

## L'hystérésis expliquée par ALICAT SCIENTIFIC

Les débitmètres et régulateurs massiques ALICAT SCIENTIFIC sont réputés pour leur temps de réponse et leur précision, mais quelle est l'importance du temps de réponse pour la précision? Dans cet article, nous examinons l'hystérésis et ses effets sur les différents types de débitmètre massique.

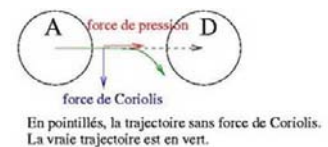
L'hystérésis réduit la précision de mesure en ayant un impact sur la réponse de votre mesureur qui sera différente pour une mesure identique répétée. Qu'est-ce que l'hystérésis? En termes simplifiés, l'hystérésis est la tendance d'un système à réagir différemment à la même entrée en fonction de l'historique des entrées passées.

Par exemple, nous avons tous déjà mangé une barre de chocolat à la température ambiante. Miam! Mais quelqu'un qui utilise le chocolat en cuisine sait aussi qu'une fois que le chocolat a été chauffé et fondu, il peut rester en phase liquide lorsqu'il refroidit à la température ambiante. Pour une même température, on obtient des résultats différents (solide vs liquide) basés sur le traitement du chocolat (chauffage ou refroidissement). Ceci est l'effet d'hystérésis, et il peut mettre des bâtons dans les roues pour l'obtention de résultats reproductibles.

Maintenant que nous avons défini l'hystérésis, regardons comment elle affecte les différents types de mesureurs massiques.

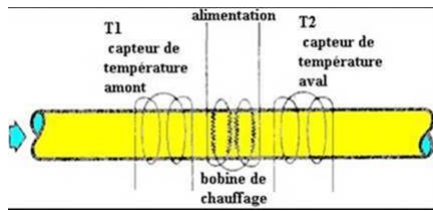
### Hystérésis des débitmètres massiques Coriolis

Les débitmètres Coriolis fonctionnent en faisant vibrer un tube incurvé à travers lequel le gaz circule. Augmenter le débit ajoute une masse au système et induit des oscillations du second ordre qui sont directement corrélées à la densité et la masse du fluide circulant à travers le tube, qui est appelé l'effet de Coriolis.



Tout comme un débit plus rapide augmente la masse et par conséquent ces oscillations, réduire le débit diminue les oscillations. Cependant, une variation rapide de débit de grande amplitude induit l'hystérésis car les oscillations de second ordre ont besoin de temps pour amortir cette variation brusque jusqu'à ce qu'elles correspondent au nouveau niveau de débit massique inférieur.

Vous pouvez visualiser l'effet d'hystérésis sur un débitmètre Coriolis en mettant le pendule d'une horloge en mouvement et en lui appliquant une impulsion dans une direction perpendiculaire. Vous avez induit un mouvement de second ordre à l'oscillation du pendule, et même s'il s'agit d'une simple déviation il faudra un certain temps avant que l'effet induit se dissipe et que l'on retrouve le mouvement initial. Si vous appliquez une nouvelle impulsion perpendiculaire sur le pendule avant qu'il ne retrouve son mouvement initial, vous induirez un nouveau mouvement latéral mais qui sera un peu différent du premier.



**Hystérésis des débitmètres massiques thermiques** Les débitmètres massiques thermiques fournissent des mesures indirectes de débit massique, basées sur les propriétés thermiques du flux de gaz. Plutôt que de détecter des molécules individuelles de matière qui passent, ils détectent les effets de la chaleur sur la matière passante, un principe appelé dispersion thermique.

Il existe plusieurs types de débitmètres massiques thermiques, mais en général une faible partie du flux gazeux est dérivée à travers un tube capillaire chauffé qui est équipé de plusieurs capteurs de température.

## Principe de fonctionnement massique thermique

Lorsque le débit augmente, les molécules de gaz sont chauffées par le tube, puis entraînent la chaleur plus loin dans le tube jusqu'à ce que la température revienne à la valeur initiale. Des débits plus élevés déplacent ce front de chaleur plus bas dans le tube, tandis que de plus faibles débits le déplacent de façon marginale.

La quantité de chaleur déplacée dans le capillaire dépend des propriétés thermiques des molécules de gaz, leur concentration (pression) et leur température ambiante avant chauffage. Un débit élevé qui déplace le front de chaleur plus bas dans le tube, nécessitera un certain temps de stabilisation lorsque le débit aura chuté. En effet, la conductance thermique élevée du minuscule tube capillaire nécessaire pour détecter les débits faibles favorise également la rémanence de la haute température après la chute de débit.

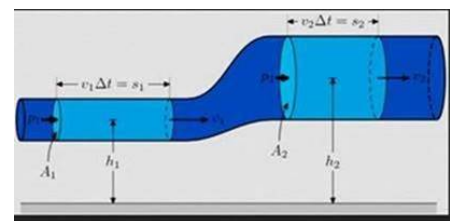
Certains débitmètres thermiques utilisent la moyenne ou des algorithmes prédictifs pour parer au problème d'hystérésis, ce qui peut être une bonne solution si vous avez seulement besoin d'un débit estimé.

L'effet d'hystérésis sur les débitmètres massiques thermiques est facile à reproduire à votre domicile à l'aide de votre cuisinière électrique. Avant d'allumer la plaque électrique, touchez-la de la main brièvement, puis l'enlever. Maintenant, mettez la plaque sur max pendant une seconde, puis l'éteindre tout de suite. Placez votre main sur la plaque, elle paraît plus chaude qu'elle ne l'était d'abord? La chaleur que vous ressentez est la chaleur résiduelle, qui ne reflète pas fidèlement l'état actuel hors tension.

Si vous tournez à nouveau sur max durant une seconde de plus avant que la plaque ait complètement refroidi, maintenant la température la plaque hors tension est encore plus élevée. A la mise sous tension, la chaleur augmente rapidement, mais à la coupure de la tension, la chaleur se dissipe beaucoup moins vite, c'est l'effet d'hystérésis.

## Hystérésis des mesures de débit par pression différentielle.

Il existe plusieurs types de débitmètres à pression différentielle, mais ils mettent tous en application le principe de Bernoulli, qui énonce que la pression dans un fluide en mouvement diminue.

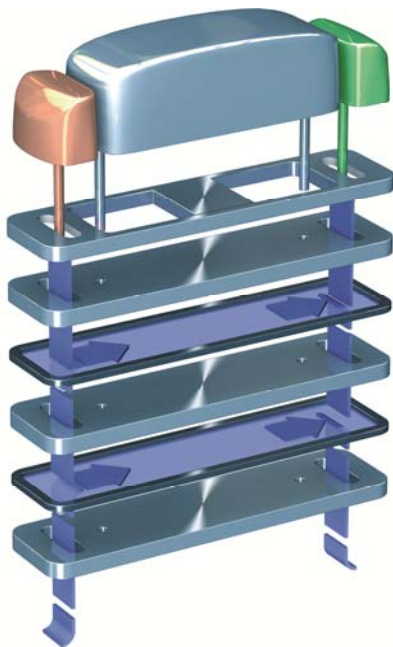


En fait, c'est bien la différence de pression qui provoque l'écoulement, en premier lieu, ce qui fait de ce principe de mesure de débit le plus proche de la source. Un débitmètre à organe déprimogène mesure simplement la différence de pression qui génère le flux. Comme les débitmètres massiques thermiques, cet organe déprimogène ne mesure pas directement des molécules individuelles de gaz.

Les mesures de débit massique sont calculées à partir des pressions différentielles enregistrées en utilisant les lois des gaz réels.

$$\left[P + \frac{an^2}{V^2}\right][V - nb] = nRT$$

Les capteurs de pression différentielle d'Alicat Scientific utilisent des membranes qui sont déviées dans une direction ou l'autre selon le sens de l'écoulement. Cette fonctionnalité marque une différence essentielle avec les autres technologies de mesure du débit. Si vous inversez rapidement le sens d'écoulement dans un débitmètre thermique, vous pourriez vous retrouver dans une situation dans laquelle les deux côtés en aval et en amont du tube capillaire ont été chauffés à un certain degré. De même, l'inversion du sens d'un débitmètre de Coriolis ne supprime pas les oscillations précédentes, mais y ajoute une nouvelle orientation. Ces deux situations souffrent d'hystérésis. En revanche, une membrane ne peut pas en même temps être déviée vers l'avant et vers l'arrière, de sorte que la commutation du sens d'écoulement se produit sans hystérésis. Cependant, la membrane peut osciller d'avant en arrière alors que la pression différentielle change, c'est ce qui donne au mesureur Alicat Scientific sa vitesse de 5 millisecondes de réponse.



### Élément laminaire

On peut visualiser l'hystérésis limitée d'un capteur de pression à membrane en frappant sur un tambour. En frappant plus fort (plus de pression) on déforme la membrane du tambour plus avant, compressant ainsi une plus grande masse d'air contre la seconde membrane, qui se traduit par le son que vous entendez. La membrane tendue revient rapidement dans son état initial, en un temps très court, ce qui est son hystérésis. L'épaisseur de la membrane détermine le degré d'hystérésis. Les membranes relâchées réagissent plus lentement et prennent plus de temps pour arrêter de vibrer. Bien serrées les membranes amortissent très rapidement; dans le cas d'un tambour, vous pouvez frapper une seconde fois avant que les effets d'hystérésis du premier coup se soient dissipés.

De même, le temps de réponse et l'hystérésis limités, d'un mesureur Alicat Scientific se traduisent directement par une meilleure précision pour chaque mesure du débit massique. Une faible hystérésis signifie assurément que votre mesure en cours n'est pas artificiellement impactée par les effets résiduels de la précédente, même si celle-ci remonte seulement à 10 ms. Cette qualité permet également l'utilisation de mesureurs de débit Alicat Scientific pour les mesures des phénomènes transitoires, comme les brèves rafales d'actionneurs pneumatiques sur les puits de pétrole et de gaz ou des buses d'ajustement d'attitude des fusées.

SYSTEM C INSTRUMENTATION

04 75 54 86 00

[www.system-c-instrumentation.com](http://www.system-c-instrumentation.com)

[info@system-c-instrumentation.com](mailto:info@system-c-instrumentation.com)