

# Guide d'achat

## CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT

# Les mesures de poussières

▼ Parce qu'elles sont partout, il faut les mesurer partout : dans l'air ambiant à l'intérieur, à l'extérieur, dans les salles blanches, à la sortie des filtres, en haut des cheminées, sur la surface des murs ou des microcomposants... Environnement, hygiène, sécurité obligent, la chasse aux poussières n'en finit pas. Voici un petit tour d'horizon des techniques et des équipements de mesure qui varient selon les applications : méthodes optiques, tribo-électriques, jauges bêta, mesures gravimétriques, compteurs de particules... Chacune trouve sa place.



Ecomesure (ThermoFisher) commercialise une microbalance permettant une mesure en continu des émissions de particules. Pour le contrôle des process industriels ou la validation des niveaux d'émissions de particules.

**O**bjets à mesurer : particules solides dans un flux de gaz ou d'air. Tout est dit. De la poussière, il y en a partout. Elle s'échappe des conduites des cheminées, des voitures, de tous les équipements motorisés. Elle se répand dans l'air ambiant, se dilue, voyage poussée par le vent, s'insinue dans les maisons. Dans tous les procédés industriels, elle est là, prête à boucher un filtre, encrasser un rouage, bloquer n'importe quel clapet. A son poste de travail, l'opérateur en inhale à longueur de journée. Plus ou moins fine ; la poussière s'insinue jusqu'aux bronchioles puis aux alvéoles pulmonaires. On en connaît les conséquences : toutes les maladies respiratoires...

### L'essentiel

- Les mesures de poussières couvrent différents types d'applications avec des plages de mesure très différentes.
- Pour répondre à ces différents besoins, il existe différents principes de mesure : gravimétrique, optique, tribo-électrique, jauge bêta...
- La sonde tribo-électrique et la sonde optique se partagent le marché du contrôle à l'émission.
- Dans les salles blanches ou pour le contrôle de la qualité de l'air intérieur, les équipements, souvent portables, apportent aussi des informations sur la taille des particules.

Polluant comme un autre, la poussière est de plus en plus surveillée dans des cadres de plus en plus réglementés et ceci aux différentes étapes de ses longs voyages : contrôle à l'émission au niveau des sites industriels, contrôle à l'air ambiant par les Réseaux de la Qualité de l'Air, contrôle de la qualité de l'air intérieur dans le cadre de la sécurité du travail ou de l'hygiène des bâtiments, contrôle des salles blanches pour les procédés de la microélectronique ou de l'industrie pharmaceutique...

D'application en application, les plages de mesure doivent faire le grand écart. On passe de fortes concentrations à la sortie des cheminées à des teneurs beaucoup plus diluées dans l'air ambiant. Pour la surveillance de l'ultrapropreté des salles blanches, les concentrations recherchées sont si basses qu'on ne parle plus de concentrations massiques mais de nombre de particules par mètre cube. Pour répondre à des besoins si différents, les principes de mesure ne sont pas les mêmes. A chaque application, sa ou ses techniques.

### Pesée et jauge bêta, deux méthodes normalisées

La pesée est la plus ancienne. Et avec la précision d'une balance, la méthode gravimétrique est donc la méthode de réf-

rence. On prélève pendant un certain temps un échantillon d'air, de gaz ou de fumée. La poussière se dépose sur un filtre. Si l'on n'a pas oublié au préalable de tarer le filtre, il suffit ainsi juste de peser le filtre empoussiéré et de faire la différence. La méthode de prélèvement et la méthode de pesée sont normalisées (NF 13284, NF X44052). C'est donc la méthode de prédilection pour les laboratoires de contrôle qui doivent notamment effectuer des campagnes de mesure auprès des sites industriels. Cette méthode a également ses adeptes pour la mesure de l'air ambiant par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Le plus délicat est finalement le choix du lieu où le prélèvement est fait ; au milieu de la place de la Concorde à Paris, ou en pleine nature, loin de toute pollution. Il faut aussi que l'opérateur puisse de temps en temps venir changer les filtres. Les fabricants, pour éviter des déplacements trop fréquents, ont développé des systèmes plus ou moins automatisés pouvant assurer le changement des filtres et même la pesée (la méthode automatisée est, elle aussi, normalisée). La société ThermoFisher (commercialisée par Ecomesure) a développé récemment une microbalance oscillante, permettant une mesure par pesée continue et en temps réel.

Elle est chauffée pour ne rien perdre des conditions du process.

L'avantage d'une mesure par pesée est de pouvoir couvrir des faibles ou des très larges concentrations, puisque l'on peut adapter le temps de dépôt sur un même filtre (2 heures, 24 heures...).

Il existe une autre méthode normalisée : la jauge bêta (NF X43-017). Elle aussi est extractive et nécessite un prélèvement sur un filtre. Au terme du prélèvement, le filtre empoussiéré, au lieu d'être pesé, est exposé à un rayonnement bêta pour une durée prédéfinie. La quantité de rayonnement bêta absorbée est directement proportionnelle à la masse. Cette méthode s'applique à la détermination de concentrations, comprises entre le microgramme et quelques milligrammes par mètre cube. Elle peut trouver sa place aussi bien au niveau des réseaux de surveillance de la qualité de l'air ambiant ou pour certaines applications industrielles. Elle reste cependant lourde à mettre en œuvre et nécessite l'utilisation d'une source radioactive. La jauge bêta n'a donc pas toujours une bonne image, du moins en France. Mais sa fiabilité est sans équivalent.

## Optiques et tribo-électriques, autour de la cheminée

Que ce soit pour les mesures à l'émission ou pour les mesures dans les process industriels, on retrouve deux grands principes : les mesures optiques et les sondes tribo-électriques.

La plus traditionnelle est la **mesure optique** par transmission. Plus il y a de particules dans une conduite, plus l'atténuation d'un faisceau de lumière qui la traverse est élevée. C'est pourquoi on parle aussi d'opacimètre. La nuance entre un analyseur de poussière par transmission optique et un opacimètre est plutôt commer-

### Quelques normes

- ▶ NF EN 13284-1 – Détermination de la faible concentration en masse de poussières – méthode gravimétrique manuelle.
- ▶ NF X44-052 – Détermination des fortes concentrations massiques de poussières – méthode gravimétrique manuelle.
- ▶ NF EN 13284-2 – Détermination de faibles concentrations en masse de poussières – systèmes automatiques de mesure.
- ▶ NF X43-017 (ou ISO 10473) – Mesures de la concentration des matières en suspension dans l'air ambiant – méthodes par absorption de rayons bêta.
- ▶ NF EN 14181, QAL1 – Assurance Qualité des systèmes automatiques de mesure.
- ▶ NF ISO 7708 – Définition des fractions de particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé.

ciale. Elle vient surtout de la manière dont le résultat de mesure est exprimé : en pourcentage de lumière transmise pour un opacimètre, ou en concentration de poussières ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour un analyseur.

Ces analyseurs ont très bien convenu lorsque, il y a quelques années déjà, les premières mesures de poussières in situ étaient réalisées et que les concentrations, faute de traitement efficaces des fumées, restaient élevées. « Il n'était pas rare de flirter avec les  $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ , souligne Gilles Gonnet, responsable produit chez Ecomesure. Aujourd'hui, réglementations obligent, les taux rejetés sont plutôt de l'ordre de  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ . » Ceci a donc impliqué un changement de technologie. Toujours par principe optique, les sondes travaillent désormais par diffusion d'un faisceau laser. Lorsque ce dernier ren-



Mesures optiques par transmission : surtout pour les fortes concentrations  
Par diffusion de la lumière, la sonde optique répond aux plus faibles concentrations  
d'émission exigées par les réglementations

## Principes en bref

### Mesure optique par transmission

Si un faisceau lumineux traverse un milieu gazeux avec des particules en suspension, ces dernières l'atténuent par absorption et diffusion. Plus il y a de particules en suspension, plus l'atténuation est élevée. La comparaison de l'intensité lumineuse transmise avec celle émise permet de déterminer la transmission avec précision. En transformant la transmission en extinction (la grandeur inverse) et au moyen d'un étalonnage gravimétrique on obtient un résultat en  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

### Mesure optique par diffusion

Un émetteur optique génère un faisceau que les particules en suspension dispersent par réflexion et un détecteur sensible mesure la lumière ainsi diffusée. Le

principe de diffusion permet la mesure sur des gaz faiblement chargés – même à moins de  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ . La comparaison avec une mesure gravimétrique de référence établit la relation entre l'affichage et la concentration en poussière. Il y a deux méthodes de mesure de la lumière diffusée: par rétro diffusion et par diffusion directe.

### Tribo-électricité

Dès que des particules de poussières chargées et en mouvement frappent ou passent à portée de la sonde du capteur, un transfert de charge électrique se produit. Le signal est directement proportionnel à la concentration en particules. Pour être mesurables, ces petits signaux sont ensuite amplifiés au niveau de l'électronique.

### Jauge bêta

La jauge bêta détermine la concentration en particules par la mesure de la quantité d'énergie absorbée par l'échantillon exposé à une source radioactive. Les rayons bêta de faible énergie sont absorbés par collision avec les électrons, dont le nombre est proportionnel à la densité. L'absorption est ainsi fonction de la masse de matière traversée par les rayons, indépendamment de la nature physico-chimique de celle-ci. Au terme du prélèvement, le filtre empoussiéré est exposé au rayonnement bêta pour une durée prédéfinie. Il s'agit d'une mesure massique qui s'affranchit de la couleur et de la granulométrie des particules. Cette méthode de mesure massique normalisée (NF X43-017) n'est influencée ni par la nature physico-chimique des particules ni par leur couleur ou leur forme.

→ contre des particules, une partie diffuse dans tous les sens. La quantité de lumière diffusée est proportionnelle à la quantité de particules. Ce principe permet donc de descendre plus bas, en terme de plage de mesure. Avec une seule sonde émetteur/récepteur, elle permet aussi de ne faire qu'un seul trou dans la conduite. La méthode par diffusion supplante dans un grand nombre de cas la mesure optique par transmission. Cette dernière nécessite de faire deux trous dans la conduite, de s'assurer qu'ils sont parfaitement alignés. La cheminée, avec le temps, travaille et

peut modifier l'axe d'alignement. « La méthode par transmission résiste essentiellement pour les fortes concentrations », précise Marine Coisy, responsable Marché Combustion Emission chez Arelco.

Face à l'optique, il y a une autre technique: la **tribo-électricité**. « C'est une méthode complètement empirique mais qui marche », souligne M. Gonnet (Ecomsure). Elle s'appuie sur le fait que les particules sont plus ou moins chargées en électricité statique. Lorsque celles-ci touchent ou s'approchent de la sonde, un barreau métallique, elles créent un effet de champ et modifient

la charge électrique du barreau. Le signal est directement proportionnel à la concentration en particules.

Une sonde, un seul piquage: les sondes tribo-électriques, par leur facilité à s'installer, ont connu un succès assez rapide. Le prix a aussi été un élément déterminant: 30 à 40 % moins élevés que celui d'une sonde optique. On trouve sur le marché des sondes tribo-électriques à moins de 2 000 euros. Une sonde optique à niveau de gamme équivalent reste encore aux alentours des 3 000 euros. Mais l'écart a aujourd'hui tendance à se resserrer.

La jauge bêta s'affranchit de la forme, de la taille, de la couleur, de la nature des particules



Environnement SA

Sonde de prélèvement pour mesure gravimétrique: manuelle ou automatique, la méthode est normalisée.



Sick Maihak



Sick Maihak

Les méthodes optiques s'adaptent aux conditions difficiles des processus: température, voie saturée en eau...

Beaucoup de fournisseurs se sont donc orientés vers la technologie tribo-électrique. Mathieu Dumas, responsable produit chez Sick Maihak, défend, pour sa part, les mesures optiques : « La tribologie n'est pas adaptée à la mesure en continu à l'émission pour des très faibles concentrations en poussières, et elle ne peut répondre aux seuils réglementaires auxquels certaines industries sont assujetties. »

D'autres argumentent sur le colmatage des sondes tribo-électriques, qui modifie leur comportement électrique. Pour s'affranchir de ce phénomène, le fabricant PCME (distribué par Arelco) utilise une sonde électrodynamique. Le principe est similaire, si ce n'est que la mesure se fait sans contact. Le signal alternatif pris en compte ne provient que des particules qui passent à proximité de la sonde, sans la toucher. Mais la tribo-électricité a aussi des limites. Elle ne peut pas être utilisée derrière un électrofiltre, puisque ce dernier modifie les charges des particules. Elle n'aime pas non plus trop l'eau. Au-delà de 80 % d'humidité relative, elle ne "voit" plus rien. Ceci pouvait être rédhibitoire il y a quel-

## En fonction des applications

Applications	Taille des particules	Concentration des particules
Banc d'essai (automobile)	De l'ordre du nm	0,1 à 5 g/m <sup>3</sup>
Salles blanches	0,1 à 10 µm	De 1 particule/m <sup>3</sup> à plusieurs millions de particules/m <sup>3</sup>
Air ambiant	Quelques µm à 10 µm	Quelques centaines de µg
Emission (cheminées)	Jusqu'à 50 à 100 µm	0 à 50 mg/m <sup>3</sup>

Pour avoir une idée, la limite de détection de l'œil se situe aux alentours de 50 µm, ce qui représente peu ou prou le diamètre d'un cheveu.

ques années, lorsque le traitement des fumées, notamment pour les incinérateurs, se faisait par voie humide. La cheminée était alors saturée en eau. Dans ce cas-là, ni les sondes tribo-électriques, ni les sondes optiques ne peuvent réellement distinguer une poussière d'une goutte d'eau. Actuellement, beaucoup de sites d'incinération ont mis en place des traitements de fumées Denox, sans eau, plus efficaces et qui éliminent ces contraintes d'humidité. Ceci étant, si l'humidité reste toujours trop forte, il est possible de tra-

vailer en mode extractif (et ceci aussi bien pour les sondes optiques que les sondes tribo-électriques).

### Air intérieur et salles blanches, on compte

Parmi les autres applications de mesure de poussières, il y a celle de l'ultrapropreté. Là où une poussière rend inutilisable un wafer, là où une préparation pharmaceutique ne peut tolérer la moindre particule. Pour ces applications "salles blanches", il n'existe qu'une seule technique : le →

## OFFRE DES FOURNISSEURS\*

Fournisseurs (fabricants)	Marchés - Applications	Principe de mesure	Plages de mesure	Observations
Aloatec	Pollution de l'air, surveillance de sites industriels	Mesure horaire de dépôt par diffraction laser à faible angle		Versions fixes, portables - Affichage en nombre de particules ou en masse - Sélection des fractions TSP, MP10, PM2,5, PM1
Arelco (PCME)	Process, Emission Surveillance de filtre	Détection ou mesure par principe électrodynamique	0,1 à 1 000 mg/m <sup>3</sup> 0,02 à 10 000 mg/m <sup>3</sup>	Détection avec seuils d'alarme Agréé EN14181 sur l'échelle de mesure 0 - 15 mg/m <sup>3</sup>
Arelco (PCME)	Process, Emission	Mesure optique par diffusion de lumière laser	10 000 à 20 000 mg/m <sup>3</sup>	Agréé EN14181 sur l'échelle de mesure 0 - 15 mg/m <sup>3</sup> Auto contrôle (zéro, gain, dérive) sans mouvement du détecteur
Arelco (PCME)	Process, Emission	Opacimètre dynamique	10 000 à 20 000 mg/m <sup>3</sup>	
Arelco (Tecora)	Air ambiant	Sondes de prélèvement pour mesures sur filtres ultérieures		Portable, débit constant - Différents types de tête (ex : PM10, PM2.5) - Prélèvement séquentiel - Changement de filtre automatique - Modèle isocinétique pour laboratoires Cofrac
Ar Sefram	Process, surveillance de filtres	Tribo-électricité	0,1 mg/m <sup>3</sup> à 1 g/m <sup>3</sup>	Homologué Atex (base hors zone)
Ecomsure (ThermoFisher)	Emission automobile, laboratoire	Microbalance chauffée à élément oscillant	0,1 à 5 g/m <sup>3</sup>	Mesure absolue en temps réel sans étalonnage de référence
	Process, Emission	Mesure de masse temps réel	très faibles concentrations	Mesures automatisées Ajustement automatique des conditions d'isocinétisme
	Air ambiant Air intérieur	Mesure de masse en temps réel	0,1 µg/m <sup>3</sup> à plusieurs centaines de mg/m <sup>3</sup>	Corrélation avec les mesures réglementaires par pesées manuelles
Environnement SA	Air ambiant Qualité de l'air intérieur	Jauge bêta par échantillonnage	0-100 à 0-10 000 µg/m <sup>3</sup>	Source C14 plane, scellée, de très faible activité Têtes de prélèvement interchangeable TSP, PM10, PM2.5, PM1
	Air à l'émission	Jauge bêta par échantillonnage	2 000 à 4 000 mg/m <sup>3</sup>	Conforme à la norme EN 13284-2. - Certifié QAL1 - Échantillonnage isocinétique
Intertek-ics (TSI)	Air intérieur Air ambiant	Diffusion de la lumière avec prélèvement	0,1 à 100 mg/m <sup>3</sup>	Fractionnement des particules PM1, MP2,5, PM10 - Enregistrement des données en temps réel
Intertek-ics (Grimm)	Air intérieur Air ambiant	Diffraction de la lumière	0,1 à 100 mg/m <sup>3</sup>	Mesure en temps réel et collecte des particules mesurées sur un filtre
Kinso	Process Emission	Mesure optique par transmission	0 à 1 000 mg/m <sup>3</sup> - 0 à 100 %	Principe du double trajet d'un faisceau émis par une diode
Durag	Emission (petites cheminées), contrôle filtres	Mesure optique par transmission/opacimètre	0 000 à 4 000 mg/m <sup>3</sup> 0 à 100 %	Diode SWBD - Version antidéflagrante Option process jusqu'à 1 000 °C
	Emission (petites cheminées), filtres	Mesure optique par rétro diffusion	0-1 à 0-30 mg/m <sup>3</sup> (option 300 mg/m <sup>3</sup> )	Option process jusqu'à 500 °C agréé Tüv, Mcert
		Mesure optique par diffusion avant	0-10 à 0-200 mg/m <sup>3</sup>	Option process jusqu'à 200 °C
	Process, contrôle des filtres	Tribo-électricité	0-10 à 0-500 mg/m <sup>3</sup>	Mesure simple ou combinée (température, pression, débit volumétrique)
	Air ambiant, Contrôle de sites industriels	Jauge bêta par échantillonnage	0-1 à 0-1 000 mg/m <sup>3</sup> 0-0,1 à 0-10 mg/m <sup>3</sup>	Dans les fumées humides au-dessous du point de rosée Mesures en continu de poussières fines
Sick Maihak	Process, Emission	Mesure optique par rétro diffusion de lumière	0-0,5 à 0 - 200 mg/m <sup>3</sup>	Mesure jusqu'à 500 °C - Pour des fumées au-dessus du point de rosée - Conforme à la NF EN 14181, QAL1
		Mesure optique par diffusion directe de lumière	0-5 à 0 - 200 mg/m <sup>3</sup>	Surveillance de filtres à manche - Mesure jusqu'à 400 °C, Version ATEX - Conforme à la NF EN 14181, QAL1
		Mesure optique par diffusion directe de lumière en voie humide	0-5 à 0 - 200 mg/m <sup>3</sup>	Conforme à la NF EN 14181, QAL1 - Voie humide et saturée en eau - Mesure en dessous du point de rosée
	Emission, Laboratoire	Mesure isocinétique par gravimétrie Conforme à NFX44-052	Plage adaptable pour fortes et faibles concentrations	Système mobile de mesure - Certifié TUV, EPA, GOST Contrôle réglementaire
Sistec (Sintrol)	Process, émission Surveillance de filtres	Détection ou mesure Tribo-électricité	0-0,1 mg/m <sup>3</sup> à 0-1 kg/m <sup>3</sup>	Échantillonnage isocinétique conforme aux prescriptions des normes NF-X 44052 et ISO 9096
Sistec (Neo Monitors)	Process, Emission	Mesure optique par diffusion laser + Opacité	0-25... 10 000 mg/m <sup>3</sup>	Version Atex, IP66 - Certificat TüV (QAL1, QAL2) - Contrôle réglementaire
Sistec Neo Monitors	Air ambiant	Mesure optique par absorption laser (trajet ouvert)	0 - 1 000 mg/m <sup>3</sup> (selon trajet optique)	Version Atex, IP65, - Certificat TüV (QAL1, QAL2) - Mesure en ambiance sur site - Emissions diffuses
SWR Engineering Messtechnik	Process, émission surveillance de filtres	Tribo-électricité	à partir de 0,1 mg/m <sup>3</sup>	Tailles de particules : à partir de 0,3 µm - Version Ate - Sonde de 70 à 220 mm

\*Liste non exhaustive

## Fournisseurs de compteurs de particules \*

Clean Air Europe (marque distribuée: MetOne),  
Ecomesure (marque distribuée: Lighthouse),  
Hach Ultra Analytics,  
Intertek-ics (marques distribuées: Climet, Grimm, TSI),  
PMT (marque distribuée: Particule Measuring Systems)

\*Liste non exhaustive

→ comptage par diode laser. Il s'agit toujours d'une méthode optique, mais ce n'est pas la même méthode, ni le même résultat. Ici, on compte chaque fois qu'une poussière traverse un faisceau laser. En faisant toujours l'hypothèse qu'il ne passe qu'une seule particule à la fois. Il faut dire qu'on se situe dans des gammes à partir d'une particule par mètre cube.

Il existe des équipements portables pour valider ponctuellement des zones dans le cadre réglementaire, notamment dans l'industrie pharmaceutique. Il existe également des systèmes de mesure fixe et en continu; installés en différents



Pour le contrôle des salles blanches ou de l'air intérieur, les compteurs optiques peuvent aussi distinguer la taille des particules.

points d'un laboratoire. On trouve même des compteurs installés au niveau même des postes de conditionnement, pour contrôler en temps réel qu'aucune poussière ne tombe dans le flacon, l'ampoule, le blister...

Moins sensible en matière de seuil de détection et de risque industriel, le comptage de poussières pour la qualité de l'air intérieur est néanmoins de plus en plus à la mode: postes de travail, hôpitaux, édifices publics. On sait maintenant que c'est l'air intérieur qui est le plus pollué. Pour ce marché, des équipements ont été développés, à mi-chemin entre le compteur de particules et l'opacimètre. Ce sont pour la plupart des équipements portables pour des mesures ponctuelles.

Pour cette application qui touche avant tout la protection sanitaire des individus, la taille des particules compte autant que la concentration. Mieux vaut une forte concentration de grosses particules qui ne franchiront jamais les parois nasales qu'une faible concentration de fines particules facilement inhalables. Les équipements peuvent être alors équipés d'impacteurs qui frac-



SWR Engineering

Le principe basé sur la tribo-électricité a fait ses preuves pour les mesures en process ou à l'émission. Autres arguments, son prix et sa facilité de montage

tionnent les particules en fonction de leur taille.

Nul doute que les choses ne vont pas rester là. Le contrôle de la qualité de l'air s'intéressera de plus en plus aux particules ultrafines (inférieures à 100 nm) et à leurs nocivités. Dans ce contexte, les mesures de concentration de particules devront être de plus en plus souvent associées à une granulométrie. L'étude des poussières de PM10, PM2,5 (particules de diamètre inférieur à 10 ou 2,5 µm) paraîtront vite comme un paramètre grossier. Certains équipements abordent déjà le PM1. Pour descendre encore plus bas, il faudra alors peut-être d'autres technologies.

Marie-Pierre Vivarat-Perrin

## COMPARAISON DES TECHNIQUES DE MESURE

Les principes de mesure	Les plages de mesure*	Extractif	In situ	Avantages	Inconvénients	Applications
Mesures gravimétriques	Faibles et fortes concentrations (dépend de la plage horaire du dépôt sur filtre)	●		Mesure de référence, normalisée NF 13284 - NF X44-052, la plus précise	Dépôts préalables sur filtres Méthode manuelle ou automatisée Mise en œuvre plus ou moins facile	Air ambiant, Emission, Laboratoire, Contrôle réglementaire
Jauges bêta	1 µg/m à plusieurs mg/m <sup>3</sup> (dépend de la plage horaire du dépôt sur filtre)	●		Mesure normalisée NF X43-017 ISO 10473 : 2 000 non influencée par la nature la couleur ou la forme des particules	Utilisation d'une source radioactive	Air ambiant, Emission
Mesures optiques par transmission	10 à 1 000 mg/m <sup>3</sup>		●	Pour les fortes concentrations, facilité de maintenance	Nécessite deux trous dans la conduite - Précaution à prendre pour l'alignement du trajet	Mesures à l'émission, Process
Mesures optiques par diffusion	0,1 à 300 mg/m <sup>3</sup>		●	1 seul trou dans la conduite, facilité d'installation et de maintenance	Ne convient pas aux fortes concentrations	Mesures à l'émission, Process
Mesures par tribo-électricité	0,1 à 100 mg/m <sup>3</sup>		●	1 seul trou dans la conduite, grande facilité d'installation	Risque de colmatage de la sonde Manque de précision pour les faibles concentrations	Mesures à l'émission, Process

\*Valeurs indicatives pouvant varier selon les gammes et les fournisseurs