

Surveillance ACD – Technologies et facteurs de succès

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

Analyse des gaz dissous (AGD)



Hydrogen



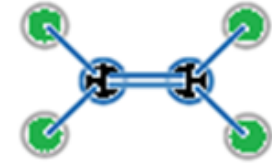
Carbon
Monoxide



Methane



Acetylene



Ethylene



Ethane



Carbon
Dioxide



Oxygen



Nitrogen

+



Moisture

L'outil le plus puissant disponible pour comprendre la santé d'un transformateur en fonctionnement

Avantages de la AGD en ligne

- Détecter les pannes plus tôt → réduire les coûts de réparation
- Maintenir les unités avec niveau de gaz en service
- Offrir une capacité de pointe en toute confiance
- Superviser la santé de la flotte en temps réel → prioriser la maintenance

Performances du moniteur AGD

Les sous-systèmes fonctionnent ensemble pour déterminer la qualité, la fiabilité et le coût de possession des données :

- Système(s) de mesure de gaz
- Système d'autocalibration (si présent)
- Système d'extraction de gaz
- Régulation thermique de l'huile et unité qui mesure
- Circulation de l'huile
- Circulation de gaz
- Coefficients de solubilité des gaz et de l'humidité

Moniteurs – 1 ou 2 gaz

Objectif : détection de défaillances

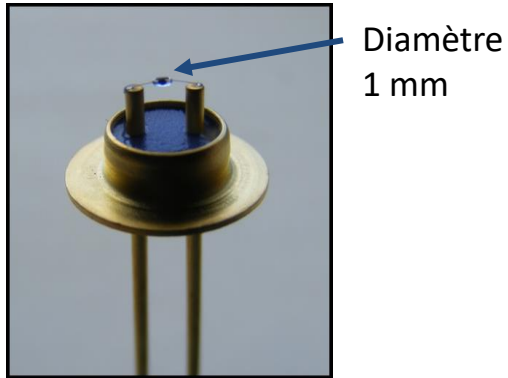
- H₂ pour les défaillances affectant l'huile
- CO pour les défaillances affectant la cellulose

Technologies de mesure de gaz :

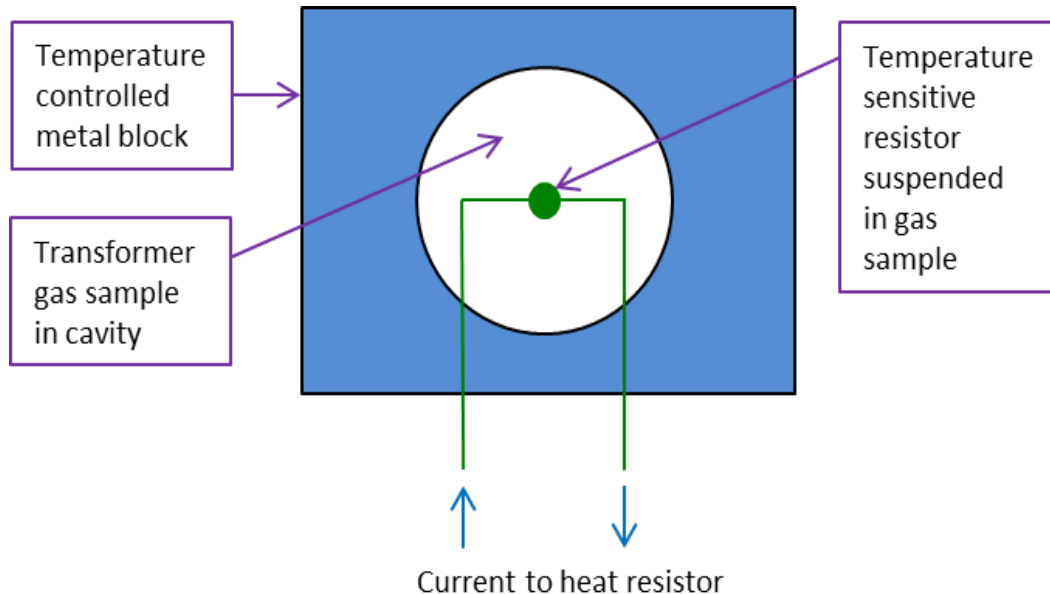
- Gel électrochimique (résultat combiné de gaz H₂+CO+C₂H₂+...)
- Capteur d'oxyde d'étain (gaz individuels H₂, CO)
- Conductivité thermique (TCD) (gaz individuels H₂, CO)
- Résistance à couche métallique variable (H₂)



Détecteur de conductivité thermique (TCD)



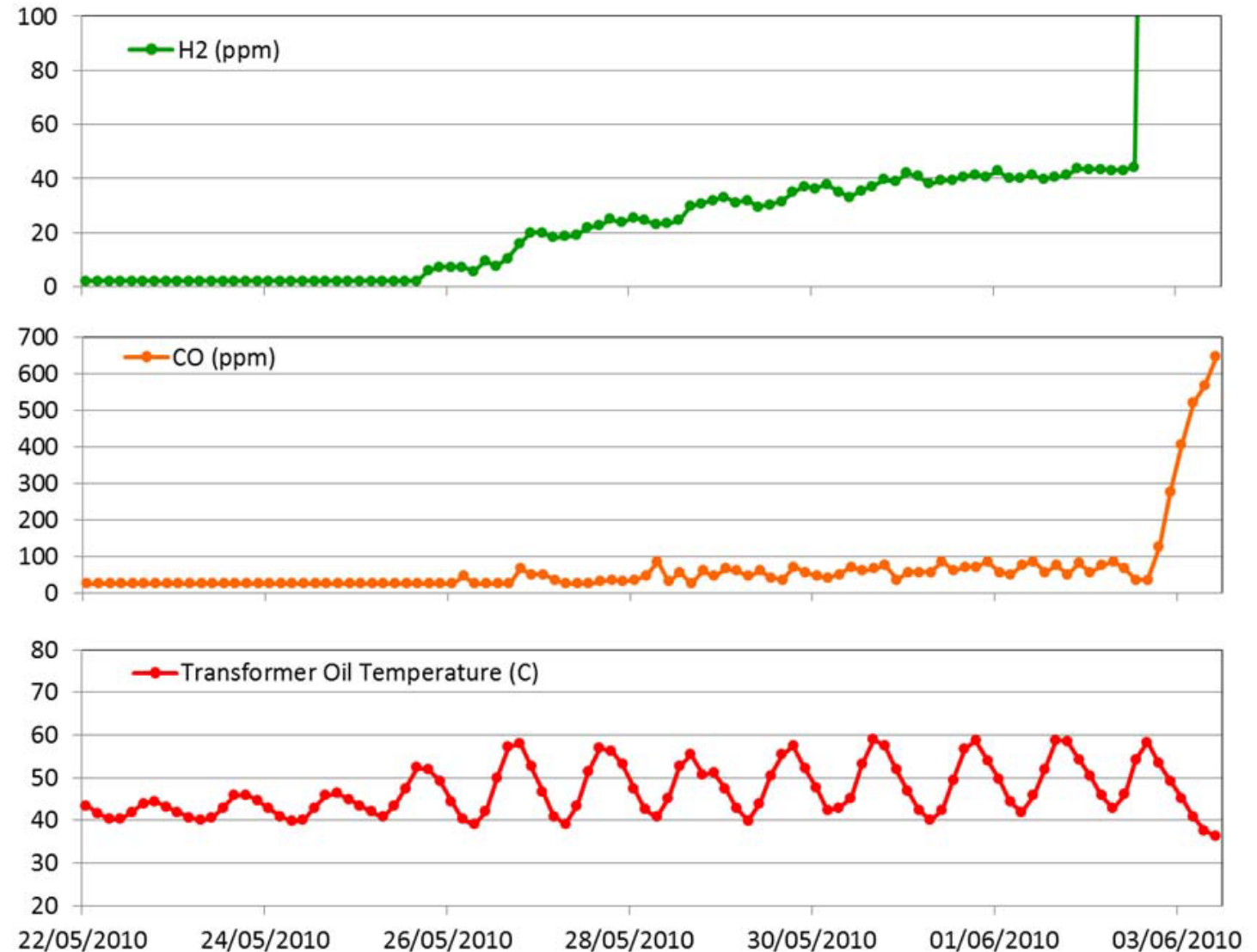
Thermistance à billes de verre



- Meilleures performances pour la détection précoce des défaillances
- Le plus sensible:
Limite de détection = 2 ppm H₂
- Le plus stable : sur de nombreuses années
- Le plus précis : $\pm 5\%$ H₂

Exemple de moniteur TCD

- Fin mai au Texas
- Augmentation de la charge de pointe quotidienne
- Défaillance affectant l'huile (H_2) et le papier (CO)
- Niveaux d'alarme réglés trop haut (!)
- Défaillance catastrophique
- Meilleur moyen de définir les limites d'alarme de gaz → en fonction des niveaux de gaz historiques dans ce transformateur



Spécifications de performances critiques

Limite inférieure de détection (sensibilité) :

- Détection précoce des défaillances



Précision en service:

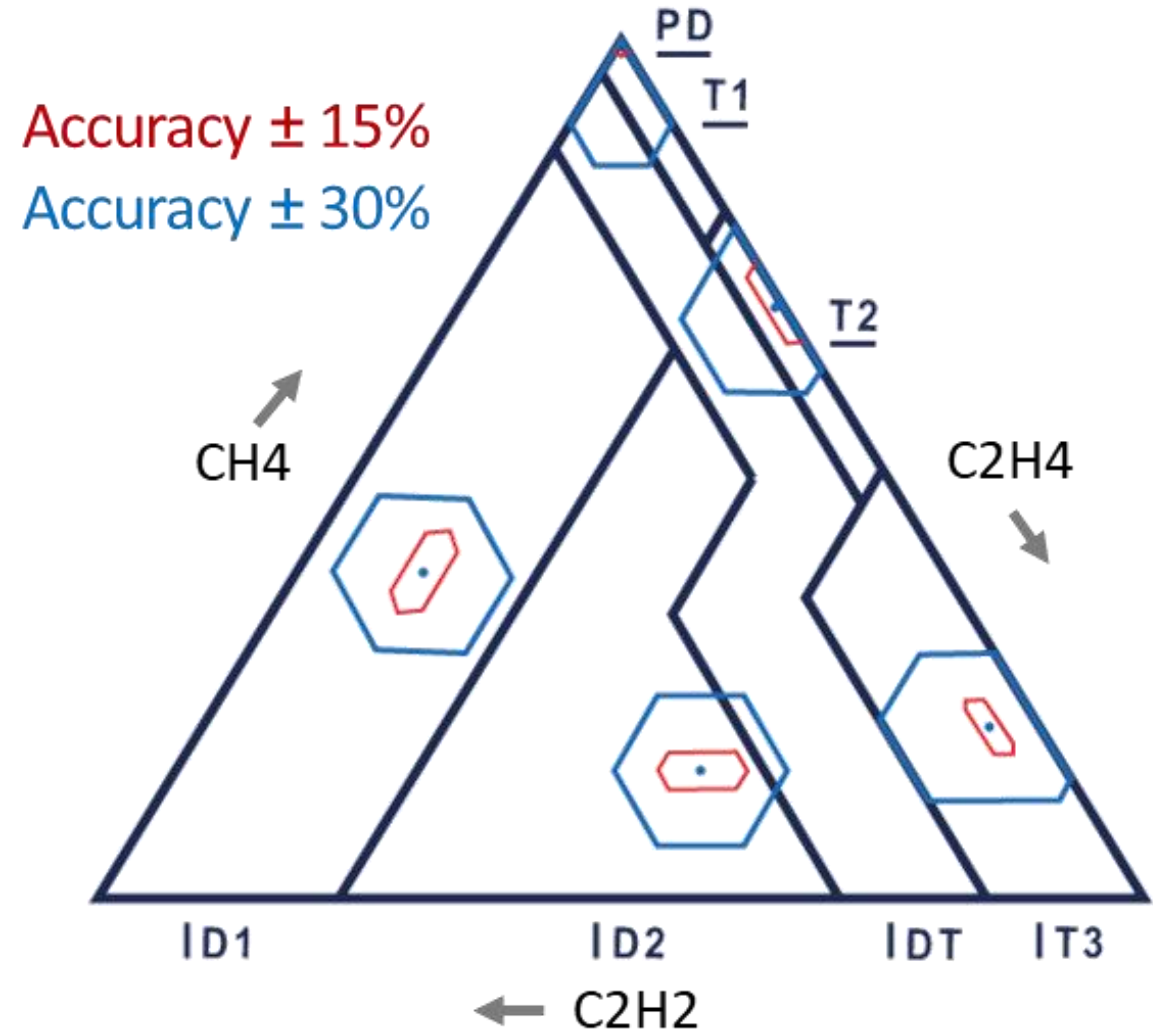
- Accord avec un bon laboratoire AGD → comprendre le type et la gravité du défaut
- Si un moniteur est constamment en accord étroit avec le laboratoire AGD, il permettra également une détection précoce des défaillances
- Evitez les fausses alertes



Triangle de Duval

Lorsqu'une zone d'incertitude traverse plusieurs zones de défaut dans le triangle →
Le type et la gravité du défaut sont inconnus

Ref: M. Duval
IEEE EI Magazine
Août 2005



Technologies de moniteurs multi-gaz

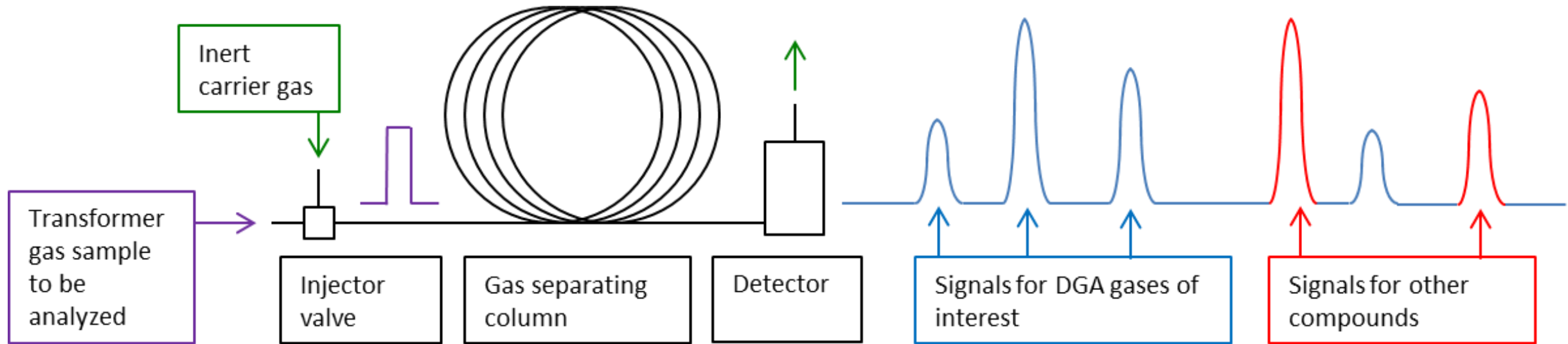
Chromatographie en phase gazeuse (GC)

- 2 colonnes avec détecteurs de conductivité thermique
- 1 colonne avec détecteur d'ionisation

Spectroscopie d'absorption infrarouge (IR)

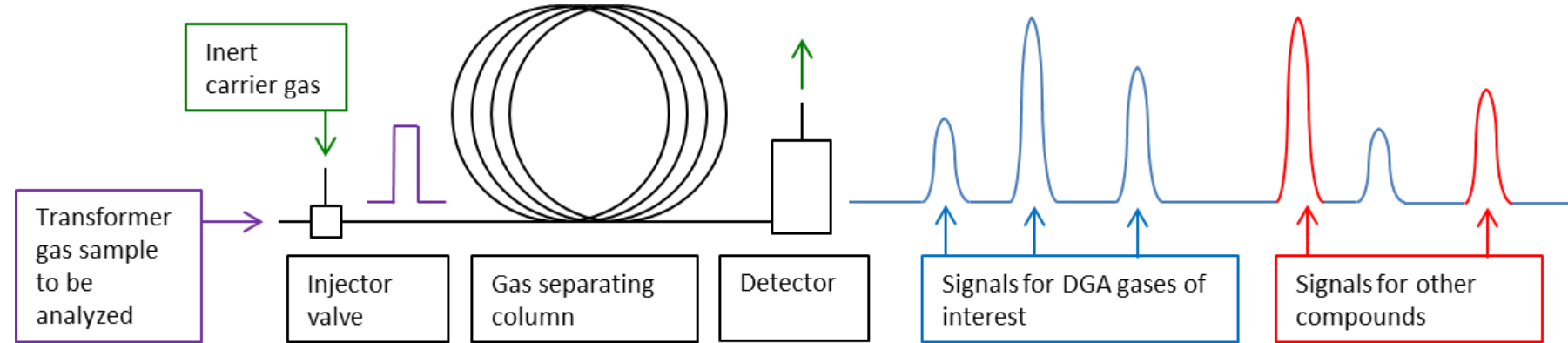
- Photo-Acoustique (PAS)
 - Résonance
 - Non-résonance
- IR non dispersif (NDIR)
 - Filtres fixes
 - Filtres balayants
- Transformée de Fourier (FTIR)

Chromatographie en phase gazeuse



- Le petit échantillon de gaz mélangé est propulsé à travers une colonne de séparation de gaz par un gaz porteur (hélium)
- Chaque espèce de gaz séparée atteint le détecteur à un moment différent
- Une analyse de gaz d'étalonnage est utilisée pour identifier et quantifier chaque gaz

Chromatographie en phase gazeuse



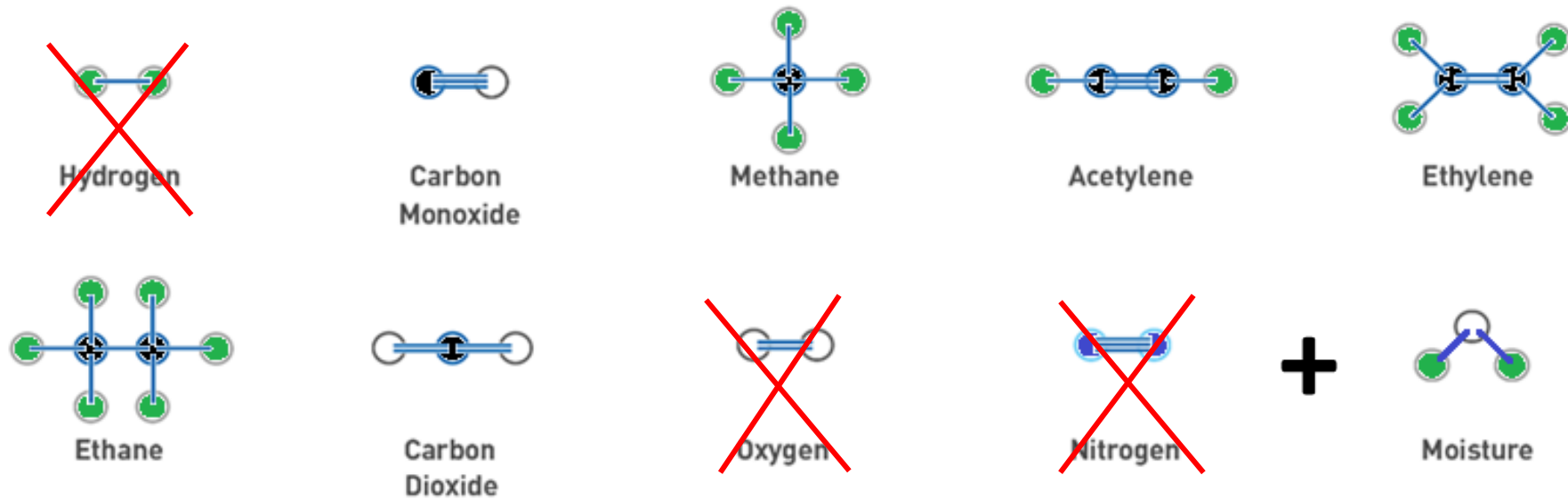
AVANTAGES

- La plus sensible
- Plus précise (comme le laboratoire AGD) grâce à l'étalonnage automatique
- Lectures non affectées par les gaz interférentiels

INCONVÉNIENTS

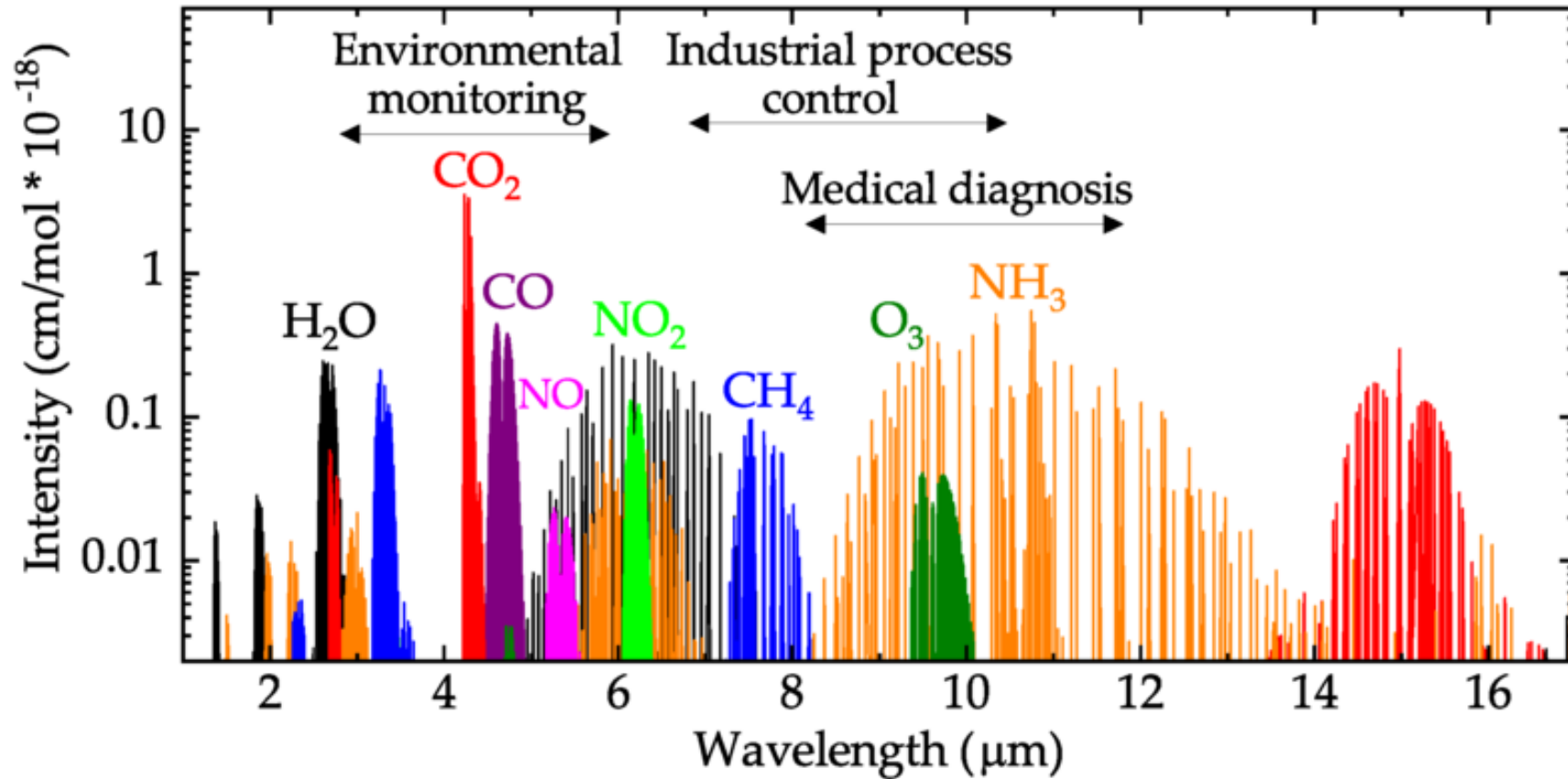
- Temps et coût de remplacement des consommables (bouteilles de gaz porteur et de gaz d'étalonnage)
- Certains modèles ont besoin d'une révision majeure après 4-5 ans

Mesures par infrarouge



- Chaque composé gazeux a des modes vibrationnels caractéristiques
- La lumière infrarouge peut être fortement absorbée si la fréquence correspond à l'un de ces modes de vibration
- L'absorption de la lumière peut être détectée par :
 - atténuation → NDIR, FTIR
 - Réchauffement de gaz → PAS
- Les molécules dipolaires symétriques (H_2 , O_2 , N_2) n'absorbent pas de manière significative la lumière infrarouge

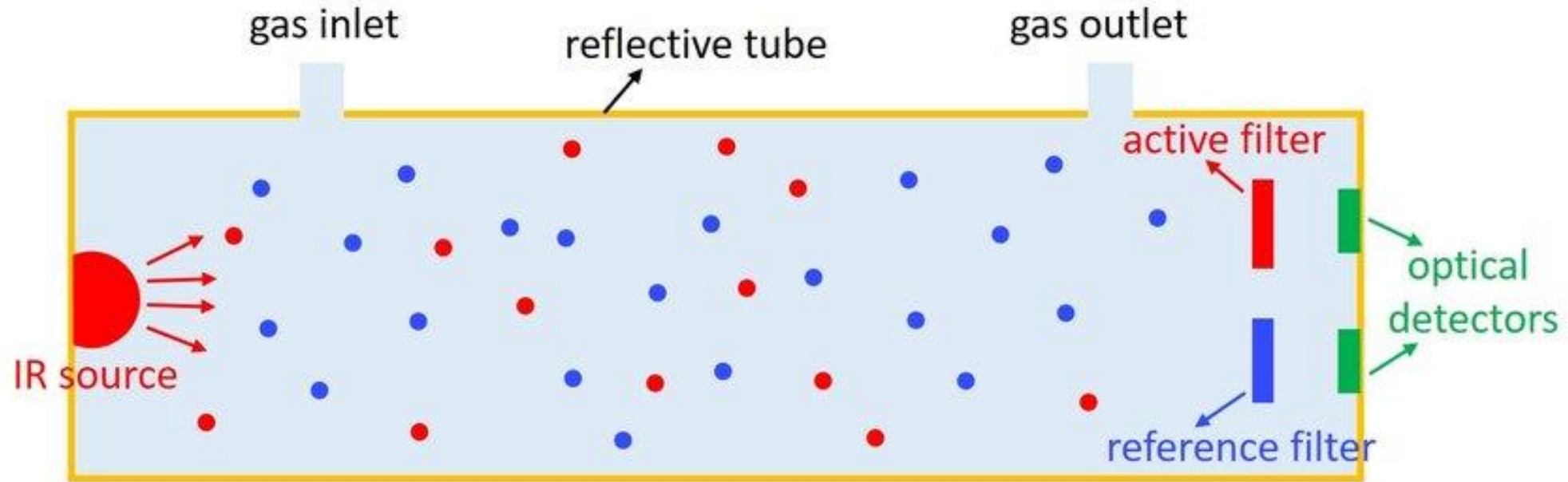
Spectres d'absorption IR des gaz



Popa, Daniel; Udrea, Florin "Towards Integrated Mid-Infrared Gas Sensors". Sensors. 19 3 (9): 2076, Mai 2019

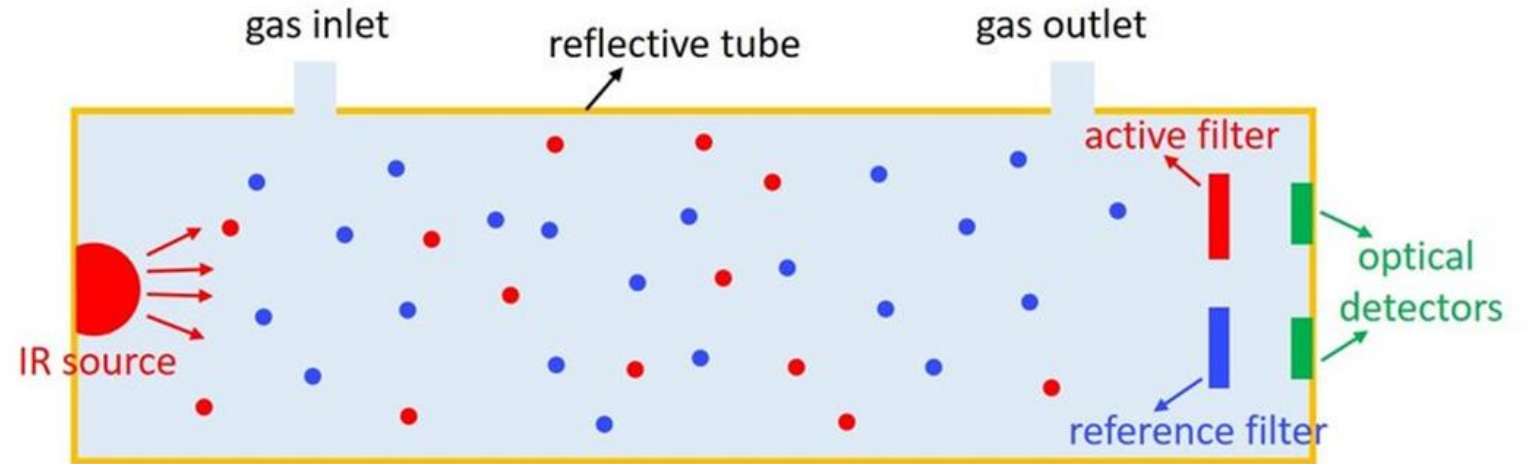
- Défi des multi-gaz IR → chevauchement des spectres d'absorption IR
- Besoin d'un logiciel pour démêler les mesures prises à différentes longueurs d'onde

Spectroscopie IR non dispersive



- Le gaz absorbe la lumière infrarouge de la source, réduisant l'intensité qui atteint les détecteurs optiques
- Les miroirs peuvent être utilisés pour augmenter le parcours optique entre la source et les détecteurs
- Filtres IR utilisés pour exciter principalement un gaz à la fois
- Filtres fixes ou à balayage

Spectroscopie IR non dispersive



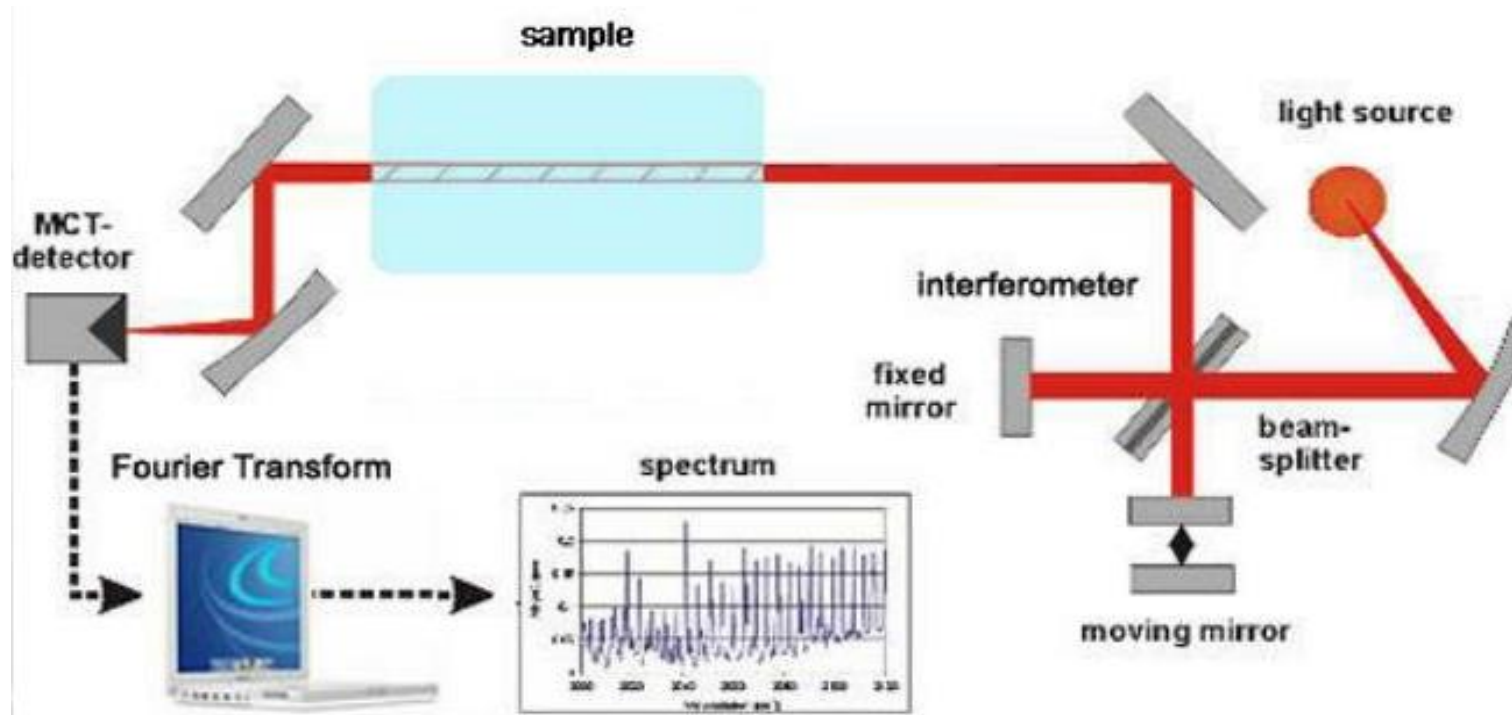
AVANTAGES

- Peut être assez simple et économique

INCONVÉNIENTS

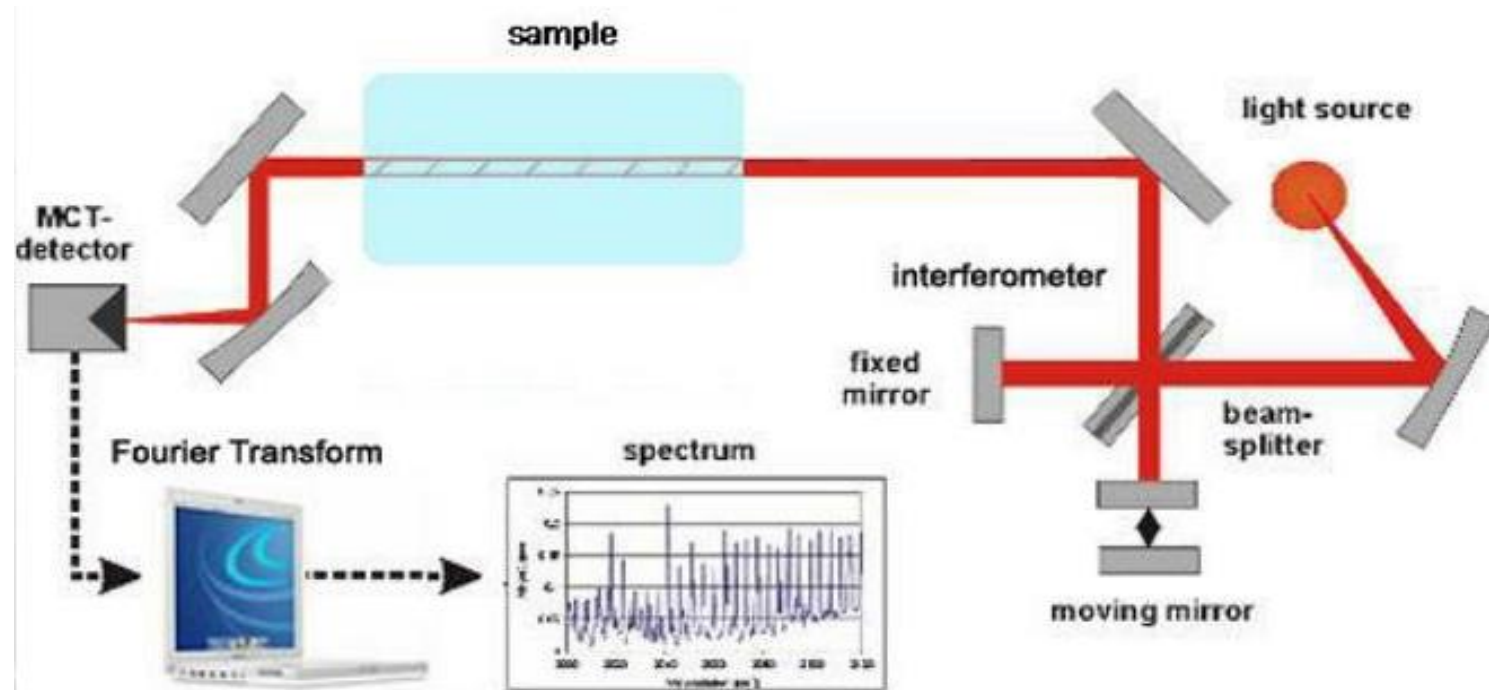
- A tendance à être moins sensible
- Précision compromise en présence de gaz interférents
- Certains modèles perdent en précision avec le temps (dérive)

Spectroscopie IR à transformée de Fourier



- La lumière d'une lampe à incandescence passe à travers un interféromètre, créant un "faisceau d'interférence" contenant une série de longueurs d'onde (harmoniques)
- Le faisceau d'interférence traverse l'échantillon de gaz et est focalisé sur un détecteur optique refroidi
- Le signal du détecteur est enregistré lorsque l'interféromètre est balayé mécaniquement pour créer une variété de faisceaux d'interférence (avec différentes harmoniques de longueur d'onde)
- Un calcul de transformée de Fourier reconstruit le spectre d'absorption IR du gaz

Spectroscopie IR à transformée de Fourier



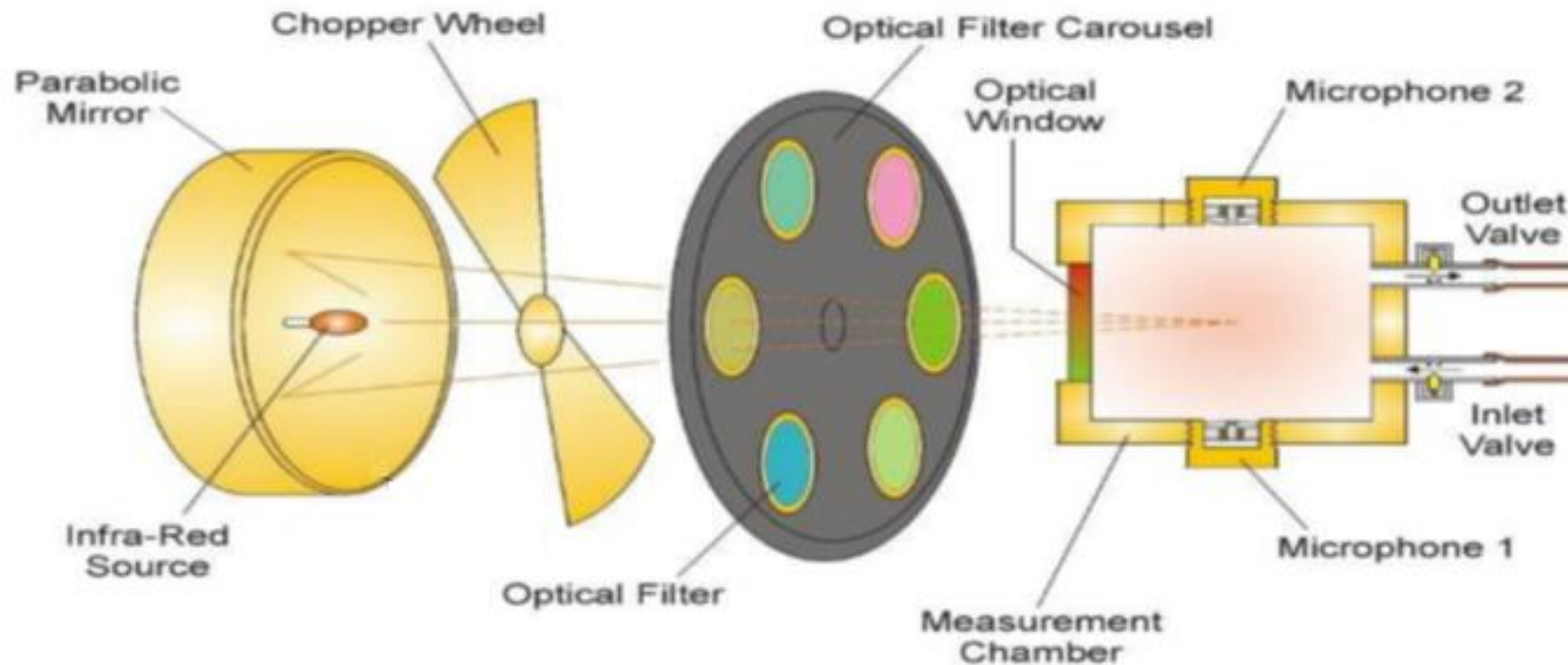
AVANTAGES

- Un spectre d'absorption IR plus complet est obtenu, ce qui aide à interpréter les signaux de gaz interférents lorsqu'ils sont présents

INCONVÉNIENTS

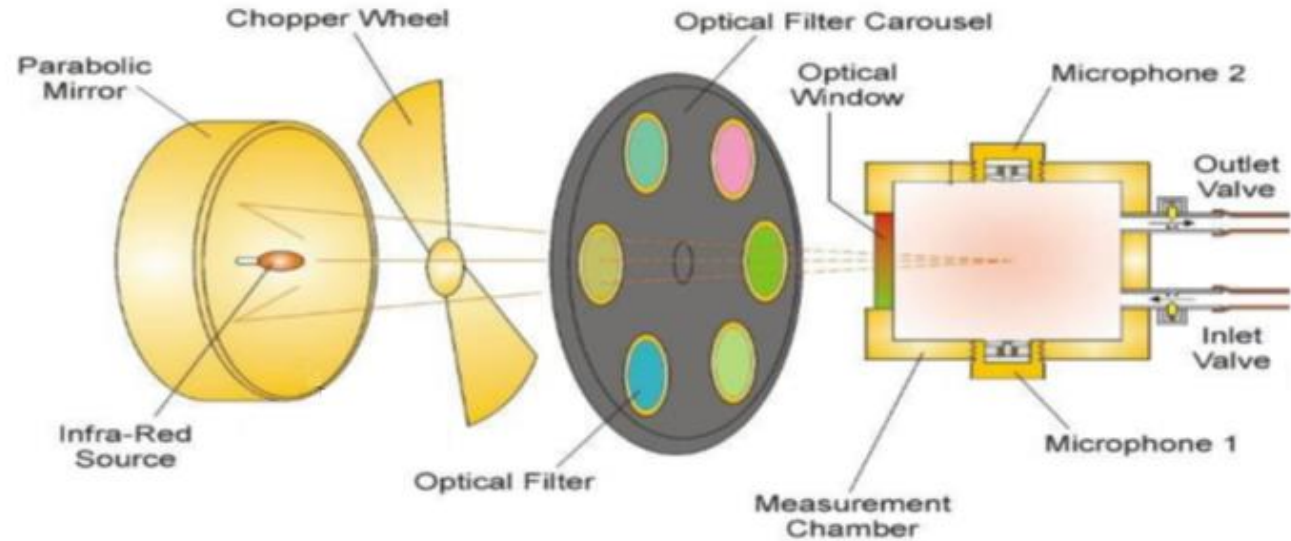
- Système optique très complexe et délicat

Spectroscopie IR photo-acoustique



- Filtres IR utilisés pour exciter principalement un gaz à la fois
- La lumière infrarouge est pulsée à une fréquence audio
- Lumière IR pulsée → absorption pulsée → chauffage du gaz pulsé → expansion pulsée → ondes sonores → signaux aux microphones
- La cellule à gaz peut être façonnée pour avoir une résonance acoustique à la fréquence de découpage (pour amplifier le signal du microphone)

Spectroscopie IR photo-acoustique



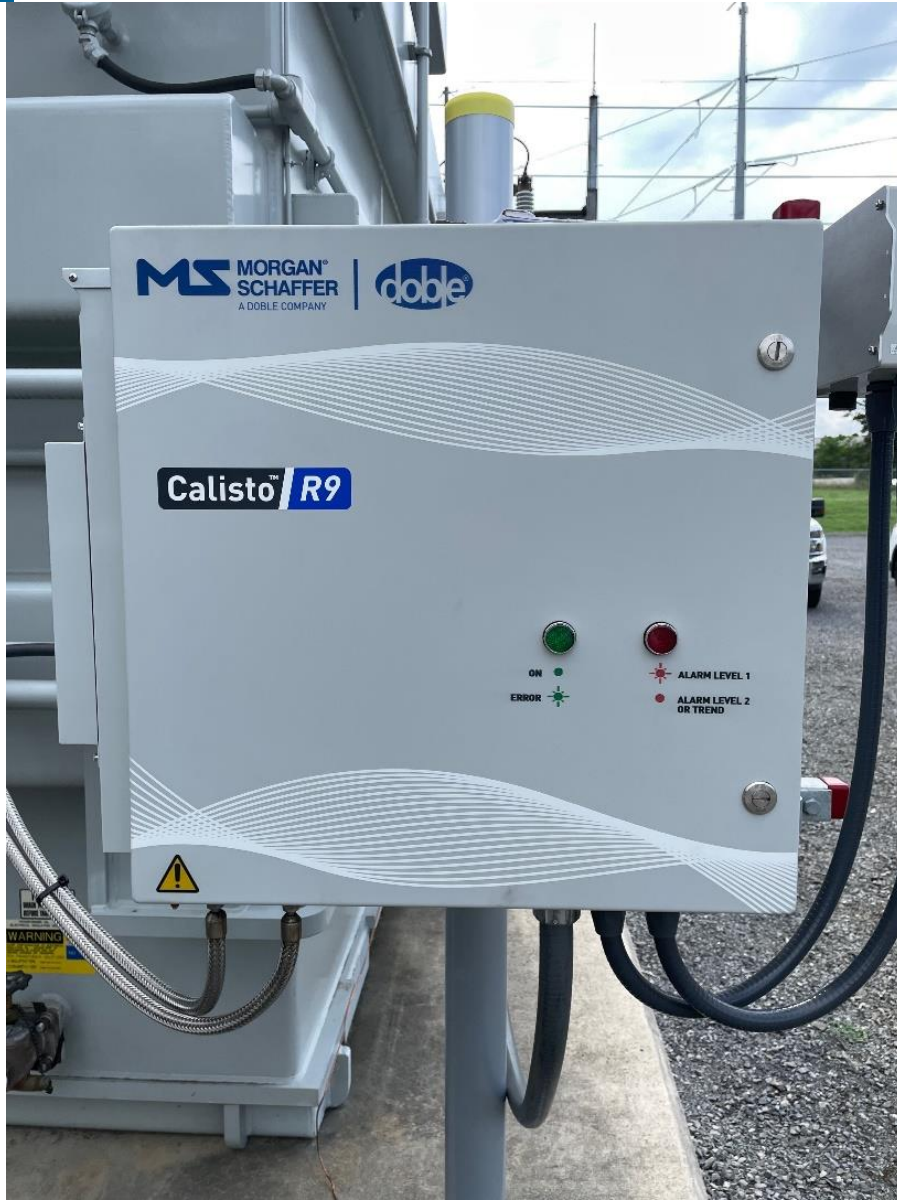
INCONVÉNIENTS

- La précision de certains modèles peut être compromise en présence de gaz interférents
- Certains modèles perdent en précision avec le temps (dérive)
- Certains modèles ont besoin d'un service majeur après environ 3-4 ans

AVANTAGES

- Méthode IR la plus sensible pour un parcours optique donné
- NOUVEAU! Un modèle dispose d'un calibrage automatique à l'aide de vapeur d'eau

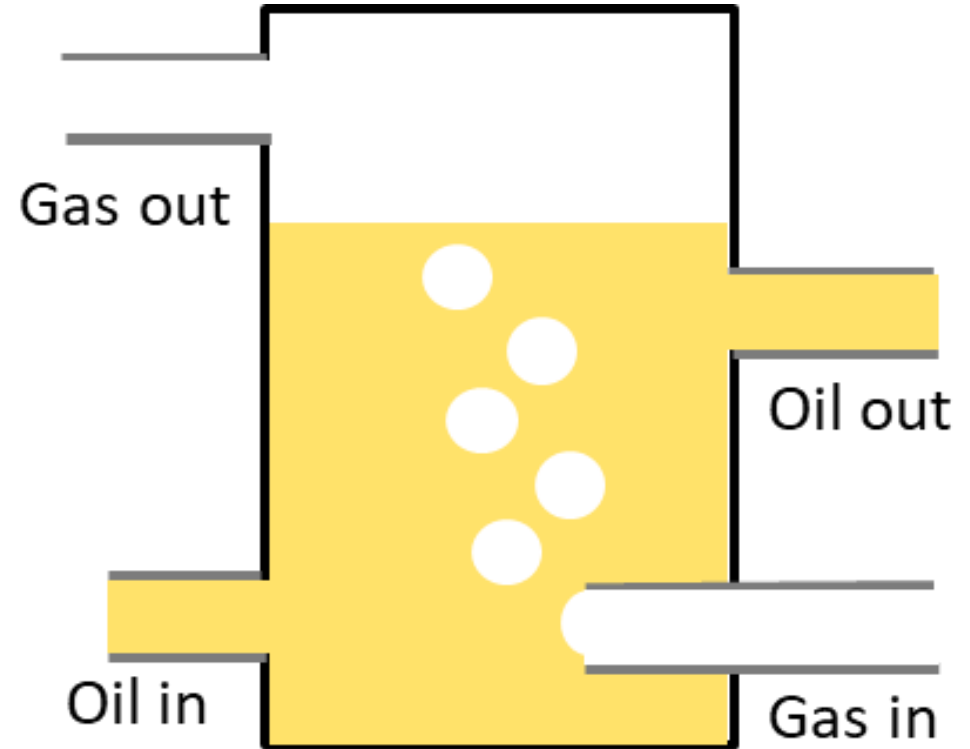
Présentation du Calisto R9



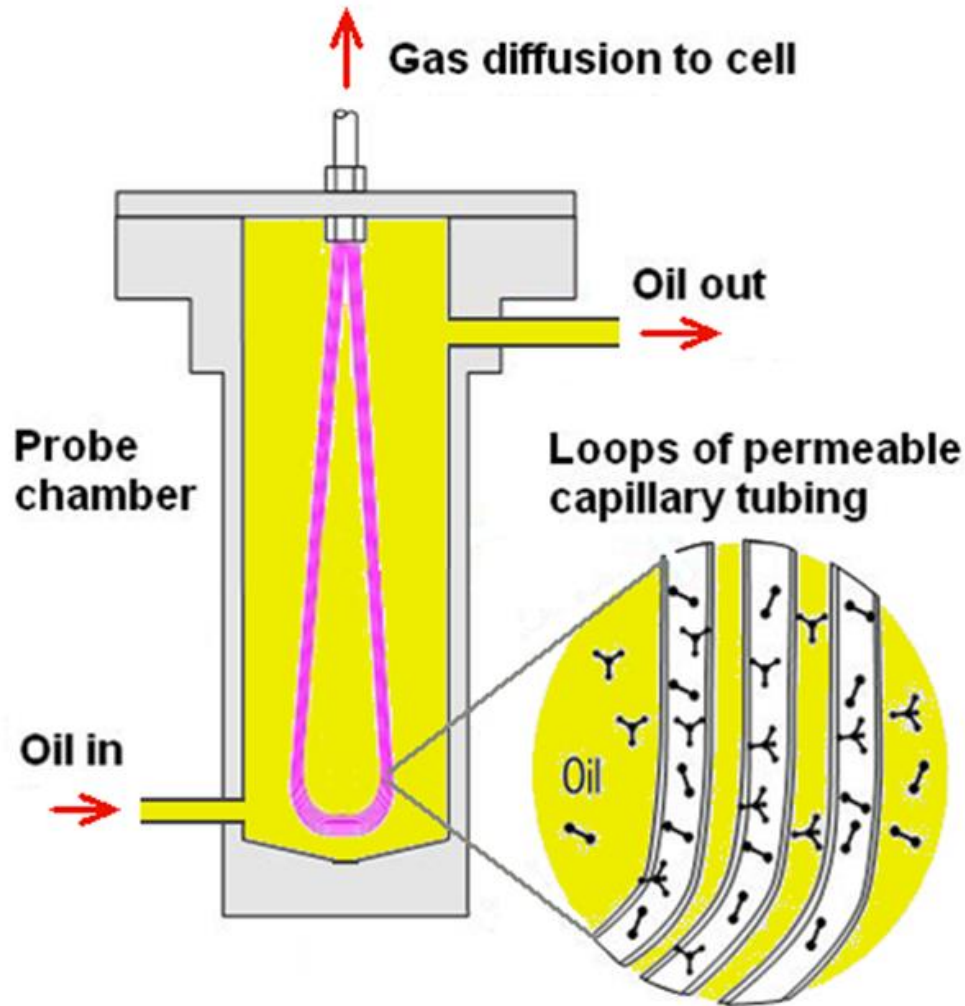
- Le meilleur des deux mondes:
 - Comme les autres moniteurs IR → facile à installer et à utiliser (pas de bouteilles de gaz)
 - Comme les moniteurs GC → se calibre pour rester précis tout au long de sa durée de vie
- Leaders pour la sensibilité et la précision parmi les moniteurs IR
- 3 brevets américains
- Nouvel électronique et nouveau logiciel
- Plus de 20 ans d'expérience Calisto® intégrée
- Essais approfondis sur le terrain et tests de conformité
- Assistance locale dans plus de 90 pays

Extraction de gaz - Espace de tête

- Accélération de l'extraction des gaz par agitation, barbotage ou vide partiel
- Une extraction précise nécessite un contrôle minutieux de
 - volume de gaz
 - volume de liquide
 - température
- **INCONVÉNIENTS:** Contamination par l'huile et les vapeurs d'huile du système de mesure de gaz

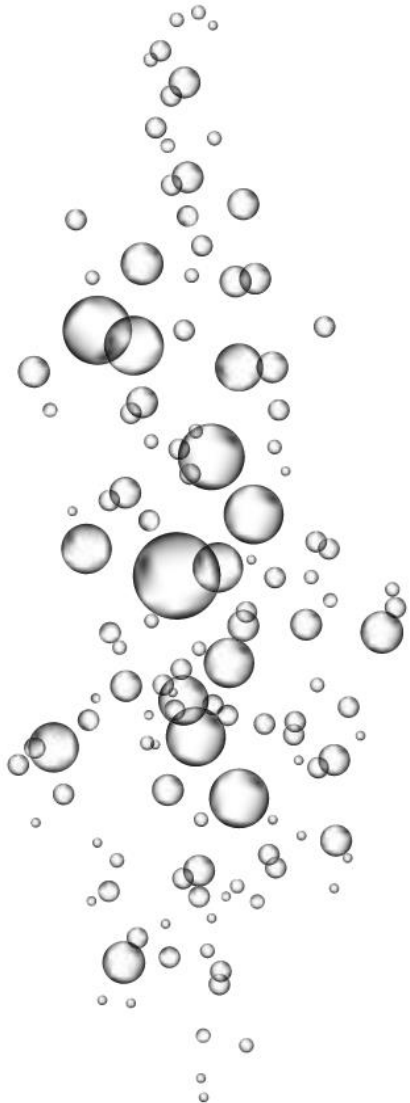


Extraction de gaz - Membrane



- Membrane = tube capillaire en Téflon® perméable aux gaz
- Aucune pièce mobile → fiable
- Volumes fixes de liquide et de gaz → extraction très reproductible
- Tolérance au vide pour l'assèchement du transformateur
- AVANTAGES: L'huile et les vapeurs d'huile ne peuvent pas pénétrer dans l'analyseur de gaz → Précision et fiabilité à long terme

Autres caractéristiques importantes du moniteur



- Régulation thermique de l'extracteur de gaz et de l'analyseur de gaz → précision et reproductibilité
- Surveillance du débit d'huile → échantillonnage d'huile représentatif → précision
- Piège à bulles → Installation facile, protège le transformateur

Important mais pas sur la fiche technique

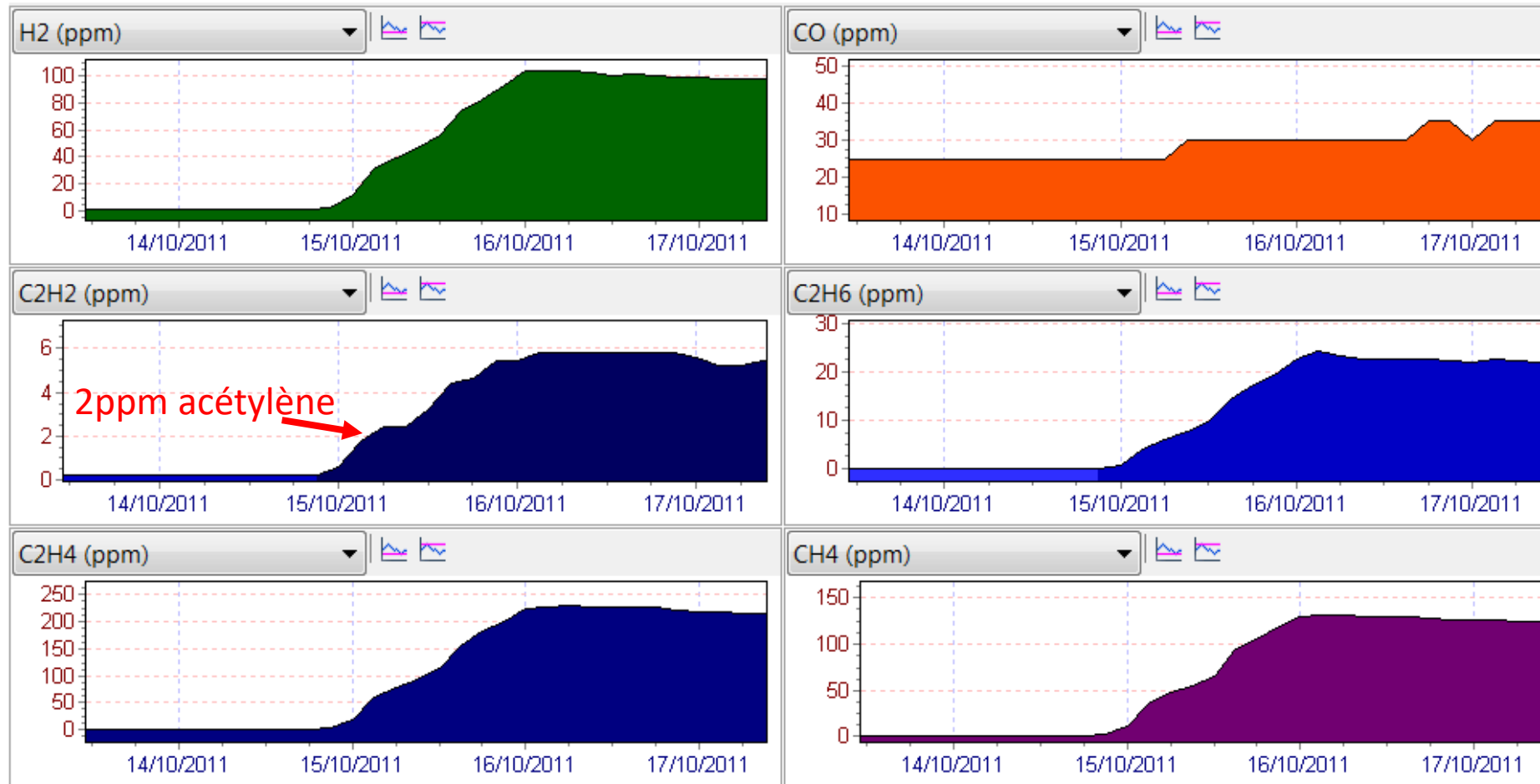
- Précision réelle
- Fiabilité
- Exigences de maintenance réelles
- Réactivité du fournisseur pour le support
- Relation à long terme avec le fournisseur



Comment savoir?

- Essais sur le terrain
- Parlez aux autres !

Multi-gaz sauve une unité de 900 MVA Unit



- Le moniteur GC a émis une alarme de défaillance (arcage) 6 heures après la mise sous tension du transformateur sur site
- Le transformateur a été renvoyé au fabricant sous garantie

Retour sur investissement

- Régler les niveaux d'alarme de gaz en fonction de l'historique de chaque transformateur
- Connecter les communications au moniteur !
- Pratiquer les plans d'action pour les alarmes de gaz
- Les moniteurs de détection de défaillances sont un très bon moyen de surveiller plus de transformateurs à moindre coût
- Moniteurs multigaz fiables pour les transformateurs critiques
- Suivre les consignes d'entretien
- Partenariat avec le fournisseur

Questions?

ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



MORGAN
SCHAFER



PHENIX
TECHNOLOGIES

TECHMP



Vanguard Instruments

Merci

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