

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie des procédés des Matériaux

Intitulé du mémoire

Contribution à l'utilisation des déchets végétaux comme adsorbant dans le traitement et régénération des huiles usagées

Présenté par :

TALBI Intissar

TAEIB SOLIMANE Dounia

Encadré par :

Pr. A. Hadj-Ziane.

Dr. L. Oumert.

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

On remercie Dieu tout puissant qui nous a donné la santé, le courage,

Et la volonté tout au long de notre parcours universitaire

Pour présenter ce modeste travail.

En premier lieu, on voudrait exprimer nos remerciements

Les plus respectueux à notre

*Promotrice **Madame Hadj Ziane Zafour Amel,***

*Professeur au département Génie Des Procédés à l'université Saad Dahlab
Blida 1.*

Pour avoir accepté de nous encadrer, pour ses multiples et précieux conseils,

Ses soutiens, sa patience inébranlable.

Nous tenons à vous dire tout simplement Merci du fond de notre cœur.

*Notre cô-promotrice Dr. L. Oumert qui nous a accueilli au sein du laboratoire
de maintenance des équipements industriels et qui par faute de pandémie le*

Travail pratique n`a pu être réalisé

Nous adressons également nos remerciements à l'ensemble des

Enseignants qui nous ont contribues à notre formation

Ainsi que tout le personnel administratif et technique du département

*Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont participé à la
concrétisation de ce mémoire.*

Dédicace Intissar

Après de longues années d'études, le fruit voit enfin

Le jour à travers ce modeste manuscrit,

Je le dédie d'abord aux deux prunelles de mes yeux,

Mes adorables parents

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de vos

Amour, tendresse, Sacrifices crus en moi tout au long de mon parcours scolaire

À mon amie ASMA tu as toujours été à mes cotées

Tu m'as aidé et soutenue dans mon projet

Et surtout mes chères sœurs KENZA et CHOUROUK

Pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral

À Mon neveu KENZI

Mon beau-frère MUSTAPHA

À toute ma famille

Mon binôme DOUNIA

*Pour tout l'encouragement, le soutien et les conseils précieux que j'ai trouvé
Auprès de vous.*

Je vous aime tous et j'espère que la vie vous préservera

Plein de bonheur,

De réussite, de prospérité et une très bonne santé.

Dédicace Dounia

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents (Malika & Hakim) pour leurs

Sacrifices et leur amour.

Mes Sœurs (Samia & Lilia)

Mon Frère (Mohamed) et Mon beau-frère (Ali)

Mes petites nièces (Meriem, Kamelia, Sarah) et Mon neveu (Abdellah)

Ma Tante (Djamila) et Sa fille (Hannane)

Mes Amies (Fouzia & Manel)

À Mon Binome (TalbiIntissar)

ملخص

الزيوت المستعملة هي فئة مهمة من المواد التي يمكن استعادتها بالمعالجة المناسبة. هذا الانتعاش هو ضرورة لحماية البيئة ويمكن أن يؤدي إلى مكاسب كبيرة. هذه الزيوت هي مصدر التلوث عند إطلاقها في البيئة.

تعتبر المعالجة والتجديد من أفضل الطرق للتغلب على المشاكل البيئية واستعادة خصائص الزيت، من أجل الحصول على منتج له نفس خصائص الزيت الجديد تقريباً.

أدت ظاهرة الامتزاز والطلب المتزايد على الممتزات المستخدمة في عمليات حماية البيئة إلى زيادة ارتفاع أسعارها. وقد أدى ذلك إلى إجراء مزيد من البحث لتصنيع مواد ماصة جديدة وأقل تكلفة من مواد متاحة وغير مكلفة مثل نفايات النباتات، مما سيحل جانبيين؛ الاقتصادية والبيئية.

ABSTRACT:

Used oils are an important category of materials that can be recovered with appropriate treatment. This recovery is a necessity to protect the environment and can lead to substantial gains. These oils are the source of pollution when released into the environment.

Processing and regeneration are the best methods of overcoming environmental problems and restoring the properties of the oil, resulting in a product with almost the same properties as new oil.

The phenomena of adsorption and the growing demand for adsorbents used in environmental protection processes have made their prices increasingly expensive. This has prompted further research for the manufacture of new less expensive adsorbent materials from available and inexpensive materials such as plant waste, which will resolve two aspects; economic and environmental.

RÉSUMÉ :

Les huiles usagées constituent une catégorie importante de matériaux susceptibles d'être récupérés moyennant des traitements appropriés. Cette récupération est une nécessité pour protéger l'environnement et peut conduire à des gains substantiels. Ces huiles sont à l'origine de la pollution une fois rejetée dans l'environnement.

Le traitement et la régénération sont les meilleures méthodes pour surmonter les problèmes d'environnement et permettent de restaurer les propriétés de l'huile, afin d'obtenir un produit présentant quasiment les mêmes propriétés qu'une huile neuve.

Les Phénomènes d'adsorption et la demande croissante des adsorbants utilisés dans les procédés de protection de l'environnement ont fait que leur prix coûte de plus en plus cher. Ceci a suscité des recherches complémentaires pour la fabrication de nouveaux matériaux adsorbant moins coûteux à partir des matières disponibles et bon marché comme les déchets végétaux, ce qui permettra de résoudre deux aspects ; économique et environnemental.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Composition externe d'un transformateur de puissance.....	7
Figure I.2 : Processus de raffinage pour les huiles brutes.....	8
Figure I.3 : Echantillons d'huiles présentant d'oxydation de l'huile.....	17
Figure II.1 : Schéma de l'adsorption physique.....	21
Figure II.2 : Mécanisme du transport d'un adsorbat au sein d'un grain du solide.....	23
Figure II.3 : la station de la régénération.....	26
Figure II.4 : Station de traitement physique par centrifugation.....	27
Figure II.5 : Station de déshydratation.....	28
Figure II.6 : L'Argile.....	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Caractéristiques de l'huile minérale.....	10
--	----

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AB : Bentonite Activé.

ASTM : International Organisme de normalisation.

BM : Bleu de Méthylène.

CA : Charbon Actif.

CEI : Commission électrotechnique internationale.

CFC : Chlorofluoro-carbone.

CM : Circuit Magnétique.

COV : Composé organique volatil.

HAP : Hydrocarbures polycycliques aromatiques.

IEEE Standard 637TM-1985 (R2007) : La norme de l'institut des ingénieurs électriciens et électroniciens Standards637TM-1985 (R2007).

IFT : La résistance diélectrique, tension interfaciale.

MO : Oxyde de magnésium.

PCB : Polychlorure biphenyle.

SG : Gel de silice.

TAN : Indice d'acide total.

LISTE DES SYMBOLES

E : La permittivité absolue de l'huile.

E₀ : La permittivité de vide.

E_r : La permittivité relative de l'huile.

C_p : La capacité d'un condensateur rempli de l'huile.

C₀ : La capacité condensateur sous vide.

E_c : La rigidité diélectrique.

U_c : La tension de claquage.

e : La distance entre les deux électrodes.

T : La température.

m : La masse du liquide.

V : Le volume du liquide.

M_v : La masse volumique.

ε_r : Permittivité.

ρ : Résistivité.

σ : Conductivité.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des symboles

Introduction générale.....1

Chapitre I: les huiles usagées

Introduction.....3

I.1. Les huiles usées.....3

I.2. Caractéristiques générales.....4

I.3. Dangers des huiles usagées pour l'environnement.....4

I.4. Technologie de transformateur.....5

I.4.1 Les principales parties d'un transformateur6

a) La partie active6

b) Le système de refroidissement6

c) Le système d'isolation.....6

I.4.2 Rôle des huiles dans un transformateur7

a) Fonction diélectrique..... 7

b) Fonction transfert de chaleur7

I.4.3 Système d'isolation des transformateurs..... 8

a) Isolations liquides.....8

I.4.3.1 Huiles minérales isolantes..... 8

I.4.3.2 Huiles de synthèse9

I.5. Sources des huiles minérales9

I.6. Les propriétés des huiles minérales isolantes11

I.6.1 Propriétés électriques11

a) La permittivité	11
b) La résistivité / conductivité	12
c) Rigidité diélectrique et tension de claquage	13
I.6.2 Propriétés physico chimiques	13
a) Couleur et aspect	13
b) La densité	13
c) La viscosité.....	14
I.7. L'altération des huiles de transformateurs	14
I.7.1 Les huiles neuves	15
I.7.2 Les huiles faiblement polluées	15
I.7.3 Les huiles moyennement contaminées	15
I.7.4 Les huiles en dégradation avancées	15
I.8. Avantages de l'huile isolante transformateurs	16
I.9. Dégradation de l'isolation des transformateurs	16
I.9.1 Vieillessement des huiles isolantes	16
I.10 Les causes de vieillissement des huiles isolantes	17
I.11. Maintenance huile pour transformateur	17
Conclusion.....	18

Chapitre II : les méthodes de traitement et régénération des huiles usagées

Introduction	20
II.1. Définition.....	20
II.2. Les types d'adsorption	21
II.2.1 Adsorption physique ou la Physisorption	21
II .2.2 Adsorption chimique ou la chimisorption.....	21
II.3. Mécanisme d'adsorption.....	22
II.4. Cinétiques d'adsorption	23
II.5. Isothermes d'adsorption.....	24

II.6. Description du procédé de régénération.....	24
II.7. Principe de la régénération des huiles isolantes usagées.....	25
II.8. Procédés de régénération de l’huile usagée	26
II.8.1 Centrifugation d’huile usagée.....	26
II.8.2 Déshydratation d’huile usagée.....	27
II.8.3 Traitement d’huile usagée par adsorption.....	28
II.9. Les matériaux adsorbants.....	28
II.9.1 L’argile.....	29
II.9.1.1 Définition.....	29
II.9.1.2 Propriétés physico-chimique.....	29
II.9.2 Le gel de silice	30
II.9.2.1 Utilisations des gels de silice.....	30
II.9.3 Charbon actif.....	31
II.10. Les adsorbants issus des végétaux.....	31
II.11. Méthodes de récupération des huiles usées.....	31
a) La récupération chez les particuliers	31
b) La récupération dans les industries	32
II.12. L’intérêt de la régénération des huiles isolantes usagées	32
Conclusion	32
Synthèse bibliographique.....	34
Discussion.....	49
Conclusion générale.....	50
Références bibliographiques.....	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement et l'augmentation des activités industrielles dans plusieurs secteurs à travers ont permis un épanouissement, mais en contrepartie, c'est une arme à double tranchant, si certains pays ont vu leurs richesses s'améliorer, la planète terre souffre du niveau de pollution atteint, la santé humaine et l'environnement courent en grave danger par la propagation etc...

L'Algérie comme le reste du monde, même si non comptabilisée parmi les pays forts industrialisés mais compte une pollution croissante chaque année. Des quantités importantes des polluants de différentes formes sont stockées ou abandonnés dans la nature.

Parmi les déchets industriels dont souffre notre pays et qui peuvent constituer une source de richesse s'ils sont bien gérés ; les huiles qui après leur utilisation deviennent contaminées, impropres à première fonction une fois elles perdent les propriétés initiales. [1]

Les huiles usagées comprennent celles des moteurs, des turbines, et celles pour les engrenages, les liquides hydrauliques et les fluides de transmission, et les liquides isolants ou réfrigérants (l'huile pour transformateur), ces derniers ils contiennent de nombreux éléments toxiques pour la santé qui sont susceptibles de contaminer l'environnement, en particulier des métaux lourds, des acides organiques, des phénols, des phtalates et des composés aromatiques parmi lesquelles des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), ces huiles sont peu biodégradables et leur densité est plus faible que l'eau.

Les huiles usagées sont très néfastes et dangereuses pour l'environnement, leur rejet dans la nature est interdit, elles réduisent l'oxygénation de la faune et de la flore existantes.[2]

La régénération des huiles usagées est une solution qui peut résoudre le problème tant sur le plan environnemental qu'économique, elle peut être réalisée au moyen de divers dispositifs et installations, dont l'action repose généralement sur la combinaison de méthodes (physiques, physico-chimiques et chimiques).[3]

Un certain nombre de processus, tels que la coagulation, la distillation sous vide, extraction, hydro-traitement et adsorption, ont été utilisés pour la purification et retraitement des déchets de lubrifiants usées mais se sont avérés très coûteux. [3]

L'adsorption est l'une des méthodes qui a montré une très bonne efficacité pour le traitement et la régénération des huiles et occupé une place importante dans ce domaine de par sa simplicité, les bonnes performances purifiantes mais présente l'inconvénient du coût très élevé des matériaux adsorbants que l'Algérie importe toujours. [3]

Dans ce contexte précis s'insère la problématique de notre présent travail. Notre objectif est de valoriser des déchets végétaux en tant qu'adsorbants ; ceci permettra de résoudre plusieurs problèmes environnementaux et économiques. Le choix des huiles pour transformateurs a été dicté par le lieu prévu du stage qui est le laboratoire de maintenance des transformateurs électriques (MEI / Sonelgaz).

A cet effet notre présent mémoire présente principalement deux grandes parties :

- La première partie est relative à la partie théorique, elle comprend trois chapitres :
 - ✓ Chapitre I : consacré à l'étude bibliographique sur les huiles usagées, leurs caractéristiques générales, la technologie de transformateur, le rôle des huiles dans un transformateur, sources des huiles minérales...etc.
 - ✓ Chapitre II : illustre les méthodes de traitement et régénération des huiles usagées, ainsi que l'adsorption, les types d'adsorption, principe et la description de la régénération des huiles usagées...etc.
 - ✓ Chapitre III : présente les matériaux adsorbants pour le traitement des huiles, les adsorbants tels que l'argile, bentonite, gel de silice, fabrication du charbon actif...etc.
- La deuxième partie est relative à la synthèse bibliographique : elle comporte des différents articles qui ont travaillé sur la valorisation des déchets naturels par la préparation du charbon actif à partir des matériaux adsorbants d'origine végétale pour des différents traitements, et des articles qui ont travaillé par des matériaux classiques sur la régénération d'huile.
- Enfin une conclusion générale avec des perspectives et des recommandations pour la poursuite de notre travail.

CHAPITRE I : LES HUILES USAGÉES

INTRODUCTION

Aujourd'hui, la conjoncture économique difficile commande de réduire le gaspillage de matières premières et d'énergie que représentent ces normes quantités de déchets rejets. Les huiles usages " moteur " constituent une catégorie importante de matériaux récupérables.

En service, l'huile est polluée par l'essence et les gaz de combustion qui apportent, entre autres, des dérivés de plomb. Cette huile s'oxyde partiellement. Néanmoins, cette détérioration du lubrifiant est un processus lent et la plus grande partie de la base hydrocarbonée de l'huile reste inaltérée.[4]

Les transformateurs de puissance sont des composants essentiels des systèmes de transport et de distribution de l'énergie électrique. La plupart des transformateurs de puissance à travers le monde sont remplis avec des liquides isolants. Ces liquides permettent d'assurer aussi bien l'isolation électrique que le transfert de chaleur. En effet, en plus de leurs propriétés diélectriques, ils ont de bonnes propriétés de dissipation de chaleur comparés aux isolants solides et gazeux.

Les huiles minérales isolantes sont très largement utilisées comme liquides diélectriques et caloporteurs dans de nombreux matériels électriques : transformateurs, condensateurs, câbles, disjoncteurs. [5]

I.1. Les huiles usées :

Les huiles usagées sont des déchets dangereux. Il s'agit d'huiles minérales et synthétiques, lubrifiantes ou industrielles qui sont devenues impropres à l'usage auquel elles étaient initialement destinées : huiles de vidange pour moteurs à combustion et des systèmes de transmission, huile pour engrenages, fluide isolant ou caloporteur (fluide pour transformateur), lubrifiants industriels et les huiles pour turbines et celles pour systèmes

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

hydraulique. En raison de la présence d'impuretés ou de la perte de ses propriétés initiales. [6]

D'une manière générale, toutes huiles ayant servi dans un processus de transformation et destinée à l'abandon du fait de la perte de ces propriétés physico-chimiques de base est désignées par le terme « huiles usées ». On distingue :

- Les huiles usées domestiques qui sont des huiles alimentaires d'origine végétale ayant servi dans la friction.

-Et des huiles usées industrielles provenant des moteurs, des industries, des transformateurs, des circuits hydrauliques et des turbines. [7]

I.2. Caractéristiques générales :

Les caractéristiques des huiles usagées dépendent largement de leur nature à l'état vierge. Les huiles usagées peuvent être d'origine minérale ou synthétique. On distingue deux grandes catégories :

- les huiles noires qui comprennent les huiles de moteurs et certaines huiles industrielles (huiles de trempe, de laminage, de tréfilage et autres huiles entières d'usinage des métaux) : ces huiles sont fortement dégradées et contaminées.

-Les huiles claires qui proviennent des transformateurs, des circuits hydrauliques et des turbines. Elles sont peu contaminées et chargées en général d'eau et de particules. [8]

I.3. Dangers des huiles usagées pour l'environnement

Les huiles usagées ne sont pas biodégradables : elles sont classées dans la catégorie des déchets spéciaux dangereux. Leur rejet dans la nature est strictement interdit. Elles peuvent engendrer une détérioration importante du milieu naturel, qui peut être traduit par une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère : Un (01) litre d'huile usagée peut contaminer 1 million de litres d'eau.

Ne jamais :

- Jeter les huiles usagées dans les puits, les remblais, les caniveaux ou les égouts.

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

- Utiliser des huiles usagées comme désherbant.
- Utiliser des huiles usagées comme combustible de chauffage. [9]

Plusieurs activités sont susceptibles de produire des huiles usagées, on peut citer notamment :

- ✓ Les garages, concessionnaires, stations de vidange, stations-service.
- ✓ Les transports (routiers, fluviaux, aériens, ferroviaires).
- ✓ Les usines, ateliers, entreprises industrielles. [9]

I.4. Les huiles usagées des transformateurs :

De nos jours, les transformateurs de puissance sont tous de type immergé, c'est à dire remplis d'huile, afin d'assurer une isolation électrique efficace, par imprégnation avec des isolants celluloseux (bois, papier Kraft, carton) qui sont en fait des polymères naturels, ou bien des polymères synthétiques (nomex) et de réaliser une bonne évacuation de la chaleur générée par le circuit magnétique (CM) et les bobinages. Des propriétés électriques et physico-chimiques satisfaisantes, une bonne compatibilité avec les isolants solides et un faible coût, font de l'huile minérale (issue des hydrocarbures) le liquide isolant préférentiel utilisé dans les transformateurs de puissance. Elle est essentiellement employée en combinaison avec les isolants celluloseux qui sont aussi très bon marché. Les transformateurs de puissance s'étendent de manière générale sur une gamme allant de 5MVA et 20kV à 1000MVA et 800kV. On peut les trouver en type colonne ou galette. [10]

Un transformateur est un appareil statique à induction destinée à transformer un système de courants alternatifs en un autre système de courants alternatifs d'intensités et de tensions généralement différentes mais de même fréquence, peut être considéré comme un transformateur monophasé, en négligeant quelques particularités liées au circuit magnétique et au calcul du courant magnétisant. Les relations obtenues pour le transformateur monophasé sont valables pour chaque phase du transformateur triphasé. [11]

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

I.4.1 Les principales parties d'un transformateur :

a) La partie active :

Elle représente le circuit magnétique et les enroulements, dont la fonction est de constituer un chemin pour le flux magnétique qui lie les enroulements primaires et secondaires. [12]

b) Le système de refroidissement :

Des pertes sous la forme de chaleur sont générées dans le noyau magnétique et les enroulements. Cette chaleur peut endommager l'isolant solide tel que le papier, réduisant par conséquent, la durée de vie utile du transformateur. Un système de refroidissement est nécessaire dans l'équipement transformateur de puissance. Il est composé d'un fluide isolant caloporteur. Le fluide, l'huile minérale dans la plupart des cas et qui assure le refroidissement en extrayant de la chaleur à l'intérieur du transformateur pour la dissiper vers l'extérieur vue d'être évacuée par des radiateurs. Le contrôle de la température interne des transformateurs est essentiel, des appareils et des accessoires supplémentaires sont additionnés aux transformateurs pour veiller au bon fonctionnement de l'équipement. [12]

c) Le système d'isolation :

Le système d'isolation du transformateur est constitué du complexe papier/huile, y compris du carton, qui isole électriquement les parties actives du transformateur, la cuve est remplie de fluide isolant, qui imprègne le papier. Les enroulements et le noyau baignent complètement dans le fluide. Les fils de cuivre sont aussi revêtus d'un vernis appelé émail. Ce dernier fonctionne comme un vernis isolant, mais son efficacité est inférieure à l'ensemble du complexe papier-huile. Les transformateurs de distribution ayant une puissance maximale égale à 2500 KVA.

- Les transformateurs de moyenne puissance, dont la puissance supérieure à 2500 KVA et au maximum égale à 100 MVA.
- Les transformateurs de puissance sont les transformateurs dont la puissance est supérieure à 100 MVA. [12]

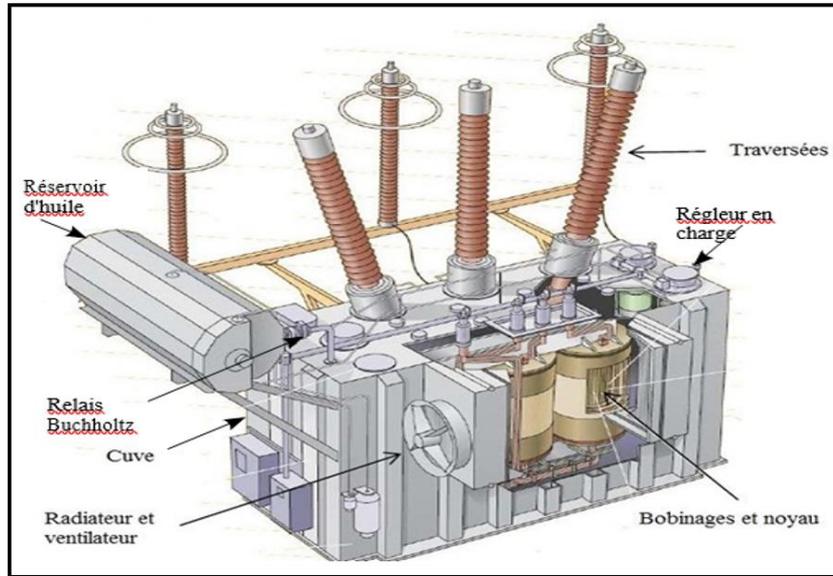


Figure I.1 : Composition externe d'un transformateur de puissance. [13]

I.4.2 Rôle des huiles dans un transformateur :

a) Fonction diélectrique :

Dans la partie active d'un transformateur, l'isolation entre les éléments portés à des potentiels électriques différents est assurée :

- Soit par un diélectrique liquide, exemple des pièces métalliques telles les pièces de connexions.
- Soit par un isolant solide, généralement du papier imprégné, c'est le cas de spires voisines des enroulements primaire et secondaires ou les plaques de papier imprégnées séparant deux enroulements de tensions différentes. [5]

b) Fonction transfert de chaleur :

Bien que les transformateurs électriques présentent un excellent rendement, ils n'échappent pas à la perte d'énergie qui accompagne toute conversion. L'énergie perdue se dissipe sous forme de chaleur. L'évacuation de la chaleur vers l'extérieur nécessite une connaissance de l'élévation maximale des températures des différents éléments du transformateur afin d'assurer un équilibre entre la vitesse de production et d'évacuation de la chaleur. La chaleur à évacuer est véhiculée par circulation naturelle ou forcée de l'huile. Un dispositif de refroidissement bien dimensionné permet d'éviter la formation de points chauds grâce à une

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

circulation importante et bien régulée. Le refroidissement se fait par convection et par conduction thermique.

Les principales caractéristiques qui permettent de juger de l'aptitude d'une huile à évacuer la chaleur sont la viscosité, la conductivité thermique et la chaleur spécifique. [5]

I.4.3 Système d'isolation des transformateurs :

a) Isolations liquides :

I.4.3.1 Huiles minérales isolantes :

Les huiles minérales sont utilisées comme isolants dans les équipements électriques depuis plus d'un siècle. Mis à part les transformateurs de distribution, lesquels sont soumis à des contraintes de fonctionnement particulières, les transformateurs immergés sont généralement remplis d'huile minérale. Les caractéristiques principales requises pour l'huile minérale sont [14] :

- Une faible viscosité et un bon point d'écoulement pour assurer sa circulation ;
- Un point éclair élevé ;
- Une bonne stabilité chimique vis-à-vis des phénomènes d'oxydation et de décomposition ;
- Une rigidité diélectrique élevée. L'huile minérale est obtenue à partir du raffinage du pétrole brut. Selon l'origine du pétrole et du processus de raffinage, on peut identifier différents types d'huiles (figure I.2).

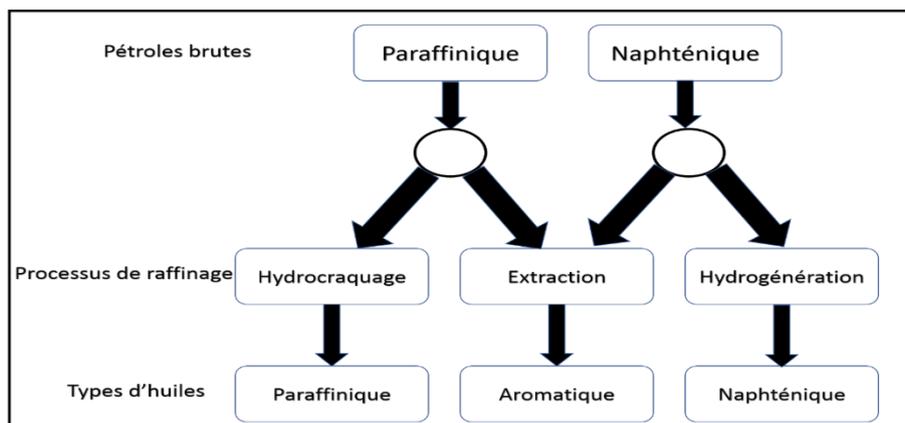


Figure I.2: Processus de raffinage pour les huiles brutes.[15]

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

I.4.3.2 Huiles de synthèse :

Lorsque pour une application donnée, les propriétés requises ne peuvent pas être satisfaites par les huiles minérales, elles sont remplacées par les huiles synthétiques. C'est en particulier le cas lorsqu'il s'agit : D'améliorer la résistance au feu dans le cas des transformateurs (les huiles de silicone ont un point de feu presque deux fois plus élevé que les huiles minérales, de l'ordre de 300°C au lieu de 150 °C, ce qui réduit le risque d'explosion des transformateurs de puissances) :

- ✓ De rechercher une meilleure stabilité thermique et chimique ;
- ✓ De rechercher de grandes performances diélectriques (câbles et condensateurs).

Cependant le coût des huiles de silicone est également nettement supérieur à celui de l'huile minérale (d'un facteur environ 8) et la viscosité à haute température est supérieure à celle des autres huiles [16]. Il existe quatre types principaux d'huiles de synthèse [10] :

- ✓ Les hydrocarbures aromatiques ;
- ✓ Les hydrocarbures aliphatiques tels que les polyoléfines ;
- ✓ Les esters ;
- ✓ Les silicones.

I.5. Sources des huiles minérales :

L'huile minérale est un composé obtenu à partir du raffinage du pétrole brut. Elle est composée essentiellement d'hydrocarbures, et en quantité très faible de composés soufrés, et traces de composés organométalliques (Fe, Cu, Al, Na, etc.) qui peuvent affecter considérablement ses propriétés électriques.

Les hydrocarbures sont en général divisés en trois grandes classes : paraffines, naphènes, aromatiques. Les paraffines et les naphènes sont des hydrocarbures saturés, chimiquement stables mais facilement oxydables à chaud, et ne diffèrent pas les uns des autres que par leurs structures moléculaires et leurs caractéristiques physico-chimiques. Les aromatiques sont insaturées et par conséquent moins stables (pouvant se montrer chimiquement plus réactifs). [16]

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

Tableau I.1 : Caractéristiques de l'huile minérale. [17]

Caractéristiques	NynasNytro 10GBN (huile minérale)
Densité (kg/dm ³), 20°C	0,89
Viscosité (mm ² /s)	
40°C	8,9
-20°C	290
Point d'écoulement (°C)	-57
Conductivité thermique (1mK), 20°C	0.13
Point éclair (°C)	148
Résistivité (Ω.cm), 20°C	1015
Tension de claquage (kV) sur huile traitée	> 70
Facteur de dissipation, 90°C	< 0,001
Permittivité, 20°C	2,2
Solubilité maximale de l'eau (ppm), 25°C	70
Biodégradabilité	Faible
DL ₅₀ orale (mg1kg)	> 2000

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

I.6. Les propriétés des huiles minérales isolantes :

Les caractéristiques et les propriétés d'une huile minérale isolante peuvent être classées en plusieurs catégories. Les huiles isolantes pour transformateurs, quel que soit leur type, doivent toujours répondre à plusieurs critères électriques et physiques pour assurer l'isolation électrique et le transfert de chaleur. [5]

I.6.1 Propriétés électriques :

Les propriétés électriques des liquides dépendent de leur formulation (composition, constitution moléculaire... etc.) et de leurs conditions d'utilisation ou conditionnement. Il faut comprendre l'élimination de tout ce qui ne constitue pas le liquide lui-même : résidus de synthèse, particules, gaz, molécules d'eau. Ces impuretés peuvent être plus ou moins éliminées par des opérations de traitement qui comprennent des phases de déshydratation et de dégazage sous vide et à des températures bien déterminées, ainsi que des opérations de filtrage de l'ordre du micromètre.

La permittivité ϵ , la résistivité ρ , le facteur de pertes diélectriques $\tan \delta$ et la rigidité diélectrique sont les caractéristiques électriques principales d'une huile isolante. Outre la structure du liquide et son conditionnement ses propriétés dépendent de la tension appliquée, de la fréquence et de la température. [18]

a) La permittivité [12] :

La permittivité est la constante macroscopique fondamentale qui caractérise un diélectrique. Elle est définie par la relation suivante :

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{E}_r \qquad \text{Équation 1.1}$$

Où

\mathbf{E} : la permittivité absolue de l'huile (F/m),

\mathbf{E}_0 : la permittivité du vide ($E_0 = 1/36.\Pi.109 = 8,85PF/m$),

\mathbf{E}_r : la permittivité relative de l'huile (sans unité).

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

La permittivité relative ϵ_r est aussi appelée constante diélectrique, et est définie par le rapport entre la capacité d'un condensateur rempli d'huile (C_p) et la capacité du même condensateur sous vide (C_0).

$$\epsilon_r = C_p / C_0 \quad \text{Équation 1.2} \quad [12]$$

Dans la pratique est obtenu en comparant le condensateur plein au condensateur dans l'air, cette valeur constitue la référence pour définir la permittivité d'une huile. La permittivité est une caractéristique intrinsèque car elle dépend essentiellement de la structure chimique du produit. Elle caractérise la polarité de la molécule. C'est ainsi que l'on peut distinguer les liquides polaires ($\epsilon_r > 2,5$) des liquides peu polaires ou non polaires ($1,5 \leq \epsilon_r \leq 2,5$) comme l'huile minérale. La permittivité décroît avec l'augmentation de la température et de la fréquence. La contrainte électrique la plus élevée est toujours supportée par le milieu dont la permittivité est plus faible. En général, pour les liquides isolants utilisés dans l'industrie et notamment les huiles minérales, la constante diélectrique est comprise entre 2 et 5. [5]

b) La résistivité / conductivité :

Pour être isolant électrique, l'huile doit conduire le moins possible le courant électrique lorsque une tension lui est appliquée. Sa conductivité σ doit donc être la plus faible possible, ou à l'inverse sa résistivité ρ la plus forte possible. [5]

Avec :

$$\rho = 1/\sigma \quad \text{Équation 1.3} \quad [12]$$

La résistivité est une propriété fortement dépendante du conditionnement. Ainsi, la résistivité d'une huile est influencée par la présence d'impuretés (poussières, particules, gaz, humidité) lesquelles, même en quantités très faibles (quelques ppm), influent sur les valeurs mesurées. [5]

La conductivité d'un liquide isolant est due à la présence de charges libres qui se déplacent sous l'effet d'un champ électrique provoquant ainsi un courant de conduction. [12]

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

c) Rigidité diélectrique et tension de claquage :

La rigidité diélectrique moyenne d'une huile est la valeur maximale du champ électrique qu'on peut lui appliquer entre deux électrodes, elle est donnée par la relation suivante :

$$E_c = U_c/e \qquad \text{Équation 1.5}$$

Où

E_c : est la rigidité diélectrique kV/cm.

U_c : est la tension de claquage en kV.

e : est la distance entre les deux électrodes en mm. [12]

On parle souvent de tension de claquage, surtout en milieu industriel, lorsqu'il s'agit de définir la tenue diélectrique d'un matériau. Dans les liquides, le claquage est le résultat de l'initiation puis de la propagation d'un streamer d'une électrode à l'autre. Le déclenchement de ce phénomène dépend en plus des caractéristiques de l'huile et des conditions atmosphériques de l'essai et du conditionnement. Il dépend aussi de l'état de surface, de la géométrie des électrodes ainsi que de la forme de la tension et des impuretés pouvant se trouver dans l'huile. [5]

I.6.2 Propriétés physico chimiques [2] :

a) Couleur et aspect :

La couleur et l'aspect d'une huile minérale sont des facteurs révélateurs surtout quand il s'agit d'une huile déjà en service. Une couleur sombre indique que le processus de dégradation de l'huile est entamé. Une mauvaise odeur, quant à elle, prouve l'amorçage d'arcs électriques ayant abouti à un claquage partiel de l'huile.

b) La densité :

La densité des huiles isolantes est le rapport de deux poids d'un même volume d'huile et d'eau. Déterminée dans des conditions spécifiques de température, sa valeur est inférieure à

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

celle de l'eau et dans les régions froides elle doit être la plus faible possible pour éviter la formation de glace à la surface.

c) La viscosité :

Exprimée en mm^2/s , elle constitue la résistance de l'huile au mouvement dans des conditions spécifiques de température. Elle a une grande influence sur l'efficacité de l'échange thermique. Plus la viscosité est basse, mieux est la circulation d'huile et l'évacuation de chaleur plus efficace.

I.7. L'altération des huiles de transformateurs :

Malgré les avantages et les performances des huiles minérales, elles finissent par se détériorer sous l'effet de l'action combinée ou séparée des contraintes électriques, chimiques ou thermiques auxquelles elles sont soumises. Ce phénomène est connu sous le nom de vieillissement. Il se traduit par une lente dégradation des propriétés du matériau.

L'huile de transformateur subit trois sortes de vieillissement :

- Un vieillissement électrique qui provient de l'action des décharges partielles et des phénomènes de polarisation dont l'origine est l'exposition prolongée au champ électrique ;
- Un vieillissement électrochimique qui résulte de l'action de certains agents chimiques soumis à un champ prolongé. La présence de ces agents dans l'huile est soit accidentelle, soit due à sa propre dégradation ;
- Un vieillissement thermique dû aux températures élevées auxquelles soumise l'huile de façon continue ou périodique pendant sa mise en service.

Le diagnostic permet de déterminer l'état interne du transformateur et de détecter les causes de ses défaillances.

Les méthodes de diagnostic sont nombreuses. Les méthodes internes cherchent à modéliser les systèmes tandis que les méthodes externes se basent sur les facteurs d'expériences.

Pour la détermination des avaries des transformateurs et l'établissement d'un diagnostic des huiles, des approches existent. La première, assez largement utilisée se base sur l'analyse des gaz dissous dans l'huile. Elle est efficace pour la prévention des accidents car elle renseigne sur l'état de la partie active. Elle comporte quatre phases successives : l'échantillonnage de

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

l'huile, l'extraction des gaz et leur analyse. La deuxième et la troisième approches se basent sur les tests physico-chimiques. Elle permet de classer les huiles selon quatre catégories [19] :

I.7.1 Les huiles neuves :

Leur caractéristique sont données comme suit :

-permittivité	2,1 ÷ 2,5 ;	90°C
-résistivité	20 ÷ 2000 GΩ m ;	90°C
-rigidité diélectrique	30 ÷ 50 kV/cm ;	
-facteur de dissipation	0.001 ÷ 0.005.	90°C

I.7.2 Les huiles faiblement polluées :

Elle se caractérise par des bonnes valeurs des propriétés physico-chimiques et une tension de claquage faible. Leur contamination est généralement due à la présence d'eau et de particules solides en suspensions. Elle nécessite un traitement physique (filtrage et séchage).

I.7.3 Les huiles moyennement contaminées :

Ces huiles nécessitent un traitement chimique (régénération) suivi d'un traitement physique.

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

-indice de couleur	2 ÷ 4 ;
-indice d'acidité	0.03 ÷ 0.04 g KOH/g ;
-facteur de dissipation	0.005 ÷ 0.05 ;

I.7.4 Les huiles en dégradation avancées :

Elles sont fortement contaminées et possèdent des caractéristiques très éloignées des valeurs recommandées par les normes. Leur récupération est possible mais elle serait plus coûteuse que leur remplacement.

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

I.8. Avantages de l'huile isolante transformateurs :

Huile pour transformateur de haute qualité à un certain nombre de ses caractéristiques positives. Avant tout, l'huile, en tant que le milieu isolant, présente une rigidité diélectrique élevée. Donc elle est efficace et exige moins de dépenses d'énergie que les autres types d'isolants liquides. Cette huile possède également du niveau de viscosité valable ce qui est utile au cours de chargements. Tout d'abord l'huile pour transformateurs n'aura pas des pertes d'évaporation.

L'huile isolante pour transformateurs n'est pas seulement supérieure en efficacité, mais aussi présente une plus grande flexibilité en température. Elle fait le fonctionnement plus facile et plus pertinent aux circonstances. [10]

I.9. Dégradation de l'isolation des transformateurs :

Les transformateurs sont reconnus comme étant des composants assez fiables des réseaux de transport et de distribution, à l'égard à leur durée de vie qui est en moyenne de 30 ans. Cette fiabilité est particulièrement due à la qualité de leur système d'isolation.

Cependant, au cours de leur fonctionnement, les transformateurs sont soumis à des contraintes de diverses sources (électriques, mécaniques, thermiques, chimiques et environnementales) dont les actions et interactions entraînent la détérioration graduelle et le vieillissement de leur système d'isolation papier/huile. Le vieillissement ou la détérioration de l'isolation papier/huile est une fonction du temps accélérée par la température, l'humidité et l'oxygène. L'humidité, considérée comme l'ennemi numéro un des systèmes d'isolation, est particulièrement préjudiciable au papier, car elle initie l'hydrolyse et la scission de la chaîne de cellulose. L'oxygène attaque à la fois le papier et l'huile produisant une gamme de produits acides et polaires. L'effet de la température est d'augmenter la vitesse de toutes ces réactions chimiques, entraînant une détérioration plus rapide de l'isolation [20].

I.9.1 Vieillessement des huiles isolantes :

En service, les huiles isolantes subissent des changements irréversibles de leurs propriétés physico-chimiques. Ces changements sont dus à un ensemble de processus réactionnels responsables de la durée de vie des huiles isolantes en service. Ce processus réactionnel conduit inexorablement au vieillissement de ces huiles. L'action simultanée de l'oxygène

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

moléculaire et du champ électrique en présence de matériaux de construction des appareils conduit au vieillissement. L'oxydation est le facteur prédominant [21].



Figure I.3: Echantillons d'huiles présentant l'oxydation de l'huile [22].

I.10. Les causes de vieillissement des huiles isolantes :

Les principaux agents présents dans les transformateurs, susceptibles de dégrader les huiles isolantes (et la cellulose), sont l'oxygène et l'humidité. L'oxygène est présent sous forme dissoute dans l'huile et l'humidité est présente dans le papier (même après séchage, il reste de l'humidité, supérieure à 0.2% en masse). Ces sources de vieillissement sont d'autant plus présentes dans le cas des transformateurs de puissance, qui sont dits « respirants » (comme la plupart en Europe), en contact avec l'atmosphère par l'intermédiaire d'un conservateur et d'un dessiccateur.

L'oxygène et l'humidité amènent respectivement la dégradation de l'huile par oxydation et pyrolyse. A ces deux facteurs de vieillissement « naturels », s'ajoutent deux autres catalyseurs non négligeables qui sont la température et le champ électrique. Enfin, la présence des matériaux de construction de l'appareil, tels que le fer, le cuivre ou la cellulose viennent s'ajouter aussi comme catalyseurs de vieillissement. [5]

I.11. Maintenance huile pour transformateur :

Pour maintenir le système d'huile isolante en ordre vous devez assurer le service complet. Ce qui est tout d'abord important, l'huile pour transformateurs doit être certifiée. Avant

CHAPITRE I : LES HUILES USAGEES

l'utilisation il faut également procéder à l'analyse. Il n'est donc pas conseillé de faire fonctionner les huiles de qualité douteuse.

Néanmoins, il y a une abondance de nouvelles technologies qui peuvent emmener toute substance à l'état clair. [23]

CONCLUSION :

L'huile isolante est l'un des composants indispensables au bon fonctionnement des transformateurs. Elle doit assurer non seulement une bonne isolation des diverses parties de l'appareil, mais aussi son refroidissement. [19] Ces fonctions doivent être remplies tout au long de la durée de vie du transformateur, et ce, malgré le vieillissement de l'huile qui peut être plus au moins marqué selon les conditions de fonctionnement (température, humidité, oxydation par contact avec l'air ambiant, etc...).

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

CHAPITRE II LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

INTRODUCTION

Les huiles usagées sont récupérables et valorisables, peuvent être raffinées en huiles de base ou réutilisées comme combustible (source d'énergie), l'huile minérale usagée est l'une des ressources importantes qui ne peut pas être éliminé facilement en raison de la présence des polluants. Et en réponse à la crise économique, l'efficacité et la protection de l'environnement, il y a une tendance croissante vers la régénération et à la réutilisation de cette huile. [24]

Le recyclage et la régénération des huiles minérales usagées pourraient apporter d'énormes avantages. Si l'huile usée pouvait être recyclée efficacement et traitée par la technologie de régénération des ressources pour éliminer l'humidité ou les matières étrangères, elle a encore une valeur lubrifiante et un pouvoir calorifique et peut être réutilisée. L'avantage de la régénération des huiles minérales usagées en tant qu'huile lubrifiante brute est la réduction de consommation des produits pétroliers importés. [25]

II.1. Définition :

Le phénomène d'adsorption a une très grande importance dans de nombreux processus physiques et chimiques : capture de polluants, séparation de gaz, catalyse, etc. Il est aussi la base de nombreuses méthodes de caractérisation des solides comme la mesure des surfaces spécifiques ou l'étude de la porosité. En mécanique industrielle, il joue un rôle fondamental dans les processus de lubrification et les procédés de brasage. [26]

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

II.2. Les types d'adsorption :

Selon la nature des interactions qui se produisent entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant, l'adsorption peut être physique ou chimique.

II.2.1 Adsorption physique ou la Physisorption :

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbât) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 Kcal/mole. La physisorption est rapide, réversible et n'entraînant pas de modification des molécules adsorbées et généralement limité par le phénomène de diffusion. [26]

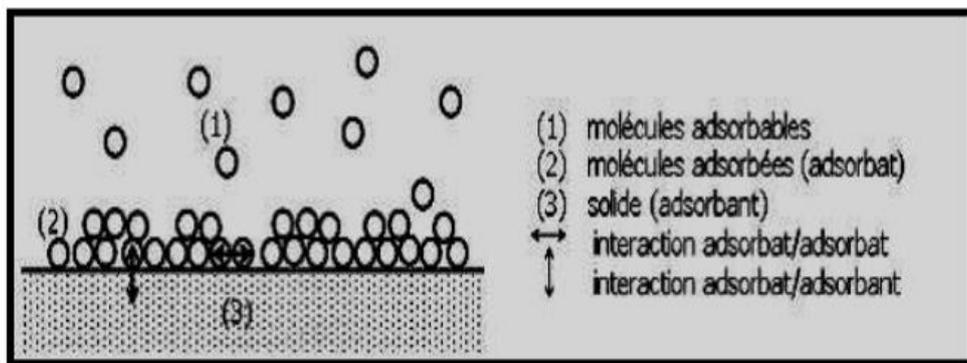


Figure II.1: Schéma de l'adsorption physique. [27]

II .2.2 Adsorption chimique ou la chimisorption :

La chimisorption est essentiellement le résultat de l'établissement de liaisons ioniques entre les cations (ou anions) de l'adsorbat et les charges négatives (ou positives) de la surface des matériaux adsorbants, est un phénomène irréversible due à une liaison chimique forte de type covalente entre les atomes superficiels du solide et les molécules adsorbées, ce type d'adsorption met en jeu des énergies d'attractions élevées, qui conduisent à des chaleurs d'adsorption élevées, approchant souvent aux l'énergie d'adsorption peuvent être de l'ordre de 200 kJ.mol⁻¹.

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

La distinction entre les deux types d'adsorption n'est pas toujours facile. En effet, les énergies mises en jeu dans les physisorptions fortes rejoignent celles qui interviennent dans les chimisorptions faibles.

De manière générale, l'adsorption est un phénomène exothermique qui se produit avec un dégagement de chaleur ce qui peut conduire à un échauffement du solide. [28]

II.3. Mécanisme d'adsorption :

Pour mieux qualifier et quantifier la rétention, il convient de s'intéresser aux phénomènes se produisant à l'échelle moléculaire, c'est-à-dire aux mécanismes d'adsorption. Les liaisons composé/adsorbat sont deux types :

- Liaisons de forte énergie ($>80 \text{ kJ.mol}^{-1}$) liaisons ioniques et échanges de ligands.
- Liaisons de faible énergie ($<80 \text{ kJ.mol}^{-1}$) interaction dipôle-dipôle liaison hydrogène interaction hydrophobe.

Les adsorbants utilisés dans la pratique sont caractérisés par une structure microporeuse qui leur confère une très grande surface active par unité de masse. Se sont soit de nature organique (végétal ou animal), soit de nature minérale, et ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but d'augmenter la porosité. Les adsorbants les plus utilisés dans les applications de traitements des eaux sont les suivants : argile, charbon actif, gel de silice, alumine et tamis moléculaire.

La figure II.2 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

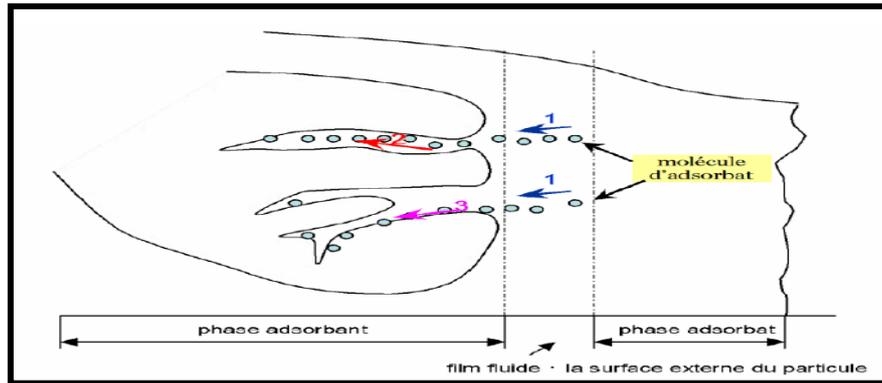


Figure II.2 : Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide ;

L'adsorption se produit principalement en trois étapes :

- 1- Transfert de masse externe (diffusion externe) qui correspond au transfert du soluté (molécules de la phase liquide) du sein de la solution à la surface externe des particules.
- 2- Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) qui a lieu dans le fluide remplissant les pores ; les molécules se propagent de la surface des grains vers leur centre à travers les pores.
- 3- Diffusion de surface Pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant.
- 4- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs (Adsorption dans un micropore). Étape très rapide. [29]

II.4. Cinétiques d'adsorption :

L'étude cinétique permet d'obtenir des informations sur les mécanismes d'adsorption, en particulier sur les mécanismes de transfert et de diffusion pendant le processus d'adsorption. Elle permet aussi d'établir les conditions d'équilibre avant de réaliser les isothermes d'adsorption.

La cinétique d'adsorption est définie par l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps de contact adsorbant/adsorbant. La vitesse d'adsorption d'un soluté à partir d'une solution dépend de nombreux facteurs, notamment la nature de l'adsorbant, l'adsorbant, ainsi que de la vitesse d'agitation du milieu.

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

Elles ont montré que l'adsorption des adsorbats est relativement rapide sur un solide non poreux. L'équilibre est atteint en quelques minutes. Cependant, l'adsorption sur un solide poreux est beaucoup plus lente. [30]

II.5 Isothermes d'adsorption :

Une isotherme d'adsorption est la variation $q_e = f(C_e)$ de la quantité q_e adsorbée sur un solide à l'équilibre en fonction de la concentration à l'équilibre C_e du composé adsorbable, à une température donnée.

La quantité adsorbée à l'équilibre peut s'exprimer dans différentes unités ; on utilise principalement dans le cas d'adsorption en phase aqueuse la mole d'adsorbat par masse de solide ou masse d'adsorbat par masse de solide.

La relation obtenue est appelée « isotherme d'équilibre » à condition que l'expérience soit effectuée à température constante. Le bilan de matière entre les deux phases donne l'équation suivante :

$$q_e = \left(\frac{V}{m}\right) (C_o - c_e) + q_o \quad \text{(II-1)}$$

Où les paramètres suivants représentent :

- V : Volume de solution (L) ;
- m : Masse de solide adsorbant (g) ;
- C_o : Concentration initiale en soluté en phase liquide ou gazeuse (mol/L) ;
- q_o : Concentration en soluté initialement présentée sur le solide (généralement nulle ou négligeable) (mg/g).

L'utilisation d'isothermes d'équilibre permettra de diagnostiquer la nature du phénomène de l'adsorption. [31]

II.6. Description du procédé de régénération :

Le procédé de régénération proposé consiste à assurer la restauration des propriétés de l'huile usée afin de les rapprocher de l'huile neuve.

Selon la CEI, la régénération correspond à un processus qui, grâce à des moyens chimiques et des absorbants, élimine les contaminants et produits acides entraînant la détérioration de l'huile afin d'obtenir une huile aux caractéristiques similaires à celles d'un produit neuf. La régénération n'est pas un processus de séchage. Si l'isolation du transformateur est très

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

humide, le séchage du transformateur doit être associé à la régénération. Le dégazage et le filtrage ne sont pas des processus de régénération. En supprimant les acides, la boue et les autres produits responsables de la dégradation, le vieillissement de l'huile est ralenti. Ce procédé a également un effet bénéfique sur le vieillissement de l'isolation en papier. Lorsque l'huile présente des valeurs non acceptables pour l'acidité, la tension interfaciale et le facteur de dissipation, il est nécessaire de régénérer l'huile. Etant donné que le vieillissement de l'isolation est un processus irréversible, il est essentiel de régénérer l'huile avant que la dégradation ne soit trop avancée. [5]

II.7. Principe de la régénération des huiles isolantes usagées :

En se référant au descriptif de la norme IEEE Standard 637TM-1985 (R2007) guide pour la régénération d'huile isolante et critères d'utilisation, la récupération ou la régénération des huiles minérales isolantes pour transformateur peut être définie comme la restauration des caractéristiques du liquide isolant usagée par l'élimination des contaminants et des produits de dégradation tels que les matériaux polaires, acides ou colloïdaux par un produit chimique ou un adsorbant. Les conditions de récupération est différent de celles du reconditionnement, car ce dernier est un procédé mécanique sans avoir recours à une réaction chimique. Les recommandations et essais de la norme visent également à fournir l'estimation de la fiabilité en continue de l'huile en service dans l'équipement et des conseils pour le reconditionnement de cette l'huile par des moyens mécaniques. Ces évaluations suggèrent à leur tour des seuils minimaux des propriétés du liquide isolant pour restauration ou régénération. C'est la meilleure méthode pour surmonter les problèmes d'environnement. Elle peut aider aussi à éliminer les contaminants présents dans les vieux transformateurs, tels que l'eau et les boues, sans modifier la naturalité de l'huile elle-même. Par la suite, il peut améliorer la résistance diélectrique, tension inter faciale (IFT) et indice d'acide total (TAN).

Cependant il y a plusieurs types de procédé de régénération tel que déshydrateur sous vide, filtration mécanique (presse-filtre ou filtre-presse), filtration coalescent, dépôt de précipitation, percolation de procédé de contact par gravité, percolation par pression, dérivation thermosiphon. [12]

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

II.8. Procédés de régénération de l'huile usagée :

Généralement, l'huile usagée subit d'abord des prétraitements : filtration, décantation, déshydratation, déessencement. Puis une distillation sous vide permet la séparation des coupes d'huiles, complétée actuellement par un traitement de dés asphaltage du résidu sous vide pour récupérer une fraction d'huile plus visqueuse. Un traitement d'apparence des coupes d'huiles, est assuré soit par un procédé de filtration sur terre activée (argile) soit par un procédé d'hydrogénation catalytique peu sévère. L'huile obtenue, qui peut être qualifiée d'huile régénérée est, dans certains cas- soumis à un traitement supplémentaire raffinage sévère équivalent à celui des huiles en raffinerie par hydrogénation catalytique poussée ou extraction solvant.



FigureII.3 : la station de la régénération. [32]

II.8.1 Centrifugation d'huile usagée :

Il s'agit d'un procédé d'élimination, des particules solides et de la diminution de la teneur en eau de l'huile. Comprennent plusieurs étapes, la filtration, centrifugation et le procédé de séchage sous vide. Cependant, aux pressions utilisées, il convient que la température de début de distillation de l'huile ne soit pas dépassée, afin d'éviter la perte des fractions les plus légères de l'huile. Si cette donnée est inconnue, il convient de ne pas traiter l'huile à des températures supérieures à 70°C.

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

En règle générale, les centrifugeuses sont suffisantes pour éliminer l'eau libre de l'huile, et dans tous les cas, peuvent agir sur toutes les impuretés solides finement divisées. Le traitement physique se fait par centrifugation contient un bol séparateur qui permet la séparation liquide-liquide, liquide-solide à un débit compris entre 900 et 1200 l/h et une vitesse de rotation 5000 à 9000 tr/min.

Les corps les plus lourds seront éliminés à ce niveau sous l'effet de la force centrifuge en se fixant sur des disques conique, l'eau libre étant plus dense que l'huile, elle s'éliminera sous le même effet mais s'évacuant par une ouverture qui se trouve sur le couvercle du séparateur. [33]

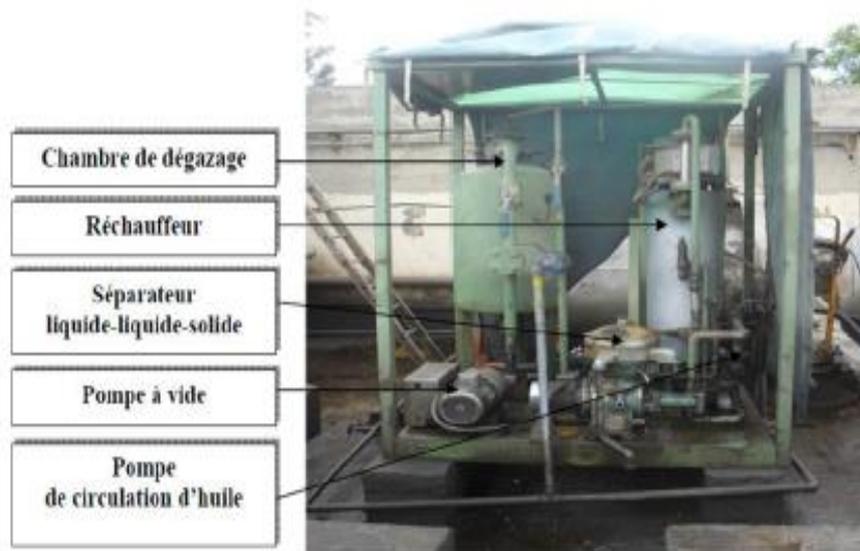


Figure II.4 : Station de traitement physique par centrifugation. [33]

II.8.2 Déshydratation d'huile usagée :

Il s'agit d'un système d'amélioration des propriétés diélectriques de l'huile isolant en enlevant l'humidité, les gaz et particules contaminants dissous. Le processus d'évaporation combine deux étapes, filtration de particule et de dégazage sous vide poussé pour enlever l'eau, gaz et la matière particulaire dissous en vue de maximiser la tenue diélectrique de l'huile. [33]

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES



Figure II.5: Station de déshydratation. [33]

II.8.3 Traitement d'huile usagée par adsorption :

Après traitement d'huiles usagées par centrifugation et déshydratation, un traitement de finition est nécessaire afin d'améliorer les valeurs élevées d'acidité et l'élimination des sous-produits d'oxydation et la couleur d'huile, une adsorption des différents composants d'oxydation et élaborée par un traitement avec un adsorbant d'une colonne sous vide poussé pour faciliter la filtration d'huile. La méthode d'adsorption consiste à mettre en contact et en mélangeant en continu l'huile et l'adsorbant, chauffé à la température de 80°C, et avec un rapport massique de l'ordre de 15% d'adsorbant par rapport au poids d'huile et pour chaque cycle de régénération, avec un temps de contact de 10 min. [33]

II.9. Les matériaux adsorbants :

Les adsorbants sont les expressions courantes utilisées dans la récupération de l'huile de transformateur. Il a acquis une signification d'un matériau ou une substance qui a le pouvoir d'attire et retient d'autre substance avec ténacité à sa surface. Il existe de nombreux matériaux d'adsorbant utilisés dans la récupération de l'huile de transformateur. Le matériau commun utilisé dans l'industrie du processus de régénération c'est l'argile, d'autres matériaux sont la bentonite, le gel de silice, le charbon actif. [12]

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

II.9.1 L'argile :

II.9.1.1 Définition :

Les argiles sont caractérisées par des particules très fines (inférieures à 2 microns), petites dimensions à contours irréguliers, qui leur confèrent les propriétés suivantes : la charge et la structure, densité de charge électrique, négative constante sur les surfaces de base et un caractère amphotère dû aux hydroxydes formés aux extrémités des feuillets. Les argiles possèdent une surface spécifique élevée qui leur permet une grande capacité d'adsorption, des ions métalliques, molécules organiques et des molécules d'eau (hydratation). Ceci peut être défini par un paramètre appelé, capacité d'échange cationique. [34]

La présence des charges électriques conduit l'argile à posséder la possibilité de fixation et d'échange ionique.



Figure II.6 : structure de l'argile.

II.9.1.2 Propriétés physico-chimiques :

Les roches argileuses ont les propriétés physiques suivantes :

- ✓ Elles sont fragiles, elles cassent et se raient facilement.
- ✓ Elles sont colorées, leur couleur varie selon les minéraux dont elles sont constituées.
- ✓ Elles sont transformables, on peut les cuire pour obtenir des céramiques.
- ✓ Elles sont miscibles à l'eau, elles ne se dissolvent pas mais gonflent pour former une pâte. Les argiles se différencient par leurs propriétés absorbantes et adsorbantes.

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

Les argiles à structure fibreuse ont un pouvoir absorbant élevé. Elles peuvent absorber jusqu'à 40% de leur poids en liquide. Elles ont donc des vertus nettoyantes qui leur permettent d'absorber les impuretés ou d'éliminer les mauvaises odeurs. [35]

Elles ont un intérêt important pour traiter les problèmes intestinaux. Grâce à ce pouvoir d'adsorption, elles désintoxiquent en captant les virus, les bactéries et les pesticides et autres molécules indésirables.

Les propriétés bien particulières des minéraux argileux sont dues à la petite taille, la structure en feuillets et la charge négative des particules. Elles forment avec l'eau des solutions colloïdales qui flocculent lorsque les charges de surface des particules sont neutralisées par des ions. Ce phénomène est réversible : les particules retrouvent l'état dispersé lorsque les ions sont éliminés par rinçage. Les argiles fixent l'eau par adsorption à leur surface et augmentent de volume par gonflement. Elles constituent ainsi une réserve d'eau. L'argile sèche développe une tension de succion importante pour l'eau qui peut s'opposer à celle des racines des plantes. Avec adjonction croissante d'eau, la tension de succion diminue, l'ensemble eau-argile devient plastique, puis visqueux et finalement les particules d'argile se dispersent dans l'eau en formant une solution colloïdale. L'argile imprégnée d'eau qui se dessèche se rétracte et se casse par des fentes de retrait. [35]

II.9.2. Le gel de silice :

Les gels de silice peuvent être définis comme des réseaux tridimensionnels, rigides et cohérents de particules contigües de silice colloïdales. La formation de ces gels par polymérisation de l'acide silicique et par agrégation des particules colloïdales. Les propriétés des gels de silice sont à relier aux états d'agrégation mais aussi à leur chimie de surface. [36]

II.9.2.1 Utilisations des gels de silice :

Les gels de silice sont principalement utilisés comme :

- Desséchants : ils ont en effet un grand pouvoir de rétention d'eau sur une large gamme d'humidité. Ils sont utilisés pour assécher des gaz, pour conserver à l'abri de l'humidité des denrées alimentaires ou des médicaments.

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

- Adsorbants : le domaine le plus représentatif est celui de la chromatographie. Ils permettent également de purifier des solutions par l'adsorption de polluants (bière, huile, ...). [36]

II.9.3 Charbon actif :

Des travaux ont montré que d'autres adsorbants ayant des caractéristiques de sorption intéressantes peuvent être utilisés. Le choix a été surtout porté sur les adsorbants naturels, abondants de prix bas tel que le charbon actif. Le charbon actif peut être produit en utilisant des déchets naturels comme les noyaux des dates. Le processus d'adsorption en général peut conduire à d'autres sous-produits. Pour réduire ce phénomène, des recherches sont orientées vers l'utilisation des bio-adsorbants. Le chitosane qui est un polysaccharide, extrait des déchets des crustacés tel que les crevettes, peut être utilisé comme adsorbant. [37]

II.10. Les adsorbants issus des végétaux :

L'utilisation des déchets agricoles tend à se développer grâce à des coûts de matière très faibles et la possibilité de préparation à partir de sources renouvelables, le charbon actif peut être obtenu par pyrolyse du bois, de noix de coco, des écorces des fruits comme l'écorce de Sapindus Mukorrosi, l'écorce du bambou, noyaux d'abricot, noyaux d'olive, noyaux des dattes...etc.

II.11. Méthodes de récupération des huiles usées :

a. La récupération chez les particuliers :

Les particuliers qui s'acquittent seuls de leur changement d'huile et des domaines d'activités agricoles génèrent de 10 à 15 millions de litres d'huile usagée, qu'ils peuvent diriger vers deux types de points de récupération :

Les dépôts permanents et les collectes municipales. Les dépôts permanents sont constitués de dépôts municipaux dont les Éco-centres, de tous les points de collecte du réseau de récupération.

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

b. La récupération dans les industries :

Les industries, les stations-service et les garages produisent de 63 à 68 millions de litres d'huile usagée par année. Ils sont le plus souvent dotés de systèmes de collecte performants, assurés en général par des compagnies spécialisées. Cette manière de procéder permet à ces secteurs d'activités de récupérer, 48 millions de litres d'huile usagées.

L'opération de recyclage des lubrifiants usagés passe par plusieurs étapes, à savoir la Collecte et le traitement en utilisant deux méthodes :

- La méthode de régénération ou re-raffinage consiste à refabriquer une huile de base semblable aux huiles neuves où les installations de régénération sont de véritables petites raffineries.
- La méthode de valorisation, la valorisation énergétique est l'une des possibles voies d'application des huiles usées. Elle prévoit de brûler ces déchets pour l'obtention de la chaleur qu'est l'application la plus courante, particulièrement dans les cimenteries, les raffineries, etc. [38]

II.12. L'intérêt de la régénération des huiles isolantes usagées :

La pénurie du pétrole devenant un problème mondial de nos jours, la régénération des produits à base de pétrole usé devient de plus en plus importante. La régénération des huiles minérales utilisées a de nombreux avantages, en plus de la minimisation des dangers il y a la réduction des déchets pour la protection de l'environnement ; la conservation de

L'énergie et des ressources naturelles. Le recyclage des huiles usagées est devenu très judicieux ; et peut être accompli avec différentes méthodes. [39]

CONCLUSION

La régénération est un moyen efficace pour réduire les quantités d'huiles neuves utilisées, d'un côté. D'un autre côté, éviter de jeter des quantités importantes des huiles usagées dans la nature. Plusieurs procédés de régénération sont utilisés, qui sont basés sur des procédés chimiques, physiques ou la combinaison des deux.

La connaissance des mécanismes d'adsorption ou de rétention des adsorbats par les solides passe avant tout par une bonne connaissance des propriétés structurales et texturales des adsorbants utilisés. Parmi les adsorbants les plus répandus, on trouve les argiles et

CHAPITRE II : LES MÉTHODES DE TRAITEMENT ET RÉGÉNÉRATION DES HUILES USAGÉES

particulièrement les bentonites et le plus utilisé est le charbon actif. Leurs propriétés adsorbantes et leurs capacités d'échange de cations sont reconnues depuis longtemps.

Les matériaux adsorbants sont importantes pour le traitement et la régénération des huiles usagées mais coûtent très chers, c'est pour cela l'utilisation des adsorbants naturels sont mieux. [40]

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

D. BAMBA et al [41], en 2009 ont travaillé sur les études comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron, ils ont étudié la préparation d'un charbon actif à partir de coques de noix de coco suivant les deux modes d'activation (physique et chimique).

Ces matériaux ont développé une bonne porosité (mélange de méso et de micro porosités). Les surfaces spécifiques obtenues sont comprises entre 200 m² /g et 1300 m² /g.

Ils possèdent un fort caractère acide en général dû principalement aux fonctions lactone et acide carboxylique et présentent dans l'ensemble une bonne affinité avec le diuron, lequel peut être facilement éliminé si le charbon actif est macroporeux et/ou à des fonctions phénoliques, les charbons ont une acidité totale moyenne de 3,513 méq/g contre une basicité totale moyenne de 1,632 méq/g.

Les études cinétiques d'élimination du diuron ont révélé que ces charbons ont une bonne affinité avec ce polluant. Les charbons activés physiquement présentent une meilleure diffusion permettent une élimination quasi-totale du diuron en solution aqueuse par rapport à ceux obtenus par la méthode chimique, le charbon obtenu n'est pas lavé ; ce qui reste un grand avantage pour l'environnement car pas de production d'eau usée.

A. TOUATI, [42], en 2010 a travaillé sur la préparation d'un charbon actif par pyrolyse de la biomasse : cas du noyau du fruit du Néflier, cette étude a été réalisée en deux étapes la première concerne la préparation du charbon actif (CA) à partir d'un déchet naturel ligno-cellulosique qui est le noyau de nêfle par technique de la pyrolyse et l'activation chimique par l'hydroxyde de potassium. Son objectif principal de cette étude est la valorisation des noyaux de nêfle, un résidu de la biomasse, en produisant CA ayant une structure poreuse importante et une grande surface spécifique. L'influence de la variation de la température de carbonisation (de 450°C à 750°C), du temps d'imprégnation (1, 2 et 3 h) et du rapport précurseur/agent actif (2/1, 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6) est étudiée a trouvé que les meilleurs résultats d'adsorption ont été obtenu à la température de carbonisation 600°C, rapport 1/1, et

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

le temps de contact d'une heure, est suivi d'un décroissement du rendement en CA. Le rendement en CA diminue aussi avec l'augmentation de la température de carbonisation.

La seconde étape est de caractériser les charbons obtenus, les essais réalisés au cours de cette étape ont eu pour objectif l'application du procédé d'adsorption du Bleu de méthylène, colorant cationique, et du Rouge congo, colorant anionique en milieu aqueux sur des charbons actifs préparés a permis de déterminer la capacité d'adsorption de ces deux colorants sur le CA préparé et de conclure que ce dernier est capable d'adsorber ces deux types de colorant en milieu neutre.

L'adsorption de ces deux colorants à l'équilibre a permis aussi de calculer la surface spécifique du CA, elle est fortement influencée par la présence des oxydes de surface de caractère acide. Cette dernière augmente avec l'augmentation de la température de carbonisation et la quantité optimale adsorbée a été obtenue pour le rapport précurseur/agent actif : 1/1. Les analyses, par spectroscopie de FTIR des échantillons préparés, ont montré l'existence des groupes fonctionnels suivants sur la surface du CA : (O-H), (C-H), (C=C), (cycle aromatique), (C-O) et (C=O) qui suggèrent la présence de groupes carboxyliques, phénoliques et lactoniques sur la surface du CA.

Tandis que l'adsorption du rouge congo est surtout déterminée par la surface du charbon actif. Cela fait de ce charbon actif un biosorbant dans le traitement de la coloration des eaux usées. Les cinétiques d'adsorption ont été déterminées et on a observé l'influence de : l'augmentation de la concentration initiale favorisée par l'augmentation de la quantité adsorbée sur le charbon actif, la nature de l'adsorbat, cationique ou anionique (BM et RC), s'adsorbe bien sur le charbon actif préparé, l'effet de l'agitation permet d'accélérer le phénomène d'adsorption.

Ces études réalisées ont permis de conclure que le CA préparé peut être utilisé comme un matériau adsorbant efficace.

En 2011, M. GUEYE et al, [43], ont travaillé sur l'étude de la synthèse des charbons actifs à partir de biomasses locales par activation chimique avec H_3PO_4 , ont étudié l'optimisation des différents paramètres (température de pyrolyse, vitesse de chauffe, concentration de l'agent activant) qui ont une influence sur le procédé de synthèse des charbons actifs.

Les réponses expérimentales étudiées sont le rendement en charbon actif et l'indice d'iode. Les résultats de l'analyse immédiate et élémentaire des biomasses montrent qu'il ressort de l'analyse immédiate de faibles taux de cendre et de bon pourcentage d'éléments carbone et carbone fixe pour ces différentes biomasses choisies. Les biomasses choisies sont

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

convenables à être utilisé pour l'obtention de bon charbon actif car elles contiennent de faible taux de cendre et de bon rendement en carbone.

Une concentration de l'agent activant H_3PO_4 à 10% associée à une température de pyrolyse de $400^\circ C$ et une vitesse de chauffe de $10^\circ C/mn$ permettrait d'élaborer les meilleurs CA en terme de rendement : 71% ; 76% ; 70% et 68% respectivement pour les coques d'arachide, les coques de jatropha, les noix de coco et le bois de jatropha.

Les meilleurs résultats en termes d'indice d'iode sont obtenus dans des conditions différentes. 880 et 663mg/g respectivement pour les coques d'arachide et jatropha (dans les mêmes conditions que le rendement).

Pour les charbons actifs issus de noix de coco le meilleur indice d'iode est obtenu pour l'essai 8 avec 690mg/g et avec le bois de jatropha, le meilleur indice d'iode est obtenu à l'essai 5 avec une valeur de 859mg/g.

Les mesures (rendement et indice diode) sur les charbons actifs préparés donnent des résultats intéressants comparables avec la littérature.

L'étude des paramètres thermiques et l'utilisation de plans d'expériences factoriels ont permis de déterminer les conditions optimales de température, de vitesse de chauffe ainsi que la concentration de l'agent activant H_3PO_4 . Des études complémentaires (surface BET, volume et diamètre des pores) sont en cours pour mettre en évidence l'utilisation des charbons actifs dans les applications industrielles.

En 2011, HOUARI. M, [44] a travaillé sur la valorisation des fruits du *SapindusMukorossi* en tant que biosorbant : application dans l'élimination des colorants, a étudié l'efficacité de nouveau biosorbant végétal en l'occurrence « Le *SapindusMukorossi* » dans l'élimination des colorants des rejets industriels. Pour ce faire l'adsorption de deux colorants différents : le Bleu de Méthylène à caractère cationique et l'Eosine anionique.

L'étude cinétique a montré que le temps d'équilibre du Bleu de Méthylène est atteint au bout de 40 min, alors que celui de l'Eosine est estimé à 70 min avec des pourcentages d'élimination de 95% et 78,58% respectivement pour le Bleu de méthylène et l'Eosine, donc la rétention du colorant cationique semble être plus rapide qu'un colorant anionique.

Les résultats cinétiques d'adsorption sont mieux décrits par l'expression du modèle de deuxième ordre pour les deux colorants.

L'isotherme de l'adsorption des deux colorants est décrite de manière satisfaisante par le modèle de Freundlich et elle est de type S, qui peut signifier que l'adsorption est coopérative,

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

l'étude de la variation du PH n'a pratiquement pas l'effet sur le Bleu de méthylène que ce soit en milieu basique ou en milieu acide.

En revanche pour l'Eosine l'adsorption en milieu acide est nettement meilleure

L'augmentation de la température a un effet négatif sur le processus d'adsorption des deux colorants. L'ensemble de ces résultats montrent que les écorces du fruit du Sapindus Mukorossi offrent un grand potentiel pour l'élimination des colorants, surtout les cationique. En effet on a constaté que le colorant cationique s'adsorbe plus facilement que le colorant anionique.

En 2011, YANG LI et al [45] ont étudié la biosorption des ions Cu (II) à partir d'une solution aqueuse par des algues rouges (*Palmaria Palmata*) et de la bière Draff. Selon les résultats, les algues rouges et les gouttes de bière peuvent être utilisés pour éliminer les ions cuivre des solutions aqueuses.

La capacité d'adsorption des matériaux pour Cu (II) était fortement dépendante de la valeur du pH et de la concentration initiale du Cu (II). Le pH optimal la valeur était compris entre 5 et 6 pour les deux matériaux.

La relation entre le pH final et l'adsorption capacité révélée que les ions hydrogène avaient participé à le processus d'adsorption du cuivre. Le modèle du pseudo-second ordre était conforme avec un comportement d'adsorption sur les deux matériaux, montrant la caractéristique chimique du processus d'adsorption.

Le modèle isotherme de Langmuir s'adapte bien à l'adsorption phénomène, indiquant que l'adsorption maximale les capacités étaient de 12,7 mg / g et 9,01 mg / g pour l'algue rouge et bière Draff, respectivement. Le modèle D-R démontré la nature chimique du processus d'adsorption. Le négatif c'est que les valeurs de ont révélé ΔG° que le processus d'adsorption sur les deux matériaux était spontanée.

On a constaté que la bière Draff avait des groupes acides plus faibles que l'algue rouge dans l'étude de potentiométrie et conductimétrie titrage. Compte tenu des différences entre le comportement d'adsorption des algues rouges et de la bière, les capacités de liaison et les taux de réaction étaient supposés être variaient parmi les différents groupes acides.

FTIR, EDX et des études de désorption ont prouvé que la liaison chimique était le mécanisme principal d'adsorption plutôt que d'échange d'ions.

Les groupes fonctionnels, tels que amino, hydroxyle, carboxyle, groupe hydroxyle phénolique, groupe sulfonique et L'étirement C – O, –NH pourrait être impliqué dans

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

l'adsorption. Désorption des expériences avec NaCl ont indiqué que l'adsorption de Cu (II) aux deux matériaux résultait principalement de liaison chimique, pas d'échange d'ions.

Les algues rouges et les gouttes de bière sont peu coûteuses et largement matériaux disponibles. Sur la base de leur adsorption satisfaites capacités et faible efficacité de désorption avec NaCl montré dans cette étude, ces deux matériaux, en particulier l'algue rouge, sont des alternatives possibles pour éliminer le cuivre d'écoulement routier.

En 2013, N. SEDIRA et al [37] ont travaillé sur l'étude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes, ce travail concerne la carbonisation d'un matériau d'origine végétale dure ; les noyaux de dattes ; pour le transformer en charbon, puis l'utiliser pour l'adsorption des métaux lourds notamment le plomb.

Après la préparation de charbon actif les échantillons sont traités chimiquement avec l'acide phosphorique, débit d'azote nécessaire qui correspondrait à la fluidisation minimale est de 45 L/min, la température d'activation est de 200 à 800 °C pendant 1h.

Le rendement diminue de 20% à 9% quand le temps d'activation passe de 15 à 120 minutes, est inférieur à celui obtenu lorsque $ZnCl_2$ est utilisé. Après un temps de contact de 1h ont atteint un régime permanent et le rendement devient presque constant.

Les capacités d'adsorption obtenues sont plus élevées que celles obtenues dans les cas des noyaux de datte Naturels. Pour améliorer la capacité d'adsorption des carbonisats, les Noyaux de dattes ont subi un traitement chimique avec de l'acide nitrique 10 N, pendant une journée. Cette étude comporte deux volets principaux : dans le premier ils ont essayé de donner les principaux aspects théoriques liés au processus de l'adsorption (généralités sur l'adsorption, cinétique d'adsorption, capacité d'adsorption, types d'isothermes), généralités sur la pollution par les métaux lourds et les méthodes de leur élimination.

Ils ont montré que le charbon actif préparé à l'origine de noyaux de dattes est un résidu naturel non coûteux représentant aujourd'hui un avantage majeur pour le traitement des eaux usées, un bon candidat aussi efficace que le charbon commercialisé pour l'élimination des ions plomb contenus seuls en solution ou en mélange avec d'autres éléments métalliques. L'optimisation des conditions opératoires constitue un facteur important pour l'amélioration du pouvoir adsorbant du charbon.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

En 2014, M. TRACHI et al [45] ont travaillé sur la préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de la coquille d'amande (*Prunus amygdalus*) amère, fruit qui pousse spontanément dans la région de Sétif (nord-est Algérien).

L'objectif de cette étude était d'élucider la faisabilité de l'activation chimique des BASH comme voie d'obtention de deux types de CA.

Les deux CA sont obtenus à partir des BASH par activation acide (CAa) et basique (CAb). Les produits finaux sont caractérisés par différentes analyses physico-chimiques : angle de repos, taux de cendres, analyse thermique, etc. Dans le cas du CAa, la modélisation de la cinétique et des isothermes d'adsorption du bleu de méthylène (BM) est aussi abordée.

Le mode d'activation semble influencer inégalement sur les différentes caractéristiques physico-chimiques des deux charbons actifs obtenus. La cinétique d'adsorption du BM par le CAa est correctement décrite par le modèle pseudo-2^e-ordre ($R^2 = 0,999$). Concernant la modélisation de l'isotherme d'adsorption, parmi les trois modèles testés, celui de Freundlich s'avère le plus adéquat pour rendre compte des données expérimentales : $R^2 = 0,898$, erreur relative moyenne (mean relative error, MRE) = 38,638 et la racine carrée de l'erreur moyenne (rootmean square error, RMSE = 1,039). D'autre part, la coquille activée montre une capacité intéressante d'adsorption du BM, estimée à 99,05 %.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent qu'il est possible d'obtenir, à partir des coquilles d'amandes amères (sauvages), un charbon activé par voies chimiques alcaline (en utilisant KOH) ou acide (en utilisant H₃PO₄) et sans recours au procédé de carbonisation. En plus, le charbon final se caractérise par des propriétés physico-chimiques globalement comparables aux charbons classiques issus d'autres types de biomatériaux. L'adsorption correspondante est de type hétérogène.

En conséquence, une telle valorisation des amandes amères qui restent une biomasse disponible et sous-utilisée, est de nature à susciter un intérêt auprès des différents secteurs industriels, ce qui peut contribuer à la sauvegarde de la biodiversité.

En 2015, M. ABBAS, [46], a travaillé sur la valorisation du noyau d'abricot dans la dépollution des eaux, il a étudié l'élaboration d'un adsorbant à base des coquilles de noyaux d'abricots par activation chimique et physique.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'activation chimique consiste à imprégner la poudre issue des coquilles de noyaux d'abricots dans l'acide H_3PO_4 de pureté 85% en masse.

L'activation physique consiste à calciner la poudre obtenue après lavage dans un four à moufle à une température de 250 °C durant 5 à 6 h.

L'adsorbant préparé a été caractérisé par :

- Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour connaître les groupements fonctionnels.
- Diffraction des rayons X pour déterminer la structure cristalline.
- Fluorescence X pour déterminer la composition semi quantitative.
- Analyse par B.E.T pour déterminer les pourcentages en C, H, N et O.
- MEB pour comparer les pores avant et après adsorption.

Des tests d'adsorption réalisés sur des solutions synthétiques de cobalt et de colorant après l'optimisation des paramètres analytiques, montrent que les isothermes d'adsorptions obtenues sont parfaitement décrites par les modèles de Langmuir et Freundlich. La capacité maximale d'adsorption à 22.5 °C vaut 111.11 mg/g à PH 9 pour le cobalt et 10.09 mg/g pour le colorant à PH 2. La température a un effet considérable sur le phénomène d'adsorption du colorant ; en effet, la capacité d'adsorption est de 98.022 mg/g à 50 °C et l'énergie d'activation vaut 66.161 KJ.mol⁻¹.

La modélisation des cinétiques des deux polluants montre que la cinétique de pseudo-second ordre décrit mieux les résultats expérimentaux et l'étude thermodynamique révèle un processus endothermique, non spontané pour le cobalt et exothermique spontané pour le colorant bleu de Coomassie.

L'étude comparative des capacités maximales d'adsorption par rapport à d'autres adsorbants montre que les résultats sont satisfaisants et que l'adsorbant élaboré pourrait contribuer dans la dépollution des effluents industriels.

En 2016, SUNANDA SHARMA et al [47] ont travaillé sur l'études d'adsorption par lots pour l'élimination du colorant vert malachite des eaux usées à l'aide d'un adsorbant à base de biomasse, ont étudié l'adsorption du colorant vert malachite sur les adsorbants (Ad) dérivés de la coque de graines de Sapindus (S) et de Caméline (C) après traitement à l'acide sulfurique.

Le plot d'adsorption par lots sur les deux (Ad) est comparé en fonction de divers paramètres tels que le PH, le temps initial, la concentration et la température.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Ont trouvé que les données isothermes sont mieux présentées par le modèle de Langmuir pour les deux adsorbants. Le facteur de séparation (R^L) a révélé une adsorption favorable.

En outre, le taux d'adsorption a suivi une cinétique de pseudo premier ordre. Le modèle de diffusion intraparticulaire facilite la compréhension du transfert de masse lors de l'adsorption de molécules de colorant. L'analyse thermodynamique des deux annonces a révélé la spontanéité des phénomènes à une capacité d'adsorption plus élevée de (CAd) par rapport à (SAd).

Le potentiel de deux adsorbants (CAd) et (SAd) a été exploré dans ce travail, les observations sont les suivantes :

Les adsorbants à base de graines de Caméline et de Sapindus ont montré une adsorption maximale pour PH 6 à 30 °C.

Une concentration initiale accrue a entraîné un pourcentage d'élimination plus élevé du colorant de la solution aqueuse.

En 2016, A. NAIT-MERZOUG et al, [48], ont travaillé sur la préparation et caractérisation d'un charbon actif à base d'un déchet agricole, c'est la valorisation d'un résidu naturel et son application dans l'élimination par adsorption d'un colorant anionique connu pour sa toxicité qui est le Rouge Congo (RC) contenus dans l'eau. Ce déchet naturel expérimenté est les grignons d'olives collectés dans la région de Boucheougouf (Wilaya de Guelma). Ces résidus sont très abondants et bon marché et peuvent concurrencer les matériaux classiques : charbon, gel de silice, alumine etc.

La caractérisation du matériau après traitement physico-chimique a montré la possibilité de sa valorisation. L'influence de quelques paramètres sur la rétention des colorants par le support utilisé qui est le charbon actif à base de grignons d'olives tel que le taux d'humidité 8%, taux de cendre 2.17% avec un PH du 6.40 et la densité apparente 0.719 g/cm³.

La technique de la fluorescence X(RFX) a montré que l'adsorbant contient deux éléments majeurs le carbone et l'oxygène. La spectroscopie IR a prouvé qu'il est bien fonctionnalisé, alors que l'analyse du colorant le Rouge Congo (RC) a été réalisée par spectrophotométrie dans le visible, la longueur d'onde maximum pour ce colorant est 500 nm à 25degres Celsius. Les essais d'adsorption, ont montré que dans des conditions appropriées le taux de réduction est supérieur à 95%. Les résultats ont également montré que l'activation chimique du charbon actif issu des grignons d'olives est très efficace, l'adsorption est nettement influencée par la présence des sites actifs sans le matériau adsorbant, et le rendement de la rétention du colorant

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

est également influencé par le potentiel hydrogène, la quantité d'adsorption et éventuellement les concentrations initiales en adsorbat.

Donc ils ont conclu que le nouveau matériau est un vrai concurrent pour le charbon actif commercial et que le mode d'activation est très efficace.

En 2018, M. OUEDRHIRI et al, [49], ils ont étudié la préparation de charbons actifs (CA) à partir des coques d'olives de la variété picholine marocaine et de leur caractérisation physico-chimique. Quatre charbons actifs ont été élaborés : CA-V, CA-K, CA-P et CA-Z. Le premier est activé par voie physique (à la vapeur d'eau) ; les trois autres sont activés par voie chimique (au KOH, au H₃ PO₄ et au ZnCl₂ respectivement) sous atmosphère de N₂ à 550°C. Le taux d'humidité des charbons actifs préparés ne dépasse pas les 4 %, les rendements en charbon actif obtenus s'échelonnent entre 17 et 50 %.

L'acide phosphorique a fourni le meilleur rendement, suivi par le chlorure de zinc. Ces deux activateurs sont les plus couramment utilisés en industrie des charbons actifs ; mais, le premier, (H₃PO₄), est préféré au second parce qu'il fournit de meilleurs rendements (35-50 %) et permet une plus grande flexibilité vis-à-vis de la nature du précurseur et des conditions d'activation, pour le CA-V, le rendement n'a pas été déterminé, les valeurs obtenues pour l'indice d'iode et l'indice de bleu de méthylène sont faibles, par comparaison avec la littérature.

Parmi les quatre adsorbants produits, ceux activés par voie chimique sont satisfaisants. CA-K est le plus respectueux de l'environnement ; CA-Z est de meilleure capacité d'adsorption, mais ne peut être utilisé dans des domaines en relation avec l'alimentation humaine (IAA, potabilisation d'eau) étant contaminé par le zinc, métal lourd.

Le charbon actif CA-P, selon ces résultats, est le meilleur sur le plan quantitatif (rendement de 50%) et qualitatif grâce à ses propriétés adsorbantes très satisfaisantes. De plus, il est moins polluant que CA-Z et peut être facilement récupéré et recyclé dans le processus de production. Du point de vue économique, le prix de revient du charbon actif dépend principalement de celui de l'activateur ; or l'acide phosphorique est produit à l'échelle nationale, et donc, il est le moins soumis aux fluctuations de prix et de disponibilité.

Cette étude ouvre la voie vers la préparation d'autres charbons actifs à des fins spécifiques, étant donné les nombreuses possibilités de choix des agents d'activation. Les charbons préparés peuvent voir leurs propriétés physiques et adsorbantes s'améliorer avec une meilleure optimisation des conditions de préparation.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

De même, une étude des aspects cinétiques et thermodynamiques de l'adsorption des composants de la charge polluante des margines aiderait à optimiser la dépollution en termes de doses d'adsorbant et de taux d'abattement.

Cet article présenté par T. HAMAD et al, [50] en 2018, ont étudié l'utilisation de carbone activé de Sapindus pour l'adsorption du bleu de méthylène, ont produit un charbon actif à partir de résidus de fruit de Sapindus et a été utilisé pour l'adsorption du méthylène colorant bleu à partir d'une solution aqueuse simulée. Dont le but de la détermination des conditions expérimentales optimales.

L'adsorption maximale du bleu de méthylène s'est produite à pH 6,0 (4,83 mg / g) et l'adsorption la plus faible a eu lieu à pH 2,0 (4,35 mg / g), ce qui conduit à une élimination de 98% de bleu de méthylène.

La modélisation de l'adsorption a été déterminée en utilisant les isothermes de Freundlich et Langmuir. Les données étaient interprétées en fonction de R² et diverses fonctions de distribution d'erreur. L'isotherme d'adsorption a été mieux décrit par le modèle isotherme de Freundlich non linéaire.

Afin de déterminer la cinétique d'adsorption optimale, les données expérimentales ont été analysé à l'aide de modèles de pseudo-premier ordre, pseudo-deuxième ordre, pseudo-troisième ordre, Esquivel et Elovich.

Les paramètres relatifs nécessaires ont été déterminés par des méthodes régressives linéaires et non linéaires. Les fonctions statistiques ont été estimées pour trouver la méthode appropriée qui correspond aux données expérimentales. Les deux méthodes étaient appropriées pour obtenir le paramètre requis. Le modèle qui correspond le mieux aux données d'équilibre actuelles est le modèle linéaire d'Elovich (type 1 et 2).

Leur travail a montré que le charbon actif peut être utilisé comme adsorbant à faible coût pour le bleu de méthylène élimination des solutions aqueuses.

En 1999, F. MOHELLEBI et al [4] ont travaillé sur l'étude de la purification d'huiles usagées de type « moteur » au moyen d'une argile Montmorillon tique, ont étudié une nouvelle technique de régénération non polluante, la percolation, pour objectif majeur la suppression de l'emploi d'acide. De ce fait, ils ont étudié la possibilité d'utiliser la bentonite algérienne pour la purification complémentaire de l'huile motrice SAE 20 W50 usagée, déshydratée et débarrassée des hydrocarbures légers (l'essence).

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'huile usagée étant un mélange complexe et les facteurs affectant la cinétique de purification difficiles à déterminer, ils pouvant dire que les deux phénomènes de filtration et d'adsorption peuvent avoir lieu.

L'étude qu'ils ont menée sur les lits de bentonite (uniformité, porosité, dimension des grains, facteur de forme, nature de la terre, etc.) et sur la charge huileuse (nature des particules d'impureté en suspension, leurs dimensions, vitesse de circulation, etc.) ils ont permis de dimensionner un appareil pilote de 18 plateaux de 20 cm de diamètre, chaque plateau pouvant contenir 1,5 kg de bentonite. Plusieurs paramètres ont été étudiés et optimisés. Ils ont cité l'espacement des plateaux, la température de percolation, la granulométrie, le degré de tassage, etc. L'objectif est d'aboutir à un appareil de purification pouvant être utilisé dans des stations-service qui procèdent à des vidanges régulières, la charge de bentonite étant changée après chaque saturation. La dépollution de cette argile, si elle devait s'avérer nécessaire, ne pourrait se faire que par combustion malgré son coût prohibitif.

En 2005, CHRISTOPHE PERRIER, [10] a travaillé sur l'étude des huiles des mélanges à base d'huile minérale pour transformateurs de puissance- Recherche d'un mélange optimal, il s'agit son travail de trouver un mélange optimal d'huile à base d'huile minéral. L'huile minérale naphénique NynasNytro 10 GBN, les huiles esters synthétiques Midel 7131 et ProEco TR3746, et l'huile silicones Rhodorsil 604V50, que chaque type d'huile présente un atout par rapport aux autres et que le mélange d'une huile minérale naphénique avec 20% d'ester synthétique présente le meilleur compromis.

Des essais permettant d'analyser des caractéristiques fondamentales comme la miscibilité, la viscosité cinématique, la tenue diélectrique, la stabilité au vieillissement des huiles et des mélanges, et des mesures de tendance à la charge statique, ont été effectuées.

Différents mélanges à différentes concentrations ont été étudiés, pour des raisons techniques et économiques, l'accent est mis sur les mélanges composés de 80% d'huile minérale et 20% d'autres types d'huile.

Il ressort des différents essais réalisés que chaque type d'huile a un avantage. L'huile minérale est la plus efficace pour évacuer la chaleur de par sa faible viscosité aux températures moyennes de fonctionnement d'un transformateur (90°C), l'huile esters synthétique présente la meilleure tenue diélectrique par sa haute solubilité de l'eau alors que la moins bonne tenue diélectrique de l'huile silicone semble être due à la présence importante de particules de silicium, et elle est la plus stable au vieillissement avec une variation quasi nulle de l'acidité

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

et de $\tan \delta$ aux cours des différents vieillissement, contrairement à l'huile minérale qui apparaît comme la plus sensible.

D'autre part, le mélange optimal obtenu se compose de 80% d'huile minérale et 20% d'ester synthétique, ce mélange permet d'améliorer certaines caractéristiques de l'huile minérale, toutefois dégrader ses bonnes propriétés, tout en restant dans un coût raisonnable.

Il présente par rapport de l'huile minérale seule une aptitude à évacuer la chaleur pratiquement équivalente, une tenue diélectrique plus élevée, une meilleure stabilité au vieillissement et une tendance à la charge statique modérée.

R. Mazouzi et al, en 2014 [51] ont travaillé sur la régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide, ont étudié le traitement d'une huile moteur SAE20W50 usées par l'acide sulfurique. Des tests sont effectués sur l'huile traitée tels que : la viscosité, le point d'éclair, le point d'écoulement et la densité. Les résultats des tests ont montré que les caractéristiques de l'huile traitée sont nettement améliorées par rapport à ceux d'une huile usée.

En 2017 K. HAFSAOUI et al [3] ont travaillé sur la régénération des huiles diélectriques usagées des transformateurs par bentonite traitée (Tonsil®), proposant un procédé de régénération des huiles minérales des transformateurs, en utilisant une bentonite traitée (Tonsil®). La régénération est réalisée en présence de H_2SO_4 , HCl et HNO_3 .

Le procédé consiste à acidifier l'huile, puis l'adsorber sur une bentonite traitée d'Espagne (Tonsil®). Trois acides ont été utilisés, à savoir, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique. Le traitement a été suivi par la détermination des paramètres tels que : la couleur, l'indice d'acidité, la teneur en eau, la résistivité, le facteur de dissipation la tension de claquage ...etc.

Effectivement la régénération a amélioré les propriétés de l'huile, et la présence d'acide sulfurique à une concentration de 10ml de H_2SO_4 dans 1L d'huile usagée a conduit à une meilleure amélioration : un taux d'amélioration de 96,43% pour le facteur de dissipation, la résistivité a augmenté jusqu'à une valeur de 159.109 Ωm , le taux de réduction de l'indice d'acidité à une valeur de 0.020 mgKOH/g pour un pourcentage d'amélioration de 90% et la tension de claquage est portée à une valeur de 21.8 KV

Les résultats montrent que ce procédé de régénération est très efficace, suite à l'élimination des contaminants et des produits d'oxydation par la bentonite.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

En 2017, K. AMRANE et al [33] ont travaillé sur la régénération chimique des huiles diélectriques usagées par bentonite brute de Maghnia, une régénération d'une huile usagée des transformateurs a été réalisée au sein du laboratoire SKMK (SONELGAZ, Blida), d'où la provenance de l'huile minérale usagée. Le procédé consiste à acidifier l'huile, puis l'adsorber sur une bentonite brute de Maghnia (Bental). Deux acides ont été utilisés, à savoir, l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique. Le traitement a été suivi par la détermination des paramètres tels que : la couleur, l'indice d'acidité, la teneur en eau, la résistivité, le facteur de dissipation la tension de claquage...etc.

Effectivement la régénération a amélioré les propriétés de l'huile, et la présence d'acide sulfurique à une concentration de 2ml de H₂SO₄ dans 1L d'huile usagée a conduit à une meilleure amélioration : Un taux d'amélioration de 98.97% pour le facteur de dissipation, la résistivité a augmenté jusqu'à une valeur de 517.2 x10⁹ Ωm, le taux de réduction de l'indice d'acidité à une valeur de 0.023 mg KOH/g pour un pourcentage d'amélioration de 89.54%, la tension de claquage est portée à une valeur de 23.9 KV.

Ce résultat est confirmé par l'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier, où les sous-produits (acides, aldéhydes.... etc) ont pu être éliminées par adsorption sur bentonite.

Cet article présenté par B. ASHISH, en 2018 [39] ont travaillé sur la récupération et l'amélioration des vieilles et frais huile de transformateur avec bentonite activée et antioxydants. La combinaison d'antioxydants est une technique éprouvée pour en améliorant l'huile de transformateur. L'ajout de naturel et synthétique antioxydants (A1-A6) avec transformateur à base de pétrole fluides (fluide de base 1 et fluide de base 2) améliore les propriétés de l'huile. Plus précisément, les performances de fluide de base amélioré 1 et 2 avec des antioxydants est stable à température normale et élevée. Les caractéristiques importantes en utilisant une combinaison d'antioxydants pendant l'expérimentation à part de la propriété d'amélioration sont très moins de teneur en carbone pendant la panne et cela constitue le moindre pourcentage de gaz dissous.

Pendant l'expérimentation des échantillons parallèles les mécanismes des antioxydants sont observés. De l'inspection de résultats, effet combinatoire de haute performance les antioxydants sont efficaces et moins sujets aux effets chimiques.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Le résultat offre une dimension différente dans l'estimation de performance de l'huile de transformateur suggèrent une nouvelle facette dans la recherche de transformateurs de puissance.

Cette technique de la régénération et la valorisation de l'huile minérale vieillie aident à réutiliser les fluides isolants vieillis, c'est-à-dire aidé à surmonter les pénuries de pétrole attendues dans un proche avenir. Cette approche est également utile pour éviter l'élimination nocive des huiles de transformateur à l'environnement.

Dans l'ensemble l'analyse conclut de près que les personnes âgées et fraîches les huiles de transformateur améliorées à l'aide d'antioxydants sont une solution appropriée pour une réutilisation potentielle dans un transformateur de puissance.

En 2018, SAFIDDINE. L et al [12] a travaillé sur la caractérisation structurale et physico-chimique des huiles diélectriques oxydées et optimisation de leur régénération par procédés chimiques, elle a présenté deux procédés, le 1er pour la régénération d'huile usagée, le 2ème pour la purification d'huile isolante acidulée pour les transformateurs de puissance. Afin de pouvoir éliminée les impuretés comulés dans le liquide isolant, ainsi qu'une évaluation des taux de vieillissement des propriétés des huiles minérales neuves et régénérée a été déterminé. Diverses expériences ont été entreprises pour étudier les performances de ces nouveaux outils de diagnostic.

Comme prévu sur la base de l'étude de la littérature, l'huile isolante est un mélange très complexe de composés multiples. Les produits de dégradation sont de différents nature, et qui dépend de degré de dégradation d'huile isolante et de sa durée de fonctionnement. Avec la génération des sous-produits d'oxydation ou de vieillissement, les propriétés Physico-chimiques, ainsi que la viscosité de l'huile sont affectées.

Les résultats expérimentaux montrent que la contamination et les processus de détérioration de l'huile minérale conduisent à une résistivité thermique très faible. La viscosité cinématique en fonction du temps de vieillissement a augmenté et peut être directement corrélée aux produits de dégradation d'huile et d'autres constituants du transformateur dissous dans le liquide. Mesurer de l'indice de neutralisation d'huile présente la quantité des produits acides insolubles et solubles en suspension qui semble donc être très important, étant donné que ces sous-produits contribuent clairement à la dégradation de l'isolation liquide et solide.

Dans le cadre d'une stratégie d'entretien ou maintenance du transformateur, ces tests peuvent aider à prendre des mesures avant que la détérioration atteigne un point où la défaillance du transformateur est inévitable.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Pour les travaux de nettoyage l'huile isolante contaminée et rétablir ses caractéristiques diélectriques, ils ont proposé et développé un procédé de régénération en combinant un traitement physique au traitement chimique pour objectif de la restauration des propriétés d'huile vierge conformément à la norme CEI 60422.

Quatre absorbants extrêmement efficaces ont été examinés : Charbon Actif (ACH), Oxyde de magnésium (MO), Bentonite Activée (AB, Gel de silice (SG). Les résultats ont montré de manière convaincante l'effet de la régénération sur l'amélioration des propriétés d'huile régénérée conformément au descriptif et exigence de la norme IEEE 637TM -1985 (R2007). Dans ce cas, les huiles oxydées en service ont une possibilité d'être régénérée et la restauration des caractéristiques d'huile vierge.

Le taux de vieillissement et d'oxydation des principales propriétés tel que facteur de dissipation ($\tan \delta$), l'indice de neutralisation (\tan), résistivité ainsi que la teneur en eau sous effet d'un stress électrique à échelle laboratoire et qui peuvent sérieusement affecter la fiabilité des liquides diélectriques neuve ou régénérée pour transformateur en montrent les différences des taux de vieillissement.

Un taux de vieillissement de même grandeur pour les facteurs $\tan \delta$ et résistivité, par ailleurs augmentation distinctif de l'indice de neutralisation qui confirme la formation des acides. Une affinité importante de pouvoir adsorbant à la teneur en eau pour l'huile régénérée.

Ils ont enregistré une dégradation importante et rapide d'huile régénérée par rapport à l'huile neuve sous effet d'un stress thermique qui se confirme par une plus grande affinité d'eau, un taux important de formation d'acide qui a été confirmé par la consommation d'antioxydant après régénération du liquide usagée.

Les acides carboxyliques sont l'un des produits d'oxydation, et qui sont également un effet négatif sur l'isolation solide. La filtration sur une membrane peut être un moyen de séparation très efficace et économique pour les composants qui sont en suspension ou dissous dans le liquide isolant. Une fixation d'acide carboxylique avec un groupe hydroxyle cellulosique (membrane RC) via une estérification en produisant des réticulations de pontage de fibre de cellulose, et une purification d'huile isolante d'acide carboxylique est approuvé.

En 2019, I. TOUIR et al [52] ont étudié la régénération d'huile Askarel, l'objectif de leur travail est focalisé sur l'utilisation des techniques connues de traitement et de purification par l'acide sulfurique et du gypse charbon actif pour régénérer l'huile d'Askarel, puis déterminer les propriétés physiques et chimiques d'huile traitée afin de le réutiliser à nouveau.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Les technologies acide/terres sont basées sur le traitement du substrat avec l'acide sulfurique afin d'éliminer les éléments polluants et sur un traitement postérieur avec des terres pour la neutralisation du produit obtenu. Ainsi, il permet d'obtenir la couleur et l'odeur désirée.

Ils ont étudié l'efficacité du traitement en variant plusieurs facteurs, tels que la nature et le volume de l'acide, la nature d'adsorbant et sa quantité.

Afin de valider le traitement ils ont mesuré des paramètres (la densité, la viscosité, point d'écoulement, point d'éclair et l'indice d'acidité, et ont utilisé aussi des techniques spectrales (IRTF et UV-Visible)).

D'après les résultats obtenus, ils ont dit que la méthode de traitement utilisée élimine efficacement les polluants de l'huile usagée et permet d'obtenir un traitement de l'huile presque identique à l'huile non utilisée, généralement la méthode de traitement d'acide par H₂SO₄ est très efficace.

Discussion

D'après les résultats, il est clair que la méthode de traitement utilisée permet d'enlever efficacement les contaminants de l'huile lubrifiante usagée, et d'obtenir une huile traitée avec des caractéristiques proches de celle d'une huile neuve.

Dans l'ensemble, la méthode de traitement à l'acide s'avère très efficace, en considérant les résultats obtenus en pourcentage, puisque le traitement à l'acide, permet de récupérer la viscosité de l'huile à 94 %, le point d'écoulement à 100 % et le point d'éclair à 93 %.

Les déchets végétaux et particulièrement les écorces des fruits sont très prometteurs dans le domaine de traitement des huiles usagées compte tenu des résultats de la revue bibliographique qui ont montrés que ces adsorbants végétaux ont prouves des efficacités remarquables dans l'élimination de certains polluants dans l'eau à savoir les colorants, les organochlorés, les pesticides etc....

Reste à les tester dans le domaine de traitement et de régénération des huiles qui est la problématique initiale et l'objectif vise de cette étude.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de cette étude est l'utilisation des écorces des fruits qui sont des déchets végétaux très encombrants pour l'environnement pour le traitement et la régénération des huiles usagées.

En effet, les caractéristiques des huiles usagées dépendent largement de leur nature à l'état vierge. C'est un mélange très complexe de composés multiples. Les produits de dégradation sont de différentes natures, et qui dépendent du degré de dégradation de l'huile isolante et de sa durée de fonctionnement.

L'huile perd de ses propriétés diélectriques avec le vieillissement, qui est avant tout causé par l'oxydation et l'humidité, deux phénomènes qui s'accélèrent avec la température.

L'adsorption s'avère une méthode très efficace pour le traitement et la régénération des huiles usagées, les adsorbants couramment utilisées sont des charbons actifs qui sont fabriqués par des méthodes physiques ou chimiques ou la combinaison des deux à la fois.

En Algérie, les charbons actifs utilisés sont importés à des prix exorbitants. C'est ainsi que le recours à des matériaux moins chers et fabriqués localement à partir des déchets végétaux a prouvé son efficacité dans le traitement des eaux, reste à les utiliser dans le domaine de traitement des huiles usagées ce qui permettra de réduire la facture des importations et de résoudre un problème lié au rejet de ces déchets qui sont souvent encombrants.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] I. F. Z. TOUIR, S. TALEB, « Régénération d'huile Askarel ». Mémoire de master, en chimie de l'environnement. Université Mohamed Boudiaf-M'sila. 2019.

[2] S. OUARET, S. CHELZGHZ, « Caractérisation physico-chimique d'une huile moteur usagée et possibilité de récupération ». Mémoire master, en génie des procédés. Université A. MIRA – BEJAIA. 2017.

[3] K. HAFSAOUI, « Régénération des huiles diélectriques usagées des transformateurs par bentonite traitée (Tonsil®) », Mémoire master En génie pharmaceutique, Université DjillaliBounaamaaKhimis Miliana, 2016/2017.

[4] : F. MOHELLEBI, A. BOUCHEKHOU, N. HARBI, R. HADJOU DJ et C. CHITOUR « Étude de la purification d'huiles usagées de type « moteur » au moyen d'une argile montmorillonitique », 2005.

Laboratoire Valorisation des énergies fossiles, Département Génie chimique, École nationale polytechnique, 10, avenue Hassen Badj, El-Harrach, BP182, Alger-ALG2RIE.

[5] : AMEL NAIT DJOUDI « Caractérisation de l'huile pour transformateur en service », Mémoire Master En génie Électrique, Université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU le 19 Septembre 2014.

[6] : DEROUICHE ABDELMOUNAIM & MEHREZ BILAL « Management de la collecte des déchets dangereux. Cas des huiles usées des véhicules ». Mémoire Master En génie industriel, Université Abou bekrbelkaid de Telemcen 2016/2017.

[7] Diplôme d'études approfondies (DEA) « Contribution à l'étude de la production et de la gestion des huiles usagées dans la ville de cotonou », Université D'Aomey "Calavi", 2007.

[8] : P. J VUARCHEX « Les isolants liquides dans les condensateurs et les transformateurs : emploi, nature et recherche », journée électrotechnique, 10-11 Mars 1998.

[9] : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, "Centre National des Technologies de Production plus Propre", « Vaste Programme de Dépollution Industrielle dans le secteur des ciments », (Décembre 2010).

[10] : CHRISTOPHE PERRIER « Etude des huiles et des mélanges à base d'huile minérale pour transformateurs de puissance – Recherche d'un mélange optimal. École Centrale de Lyon, 2005. Français.

[11] : S. BOUAZABIA « Les huiles isolantes de transformateur », Séminaire des huiles isolantes de transformateur ENP le 1-8 Juin 1999.

[12] : SAFIDDINE LEILA « Caractérisation structurale et physico-chimique des huiles diélectriques oxydées et optimisation de leur régénération par procédés chimiques ». Thèse de doctorat LMD, Génie des procédés organiques, Université Blida, 2019.

[13] : <https://www.researchgate.net/figure/transformateur-de-puissance-a-colonne-Source-ABB-Transformers-fig6-2948927565>.

[14] : BELKACEM L, KIMRI L, « Mise en œuvre d'un procédé aux sels pour la régénération des huiles minérales isolantes » Thèse ingénieur d'état en génie des procédés, Université des sciences et Technologies Houari Boumediene, Alger, 2005.

[15]: FOUFANA I, SABAU J, « Application of petroleum-based oil in power Transformer », In Natural Gas Research Progress, Editors: Nathan David and Theo Michel, Nova Science Publishers, Inc, ISBN: 978-1-60456-700-7, 2008.

[16] : BERGER N, « Liquides isolants en électrotechnique ». Technique de l'ingénieur, D 2471, p 24, 2006.

[17]: K. SUNDKVIST, presentation of NynasNaphtenics R&D seminar, October 2003.

[18] : CHAU TRANDUY, « Propriétés des huiles isolantes pour application en haute tension », Mémoire de doctorat, Université Joseph Fourier, Mai 2013.

[19] : NADJET AOUCHAR & CHAFIKA BEKHALED, « Application des systèmes hybrides neuro-flous au diagnostic des huiles de transformateurs ». Mémoire d'ingénieur d'état en électronique, École nationale polytechnique, Juin 2005.

[20]: WARD B, « Application of filtration system for on-line oilreclamation, degassing and dehydration ». EPRI, USA2003.

[21] : N'CHO J.S, « Développement de nouvelles méthodes de diagnostic et de régénération des huiles pour transformateurs de puissance » Thèse de doctorat, Lyon, France, 2011.

[22] : MYERS S.D, « Presentation transformer oiltesting ». 2008.

[23] : MOUL B, « Comportement de l'huile de transformateur « Borak 22 » sous tension alternative 50 Hz », Thèse de magister, École Nationale Polytechnique Alger, 2007.

[24] : L. ERHART, « Miscibilité des huiles isolantes en service », Bull. ASE 62, Décembre 1971, pp. 1216-1218, 2008.

[25]: D. Xiong, J. Yang, T. Zhang, X.U. Guanghui, C. Chen, G. Wang, X. Luo, Research progresses in waste oil regeneration, Chem. Indus. Eng. Prog. 33 (2014) 2778–2784, 2001.

[26] : MELLE HOCINE SABRINA, MELLE ASSAM KARIMA, « Elimination du cadmium par adsorption sur le phosphate naturel algérien (Djebel Onk) » Mémoire de master, Université A. MIRA- Béjaïa, 2014.

- [27] : M. A. Ferro-Garcia. J. Rivera-utrila. I. Bantista-Toledd. A. C. Moreno Gastille. Langmuir 14(1998) p1880-1886.
- [28] : R. Calvet, M. Terce, J. C. Arvieu, Ann. Agron. 31(1980) p33-62, 2001.
- [29] :W.J.Weber.B.MVanvliet, In Activated carbon adsorption of organic from the aqueuse phase, Ed. I.H. Suffet, M.J. Mc cuive1, 2003
- [30] : Desjardins, Araymond. Le traitement des eaux. Montréal : Presses Internationales Polytechnique, 305 p, 1997.
- [31] : Hamouch, Aksas, « Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels ». Thèse de doctorat. Algérie, Université M'Hamed Bougara-Boumerdés, 160 p, 2013.
- [32] : T. O. Rouse, « Mineral Insulation Oil in Transformer ». IEEE Electrical Insulation Magazine Volume 14, 6-16, 1998.
- [33] : AMRANE KHEIRA « Régénération chimique des huiles diélectriques usagées par bentonite brute de Maghnia ». Mémoire master, génie des procédés, Université de Djillali Bounaama de Khmis Miliana, 2016/2017.
- [34] : CHAUVEL G. MONNIER, « Sur signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie ; 2014.
- [35] : CAILLERE S, HENIN S, RAUTUREAU M., « Minéralogie des argiles ». Masson, Tomes 1 et 2, 184p et 189p. 1982, 2015.
- [36] : BOUAZZA F., « Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et Modifiées ». Mémoire de magistère, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, pp 9-11, 2012.
- [37] : Melle NORA SEDIRA, « Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes », MAGISTER En chimie physique et analytique, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, 2012-2013.
- [38] : LABBACI, A. Contribution l'étude et la régénération des huiles minérales isolantes. Thèse de magister, École nationale polytechnique, Alger, (1991).
- [39]: ASHISH BOHRA, DEEPAK SOMANI « reclaiming and enhancing the aged and fresh transformer oil with activated bentonite and antioxidants ». Department of Electrical Engineering, SS College of Engineering, Udaipur, Rajasthan, India, ISSN (Online): 2347 – 4718, (February – 2018).
- [40] : AZZIZI M, DAHMANI F., « Etude de la régénération des huiles de transformateur ». Thèse ingénieur d'état en électrochimie, Université Dr. Yahia Fares ; Médéa, 2011.
- [41] D. BAMBA, « Etudes comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron », mémoire master, Université de Cocody-Abidjan, 2009.

- [42] A. TOUATI, « Préparation d'un charbon actif par pyrolyse de la biomasse : cas du noyau du fruit du Néflier ». Mémoire Master En génie des procédés, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Boughi, 2010.
- [43] M. GUEYE, « Etude de la synthèse des charbons actifs à partir de biomasses locales par activation chimique avec H₃PO₄ », 6^{ème} édition journées scientifiques du GIE, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, Département de GIE, 2011.
- [44] HOUARI. M, « Valorisation des fruits du Sapindus Mukorossi en tant que biosorbant : application dans l'élimination des colorants ». Mémoire Master En chimie pour les sciences de l'environnement, Université Saad Dahleb Blida, 2011.
- [45] YANG LI, « Biosorption of Cu (II) Ions from A queous Solution by Red Alga (Palmaria Palmata) and Beer Draff », Institue of Water Quality Control, Technische Universitat Munchen, Garching, Germany, 2010/2011.
- [46] M. TRACHI, N. BOURFIS, S. BENAMARA, H. GOUGAM, « Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de la coquille d'amande (Prunus amygdalus) amère », Université M'hamed Bougara de Boumerdes. Septembre 2014.
- [47] M. ABBAS, « Valorisation du noyau d'abricot dans la dépollution des eaux », Thèse de doctorat, Université M'hamedBougara-Boumerdes, 2014/2015.
- [48] SUNANDA SHARMA, « Batch adsorption studies for malachite green dye removal from waste water using biomass based adsorbent », Indian Institute of Technology, Delhi, India, DeenbandhuChhotu Ram University of Science and Technology, Murthal, India, 2016.
- [49] A. NAIT-MERZOUG, « Préparation et caractérisation d'un charbon actif à base d'un déchet agricole », mémoire master, Université Mohamed Cherif Messadia de Souk Ahras, 2016.
- [50] M. OUEDRHIRI, « Charbons actifs à partir des coques d'olives (Picholine marocaine) : préparation, caractérisation et évaluation de leur capacité de dépollution des margines », thèse de doctorat, 2017/2018.
- [51] T. HAMAD, « Utilisation de carbone activé de Sapindus pour l'adsorption du bleu de méthylène », Thèse de doctorat En génie des procédés, Université de Médéa, Algeria, 2017/2018.
- [52] R. MAZOUZI, « Régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide », thèse doctorat, Université de Khemis-Miliana, Algeria, 2014.
- [53] I. TOUIR, « la régénération d'huile Askarel ». Mémoir Master, chimie de l'environnement, Université Mohamed Boudiaf Msila, 2018/2019.