



1 SCRIPT

Xxx : français Xxx : english Xxx : deutsch

Slide 01	Parlons à présent de l'analyseur de gaz dissous, aussi appelé DGA. Il s'agit d'un appareil qui enregistre la teneur en gaz de l'huile du transformateur. En fonction du taux de gaz présent dans l'huile, le DGA peut générer des alarmes. Let's now talk about the dissolved gas analyser, also known as a DGA. This is a device that measures the gas content in transformer oil. Depending on the level of gas present in the oil, the DGA can trigger alarms. Sprechen wir nun über das Analysegerät für gelöste Gase, auch DGA genannt. Dabei handelt es sich um ein Gerät, das den Gasgehalt im Öl des Transformators misst. Je nach Konzentration der Gase im Öl kann es Alarme auslösen.
Slide 02	On peut faire une analogie : Imaginez une personne, à l'hôpital, qui serait branchée en permanence à des appareils de surveillance. On connaît, à tout moment, l'ensemble de ses paramètres. C'est exactement le rôle du DGA : surveiller le transformateur sur lequel il est monté. Le transformateur est équipé du DGA sur site, c'est à dire que la surveillance du transformateur se fait pendant que le transformateur est en fonctionnement. Dit autrement, le DGA est un système de surveillance, en continu, des gaz dissous dans l'huile, et de son humidité, c'est à dire de sa teneur en eau. Ceci permet de prévenir de défauts latents qui seraient en développement. Ainsi, avec cet appareil, on essaye de prolonger au mieux, la durée de vie du transformateur. L'analyseur des gaz dissous est la seule solution permettant de détecter les défauts internes des transformateurs à huile, en temps réel, c'est à dire pendant qu'ils sont en service sur site. We can draw an analogy: imagine a person in hospital who is constantly connected to monitoring equipment. We know all their vital signs at all times. This is exactly the role of the DGA: to monitor the transformer on which it is fitted. The DGA is installed on-site on the transformer, meaning that the transformer is monitored whilst it is in operation. In other words, the DGA is a system for the continuous monitoring of gases dissolved in the oil and its moisture content, meaning its water content. This helps to prevent latent faults that may be developing. Thus, this device is used to extend the transformer's service life as much as possible. Dissolved gas analyser is the only solution capable of detecting internal faults in oil-filled transformers in real time, meaning whilst they are in operation on site. Man kann eine Analogie ziehen: Stellen Sie sich eine Person im Krankenhaus vor, die ständig an Überwachungsgeräte angeschlossen ist. Man kennt zu jedem Zeitpunkt alle ihre Vitalparameter. Genau das ist die Aufgabe des DGA: den Transformator zu überwachen, an dem es angebracht ist. Der Transformator ist vor Ort mit dem DGA-System ausgestattet, das heißt, die Überwachung des Transformators erfolgt während des Betriebs. Anders ausgedrückt: Das DGA-System dient der kontinuierlichen Überwachung der im Öl gelösten Gase sowie der Feuchtigkeit, also des Wassergehalts.



	Dadurch lassen sich latente Fehler, die sich gerade entwickeln, frühzeitig erkennen. Mit diesem Gerät wird somit versucht, die Lebensdauer des Transformators so weit wie möglich zu verlängern. Der DGA-System ist die einzige Lösung, mit der sich interne Fehler in ölgefüllten Transformatoren in Echtzeit, das heißt während des Betriebs vor Ort, erkennen lassen.
Slide 03	Sur le marché, on va trouver des analyseurs avec 3 niveaux de surveillance différents : Le DGA de niveau 1, que j'appelle DGA de surveillance, qui analyse un seul gaz composite. Le DGA de niveau 2, que j'appelle DGA de diagnostic, qui analyse 5 gaz. Enfin, le DGA de niveau 3, que j'appelle DGA expert, qui analyse quant à lui 9 gaz. Reprenons l'analogie avec le corps humain : - Le DGA de surveillance, c'est comme la prise des paramètres tension et température du corps. Le DGA va constater qu'il se passe quelque chose d'anormal, mais pas la cause du problème. - Le DGA de diagnostic, c'est comme la prise de sang ciblée. Le DGA identifie le type de problème grâce à plusieurs indicateurs. - Le DGA expert, c'est comme le bilan biologique complet. Le DGA fournit pratiquement toutes les informations qu'un laboratoire obtiendrait avec un échantillon d'huile. Avec des niveaux de surveillance différents, les 3 types de DGA ne répondent donc pas au même besoin : - Le DGA de surveillance répond à la question « <i>Le transformateur développe-t-il un défaut ?</i> » - Le DGA de diagnostic répond à la question « <i>Quel est probablement ce défaut ?</i> » - Le DGA expert répond à la question « <i>Quel est précisément l'état interne du transformateur et comment évolue-t-il ?</i> » On the market, you will find analysers with three different monitoring levels: DGA level 1, which I call 'monitoring DGA', analyses a single composite gas. DGA level 2, which I call 'diagnosis DGA', analyses 5 gases. DGA level 3, which I call 'expert DGA', analyses 9 gases. Let's return to the analogy with the human body: - The monitoring DGA is like taking a person's blood pressure and temperature. The DGA will detect that something abnormal is happening, but not the cause of the problem. - The diagnostic DGA is like a targeted blood test. The DGA identifies the type of problem using several indicators. - The expert DGA is like a comprehensive blood test. DGA provides virtually all the information that a laboratory would obtain from an oil sample. With different levels of monitoring, the three types of DGA therefore do not serve the same purpose: - The monitoring DGA answers the question "Is the transformer developing a fault?" - The diagnosis DGA answers the question "What is this fault likely to be?" - The expert DGA answers the question "What exactly is the internal condition of the transformer and how is it changing?" Auf dem Markt findet man DGA mit drei verschiedenen Überwachungsstufen: Das DGA der Stufe 1, das ich als „Überwachungs-DGA“ bezeichne, analysiert ein einziges Mischgas. Das DGA der Stufe 2, das ich als „Diagnose-DGA“ bezeichne, analysiert fünf Gase. Und schließlich das DGA der Stufe 3, das ich als „Experten-DGA“ bezeichne, das wiederum neun Gase analysiert. Nehmen wir noch einmal die Analogie zum menschlichen Körper auf:



- Das DGA der Überwachung ist wie die Messung von Blutdruck und Körpertemperatur. Das DGA stellt fest, dass etwas Ungewöhnliches vor sich geht, erkennt jedoch nicht die Ursache des Problems.
- Das DGA der Diagnose ist wie eine gezielte Blutuntersuchung. Das DGA identifiziert anhand mehrerer Indikatoren die Art des Problems.
- Die Experten-DGA ist wie ein umfassendes Laborprofil. Die DGA liefert praktisch alle Informationen, die ein Labor anhand einer Ölprobe erhalten würde.

Aufgrund unterschiedlicher Überwachungsebenen erfüllen die drei DGA-Arten daher nicht denselben Zweck:

- Die Überwachungs-DGA beantwortet die Frage: „Entwickelt der Transformator einen Fehler?“
- Die Diagnose-DGA beantwortet die Frage: „Um welchen Fehler handelt es sich wahrscheinlich?“
- Die Experten-DGA beantwortet die Frage: „Wie ist der interne Zustand des Transformators genau und wie entwickelt er sich?“

Slide 04

Je vous propose un comparatif de ces 3 niveaux de surveillance.
Voici les principaux critères et la réponse apportée par chaque technologie de DGA.

Avant de vous présenter ce tableau, je souhaite préciser que :

- tous les DGA ont besoin d'une alimentation électrique,
- une liaison SCADA, IEC 61850, Modbus est disponible pour la collecte des données,
- le prélèvement de l'huile se fait de manière automatique,
- les DGA n'ont pas besoin de consommables,
- les DGA permettent tous de réaliser un suivi des tendances d'évolution des gaz dans le temps,
- Les DGA mesurent presque tous le taux d'humidité de l'huile,
- Les DGA sont généralement réservés aux transformateurs de moyenne et forte puissances.

Passons à présent au tableau.

Commençons par le DGA de surveillance (niveau 1) dont l'objectif est d'obtenir une détection précoce d'un défaut.

Son coût d'achat est faible et son coût d'exploitation très faible. Le retour d'investissement est excellent sur un grand parc.

Il possède un capteur qui mesure un gaz composite sensible aux gaz suivants : H_2 , CO , C_2H_2 , C_2H_4 et donne une valeur en H_2 équivalent.

Ce DGA réalise un diagnostic de précision faible. Il ne permet pas non plus de tracer un triangle de Duval.

Le DGA ne réalise pas vraiment de diagnostic automatique.

Il assure une détection partielle des défauts thermiques, il alerte en cas d'arcs électriques mais ne détecte pas le vieillissement du papier.

Poursuivons par le DGA de diagnostic (niveau 2) dont l'objectif est d'aller plus loin que le premier. Le but est d'identifier le type de défaut.

Son coût d'achat est plus élevé que le DGA niveau 1 et son coût d'exploitation faible. Le retour d'investissement est bon sur les transformateurs critiques.

Il mesure individuellement 5 gaz (H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 et CO).

Ce DGA permet de réaliser un diagnostic tel que demandé dans la norme IEC 60599 et il permet de tracer un triangle de Duval.

Le DGA réalise un diagnostic automatique.

Il assure une détection des défauts thermiques, des arcs électriques et une détection partielle du vieillissement du papier.

Terminons enfin avec le DGA expert (niveau 3) dont l'objectif est de fournir un diagnostic complet comparable à celui réalisé dans un laboratoire suite à un prélèvement d'échantillon.



Son coût d'achat est plus élevé que le DGA niveau 2 et son coût d'exploitation reste faible. Le retour d'investissement réserve cette technologie aux transformateurs stratégiques. Il mesure individuellement 9 gaz (H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , CO , CO_2 , O_2 et N_2). Ce DGA permet de réaliser un diagnostic tel que demandé dans la norme IEC 60599 et il permet de tracer un triangle de Duval. Le DGA réalise un diagnostic automatique très avancé avec une précision élevée. Il assure une détection des défauts thermiques, des arcs électriques ainsi que du vieillissement du papier. A noter enfin qu'une teneur élevée en O_2 et N_2 permettent de détecter une entrée d'air dans le transformateur et le rapport CO_2 sur CO permet de détecter un vieillissement prématuré du papier isolant.

Quelques mots sur le triangle de Duval :

Le triangle de Duval est une méthode de diagnostic qui utilise les proportions relatives des gaz méthane CH_4 , éthylène C_2H_4 et acétylène C_2H_2 dissous dans l'huile d'un transformateur. En reportant ces proportions dans un diagramme triangulaire, il permet d'identifier le type de défaut interne le plus probable (décharges partielles, arcs électriques, échauffements de différentes températures). C'est aujourd'hui l'une des méthodes les plus utilisées pour interpréter les résultats d'une analyse de gaz conformément aux recommandations de la norme IEC 60599.

I would like to present a comparison of these three levels of monitoring.
Here are the main criteria and how each DGA technology addresses them.

Before presenting this table, I would like to point out that:

- all DGAs require a power supply,
- a SCADA, IEC 61850 or Modbus connection is available for data collection,
- oil sampling is carried out automatically,
- DGAs do not require consumables,
- all DGAs allow trends in gas levels to be monitored over time,
- almost all DGAs measure the oil's moisture content,
- DGAs are generally reserved for medium- and high-power transformers.

Let us now turn to the table.

Let us begin with the monitoring DGA (level 1), the aim of which is to enable early detection of a fault.

Its purchase cost is low and its running costs are very low. The return on investment is excellent for a large fleet.

It features a composite gas sensor that detects the following gases: H_2 , CO , C_2H_2 , C_2H_4 and provides an equivalent H_2 value.

This DGA provides a low level of diagnostic accuracy. Nor does it allow a Duval triangle to be plotted.

The DGA does not really perform automatic diagnostics.

It provides partial detection of thermal faults; it alerts the user in the event of electric arcs but does not detect paper ageing.

Let us now move on to the diagnostic DGA (Level 2), the aim of which is to go a step further than the first. The objective is to identify the type of fault.

Its purchase cost is higher than that of a Level 1 DGA system, whilst its running costs are low. The return on investment is good for critical transformers.

It measures five gases individually (H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 and CO).

This DGA enables a diagnosis to be carried out as required by the IEC 60599 standard and allows a Duval triangle to be plotted.

The DGA performs an automatic diagnosis.

It detects thermal faults, electric arcs and, to some extent, paper ageing.

Finally, let us conclude with the expert DGA (level 3), the aim of which is to provide a comprehensive diagnosis comparable to that carried out in a laboratory following the collection of a sample.



Its purchase cost is higher than that of the level 2 DGA, whilst its running costs remain low. The return on investment means this technology is reserved for strategic transformers. It measures nine gases individually (H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, CO, CO₂, O₂ and N₂). This DGA enables a diagnosis to be carried out as required by the IEC 60599 standard and allows a Duval triangle to be plotted. The DGA performs a highly advanced automatic diagnosis with a high degree of accuracy. It detects thermal faults, electrical arcs and ageing of the insulation paper. Finally, it should be noted that high levels of O₂ and N₂ indicate air ingress into the transformer, whilst the CO₂ to CO ratio indicates premature ageing of the insulation paper.

A few words on the Duval triangle:

The Duval triangle is a diagnostic method that uses the relative proportions of the gases methane (CH₄), ethylene (C₂H₄) and acetylene (C₂H₂) dissolved in a transformer's oil. By plotting these proportions on a triangular diagram, it enables the most likely type of internal fault to be identified (partial discharges, electric arcs, overheating at different temperatures). It is now one of the most widely used methods for interpreting the results of a gas analysis in accordance with the recommendations of the IEC 60599 standard.

Ich möchte Ihnen einen Vergleich dieser drei Überwachungsebenen vorstellen. Hier sind die wichtigsten Kriterien und die jeweiligen Lösungen der einzelnen DGA-Technologien.

Bevor ich Ihnen diese Tabelle präsentiere, möchte ich Folgendes klarstellen:

- Alle DGA-Systeme benötigen eine Stromversorgung,
- Zur Datenerfassung steht eine SCADA-, IEC 61850- oder Modbus-Verbindung zur Verfügung,
- die Ölprobenahme erfolgt automatisch,
- die DGA-Systeme benötigen keine Verbrauchsmaterialien,
- alle DGA-Systeme ermöglichen die Verfolgung von Gaskonzentrationstrends im Zeitverlauf,
- fast alle DGA-Systeme messen den Feuchtigkeitsgehalt des Öls,
- DGA-Systeme sind in der Regel Transformatoren mittlerer und hoher Leistung vorbehalten.

Kommen wir nun zur Tabelle.

Beginnen wir mit dem Überwachungs-DGA (Stufe 1), dessen Ziel die Früherkennung eines Defekts ist.

Seine Anschaffungskosten sind gering und seine Betriebskosten sehr niedrig. Bei einem großen Anlagenpark ist die Kapitalrendite ausgezeichnet.

Er verfügt über einen Sensor, der ein Mischgas misst, das auf folgende Gase anspricht: H₂, CO, C₂H₂, C₂H₄ und liefert einen H₂-Äquivalentwert.

Dieses DGA führt eine Diagnose mit geringer Genauigkeit durch. Es ermöglicht auch nicht die Erstellung eines Duval-Dreiecks.

Das DGA führt keine echte automatische Diagnose durch.

Es gewährleistet eine teilweise Erkennung thermischer Fehler, warnt bei Lichtbögen, erkennt jedoch keine Alterung des Papiers.

Fahren wir mit dem DGA (Stufe 2) fort, dessen Ziel es ist, über die erste Stufe hinauszugehen. Das Ziel besteht darin, die Art des Defekts zu identifizieren.

Seine Anschaffungskosten sind höher als die des DGA der Stufe 1, seine Betriebskosten hingegen gering. Bei kritischen Transformatoren ist die Kapitalrendite gut.

Er misst einzeln 5 Gase (H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄ und CO).

Dieses DGA ermöglicht eine Diagnose gemäß der Norm IEC 60599 und die Erstellung eines Duval-Dreiecks.

Das DGA führt eine automatische Diagnose durch.

Es gewährleistet die Erkennung von thermischen Fehlern, Lichtbögen und teilweise auch die Erkennung von Papieralterung.



Abschließend noch ein Wort zum DGA-Expertengerät (Stufe 3), dessen Ziel es ist, eine umfassende Diagnose zu liefern, die mit derjenigen vergleichbar ist, die nach einer Probenentnahme in einem Labor durchgeführt wird.

Die Anschaffungskosten sind höher als beim DGA-Gerät der Stufe 2, die Betriebskosten bleiben jedoch gering. Aufgrund der Amortisationszeit ist diese Technologie strategischen Verarbeitungsbetrieben vorbehalten.

Es misst einzeln 9 Gase (H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , CO , CO_2 , O_2 und N_2).

Dieses DGA ermöglicht eine Diagnose gemäß den Anforderungen der Norm IEC 60599 und die Erstellung eines Duval-Dreiecks.

Das DGA führt eine hochmoderne automatische Diagnose mit hoher Genauigkeit durch. Es gewährleistet die Erkennung von thermischen Fehlern, Lichtbögen sowie der Alterung des Isolierpapiers.

Schließlich ist anzumerken, dass ein hoher Gehalt an O_2 und N_2 das Eindringen von Luft in den Transformator erkennen lässt und das Verhältnis von CO_2 zu CO eine vorzeitige Alterung des Isolierpapiers anzeigt.

Ein paar Worte zum Duval-Dreieck:

Das Duval-Dreieck ist eine Diagnosemethode, bei der die relativen Anteile der im Öl eines Transformators gelösten Gase Methan (CH_4), Ethylen (C_2H_4) und Acetylen (C_2H_2) herangezogen werden. Durch die Darstellung dieser Anteile in einem Dreiecksdiagramm lässt sich die wahrscheinlichste Art des internen Defekts identifizieren (Teilentladungen, Lichtbögen, Erwärmungen unterschiedlicher Temperaturen). Es ist heute eine der am häufigsten verwendeten Methoden zur Auswertung der Ergebnisse einer Gasanalyse gemäß den Empfehlungen der Norm IEC 60599.

Slide 05

Prenons le cas d'un DGA de surveillance (niveau 1).

On va généralement trouver deux capteurs : un capteur de gaz et un capteur d'humidité, comme cela est indiqué sur l'illustration.

Le capteur de gaz permet d'identifier la présence dans l'huile de 4 gaz différents.

La présence d'hydrogène (H_2) est un signe anormal sur le transformateur.

Ce pourrait être, par exemple, un échauffement anormal localisé, des décharges partielles, ou un effet corona (c'est-à-dire une ionisation de l'huile autour des parties actives...).

La présence de monoxyde de carbone CO est symptomatique d'une partie du papier d'isolation qui a surchauffé.

La présence d'acétylène C_2H_2 est un signe d'arcs électriques dans la cuve.

Et la présence d'éthylène C_2H_4 résulte généralement d'un échauffement anormal de l'huile.

Un capteur d'humidité, quant à lui, mesure la teneur en eau de l'huile. De l'humidité dans l'huile serait le signe d'une dégradation du papier isolant ou d'un joint qui fuit.

Comme le DGA de surveillance ne mesure qu'un gaz composite et pas chacun des gaz individuellement, il ne sait pas répondre à des questions telles que :

- Est-ce un arc électrique ?
- Est-ce une surchauffe du papier ?
- Est-ce une surchauffe de l'huile ?
- Quelle est la gravité exacte du défaut ?

Par contre, le DGA peut :

- Détecter rapidement un défaut naissant,
- Suivre les tendances,
- Générer des alarmes,
- Intégrer des mesures complémentaires (charge, température),
- Transmettre les données à la supervision.

Prenons un exemple pour illustrer les conséquences sur le diagnostic.

Supposons qu'un transformateur développe un arc interne.

Un DGA de niveau 1 indiquera simplement que le niveau de gaz de défaut augmente. On sait qu'il se passe quelque chose d'anormal, mais pas précisément quoi. Il faudra souvent réaliser une analyse de gaz en laboratoire pour en savoir plus.



Un DGA de niveau 2 ou 3 montrera par exemple :

- Une forte augmentation du H_2
- Une forte augmentation de C_2H_2
- Et le monoxyde de carbone stable

Sur le triangle de Duval, on pourra lire : Défaut de type D2 (arc de forte énergie).
L'exploitant dispose alors immédiatement d'un diagnostic exploitable.

Let's take the example of a monitoring DGA (Level 1).

There are usually two sensors: a gas sensor and a moisture sensor, as shown in the illustration.

The gas sensor detects the presence of four different gases in the oil.

The presence of hydrogen (H_2) is an indication of an abnormal sign in the transformer.

This could be, for example, localised abnormal heating, partial discharges, or a corona effect, meaning ionization of the oil around the active parts.

The presence of carbon monoxide CO indicates that part of the insulating paper has overheated.

The presence of acetylene (C_2H_2) is a sign of electrical arcing within the tank.

And the presence of ethylene (C_2H_4) is generally the result of abnormal oil heating.

A moisture sensor, meanwhile, measures the water content of the oil. Moisture in the oil would be a sign of deterioration in the insulating paper or a leaking seal.

As the monitoring DGA only measures a composite gas and not each gas individually, it cannot answer questions such as:

- Is it an electric arc?
- Is the paper overheating?
- Is the oil overheating?
- What is the exact severity of the fault?

However, the DGA can:

- Quickly detect an incipient fault,
- Track trends,
- Generate alarms,
- Integrate additional measurements (load, temperature),
- Transmit data to the control system.

Let's take an example to illustrate the implications for diagnosis.

Suppose a transformer develops an internal arc.

A Level 1 DGA will simply indicate that the level of fault gas is rising. We know that something abnormal is happening, but not exactly what. It will often be necessary to carry out a gas analysis in a laboratory to find out more.

A level 2 or level 3 DGA will show, for example:

- A sharp increase in H_2
- A sharp increase in C_2H_2
- And stable carbon monoxide

On the Duval triangle, this would be interpreted as: D2-type fault (high-energy arc).

The operator then immediately has a usable diagnosis.

Nehmen wir den Fall eines Überwachungs-DGA (Stufe 1).

In der Regel sind zwei Sensoren vorhanden: ein Gassensor und ein Feuchtigkeitssensor, wie in der Abbildung dargestellt.

Der Gassensor ermöglicht es, das Vorhandensein von vier verschiedenen Gasen im Öl zu identifizieren.

Das Vorhandensein von Wasserstoff, H_2 , ist ein ungewöhnliches Anzeichen am Transformator. Dies könnte beispielsweise auf eine lokale Überhitzung, Teilentladungen oder einen Koronaeffekt (das heißt eine Ionisierung des Öls um die aktiven Teile herum...) hindeuten.



Das Vorhandensein von Kohlenmonoxid (CO) deutet darauf hin, dass ein Teil des Isolierpapiers überhitzt ist.
Das Vorhandensein von Acetylen (C₂H₂) ist ein Anzeichen für Lichtbögen im Ölbehälter.
Und das Vorhandensein von Ethylen (C₂H₄) resultiert in der Regel aus einer abnormalen Erwärmung des Öls.
Ein Feuchtigkeitssensor misst hingegen den Wassergehalt des Öls. Feuchtigkeit im Öl wäre ein Anzeichen für eine Beschädigung des Isolierpapiers oder eine undichte Dichtung.

Da das Überwachungs-DGA nur ein Gasgemisch und nicht jedes Gas einzeln misst, kann es Fragen wie die folgenden nicht beantworten:

- Handelt es sich um einen Lichtbogen?
- Handelt es sich um eine Überhitzung des Papiers?
- Handelt es sich um eine Überhitzung des Öls?
- Wie schwerwiegend ist der Fehler genau?

Dagegen kann die DGA:

- einen sich anbahnenden Fehler schnell erkennen,
- Trends verfolgen,
- Alarmer auslösen,
- zusätzliche Messwerte (Last, Temperatur) einbeziehen,
- die Daten an die Überwachungszentrale übermitteln.

Nehmen wir ein Beispiel, um die Auswirkungen auf die Diagnose zu veranschaulichen.

Nehmen wir an, in einem Transformator entsteht ein innerer Lichtbogen.

Eine DGA der Stufe 1 zeigt lediglich an, dass der Gehalt an Fehlgasen ansteigt. Man weiß, dass etwas Ungewöhnliches vor sich geht, aber nicht genau was. Oftmals ist eine Gasanalyse im Labor erforderlich, um mehr darüber zu erfahren.

Eine DGA der Stufe 2 oder 3 zeigt beispielsweise:

- Einen starken Anstieg von H₂
- Einen starken Anstieg von C₂H₂
- Und stabiles Kohlenmonoxid

Im Duval-Dreieck lässt sich ablesen: Fehler vom Typ D₂ (Hochenergie-Lichtbogen).

Dem Betreiber steht somit sofort eine verwertbare Diagnose zur Verfügung.

Slide 06

Le DGA possède également la capacité de récupérer des informations grâce à une carte d'entrées. Comme indiqué sur le schéma de droite, il est ainsi possible d'y raccorder des informations telles que : la température ambiante, le courant de charge du transformateur, la température de l'huile, en haut et en bas de la cuve.

Ces informations peuvent alors être combinées aux mesures de gaz pour permettre une analyse plus fine de l'état du transformateur.

On voit, sur la photo de gauche, un DGA de surveillance (niveau 1) de marque General Electric installé sur un transformateur. Il est connecté au travers d'une vanne dédiée.

Cet appareil ne possédant aucune pièce mobile, il nécessite peu de maintenance.

Enfin, il reste bien entendu nécessaire de faire, régulièrement, un prélèvement d'huile, pour une analyse en laboratoire.

Nous reverrons ce dernier point dans la partie dédiée à la maintenance des transformateurs.

The DGA also has the capability to retrieve data via an input card. As shown in the diagram on the right, it is therefore possible to connect data such as: ambient temperature, transformer load current, and oil temperature at the top and bottom of the tank.

This data can then be combined with gas measurements to enable a more detailed analysis of the transformer's condition.

The photo on the left shows a General Electric monitoring DGA (Level 1) fitted to a transformer. It is connected via a dedicated valve.

As this device has no moving parts, it requires little maintenance.

Finally, it is of course still necessary to take oil samples regularly for laboratory analysis.

We will return to this last point in the section on transformer maintenance.



	Das DGA verfügt zudem über die Möglichkeit, Daten über eine Eingangskarte zu erfassen. Wie in der Abbildung rechts dargestellt, können so Informationen wie die Umgebungstemperatur, der Laststrom des Transformators sowie die Öltemperatur im oberen und unteren Bereich des Tanks erfasst werden. Diese Informationen können dann mit den Gasmesswerten kombiniert werden, um eine genauere Analyse des Zustands des Transformators zu ermöglichen. Auf dem Foto links ist ein DGA-Überwachungsgerät (Stufe 1) der Marke General Electric zu sehen, das an einem Transformator installiert ist. Es ist über ein spezielles Ventil angeschlossen. Da dieses Gerät keine beweglichen Teile enthält, ist der Wartungsaufwand gering. Schließlich ist es natürlich weiterhin notwendig, regelmäßig eine Ölprobe für eine Laboranalyse zu entnehmen. Auf diesen letzten Punkt werden wir im Abschnitt über die Wartung von Transformatoren noch einmal zurückkommen.
Slide 07	Je vous propose ici un tableau avec mes préconisations en termes de DGA, selon le type de transformateur. Pour de la petite distribution HTA/BT, je pense qu'on peut se passer de DGA. Dans le cas de transformateurs huile pour la distribution HTA, un DGA de niveau 1 est suffisant. Dans le cas de postes industriels importants, un DGA de niveau 1 voire de niveau 2 est préconisé. Dans le cas de réseaux d'interconnexion HTA/HTB, je préconise l'utilisation d'un DGA de niveau 2. Dans le cas de centrales de production de moyenne puissance, je mettrai un DGA de niveau 2 et pour des centrales de fortes puissances, je mettrai un DGA de niveau 3. Enfin pour les transformateurs de puissance supérieure à 100MVA et les transformateurs stratégiques, je préconise un DGA de niveau 3. Here is a table setting out my recommendations regarding DGA, depending on the type of transformer. For small-scale MV-LV distribution, I believe a DGA is not necessary. In the case of oil-filled transformers for MV distribution, a level 1 DGA is sufficient. In the case of large industrial substations, a level 1 or even level 2 DGA is recommended. In the case of high-voltage or extra-high-voltage interconnection networks, I recommend the use of a level 2 DGA. For medium-capacity power stations, I would use a level 2 DGA, and for high-capacity power stations, I would use a level 3 DGA. Finally, for transformers with a capacity exceeding 100 MVA and strategic transformers, I recommend a level 3 DGA. Hier stelle ich Ihnen eine Tabelle mit meinen Empfehlungen zur DGA vor, je nach Transformatorentyp. Für kleine Mittelspannungs-/Niederspannungs-Verteilungsnetze kann, meiner Meinung nach, tempo auf eine DGA verzichtet werden. Bei Öltransformatoren für die Mittelspannungsverteilung ist eine DGA der Stufe 1 ausreichend. Bei großen Industrieanlagen wird ein DGA der Stufe 1 oder sogar der Stufe 2 empfohlen. Bei Hochspannungs-/Höchstspannungs-Verbundnetzen empfehle ich den Einsatz eines DGA der Stufe 2. Bei Kraftwerken mittlerer Leistung würde ich eine DGA der Stufe 2 einsetzen, bei Kraftwerken hoher Leistung eine DGA der Stufe 3. Schließlich empfehle ich für Transformatoren mit einer Leistung von mehr als 100 MVA und für strategisch wichtige Transformatoren eine DGA der Stufe 3.
Slide 08	Parlons de la compatibilité des huiles avec les DGA. A l'origine, les DGA ont été conçus pour fonctionner avec les huiles minérales. C'est le fluide de référence qui a été utilisé lors du développement des algorithmes DGA.



De plus en plus, les fabricants indiquent que leurs DGA fonctionnent également pour les esters.

En revanche, il faut garder à l'esprit que :

- La solubilité des gaz est différente dans les esters ;
- La production de gaz lors d'un défaut n'est pas exactement la même ;
- Certains seuils d'alarme doivent être adaptés.

Autrement dit, l'appareil mesure correctement, mais l'interprétation des résultats n'est pas toujours identique à celle d'une huile minérale.

Par exemple, un taux de CO ou de CO₂ considéré comme normal dans un ester peut paraître élevé si on applique directement les critères des huiles minérales.

Il est donc conseillé de se rapprocher du fabricant de DGA lorsque l'utilisation d'esters est envisagée car les limites d'alarmes sont susceptibles d'être adaptées.

Enfin, les huiles silicone présentent :

- Une solubilité des gaz très différente ;
- Des mécanismes de vieillissement spécifiques ;
- Peu de données normalisées pour les diagnostics DGA.

Les fabricants ne garantissent généralement pas que tous les algorithmes de diagnostic soient valables pour ces fluides. Là encore, il faut se rapprocher du fabricant avant d'acheter un DGA dans le cas d'une huile silicone.

Let's talk about the compatibility of oils with DGAs.

Originally, DGAs were designed to work with mineral oils.

This was the reference fluid used during the development of the DGA algorithms.

Increasingly, manufacturers are stating that their DGAs also work with esters.

However, it is important to bear in mind that:

- Gas solubility differs in esters;
- Gas production during a fault is not exactly the same;
- Certain alarm thresholds need to be adjusted.

In other words, the device measures correctly, but the interpretation of the results is not always the same as for mineral oil.

For example, a CO or CO₂ level considered normal in an ester may appear high if the criteria for mineral oils are applied directly.

It is therefore advisable to consult the DGA manufacturer when considering the use of esters, as the alarm limits may need to be adjusted.

Finally, silicone oils exhibit:

- Very different gas solubility;
- Specific ageing mechanisms;
- Limited standardised data for DGA diagnostics.

Manufacturers generally do not guarantee that all diagnostic algorithms are valid for these fluids. Here too, it is necessary to consult the manufacturer before purchasing a DGA analyser if silicone oil is to be used.

Sprechen wir über die Kompatibilität von Ölen mit DGA-Geräten.

Ursprünglich wurden DGA-Geräte für den Einsatz mit Mineralölen konzipiert.

Dies ist die Referenzflüssigkeit, die bei der Entwicklung der DGA-Algorithmen verwendet wurde.

Immer häufiger geben Hersteller an, dass ihre DGA-Geräte auch mit Estern funktionieren.

Allerdings ist Folgendes zu beachten:

- Die Löslichkeit der Gase ist in Estern unterschiedlich;
- Die Gasentwicklung bei einem Defekt ist nicht genau dieselbe;
- Bestimmte Alarmschwellen müssen angepasst werden.



Mit anderen Worten: Das Gerät misst zwar korrekt, aber die Interpretation der Ergebnisse entspricht nicht immer der bei Mineralöl.
Beispielsweise kann ein CO- oder CO₂-Gehalt, der in einem Ester als normal gilt, hoch erscheinen, wenn die Kriterien für Mineralöle direkt angewendet werden.

Es wird daher empfohlen, sich an den Hersteller des DGA-Geräts zu wenden, wenn der Einsatz von Estern in Betracht gezogen wird, da die Alarmgrenzwerte möglicherweise angepasst werden müssen.

Schließlich weisen Silikonöle folgende Eigenschaften auf:

- Eine stark abweichende Gaslöslichkeit;
- Spezifische Alterungsmechanismen;
- Wenige standardisierte Daten für die DGA-Diagnostik.

Die Hersteller garantieren in der Regel nicht, dass alle Diagnosealgorithmen für diese Flüssigkeiten gültig sind. Auch hier sollte man sich vor dem Kauf eines DGA-Geräts im Falle eines Silikonöls an den Hersteller wenden.

Slide 09

Quels sont les essais à réaliser sur le DGA lors d'une réception en usine (FAT) ?
Je vous ai fait un tableau récapitulatif.

Lors d'une FAT, les contrôles ou essais suivants sont à réaliser :

- Le contrôle visuel,
- La vérification mécanique,
- La vérification des raccords d'huile,
- Le contrôle d'étanchéité,
- La vérification de l'alimentation électrique,
- La vérification de la communication,
- La vérification des entrées/sorties,
- La simulation des alarmes.

Et, si on a à faire à un DGA de niveau 2 ou de niveau 3, il faut :

- Vérifier l'analyse de gaz,
- Vérifier les diagnostics.

What tests need to be carried out on the DGA during a factory acceptance test (FAT)?
I have drawn up a summary table for you.

During a FAT, the following checks or tests must be carried out:

- Visual inspection,
- Mechanical check,
- Check of oil connections,
- Leak test,
- Check of the power supply,
- Check of communications,
- Check of IT inputs/outputs,
- Alarm simulation.

And, if dealing with a level 2 or level 3 DGA, the following must be carried out:

- Check the gas analysis,
- Check the diagnostics.

Welche Prüfungen sind bei einer Werksabnahme (FAT) am DGA durchzuführen?
Ich habe Ihnen eine Übersichtstabelle erstellt.

Bei einer FAT sind folgende Kontrollen oder Prüfungen durchzuführen:

- Sichtprüfung,
- Mechanische Überprüfung,
- Überprüfung der Ölanschlüsse,
- Dichtheitsprüfung,
- Überprüfung der Stromversorgung,



	- Überprüfung der Kommunikation, - Überprüfung der IT-Ein- und Ausgänge, - Simulation der Alarme. Und wenn es sich um ein DGA der Stufe 2 oder 3 handelt, muss Folgendes durchgeführt werden: - Überprüfung der Gasanalyse, - Überprüfung der Diagnosen.
Slide 10	Quels sont les essais à réaliser sur le DGA avant la mise en service sur site d'un transformateur (SAT) ? Là aussi, je vous ai fait un tableau récapitulatif. Lors d'une SAT, les contrôles ou essais suivants sont à réaliser : - La vérification du montage, - Le contrôle des vannes, - La vérification des fuites, - La mise sous tension, - Le test de la communication, - La vérification de la mesure d'humidité, - Le contrôle des mesures du DGA, - La vérification des alarmes, Enfin, quel que soit le modèle de DGA utilisé, il est recommandé de valider les résultats obtenus par le DGA en les comparant avec une analyse de gaz en laboratoire. Globalement, si on peut envisager d'installer soi-même un DGA de niveau 1, je préconise de solliciter le fournisseur pour un DGA de niveau 2 ou 3. What tests need to be carried out on the DGA before a transformer is commissioned on site (SAT)? Here too, I have drawn up a summary table for you. During a SAT, the following checks or tests must be carried out: - Verification of the installation, - Checking the valves, - Checking for leaks, - Power-up, - Communication test, - Verification of the moisture measurement, - Checking the DGA measurements, - Checking the alarms, Finally, regardless of the model of DGA used, it is recommended that the results obtained by the DGA be validated by comparing them with a laboratory gas analysis. Overall, whilst it is possible to consider installing a level 1 DGA yourself, I recommend contacting the supplier for a level 2 or 3 DGA. Welche Prüfungen müssen vor der Inbetriebnahme eines Transformators vor Ort am DGA durchgeführt werden (SAT)? Auch hierzu habe ich Ihnen eine Übersichtstabelle erstellt. Bei einem SAT sind folgende Kontrollen oder Prüfungen durchzuführen: - Überprüfung der Montage, - Kontrolle der Absperrventile, - Dichtheitsprüfung, - Einschalten der Spannung, - Kommunikationstest, - Überprüfung der Feuchtigkeitsmessung, - Kontrolle der DGA-Messwerte, - Überprüfung der Alarme,



Unabhängig vom verwendeten DGA-Modell wird empfohlen, die vom DGA ermittelten Ergebnisse durch einen Vergleich mit einer Labor-Gasanalyse zu validieren.

Insgesamt lässt sich sagen: Während die Installation eines DGA der Stufe 1 durchaus selbst durchgeführt werden kann, empfehle ich, für ein DGA der Stufen 2 oder 3 den Lieferanten hinzuzuziehen.