

# Analyses d'huile pour les turbines à gaz et à vapeur



Energy lives here®

## Prévoir les performances de votre turbine

Prévoir les performances opérationnelles de votre turbine en se basant sur l'analyse de son huile peut avoir un impact positif sur la fiabilité et les coûts d'entretien de votre unité. Il existe de nombreuses options d'analyses pour les turbines à gaz et à vapeur, visant à fournir des données relatives à l'état de l'huile et aux performances de la turbine. C'est pourquoi il est important de comprendre non seulement la nature des tests disponibles, mais aussi comment ces tests sont complémentaires, afin d'avoir une vision complète de l'état de votre système et de son huile.

Comme pour tous les suivis en service, les analyses sur les huiles turbines fournissent de meilleures données si l'évolution de la tendance des résultats est étudiée. Une interprétation correcte de ces résultats peut permettre la planification adéquate d'actions d'entretien correctives, comme par exemple l'amélioration de la filtration ou l'élimination de l'eau.

Ce document vous donnera un aperçu des analyses disponibles visant à surveiller l'état de vos turbines à gaz et à vapeur et de son lubrifiant, avec le détail des programmes de suivi analytique et la fréquence recommandée des prélèvements d'échantillons.

## Analyses de prédiction de la formation de vernis - turbines à gaz et à vapeur

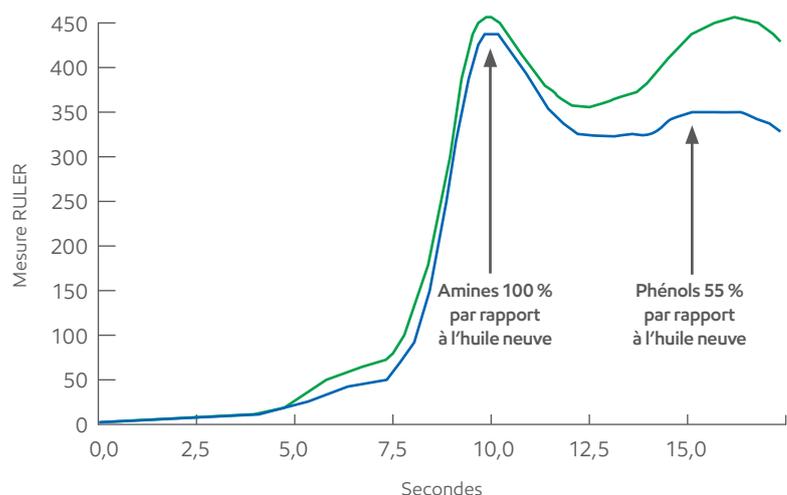
Une demande de suivi de la formation de vernis à travers l'analyse d'huile est apparue suite à des défauts de démarrage survenus sur des turbines à gaz, dus à la formation de vernis dans le circuit hydraulique. La plupart des problèmes de formation de vernis avec les huiles turbines se produisent dans les circuits hydrauliques de commande des turbines à gaz, lorsqu'un réservoir commun est utilisé pour le système hydraulique de commande et pour la lubrification des paliers. Différents systèmes d'analyses visant à une détection précoce de la formation potentielle de vernis sont en train de se développer dans l'industrie, et peuvent, s'ils sont utilisés correctement, fournir des informations très utiles. Cependant, les essais

de prédiction de la formation de vernis doivent être considérés dans un ensemble, en tenant compte des résultats des autres essais proposés dans le programme de suivi analytique. Une analyse complète de l'huile, effectuée en complément des inspections visuelles du matériel et avec la connaissance des heures de service de l'huile, apportera une évaluation précise de la situation.

Si le résultat d'un essai de prédiction de la formation de vernis est au niveau "Attention", nous recommandons de corroborer les résultats de l'analyse par une inspection visuelle des pièces de l'équipement, comprenant une documentation photographique et mentionnant les heures de service du lubrifiant. L'absence d'inspection visuelle pour corroborer les résultats d'analyses peut mener à des actions de maintenance inutiles ou insuffisantes. À noter que les analyses de lubrifiant pour turbines à gaz et à vapeur proposées dans ce document sont appropriées pour les huiles des groupes API I, II, III et IV. Certaines de ces analyses proposées pourront donner des résultats incertains si elles sont employées pour évaluer des huiles hydrauliques ou des huiles du groupe API V en service sur des turbines aérodérivées.

### Figure 1 : Mesure de tension à balayage linéaire (RULER)

Comparaison entre une huile neuve (ligne verte) et une huile en service (ligne bleue)



### ASTM D 6971 - Mesure de tension à balayage linéaire, connue sous le nom de RULER®

Le "procédé d'évaluation de la durée de vie utile restante" ou RULER ("Remaining Useful Life Evaluation Routine") est décrit dans la norme ASTM D 6971 - Méthode d'essai standard pour mesure de la teneur en antioxydants phénoliques et aminés dans les huiles turbines sans zinc, par : "Mesure de tension à balayage linéaire".

Les tests RULER comparent les niveaux d'antioxydants de l'huile neuve par rapport à ceux de l'échantillon d'huile en service, en mesurant la teneur en additifs par différence de tension (**Figure 1**).

La connaissance de la réserve en antioxydant restant dans les huiles turbines peut être utile pour prédire la durée de vie restante de l'huile et estimer ainsi le risque de formation de vernis. De nombreux concentrats d'additifs antioxydants pour huiles turbines sont composés d'un mélange d'antioxydants aminés et phénoliques, de type et concentration différents suivant le mélange. Par conséquent, il est très important que le laboratoire effectuant les analyses dispose d'un échantillon de référence approprié, à partir duquel il lui sera possible de mesurer la variation des teneurs en antioxydants.

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

La limite "Attention" du test RULER est fixée à 25 % de l'antioxydant restant, qui est généralement l'antioxydant aminé.

La connaissance de la tendance en antioxydants restants, via le test RULER, a un intérêt limité. Cela peut même être trompeur dans le cas de réservoirs mixtes ou de mélanges d'huiles de formulations différentes.

La fréquence des analyses dépend de la tolérance au risque spécifique à l'installation, et peut aller de 1 fois par an jusqu'à 1 fois par trimestre.

### ASTM D 7843 - Méthode d'essai MPC (Membrane Patch Colorimetry)

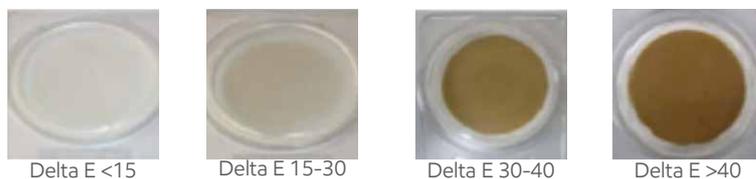
La coloration et la tendance à arrêter le passage de la lumière par les dépôts du lubrifiant sur une membrane, peuvent indiquer la présence de formation de vernis dans l'huile. Les tests MPC ("Membrane Patch Colorimetry") mesurent la longueur d'onde d'absorbance de la lumière visible, en tant que "Delta E" (changement en énergie), qui peut aller de 1 (clair) à plus de 200 (foncé). Certains laboratoires peuvent utiliser cette valeur Delta E pour donner une note d'évaluation de formation de vernis, spécifique au laboratoire, et classifiée sur une échelle de 1 à 100. Comme avec toutes les données de formation de vernis, l'interprétation doit être spécifique à l'application et à l'huile, et confirmée par une inspection visuelle rigoureuse (**Figure 2**). La fréquence des analyses dépend de la tolérance au risque spécifique à l'installation, et peut aller de 1 fois par an jusqu'à 1 fois par trimestre. Les essais MPC peuvent ne pas être objectifs à l'égard de certaines substances chimiques antioxydantes qui produisent des dépôts sombres. Il faut par conséquent en tenir compte lors de l'attribution de notes d'évaluation de formation de vernis spécifiques, qui ne sont pas formellement standardisées.

### Ultracentrifugation - Méthode ExxonMobil

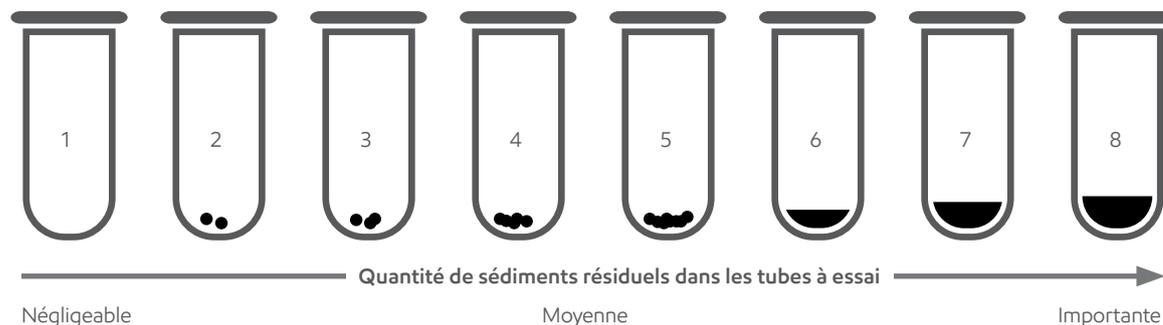
La cotation par ultracentrifugation (UC) a été développée par ExxonMobil pour faciliter l'identification des particules dispersées ou en suspension dans l'huile. La principale utilisation de ce test est de donner une indication quant à d'éventuels signes avant-coureurs de la formation de dépôts dans l'huile.

L'échantillon d'huile soumis à ce test est centrifugé à 17 500 tr / min pendant 30 minutes. Ensuite, le contenu liquide du tube à essai est vidé et les sédiments sont évalués par rapport à une échelle de cotation (**Figure 3**).

**Figure 2 : Membranes MPC photographiées après filtration et interprétations MPC Delta E correspondantes**  
Cotation "Attention" pour MPC Delta E à 40



**Figure 3 : Échelle de cotation visuelle pour interprétation des résultats d'ultracentrifugation**





Les résultats du test sont indiqués sur une échelle de 1 à 8, où 8 correspond à la plus grande quantité de sédiments résiduels. Un résultat supérieur à 4 peut être source de problèmes potentiels puisqu'il est possible que l'huile produise des dépôts dans le système, d'où un risque d'altération des performances. La fréquence des analyses dépend de la tolérance au risque spécifique à l'installation, et peut aller de 1 fois par an jusqu'à 1 fois par trimestre.

### **Optimisation de la durée d'utilisation de l'huile - Analyses huiles turbines à gaz et à vapeur**

Les informations suivantes portent sur les tests utilisés pour déterminer si une huile turbine peut continuer - ou non - à rester encore longtemps en service.

#### **ASTM D 2272 - Méthode d'essai standard de résistance à l'oxydation des huiles turbines à vapeur par test sous pression RPVOT**

Le test d'oxydation sous pression RPVOT ("Rotating Pressure Vessel Oxidation Test") a été développé pour une utilisation avec des huiles en service afin d'évaluer leur résistance à l'oxydation. L'oxydation est générée par l'exposition à température élevée en présence de contaminants tels que l'eau. Dès lors qu'une huile pour turbine se dégrade, il se forme des acides organiques faibles et des produits d'oxydation insolubles qui peuvent adhérer aux éléments des tiroirs de commande, aux paliers, aux parois de réservoir et aux tubes des refroidisseurs d'huile. Une huile pour turbine fortement oxydée peut générer une couche de vernis sur les surfaces chaudes des paliers, ce qui atténue le transfert thermique et peut conduire à une surchauffe des paliers. De plus, des huiles fortement oxydées peuvent encrasser les organes de commande de la turbine et les échangeurs de chaleur.

Ce test d'oxydation accélérée est une référence dans l'industrie, et vise à identifier la dégradation de la résistance à l'oxydation des huiles turbines en service. La méthode ASTM D 4378 (Méthode standardisée pour

le suivi en service des huiles minérales pour turbines à gaz, à vapeur et à cycle combiné) identifie une diminution de 75 % du RPVOT initial de l'huile neuve, avec une augmentation conjointe de l'indice d'acide, comme étant un seuil d'avertissement.

De nombreux fabricants de turbines simplifient cet indicateur en utilisant la valeur résiduelle de 25 % du RPVOT initial, sans aucune référence à l'augmentation de l'indice d'acide. Le fait d'attendre aussi cette augmentation de l'indice d'acide peut présenter un risque supplémentaire si l'huile turbine n'est pas remplacée à temps. Certains constructeurs de turbines suggèrent comme référence un RPVOT minimal de 100 minutes, plutôt que de suivre une éventuelle diminution de la valeur du RPVOT initial. Il est important de noter que le test RPVOT est conçu pour déterminer l'aptitude d'une huile à rester en service continu - ou non - encore longtemps, et n'est aucunement prévu pour servir d'indicateur de performance d'une huile neuve.

Pour les turbines à gaz et à vapeur, il est recommandé de faire un test RPVOT une fois par an. Souvent, l'essai est effectué le mois précédant un arrêt programmé de l'installation. Une augmentation de la fréquence des analyses est recommandée dès que le résultat du RPVOT de l'huile turbine en service approche les 25 % de sa valeur initiale.

#### **ASTM D 445 - Méthode d'essai standard pour mesure de la viscosité cinématique des liquides transparents et opaques**

La viscosité est la caractéristique la plus importante d'une huile turbine en raison du faible jeu de fonctionnement des paliers lisses et de butée. Le jeu de fonctionnement des ailettes de turbine est essentiel à l'efficacité et à la fiabilité de la centrale électrique. La viscosité du lubrifiant joue directement sur le jeu au niveau des ailettes.

Les variations de viscosité de l'huile peuvent entraîner un positionnement inadéquat du rotor, aussi bien axialement





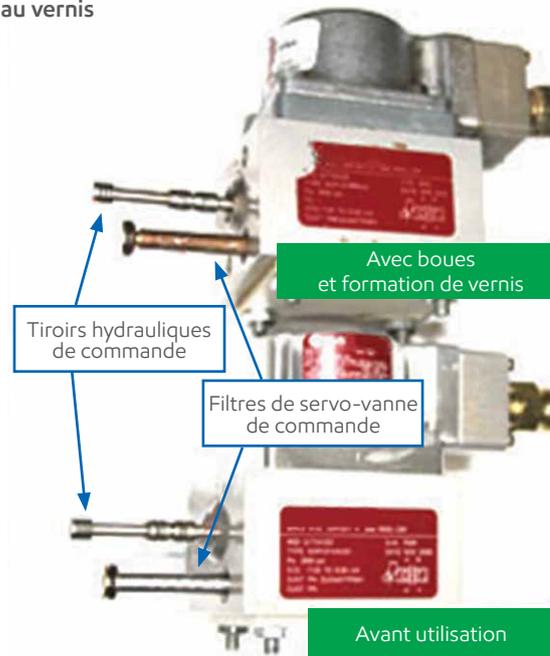
Figure 5 : Photos documentant l'état de pièces sensibles au vernis

Filtres de servo-vanne de commande



Avant utilisation

Avec boues et formation de vernis



analyses sur les échantillons prélevés au niveau des paliers doivent avoir des valeurs limites inférieures pour les métaux d'usure. Les contaminants, tels que le silicium, doivent être maintenus en dessous de 25 ppm.

Les analyses pour le suivi des éléments métalliques doivent être effectuées sur une base mensuelle ou trimestrielle.

#### ASTM D 7414 - Mesure d'oxydation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (méthode différentielle pour l'oxydation)

La méthode ASTM D 7414 mesure, comme indicateur, les pics d'absorbance d'oxydation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier ou spectroscopie IRTF. Cette mesure met en évidence les sous-produits d'oxydation, comme indiqués par les pics de carbonyle détectés entre 1 800 et 1 660  $\text{cm}^{-1}$  (généralement centrés autour de 1 709  $\text{cm}^{-1}$ ). La **figure 4** représente clairement une absence de pics de carbonyle dans cette fréquence, comme on peut s'y attendre pour une huile qui ne s'est pas oxydée en cours d'utilisation.

Les pics différentiels d'absorbance IRTF mesurés à 4 ou plus, pour des fréquences comprises entre 1 800 et 1 660  $\text{cm}^{-1}$  doivent être indiqués en alertes.

#### ISO 4406 - Comptage de particules

Le comptage de particules, et leur classification suivant la classe de propreté ISO, permet de définir la concentration de particules et la classe de propreté de l'huile. Les résultats sont rapportés comme étant le nombre de particules supérieures à 4 / 6 / 14 microns par ml de liquide.

La classe de propreté ISO concerne le nombre de particules par ml à une échelle logarithmique, avec un numéro de code pour chaque classe de propreté. Un résultat typique ressemblerait à 18 / 16 / 13 où 18 signifie qu'il y a entre 1 300 et 2 500 particules par ml supérieures à 4 microns, 16 signifie 320 à 640 particules par ml supérieures ou égales à 6 microns et 13 signifie 40 à 80 particules par ml supérieures à 14 microns.

Les comptages de particules peuvent varier de façon importante en fonction du soin apporté au prélèvement des échantillons, des formulations des huiles, de la contamination du flacon d'échantillon, ainsi qu'en fonction du choix de l'emplacement du point d'échantillonnage et suivant la méthode de prélèvement. Il existe également des différences dans l'équipement utilisé pour mesurer le nombre de particules, entre les techniques utilisant la dispersion de la lumière et les méthodes par filtration fine.

Des précautions doivent donc être prises pour s'assurer que les échantillons utilisés pour le comptage des particules soient représentatifs et comparables d'un prélèvement à l'autre. Les résultats du comptage de particules ne sont valables que comme mesure relative de la contamination. Aucune norme ASTM n'existe pour ce test. Au final cependant, le comptage de particules donne une bonne indication de la propreté générale du système.

Le film d'huile dans un palier lisse peut faire entre 10 et 20 microns d'épaisseur, avec un jeu entre le tourillon et le palier de 200 microns, et le jeu d'une servo-vanne hydraulique peut faire entre 2 et 5 microns. Ces jeux imposent la nécessité d'une huile propre. Une usure excessive des paliers et de la servo-vanne peut se produire si une propreté adéquate n'est pas assurée.

De nombreux constructeurs de turbines proposent comme référence pour la propreté des huiles une classe de propreté ISO 18 / 16 / 13 (NAS 1638 classe 7). Si l'huile turbine est également utilisée comme fluide de commande hydraulique, la recommandation de classe de propreté ISO est souvent 16 / 14 / 11 (NAS 1638 classe 5). Certains constructeurs de turbines utilisent encore l'ancienne méthode de classification à deux codes, oubliant ainsi le premier comptage pour les particules supérieures à 4 microns.

Le comptage des particules pour déterminer la classe de propreté ISO doit être réalisé sur une base mensuelle ou trimestrielle.

### **ASTM D 892 - Test de moussage. Méthode d'essai standard pour le moussage des huiles de lubrification**

Il est courant pour une bache d'huile turbine qu'il y ait un peu de mousse sur la surface de l'huile, mais il doit y avoir aussi certaines zones de la surface exemptes de mousse, zones sur lesquelles les bulles plus grosses peuvent éclater. Un échantillon d'huile turbine peut avoir des résultats élevés au test de moussage, mais les problèmes réels de moussage excessif en application sont rares. La présence de mousse qui continue à augmenter et débordant au niveau de la bache, ou une indication défaillante du niveau d'huile dans la bache doivent être réglés.

L'essai ASTM D 892 est réalisé à trois températures : séquence 1 à 24 °C, séquence 2 à 93,5 °C, puis refroidissement jusqu'à la séquence 3 à 24 °C. Pour chaque séquence, les résultats sont donnés en ml pour la tendance et pour la stabilité au moussage. La tendance au moussage est le volume de mousse mesuré dans une éprouvette graduée après cinq minutes de soufflage d'air à travers l'échantillon d'huile analysé. La stabilité au moussage représente le volume de mousse restant, 10 minutes après la fin du soufflage d'air. Une stabilité de zéro ml de mousse est une bonne indication. Cela indique que les bulles de mousse se brisent et que la turbine ne va pas rencontrer de moussage excessif pendant son fonctionnement normal. Entre ces deux mesures, la stabilité au moussage est plus importante que la tendance au moussage. Par souci d'économie, parfois seuls les essais de la séquence 2 sont réalisés car 93,5 °C se rapproche de la température de service de la turbine.

La procédure ASTM D 4378, qui permet l'interprétation du moussage, propose comme niveau d'alerte un résultat de tendance au moussage de 450 ml avec une stabilité de 10 ml, mesuré suivant la méthode ASTM D 892, séquence 1. Il convient de noter que la reproductibilité de l'essai de moussage suivant la méthode de mesure ASTM D 892 est assez médiocre. Ainsi, un résultat de 450 ml pour la tendance au moussage pourrait varier de 300 ml à 600 ml dans un autre laboratoire.

Quand on cherche à régler un problème de moussage, la propreté, la contamination ou les causes mécaniques doivent être étudiées d'abord, avant d'envisager tout nouvel ajout d'additif antimousse dans l'installation. Tout ajout inapproprié d'additif peut entraîner un problème plus complexe comme - à l'inverse - une rétention d'air excessive, un moussage encore plus important ou une destabilisation de la formule entraînant la précipitation des additifs. La contamination est une cause principale de moussage. C'est pourquoi une évaluation de la classe de propreté ISO et la mesure des métaux par ICP doivent aussi être réalisées. Également, le fait de positionner l'aspiration de la pompe de circulation d'huile à proximité du fond du réservoir permet de minimiser le risque de moussage au niveau des paliers.

Les essais de moussage doivent être réalisés uniquement lorsque celui-ci représente un problème opérationnel, ainsi que dans le cadre des essais de compatibilité entre produits.

### **Recommandations pour l'évaluation de l'état d'une charge d'huile turbine**

L'évaluation de l'état général d'une charge d'huile turbine peut être faite en combinant les résultats des analyses d'huile et les inspections visuelles de l'équipement, tout en ayant connaissance du nombre d'heures de service de l'huile. Une documentation photographique annuelle (**Figure 5**) des pièces sensibles au vernis doit faire partie de l'évaluation de l'état de la charge d'huile turbine.

### **Options d'analyses du lubrifiant**

Les options possibles d'analyses d'huile turbine proposées doivent être sélectionnées afin de fournir des informations pertinentes et rentables pour l'installation. Les différentes options d'analyses d'huile turbine sont décrites dans le tableau page suivante : soit un suivi en routine des tendances et de l'évolution de chaque paramètre, soit un suivi détaillé pour l'optimisation de la durée d'utilisation de l'huile en service, ou bien encore les analyses prédictives de la formation de vernis. Dans tous les cas, il faut toujours bien veiller à ce que les heures de service de l'huile soient indiquées avec les informations jointes à l'échantillon fourni.

	Analyse de routine des tendances et des évolutions	Analyse de prédiction de la formation de vernis	Optimisation de la durée d'utilisation de l'huile
Fréquence	Mensuelle/trimestrielle	Trimestrielle/annuelle	Annuelle
Viscosité - ASTM D 445	✓	✓	✓
Eau - par titrage coulométrique Karl Fischer ASTM D 6304 ou D 1744, ou humidité relative ASTM D 7546	✓	✓	✓
IRTF, Oxydation - ASTM D 7414	✓	✓	✓
Indice d'acide - ASTM D 664	✓	✓	✓
Classe de propreté ISO 4406	✓	✓	✓
Ultracentrifugation (UC) - Méthode ExxonMobil	✓	✓	✓
Mesure de tension à balayage linéaire (RULER) - ASTM D 6971		✓	
Essai MPC (Membrane Patch Colorimetry) - ASTM D 7843		✓	
RPVOT - ASTM D 2272			✓
Désémulsion - ASTM D 1401 (si exposé à l'eau)			✓
Moussage - ASTM D 892			✓
Traces de métaux détectées et mesurées par analyses ICP - ASTM D 5185	✓	✓	✓

### Guide d'interprétation ExxonMobil

Ce tableau est fourni à titre indicatif uniquement. L'interprétation doit être spécifique à l'application, confirmée par une inspection visuelle et doit aussi tenir compte des heures de service de l'huile.

LSV - Mesure de tension à balayage linéaire (RULER)	AOx <sub>1</sub> % (Amine) AOx <sub>2</sub> % (Phenol)	ASTM D 6971	Mesures de la concentration individuelle dans l'huile des 2 types d'AOx, par rapport à l'huile neuve de référence (%)	Valeur résiduelle inférieure à 25 % de la valeur initiale, pour l'antioxydant aminé (AOx <sub>1</sub> )
Méthode d'essai MPC (Membrane Patch Colorimetry)		ASTM D 7843	Mesures du ΔE suite au changement de couleur d'une membrane, causé par la formation de vernis	Supérieur ou égal à 40
UC - Cotation par ultracentrifugation		Méthode interne	Indique la quantité d'insolubles présents dans l'huile (échelle de 1 à 8)	Supérieur ou égal à 4
IRTF (Oxydation) - Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier		ASTM D 7414	Mesure les pics d'absorbance d'oxydation par spectroscopie infrarouge	Supérieur ou égal à 4
Mesure de l'indice d'acide		ASTM D 664	Mesure le niveau d'acidité de l'huile ( mg KOH / g )	Supérieur ou égal à 0,4
RPVOT - Test d'oxydation sous pression		ASTM D 2272	Mesure la dégradation de la stabilité à l'oxydation d'une huile en service (minutes)	Valeur résiduelle inférieure à 25 % de la valeur de l'huile neuve

\*Peut être signalé comme "Attention" ou "Alerte", en fonction des données et résultats d'analyse. Surveillez l'installation pour prendre les mesures et actions correctives appropriées.

La mise en œuvre d'un programme d'analyse d'huile bien adapté nécessite une parfaite connaissance de l'équipement et de son application, ainsi que de ses points critiques éventuels. Une fois mis en œuvre, et moyennant une interprétation appropriée des résultats combinée avec une compréhension des actions correctives potentielles, le programme de suivi analytique des huiles en service doit avoir un impact positif sur vos indicateurs clé de disponibilité et de maintenance des équipements.

Pour plus d'informations sur les lubrifiants industriels et les services Mobil, veuillez contacter votre interlocuteur local ExxonMobil ou notre service d'assistance technique au 0800 970 215, ou visitez [mobilindustrial.fr](http://mobilindustrial.fr)



Toutes les recommandations qui sont présentées dans ce document sont données à titre purement indicatif et n'engagent en aucun cas le fabricant. Le client est responsable de s'assurer que le produit en cause convient à l'usage qu'il souhaite en faire. En cas de doute, consultez le manuel d'entretien fourni par le constructeur.

© 2016 Exxon Mobil Corporation. Tous droits réservés.

Esso S.A.F. SA au capital de 98 337 521,70 € - RCS Nanterre 542 010 053 - Siège : 5 / 6 Place de l'Iris - 92 400 Courbevoie, France - Les marques Energy lives here™, ExxonMobil™, Mobil™, Mobil Serv™ et Mobil Serv™ Lubricant Analysis sont des marques commerciales d'Exxon Mobil Corporation ou de l'une de ses sociétés affiliées, dont le principe d'indépendance juridique n'est pas ici remis en cause, chacune étant autonome.

[mobilindustrial.fr](http://mobilindustrial.fr)