

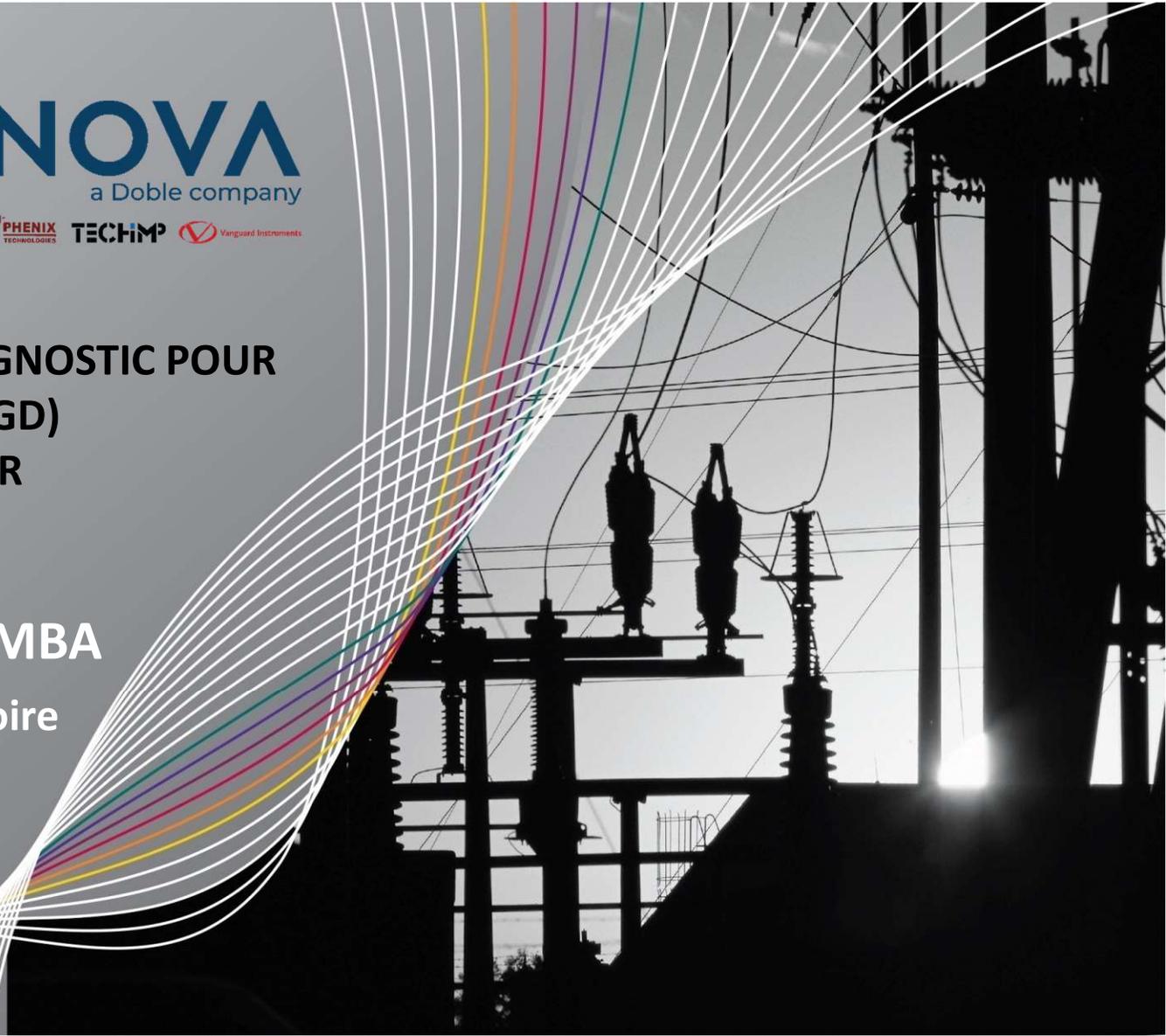


ALTANOVA
a Doble company



**LES DIFFÉRENTS OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR
L'ANALYSE DES GAZ DISSOUS (AGD)
QUAND/COMMENT LES UTILISER
EFFICACEMENT**

Dr Denis Lafrance, PhD, EMBA
Directeur – Services de laboratoire
Morgan Schaffer

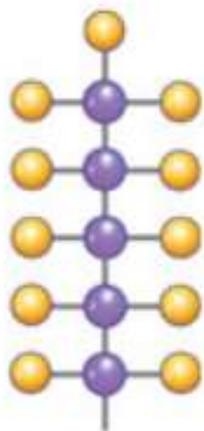


POURQUOI ANALYSER LES GAZ DANS L'HUILE?

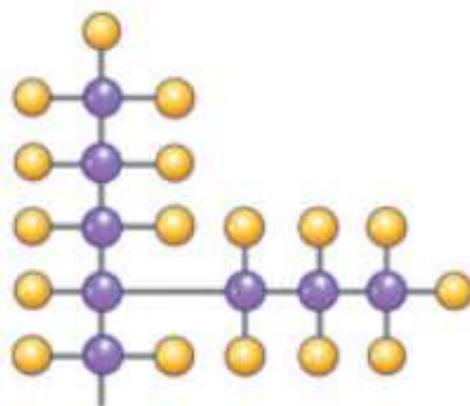
- Plus important diagnostic de l'industrie
- Excellent indicateurs d'une défaillance naissante
- Détecte un grand éventail de défaillances
- Sensible aux premiers stades de développement des défaillances
- Fournit des informations sur les matériaux impliqués dans la défaillance
- Fournit une indication de la gravité et du besoin de mesures correctives
- Complexe – pas facilement simplifiable pour analyse de cas



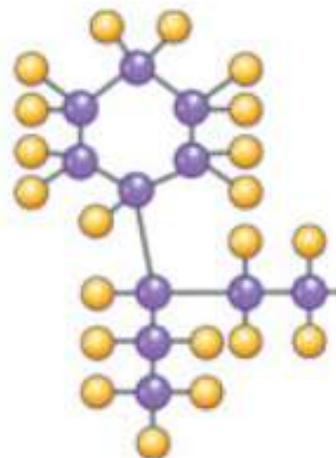
HUILE MINÉRALE



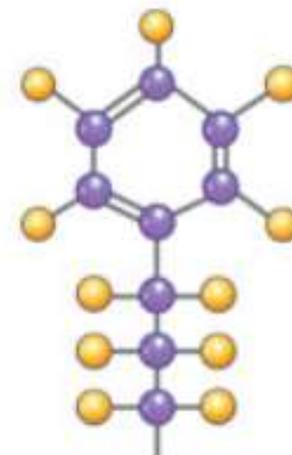
Paraffin



**Branched
Paraffin**



Naphthene



Aromatic

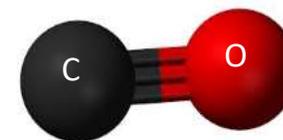
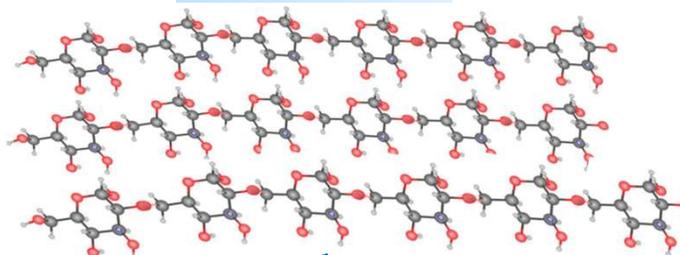
FORMATION DE GAZ À PARTIR DE L'HUILE MINÉRALE

| Température °C | Gaz Formé | Symbole | Energie Requise kJ/mole |
|---|-----------|-------------------------------|-------------------------|
| ~120  >700 | Hydrogène | H ₂ | 338 |
| | Méthane | CH ₄ | 338 |
| | Ethane | C ₂ H ₆ | 607 |
| | Ethylène | C ₂ H ₄ | 720 |
| | Acétylène | C ₂ H ₂ | 960 |

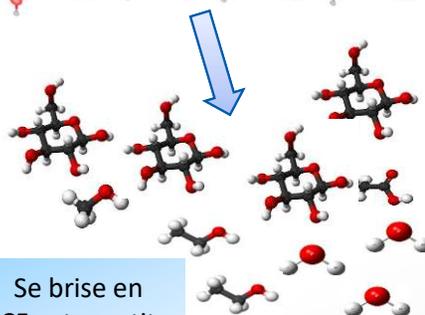
GAZ GÉNÉRÉS PAR LA DÉCOMPOSITION DU PAPIER



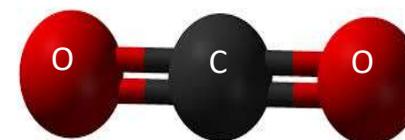
Cellulose - glucose



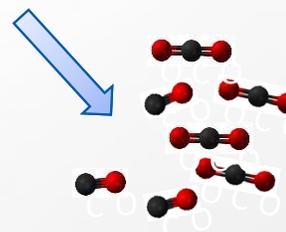
Monoxyde de carbone



Se brise en C5s et + petit



Dioxyde de carbone

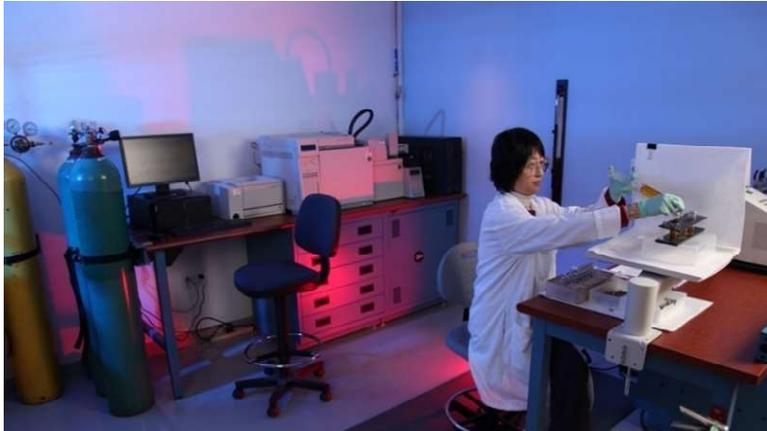


Se brise en oxydes de carbone

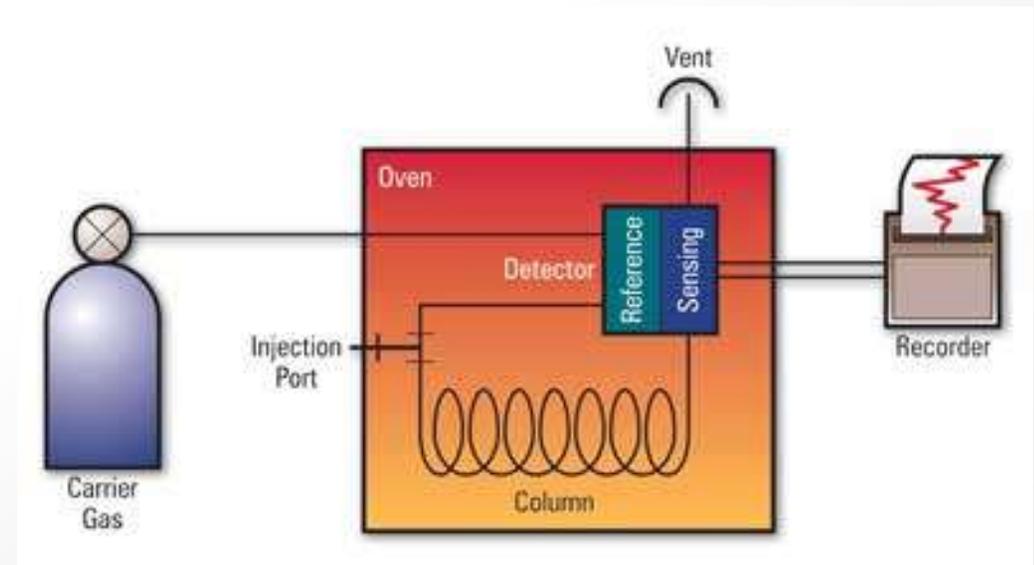
GAZ COMBUSTIBLES ET NON-COMBUSTIBLES

| Gaz Combustible | Symbole | TGC | Gaz Non-Combustible | Symbole |
|---------------------|-------------------------------|--|---------------------|-----------------|
| Hydrogène | H ₂ | TGC/TGCD = total gaz combustibles TGC = H ₂ + CH ₄ + CO + C ₂ H ₆ + C ₂ H ₄ + C ₂ H ₂ en ppm (partie par million) | Dioxyde de carbone | CO ₂ |
| Méthane | CH ₄ | | Oxygène | O ₂ |
| Monoxyde de carbone | CO | | Azote | N ₂ |
| Ethane | C ₂ H ₆ | | | |
| Ethylène | C ₂ H ₄ | | | |
| Acétylène | C ₂ H ₂ | | | |

ANALYSE DES GAZ DISSOUTS – PRINCIPES ET PRATIQUE

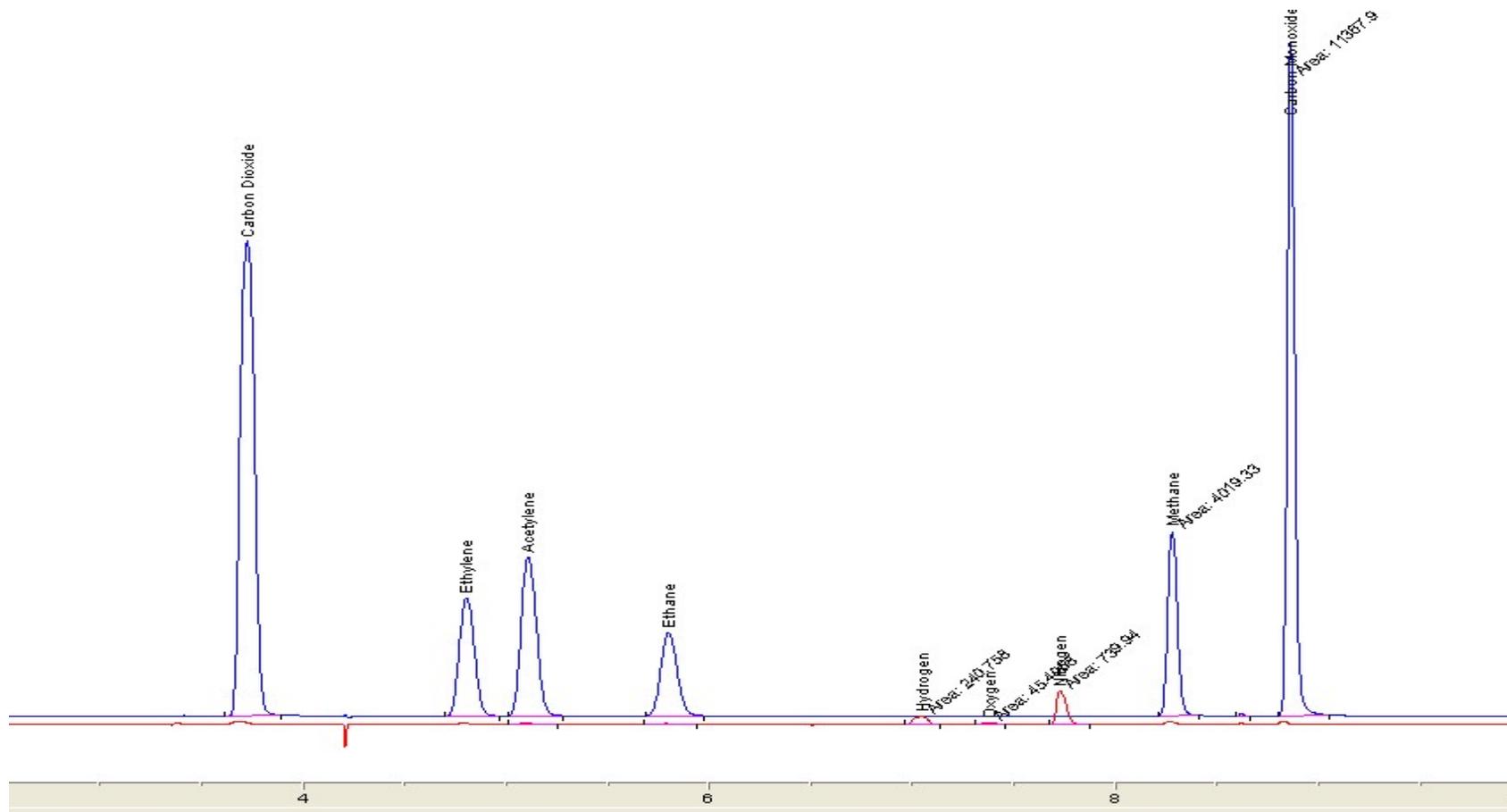


- ASTM D3612 A, B, ou C
- CEI 60567
- Chromatographie gazeuse (GC)





CHROMATOGRAMME GAZEUX STANDARD



LIMITES DE DÉTECTION (LD)

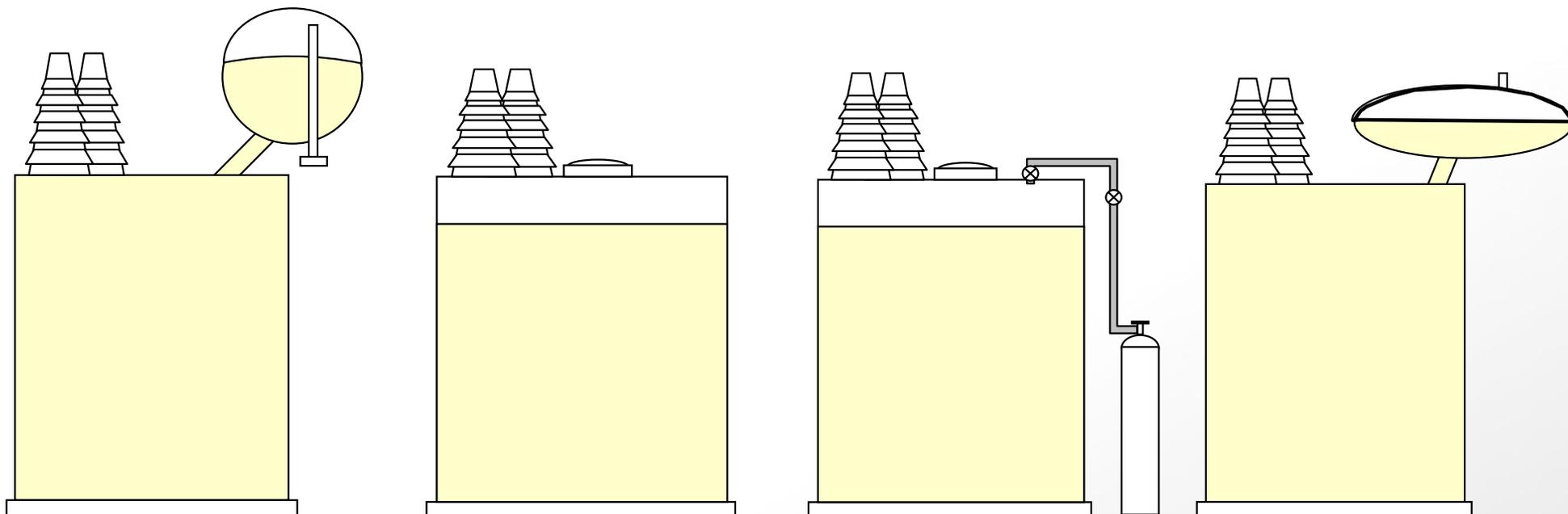
| Gaz | ASTM D3612 Méthode A MDL (ppm) | ASTM D3612 Méthode B MDL (ppm) | ASTM D3612 Méthode C MDL (ppm) | CEI 60567 MDL (ppm) |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Hydrogène | 5 | 20 | 0.6 | 2 |
| Monoxyde de carbone | 25 | 2 | 0.6 | 10 |
| Hydrocarbures | 1 | 1 | 0.04 – 0.06 | 0.2 - 1 |

ASTM D 3612

Méthode A – Extraction sous vide/GC Analysis

Méthode B – Entraînement sur colonne/GC Analysis

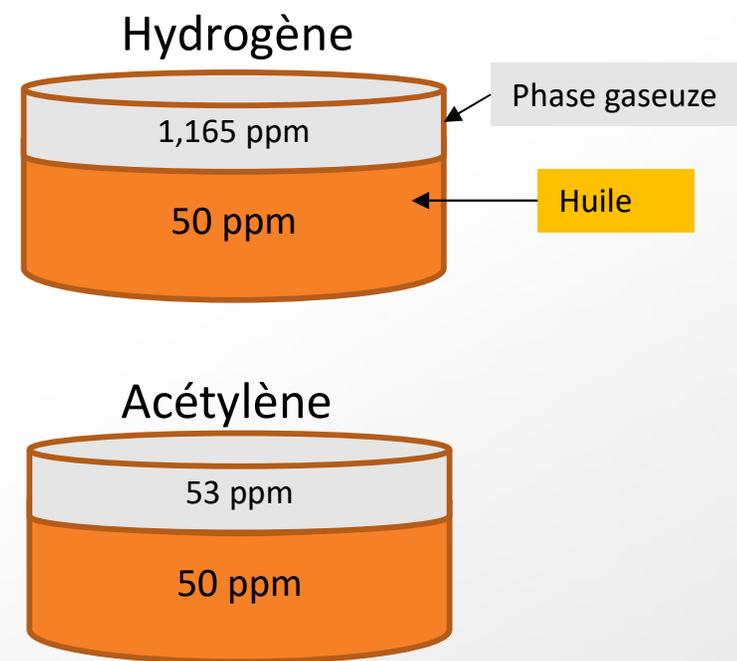
Méthode C – Espace de tête (Headspace)/GC Analysis



Effet sur la distribution des gaz

COEFFICIENTS DE PARTAGE

| Gaz | Coefficient d'Ostwald |
|---------------------|-----------------------|
| Oxygène | 0.138 |
| Azote | 0.0745 |
| Dioxyde de carbone | 0.900 |
| Monoxyde de carbone | 0.102 |
| Hydrogène | 0.0429 |
| Méthane | 0.337 |
| Ethane | 1.99 |
| Ethylène | 1.35 |
| Acétylène | 0.938 |





HOMOGENÉITÉ DES GAZ DANS L'HUILE



- Vitesse de création des gaz
- Accès à la région où survient la défaillance (circulation d'huile)
- Vitesse de mélange mécanique est le facteur le plus important
- Présence d'un gaz pour inerter est un facteur influençant
- Diffusion – Extrêmement lent



INTERPRÉTATION DES GAZ COMBUSTIBLES ET OXYDES DE CARBONE

- Taux – Quelle est la vitesse normal de formation des gaz
- Total Gaz Combustibles (TGC) – Lignes directrices
- Gaz principaux - Identification du type de défaillance
- Ratios -Identification du type de défaillance
- Tendence – Qu’y a-t-il de nouveau
- Profil – Comportement typique pour la formation de gaz chez certaines familles de transformateurs
- Isolation solide - le papier ou d'autres matériaux cellulosiques sont-ils impliqués?
- Gaz parasite – Est-ce que l'huile est sensible à la surchauffe?
- Triangle de Duval, Pentagone de Duval



INTERPRÉTER LES DONNÉES DES GAZ DISSOUTS

- Information de l'équipement incluant son âge
- Données historiques pour découvrir les tendances
- Le total des gaz combustibles a-t-il augmenté soudainement?
- L'unité est-elle fortement chargée ou surchargée?
- Est-ce qu'une traversée (bushing) ou le transformateur a récemment été en défaillance?
- Si l'unité a été réparée, l'huile a-t-elle été filtrée ou dégazée?



LIMITES D'ACCEPTABILITÉ DES GAZ DISSOUTS (DIFFÉRENTES SOURCES)

| Spécifications | H ₂ | CO | Méthane | Ethane | Ethylène | Acétylène | CO ₂ | TGC |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| IEEE C57.104 (2008) | 100 101-700 701-1800 >1800 | 350 351-570 571-1400 >1400 | 120 121-400 401-1000 >1000 | 65 66-100 101-150 >150 | 50 51-100 101-200 >200 | 1 2-9 10-35 >35 | 2500 2500-4000 4001-10000 >10,000 | 720 721-1920 1921-4630 >4630 |
| IEC 60599 (plages) | 50-150 | 400-600 | 30-130 | 20-90 | 60-280 | 2-20 (Sans OLTC) 60-280 (OLTC communiquant) | 3800-14,000 | |



LIMITES D'ACCEPTABILITÉ DES GAZ DISSOUTS (DIFFÉRENTES SOURCES)

| Spécifications | H ₂ | CO | Méthane | Ethane | Ethylène | Acétylène | CO ₂ | TCG |
|---|----------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|--|-------------------------|-----|
| IEEE C57.104+ O ₂ /N ₂ ≤ 0.2 O ₂ /N ₂ > 0.2 (2019) | 200 90 | 1100 600 | 100-200 30-60 | 70-250 30-40 | 40-175 80-125 | 2-4 7 | 7000-14000 7000-8000 | |
| IEC 60599 (plages) | 50-150 | 400-600 | 30-130 | 20-90 | 60-280 | 2-20 (Sans OLTC) 60-280 (OLTC communiquant) | 3800-14,000 | |

Valeurs basées sur des normes statistiques ou des valeurs consensuelles

+IEEE 2019 – Plages 95e couvrent des transformateurs d'âges différents



IEEE C57.104 2019

- Tous les gaz < norme de 90% - fréquence d'échantillonnage normale
- Tous les gaz inférieurs aux normes et taux de 95% - fréquence d'échantillonnage normale
- Tout gaz supérieur aux normes ou taux normaux de 95% lorsque plus de 2 points d'échantillonnage - augmenter la fréquence d'échantillonnage, action supplémentaire nécessaire



LIMITES DU TOTAL DES GAZ COMBUSTIBLES (TGC)

| Concentration (ppm) | Notes |
|---------------------|---|
| 0-500 | Faible niveau de formation de gaz |
| 501-1500 | Niveau de décomposition moyenne. Établir une tendance |
| 1501-2500 | Haut niveau de décomposition. Établir une tendance |
| >2500 | Très haut niveau de décomposition – Identifier la cause |

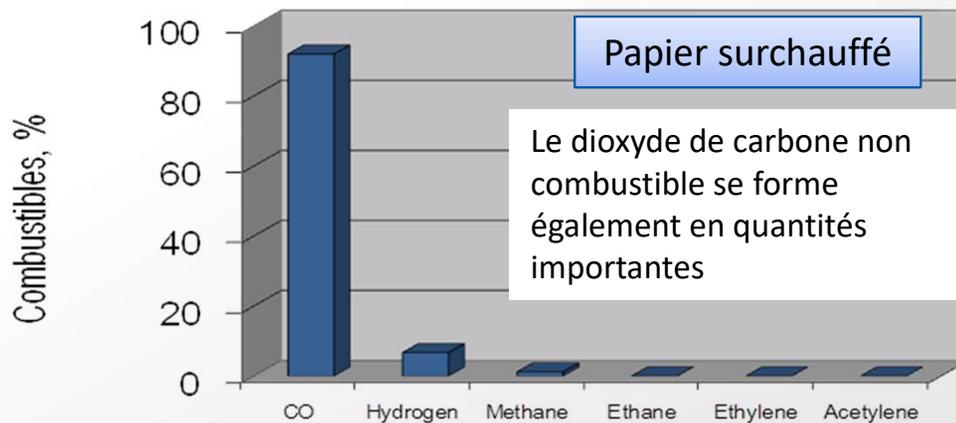
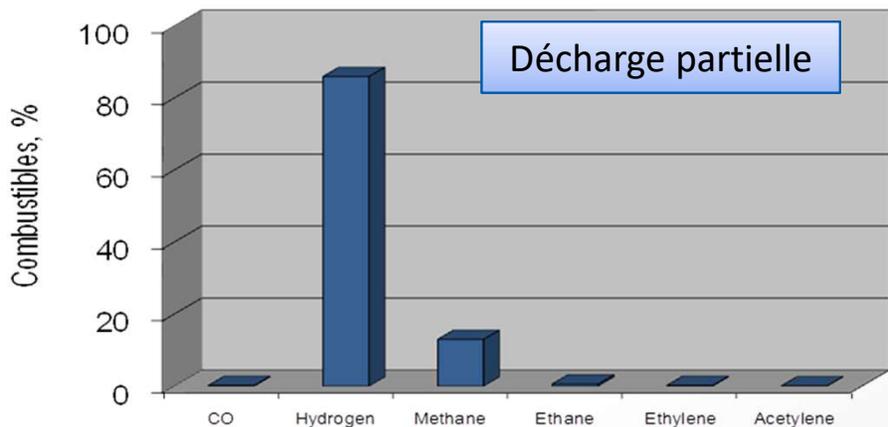
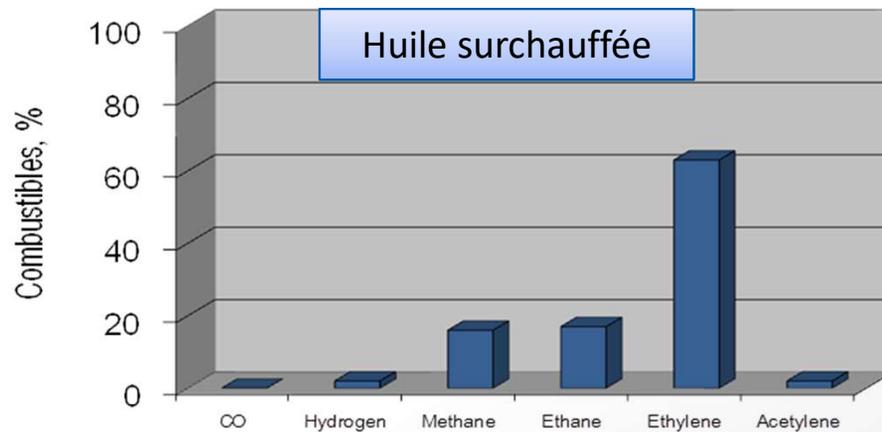
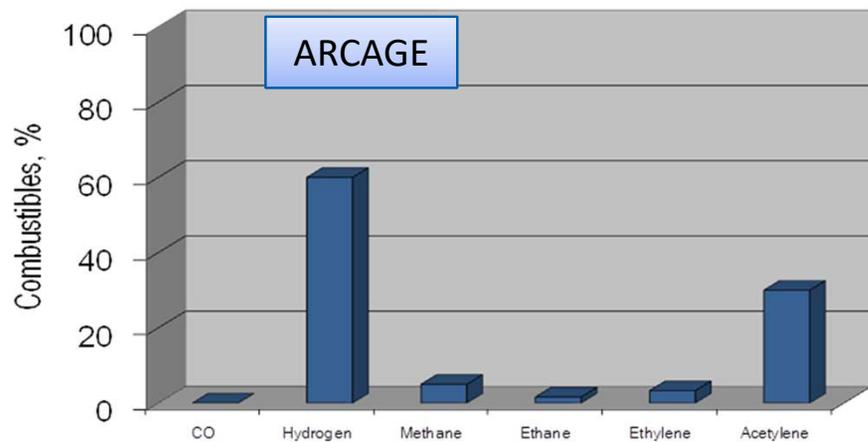
Ne s'applique pas aux conditions d'arc



LES OUTILS



GAZ PRINCIPAUX



GAZ PRINCIPAUX

| Défaillance | Gaz principaux |
|------------------------------|--------------------------------|
| Arcage | Acétylène, hydrogène |
| Huile surchauffée | Ethane, méthane, éthylène |
| Point chaud localisé d'huile | Huile surchauffée + acétylène |
| Décharge partielle | Hydrogène |
| Surchauffe du papier | Monoxyde et dioxyde de carbone |



MÉTHODES DES RATIOS



- **Avantages**
 - quantitatif
 - indépendant du volume d'huile
 - Peut être programmé
- **Désavantages**
 - Ne permet pas toujours d'arriver à une conclusion
 - Pas toujours exact
 - Dépendence du système de préservation
- **Isolation solide gérée séparément**

RATIO ROGERS – DIAGNOSTIC DE DÉFAILLANCE

| Code | <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance |
|------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 0 | <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| 1 | <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP – Faible énergie |
| 2 | 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arcage |
| 3 | <0.1 | <0.1, <1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique – Basse T |
| 4 | <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique – <700°C |
| 5 | <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique – >700°C |

Utiliser lorsque les niveaux normaux sont dépassés

RATIO CEI 60599 – DIAGNOSTIC DE DÉFAILLANCE

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | DP |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – Faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – Haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1 – <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | 300°C < T2 <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique – >700°C |

NS = non significatif peu importe la valeur

| ARCAGE et haute température | | Pourcentage | Condition |
|-------------------------------------|--------|-------------|---------------------------|
| <u>acétylène</u> <u>éthylène</u> | X 100% | <10% | Point chaud > 700°C |
| | | 10 to 20% | Surchauffe sévère Arcage |
| | | >20% | Arcage |

| Décharge partielle/Surchauffe | | Pourcentage | Condition |
|-------------------------------|--------|-------------|----------------------------|
| <u>hydrogène</u> TGC | X 100% | <30% | Surchauffe ou Gaz parasite |
| | | >30% | Décharge partielle |

| Surchauffe | Ratio | Condition |
|----------------------------------|-------|--|
| <u>éthylène</u> <u>éthane</u> | >4:1 | Métal dénudé est chauffé |
| | <4:1 | conducteur entouré de papier est chauffé |



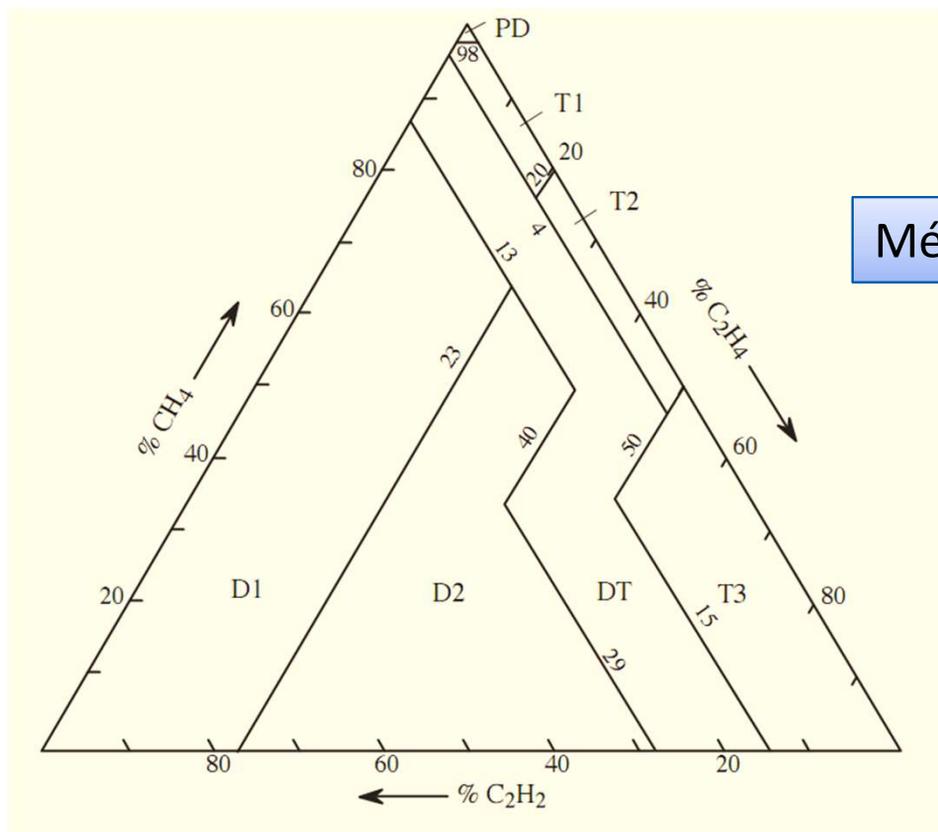
RATIOS IMPORTANTS ET POURCENTAGE

| Décomposition du papier | Ratio | Condition |
|--|-----------|--------------------------------|
| $\frac{\text{Dioxyde de } \textit{carbone}}{\text{Monoxyde de } \textit{carbone}}$ | <3:1 | Surchauffe à haute température |
| | 3 to 10:1 | Normal |
| | >10:1 | Surchauffe général du bobinage |

- Isolation cellulosique
- Forme “Shell” > CO₂ que forme “Core”
- CO₂ accidentel
- Ratio approche de 1 – défaillance température élevée
- CO₂ élevé et CO bas – manque de refroidissement/surchauffe Générale
- Tendance du ratio CO₂ / CO à la baisse indication de la surchauffe du papier



TRIANGLE DE DUVAL POUR TRANSFORMATEURS AVEC HUILE MINÉRALE

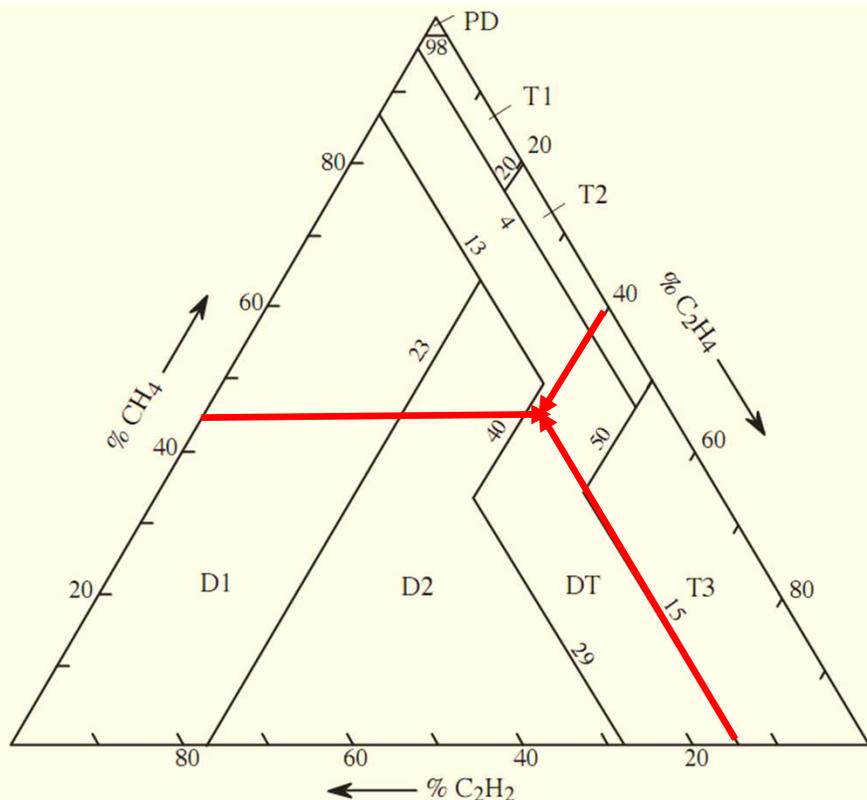


Méthane CH_4 ; Ethylène C_2H_4 ; Acétylène C_2H_2

PD = Décharge partielle en couronne
 D1 = Décharges de faible énergie
 D2 = Décharges de haute énergie
 T1 = Défaillance thermique, $T < 300^\circ C$
 T2 = Défaillance thermique, $300^\circ C < T < 700^\circ C$
 T3 = Défaillance thermique, $T > 700^\circ C$
 DT = Mélange de défaillances électrique et thermique

Fourni par Michel Duval - IREQ

TRIANGLE DE DUVAL – UTILISATION DES COORDONNÉES



Le papier et le logiciel pour calculer les coordonnées triangulaires sont disponible gratuitement à duvalm@ireq.ca

Exemple:
 CH_4 (méthane)
 C_2H_4 (éthylène)
 C_2H_2 (acétylène)

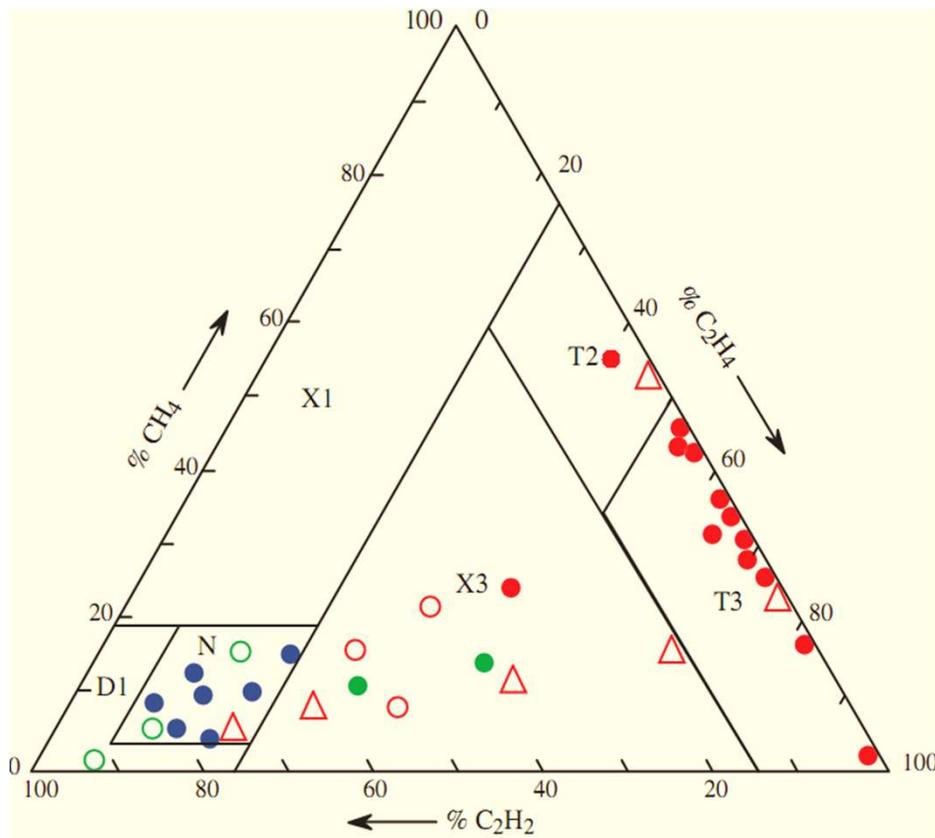
| Gas | ppm | % |
|------------------------|-----|------|
| CH_4 | 261 | 45.0 |
| C_2H_4 | 232 | 40.0 |
| C_2H_2 | 42 | 15.0 |
| Total | 580 | 100 |

Correspond à un seul point du triangle

APPLICATION DU TRIANGLE

| Application du triangle | Gaz |
|--|---|
| Triangle 1 Transformateur avec huile minérale | $\text{CH}_4 - \text{C}_2\text{H}_4 - \text{C}_2\text{H}_2$ |
| Triangle 2 LTCs avec contacts dans l'huile | $\text{CH}_4 - \text{C}_2\text{H}_4 - \text{C}_2\text{H}_2$ |
| Triangle 3 Huiles non minérales | $\text{CH}_4 - \text{C}_2\text{H}_4 - \text{C}_2\text{H}_2$ |
| Triangle 4 Défaillances basses températures – Huile minérale | $\text{H}_2 - \text{CH}_4 - \text{C}_2\text{H}_6$ |
| Triangle 5 Défaillances basses températures – Huile minérale | $\text{CH}_4 - \text{C}_2\text{H}_4 - \text{C}_2\text{H}_6$ |
| Triangle 6 Gaz parasite – Huiles non minérales | $\text{H}_2 - \text{CH}_4 - \text{C}_2\text{H}_6$ |

LE TRIANGLE DE DUVAL POUR LES CHANGEUR DE PRISES (LTCS)



Méthane CH₄; Ethylène C₂H₄; Acétylène C₂H₂

N = Opération normale
 T3 = Défaillance thermique T > 700°C
 T2 = Défaillance thermique 300°C < T < 700°C
 X3 = Défaillance T3/T2 en développement
 X3 = Arcage anormal D2
 D1 = Arcage anormal D1

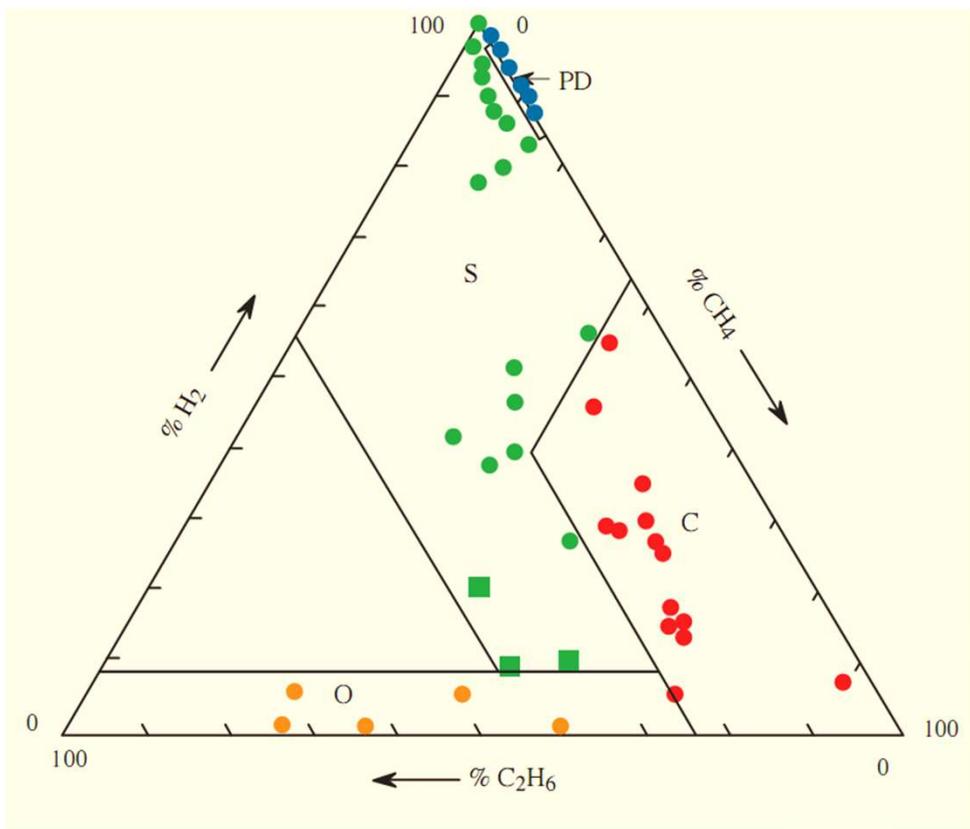
●:Opération normale
 ●:Forte cokéfaction
 ○:Cokéfaction légère
 △:Surchauffe
 ●:Fort arcage D2
 ○:Arcage D1

TRIANGLE DE DUVAL DÉFAILLANCES BASSES TEMPÉRATURES

Hydrogène H_2 ; Méthane CH_4 ; Ethane C_2H_6

DP = Décharges partielles (Corona)
 S = Gaz parasite
 O = Surchauffe, $T < 250^\circ C$
 C = Carbonisation du papier $T > 300^\circ C$

●: Décharges partielles en couronne
 ●: Gaz parasite à $120^\circ C$
 ■: Gaz parasite à $200^\circ C$
 ●: Points chauds avec carbonisation du papier
 ●: Surchauffe ($T < 250^\circ C$)

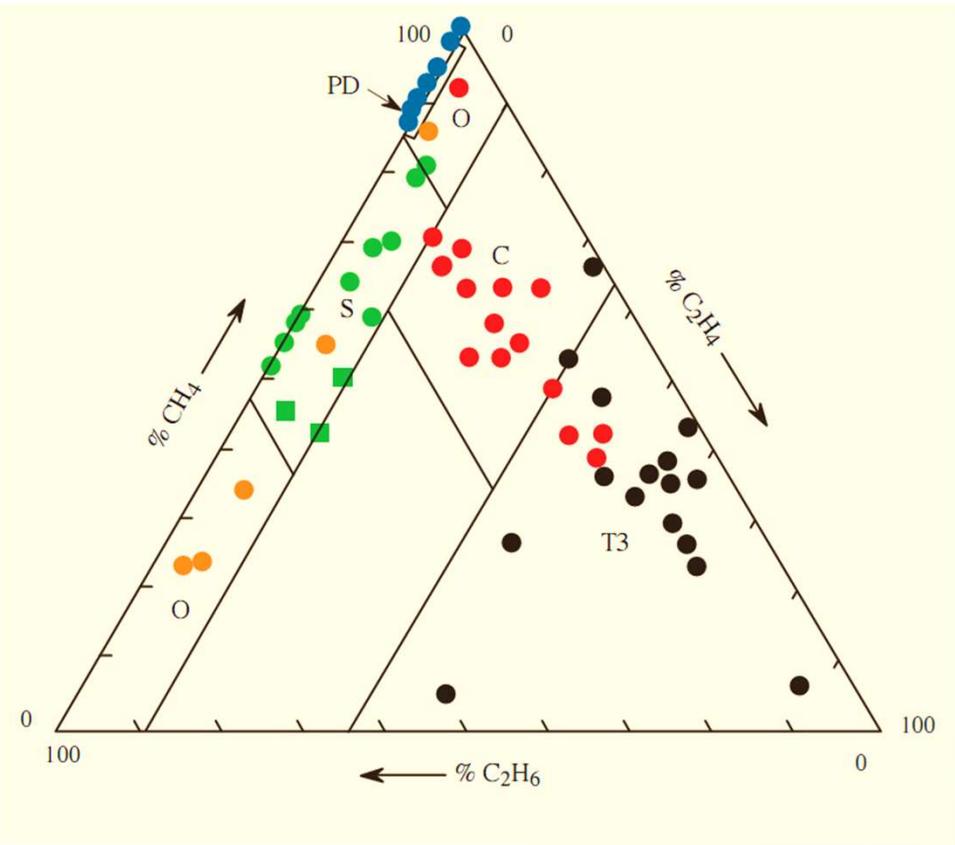


TRIANGLE DE DUVAL DÉFAILLANCES BASSES TEMPÉRATURES

Méthane CH₄, Ethane C₂H₆, Ethylène C₂H₄

DP = Décharges partielles (Corona)
 S = Gaz parasite
 O = Surchauffe, T < 250°C
 C = Carbonisation du papier T > 300°C
 T3 = Défaillance haute température T > 700°C

● : Décharges partielles en couronne
 ● : Gaz parasite à 120°C
 ■ : Gaz parasite à 200°C
 ● : Points chauds avec carbonisation du papier
 ● : Surchauffe (T < 250°C);
 ● : Défaillance T3 > 700°C



EXACTITUDE DES TRIANGLES DIAGNOSTIC DES TRANSFORMATEURS

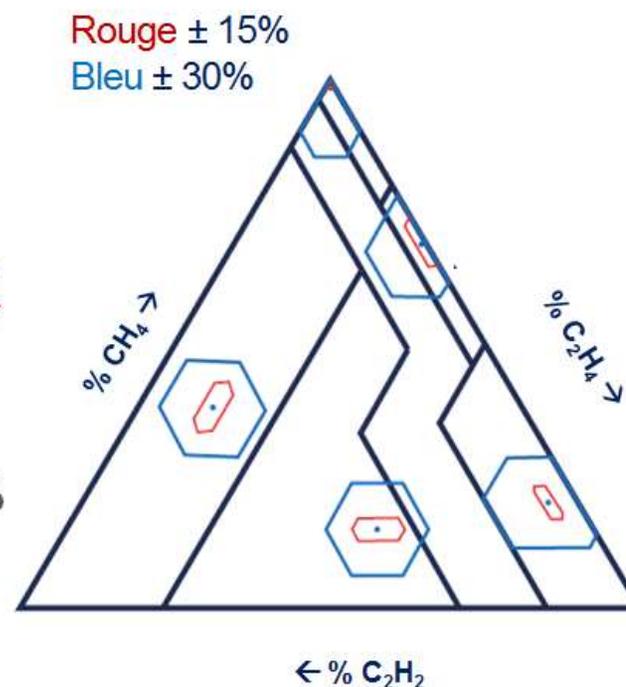
Lorsqu'une aire d'incertitude traverse plusieurs zone de défaillance, un diagnostic fiable n'est pas possible:

La sévérité de la défaillance n'est pas claire.

Particulièrement pour incertitudes > 30%

Ref:
M. Duval, IEEE EI Magazine, Août 2005

S'applique à toutes les méthodes de diagnostics





PENTAGONE DE DUVAL/LAMARRE

- Utilise les ratios de 5 gaz dans une pentagone pour les équipements rempli d'huile minérale
- Ne remplace pas les triangles de Duval 1, 4, et 5 pour l'huile minérale, mais les complémente et utile pour les défaillances mixtes
- Gaz inclus:
 - Hydrogène
 - Méthane
 - Ethane
 - Ethylène
 - Acétylène
- Additionner tous les gaz et déterminer le pourcentage de chacun

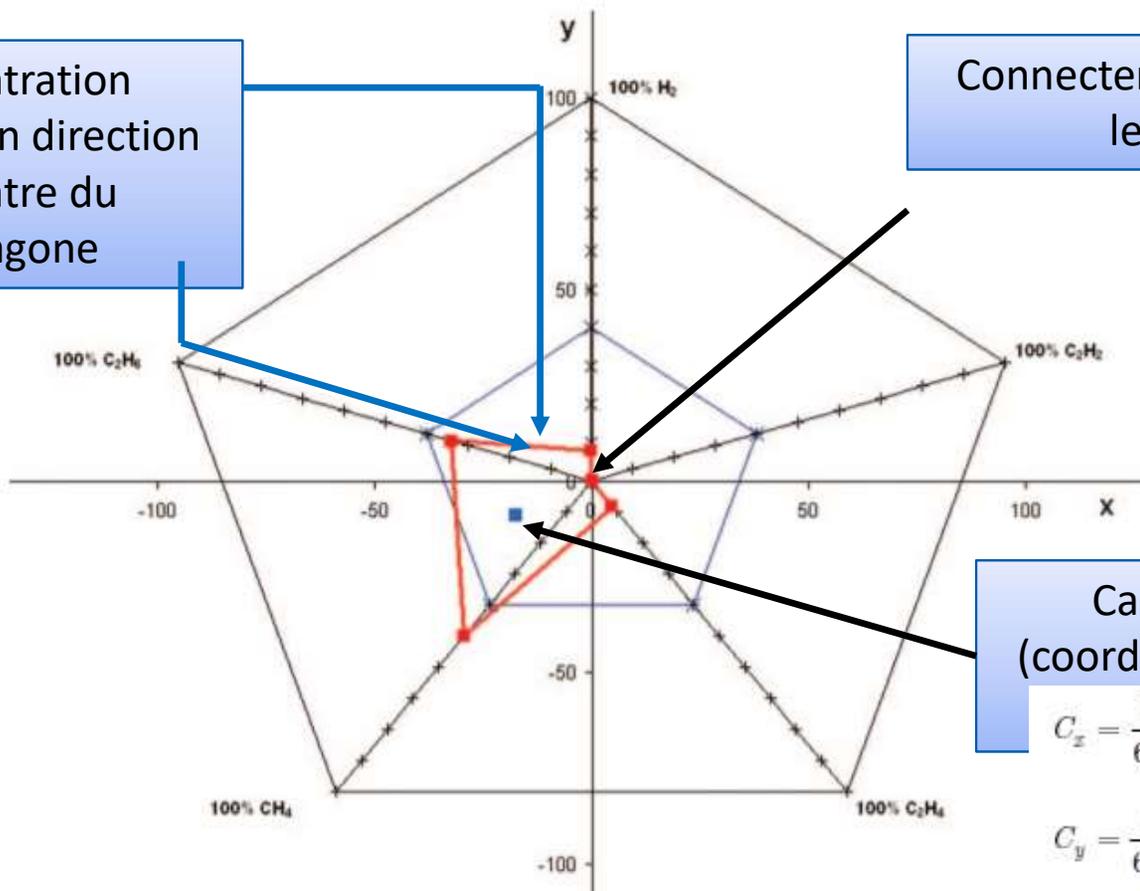
PENTAGONE DE DUVAL/LAMARRE

- Exemple:
 - $H_2 = 31$ ppm (8%)
 - $C_2H_6 = 130$ ppm (34%)
 - $CH_4 = 192$ ppm (50%)
 - $C_2H_4 = 31$ ppm (8%)
 - $C_2H_2 = 0$ ppm (0%)
- Chaque pourcentage est tracé sur l'axe correspondant au gaz, donnant cinq points représentés par les carrés rouges.
- Le centre (“centroïde”) est calculé mathématiquement

PENTAGONE DE DUVAL/LAMARRE

Concentration diminue en direction du centre du pentagone

Connecter les 5 points qui sont les % des 5 gaz



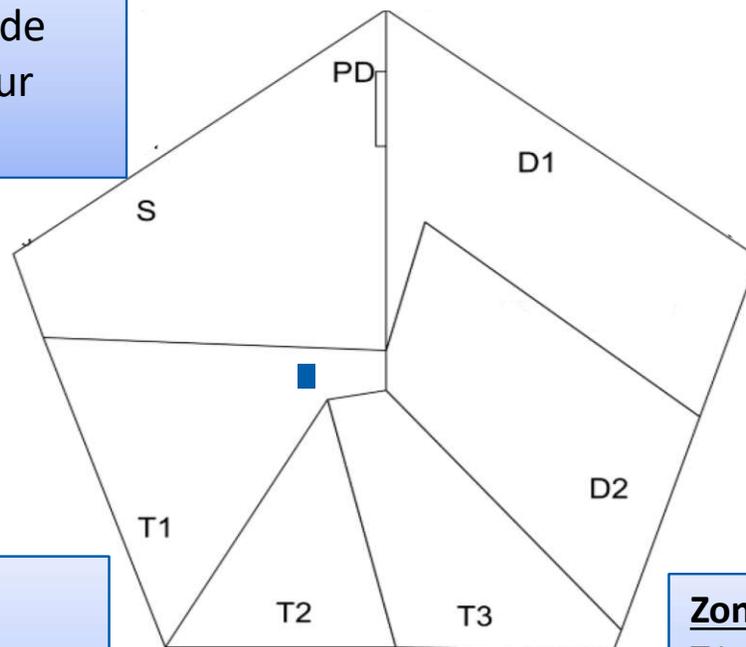
Calculer the localisation (coordonées x,y) du centroïde

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

PENTAGONE DE DUVAL/LAMARRE

Juxtaposer ou calculer
la (les) zone(s) de
défaillance pour
l'échantillon



Zones de défaillances:

PD = Décharge partielle

S = Gaz parasite

D1 = Décharges de faible énergie

D2= Décharges de haute énergie

Zones de défaillance:

T1 = Défaillance thermique <300°C

T2 = Défaillance thermique 300 à 700°C

T3 = Défaillance thermique >700°C

COMPARAISON ENTRE LES PRINCIPALES MÉTHODES DE DIAGNOSTIC

| Méthode | % Diagnostic sans résultats | % Diagnostic incorrects | % Total |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------|
| Gaz principaux | 0 | 58 | 58 |
| Ratios de Rogers | 33 | 5 | 38 |
| Ratios IEC 60599 | 15 | 8 | 23 |
| Triangle de Duval | 0 | 4 | 4 |



LES CAS



CAS 1



| Gaz | Initial ppm | Après 4 ans ppm | Après 5 ans ppm |
|------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Hydrogène | 63 | 18 | 1160 |
| Méthane | 475 | 993 | 4910 |
| Monoxyde de carbone | 2 | 55 | 60 |
| Ethane | 165 | 404 | 1630 |
| Dioxyde de carbone | 9140 | 8890 | 5270 |
| Ethylène | 790 | 1180 | 4770 |
| Acétylène | 1 | 0 | 5 |
| Total Gaz Combustibles | 1496 | 2650 | 12,535 |
| | | | |
| CO2:CO | 457 | 162 | 88 |
| Ethylène/Ethane | 4.8 | 2.9 | 2.9 |
| Taux gaz (ppm/jour) | | 0.8 | 26 |

Westinghouse
GSU Design "Shell"
345kV

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 9.2 |
| Méthane | 39.2 |
| Monoxyde de carbone | 0.5 |
| Ethane | 13.0 |
| Ethylène | 38.0 |
| Acétylène | 0.04 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux : Méthane, Ethane, Ethylène

Diagnostic: Défaillance thermique



RATIO ROGERS ET IEC 60599

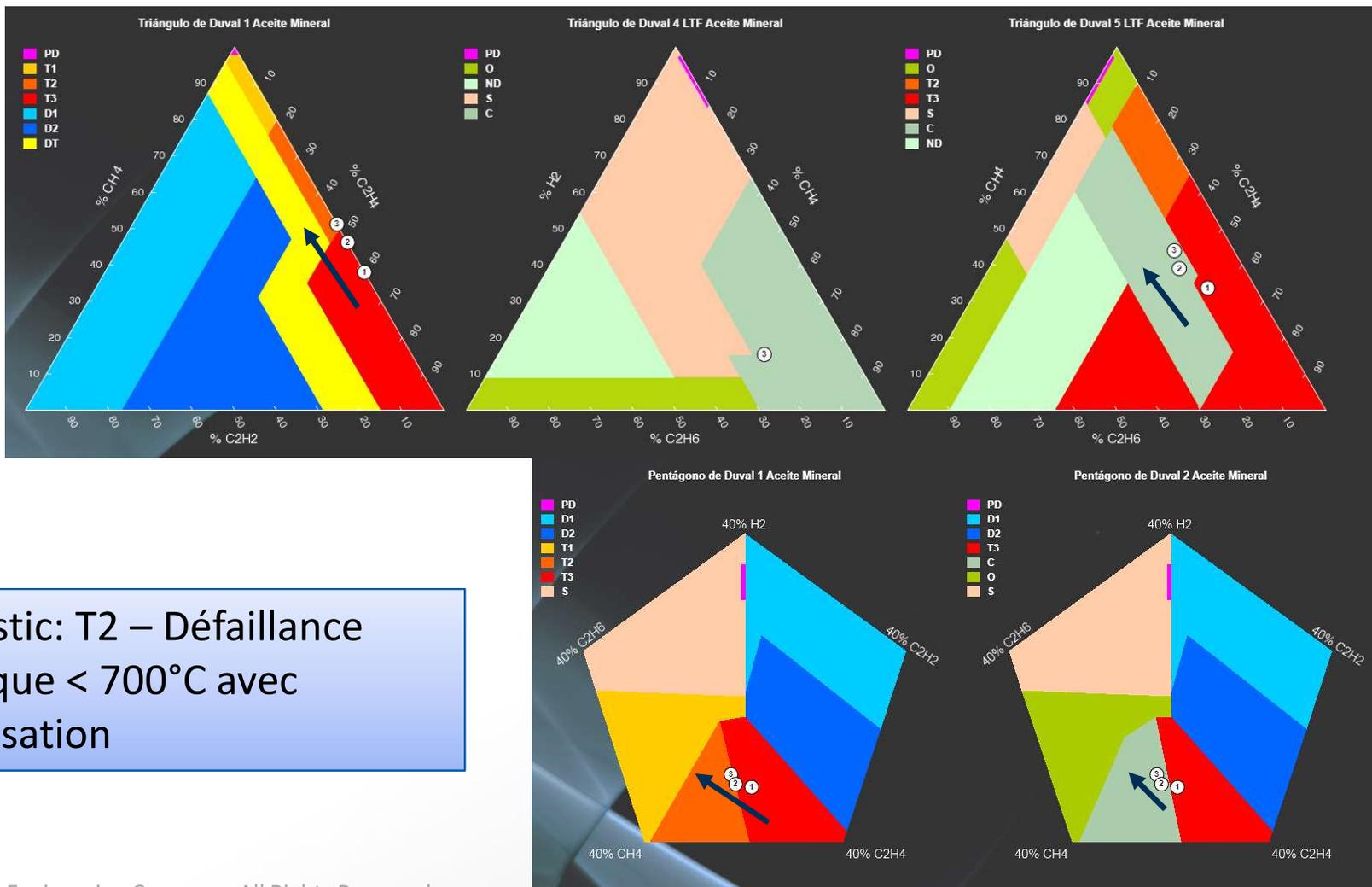


| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| < 0.1 | 4.2 | 2.9 |

Diagnostic:
Défaillance thermique T2

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (Rogers) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | <0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (IEC) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |



Diagnostic: T2 – Défaillance thermique < 700°C avec carbonisation

CAS 1: CONSTATS D'ENQUÊTE

- Les gaz originaient de la surchauffe de l'huile sur le métal
- Manque d'isolation de la poutre en T
 - Les courants circulant dans le noyau du transfo causaient une surchauffe du métal dénudé
- Les analyses subséquentes ont montré que le papier plutôt que le métal dénudé était surchauffé
- Le connecteur en série a été surchauffé jusqu'au point de fusion
- Il ne restait que quelques brins lorsque le problème a été localisé



CAS 2



| Gaz | Cas A ppm |
|------------------------|-----------|
| Hydrogène | 650 |
| Méthane | 81 |
| Monoxyde de carbone | 380 |
| Ethane | 170 |
| Dioxyde de carbone | 2000 |
| Ethylène | 51 |
| Acétylène | 270 |
| Total Gaz Combustibles | 1602 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 40.6 |
| Méthane | 5.0 |
| Monoxyde de carbone | 23.7 |
| Ethane | 10.6 |
| Ethylène | 3.2 |
| Acétylène | 16.8 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Aucun diagnostic



RATIO ROGERS ET IEC 60599



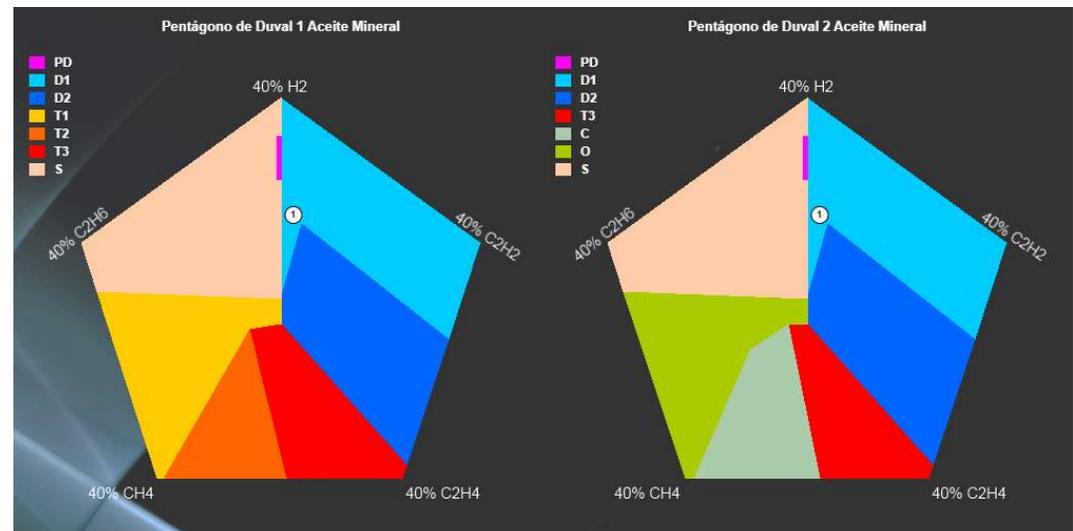
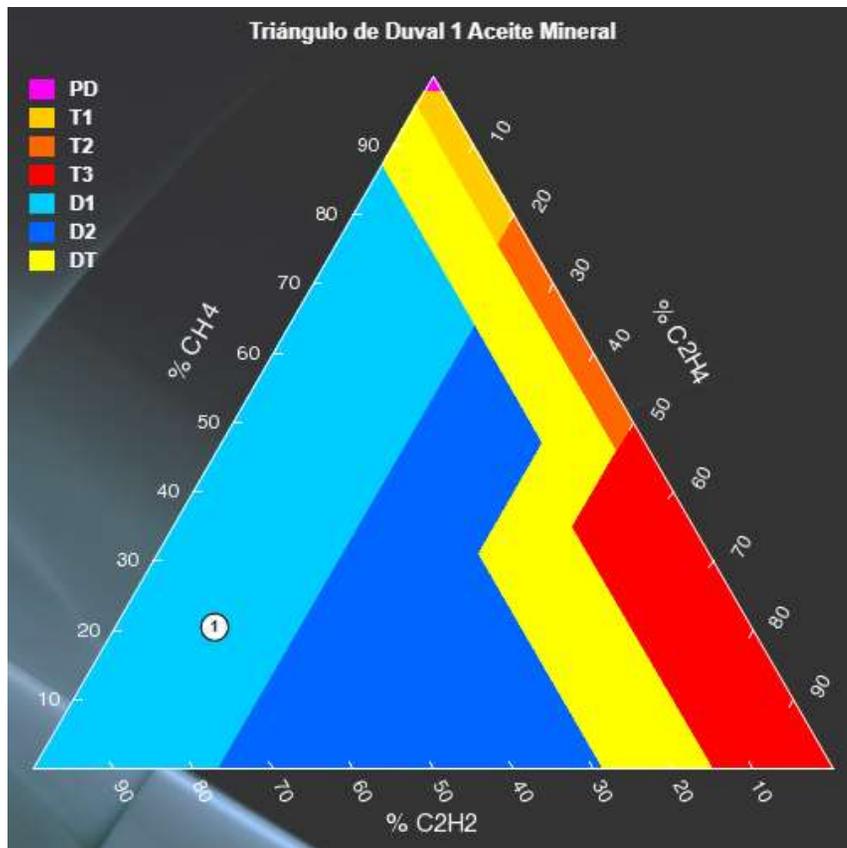
| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 5.3 | 0.1 | 0.3 |

Aucun diagnostic

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (Rogers) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | >0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (IEC) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

TRIANGLE ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: D1 – décharge électrique de basse énergie



CAS 2: CONSTATS D'ENQUÊTE

- Mauvais contact du “shield”



CAS 3



| Gaz | Cas B ppm |
|------------------------|-----------|
| Hydrogène | 76 |
| Méthane | 6000 |
| Monoxyde de carbone | 36 |
| Ethane | 27,000 |
| Dioxyde de carbone | 4400 |
| Ethylène | 120,000 |
| Acétylène | 1700 |
| Total Gaz Combustibles | 154,812 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 0.05 |
| Méthane | 3.9 |
| Monoxyde de carbone | 0.02 |
| Ethane | 17.4 |
| Ethylène | 77.5 |
| Acétylène | 1.1 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux : Ethylène, éthane

Diagnostic : Défaillance thermique



RATIO ROGERS ET IEC 60599



| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| < 0.1 | 79.0 | 4.4 |

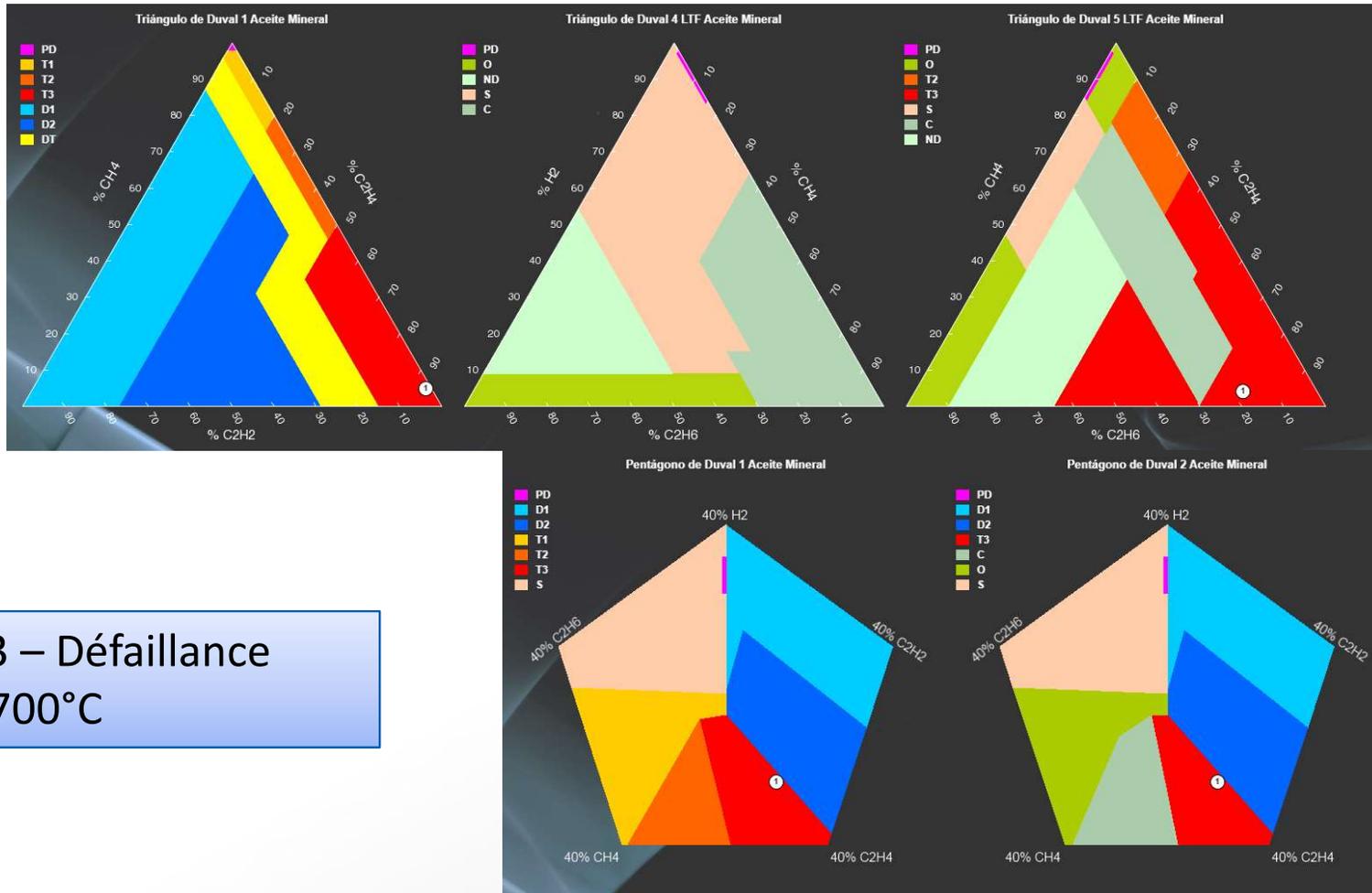
| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (Rogers) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | >0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (IEC) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

Acétylène/Ethylène: <10%

T3 Défaillance thermique > 700°C

TRIANGLE ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: T3 – Défaillance thermique > 700°C



CAS 3: CONSTATS D'ENQUÊTE

- Problème du noyau – métal et carbone
 - Erosion par le courant

CAS 4

Federal Pacific
Autotransformateur triphasé
23 kV
200 MVA
Gaz d'inertage
En défaillance

| Gaz | ppm |
|------------------------|------|
| Hydrogène | 1500 |
| Méthane | 410 |
| Monoxyde de carbone | 310 |
| Ethane | 31 |
| Dioxyde de carbone | 2400 |
| Ethylène | 390 |
| Acétylène | 880 |
| Total Gaz Combustibles | 3490 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 42.6 |
| Méthane | 11.6 |
| Monoxyde de carbone | 8.8 |
| Ethane | 0.9 |
| Ethylène | 11.7 |
| Acétylène | 25.0 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux : Hydrogène, acétylène

Oxydes de carbone: basses concentrations

Diagnostic: arcs, sans implication du papier



RATIO ROGERS ET IEC 60599



| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 2.3 | 0.3 | 12.6 |

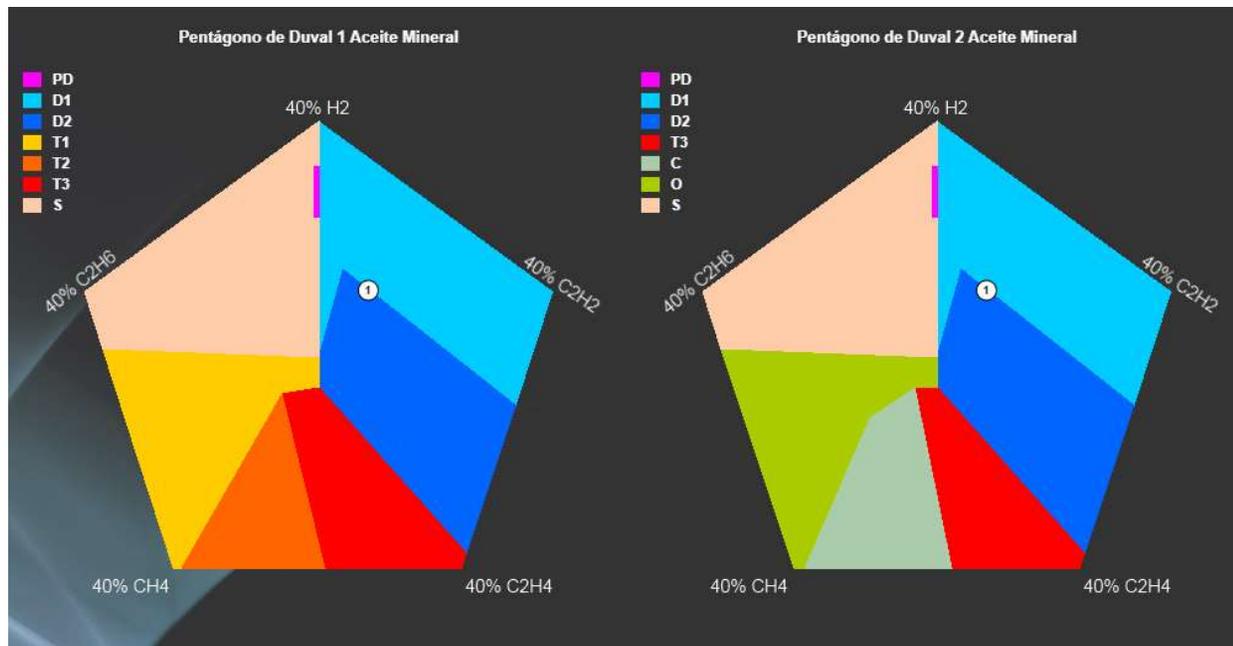
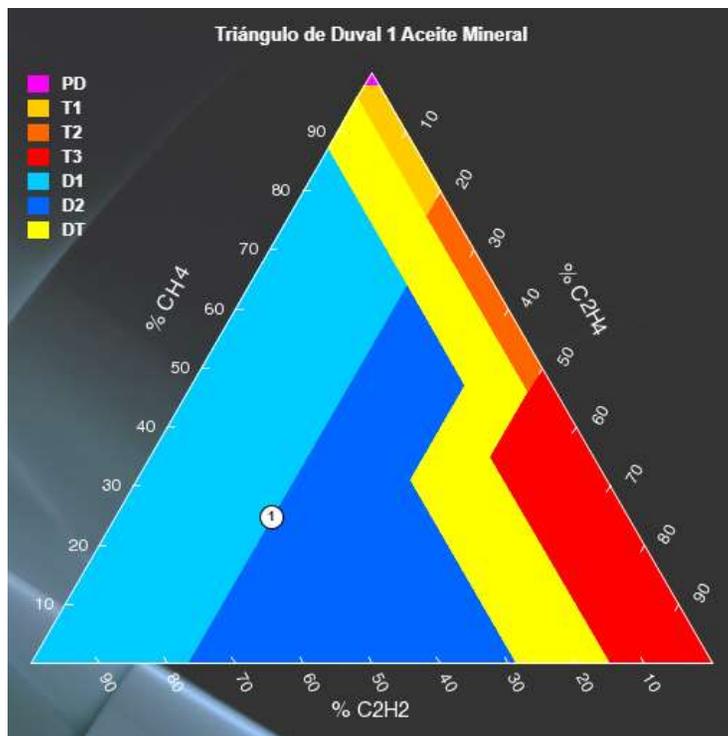
| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (Rogers) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | >0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (IEC) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

Acétylène/Ethylène: >20%

Diagnostic: D2 - arcs

TRIANGULO ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: D2 - arcs

CAS 4 : CONSTATS D'ENQUÊTE

- La défaillance a débuté par le court-circuit et l'arcage de 2 conducteurs, un à partir de l'auto-transformateur et l'autre depuis les connections du changeur de prise
- Les vibrations du conducteur et usure de l'isolation
- Court-circuit à travers la phase B de l'autotransformateur.
- Les conducteurs auraient dû être séparés et attachés

CAS 5

Allis Chalmers
345 kV
500 MVA
Gaz d'inertage
Pas en défaillance

| Gaz | ppm |
|------------------------|------|
| Hydrogène | 420 |
| Méthane | 4400 |
| Monoxyde de carbone | 42 |
| Ethane | 950 |
| Dioxyde de carbone | 1300 |
| Ethylène | 3900 |
| Acétylène | 5 |
| Total Gaz Combustibles | 9717 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 4.3 |
| Méthane | 45.3 |
| Monoxyde de carbone | 0.4 |
| Ethane | 9.8 |
| Ethylène | 40.1 |
| Acétylène | 0.05 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux : Ethylène, Méthane, Ethane

Oxydes de carbone: basses concentrations

Diagnostic: Défaillance thermique



RATIO ROGERS ET IEC 60599



| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| < 0.1 | 10.5 | 4.1 |

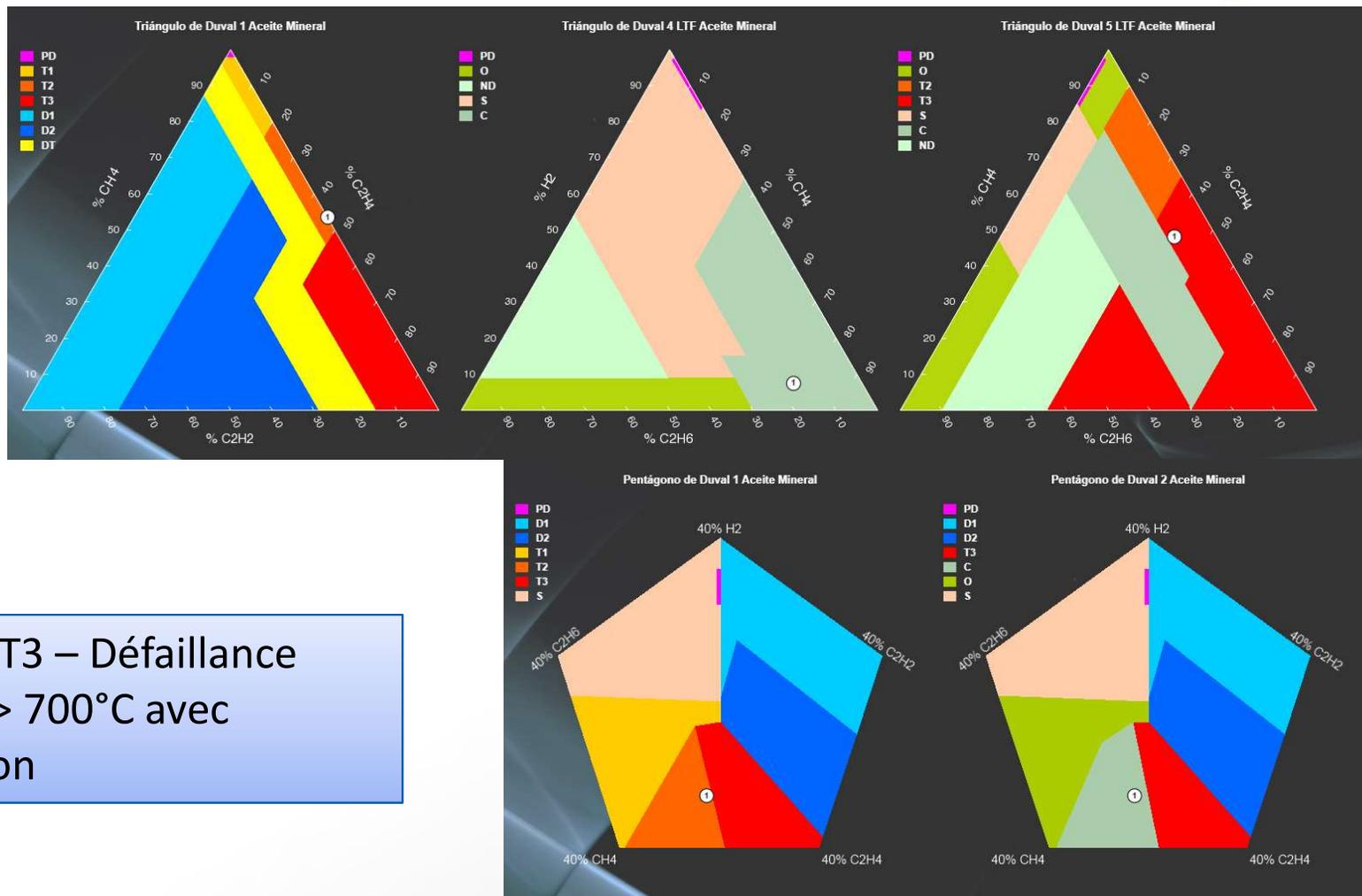
| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (Rogers) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | >0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (IEC) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

Acétylène/Ethylène: <10%

Diagnostic: Défaillance thermique haute température, sans le papier

TRIANGLE ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: T3 – Défaillance thermique > 700°C avec carbonisation

CAS 5 : CONTATS D'ENQUÊTE

- Deux boulons (jack bolts bearing) de l'attelle ou de l'empennage étaient si desserrés qu'ils pouvaient être déplacés à la main
- Une accumulation de carbone était visible autour des boulons et des traces de fusion se notaient sur les rebords des boulons



CAS 6



Westinghouse
161 kV
60 MVA
Conservateur scellé
Pas en défaillance

| Gaz | ppm |
|------------------------|------|
| Hydrogène | 280 |
| Méthane | 1500 |
| Monoxyde de carbone | 94 |
| Ethane | 150 |
| Dioxyde de carbone | 960 |
| Ethylène | 1200 |
| Acétylène | 140 |
| Total Gaz Combustibles | 3364 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 8.3 |
| Méthane | 44.6 |
| Monoxyde de carbone | 2.8 |
| Ethane | 4.4 |
| Ethylène | 35.7 |
| Acétylène | 4.2 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux : Ethylène, Acétylène

Oxydes de carbone: basses concentrations

Diagnostic: Défaillance thermique



RATIO ROGERS ET IEC 60599



| <u>Acétylène</u> <u>Ethylène</u> | <u>Méthane</u> <u>Hydrogène</u> | <u>Ethylène</u> <u>Ethane</u> |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 0.1 | 5.4 | 8.0 |

Rogers: Aucun diagnostic

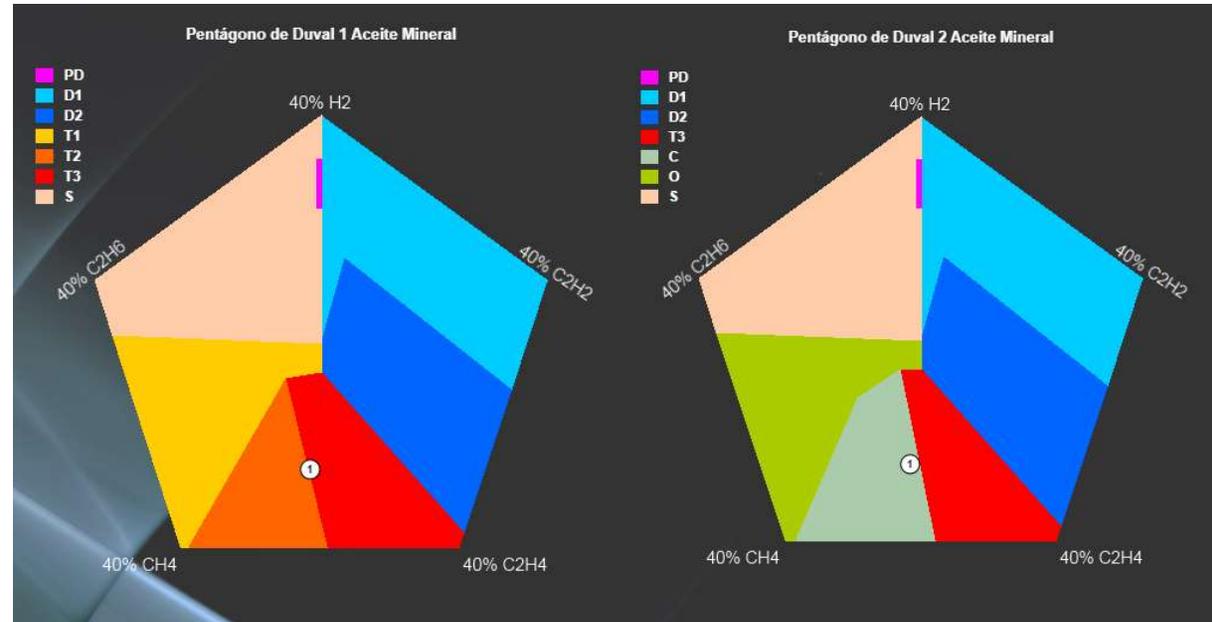
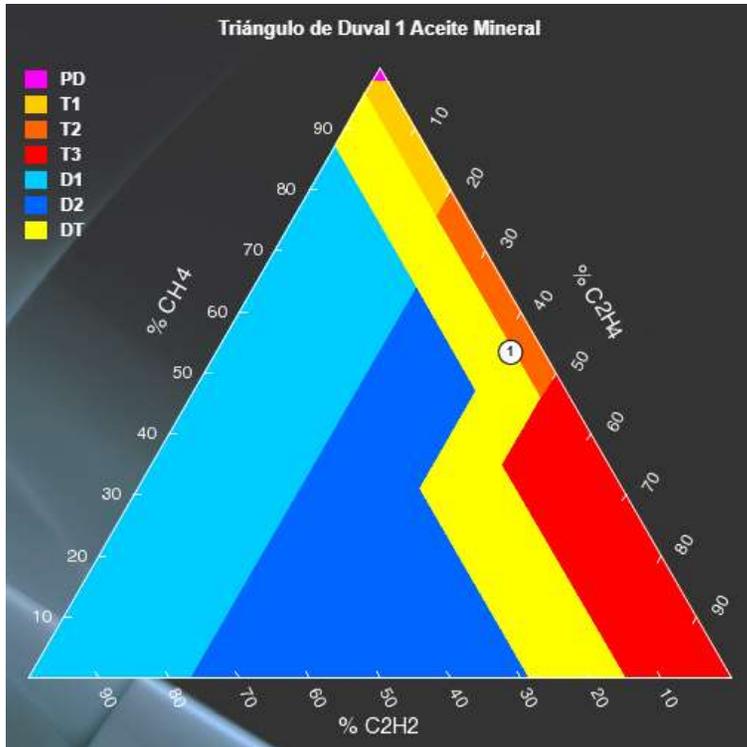
Acétylène/Ethylène: 10-20%

Diagnostic: surchauffe principalement à haute température, début possible de l'activité de décharge, sans le papier

| <u>Acétylène</u> <u>Ethylène</u> | <u>Méthane</u> <u>Hydrogène</u> | <u>Ethylène</u> <u>Ethane</u> | Défaillance (Rogers) |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | >0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> <u>Ethylène</u> | <u>Méthane</u> <u>Hydrogène</u> | <u>Ethylène</u> <u>Ethane</u> | Défaillance (IEC) |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

TRIANGLE ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: T3 – Défaillance thermique > 700°C avec carbonisation

CAS 6 : CONSTATS D'ENQUÊTE

- Une inspection visuelle a révélé que 2 enroulements étaient presque entièrement brûlés et qu'une quantité considérable de billes de cuivre était distribuée dans la région immédiate de la défaillance.
- Il restait 2 ou 3 conducteurs à l'intérieur de l'enroulement toujours intact.

CAS 7

Virginia Transformer
69 kV
10 MVA
Gaz d'inertage
Triphasé
2 mois en service
Défaillance partielle

| Gaz | ppm |
|------------------------|--------|
| Hydrogène | 7220 |
| Méthane | 7200 |
| Monoxyde de carbone | 4670 |
| Ethane | 643 |
| Dioxyde de carbone | 2290 |
| Ethylène | 7180 |
| Acétylène | 1850 |
| Total Gaz Combustibles | 28,763 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 25.1 |
| Méthane | 25.0 |
| Monoxyde de carbone | 16.2 |
| Ethane | 2.2 |
| Ethylène | 25.0 |
| Acétylène | 6.4 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux: CO, Acétylène

Oxydes de carbone: CO élevé

Diagnostic: arcage impliquant le papier



RATIO ROGERS ET IEC 60599



| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 0.2 | 1.0 | 11.2 |

Diagnostic: arcage impliquant le papier

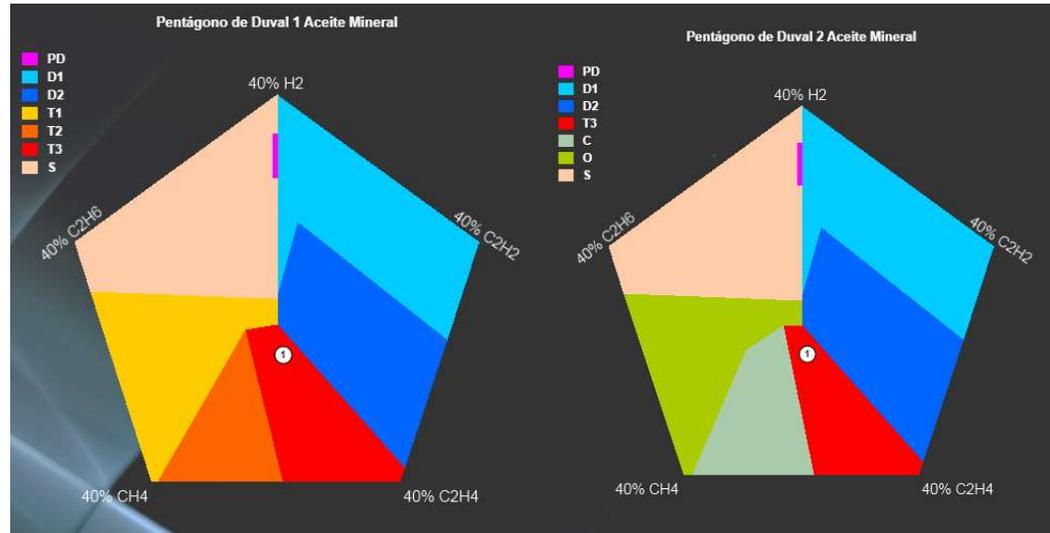
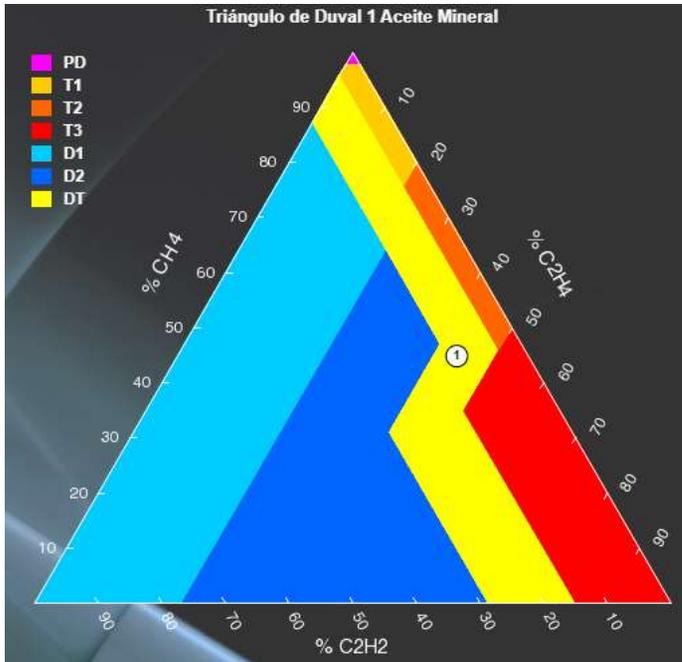
Acétylène/ Ethylène : >20%

IEC: Aucun diagnostic

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (Rogers) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | >0.1, <1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (IEC) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

TRIANGLE ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: T3 –
Défaillance thermique
> 700°C

CAS 7 : CONSTATS D'ENQUÊTE

- Evidence physique de défaillance - odeur, carbone et billes de cuivre dans la phase centrale.
- Le courant neutre (neutral current) du transformateur dépassait les valeurs attendues.
- L'unité a été retirée avant défaillance totale

CAS 8

McGraw Edison
115 kV
275 MVA
2 ans en service
Pas de défaillance

| Gaz | ppm |
|------------------------|------|
| Hydrogène | 590 |
| Méthane | 370 |
| Monoxyde de carbone | 110 |
| Ethane | 54 |
| Dioxyde de carbone | 910 |
| Ethylène | 370 |
| Acétylène | 1 |
| Total Gaz Combustibles | 1495 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 39.5 |
| Méthane | 24.7 |
| Monoxyde de carbone | 7.4 |
| Ethane | 3.6 |
| Ethylène | 24.7 |
| Acétylène | 0.1 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffée | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux: Hydrogène, Ethylène, Acétylène

Hydrogène/TCG: >30%

Oxydes de carbone: bas

Diagnostic: DP et huile surchauffée à haute température



RATIO ROGERS ET IEC 60599



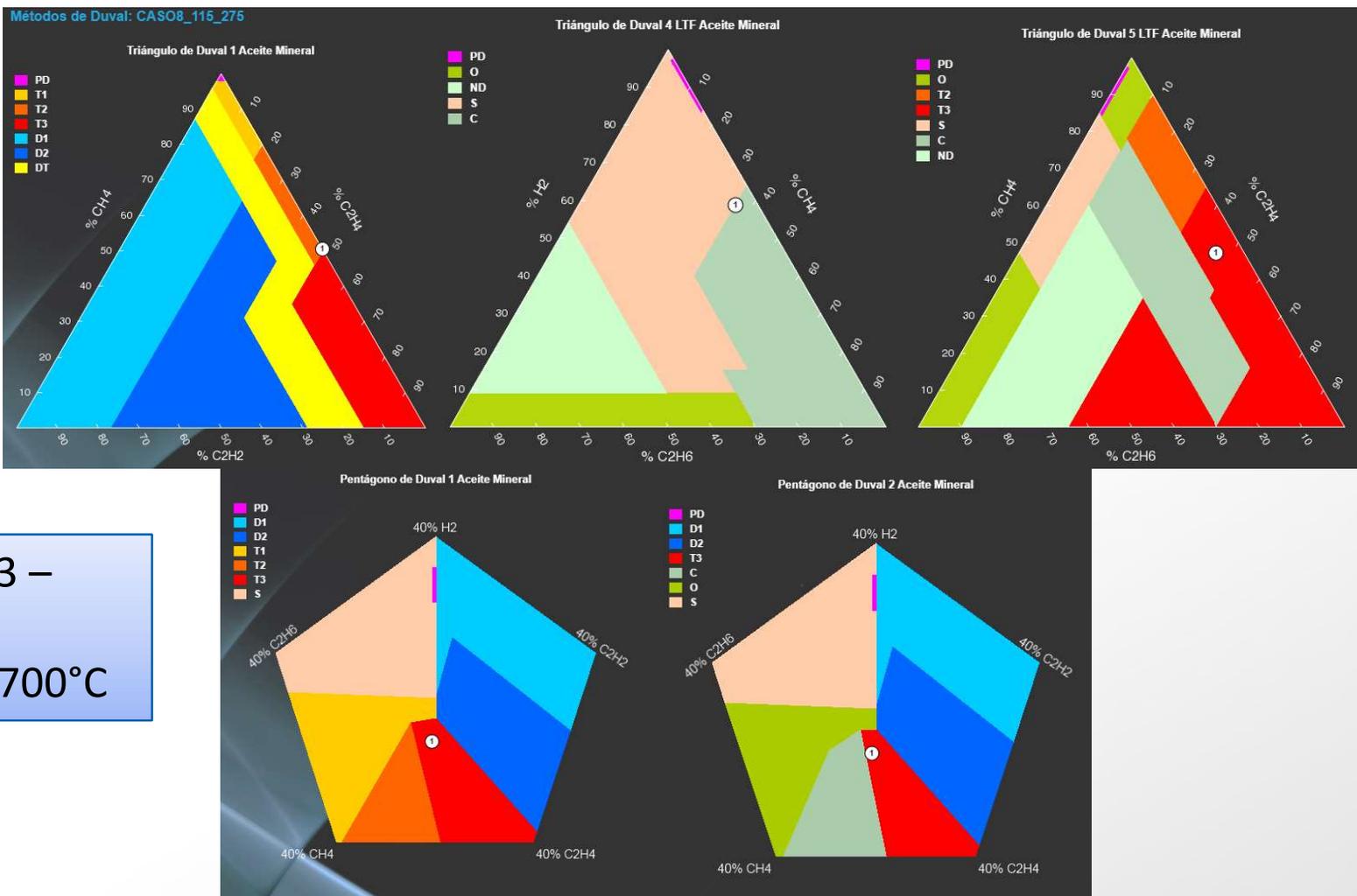
| <u>Acétylène</u> <u>Ethylène</u> | <u>Méthane</u> <u>Hydrogène</u> | <u>Ethylène</u> <u>Ethane</u> |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| < 0.1 | 0.6 | 6.9 |

Aucun Diagnostic

| <u>Acétylène</u> <u>Ethylène</u> | <u>Méthane</u> <u>Hydrogène</u> | <u>Ethylène</u> <u>Ethane</u> | Défaillance (Rogers) |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | >0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> <u>Ethylène</u> | <u>Méthane</u> <u>Hydrogène</u> | <u>Ethylène</u> <u>Ethane</u> | Défaillance (IEC) |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

TRIANGLE ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: T3 –
Défaillance
thermique > 700°C

CAS 8: CONSTATS D'ENQUÊTE

- Court-circuit entre les sections du noyau
- Marques de brûlures trouvées sur l'isolant en époxyde
- Les feuilles du noyau étaient désenlignés de jusqu'à 12 mm
- 36 feuilles d'acier du noyau étaient pliées et se court-circuitaient. Le côté des feuilles était brûlé et la surface latérale décolorée
- Un deuxième court-circuit a été créé par un ruban d'acier reposant sur l'isolant à la base du noyau

CAS 9

Manufacturier inconnu
161kV
45MVA
1.5 heures en service
Déclenchement du relais
Bucholz
Protection différentielle

| Gaz | ppm |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 22 |
| Oxygène | 1000 |
| Azote | 8000 |
| Méthane | 7 |
| Monoxyde de carbone | 119 |
| Ethane | 3 |
| Dioxyde de carbone | 113 |
| Ethylène | 10 |
| Acétylène | 15 |

GAZ PRINCIPAUX

| Gaz | % |
|---------------------|------|
| Hydrogène | 12.5 |
| Méthane | 4.0 |
| Monoxyde de carbone | 67.7 |
| Ethane | 1.7 |
| Ethylène | 5.7 |
| Acétylène | 8.5 |

| Défaillance | Composition |
|--------------------|---|
| Arcage | H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30% |
| Huile surchauffé | C ₂ H ₄ : 60% C ₂ H ₆ : 15% CH ₄ : 15% |
| Décharge partielle | H ₂ : 80% CH ₄ : 10% |
| Papier surchauffé | CO: 90% H ₂ : 5% |

Gaz principaux: Acétylène, Monoxyde de carbone

Diagnostic: arcage impliquant le papier



RATIO ROGERS ET IEC 60599



| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1.5 | 0.3 | 3.3 |

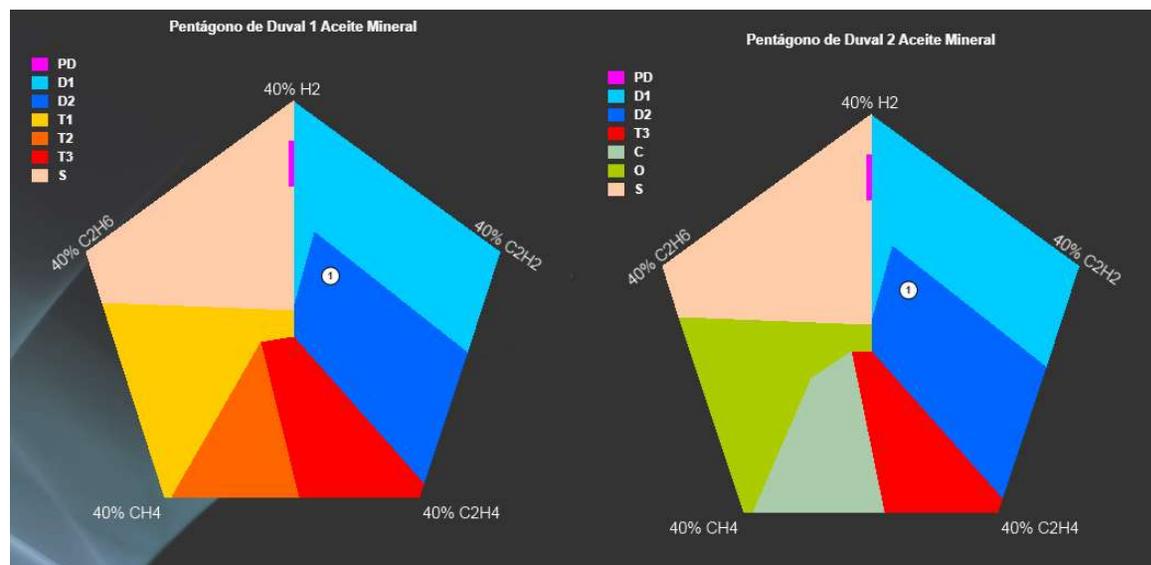
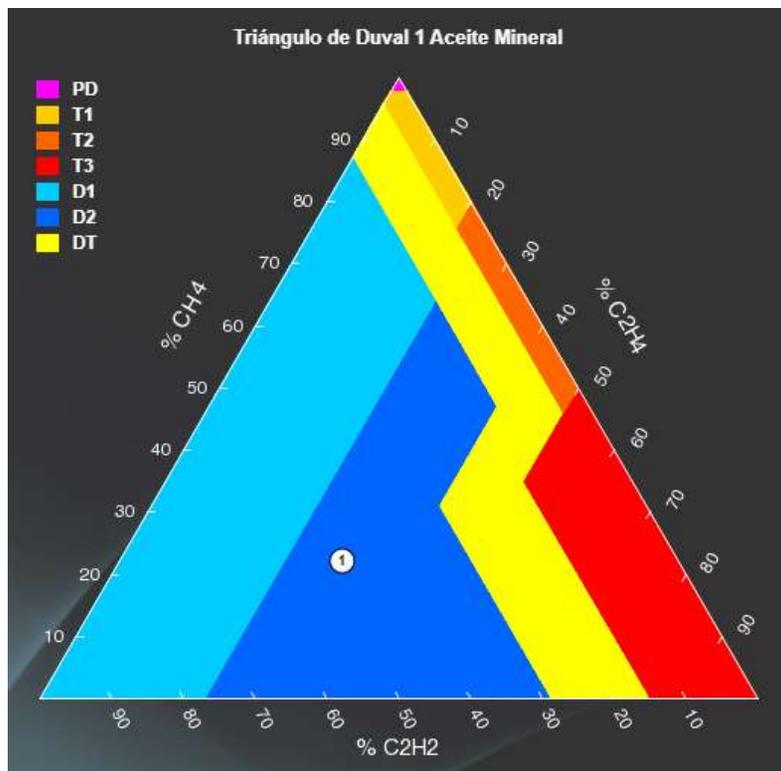
Acétylène/ Ethylène: >20%

Diagnostic : arc

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (Rogers) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <0.1 | >0.1,<1.0 | <1.0 | Normal |
| <0.1 | <0.1 | <1.0 | DP faible énergie |
| 0.1 - 3.0 | 0.1 - 1.0 | >3.0 | Arc |
| <0.1 | <0.1,<1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique < 300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 3.0 | Thermique, <700°C |
| <0.1 | >1.0 | >3.0 | Thermique, >700°C |

| <u>Acétylène</u> Ethylène | <u>Méthane</u> Hydrogène | <u>Ethylène</u> Ethane | Défaillance (IEC) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| NS | <0.1 | <0.2 | Décharge partielle |
| >1.0 | 0.1 - 0.5 | >1.0 | D1 – faible énergie |
| 0.6 - 2.5 | 0.1 - 1.0 | >2.0 | D2 – haute énergie |
| NS | >1.0 (NS) | <1.0 | T1, <300°C |
| <0.1 | >1.0 | 1.0 - 4.0 | T2, >300°C; <700°C |
| <0.2 | >1.0 | >4.0 | Thermique, >700°C |

TRIANGULO ET PENTAGONE DE DUVAL



Diagnostic: D2 - Arc

CAS 9: CONSTATS D'ENQUÊTE

- Le principal problème était le arcage.
- Le transformateur opérait dans des conditions normales.
- Problème trouvé: Court-circuit d'un enroulement qui a conduit à un arcage. De l'eau était entré à cause d'une traversée (bushing) mal installée.



COMMENT ABORDE-T-ON L'ENQUÊTE SUR UN PROBLÈME?



- Tracer les données en temps réel et chercher les tendances – regarder plusieurs gaz à la fois et en combinaison
 - Type de condition
 - Vitesse de génération des gaz et changement dans la vitesse de génération
 - Quels gaz spécifiques sont en changement
 - Est-ce que le papier est impliqué
 - Que savez-vous de cette famille de transformateurs et qu'est-ce qui est normal?
 - Conditions locales - environnement, charge, problèmes passagers, défaillances et autres évènements
 - Autre information – activités d'entretien, réparation, tests électriques, thermographie infrarouge, etc...

SUIVI ET DIAGNOSTIC EN CONTINU ET IN-SITU

- Choisir des capteurs éprouvés avec une bonne sensibilité
- L'évaluation de la tendance du taux de génération de gaz est l'indicateur le plus pertinent du changement de condition
- Déterminer la dépendance de la charge et de la température
- Déterminer le type de problème et sa gravité
- Diagnostic en continu pour une détection **automatisée** des changements de condition et sévérité
- Suggère les actions appropriées
- Utiliser l'interchangeabilité des instruments en fonction du nombre de gaz nécessaires





Merci pour votre intérêt à nos solutions, notre technologie et notre expérience

Dr Denis Lafrance, PhD, EMBA
Directeur – Services de laboratoires

dlafrance@doble.com