

Optimiser les émissions de CO₂ à l'aide de débitmètres Coriolis

Jacob Sexton, directeur commercial régional - Endress+Hauser Flow USA

Victor Rojas Sossa, Principal Expert Coriolis Product Management - Endress+Hauser Flow Switzerland

Adam Booth, responsable du développement commercial - Endress+Hauser Flow USA

Novembre 2024

Résumé

L'intérêt intersectoriel pour la mesure du dioxyde de carbone à haute pression s'est considérablement accru. Les objectifs de durabilité ont été associés à des implications financières, car les producteurs et les émetteurs de CO₂ ont cherché la meilleure solution pour les mesurer. Les débitmètres à effet Coriolis se sont imposés comme le choix le plus évident pour cette mesure. Bien que les débitmètres Coriolis offrent une précision supérieure, certaines considérations doivent être prises en compte lors de la conception d'un nouveau système de mesure du CO₂. Ce document étudie et fournit des recommandations aux opérateurs de mesure qui se retrouvent propulsés dans l'expansion florissante du CO₂.

1 Introduction

Les réglementations gouvernementales concernant les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ont poussé de nombreux producteurs industriels à rechercher des solutions créatives pour atteindre les objectifs mondiaux en matière d'énergie et de climat. Nombre de ces solutions relèvent du captage, de l'utilisation et du stockage du CO₂ (CCUS). Le CCUS consiste à extraire le CO₂ des sources d'émissions importantes, telles que les centrales électriques et les installations industrielles utilisant des combustibles fossiles ou de la biomasse comme source d'énergie. Le CO₂ capturé est pressurisé et transporté par des pipelines, des navires, des chemins de fer ou des camions vers diverses applications de réutilisation. Il peut également être injecté dans des formations géologiques profondes, telles que des réservoirs de pétrole et de gaz épuisés, où il est stocké de manière permanente.

La demande de mesures précises du CO₂ à tous les stades du processus CCUS est motivée par les politiques fiscales et les incitations gouvernementales. Par exemple, la loi canadienne sur la tarification de la pollution par les gaz à effet de serre (Greenhouse Gas Pollution Pricing Act) impose des taxes aux entreprises pour chaque tonne d'émissions de CO₂ jusqu'en 2030. Dans le cas d'une raffinerie ayant une capacité de production quotidienne de 300 000 barils, les émissions annuelles de CO₂ peuvent atteindre 4 millions de tonnes. Compte tenu de cette échelle de production, même une incertitude de mesure modeste de 1,0 % pourrait avoir un impact financier de 6,8 millions de dollars canadiens.

La mesure du CO₂ présente une série de défis uniques. Les débitmètres à effet Coriolis sont réputés pour leur grande précision et leur fiabilité, ce qui en fait un choix intéressant pour diverses applications, y compris celles du CCUS. Cependant, la mesure précise du CO₂ peut être compliquée par les phases variables qu'il prend dans des conditions de pression et de température différentes. Le CO₂ peut exister sous forme de gaz, de liquide, de solide ou même de fluide supercritique, chacun ayant une densité et des caractéristiques d'écoulement différentes. Cette variabilité exige une conception appropriée du procédé, une sélection des débitmètres, un dimensionnement et une mise en service qui garantissent la précision de mesure souhaitée dans toute la gamme de conditions rencontrées dans les procédés CCUS. Ce document se concentre sur la manière de relever correctement ces défis afin de garantir la réussite et la fiabilité de la mesure du CO₂ dans les CCUS.

2 Principes de base de l'analyse du CO₂

2.1 Diagramme de phase du CO₂

Pour aider à créer une base de référence dans la compréhension des propriétés du CO₂ nous examinerons d'abord son diagramme de phase. Les diagrammes de phase fournissent une représentation visuelle de l'état d'agrégation auquel on peut s'attendre pour une combinaison de pression et de température. Dans la figure 1, les lignes colorées représentent les combinaisons de pression et de température auxquelles les deux états peuvent coexister en équilibre et donc provoquer

un changement d'état d'agrégation. Par exemple, la ligne verte représente une combinaison de pression et de température qui provoque la sublimation du CO_2 solide en vapeur. La ligne violette montre la combinaison où le CO_2 peut fondre de l'état solide à l'état liquide ou geler de l'état liquide à l'état solide. La ligne jaune indique la combinaison de pression et de température qui provoque l'évaporation d'un liquide en gaz ou la condensation d'un gaz en liquide.

Le point bleu indique le point triple du CO_2 . À cette pression et à cette température, tous les états d'agrégation peuvent exister en même temps. À des fins de mesure, un indicateur important est appelé le point critique, représenté par un point rouge. À des températures et des pressions supérieures au point critique, le CO_2 est en phase supercritique, où les phases liquide et gazeuse ne sont plus discernables l'une de l'autre.

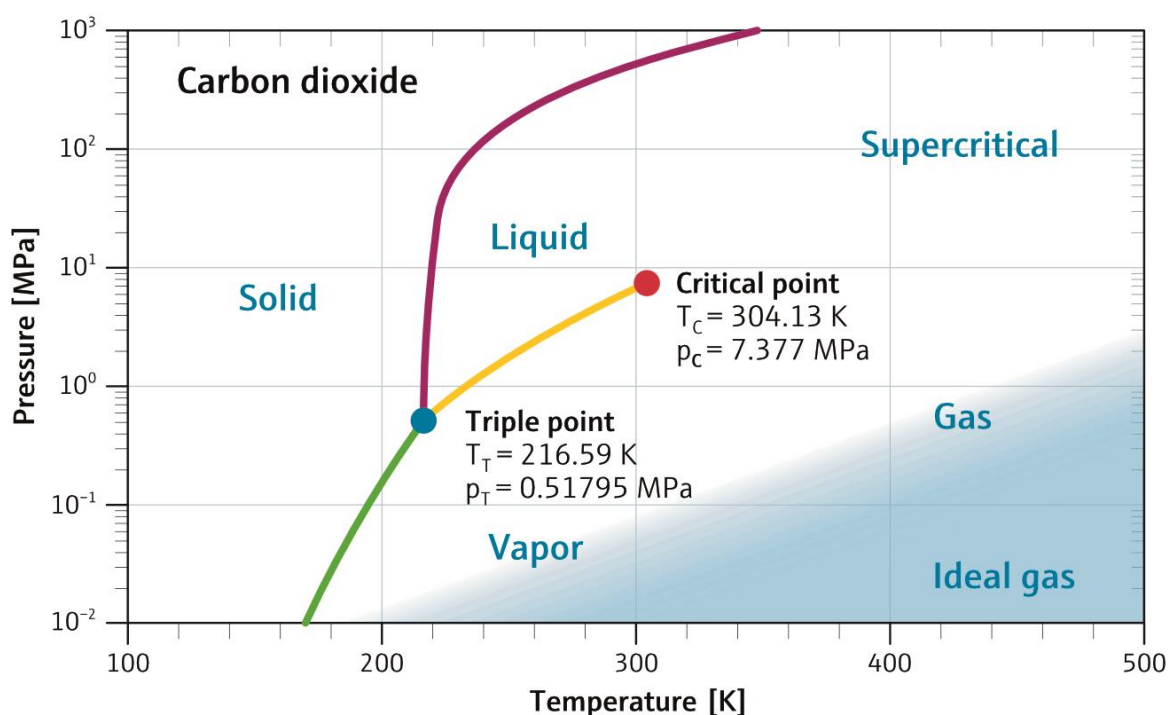


Figure 1: Diagramme de phase du dioxyde de carbone

La mesure du débit des fluides à l'état liquide et gazeux fait l'objet de nombreuses recherches et différents principes de mesure peuvent être utilisés. Des recherches sont actuellement menées pour déterminer si toutes ces technologies sont adaptées à la mesure du débit de dioxyde de carbone. Comme il y a moins d'applications dans le régime supercritique et que seules quelques-unes d'entre elles nécessitent des mesures de débit de haute précision, il y a moins de références documentées pour vérifier la performance sur du CO_2 . Les débitmètres massiques à effet Coriolis ont l'avantage de pouvoir être utilisés dans les trois états d'agrégation.

2.2 Description de l'état supercritique du CO_2 et la zone biphasée

Le point critique du CO_2 se situe à $30,8^\circ\text{C}$ et 73,7 bars. Au-delà de cette température et de cette pression, il se trouve à l'état supercritique. Dans cet état, il remplit tout le tuyau comme un gaz,

a une densité plus élevée comme un liquide et une faible viscosité comme un gaz. Il sera hautement compressible à proximité et au niveau du point critique et les propriétés du fluide changeront très rapidement.

Dans certaines conditions de fonctionnement prévues pour les applications CCUS, des pressions élevées sont nécessaires (liquide en phase dense), et les variations quotidiennes de la température ambiante pourraient conduire le système au régime supercritique. De la même manière, à une pression et une température plus faibles, le dioxyde de carbone liquide pourrait s'évaporer à mesure que la température augmente. Dans ce cas, des mélanges biphasés peuvent s'écouler dans le système. La densité du CO₂ dans les mélanges liquides, gazeux et biphasiques à différentes pressions et températures est illustrée à la figure 2. Pour obtenir les meilleures performances, les débitmètres à effet Coriolis doivent être utilisés dans des fluides monophasés (liquides ou gazeux). La région biphasée doit être évitée grâce à une conception minutieuse du procédé. La région biphasée est la zone située au niveau et en dessous de la forme en cloche du graphique. Au-dessus de la pression critique, le fluide se comporte comme un liquide compressible ou un gaz très dense sans transition de phase lorsque la température ambiante change. L'état supercritique est généralement considéré comme uniforme, bien que les propriétés thermiques ne semblent pas aussi uniformes et peuvent présenter un comportement de type liquide ou gazeux dans différentes conditions, comme le rapportent Simeoni et. al. (G. G. Simeoni, 2010) et Bolmatov et. al. (Bolmatov, Brazhkin, & Trachenko, 2013).

Une bonne compréhension du comportement du fluide dans les différentes conditions du procédé garantit que la sélection, le dimensionnement et l'installation des débitmètres à effet Coriolis donneront les meilleurs résultats de mesure.

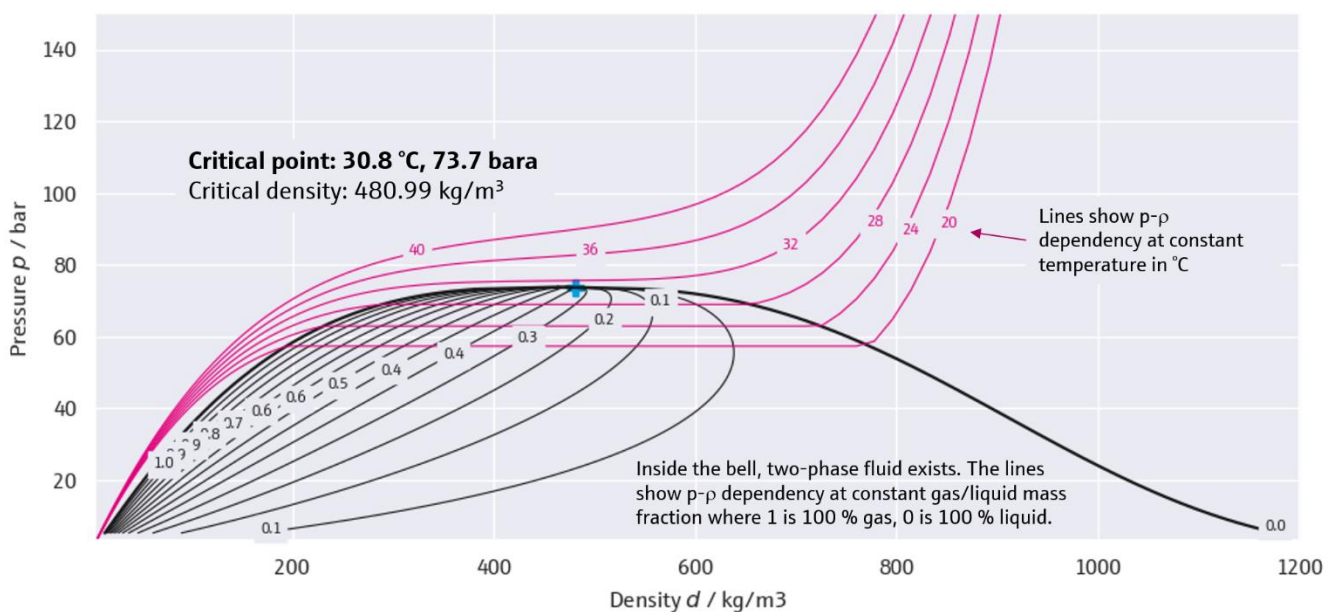


Figure 2: Densité de pression (p-ρ) montrant les isothermes de 20 à 40 °C (magenta). Les courbes de saturation pour différents facteurs de qualité (en noir) sont représentées de 0 (uniquement liquide) à 1 (uniquement vapeur).

2.3 Principe de mesure du débit massique Coriolis

Les débitmètres massiques Coriolis fonctionnent en excitant le tube de mesure pour qu'il oscille à sa fréquence de résonance. Lorsque la masse s'écoule, la force de Coriolis fait "tourner" les tubes de mesure. Les capteurs situés à l'entrée et à la sortie (voir Figure 3 : Schéma du tube du débitmètre massique Coriolis et des signaux de la bobine de captation (i). Principe de mesure du débit massique Coriolis et formules pour la mesure du débit massique et de la densité (éléments A et B) enregistrent la différence de temps dans ce mouvement, c'est-à-dire qu'ils enregistrent la différence de phase des deux signaux. La différence de phase du signal ($\Delta\varphi$) est proportionnelle au débit massique ($\dot{m}$) dans la conduite. La fréquence de résonance du système (f_r) est liée à la rigidité du tube (K) et à sa masse totale, qui est égale à la masse du fluide remplissant le tube (m_f) plus la masse propre du tube vide (m_t). Ainsi, la fréquence de résonance est liée à la densité (ρ) du fluide qui remplit le volume du tube ($m_f = V_f \rho$). Les débitmètres à effet Coriolis sont normalement étalonnés avec de l'eau et la proportionnalité du débit massique est déterminée. L'étalonnage de la densité se fait généralement à l'eau et à l'air.

Comme indiqué, il n'y a aucune restriction quant à l'état d'agrégation du fluide, les débitmètres à effet Coriolis peuvent donc mesurer des substances dans n'importe quel état de fluidité : à l'état liquide, gazeux ou supercritique. Cependant, l'expérience et la recherche ont montré que, dans certaines conditions, la vitesse du son du fluide pouvait influencer la mesure.

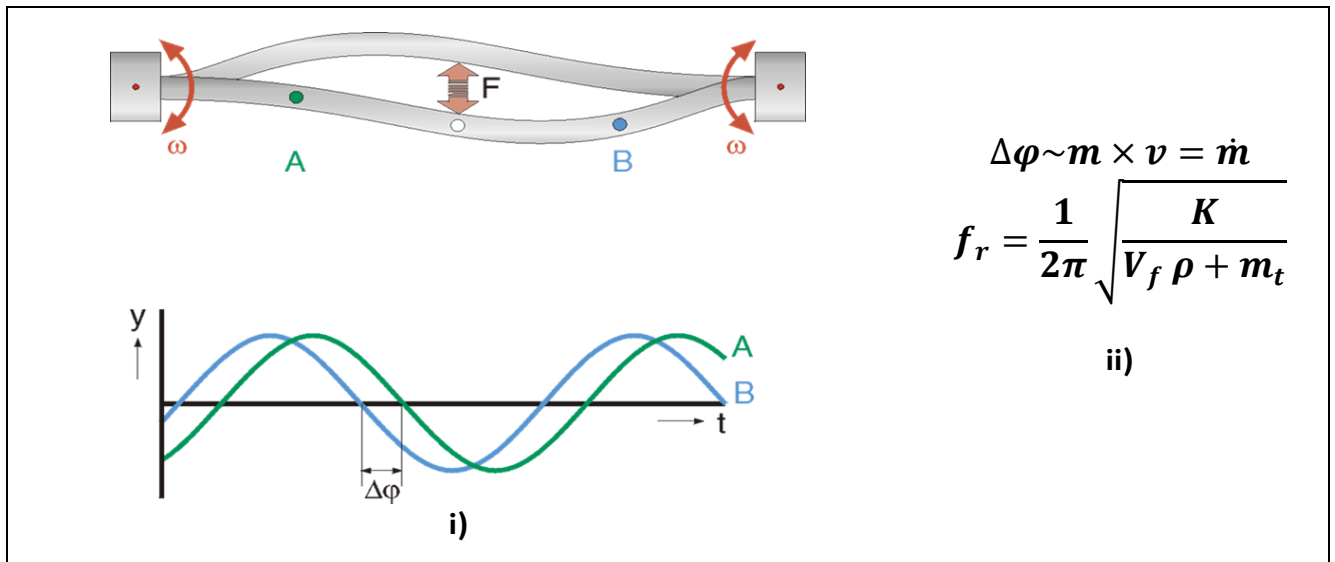


Figure 3: Schéma du tube du débitmètre massique de Coriolis et des signaux de la bobine de captation (i). Principe de mesure du débit massique de Coriolis et formules pour la mesure du débit massique et de la densité (ii).

2.4 Effet de la vitesse du son sur la précision des mesures

La vitesse du son est la distance parcourue par unité de temps par une onde sonore lorsqu'elle se propage dans un milieu élastique. Les ondes sonores se propagent normalement plus vite dans les liquides que dans les gaz.

Il a été démontré que les débitmètres massiques à effet Coriolis nécessitent une correction des facteurs d'étalonnage obtenus dans l'eau lorsqu'ils sont utilisés dans des fluides à faible vitesse du son, comme les gaz. Cette correction est systématique et a été déterminée théoriquement et prouvée expérimentalement (M. Anklin, 2000). Le mécanisme d'erreur est connu sous le nom d'effet de résonance. Lorsque le fluide dans le tube vibre, la vibration mécanique se propage dans le fluide sous la forme d'une onde de compression (onde sonore). Le fluide est comprimé et décomprimé, ce qui permet de découpler efficacement le centre de masse du fluide du centre de masse du tube. Ce découplage génère une force contre la paroi du tube dans le sens de la force de Coriolis, ce qui entraîne un dépassement du compteur. Le degré de découplage dépend de la vitesse du son du fluide, de la fréquence de vibration et du diamètre du tube. Après la découverte de ce phénomène, Hemp et Kutin (Hemp & Kutin, 2006) ont proposé une approximation simple de l'erreur due à l'effet de résonance.

Leur solution était la suivante : $E_m = \frac{1}{2} \left(\frac{f}{c} r \right)^2$, où c est la vitesse du son, r le rayon du tube et f la fréquence de fonctionnement. Lorsque la vitesse du son est faible et la fréquence de fonctionnement élevée, la correction nécessaire est plus importante. À une vitesse du son élevée, c'est-à-dire dans une application liquide, l'effet disparaît et aucune correction n'est nécessaire.

Dans la figure 4, la vitesse du son du dioxyde de carbone est représentée à différentes pressions et températures. À des températures plus basses et à des pressions plus élevées, la vitesse du son est beaucoup plus élevée. Le fluide présente un comportement de type liquide et aucune correction n'est nécessaire dans ce régime de fonctionnement. À proximité du point critique, la vitesse du son du CO₂ passe très rapidement à des valeurs inférieures typiques d'un gaz. La compensation de la vitesse du son est importante dans cette région, où le fluide se comporte davantage comme un gaz, et un paramétrage minutieux des débitmètres à effet Coriolis est nécessaire. À des températures plus élevées et à des pressions plus faibles, la vitesse du son du CO₂ est beaucoup plus faible et ne varie pratiquement pas en fonction de la température et de la pression. Dans cette région, il n'est pas nécessaire d'avoir une connaissance détaillée des changements infimes des valeurs de vitesse du son associés aux changements de pression et de température pour procéder à des compensations.

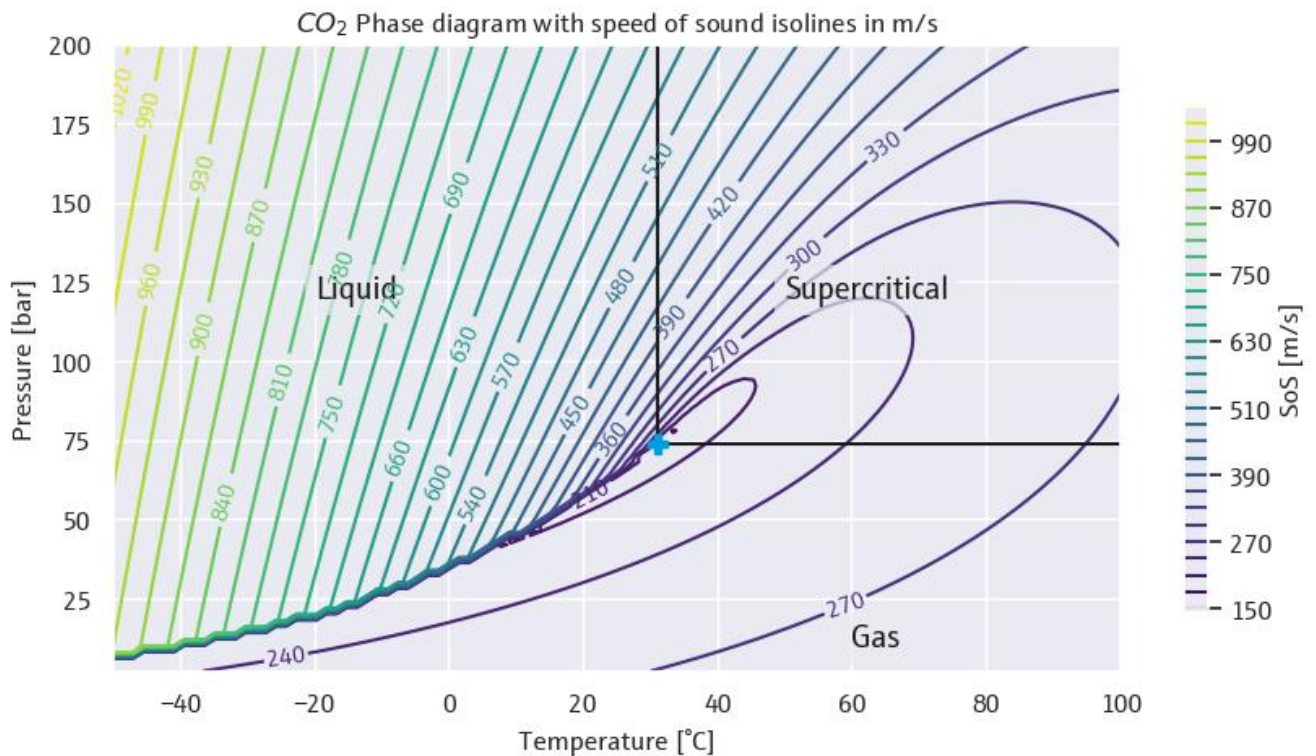


Figure 4. Le CO₂ avec des lignes indiquant la vitesse constante du son à différentes pressions et températures.

Lors de la mesure du CO₂ avec des débitmètres massiques à effet Coriolis dans les applications CCUS, cette variation de la vitesse du son doit être prise en compte. Il est très important de suivre les variations de la vitesse du son lorsque l'on travaille à proximité du point critique ou, comme nous l'avons vu dans la section précédente, lorsque les variations de température font entrer le dioxyde de carbone dans l'état supercritique d'agrégation et le font sortir de cet état.

Certains fabricants compensent l'erreur de vitesse du son en programmant des fonctions de mode gaz pour des gaz spécifiques. Une fois le fluide sélectionné, le débitmètre applique des coefficients intégrés pour compenser l'erreur due à l'effet de la vitesse du son dans de nombreuses plages de pression et de température. Cette compensation dépend fortement de la température, qui est normalement mesurée directement au niveau du débitmètre, et la valeur de la pression peut être définie comme un point fixe ou introduite dans l'instrument à partir d'un capteur de pression externe.

2.5 Impact de la composition du gaz

La plupart des discussions sur la précision de mesure du CO_2 partent de l'hypothèse d'une pureté extrêmement élevée du CO_2 , c'est-à-dire 99 % de la masse molaire. Dans les applications industrielles du CO_2 telles que le CCUS, la composition du gaz témoin peut être sensiblement différente. Les niveaux de 85 à 99 % de moles sont une réalité courante. Une introduction mineure de 4 % mol d'un autre composant gazeux dans la composition du mélange pourrait produire des conditions d'écoulement biphasique, comme illustré à la figure 6. En outre, la vitesse du son du fluide dépend de la composition et sa variation en fonction des conditions du procédé doit être prise en compte pour paramétrer correctement l'instrument afin de garantir les meilleures performances dans l'application. Pour la plupart des fabricants, un paramétrage personnalisé du mode gaz est disponible pour s'adapter aux propriétés correctes de la composition du gaz dans l'application. Par exemple, cela peut être utilisé pour programmer la vitesse du son de référence et le coefficient de dépendance de la température de la vitesse du son. Le débitmètre peut alors appliquer la correction appropriée à la composition du gaz.

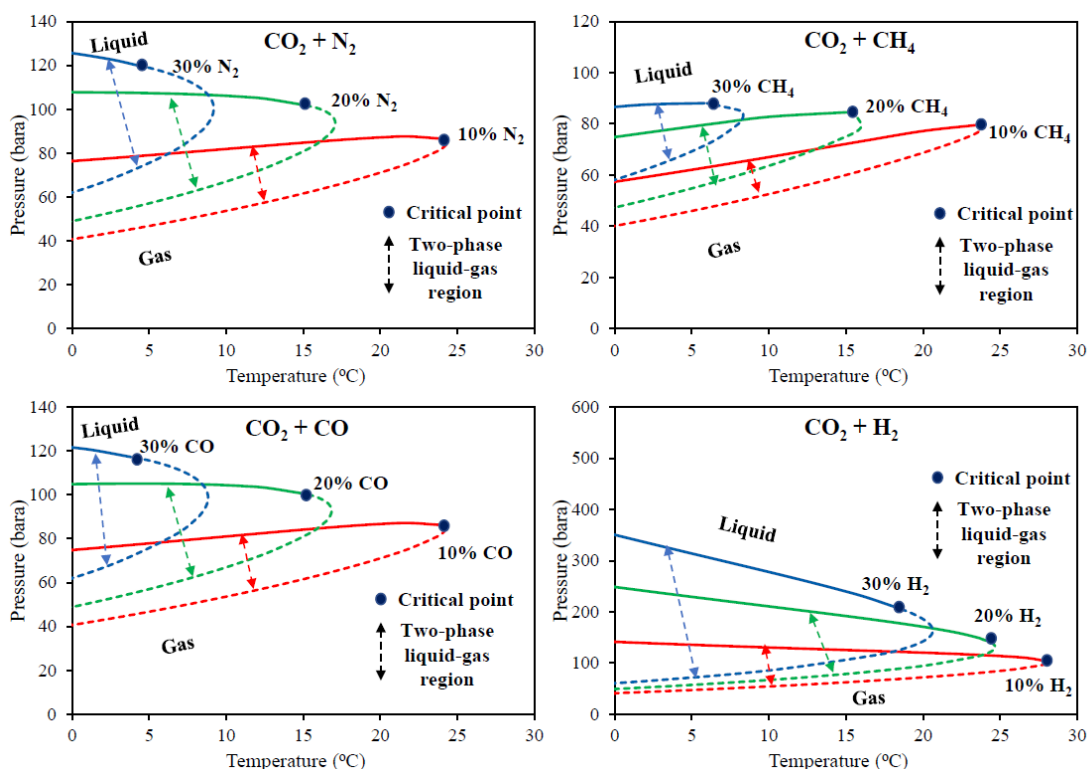


Figure 6 : Enveloppes de phase pour différentes émissions de CO_2 illustrent le changement des conditions de traitement dans lesquelles un fluide biphasé peut exister. Reproduit avec l'autorisation de (Laboratory, TÜV SÜD National Engineering, 2021).

D'autres effets notables du CO_2 impure peuvent inclure un déplacement du point critique et des emplacements biphasés, précédemment décrits dans le diagramme de phase du CO_2 . Cette question doit être étudiée avec une attention croissante à mesure que la pureté du CO_2 diminue. Il convient également d'examiner les problèmes de compatibilité des matériaux dans le cadre de la composition variable des gaz. Les matériaux couramment utilisés dans les débitmètres Coriolis, tels que 316L, 904L,

l'alliage C22 et les matériaux super duplex, sont tous compatibles avec les procédés de CO₂ pur, quelle que soit la phase. Cependant, dans les procédés en phase supercritique où des canalisations en acier au carbone sont utilisées, l'H₂O peut transformer les impuretés en acides qui dégraderont le système de canalisations et le débitmètre. Si l'O₂ est également présent, le processus de corrosion des aciers au carbone est accéléré. Une attention particulière doit être portée à la sélection des matériaux et aux conditions de traitement afin d'atténuer les risques liés à la variation de la composition des gaz. Outre la compatibilité des matériaux, le contrôle des valeurs d'humidité est impératif dans un procédé de CO₂ avec de l'acier au carbone. Le maintien d'une valeur inférieure à 500 ppm permet de réduire le risque de corrosion (Gan Cuia, 2019).

3 Application, dimensionnement, sélection

3.1 Détermination du point de mesure

Les procédés industriels de CCUS varient considérablement en termes de pression et de température. La figure 7 présente une chaîne de valeur CCUS typique. Le CO₂ est d'abord recueilli sous forme de gaz, puis comprimé. Ce gaz comprimé est transporté sous forme de liquide ou de fluide supercritique par bateau, rail ou pipeline. Une fois arrivé à destination, il est soit comprimé davantage pour être séquestré, soit ramené en phase gazeuse pour être utilisé dans un processus de consommation de CO₂. À chaque étape de cette chaîne, il existe différentes phases nécessitant des approches différentes. La première étape pour un producteur est de déterminer à quels moments il a besoin d'une mesure et quelle phase existe à ce moment-là du processus. Quelle que soit la précision du débitmètre, si les pressions et les températures du processus ne sont pas stables et qu'un écoulement biphasique se produit, la précision de la mesure sera fortement affectée.

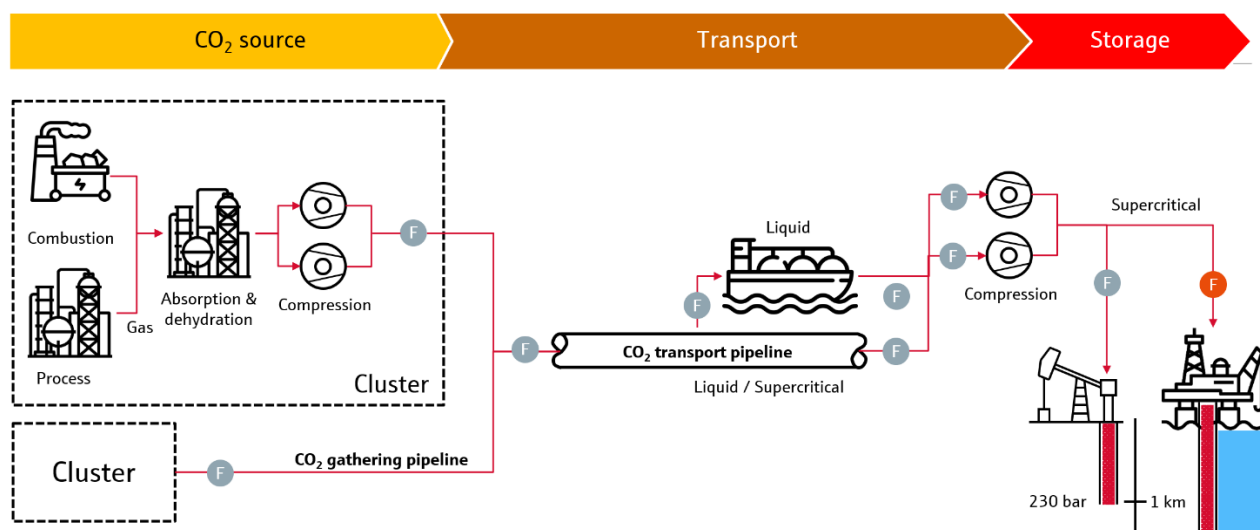


Figure 7 : Carte du procédé de captage et de stockage du carbone montrant les états d'agrégation typiques

3.2 Utiliser correctement un outil de dimensionnement

Une fois les points de mesure définis, il faut choisir un dispositif d'adaptation. Les fabricants de débitmètres disposent souvent d'outils de dimensionnement et de sélection performants pour aider les clients à choisir le débitmètre le mieux adapté à leur application. Les étapes de dimensionnement et de sélection mises en œuvre dans ces outils sont énumérées ci-dessous.

3.2.1 Déterminer le taux de CO₂ à partir des données d'entrée du processus

La figure 8 présente un arbre de décision qui utilise les conditions du procédé pour déterminer l'état d'agrégation du dioxyde de carbone. Cet arbre de décision fait partie de l'outil de dimensionnement du fabricant de l'instrument, mais il est également utile de s'y référer lors des discussions sur le procédé de CCUS.

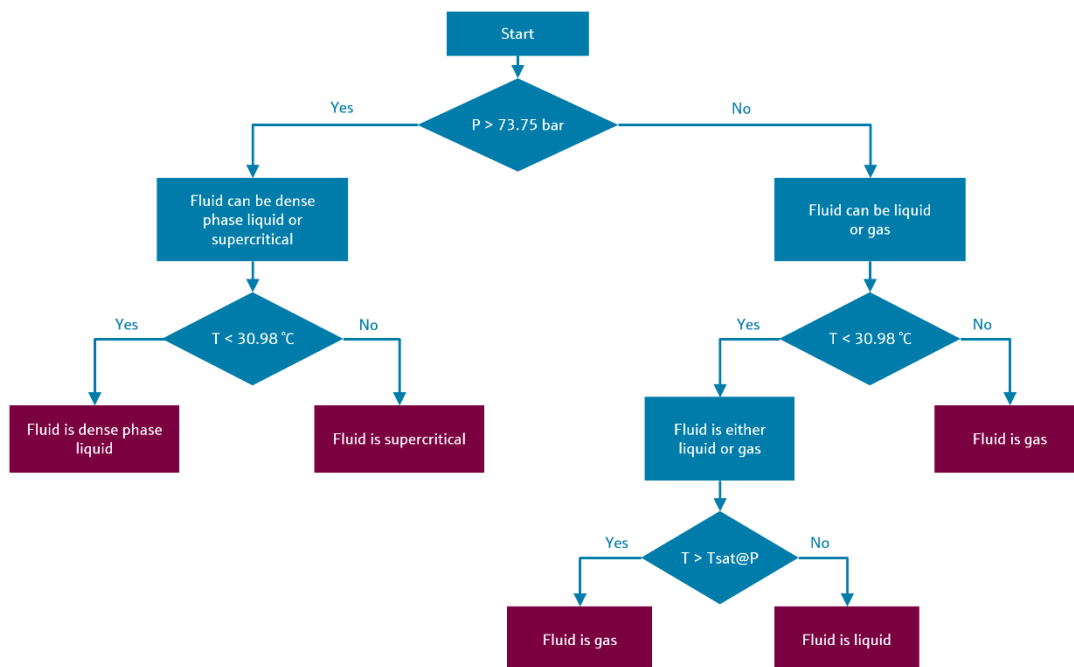


Figure 8 : Etat d'agrégation du CO₂ : arbre de décision

3.2.2 Choisir le bon modèle de fluide

Les fabricants de débitmètres publient des applications de dimensionnement qui émulent l'équation d'état de divers fluides. Ces applications permettent de déterminer la taille du débitmètre adapté à chaque application spécifique. La figure 9 illustre une autre vue du diagramme de phase, mais avec des modèles de fluides suggérés associés à des régions de pression et de température. La sélection du bon modèle de fluide est essentielle lors de l'étape de dimensionnement pour garantir que les propriétés du fluide pertinentes pour le dimensionnement sont correctement déterminées et que le débitmètre spécifié fonctionne comme prévu dans l'application.

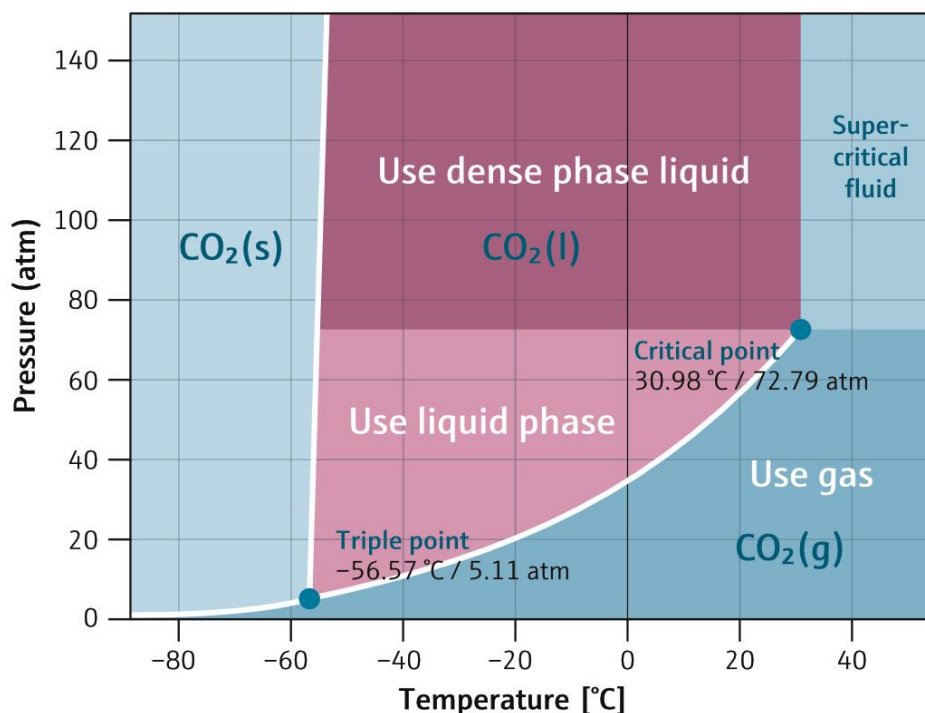


Figure 9 : Modèles de fluides suggérés en fonction de la région de pression-température.

3.2.3 Effectuer le dimensionnement

A l'aide des données du procédé, l'outil de dimensionnement du fabricant peut être utilisé pour s'assurer que la taille correcte de débitmètre est sélectionnée pour le procédé en question. Cet outil permet également de s'assurer que le débitmètre proposé pour le procédé conserve la précision attendue, visualisée par un graphique en cloche de la précision du débitmètre sur une plage de vitesses d'écoulement. Les fabricants et les partenaires de distribution sont toujours disponibles pour aider à l'évaluation du diamètre.

3.2.4 Vérifier les changements de phase ou les déviations des hypothèses

Il est possible que les conditions de fonctionnement d'un point de mesure en CCUS se situent dans une fourchette suffisamment large pour qu'il puisse changer de phase. Il est essentiel d'examiner les données du procédé pour s'assurer que les débitmètres fonctionnent en phase unique. La figure 10 illustre certaines de ces situations possibles. Une situation particulière est décrite dans le cas "B", où les conditions de procédé franchissent la limite entre la phase liquide dense et l'état supercritique. Il peut s'agir de l'un des cas d'utilisation les plus complexes de la mesure du CO₂, avec les variations susmentionnées des propriétés des fluides dans les différentes phases. Les fabricants de débitmètres valident l'étalonnage des instruments en utilisant différents systèmes de référence pour les fluides à l'état liquide et gazeux. Ainsi, la précision de référence est basée sur les systèmes de référence utilisés, qui sont différents pour les gaz ou les liquides. Pour les gaz, l'incertitude des systèmes de référence est beaucoup plus grande en raison de la complexité inhérente à la détermination de la masse des gaz

dans des conditions d'écoulement. Dans le cas B, le fluide passe d'un régime liquide à un régime supercritique sans présenter de changement de phase, mais seulement un changement continu de la densité et de la vitesse du son. Quelle est donc la spécification de précision valable ? Il s'agit d'un domaine de recherche permanent dans le domaine de la mesure du débit. C'est pourquoi les fabricants ont tendance à marquer une limite dans les performances et recommandent d'utiliser deux spécifications de précision pour chaque région jusqu'à ce qu'un consensus soit atteint. Dans ce cas, le débitmètre doit être dimensionné en utilisant les deux possibilités de phase. Une fois que l'outil de dimensionnement recommande la gamme idéale de débitmètre en utilisant les points de données de la phase dense, l'exercice de dimensionnement doit être effectué à nouveau dans la possibilité supercritique du procédé. Si le diamètre de la gamme du compteur proposé diffère selon la possibilité de phase, les opérateurs doivent choisir un débitmètre spécifique et évaluer les effets négatifs sur les performances de l'utilisation de cet instrument dans l'autre phase. Pour les transitions de phase entre un liquide et un gaz, certains fabricants proposent une fonctionnalité de diagnostic avancée qui peut être suivie dans un système de contrôle pour signaler un tel changement de phase ou une perturbation du process. Ces caractéristiques sont décrites plus en détail au point 4.4.

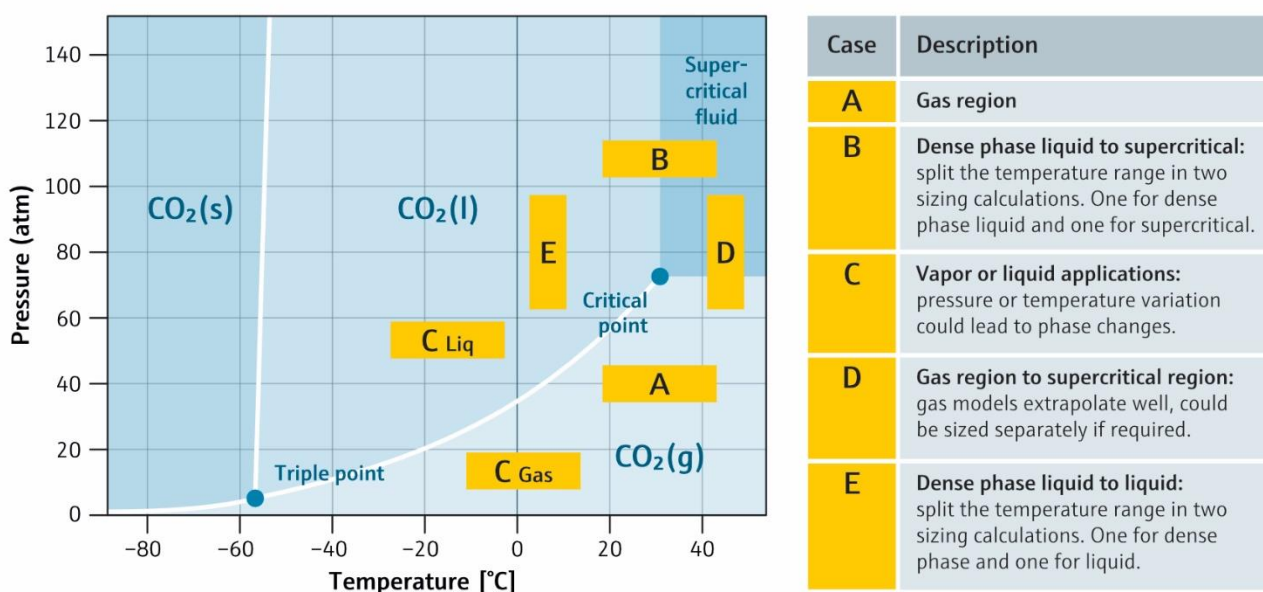


Figure 10 : Cas d'utilisation de la mesure de CO₂ dans différents états d'agrégation

3.2.5 Dimensionnement complet

Revoir les étapes précédentes en guise de vérification finale et passer à la commande du débitmètre.

4 Mise en service

4.1 Compensation de pression (fixe ou externe)

Si la pression fixe reste une option viable, le risque d'erreur de mesure existe si la pression réelle s'écarte de la valeur prédéterminée. Il est donc recommandé, conformément aux meilleures pratiques, d'utiliser une mesure de pression externe. C'est notamment le cas lorsque l'on travaille à proximité du point critique du fluide. En outre, il est conseillé de positionner le point de mesure de la pression aussi près que possible du point de mesure du débit. Trois diamètres de conduite en aval est une bonne règle empirique pour s'assurer que la pression a récupéré de la chute due à la réduction de la surface du débitmètre à effet Coriolis. L'intégration de cette mesure directement dans le débitmètre par le biais d'un signal du procédé permet non seulement d'obtenir des données de pression en temps réel, mais aussi de compenser les mesures de débit, garantissant ainsi le plus haut niveau de précision.

4.2 Effectuer des vérifications en l'état pour obtenir des valeurs de référence

Certains fabricants ont mis en place des technologies de vérification embarquées qui peuvent être utilisées pour déterminer l'état des débitmètres in situ. Il est essentiel de procéder à une vérification immédiatement après l'installation du compteur pour établir des valeurs de référence dans les conditions réelles du process. Cette pratique, largement adoptée dans tous les secteurs d'activité, a des objectifs multiples. Tout d'abord, il fournit un ensemble initial de données sur l'état de l'appareil auquel les mesures futures peuvent être comparées, ce qui permet de surveiller l'état de santé de l'appareil de mesure au fil du temps. La capacité d'établir des tendances est essentielle pour identifier tout écart ou dérive dans la précision de la mesure, ce qui pourrait indiquer des problèmes potentiels avec l'appareil de mesure ou les conditions du process.

En outre, la vérification en ligne fait preuve de diligence raisonnable en garantissant que les relevés rapportés sont à la fois exacts et fiables. Cette façon de faire implique un contrôle approfondi des performances du compteur dans les conditions réelles d'utilisation, ce qui permet de détecter rapidement toute défaillance ou inexactitude éventuelle. En identifiant et en traitant rapidement ces problèmes, l'intégrité du système de mesure peut être maintenue.

4.3 Diagnostic préventif

Les débitmètres massiques à effet Coriolis contiennent une multitude de données de diagnostic qui peuvent être intégrées dans un système de contrôle. Ces données de diagnostic donnent un aperçu du procédé de l'opérateur. Certaines suites logicielles proposent des rapports de vérification afin de renforcer la confiance dans les performances de mesure. Dans ces rapports de vérification, les données de l'instrument sont compilées en direct et comparées aux seuils définis en usine sur l'appareil. Si les

relevés de données en temps réel dépassent les seuils prédéterminés en usine, le rapport de vérification signale les valeurs à l'opérateur pour qu'il les examine. L'échec d'un rapport de vérification est un indicateur clé de la nécessité de vérifier l'intégrité fonctionnelle de l'instrument. En fonction des valeurs qui dépassent les seuils fixés, un réétalonnage peut s'avérer nécessaire. Inversement, un rapport de vérification approuvé donne aux opérateurs une plus grande confiance dans le fait que leur débitmètre fonctionne conformément aux spécifications de l'usine.

Au-delà des rapports de vérification détaillés, il existe tout un ensemble de fonctionnalités de diagnostic avancées qui diffèrent selon le fabricant d'instruments choisi par l'utilisateur. Par exemple, grâce à la technologie brevetée Heartbeat Technology d'Endress+Hauser, les opérateurs peuvent surveiller des valeurs telles que l'intégrité du capteur (HBSI) et en dégager des tendances. Grâce à ce point de test, il est possible de détecter des problèmes de sécurité critiques sur la mesure de CO₂, tels que la corrosion/l'abrasion des parois internes du tube de Coriolis. La perte d'acide étant un problème majeur dans les procédés industriels de CO₂, cette fonctionnalité de surveillance permet de planifier une maintenance préventive. La meilleure pratique consiste à demander au fabricant les exigences spécifiques du process, pour une application personnalisée de ces outils. Une brève introduction des points de test généraux est présentée ci-dessous.

4.4 Contrôle de la densité

Le contrôle de la densité est un indicateur clé dans les applications CCUS. Comme l'illustrent les diagrammes de changement de phase précédents, les valeurs de densité sont fortement influencées par la phase que présente le CO₂. La surveillance et les tendances de cette variable peuvent permettre à l'utilisateur de savoir si son process est instable ou s'il change de phase. Les alarmes du système de contrôle peuvent alors être réglées pour remédier rapidement à la perturbation du process. Cette approche proactive contribue à maintenir l'efficacité et la fiabilité des procédés de CCUS.

4.5 Courant d'excitation

Le courant d'excitation est un diagnostic crucial, qui permet de connaître l'intensité du courant appliqué aux bobines d'excitation du débitmètre. Un courant d'excitation élevé peut indiquer diverses conditions de perturbation du process, notamment l'introduction de liquide dans les applications gazeuses, un pourcentage important de solides dans le fluide, un encrassement sur le(s) tube(s) de mesure ou des composants défectueux dans le débitmètre.

4.6 Amortissement des oscillations

L'amortissement des oscillations est constitué du rapport entre le courant d'excitation et l'amplitude des oscillations et est exprimé en unité d'ingénierie A/m. Contrairement au courant d'excitation, l'amortissement des oscillations est un outil de diagnostic plus sophistiqué, qui permet d'utiliser un ratio pour discerner la présence de bulles (telles que l'écoulement inhomogène/la boue ou les microbulles), de solides, de fluides à haute viscosité ou d'une combinaison d'anomalies du process. Il est conseillé d'établir des tendances et de contrôler ces données afin de distinguer les tendances normales des écarts par rapport à la norme établie.

4.7 Asymétrie du signal

L'asymétrie du signal est la différence d'amplitude d'oscillation au début et à la fin du (des) tube(s) de mesure du débit. La détection de variations dans la valeur de l'asymétrie du signal peut être un indicateur d'abrasion due à des vitesses élevées en présence de particules solides.

Par ailleurs, le test de vérification interne de certains débitmètres peut détecter de tels impacts sur le process, de sorte que l'utilisateur n'a pas besoin d'être un spécialiste de Coriolis.

5 Conclusion

La mesure précise du CO₂ est essentielle pour les producteurs industriels afin de répondre aux exigences réglementaires et de minimiser les responsabilités financières. Les réglementations strictes sur les émissions de CO₂ nécessitent des mesures précises tout au long de la chaîne de valeur du CCUS (capture, utilisation et stockage du carbone). Des inexactitudes, même mineures, peuvent avoir des conséquences financières importantes, d'où l'importance d'une mesure fiable pour l'efficacité opérationnelle.

Les débitmètres Coriolis se sont révélés être une solution robuste pour la mesure du CO₂ en raison de leur grande précision et de leur fiabilité dans les différents états d'agrégation - liquide, gaz et supercritique. Cependant, les défis uniques posés par le CO₂, tels que les changements de phase, les variations de la vitesse du son et la présence d'impuretés, nécessitent une attention particulière lors de la conception et de la mise en œuvre des systèmes de mesure.

Les éléments clés de l'optimisation de la mesure du CO₂ sont les suivants :

1. **Diamètre et sélection correctes** : L'utilisation d'outils de dimensionnement robustes pour sélectionner le débitmètre approprié en fonction des conditions spécifiques du procédé garantit des performances optimales.

2. **Pratiques de mise en service** : La mise en œuvre d'une mesure de pression externe et de diagnostics préventifs améliore la précision et la fiabilité des mesures.
3. **Compatibilité des matériaux** : Veiller à ce que les matériaux utilisés dans les débitmètres et les pipelines soient compatibles avec les différentes compositions du CO₂ afin d'éviter la corrosion et la dégradation.
4. **Diagnostics avancés** : Exploiter les données de diagnostic des débitmètres pour surveiller les conditions du process et détecter rapidement les problèmes potentiels, ce qui permet une maintenance proactive.

En adhérant à ces bonnes pratiques, les industriels peuvent mesurer avec précision les émissions de CO₂, ce qui permet non seulement de respecter la réglementation, mais aussi d'obtenir des avantages économiques grâce aux incitations fiscales et à l'amélioration de l'efficacité opérationnelle. L'importance de la mesure précise du CO₂ ne cessera de croître au fur et à mesure que la communauté internationale se concentrera sur les objectifs de durabilité et de lutte contre le changement climatique, ce qui en fera un aspect essentiel des opérations industrielles modernes.

6 Références

- Bolmatov, D., Brazhkin, V. V., & Trachenko, K. (2013). "Thermodynamic behaviour of supercritical matter. *Nature Communications*.
- G. G. Simeoni, T. B. (2010). The Widom line as the crossover between liquid-like and gas-like behaviour in supercritical fluids. *Nature Physics*.
- Gan Cuia, Z. Y. (2019). A comprehensive review of metal corrosion in a supercritical CO₂ environment. *International Journal of Greenhouse Gas Control*.
- Hemp, J., & Kutin, J. (2006). Theory of errors in Coriolis flowmeter readings due to compressibility of the fluid being metered. *Flow Measurement and Instrumentation Volume 17, Issue 6*, 359-369.
- Laboratory, TÜV SÜD National Engineering. (2021, 03 10). *RESOURCE CENTRE WEBINARS CCS AND HYDROGEN ECONOMY: GOING THROUGH TRANSPORTATION MEDIA WITH CHEMICAL THERMODYNAMICS*. Retrieved from https://www.tuvsud.com/en-gb/-/media/regions/uk/pdf-files/webinar-presentations/2021-tuv-sud-nel-ccs_hydrogen-webinar_final.pdf
- M. Anklin, G. E. (2000). EFFECT OF FINITE MEDIUM SPEED OF SOUND ON CORIOLIS MASSFLOWMETERS. *FLOMEKO*.