressive, malgré l'effet protecteur apporté par l'huile traitée.

➤ **Effet de l'huile neuve dans NaCl**

Les valeurs obtenues sont les plus élevées de l'ensemble des essais.

À 1 h :

- 3 % NaCl : $30,04 \times 10^{-7}$
- 5 % NaCl : $10,06 \times 10^{-6}$

Après 9 h :

- 3 % NaCl : $6,40 \times 10^{-7}$
- 5 % NaCl : $1,36 \times 10^{-6}$

Ces résultats indiquent que l'huile neuve offre une protection moins efficace que l'huile traitée dans les milieux chlorurés.

➤ **Effet de température sur les échantillons métallique**

Les résultats obtenus montrent l'évolution de la vitesse de corrosion des échantillons métalliques revêtus d'un vernis contenant de l'huile traitée, exposés à une température de 60 °C dans des milieux corrosifs de H₂SO₄ 5 % et de NaCl 5 %.

Dans le milieu H₂SO₄ 5 %, la vitesse de corrosion est de $0,766399 \times 10^{-6}$ après 1 heure, puis augmente fortement à $5,14554 \times 10^{-6}$ après 3 heures, avant de diminuer légèrement à $4,55787 \times 10^{-6}$ après 5 heures. Cette évolution peut être attribuée à la forte agressivité de l'acide sulfurique qui favorise la dégradation progressive du revêtement protecteur sous l'effet de la température. La légère diminution observée après 5 heures pourrait être liée à la formation d'une couche de produits de corrosion jouant un rôle de barrière partielle et ralentissant les réactions corrosives.

Dans le milieu NaCl 5 %, la vitesse de corrosion diminue progressivement de $2,82801 \times 10^{-6}$ à $2,08206 \times 10^{-6}$, puis à $1,13880 \times 10^{-6}$ entre 1 heure et 5 heures d'exposition. Cette diminution traduit une stabilisation du système, probablement due à la bonne adhérence du revêtement et à la formation d'un film protecteur limitant les échanges entre le métal et le milieu corrosif.

En comparant les deux milieux, il apparaît que le milieu acide (H_2SO_4 5 %) est plus agressif que le milieu salin (NaCl 5 %), ce qui se traduit par des vitesses de corrosion plus élevées après une exposition prolongée. Ces résultats montrent que le revêtement à base de vernis et d'huile traitée offre une meilleure protection dans le milieu salin que dans le milieu acide.

Par ailleurs, les résultats indiquent également que le milieu salin devient plus actif à température élevée. En effet, l'augmentation de la température favorise la mobilité des ions chlorure (Cl^-) et accélère les réactions électrochimiques responsables de la corrosion, ce qui augmente le pouvoir corrosif du milieu. Malgré cet effet, le revêtement à base de vernis et d'huile traitée conserve une bonne efficacité protectrice, comme le montre la diminution progressive de la vitesse de corrosion avec le temps d'exposition. Cela met en évidence la capacité du revêtement à résister aux conditions thermiques sévères et à assurer une protection durable du substrat métallique.

III.13.Conclusion

L'analyse des variations de masse montre que :

- L'augmentation de la concentration en H_2SO_4 ou en NaCl accroît l'agressivité du milieu et favorise la dégradation du système vernis-métal.
- La variation de masse diminue généralement avec le temps, traduisant une stabilisation progressive des phénomènes de corrosion.
- Les formulations contenant de l'huile traitée présentent globalement de meilleures performances protectrices que celles contenant de l'huile neuve.
- Dans le milieu sulfurique, le dosage de 4 ml d'huile traitée ou neuve procure la meilleure résistance à la dégradation.
- Les milieux chlorurés restent plus sévères que les milieux acides en raison de l'action pénétrante des ions chlorure sur le film de vernis.

- L'association vernis + huile traitée constitue la configuration la plus efficace pour réduire la variation de masse et améliorer la résistance à la corrosion des échantillons en acier C1020

Conclusion générale

Ce travail a permis de démontrer qu'il est possible de valoriser les huiles lubrifiantes usagées grâce à un procédé de régénération, puis de les intégrer dans la formulation d'un vernis anticorrosion. Les différents essais physicochimiques ont montré une amélioration des propriétés de l'huile après traitement, tandis que les essais de corrosion ont mis en évidence l'efficacité protectrice des revêtements formulés à partir de l'huile régénérée.

Les résultats obtenus confirment que cette approche constitue une solution prometteuse, à la fois sur le plan environnemental et économique, en contribuant à la réduction des déchets dangereux et à la préservation des ressources. Ainsi, la régénération des huiles usagées et leur réutilisation dans les revêtements de protection représentent une alternative durable pour la lutte contre la corrosion.

Enfin, ce travail ouvre des perspectives pour des recherches futures visant à optimiser le procédé de régénération, améliorer les performances des revêtements et évaluer leur comportement dans des conditions industrielles réelles.

Références

[1] Caractérisation physico-chimique d'une huile moteur usagée et possibilité de récupération.

Extrait du portail Algérien des ENERGIES RENOUVLABLES. Le recyclage des huiles industrielles usagées : Une activité inexploitée en Algérie. Mai 2015.

[2] Hidayat, IZZA. Thèse doctorat. Contribution à l'étude de l'extraction par solvant des aromatiques en vue de l'obtention des huiles lubrifiantes. Université KasdiMarbah de OUARGLA : 10/01/2017.

[3] Groupe permanent d'étude des marchés de produits divers de l'industrie chimique et parachimique, France. Lubrifiants et produits connexes pour l'automobile. Guide pratique à l'attention des acheteurs publics de lubrifiants et de produits connexes pour véhicule terrestre à moteur thermiques: Collection marchés publics, Edition 2000.

[4] Mr. ADJIR Mohand Said, Mr. BENKEZIM Rachid. Raffinage du pétrole et caractérisation d'un sous-produit « huile moteur commerciale pour véhicules lourds de type diesel ». Mémoire de Master. Université A. MIRA – BEJAIA. 2017-2018.

[5] Ministère de l'économie des finances et de l'industrie,. Lubrifiant et produits connexes pour l'automobile : Direction des affaires juridiques, 2000.

[6] ANFA, Sélectionner son huile motrice. Innovauto.org. 02 septembre 2010.

[7] Technique de l'ingénieur. Lubrifiants-l'huile de base

[8] Ayel. J, Born. M. Lubrifiants et fluides pour l'automobile. Paris : ÉDITION TECHNIP. Année 1998. Pp 43,80.

[9] Wauquier J.-P. Pétrole brute produits pétroliers schémas de fabrication. Paris: ÉDITION TECHNIP. Année 1994. Pp 285-291.

[10] Technologue Pro. Lubrification Graissage des systèmes mécanique. 28 mai 2019.

Références

- [11] GIRAUD, L. (2000), Modèle prédictif pour le développement d'un système embarqué de vidange des lubrifiants pour transmission, thèse de Doctorat, université de QUEBEC.
- [12] Pirro .D. A. W Lubrication fundamentals 2001.
- [13] Born .M, et al, lubrification et fluides pour l'automobile, paris : technip , 1998.
- [14] castrol, ABC de graissage – structure, utilisation et proparite des lubrifiants 2006.
- [15] benssada , f : maintenance industrielle , office de publication universitaires 2002.
- [16] .MohellebiF ,Harbi N , Hadjoudj.R ,Bouchekhhou,A, Chitour .C .E., « Etude de la purification d'huiles usagées de type moteur au moyen d'une argile montmoullonitrique » OilAdditifs pression .
- [17] J. DENIS, J. BRIANT, J-C. HIPEAUX. Physico-Chimie des lubrifiants : analyses et essais. Paris : Edition Technip, 1997.
- [18]Guide Pour L"analyse de L'existant Technique., partie 6 la fonction technique de baselubrification.
- [19] J.L.Ligier. Lubrification des palier moteur. Paris : Technip, 1997.
- Indice de viscosité,densité,massemolaire,indice de réfraction,point d'éclaire,point d'écoulement,TAN,TBN,teneur en eau,onctuosité,couleur.
- [20] R. Mazouzi, B. Khelidj, A. Karas et A. Kellaci 'Régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide ' Revue des Energie Renouvelables Vol. 17 N°4 (2014) 631 – 637.
- [21] Shri Kannan C, Mohan Kumar KS, SakeerHussain M, DeepaPriya N and Saravanan K, Studies on Reuse of Re-Refined Used Automotive Lubricating Oil , Research Journal of Engineering Sciences Vol. 3(6), 8-14, June (2014).
- [22] OUARET, S., CHELAGHA, S. (2017), Caractérisation physico-chimique d'une huile moteur usagée et possibilité de récupération, mémoire de Master, université de Bejaïa.

Références

- [23] CHAUEAU, V. (2010), Le pouvoir lubrifiant des nanotubes de carbone, thèse de Doctorat, Ecole centrale de LYON.
- [24] Z Babhi ; K Mamouni. Etude de la possibilité de la régénération des huiles moteur usagées par processus de traitement à l'acide ; Mémoire de Master ; 03/07/2019.
- [25] CNOILPURIFIER.Utilisation et fonctions des huiles lubrifiantes.
- [26]Techni-Boite.Dégradation de l'huile.Février 2025.
- [27] Ville .F. Pollution solide des lubrifiants : indentation et fatigue des surfaces. Thèse de Docteur Ingénieur. Lyon : Institut National des sciences appliquées. Année 1998.
- [28] Hunt T. M. Handbook of Wear Debris Analysis and Particle Detection in Liquids. London : Elsevier Applied Science. Année1993.
- [29] TOTAL LUBRIFIANTS, Industrie & Spécialités, ANAC INDUS. 02/02/2010. Consulté le 04/04/2019.
- [30] Giram
- [31] Garvey .R, Foge. G. Water content in oils: moisture in solution, emulsified water, and free water. Technology Showcase: Integrated Monitoring, Diagnostics and failure Prevention Estimating. Alabama, April 22-26, 1996
- [32] Harika .E. Impact d'une pollution des lubrifiants par de l'eau sur le fonctionnement des organes de guidage des machines tournantes. Thèse de doctorat : Génie Mécanique, Productique, Transport. Université de Poitiers. Année 2011
- [33] Eachus, Alan C. Water: water everywhere nor any drop to drink. Tribology & Lubrication Technology, October 2005,
- [34] ADEME, (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie). Recyclage et valorisation énergétiques des huiles usagées, Atouts et faiblesses. Paris 2000.
- [35] Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre (CAR/PP). Possibilités de recyclage et d'utilisation des huiles usées. 2000.

Références

- [36] PALLAS, J. Guide pratique d'entretien et de réparation des moteurs Diesel, Loisirs Nautiques. (1992).
- [37] AIDE TECHNIQUE AUTO, Choisir l'huile moteur : Comprendre les normes et la viscosité.<https://www.aide technique auto.fr/normes-viscosite-huiles-moteur-413.html>. 21/12/2019.
- [38] A. R. LANSDOWN. (s.d.). LUBRICATION A Practical Guide to Lubricant Selection. PERGAMON PRESS. page 26-28.
- [39] ROKHSANA M. ISMAIL, ARWA SALEM SHAIEA. EVALUATION OF THE LUBRICATING AND RE-CYCLING OILS PRODUCED IN YEMEN. JOURNAL OF INTERNATIONAL ACADEMIC RESEARCH FOR MULTIDISCIPLINARY Impact Factor 5.419, ISSN: 2320-5083, Volume 8, Issue 1, 2020.
- [40] Gibson, D.T, and V. Subramanian. Microbial degradation of hydrocarbons, in microbial degradation of organic compounds, Ed. D.A, Wolfe New York: Marcel Dekker. 181-252. 1984.
- [41] Reineke, W. 1994. Degradation of chlorinated aromatic compounds by bacteria: strain development. In biological degradation and bioremediation of toxic chemicals. Ed. G. R. Chaudhry.
- [42] Barthly, A impact des huiles usagées sur l'environnement [43] Rashid Abro, 1 Xiaochun Chen, 1 Khanji Harijan, et al, "A Comparative Study of Recycling of Used Engine Oil Using Extraction by Composite Solvent, Single Solvent, and Acid Treatment Methods" Hindawi Publishing Corporation ISRN Chemical Engineering Vol 2013, Article ID 952589.
- [44] Lubrifiants et produits connexes pour l'automobile. Guide pratique à l'attention des acheteurs publics de lubrifiants et de produits connexes pour véhicule terrestre à moteur thermiques: Collection marchés publics, Edition 2000. Réveillaient.
- [45] Durrani H.A., Panhwar M.I. and Kazi R.A., Re-Refining of waste lubricating oil by solvent extraction, Mehran University Research Journal of Eng. & Tech., 30(2), 237-246, (2011).

Références

- [46] Ogbeide S.O., an Investigation to the Recycling Of Spent Engine Oil, Journal of Engineering Science and Technology Review, 3(1), 32-35 (2010).
- [47] CARACTERISTIQUES DES HUILES.
- [48] WAUQUIER, J. (1994), Le raffinage du pétrole, Technip.
- [49] L. Cleuet. Peintures industrielles au pistolet. Technique & Vulgarisation.
- [50] : P. GRANDOU, P.PASTOR. Les peintures et les vernis, les constituants : liants, solvants, plastifiants, pigments, colorants, charges, adjuvants. Ed. Hermann, Paris, France, 1966, pp 5, 666. (Document interne de l'ENAP)
- [51] Techno-science. Les peintures et les vernis
- [52] GRANDOU P. peinture et vernis : technique et industrie Paris HERMANN ,1988.
- [53] L'équipe de Ctendance. Conserver la peinture d'un pot ouvert : les 12 astuces. Ctendances
- [54] Curmi, Desmaisons. Peinture-decoration-nanocellulose, Mémoire d'étudiant. Cerig Grenoble INP Pagora.
- [55] AQUAPORTAI.liant :défénition.
- [56] Lingolend.(s.d.) Pigment : Dictionnaire anglais-français.
- [57] Centre national d'information pour la biothechnologie.Résumé de la base de données PubChem sur le carbonate de calcium.
- [58] Centre national d'information pour la biothechnologie.Résumé de la base de données PubChem sur l'agent mouillant
- [59] LAOUT, Jean-Claude. Formulation des peintures: Physico-chimie et matières Pulvérulentes. Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés, 2005, no J2270.
- [60] Ammouche Tassaadit, solvants et additifs. Présentation power point, 2018.
- [61] – R.Perrin, J.P. Scharff, Chimie industrielle ; Dunod, Paris, 1999
- [62] Brayner, R., et al. ZnO Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Ecotoxicological Studies. Langmuir, 2010. 26(9): p. 6522-6528
- [63] Kadri, Chimie des polymères : la peinture.
- [64] SOUDI, Xanthoulis. Fiche VLR: Peinture vernis, laques et encres. FAO, 2006.
- [65] J.NIEMANN; Progress in Organic Coatings; 21; 189-203; (1992)

Références

- [66] Centre Technique du bois et de l'Ameublement(CTBA).Les vernis pour le bois : propriétés et application.
- [67] La chimique. Résines, peintures, enduits et vernis.
- [68] plancher Deluxe_.Le vernissage des planchers en bois.
- [69] Silverson Machines France. Fabrication de vernis à ongle
- [70]Larousse.Grande Encyclopédie Larousse.
- [71]Brancher.vernis acrylique.Documentation technique
- [72] Rawlins Paint. Les différentes méthodes de la peinture industrielle
- [73]Moose Farg.Temps de séchage des peintures et des vernis.