

## Méthodes de Surveillance et de diagnostic des isolants liquides

C'est en connaissant les variations des divers paramètres de l'huile et du papier que l'on est en mesure de savoir si le transformateur comporte une défaillance. L'huile du transformateur contient environ 70 % des informations sur l'état du transformateur. Pour cette raison, l'analyse d'huile isolante d'appareillage de puissance HT est devenue une tâche importante. Cette analyse, en apparence si simple, requiert beaucoup de savoir-faire et un grand nombre d'opérations. S'il est constaté que l'huile est suffisamment dégradée pour mettre en danger le transformateur, des traitements doivent être effectués. Selon les besoins, l'huile est alors dégazée, filtrée et déshydratée.

Ces méthodes sont divisées en deux grandes catégories : méthodes conventionnelles pratiquées par les différents compagnies et laboratoires, et méthodes non conventionnelles dites modernes qui sont spéciales à certains laboratoires et objet de plusieurs recherches.

### 1 Méthodes conventionnelles

#### 1.1 Test Physico-chimiques

Les essais et les normes utilisés par la SONELGAZ sont donnés dans le tableau

Normes utilisées par SONELGAZ pour l'analyse de la BORAK22

Type d'essai	Norme
Couleur	ISO 2049
Viscosité cinématique	ISO 3104
Acidité totale	CEI 62021
Rigidité diélectrique	CEI 60156
Facteur de pertes diélectriques	CEI 247/ASTM 924
Teneur en eau	CEI 60814

Ces tests sont très importants pour déterminer l'état de vieillissement de l'isolation et d'analyser son degré de contamination.

#### A) Mesure de la teneur en eau

La présence de l'humidité est très néfaste pour les propriétés diélectriques de l'isolation, en particulier elle affecte la rigidité diélectrique de l'huile et celle du papier. Typiquement sa valeur doit être inférieure à cinq (5) ppm pour l'huile minérale avant la mise en service du transformateur.

Pour mesurer la teneur en eau, on prélève par une seringue environ 2 ml de l'échantillon d'huile qu'on injecte dans le titreur automatique et après réaction on relève la valeur de la teneur en eau.

La teneur en eau est rapportée dans les unités des parties par million qu'on note ppm. Le titreur automatique Karl Fischer 831 KF Coulometer avec électrode à génératrice à diaphragme commercialisé par la société Metrohm est utilisé pour déterminer la teneur en eau de nos échantillons. La figure dessous représente une photographie du dispositif expérimental.



Titreur Coulométrique Karl Fisher pour la mesure de la teneur en eau de liquide isolant.

## B) Nombre de neutralisation

Le nombre de neutralisation (NN) ou l'acidité du fluide isolant augmente principalement tant que l'huile s'oxyde. La mesure du NN permet la surveillance du processus d'oxydation de l'huile. Plus la valeur du NN est élevée, plus l'ampleur de l'oxydation est grande et plus tôt les produits solubles et colloïdaux se formeront.

Le nombre d'acidité total se traduit par la quantité de composés acides dissous dans l'huile et s'exprime en mgKOH/g. Pour une huile neuve, l'indice est inférieur à 0.01mgKOH/g. Au cours du processus de vieillissement, il peut augmenter jusqu'à 0.05 mgKOH/g et plus. Plus la valeur du NN est élevée, plus l'ampleur de l'oxydation est grande et plus le tôt des produits solubles et colloïdaux se formeront.

La mesure de l'acidité est réalisée par un procédé chimique simple appelé la neutralisation. La valeur de l'acidité est exprimée en nombre de mg d'une solution de potasse alcoolique (KOH) normalité à 0,1 nécessaire pour neutraliser un gramme de l'huile.

Le calcul de l'indice d'acidité se fait selon l'équation suivante :

$$IA = 0,1M1V/M$$

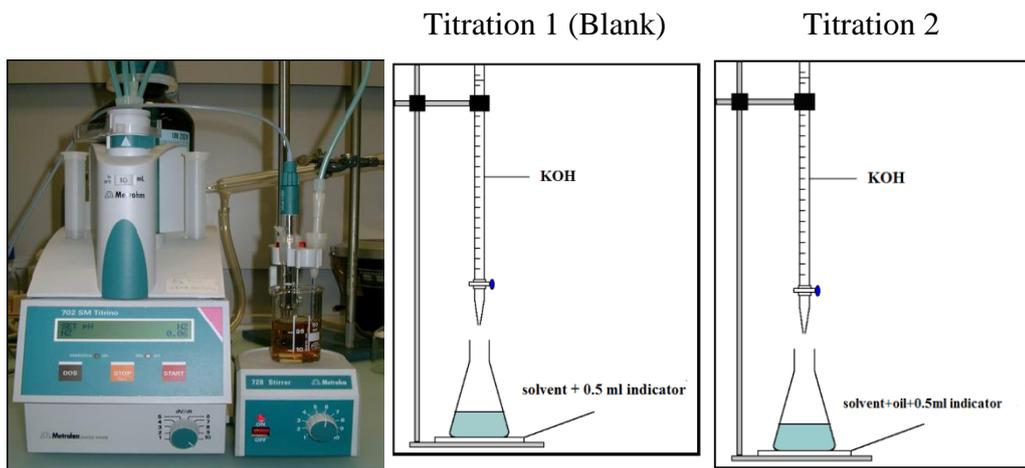
où : IA : l'indice d'acidité

M1 : masse moléculaire de la solution KOH (g/moles)

M : masse d'huile (g)

V : volume de KOH nécessaire pour avoir la neutralisation (ml)

La figure III.5 montre la photographie de l'appareil utilisé pour mesurer l'acidité selon la norme CEI 62021, et le système de neutralisation selon la norme ASTM 1534.



Appareil de mesure de l'acidité selon la norme CEI 62021, et le Système de titration

### C) Mesure de la viscosité

La fonction transfert de chaleur d'une huile dépend de la viscosité de cette dernière, la viscosité est un paramètre essentiel qui rentre dans le dimensionnement et la conception des systèmes de refroidissement par convection naturelle dans les petits transformateurs auto-refroidis ou par écoulement forcé dans les grandes unités (transformateurs de puissance) utilisant des pompes et des radiateurs,

La viscosité de l'huile est définie comme sa résistance à l'écoulement. C'est une caractéristique essentielle pour les liquides isolants. Les viscosités élevées sont moins désirables plus particulièrement dans les climats froids. La viscosité cinématique est mesurée en chronométrant le temps d'écoulement de l'huile dans un tube capillaire calibré. La figure montre une photographie des viscosimètres utilisés.



types de Viscosimètres

#### D) Mesure de la tension de claquage [ASTM D-877, CEI 60156]

La tension de claquage diélectrique représente la tension à laquelle un fluide isolant devient conducteur. On la rapporte en kilovolts. La présence de contaminants, d'humidité et de particules, y compris les produits d'oxydation, réduisent la tension claquage diélectrique.

Pour la mesure de tension de claquage, l'échantillon est placée dans la cellule entre deux électrodes en demi-sphères, et soumis à une tension, entre chaque test, on élimine les produits de décomposition apparaissent entre les deux électrodes, pendant le test. Une vue de cellule d'essai et donnée dans la figure après.

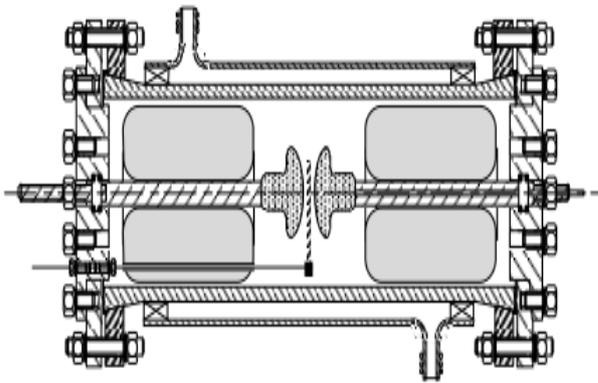


Schéma de cellule de claquage

#### E) Examen visuel et couleur

La surveillance de couleur et de l'aspect visuel de l'huile isolante fournit une évaluation rapide de la qualité d'huile. Les huiles isolantes obscurciront en vieillissant en raison de l'oxydation. L'examen visuel fournit une évaluation des matériaux indésirables suspendus dans l'huile.





Dégradation de liquide isolant au cours de vieillissement thermique (changement de couleur),  
photographie de colorimètre pour la mesure de l'indice couleur

### **F) Mesure du facteur de dissipation diélectrique**

Le facteur de dissipation des huiles isolantes électriques est une propriété de grande importance, car elle constitue un moyen de détermination de la concentration des porteurs de charges qui détériorent la principale fonction diélectrique du liquide. Si la concentration des porteurs de charges excède une certaine limite (valeur critique) sous contrainte électrique, une panne latente peut survenir dans le transformateur. Une faible valeur du facteur de dissipation indique de faibles pertes diélectriques et un faible niveau de contaminants ioniques polaires solubles ou colloïdaux. Ces caractéristiques constituent un moyen de contrôle de qualité et un indicateur des modifications de l'huile en service résultant d'une contamination ou de la détérioration de l'huile.

Le facteur de pertes diélectrique ( $\text{tg}\delta$ ) et la permittivité relative ( $\epsilon_r$ ) peuvent être mesurés à l'aide d'un pont de Schering de type Dieltest DLT. La cellule d'essais contenant l'échantillon d'huile est constituée de deux cylindres coaxiaux de distance inter-électrodes de 5 mm. Le principe consiste à remplir la cellule de l'huile, puis la chauffer jusqu'à  $90^\circ\text{C}$  sous une tension de 2 kV. Les résultats d'essais sont affichés et imprimés automatiquement



Dieltest DLT utilisé dans la mesure du facteur de dissipation diélectrique et la permittivité relative

## Quelques exemples

Cas	Essais à faire	Diagnostic
Une huile de transformateur limpide, dont le facteur d'acidité est dans les normes, mais la rigidité est très basse	Teneur en eau	Si la couleur est claire, et pas d'acidité : pas d'oxydation et pas de formation de dépôts venant de la dégradation des isolants solides. Donc il faut vérifier l'étanchéité du transfo (infiltration de gouttes d'eau)
l'acidité d'une huile est élevée, on n'a pas besoin de mesurer $Tg\delta$ . Il est certainement élevé, L'inverse n'est pas toujours vrai		la rigidité est certainement très basse.
Une couleur trouble d'une huile de disjoncteur a donné une rigidité basse	La viscosité	On pense à des dépôts faits de l'ouverture brusque du disjoncteur. Le mouvement donne l'usure des contacts métalliques, donc des poussières métalliques. Cette pollution a créé le claquage (par pont)
Le 1 <sup>er</sup> test qui a été réalisé dans cette huile est $Tg\delta$ qui a été trouvé élevé avec une couleur claire . Doit-on continuer le reste des tests ?	Non ;	$Tg\delta$ élevé : conduction élevée donc on a un(des) phénomènes qui favorise(nt) la conduction. Comme la couleur est claire, donc c'est soit de l'eau qui existe ou des gaz