

Effet du dégazage sur la tension de claquage de l'huile de palmistes conditionnée

Ghislain MENGATA MENGOUNOU, Adolphe MOUKENGUE IMANO

Laboratoire d'Électronique, Électrotechnique, Automatique et Télécommunication (LEEAT), Université de Douala, Cameroun. mengounal@yahoo.fr

RESUME - La recherche de nouveaux substituts des huiles minérales se focalise sur des huiles végétales non comestibles. Ce travail porte sur l'analyse de l'aptitude d'isolation des Esters Méthyliques d'Huile de Palmistes (EMPH). Le conditionnement des échantillons consiste à transestérifier l'huile brute, filtrer, déshumidifier et dégazer le mélange d'esters naturels obtenu. Il ressort de cette analyse qu'après 72 heures de dégazage, les Esters Méthyliques d'Huile de Palmistes présentent une tension de claquage de $\approx 60\text{kV}$ pour les tensions AC, 50 Hz. Ce qui est une propriété intéressante pour l'isolation électrique de certains équipements en haute tension (transformateurs de puissance).

Mots-clés—Huile de palmistes, transestérification, dégazage, tension de claquage.

1. INTRODUCTION

Les huiles minérales sont utilisées depuis le XIX^{ème} siècle afin de remplir les transformateurs électriques et y permettre le refroidissement et l'isolation. En 1930, le constat de la faible résistance au feu des huiles minérales a généré l'élaboration des huiles synthétiques [1, 2]. L'avantages de celles-ci réside dans la stabilité des propriétés (point d'écoulement plus bas, point feu élevé...etc.), favorables à la fabrication des transformateurs de dimensions réduites (compactes) bien que leurs prix soient remarquablement élevés [3]. Les huiles végétales, investiguées depuis 1990, sont reconnues d'être plus respectueuses de l'environnement. Elles concilient les paramètres des recherches contemporaines (Prix, Peuple, Planète). De nombreux prototypes ont été expérimentés et brevetés à l'instar de l'huile végétale BIOTEMP développée par ABB aux USA ; l'huile végétale RS50 développée par EDF à partir d'huile de colza en France; l'huile Envirotemp FR3 proposée par Cooper power System [1-4].

Cependant, les huiles végétales homologuées jusqu'ici proviennent essentiellement des oléagineux disponibles, riches en esters oléiques et donc, comestibles tels que : colza, tournesol, soja, noix de palme, noix de coco, arachide, maïs...etc. Pourtant, il ne faudrait pas que la problématique des 3P engendre à son tour une nouvelle crise. Le challenge des recherches contemporaines doit à cet effet résider dans l'investigation des esters naturels non comestibles.

La contribution du présent papier porte sur :

1- la valorisation d'une ressource naturelle, disponible dans de larges proportions en Afrique tropicale, non comestible, facilement accessible, extraite des amandes de palmistes.

2- la présentation d'une démarche expérimentale permettant d'améliorer les propriétés physico-chimiques et isolantes desdits esters naturels. Le conditionnement élaboré est similaire à celui de plusieurs travaux [2, 7] mais avec des particularités. D'abord le traitement commence par la transestérification qui consiste à séparer les esters naturels du glycérol de l'huile brute conformément à [8]. Ensuite, le mélange d'esters obtenu est filtré, déshumidifié et dégazé. L'analyse de la tension de claquage des échantillons qui s'en suit est effectuée suivant deux normes (CEI 60156 et ASTM D1816) en considérant l'impact du temps de dégazage sur ladite propriété. Les résultats expérimentaux laissent transparaître le seuil à partir duquel les Esters Méthyliques d'Huile de Palmistes deviennent éligibles pour assurer l'isolation dans les transformateurs de puissance.

2. DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

2.1. Extraction de l'huile de palmistes

L'huile de palmistes brute est obtenue par trituration des amandes de palmistes (*Elaeis guineensis*) selon un procédé mécanique. L'opération consiste d'abord à sécher les noix de palmistes préalablement déulpées suite à l'extraction de l'huile de palme. Ensuite, les noix sont concassées afin de récolter les amandes de palmistes qui seront à leur tour chauffées à feu doux pendant huit (8) heures environs pour favoriser la libération de l'huile qu'elles contiennent. La machine dont le schéma de principe est illustré à la Fig.1 comporte une vis sans fin qui broie et le presse les amandes afin de recueillir l'huile de palmistes.

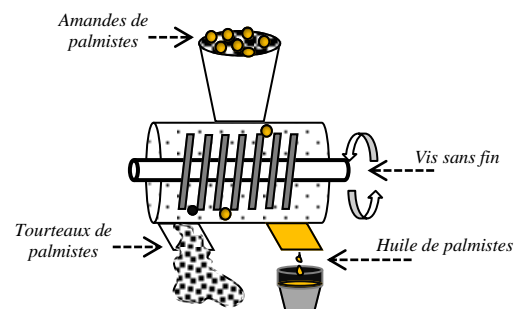


Fig. 1 Principe d'extraction de l'huile de palmistes

2.2. Transestérification de l'huile de palmistes

La transestérification est une technique bien connue. Elle permet de séparer les esters naturels du glycérol afin d'améliorer les propriétés physicochimiques des échantillons. En effet, depuis les années 1892 [1], les principaux paramètres qui limitent l'utilisation des huiles végétales sont le point d'écoulement élevé et l'oxydation rapide. Plusieurs travaux démontrent que la transestérification ou alcoololyse contribue à améliorer les propriétés physiques, chimiques et diélectriques des huiles végétales [5, 6, 8]. L'objectif dudit traitement est d'éliminer la molécule de glycérol responsable du rancissement et de la cristallisation rapide des huiles végétales à la température ambiante. Le principe consiste à faire réagir dans un réacteur agité en continu, des masses bien contrôlées d'huile de palmistes, de méthanol et d'hydroxyde de potassium (catalyseur). Les proportions moléculaires mises en jeu sont clairement présentées dans [8]. Le banc expérimental de ce premier conditionnement est illustré à la Fig.2. Les Esters Méthyliques d'Huile de Palmistes (EMHP) obtenus se présentent sous forme liquide, de couleur jaunâtre limpide, non visqueux et non volatils.

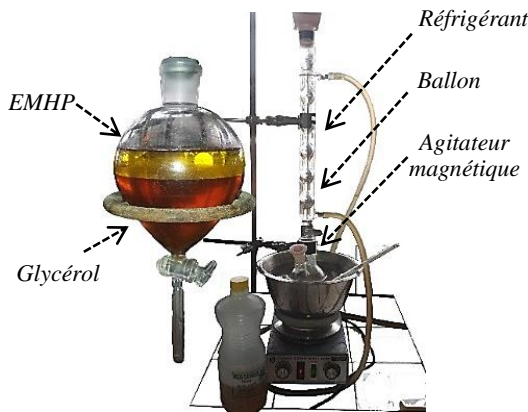


Fig. 2 Banc de transestérification de l'huile de palmistes

2.3. Traitement (dégazage) des échantillons d'EMHP

Le dégazage est un procédé très employé pour purifier efficacement une huile isolante avant les analyses diélectriques. Il permet d'éliminer les résidus de particules humides et gazeuses susceptibles de compromettre la tension de claquage des échantillons [2, 7, 9-11]. La Fig. 3 présente la station de dégazage utilisée dans nos investigations. Le traitement consiste à mettre nos échantillons d'EMHP sous vide après qu'ils soient passés à travers un filtre de faible porosité ($\approx 10\mu\text{m}$). Le vide, l'échauffement et le mouvement de l'huile entretenus respectivement par la pompe à vide ($\approx 10^{-2}$ bar), la plaque chauffante ($\approx 80^\circ\text{C}$) et l'agitateur magnétique provoquent la déshumidification (séchage) et l'éjection des gaz contenus dans les échantillons. La Fig.4 présente l'influence du dégazage sur l'aspect physique des EMHP pendant les 24 premières heures de traitement. La teneur en eau des différents échantillons est évaluée grâce à un hydromètre de type MF-100 de VOLTCRAFT.



Fig. 3 Station de dégazage des EMHP



Fig. 4 Echantillons d'EMHP après dégazage

2.4. Equipement de mesure de la tension de claquage

Le banc d'expérimentation est un diélectromètre de type HYYJ-502 de Wuhan Huaying. Il comporte une unité de contrôle, un transformateur élévateur capable de produire une tension variable de 0 à 100 kV, 50 Hz avec des pas de 0,5 à 5kV/s, une cellule d'essais en plexiglas de capacité 400 ml illustrée à la Fig. 5, des électrodes de profil VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker), Rogowski et sphérique toutes en laiton. L'analyse de la tension de claquage a été effectuée suivant les normes CEI 60156 et ASTM D1816 présentées dans le Tableau I.



Fig.5 Cellule d'essais du diélectromètre avec des électrodes VDE immergées dans 400 ml d'EMHP

Tableau 1. Normes de mesure de la tension de claquage.

Paramètres	CEI 60156	ASTM D1816
Profil Electrodes	Sphériques Ø 12,5 mm ou VDE Ø 36 mm	Profil VDE Ø 36 mm
Inter-électrodes (mm)	2,5 ± 0,05	1 ou 2
Temps d'attente sec	300	180
Rampe tension (kV/sec)	2	0,5
Temps d'agitation (sec)	60	Continu
Temps d'attente (sec)	60	60
Nombre de claquages	6	5

3. RESULTATS

L'investigation est menée à la température ambiante ($\approx 25^{\circ}\text{C}$) et à la pression atmosphérique ($\approx 1\text{bar}$). Outre les spécifications des normes, les analyses sont faites à partir des électrodes VDE, Rogowski et sphériques maintenues à des distances inter-électrodes variables de 1 à 4mm.

3.1 Rigidité diélectrique de l'huile palmistes avant et après traitement

La Fig.6 établit une comparaison entre la rigidité diélectrique de l'huile de palmistes brute (HPB), de l'huile de palmistes raffinée (HPR), d'une huile minérale usagée (HM) et des esters méthyliques d'huile de palmistes (EMHP). Les résultats expérimentaux montrent que les EMHP suffisamment dégazés présentent une rigidité diélectrique de 68,6kV/2,5mm (soit 27,44kV/mm) avec une erreur de 2,11kV à 95% de confiance. Cette moyenne est largement supérieure au seuil d'éligibilité des huiles isolantes minérales qui est de 10kV/mm [7]. La rigidité diélectrique des EMHP est ainsi comparable à celle de l'huile isolante végétale Envirotemp FR3 ($\approx 28\text{kV/mm}$) [1,7]. Quant aux autres huiles investiguées (HPB, HPR et HM), leurs rigidités diélectriques sont toutes insuffisantes avec valeurs dispersées autour de 13,49kV/2,5mm. La Fig.7 présente l'influence du dégazage sur la rigidité diélectrique de différents échantillons d'EMHP portés à des périodes de dégazage différentes.

3.2 Influence du profil d'électrode sur la tension de claquage des EMHP

La Fig.8 présente l'évolution de la tension de claquage des échantillons d'EMHP durant le dégazage. Cette figure démontre que le profil des électrodes influence la tension de claquage des échantillons. Ceci justifie la dispersion des résultats observée. Toutefois, les comportements restent similaires quelque soit le profil considéré. A partir de 48 heures de dégazage, les échantillons d'EMHP commencent à présenter une tension de claquage appréciable pour l'application escomptée. Après 72 heures de traitement, ladite tension s'améliore encore plus et semble se stabiliser bien que toujours influencée par les géométries des électrodes considérées. A la fin du traitement, la tension de claquage des EMHP devient comparable à celle des huiles végétale homologuées [1]. En outre, cette figure montre que l'humidité relative des échantillons décroît lentement pendant les premières heures de dégazage, puis chute véritablement après 12 heures de traitement. A 96 heures elle atteint 14% d'humidité relative.

3.3 Répétabilité de la tension de claquage des EMHP après dégazage

La Fig.9 illustre une série de 40 essais de la tension de claquage des EMHP après 72 heures dudit traitement (filtrage séchage et dégazage). Chaque point est une moyenne de 6 mesures. Cette figure rend compte de la répétabilité de la tension de claquage des échantillons d'EMHP. La moyenne statistique de l'ensemble de ce nuage de point est $\approx 60,63\text{kV}$ (valeur efficace), avec une erreur à 95% de confiance de 1,7kV. Malgré la dispersion observée, tous ces points de mesures sont au-dessus de 50 kV, seuil exigé aux huiles isolantes des transformateurs de puissance [7,9].

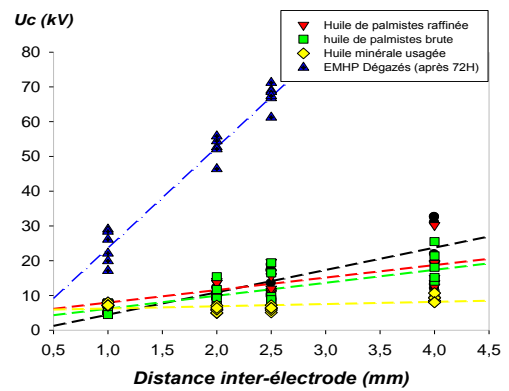


Fig. 6 Tension de claquage de l'huile de palmistes brute, de l'huile minérale usagée et des EMHP

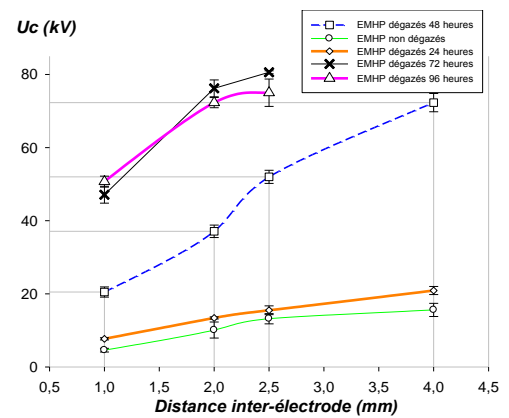


Fig. 7 Amélioration de la tension de claquage des EMHP par le dégazage

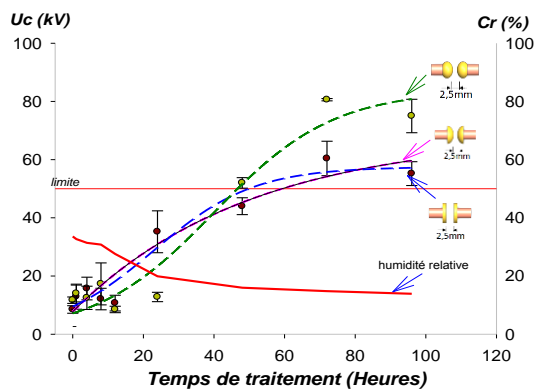


Fig. 8 Evolution de la tension de claquage et de l'humidité des échantillons d'EMHP en fonction du temps de dégazage

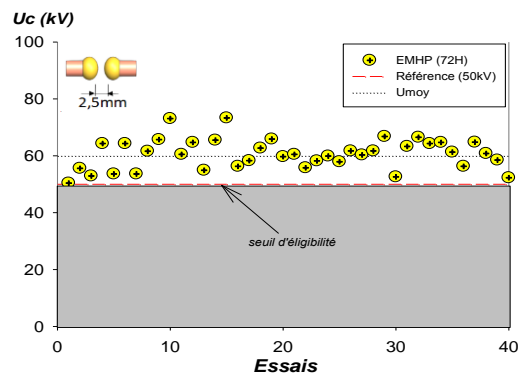


Fig. 9 Série de 40 mesures de la tension de claquage des EMHP dégazés pendant 72H

4. CONCLUSION

Ce travail a permis d'investiguer la tension de claquage d'un ester naturel riche en acides gras saturés et donc, non comestible. Les résultats expérimentaux montrent que :

- la transestérification et le dégazage (3 opérations en 1: filtrage, déshumidification et dégazage) améliorent fortement la tension de claquage des esters naturels de palmistes ;
- après 48 heures de dégazage, l'humidité relative des échantillons d'EMHP baisse considérablement et leur tension de claquage (≈ 60 kV / 50Hz) les rend éligibles pour l'isolation des transformateurs de puissance ;
- après 72 heures de traitement, ladite tension tend non seulement à s'améliorer, mais surtout à se stabiliser. Le temps de dégazage est donc un paramètre à maîtriser dans le traitement des impuretés dont la présence ne peut jamais être totalement éliminée ;

Cependant, même si la tension de claquage des échantillons d'EMHP semble satisfaisante, certaines propriétés diélectriques sont encore à approfondir telles que : les pertes diélectriques, les décharges partielles qui s'y développent... etc pour prétendre valider l'hypothèse d'une alternative de remplacement des huiles minérales isolantes.

5. REFERENCES

- [1] M. Rafiq et al, "Use of vegetable oils as transformer oils – a review ", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52 (2015) 308-324
- [2] C. Tran Duy, "Propriétés diélectriques de liquides isolants d'origine végétale pour applications en haute tension", Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, France, (2009).
- [3] A. Raja, A. Sulaeman, S. Sudirham, and Suwarno, "A comparison of dielectric properties of palm oil with mineral and synthetic types insulating liquid under temperature variation", *ITBJ*, Vol.43, No.3, (2011).
- [4] T. Van Top, "Etude de la génération des streamers dans l'huile minérale sous tension impulsionnelle et alternative", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, (1999).
- [5] H. B. H. SITORU, "The Study of Jatropha Curcas Oil-Based Biodegradable Insulation Materials For Power Transformer", Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, France (2015).
- [6] Y. Bertrand, P. Lauzevis, "Development of a low viscosity insulating liquid based on natural esters for distribution transformers", 22nd International Conference on Electricity Distribution Stockholm, (2013).
- [7] X. Wang, "Partial discharge behaviors and breakdown mechanisms of ester transformer liquids under ac stress", Thèse de doctorat, University of Manchester, USA, (2011).
- [8] G. Mengata Mengounou, A. Imano Moukengue et J.C.Vardamides. "Caractérisation physico-chimique de l'huile de palmistes pour utilisation dans les transformateurs de distribution", *Afrique science*, vol.11, N°6, pp 105-114, 2015.
- [9] C. Perrier, "Etude des huiles et des mélanges à base d'huile minérale pour transformateurs de puissance – Recherche d'un mélange optimal", Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, France (2005).
- [10] V.H.Dang, "Etude des phénomènes de pré claquage et de claquage des huiles végétales, minérales et synthétiques – caractérisation des décharges aux interfaces", Thèse de doctorat, ECL, France, (2011).
- [11] J. S. N'Cho, "Développement de nouvelles méthodes de diagnostic et de régénération des huiles pour transformateurs de puissance", Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, France, (2011).