

## **PREDICTION DU CHANGEMENT D'ETAT DE LA VISCOSITE DU LUBRIFIANT PAR LES CHAINES DE MARKOV**

Benzaid Lamia<sup>1</sup>, Benchouia Nedjem eddine<sup>2</sup>, Bouzaouit Azzedine<sup>1</sup>

1Université du 20 Août 1955-Skikda, Algérie

2Université Mohamed Cherif Messadia, Souk ahras, Algérie

benzaidlamia21@gmail.com

### **Résumé**

La qualité de l'huile de lubrification utilisée dans le moteur joue un rôle important dans la prolongation de la durée de vie du moteur et dans l'amélioration des performances de ce dernier. La viscosité est l'un des facteurs physicochimiques majeurs de la qualité et de l'efficacité de lubrifiant, sa capacité à fournir l'épaisseur effective de la couche lubrifiante entre les surfaces de friction, ce qui évite l'usure sévère et la défaillance des moteurs. Dans cette étude, nous avons présenté la méthodologie qui permet de modéliser la dégradation de la viscosité des huiles lubrifiantes utilisées dans des moteurs à combustion, et qui sont exploités dans des conditions très sévères. Pour chaque huile étudiée, nous proposons d'associer une chaîne de Markov décrivant la transition de sa viscosité d'un état (i) à un autre état, Sachant que La viscosité des huiles moteurs passe par les états suivantes: bonne, admissible, dégradée, très dégradé.

Nous avons confirmé que le modèle proposé, donne des résultats détaillés décrivant les différents états de l'huile analysée.

**Mots clés-** viscosité, huile, chaîne de Markov.

### **1. Introduction**

La lubrification en générale est une opération importante pour la préservation de l'état des pièces en mouvement [1.2]. les moteurs à combustion se sont des machines dont la lubrification des différents organes doit être contrôlé quotidiennement.

La qualité de l'huile de lubrification utilisée dans le moteur joue un rôle important dans la prolongation de la durée de vie du moteur et dans l'amélioration des performances de ce dernier [3.4].

La viscosité est l'un des facteurs physico-chimiques majeurs de la qualité et de l'efficacité de lubrifiant, sa capacité à fournir l'épaisseur effective de la couche lubrifiante entre les surfaces de friction, ce qui évite l'usure sévère et la défaillance des moteurs [5.6]. Parlant d'une lubrification de qualité, c'est de maintenir la viscosité du lubrifiant utilisé à un niveau acceptable d'un côté et une quantité suffisante d'autre côté.

La viscosité des huiles moteurs passe par les états suivantes: bonne, admissible, dégradée, très dégradée, Au de la nous proposons d'associer une chaîne de Markov décrivant la transition de la viscosité d'un état (i) à un autre état (j) pour chaque huiles étudiées.

Le modèle markovien est un modèle statistique utilisé dans l'analyse prédictive, qui dépend fortement de la théorie de la probabilité, et qui nous permettant de calculer la probabilité d'un changement d'état de viscosité de l'huile après une durée de fonctionnement spécifiée.

## 2. Matériel et méthode

L'étude expérimentale a été réalisée sur neuf moteurs de type : « POYAUD - DIESEL », ces derniers équipent les locotracteurs travaillant au sein du complexe sidérurgique dans des conductions sévère, Après une durée de fonctionnement bien déterminée pour les moteurs ciblés, nous avons pris des échantillons d'huile afin de procéder à une analyse de sa viscosité, En suite, nous allons proposer une étude stochastique par l'utilisation des modèles de markov pour l'estimation de l'état réel des lubrifiants..

**2.1. L'équipement utilisé** dans notre recherche est un moteur de type diesel -POYAUD DIESEL-caractérisé par type V de 12 cylindre et une injection directe.

**2.2. L'huile en question** est la CHILIA SAE 40 qui est une huile de dérivée du pétrole, fabriquée par NAFTEC-SONATRACH et utilisée pour la lubrification des moteurs diesels et ces caractéristiques.

**2.3. Mesure de la viscosité ASTD445:**

Cette méthode spécifie un procédé pour déterminer la viscosité cinématique de la lubrification en mesurant le temps d'écoulement sous gravité à travers un viscosimètre capillaire en verre calibré [7.8].

Le viscosimètre est placé dans un bain chauffé à 40 et 100 ° C. La viscosité cinématique est le produit du temps d'écoulement mesuré et de la constante de calibration du viscosimètre.

Les résultats sont obtenus par viscosimètre AVS 370 (Schott) à une température de 40 ° C.

## 3. Chaîne de Markov

Une chaîne de Markov est une suite de variables aléatoires ( $X_n, n \in \mathbb{N}$ ) qui permet de modéliser l'évolution dynamique d'un système aléatoire,  $X_n$  représente l'état du système à l'instant  $n$ . La probabilité de passer à l'état suivant dépend uniquement de l'état qui le précède immédiatement. Cette formule est de mettre mathématique probabiliste:

$$P_{ij} = P(X_n = j / X_{n-1} = i)$$

La viscosité des huiles moteurs passe par quatre états sont : bonne, admissible, dégradée, très dégradée.

Le modèle graphique montre la probabilité de la viscosité de passer d'un état à l'autre

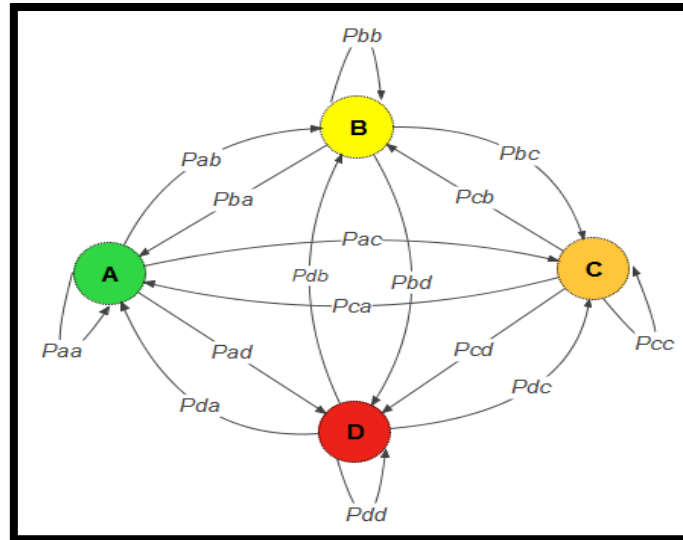


Figure 1 Le modèle graphique

A partir du modèle graphique, on déduit la matrice de transition  $M$

$$M = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} & P_{ad} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} & P_{bd} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{cc} & P_{cd} \\ P_{da} & P_{db} & P_{dc} & P_{dd} \end{bmatrix} \quad (1)$$

D'après le modèle Markovien les probabilités du changement d'état de la viscosité est présenté sous la forme:

$$X^{(n)} = X^{(0)} M^n \quad (2)$$

Avec:  $X^{(n)}$  est la matrice ligne qui donne les probabilités des différents états de la viscosité à la classe d'âge (n).

#### 4. Analyse et discussions des résultats :

Les résultats d'analyse sont démontrés sur le tableau 1 suivant :

**Tableau 1** les valeurs de viscosité obtenues des neuf huiles après 100h de service

N° Huiles	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Viscosité (cSt)	31.80	133.64	135.30	135.50	37.50	132.82	62.50	131.50	23.70

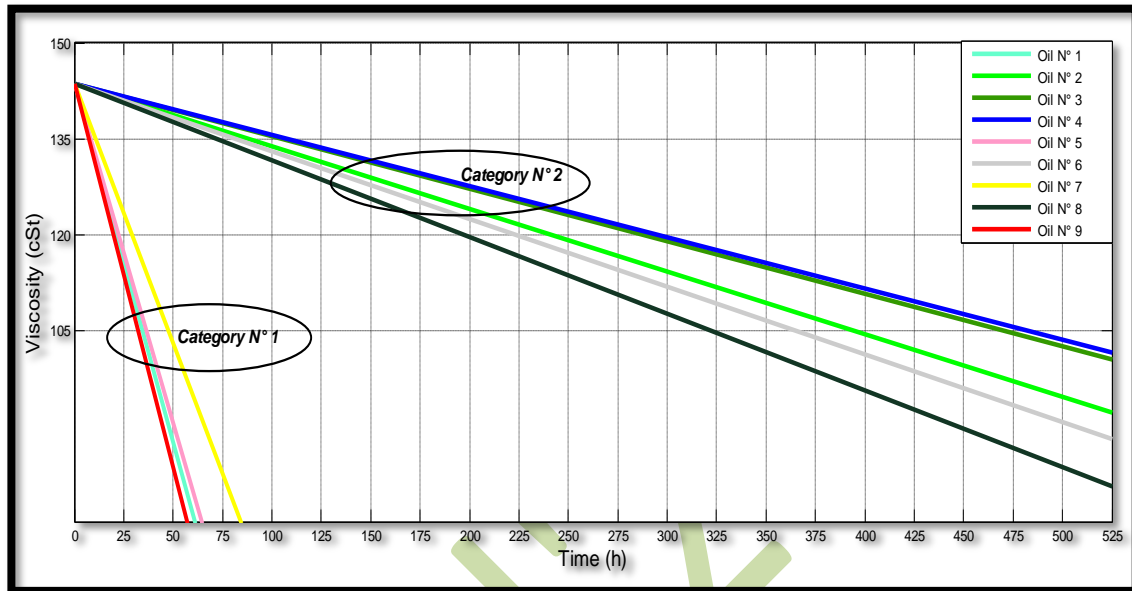
L'analyse d'huile étudiée SAE 40 fraîche donne une valeur de viscosité égale à 143.5 cst.

La fonction de dégradation de viscosité est :

$$\eta = a(t) + b \quad (3)$$

A partir du tableau 3, on peut déduire la fonction de dégradation de viscosité de chaque huile moteur.

En représentant ces équations sur la figure 2.



**Figure.2.** Variation de la viscosité d'huile en fonction du temps de service.

D'après voir la fig.3 On voit deux (02) catégories de dégradation de la viscosité de l'huile étudiée, Elles sont représentées comme ce suit :

- La 1<sup>ère</sup> catégorie correspond aux les huiles N° 1, 7, 9, 5.
- La 2<sup>ème</sup> catégorie correspond aux les huiles N° 2, 3, 4, 6, 8.

La viscosité minimal admissible pour assumer une bonne lubrification pour l'huile étudiée est de l'ordre de 105 cSt, 20-30 pour cent inférieur à la viscosité du l'huile fraiche [9,10].

Pour la 1<sup>ère</sup> catégorie, on remarque que la viscosité a diminué rapidement pendant un temps de fonctionnement ne dépasse pas 100 heures : ce qui nous oblige de changer l'huile de lubrification de ces moteurs après une durée de fonctionnement très courte de 25 heures au moins pour éviter les problèmes dus à la fluidité de l'huile.

Pour la 2<sup>ème</sup> catégorie, on remarque que la viscosité de ces huiles moteurs pendant une durée de fonctionnement de 250 heures est supérieure à la viscosité minimale ce qui démontre que les moteurs lubrifiés par ces huiles sont en bon état de fonctionnement.

- Pendant la durée de vie de l'huile lubrifiante utilisée, la dégradation de la viscosité passé par plusieurs états, parmi ces états on peut citer:  
A: viscosité bonne :  $\eta \geq 135$ (10% inférieur à la viscosité du l'huile fraiche).

B: viscosité admissible:  $\eta \geq 120$  (20% inférieur à la viscosité du l'huile fraiche).

C: viscosité dégradée:  $\eta \geq 105$  (30% inférieur à la viscosité du l'huile fraiche).

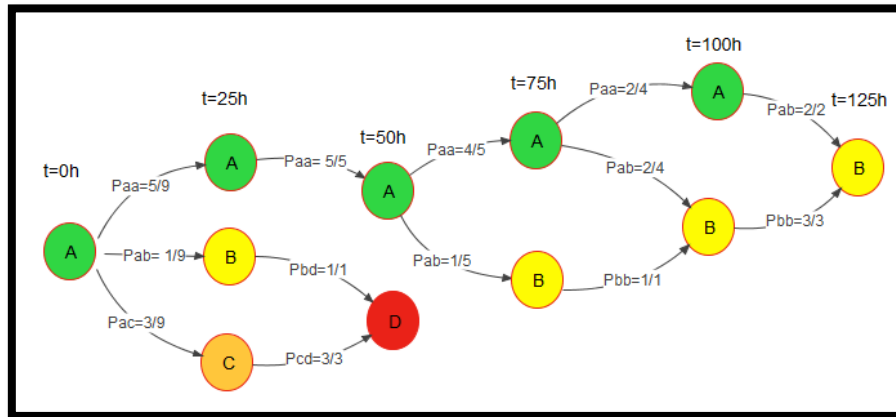
D: très dégradée :  $\eta < 105$  (30% inférieur à la viscosité du l'huile fraiche).

- D'après La figure on peut déduire les données illustrées dans le tableau 2.

**Tableau 2** Le changement d'états de la viscosité des huiles en fonction du temps de service

Temps	Nombre des huiles			
	Viscosité Bonne	Viscosité Admissible	Viscosité dégradée	Viscosité Très dégradée
0	9	0	0	0
25	5	1	3	0
50	5	0	0	4
75	4	1	0	0
100	2	3	0	0
125	0	5	0	0
150	0	5	0	0
175	0	5	0	0
200	0	4	1	0
225	0	3	2	0
250	0	2	3	0
275	0	2	3	0
300	0	0	5	0
325	0	0	4	1
350	0	0	4	0
375	0	0	3	1
400	0	0	2	1
425	0	0	2	0
450	0	0	2	0
475	0	0	1	1
500	0	0	0	1

A partir de tableau on peut calculer les probabilités de transition pour chaque changement d'état comme montre la figure 3.



**Figure.3.** Représentation graphique de changement d'état de la viscosité des huiles étudiées pendant 125h de service

Donc, on obtient la matrice de transition suivante :

$$M = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.36 & 0.06 & 0 \\ 0 & 0.721 & 0.178 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.746 & 0.252 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Après une durée de service (représentée par une classe d'âge bien définie (n), notre modèle sera donner par:

$$X^{(n)} = X^{(0)} M^n = M_n \quad (5)$$

Avec :

$$M_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.57 & 0.361 & 0.06 & 0 \\ 0 & 0.721 & 0.178 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.746 & 0.252 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^n$$

**Par exemple:**

Pour prédire l'état de la viscosité après une 50h de fonctionnement

$$X^{(2)} = X^{(0)} M^2 = M_2$$

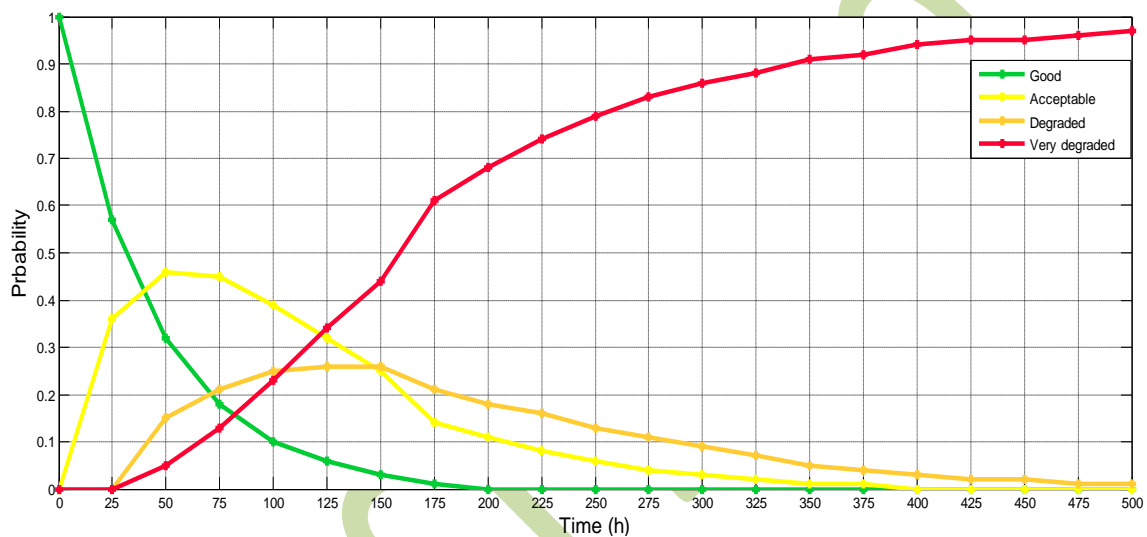
$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.57 & 0.361 & 0.069 & 0 \\ 0 & 0.722 & 0.178 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.746 & 0.254 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} 0.325 & 0.466 & 0.155 & 0.05 \end{bmatrix}$$

Après la deuxième mesure, il y a 32,5% de chances que la viscosité soit encore en bon état, 46,6% à l'état admissible, 15,5% à l'état dégradée et 0,5% à fort degré de dégradation.

Et ainsi de suite, pour la dernière mesure de viscosité qui correspond à la 20<sup>ième</sup> classe d'âge (500 h), on obtient:

$$M_{20} = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \times \begin{bmatrix} 0.57 & 0.361 & 0.06 & 0 \\ 0 & 0.721 & 0.178 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.746 & 0.252 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{20} \quad (6)$$

D'après ce model les probabilités de changement d'états de la viscosité des huiles étudiées en fonction du temps de service sont représentées dans la figure 4



**Figure.4.** les probabilités de changement d'états de la viscosité

D'après voire la figure nous constaté que le modèle proposé apporte une bonne estimation de la probabilité du changement d'état de la viscosité, et une bonne prédiction.

### Conclusion

La lubrification en générale est une opération importante pour la préservation de l'état des pièces en mouvement.les moteurs a combustion se sont des machines dont la lubrification des différents organes doit être contrôlé quotidiennement.

Parlant d'une lubrification de qualité, c'est de maintenir la viscosité du lubrifiant utilisé à un niveau acceptable d'un côté et une quantité suffisante d'autre côté.

Dans notre travail nous avons proposé une étude pour la caractérisation de la dégradation de la viscosité d'une huile utilisée pour la lubrification des moteurs d'entraînement des locotracteurs exploités dans les conditions d'un complexe sidérurgique en Algérie.

Une analyse analytique de la dégradation de la viscosité de l'huile en question est proposée, cette dernière est utilisée sur neuf huile moteurs dont l'état général de ces derniers est diffèrent.

En suite, un modèle décrivant la dégradation de la viscosité en fonction du temps de service est proposé.

Dans un objectif de prédire la durée de vie du lubrifiant utilisé, une étude stochastique a été menée, par laquelle, nous avons montré que le modèle markovien proposé décrit convenablement la dégradation de la viscosité et donne une bonne estimation de la probabilité du changement d'état du lubrifiant, et en conséquence fournit une bonne prédiction de la durée de vie restante

## REFERENCES

- [1] Misael Lopez-Ramirez, Rene J. Romero-Troncoso, Daniel Moriningo-Sotelo, Oscar Duque-Perez, David Camarena-Matinez, Arturo Garcia-Perez, Discriminating the lubrication condition from the rotor bearing fault in induction motors using Margenau-Hill frequency distribution and artificial neural networks, *Industrial Lubrication and Tribology*, Vol. 69, Is. 6, pp.970-979, 2017.
- [2] J. A. Udonne, comparative study of recycling of used lubrication Oils using distillation, acid and activated chrcol with clay methods, *Petroleum and Gas Engineering*, vol. 2, pp.12-19, 2011.
- [3] L. A. Quinchia, M. A. Delgado, T. Reddyhoff, C. Gallegos, H. A. Spikes, Tribological studies of potential vegetable oil – based lubricants containing environmentally friendly viscosity modifiers, *Tribology International*, vol.69, pp.110–117, 2014.
- [4] N. Farhanah, and M. Z. Bahak , Engine oil wears resistance, *Jurnal Tribologie*, vol.4, pp.10-20, 2015.
- [5] V. V. Karanović, M. T. Jocanović, J. M. Wakiru and M. D. Orošnjak, Benefits of lubricant oil analysis for maintenance decision support: a case study, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 393, 2018.
- [6] J. T. Farinha, I. Fonseca and L. A. Ferreira, Condition Monitoring with Prediction Based on Diesel Engine Oil Analysis: A Case Study for Urban Buses Hugo Raposo, *Actuators journal*, vol. 8, iss. 1, pp. 1-14, 2019.
- [7] J. Ayel and M. Born, *Lubrifiants et fluides pour l'automobile*, Edition technip, France, 1998.
- [8] J. Fitch, Trouble–shooting viscosity excursions, *Practicing Oil Analysis magazine*, Is.5, 2001.
- [9] B. Fitch, Oil analysis explained, *Machinery lubrication magazine*, 12/2013.
- [10] M. McMahon, How to interpret oil anlysis reports, *Machinery lubrication magazine*, 4/2016.