

Mesure du CO₂ dans les incubateurs – Questions et réponses



Questions fréquentes

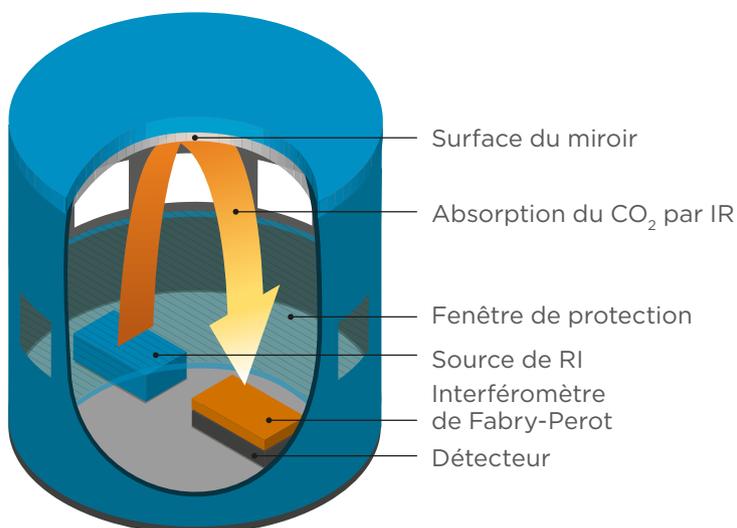
1. Comment fonctionne le capteur CARBOCAP® mono-faisceau à double longueur d'onde NDIR (absorption non dispersive dans l'infrarouge) ?
2. En quoi la température et la pression influent-elles sur la mesure du CO₂ ?
3. Comment est-il possible de corriger les erreurs de température et de pression en utilisant les produits CO₂ de Vaisala ?
4. Comment peut-on éviter la condensation lors du prélèvement d'échantillons d'un incubateur ?
5. Pourquoi la valeur de la concentration de CO₂ est-elle plus élevée que prévu lorsque le prélèvement est effectué selon la méthode du pompage avec tubulure séchante ?

Ce document a pour but de répondre aux questions les plus fréquemment posées sur les mesures et les produits liés au CO₂.

1. Comment fonctionne le capteur CARBOCAP® mono-faisceau à double longueur d'onde NDIR (absorption non dispersive dans l'infrarouge) ?

Le capteur Vaisala CARBOCAP® comporte trois composants principaux : une source lumineuse, un interféromètre et un détecteur à infrarouge. La source lumineuse est positionnée pour briller sur le détecteur à infrarouge, de manière à ce que la lumière effectue un trajet de longueur fixe vers le détecteur, où son intensité est mesurée.

Un interféromètre de Fabry-Pérot (FPI) est positionné juste en face du détecteur à infrarouge. Le FPI est un filtre à accord variable qui ne laisse passer que certaines longueurs d'onde de la lumière jusqu'au détecteur.



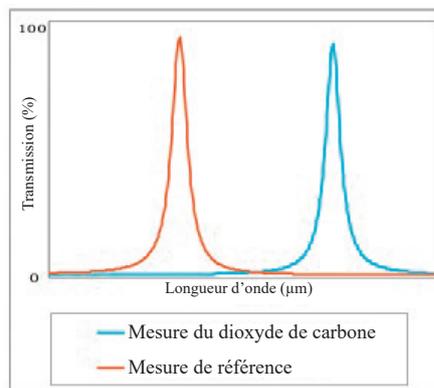
À la longueur d'onde d'absorption du CO₂, la lumière est absorbée par le dioxyde de carbone présent dans le gaz. Le FPI élimine toutes les autres longueurs d'onde, de sorte que l'intensité de la lumière atteignant le détecteur à infrarouge varie en fonction de la quantité de CO₂ dans le capteur.

Le dioxyde de carbone absorbe uniquement certaines longueurs d'onde de la lumière : le FPI est donc conçu pour laisser passer la lumière à une longueur d'onde d'absorption du CO₂ (4,26 µm) et une longueur d'onde voisine non-absorbante. Voir l'illustration à droite.

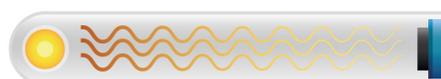
Lorsque le capteur fonctionne, le FPI est régulièrement accordé sur l'une et l'autre des deux longueurs d'onde. À la longueur d'onde d'absorption du CO₂, l'intensité de la lumière détectée est réduite proportionnellement à la concentration de CO₂ dans le chemin optique. L'intensité lumineuse mesurée à la longueur d'onde non-absorbante sert de référence pour la comparaison.

Lorsque la concentration de CO₂ varie, il en va de même pour la différence dans l'intensité lumineuse. La relation exacte entre l'intensité lumineuse infrarouge et la concentration volumique du CO₂ est déterminée lorsque l'instrument est étalonné à l'aide d'azote pur (0 ppm de CO₂) et d'une concentration connue de CO₂.

La conception des capteurs CARBOCAP® est simple et robuste, en ne faisant appel qu'à une seule source lumineuse et à un détecteur à infrarouge. Ceci élimine les erreurs causées par de légères différences dans plusieurs composants des modèles de capteurs bi-faisceaux. Le FPI utilisé dans le capteur CARBOCAP® est micro-usiné à partir de silicium et n'a pas de pièces mobiles, fournissant une fiabilité bien plus élevée que les



Le capteur CARBOCAP® est utilisé pour la mesure de référence et la mesure de l'absorption.



Le FPI est accordé sur une longueur d'onde de référence non-absorbante proche, à laquelle le détecteur à infrarouge mesure la pleine intensité de la lumière, créant ainsi un niveau de référence pour la comparaison. Tout changement dans le fonctionnement de la source lumineuse, du FPI ou du détecteur à infrarouge affecte les deux mesures de manière égale, en préservant la différence entre les deux mesures et donc l'étalonnage du capteur. Cela est décisif pour la stabilité du capteur à long terme.

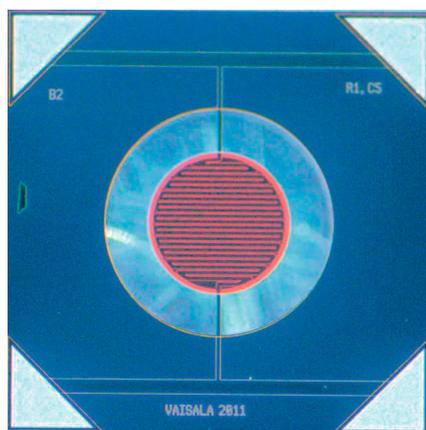
conceptions mécaniques à « roues à pales ».

Le capteur CARBOCAP intègre également la source lumineuse infrarouge (IR) de dernière génération avec le Microglow. La technologie Microglow qui résout de nombreux problèmes affectant les sources traditionnelles de rayonnement infrarouge. Les principaux avantages de Microglow sont une plus grande stabilité, une consommation d'énergie réduite et une durée de vie opérationnelle considérablement

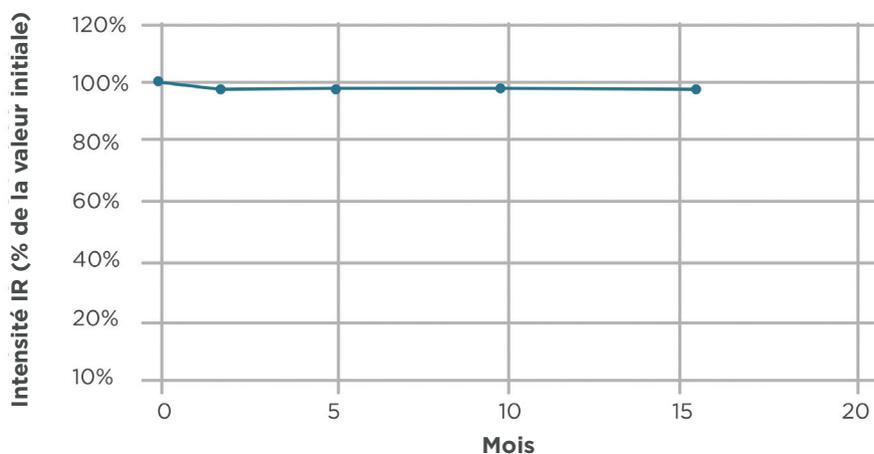
prolongée. Le remplacement de l'ampoule incandescente avec la technologie Microglow augmente la durée de vie du capteur de 50 %, tandis que la consommation d'énergie représente seulement 25 % de celle des sources traditionnelles à infrarouge.

L'intensité du Microglow reste très stable tout au long de sa durée de vie. Parmi d'autres avantages, un temps de réponse court et une qualité de fabrication améliorée, du fait que la puce peut être assemblée directement sur le circuit imprimé.

Pour plus d'informations à propos de la technologie Microglow, veuillez consulter www.vaisala.com/microglow.



Le Microglow est un émetteur MEMS à rayonnement infrarouge breveté par Vaisala.



Stabilité supérieure à long terme du Microglow.

2. En quoi la température et la pression influent-elles sur la mesure du CO₂ ?

Tous les instruments à absorption non dispersive dans l'infrarouge mesurent fondamentalement la densité molaire (le nombre de molécules dans le trajet du faisceau). La plupart des utilisateurs préfèrent sortir les valeurs en pourcentage de volume, de sorte que les instruments de CO₂ sont ajustés pour les afficher en corrélant le nombre de molécules à une concentration volumique connue de CO₂.

Les gaz étant compressibles, leurs densités molaires changent avec la pression atmosphérique et la température ambiantes, ce qui signifie que les valeurs sorties dépendent de la température et de la pression.

La mesure du CO₂ doit être compensée si les conditions de mesure diffèrent de manière significative des conditions d'étalonnage, qui sont 1 013 hPa et 25 °C. Voir les tableaux 1 et 2 à la page suivante pour voir l'ampleur de l'effet des modifications non compensées de la pression et de la température, conformément à la loi des gaz parfaits.

Pour une compréhension détaillée du besoin de compensation, il est utile de connaître tout d'abord quelques

faits sur le comportement des gaz. Dans tout mélange de gaz, la pression totale des gaz est égale à la somme des pressions partielles des gaz constitutifs du mélange. Il s'agit de la loi de Dalton, exprimée comme suit :

$$P_{\text{totale}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

La quantité de tout gaz dans un mélange peut être exprimée en tant que pression. Avec l'air comme exemple, les principaux constituants sont l'azote, l'oxygène, le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau, de sorte que la pression atmosphérique totale est composée des pressions partielles desdits gaz.

La pression partielle de chaque gaz est le produit de sa concentration volumique et de la pression totale du système.

L'air que nous respirons est constitué d'environ 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0,9 % d'argon et environ 0,04 % de dioxyde de carbone. Ces pourcentages restent à peu près constants partout dans l'atmosphère, quelle que soit l'altitude.

La pression moyenne de l'atmosphère au niveau de la mer est d'environ 1 013 hPa, donc la pression partielle du dioxyde de carbone représente

0,04 % de 1 013 hPa (0,0004 * 1 013), soit 0,405 hPa. Par exemple, à Denver, Colorado (États-Unis), où l'altitude est d'environ 5 280 pieds et la pression atmosphérique d'environ 834,3 hPa, ces mêmes 0,04 % de dioxyde de carbone nous donnent une pression partielle de 0,334 hPa, à comparer aux 0,405 hPa susmentionnés.

Même si le CO₂ continue de représenter 0,04 % de l'atmosphère à cette altitude plus élevée, la pression est moindre, et lorsque la pression diminue, la densité molaire diminue également. Les capteurs NDIR mesurant fondamentalement la densité molaire, une compensation doit s'effectuer lorsque l'on veut avoir une valeur en pourcentage de volume ou ppmv. La compensation de température est également importante parce que la densité molaire augmente lorsque la température diminue.

La plupart des transmetteurs de dioxyde de carbone Vaisala sont munis d'un capteur de température intégré, pour que l'appareil ajuste automatiquement la température en fonction des variations des mesures. Des systèmes de compensation d'oxygène et d'humidité relative peuvent également être utilisés, mais ces paramètres ont une incidence minime sur la précision des mesures.

Tableau 1. Effet des variations de pression non compensées en % des valeurs de CO₂ dans un capteur NDIR, conformément à la loi des gaz parfaits.

Instruments étalonnés à 25 °C et 1 013 hPa					
Altitude au-dessus du niveau de la mer		Pression (hPa)	Concentration de la valeur mesurée (en % de CO ₂)	Concentration corrigée (en % de CO ₂)	Différence (%CO ₂)
pieds	mètres				
0	0	1013	5.00	5.00	0.00
500	153	992.8	4.90	5.00	0.10
1000	305	979.1	4.83	5.00	0.17
1500	458	958.4	4.73	5.00	0.27
2000	610	937.7	4.63	5.00	0.37
2500	763	923.9	4.56	5.00	0.44
3000	915	903.2	4.46	5.00	0.54
3500	1068	889.4	4.39	5.00	0.61
4000	1220	868.7	4.29	5.00	0.71
4500	1373	854.9	4.22	5.00	0.78
5000	1526	834.3	4.12	5.00	0.88
5500	1679	820.5	4.05	5.00	0.95
6000	1831	806.7	3.98	5.00	1.02

Tableau 2. Effet des variations de température non compensées en % des valeurs de CO₂ dans un capteur NDIR, conformément à la loi des gaz parfaits.

Instruments étalonnés à 25 °C et 1 013 hPa			
Température (°C)	Concentration mesurée (en % de CO ₂)	Concentration corrigée (en % de CO ₂)	Différence (en % de CO ₂)
25	5.00	5.00	0.00
26	4.98	5.00	0.02
27	4.97	5.00	0.03
28	4.95	5.00	0.05
29	4.93	5.00	0.07
30	4.92	5.00	0.08
31	4.90	5.00	0.10
32	4.89	5.00	0.11
33	4.87	5.00	0.13
34	4.85	5.00	0.15
35	4.84	5.00	0.16
36	4.82	5.00	0.18
37	4.81	5.00	0.19



Le Vaisala GM70 avec la sonde d'humidité et de dioxyde de carbone.

3. Comment est-il possible de corriger les erreurs de température et de pression en utilisant les produits CO₂ de Vaisala ?

Il est possible que les mesures de dioxyde de carbone effectuées à des températures et des pressions différentes de celles des conditions d'étalonnage doivent être corrigées. La forme la plus simple de correction pour une valeur exprimée en pourcentage du volume repose sur une formule faisant appel à la loi des gaz parfaits :

$$c_{\text{corrigée}} (\%/ppm) = \frac{c_{\text{mesurée}} (\%/ppm) * (1\ 013 * (t(^{\circ}\text{C}) + 273))}{(298\ 000 * p(\text{hPa}))}$$

Dans l'indicateur portable de dioxyde de carbone Vaisala CARBOCAP® GM70, la température et la pression de l'environnement du point de mesure peuvent être aisément définies dans le menu utilisateur. Les compensations se font de façon interne et l'instrument

affiche la mesure corrigée. La correction interne prend également en compte les dépendances causées par la loi des gaz réels ainsi que les composants électroniques et optiques de l'instrument. La correction interne est plus précise pour le GM70 que la correction de la loi des gaz parfaits. Un autre moyen de compenser la température consiste à relier une sonde d'humidité et de température Vaisala HUMICAP® HMP77B à l'indicateur MI70, aux côtés de la sonde de CO₂. La température mesurée avec la sonde peut compenser de manière automatique la valeur de CO₂ lue.

Les sondes de dioxyde de carbone Vaisala CARBOCAP® GMP231 et GMP251 sont munies d'un système de compensation de température, pour que la sonde fournisse des mesures tout en compensant automatiquement la température. Des systèmes de compensation d'oxygène et d'humidité relative peuvent également être utilisés pour une plus grande précision.

4. Comment peut-on éviter la condensation lors du prélèvement d'échantillons d'un incubateur ?

Le GM70 offre deux méthodes d'échantillonnage : par diffusion et par aspiration. L'option avec aspiration par pompe est conçue pour prélever un échantillon dans les endroits où des mesures directes par diffusion ne sont pas possibles.

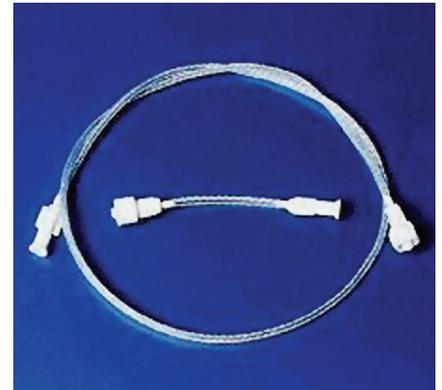
Des précautions doivent être prises lors du prélèvement d'un échantillon de gaz dans des environnements humides, car les surfaces optiques du capteur NDIR à l'intérieur de la sonde et la chambre de pompage doivent être protégées contre la condensation.

Il est difficile d'effectuer des mesures dans les incubateurs et les chambres environnementales, l'échantillon de gaz prélevé passant généralement d'un environnement à haute température et humidité élevée à un environnement à température ambiante, ce qui provoque de la condensation.



L'indicateur Vaisala GM70 sert à vérifier le niveau de CO₂ dans des incubateurs.

La condensation à l'intérieur du système d'échantillonnage peut être évitée en utilisant un tube en Nafion® (disponible comme accessoire, référence Vaisala 212807GM).



Tuyau en Nafion®, référence Vaisala 212807GM.

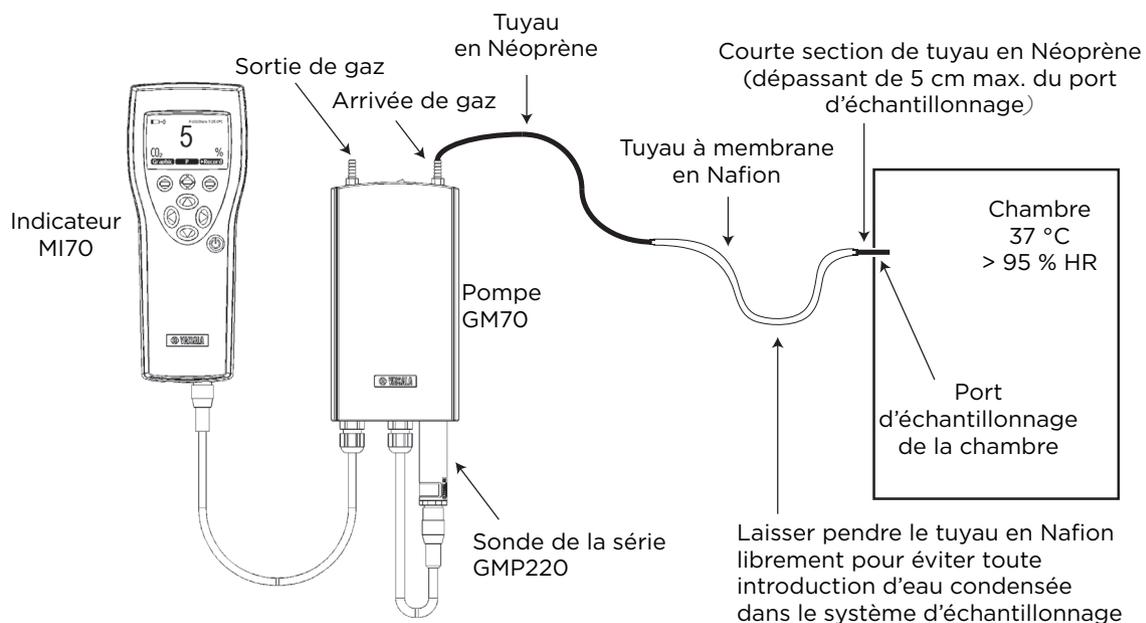
La technologie de base du tube est le Nafion®¹, un matériau très sélectif dans l'évacuation de l'eau. L'eau se déplace à travers la paroi membranaire et s'évapore dans l'air environnant dans le cadre d'un processus appelé « pervaporation ». Le Nafion® élimine l'eau par absorption, qui se produit comme réaction cinétique de premier ordre. Dans les applications de séchage, l'échangeur d'humidité transfère la vapeur d'eau d'un flux de gaz humide vers l'atmosphère environnante. Le séchage est terminé lorsque le niveau d'humidité de l'échantillon est égal à celui ambiant. Le séchage se produisant comme réaction cinétique de premier ordre, ce niveau peut être atteint extrêmement rapidement, généralement en l'espace de 100 à 200 millisecondes. Ce comportement rend le tuyau idéal pour les applications impliquant l'introduction d'un échantillon très humide à la température ambiante. Une courte longueur de tuyau est suffisante pour abaisser l'humidité de l'échantillon de gaz. Pour de plus amples informations sur les tuyaux, veuillez visiter le site www.permapure.com.

1 Le Nafion® est un copolymère de tétrafluoroéthylène (Téflon) et d'acide perfluoro-3,6-dioxa-4-méthyl-7-octène-sulfonique développé par la société Dupont.

Lorsque l'on utilise la pompe GM70 pour prélever un échantillon dans un incubateur, utiliser un tuyau en Nafion® pour éliminer la possibilité de condensation de l'humidité dans le système d'échantillonnage. Les directives suivantes sont recommandées :

- Il est souhaitable que le tuyau en Nafion® pour l'échantillon se trouve au point de transition entre l'incubateur et l'environnement ambiant. Une longueur de 20 cm de Nafion® dans l'environnement ambiant est suffisante pour faire passer la vapeur d'eau de l'échantillon extrait à l'environnement ambiant. La partie restante du tuyau pour l'échantillon peut être en Néoprène ou un autre matériau. Raccordez le tuyau en utilisant des raccords cannelés ou une autre méthode pour prévenir les fuites d'air ambiant dans l'échantillon. Gardez la longueur totale du tuyau de l'échantillon la plus courte possible.

- Si l'échantillonnage s'effectue par la porte de l'incubateur, insérez le tuyau en Nafion® dans l'incubateur et refermez doucement la porte de l'incubateur, en veillant à ce que le joint de la porte n'endommage pas le tuyau et qu'il assure l'étanchéité de manière adéquate dans l'environnement.
- Lors du prélèvement d'un échantillon de gaz dans une chambre, il convient de positionner quelques centimètres de la ligne d'échantillonnage à l'intérieur de la chambre. S'il existe un risque de condensation à l'intérieur de la chambre dans laquelle l'échantillon est prélevé, veillez tout particulièrement à ce que le condensat ne s'écoule pas dans le tube.
- Pour vérifier que de la condensation n'a pas atteint la sonde, vous pouvez retirer la sonde de CO₂ de la pompe GM70. Lors de la réinsertion de la sonde, ne pas pousser la sonde jusqu'au bout. Au lieu de cela, raccorder les deux joints toriques avec la surface lisse de la sonde pour assurer une connexion étanche.
- Si l'échantillonnage s'effectue par un orifice ou tout autre port dans l'incubateur, insérez le tuyau en Nafion® dans l'incubateur et assurez l'étanchéité dans l'environnement.
- Si l'échantillonnage s'effectue par un raccord cannelé/port pour échantillon, utilisez un tuyau en Néoprène très court pour connecter le raccord du tuyau en Nafion à celui de l'incubateur. Utilisez le Néoprène comme « connecteur » pour maintenir le tuyau en Nafion® le plus près possible du raccord cannelé. Il n'est pas souhaitable que le gaz échantillon traverse le Néoprène, en raison d'une formation probable de condensation dans le tuyau en Néoprène.
- À titre de précaution, garder la pompe GM70 au dessus du niveau du port d'échantillonnage de la chambre. En cas de condensation dans la ligne d'échantillonnage, cela empêche que de l'eau liquide endommage le capteur de CO₂.



Systeme d'échantillonnage avec tuyau à membrane en Nafion®.

5. Pourquoi la valeur de la concentration de CO₂ est-elle plus élevée que prévu lorsque le prélèvement est effectué selon la méthode du pompage avec tubulure séchante ?

Lors de l'utilisation d'un tuyau en Nafion® pour sécher l'échantillon, la concentration de CO₂ de l'échantillon sec est légèrement supérieure à celle de l'échantillon humide.

Cela est dû au phénomène de dilution. La densité de CO₂ est « diluée » dans l'incubateur par le volume occupé par la vapeur d'eau. Si vous supprimez la vapeur d'eau de l'échantillon, les fractions occupées par les autres gaz, dont le CO₂, augmentent en conséquence.

Le tableau 3 présente les coefficients de dilution pour la concentration de gaz lors du séchage d'un échantillon de gaz. Sélectionnez le point de rosée

(à 1 013 hPa) de l'échantillon de gaz dans l'incubateur sur l'axe horizontal et le point de rosée de l'échantillon de gaz au point de mesure sur l'axe vertical. Le point de rosée de l'échantillon de gaz au point de mesure peut être déterminé avec une sonde d'humidité (HMP75B, HMP76B ou HMP77B).

Tableau 3. Coefficients de dilution

Td (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
-60	0.9999	0.9996	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-50	0.9999	0.9997	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-40	1.0000	0.9998	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-30		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.928	0.879	0.804
-20			1.000	0.998	0.995	0.989	0.978	0.959	0.928	0.879	0.804
-10				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.881	0.806
0					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.809
10						1.000	0.989	0.970	0.939	0.890	0.815
20							1.000	0.981	0.950	0.901	0.826
30								1.000	0.969	0.920	0.845
40									1.000	0.951	0.876
50										1.000	0.925
60											1.000

À titre d'exemple : Un échantillon de gaz est prélevé dans un environnement à 40 °C (Td) et est introduit dans un environnement à 10 °C (Td), dans lequel la concentration de gaz mesurée est de 5,32 %. Dans l'environnement à 40 °C (Td), ceci correspond à 5 % de CO₂ ($5,32 \% \times 0,939 = 5,00 \%$), puisque la teneur en eau plus élevée a dilué l'échantillon.

VAISALA

Veuillez nous contacter
à l'adresse suivante
www.vaisala.fr/contactus

www.vaisala.fr



Scanner le code
pour obtenir plus
d'informations

Réf. B210826FR-D ©Vaisala 2022

Ce matériel est soumis à la protection du droit d'auteur. Tous les droits d'auteur sont retenus par Vaisala et ses différents partenaires. Tous droits réservés. Tous les logos et/ou noms de produits sont des marques déposées de Vaisala ou de ses partenaires. Il est strictement interdit de reproduire, transférer, distribuer ou stocker les informations contenues dans la présente brochure, sous quelque forme que ce soit, sans le consentement écrit préalable de Vaisala. Toutes les spécifications - y compris techniques - peuvent faire l'objet de modifications sans préavis.