



COMMENT GÉRER LES FAIBLES DÉBITS DE LIQUIDE

E-BOOK

Contient les conseils
d'initiés et les conseils de
nos experts

www.bronkhorst.com

INDEX

Sommaire	3
Pourquoi cet e-book ?	3
Que contient cet e-book ?	3
Partie 1 / Que sont les (ultra-) faibles débits de liquide ?	4
Qu'y-a-t-il de si typique concernant les faibles débits ?	5
Solutions pour des performances optimales	5
Partie 2 / Conseils pour la sélection du débitmètre	6
Quand faut-il choisir un mesureur ou un régulateur	
massique thermique ou massique coriolis ?	6
Conseils & astuces	7
Partie 3 / Alimentation en liquide à l'aide d'une cuve sous pression	10
Alimentation en liquide pour établir un faible débit de liquide stable	10
Comment traiter les gaz dissous ?	10
Partie 4 / Alimentation en liquide à l'aide d'une pompe	19
Pourquoi l'utilisation d'une pompe ?	19
Quel type de pompe choisir ?	20
Partie 5 / Comment gérer les conditions externes ?	22
Quelle influence les conditions ambiantes peuvent-elles	
avoir sur votre débitmètre ?	22
Quels tuyaux dois-je choisir ?	24
Se prémunir des coups de bélier en évitant les changements	
soudains de diamètres des tuyaux	24
Comment gérer les vibrations ?	24
Et concernant l'étalonnage ?	24
Utilisez des filtres à particules pour éviter tout encrassement	24

SOMMAIRE

Pourquoi cet e-book ?

Qu'ont en commun les microréacteurs, la recherche sur les catalyseurs et le dosage d'odorants ? Eh bien, ils nécessitent tous l'utilisation de **faibles débits de liquide**. Dans le domaine de la régulation et de la mesure de débit, nous pouvons identifier des « faibles débits » et des « forts débits ». Mais qu'est-ce que cela signifie réellement ? Bronkhorst High-Tech est un fournisseur reconnu de débitmètres et régulateurs de débit dans la gamme des « faibles débits ». Il est donc temps d'expliquer de quoi nous parlons lorsque nous évoquons de « faible débit de liquide ».

Cet e-book est un résumé de notre série d'articles "Comment mesurer et réguler les faibles débits de liquide", complété par des informations approfondies, des conseils techniques et des astuces d'initiés donnés par nos experts .

Que contient cet e-book ?

Dans cet e-book, nous donnons des recommandations pour les installations qui nécessitent d'utiliser des faibles débits de liquide, plus particulièrement des débits de liquide **inférieurs à 100 g/h**. Outre la définition des faibles débits et des conseils pour le choix d'un débitmètre, ce livre donne également des conseils sur la configuration des systèmes, le type de raccordement et les systèmes de distribution de liquide. Comme les installations et les conditions de procédés sont rarement les mêmes pour tous les opérateurs, il n'existe pas de solution unique. Pour donner les meilleurs conseils, il faut connaître l'application de l'utilisateur.

Cet e-book a été rédigé en collaboration avec plusieurs collègues de différents départements au sein de la structure Bronkhorst : Marketing produits, formation, service client, étalonnage et R&D. Ils ont tous contribué à apporter des conseils et des informations utiles et approfondies pour faire de ce document, votre ouvrage de référence.

Bonne lecture.

PARTIE 1

Que sont les (ultra-) faibles débits de liquide ?

La définition de « faible » est arbitraire et elle dépend du secteur d'activité. Dans l'industrie, des débits largement inférieurs à 500 kg/h sont considérés comme faible débit, alors que dans le domaine de la recherche, ce terme est attribué à des débits qui sont inférieurs à 100 g/h. Cet e-book se concentre sur l'utilisation – la mesure aussi bien que la régulation – de débits de liquide jusqu'à 100 g/h et les ultra-faibles débits, que nous définissons dans la plage inférieure à 5 g/h.

Pour vous faire une idée du sujet, imaginez une goutte d'eau. Avec un diamètre type d'un demi-centimètre, 100 grammes par heure est équivalent à environ 2000 gouttes d'eau par heure, ce qui est assez faible, en effet. Et 100 gouttes correspondent à 5 grammes à doser en une heure.

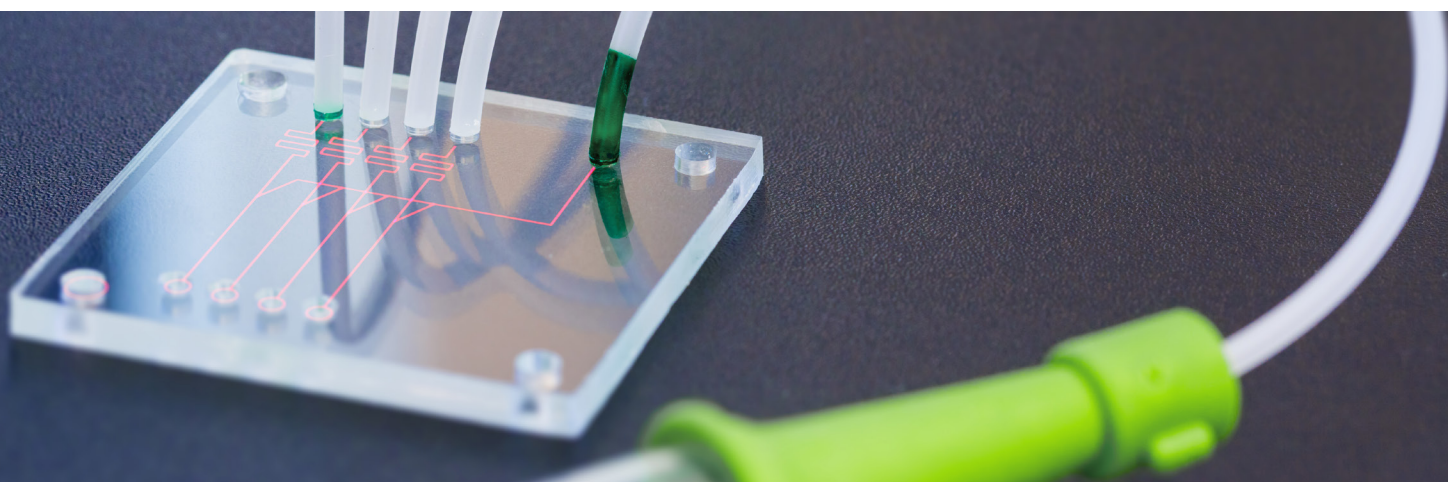
Des instruments précis pour la mesure et la régulation de faibles débits de liquide ont prouvé leur utilité dans un large panel d'applications. Par exemple :

- L'approvisionnement de 100 g/h d'huile de perçage en tant qu'agent lubrifiant est surveillé durant le perçage de trous dans la fabrication de pièces de fuselage d'avions.
- Un débit d'éthanol liquide ultra-faible de 2 g/h est évaporé en vue de générer un débit stable de vapeur d'éthanol en tant que source de carbone,

dans la R&D pour la production de graphène de haute qualité.

- Dans l'étude de catalyse à haute pression, des faibles débits liquides de composés d'hydrocarbure doivent être dosés sans pulsation et avec stabilité.
- Les laboratoires sur puce (Lab-on-a-chip) et autres dispositifs microfluidiques dans les domaines pharmaceutiques et biotechnologiques, réduisent fortement la quantité de produits chimiques et la durée des expériences nécessaires, comparé aux moyens traditionnels.
- L'odeur typique de gaz naturel ou biogaz provient d'un « agent d'alerte » qui a été ajouté artificiellement au gaz, injecté en petite quantité, mais en continue, en tant qu'additif liquide.

Dans tous ces cas, la mesure ou le dosage de la quantité correcte de liquide - ni trop, ni trop peu – est essentiel pour une bonne performance du procédé concerné.





Qu'y-a-t-il de si typique concernant les faibles débits ?

Comment un faible débit de liquide de moins de 100 g/h se distingue-t-il de débits « normaux » ou « élevés » ? Eh bien, les applications à (ultra-)faible débit impliquent certains phénomènes qui ne sont pas observés avec des débits plus importants. En raison de la (très) petite quantité de liquide qui est déplacée, les (ultra-)faibles débits sont si sensibles que les perturbations les plus infimes dans les conduites du fluide, le procédé ou les conditions ambiantes, peuvent avoir un effet significatif sur la stabilité du débit. Par conséquent, l'influence des conditions externes sur la stabilité du débit est cruciale ici, ainsi que les moyens pour contrôler ces conditions externes.

Par exemple, même les petites fuites de gaz ou de liquides à l'intérieur ou vers l'extérieur du procédé, ont une influence considérable sur le débit de liquide prévu. De plus, vous pouvez imaginer que l'obstruction par des particules solides ou les contaminations dans les conduites de faibles débits de liquide va réduire le débit d'une manière considérable. Et particulièrement pour le dosage de faible débit de liquide, les variations de pression entraîneront des débits instables.

Des variations dans la pressurisation, une pulsation due à des volumes de course de piston de pompe trop importants comparé au débit, et la dissolution de gaz (air sous pression) lors de la pressurisation du liquide à doser, auront toutes pour conséquence un débit instable.

La connaissance de l'application, ainsi que des phénomènes d'écoulement physique dans le procédé, est essentielle pour traiter la question complexe de l'utilisation de faibles débits. L'optimisation de la stabilité du débit et des performances des systèmes de fluides, requiert une connaissance approfondie des caractéristiques des fluides et des composants des systèmes dans un large éventail de circonstances. Chaque composant utilisé dans un système fluide peut affecter le comportement du fluide ou interagir avec d'autres composants, particulièrement lorsqu'il s'agit de faibles débits.

Contrairement au gaz, il est courant de mentionner qu'un liquide est incompressible, car la masse volumique ne change quasiment pas face à la pression. Tout de même, il convient de tenir compte de l'influence de la température sur la densité du fluide à l'état liquide. Rappelons que la densité est la mesure de la masse présente dans une certaine quantité de fluide. Elle correspond aux nombres de molécules contenues dans le volume. On confond parfois densité et masse volumique. Si la température augmente, les molécules du fluide s'écartent et la densité diminue. Si la température baisse, c'est l'inverse. Dans le cas de la mesure de (ultra) faible débit, c'est d'autant plus important de maintenir une température la plus stable possible afin d'éviter des variations de débit.

Solutions pour des performances optimales

Au sein de la gamme de produits Bronkhorst, les débitmètres massiques et régulateurs de débit massique à base thermique [μ-FLOW](#) et [LIQUI-FLOW](#), ainsi que les appareils Coriolis mini [CORI-FLOW ML120](#) et mini [CORI-FLOW M12](#), sont particulièrement adaptés pour les applications de (ultra-)faible débit de liquide. Alors qu'un débitmètre se compose d'un capteur qui mesure uniquement le débit du fluide, un régulateur de débit massique combine un capteur avec une vanne de régulation ou une pompe afin de réguler le débit du fluide. Consultez la « [théorie du régulateur de débit massique](#) ».

Les régulateurs de débit sont utilisés d'habitude pour générer un débit stable. Cependant, des performances optimales nécessitent bien plus qu'un excellent régulateur de débit. Par exemple, assurez-vous qu'il n'y ait pas de fuites dans l'installation et utilisez des tubes de faible volume. De plus, dans les conteneurs sous pression, évitez d'utiliser du gaz qui se dissout dans le liquide, ou utilisez des moyens pour éliminer ce gaz. Dans la partie 2 de cet e-book, nous aborderons ce sujet plus en détail en nous concentrant sur des conseils pratiques pour sélectionner le bon appareil pour les faibles débits.

PARTIE 2

Conseils pour la sélection du débitmètre

Comme expliqué dans la partie 1 de cet e-book, de minuscules perturbations dans le procédé ou les conditions ambiantes peuvent avoir un impact important sur la stabilité des (ultra) faibles débits de liquide. La partie 2 vise à aider les utilisateurs à optimiser la stabilité et les performances de leur système grâce à des conseils et à des recommandations sur le dimensionnement, le choix des matériaux et les meilleures procédures à suivre.

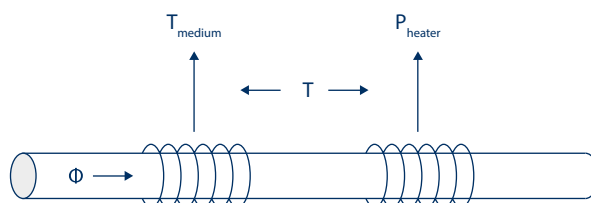
Bien entendu, au cœur du système fluide à faible débit se trouve un débitmètre/régulateur de débit pour liquide. Le choix du type d'instrument le mieux adapté à l'application à faible débit dépend en grande partie des exigences de **précision et de stabilité**. Toutefois, les **conditions ambiantes ou les conditions de milieu** difficiles à maîtriser peuvent également jouer un rôle important dans le choix de la meilleure solution.

Quand faut-il choisir un mesureur ou un régulateur massique thermique ou massique coriolis?

Au sein de la gamme de produits Bronkhorst, certains appareils de débit thermiques et Coriolis sont particulièrement adaptés aux applications de débit de liquide (ultra) faible. Les différents principes de fonctionnement des appareils thermiques et Coriolis les rendent spécifiquement adaptés à différentes applications, exigences et conditions.

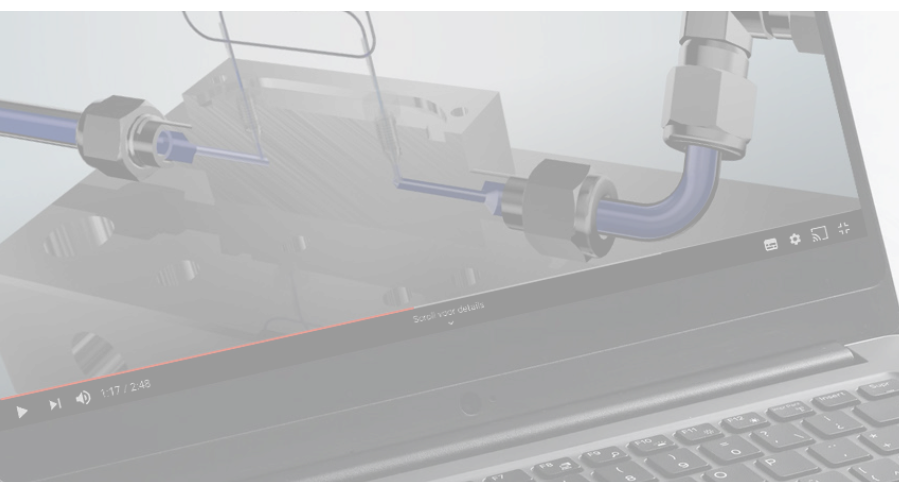
Dans les appareils de débit massique basés sur le **principe thermique**, une différence de température constante est créée entre deux points le long d'un tube (capillaire). Lorsque le liquide circule dans ce tube, l'énergie nécessaire pour maintenir cette différence de température est proportionnelle au débit massique.

Pour en savoir plus, consultez [le principe de fonctionnement de la mesure du débit massique thermique](#).



Avec les **appareils Coriolis**, l'écoulement du liquide dans un tube de petit diamètre soumis à une vibration extérieure, provoque un déphasage mécanique. Celui-ci est une mesure directe du débit massique dans le tube. De plus, le changement de fréquence de vibration du tube (rempli) qui en résulte est proportionnel à la densité du fluide.

Pour en savoir plus, consultez [le principe de mesure du débit massique Coriolis](#).



[Video: Principe de mesure Coriolis](#)



D'une manière générale, un débitmètre/régulateur Coriolis ...

- fonctionne très bien dans les situations où la précision absolue et la stabilité du débit sont essentielles
- a une stabilité à long terme et une sensibilité thermique négligeable
- est un bon choix lorsque la densité du fluide doit être mesurée ou surveillée, en plus du débit
- peut être utilisé pour des mélanges de liquides aux propriétés inconnues (c'est-à-dire qu'il est indépendant des propriétés physiques et thermiques du fluide)
- est parfois sensible aux vibrations proches de la fréquence de résonance, ce qui peut nécessiter des montages mécaniques spécifiques pour amortir les vibrations (bloc de lest, fixations rigides, raccord tuyauterie ...)

D'autre part, un débitmètre/régulateur thermique ...

- est un choix plus économique si les liquides utilisés et les températures (ambiantes) sont stables et répartis de manière uniforme
- fonctionne bien lorsque la reproductibilité est plus essentielle que la justesse
- exige de connaître la densité, la viscosité, la conductivité thermique et la capacité thermique du liquide
- provoque généralement une perte de charge relativement faible, ce qui peut contribuer à maintenir la stabilité du débit si le liquide contient une quantité considérable de gaz dissous car il n'y a pas de dégazage provoqué par la baisse de pression.

Conseils & astuces

Compte tenu des informations ci-dessus, voici quelques conseils à suivre en ce qui concerne les faibles débits de liquide :

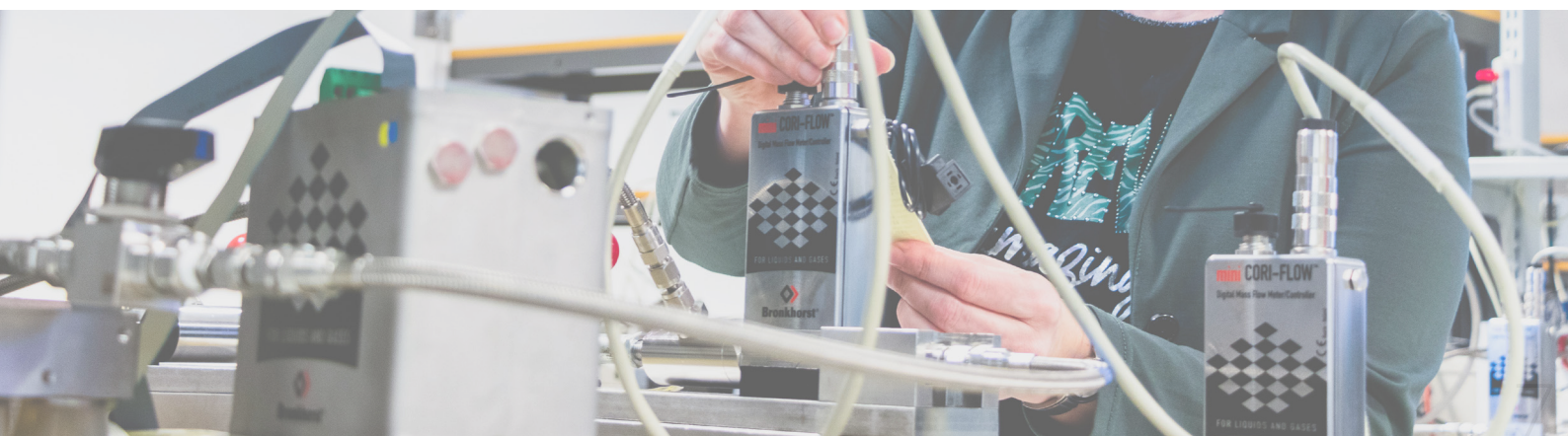
Conseil 1 : Choisissez un débitmètre ou un régulateur adapté au procédé et aux conditions ambiantes.

Le site internet de Bronkhorst propose un outil de sélection de produits pour vous aider à choisir le bon [débitmètre ou le régulateur](#) pour les faibles débits de liquide en fonction de paramètres d'entrée tels que le débit (massique ou volumétrique) maximum, la pression de fonctionnement et la température de fonctionnement.

Les appareils basés sur le principe thermique [μ-FLOW](#) peuvent gérer des liquides jusqu'à 2 g/h et les appareils [LIQUI-FLOW](#) de 0,25 à 5 g/h dans la plage la plus basse. Les débitmètres massiques Coriolis [mini CORI-FLOW ML120](#) ont une échelle maximale de 200 g/h mais elle peut être facilement ramenée à une échelle minimale de 5 g/h , avec la même précision relative. Leur débit minimum est de 50 mg/h.

Conseil 2 : Fournissez une pression d'alimentation stable sur cette installation fluidique.

Pour que le faible débit de liquide soit stable, il est indispensable que la pression d'entrée d'un régulateur de débit soit très stable. Deux méthodes sont courantes pour y parvenir : utiliser une cuve sous pression dans laquelle du gaz est utilisé pour pressuriser le liquide ou utiliser une pompe. Nous apporterons des précisions à ce sujet dans les parties 3 et 4 de cet e-book.





Conseil 3 : Dans le cas d'un réservoir sous pression, minimisez le contact ou la dissolution du gaz dans le liquide à utiliser.

Les bulles d'air ou d'autres gaz dissous dans le liquide se déplaçant le long de la tuyauterie, ont un effet négatif sur la stabilité du débit. Pour éviter cela : si du gaz est utilisé pour pressuriser le liquide, empêchez le gaz d'entrer en contact direct avec le liquide en utilisant un réservoir à membrane.

Vous pouvez aussi utiliser un gaz peu soluble comme l'hélium ou l'azote pour pressuriser le liquide lorsque le gaz doit entrer en contact direct avec celui-ci. Appliquez la pression la plus basse possible au liquide et maintenez les pertes de charge aussi faibles que possible tout au long de

l'écoulement du liquide. Cela dépend évidemment de la pression de fonctionnement de l'application. En dernier recours, utilisez un dégazeur pour éliminer le gaz du liquide. Pour en savoir plus à ce sujet, lisez la partie 3 de cet e-book « Alimentation en liquide à l'aide d'une cuve sous pression ».

Conseil 4 : Choisissez une vanne piézoélectrique pour contrôler avec précision les faibles débits de liquide.

Le temps de réponse rapide, le faible volume interne et la faible génération de chaleur des vannes piézoélectriques sont particulièrement intéressants lorsque l'on utilise du gaz pour pressuriser le liquide. Pour une pression de fonctionnement jusqu'à **5 bara**, les électrovannes sont une alternative. Il est préférable d'installer la partie mesure du régulateur de débit entre la vanne et le procédé.



Information plus détaillée

vanne Piézoélectrique ou Electrovanne ?

Vanne Piézoélectrique

Lorsqu'il s'agit de réguler avec précision de faibles débits, une vanne piézoélectrique constitue le meilleur choix. Elle a un temps de réponse rapide et elle est très précise, deux qualités essentielles pour une maîtrise optimale du procédé.

- Par rapport aux électrovannes classiques, la vanne piézoélectrique n'a pratiquement pas de volume mort et ne génère pas de chaleur. Les vannes piézoélectriques sont généralement limitées à une pression de service de 5 bars et ont un indice de protection (IP) limité.
- Un autre inconvénient d'une vanne piézoélectrique peut être son coût plus élevé.

Electrovanne

Les électrovannes présentent certaines caractéristiques qui doivent être prises en compte en fonction de votre application.

- Le comportement de régulation d'une électrovanne peut être affecté en raison des bulles de gaz emprisonnées dans les volumes (morts) internes.
- Une électrovanne produit de la chaleur qui peut dilater le fluide, le fluide a alors un débit volumique plus élevé à la sortie de la vanne qu'en entrée.
- Une augmentation de la température peut provoquer un dégazage du liquide, déstabilisant ainsi le débit. La construction d'une vanne piézoélectrique comprend un volume interne intrinsèquement plus petit, ce qui réduit le risque de piéger du gaz.



Conseil 5 : Maintenez le volume interne le plus faible possible entre le débitmètre et le procédé

Cela permet de minimiser les temps de remplissage et limiter les perturbations extérieures. À cette fin :

- Faites en sorte que les tuyaux de l'installation fluide soient aussi courts que possible et choisissez des tuyaux de petit diamètre.
- Utilisez des tubes rigides, en acier inoxydable par exemple, plutôt que des tubes souples.
- Évitez les « volumes morts » dans les coudes et les vannes où des bulles d'air peuvent être piégées. Les appareils [μ-FLOW](#) et [ML120](#) contiennent chacun un capillaire continu avec un volume mort limité.

Pour en savoir plus sur l'importance d'utiliser la bonne longueur de tuyau, consultez notre article 'Pourquoi le choix de la tuyauterie est-il important pour les débitmètres massiques thermiques ?'

Conseil 6 : Chassez l'air dans le système avant de l'utiliser.

C'est particulièrement important pour les montages en châssis. Connectez d'abord tous les instruments, puis purger les gaz résiduels avant de commencer à réguler ou à mesurer. Pour cela, les



Conseil d'initié

Comment gérer la perte de charge des vannes?

Un effet secondaire inévitable de l'utilisation de tout type de vanne de régulation est la perte de charge relativement élevée. Bien que la chute de pression absolue dans une vanne piézoélectrique soit limitée (en raison de sa pression nominale limitée), la pression plus faible après la vanne peut toujours provoquer la décompression du gaz dissous qui génère des bulles et ainsi faire fluctuer le débit. D'autre part, en mécanique des fluides, sur une ligne de procédé, une vanne de

régulation doit toujours avoir la plus grande perte de charge de tous les composants, sinon sa fonction de régulation peut être altérée. Il faut en tenir compte lors de la sélection des composants tels que les vannes, les filtres et la tuyauterie en particulier. Au lieu d'utiliser une vanne de régulation, une pompe peut également être un moyen alternatif de réguler le débit. Pour en savoir plus sur la configuration des pompes, consultez la partie 4 de ce livre.

PARTIE 3

Alimentation en liquide à l'aide d'une cuve sous pression

Alimentation en liquide pour établir un faible débit de liquide stable

Comme indiqué dans la partie précédente, à l'entrée d'un régulateur de débit une pression très stable est nécessaire pour obtenir un faible débit de liquide stable. Alors qu'un gaz, qui est compressible, peut avoir un effet d'amortissement en absorbant l'instabilité de la pression d'un système, un liquide qui est incompressible, ne peut pas le faire. Bien que les régulateurs de débit de Bronkhorst soient capables de neutraliser dans une certaine mesure les fluctuations de pression, des changements rapides de la pression d'entrée peuvent déstabiliser la régulation de débit.

En général, deux méthodes permettent de fournir une pression d'entrée stable au système liquide : l'utilisation d'une **cuve sous pression** dans laquelle du gaz est utilisé pour pressuriser le liquide, ou une **pompe** à régime stable. Quelle que soit la méthode choisie, il s'agit en partie d'une décision pratique qui dépend des moyens disponibles sur le site du client.

Cuve sous pression

Une cuve sous pression est une option relativement sûre qui ne nécessite pas d'électricité ni de pièces mobiles, et c'est un plus pour certains liquides volatils. Toutefois, les gaz dissous dans le liquide ont un effet négatif sur la stabilité du débit lors de la détente en faisant de la cavitation.

Pompe

L'avantage d'une pompe est qu'en principe il n'y a pas de contact direct entre le gaz et le liquide. Cela signifie qu'aucun gaz ne peut se dissoudre en excès. De plus une pompe peut fonctionner en continu.

Cependant, leurs pièces mobiles rendent les pompes sensibles à l'usure et elles sont souvent plus chères que les systèmes de cuves sous pression.

Il y a un compromis à trouver entre le volume de liquide à utiliser, la pression et l'application. Dans un laboratoire de recherche, par exemple, on peut disposer d'hélium peu soluble dans les liquides pour la pressurisation, tandis que dans un environnement de production, il faut trouver une autre solution, généralement contrôlée par une pompe. Nous vous invitons à lire la partie 4 de cet e-book pour en apprendre plus sur l'utilisation des pompes pour fournir une pression d'entrée stable.

Comment traiter les gaz dissous ?

Lors de l'utilisation d'une cuve sous pression, le principal défi consiste à minimiser la dissolution du gaz dans le liquide. Moins il y a de gaz qui entre en contact avec le liquide, mieux c'est. La loi de Henry stipule que la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz qui est en contact direct avec le liquide. En pratique, cela a des conséquences non négligeables. Le gaz utilisé pour pressuriser le liquide et qui a été dissous dans le liquide à haute pression sera libéré sous forme de bulles de gaz à une pression plus basse plus en aval dans le procédé. Il s'agit généralement d'un phénomène indésirable, la cavitation. De plus, la solubilité d'un gaz dans un liquide diminue à mesure que la température augmente. Une augmentation de la température du liquide entraînera donc également la libération de bulles de gaz.

À cet égard, il est recommandé de maintenir une chute de pression et de température sur la ligne de liquide aussi faible que possible



Conseil 1 : Utilisez une cuve sous pression

Si le gaz est utilisé pour pressuriser le liquide, une recommandation importante est donc d'éviter que le gaz n'entre en contact direct avec le liquide. Par exemple, utilisez une cuve sous pression avec une membrane séparant physiquement le liquide du gaz de pressurisation, de la même manière qu'un vase d'expansion est utilisé dans votre système de chauffage central à la maison.



Conseil d'expert

Quelle est la taille du réservoir de liquide dont vous avez besoin ?

Le réservoir de liquide doit être suffisamment grand pour assurer un débit stable pendant une durée suffisante entre les rechargements. La purge ou le rinçage du système de fluides peut consommer une quantité relativement importante de liquide, tenez-en compte lorsque vous choisissez une taille de réservoir appropriée. Le tableau ci-dessous donne une indication de la consommation de liquide, en fonction de différents débits

Débit		Consommation de liquide	
g/h	mg/min	g par semaine de travail (40 heures)	g par semaine 24 x 7 heures
0.1	1.6	4	16.8
1	16	40	168
10	160	400	1680
100	1600	4000	16800

Conseil d'initié:

Remplissage et vidange d'un réservoir

Un tube transparent placé le long du réservoir de liquide peut fournir une indication visuelle du niveau du liquide à l'intérieur. Notez cependant que le tube en plastique limite la pression de fonctionnement maximale de l'ensemble de l'application.

Un réservoir fait d'une seule pièce, a généralement des ouvertures aux deux extrémités (entrée/sortie). L'entrée sert également d'évacuation d'air lors du remplissage du réservoir. Pour des raisons de sécurité, il est fortement recommandé d'utiliser un entonnoir de remplissage à l'entrée du réservoir afin d'éviter les éclaboussures et les déversements de liquide dus aux bulles de gaz qui sortent de l'entrée.

L'ajout d'un dispositif de vidange à la sortie du réservoir de liquide offre la possibilité de purger et de vidanger. Notez qu'en raison du petit diamètre d'entrée et de sortie, il peut être nécessaire d'ouvrir l'entrée du réservoir pour permettre la vidange.





Conseil 2 : Appliquez des gaz à faible solubilité

S'il est nécessaire ou inévitable que le gaz de pressurisation entre en contact direct avec le liquide, il existe certaines solutions. Par exemple, appliquer des gaz peu solubles. L'hélium est généralement le meilleur choix pour les liquides à base d'eau, suivi par l'azote. Si possible, appliquez la pression la plus faible possible au liquide. Cela dépend évidemment de la pression de fonctionnement de l'application. À cet égard, il peut être utile de positionner le réservoir de liquide suffisamment en hauteur par rapport au régulateur de débit pour laisser la gravité faire son travail, ce qui permet donc une pression de gaz plus faible.

Conseil 3 : Utilisez un dégazeur

En dernier recours, utilisez un dégazeur pour éliminer le gaz du liquide. Il s'agit d'un dispositif comportant un tube poreux auquel on applique un vide à l'extérieur, ce qui provoque l'aspiration de bulles et des gaz dissous du liquide à l'intérieur du tuyau. Les dégazeurs standard fonctionnent bien avec des milieux aqueux (eau).

Pour les faibles débits de liquide **inférieurs à 50 g/h** et en fonction du type d'application, nous recommandons d'utiliser un dégazeur si **la stabilité et la précision maximale** sont essentielles et si les perturbations dues aux bulles de gaz doivent être supprimées. Un dégazeur est considéré comme une option coûteuse, mais si vous avez une application exigeante en performance, vous aurez là, la meilleure solution à votre portée. Pour faire un parallèle avec l'automobile, on n'achète pas des pneus à 25 euros pour une voiture de course très chère.

Conseil 4 : Système de décompression ou réservoir tampon

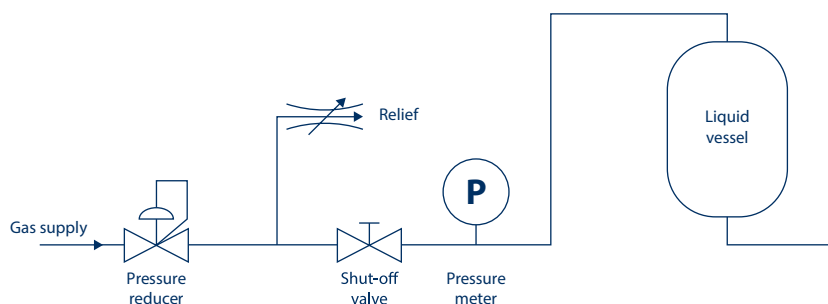
Si les fluctuations de la pression d'entrée dans la configuration de la cuve sous pression sont trop rapides pour que le régulateur de débit puisse les compenser, il existe quelques solutions. Un système de décompression ou un réservoir tampon entre le régulateur de pression et le ciel gazeux du réservoir de liquide peut lisser ces fluctuations pour fournir une pression d'entrée stable au liquide.



Conseil d'initié

mettre une
fuite permanente

Afin de maintenir un débit de liquide stable en aval, la pression d'entrée dans le réservoir de liquide doit être **stable** sur une longue période. Ceci peut être réalisé en installant un détendeur sur la partie alimentation gaz du réservoir de liquide. Une fuite permanente après le détendeur aide à stabiliser la pression du gaz détendu en évitant le pompage de la membrane du détendeur de la bouteille de gaz si le débit est trop faible.





Conseil 5 : Comment gérer les problèmes de corrosion des pièces soudées

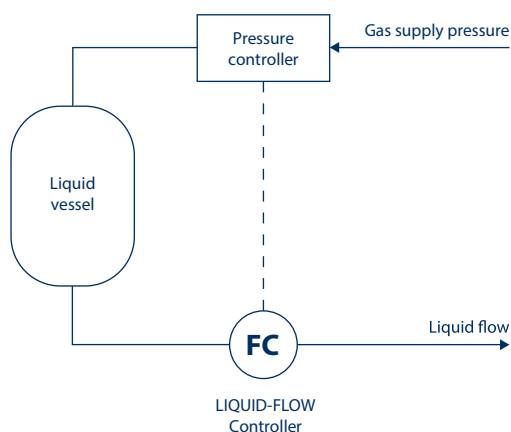
Pour une utilisation avec des milieux aqueux, Bronkhorst recommande d'avoir une cuve faite d'une seule pièce d'acier inox 316 passivé pour éviter les problèmes de corrosion des pièces spécialement soudées. Avec des solvants organiques comme le méthanol, le toluène ou l'acétone, la corrosion des pièces soudées dans une cuve ne pose généralement pas de problème. Comme la régulation du débit de liquide avec une cuve sous pression est généralement un processus discontinu pour assurer le rechargement en liquide, assurez-vous que la cuve soit suffisamment grande pour fournir un débit stable pendant une durée suffisante entre les remplissages. Pour éviter les éclaboussures et les débordements de liquide lors du remplissage, utilisez un entonnoir de remplissage à l'entrée.



Conseil supplémentaire

Minimiser la pression du gaz par un asservissement indirect débit/pression

La pression du gaz pour les réservoirs pressurisés est généralement mise à une valeur fixe. Cette valeur est déterminée ou calculée pour l'application et est généralement fixée à un niveau plus élevé pour compenser la perte de charge due au débit de liquide au travers du débitmètre et de la vanne. **Une configuration de rétroaction indirecte sur la pression d'alimentation** permet d'enlever la perte de charge de la vanne et vous donne la possibilité de minimiser la pression du gaz et de réguler le débit en conséquence. Cela peut être fait en ajoutant un régulateur de pression. Cet exemple montre un régulateur de débit de liquide donnant un signal d'actionneur (commande) à une unité de contrôle de la pression (régulateur de pression). Exemple pratique : La pression nécessaire pour réguler 1 g/h d'eau au travers d'un capteur μ -débit Bronkhorst est d'environ 2 mbar au-dessus de la pression de sortie sur la base. Le régulateur de pression doit être capable de réguler de faibles pressions de 1 à 100 mbar au-dessus de la pression atmosphérique.



En utilisant un asservissement débit/pression à 2 mbar, l'air dissous dans l'eau qui dégaze à la pression atmosphérique est jusqu'à 1500x moins que dans un réservoir pressurisé à 4 bar(a). En suivant l'asservissement du débitmètre, le régulateur de pression ajuste immédiatement la pression d'entrée pour obtenir le débit requis.

Les **instruments de pression** de Bronkhorst peuvent être utilisés dans différentes configurations pour réaliser ce type d'alimentation régulée en liquide.



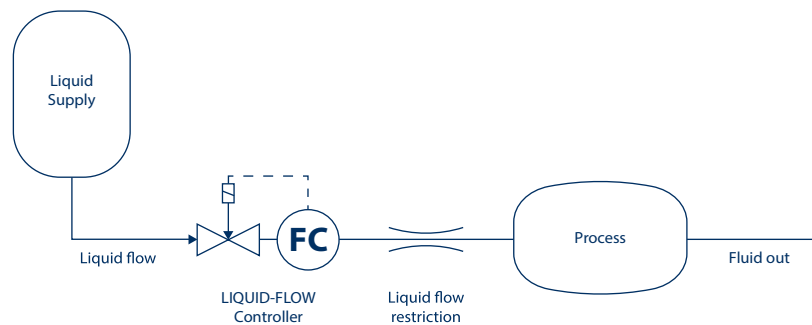
Conseil supplémentaire

Réduire l'impact des bulles causées par les gaz dissous

Les dégazeurs sont très efficaces pour éliminer les gaz des liquides mais ne sont pas toujours une solution en raison du type de liquide ou de l'application. Le gaz dissous dans le liquide est un risque potentiel, il peut être libéré dans le système de manière inattendue et provoquer des effets indésirables. Le dégazage, l'effet de la libération de gaz (bulles), peut être réduit en maintenant une pression constante tout au long du circuit.

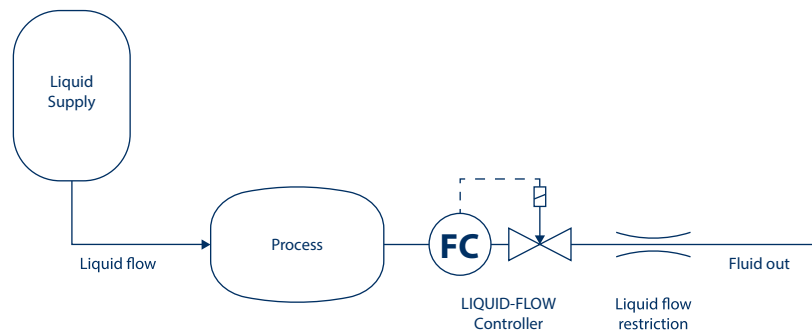
Exemple 1

Créez une restriction du débit de liquide après le régulateur de débit de liquide pour maintenir une pression stable dans le système. Cela empêche le gaz de s'échapper à l'intérieur du régulateur de débit et de déstabiliser le signal de mesure puis de régulation. L'impact potentiel du dégazage (bulles) dans le procédé ou même plus loin en aval peut être acceptable, voire négligeable. Dans certaines applications, le procédé lui-même peut agir comme une restriction.



Exemple 2

Maintenir la pression du système dans le procédé et dans le régulateur de débit de liquide. Cela empêche le gaz de s'échapper dans le procédé et à l'intérieur du capteur de débit. Dans ce cas, le capteur est placé en aval du procédé, c'est une méthode courante dans certaines industries.



Bien que cela ne puisse pas s'appliquer à toutes les installations impliquant de la régulation de débit, la compréhension du principe pourrait aider à la conception des futurs systèmes..



Informations approfondies (1/4)

La loi de Henry, une évaluation empirique de l'équilibre liquide / vapeur qui détermine la dissolution gazeuse dans les liquides

Pour un gaz i qui est soluble dans un liquide, la fraction molaire du gaz dissous dans le liquide, $y_{i, \text{liquid side}}$ est liée à la pression partielle du gaz $P_{i, \text{gas side}}$ par la loi de Henry

$$y_{i, \text{liquid side}} = \frac{P_{i, \text{gas side}}}{H}$$

Où H est la constante de Henry. La constante de Henry augmente avec l'augmentation de la température. Pour 300K, quelques valeurs typiques sont indiquées dans le tableau 1.

Gaz	H
Air	7.4×10^4
He	1.5×10^5
N_2	8.9×10^4
H_2	7.2×10^4
CO_2	1.7×10^3
O_2	4.5×10^4

La solubilité des gaz peut être illustrée par l'exemple d'un réservoir rempli d'eau et pressurisé avec de l'air. À l'interface air-eau, l'air est saturé de vapeur d'eau. L'air et la vapeur sont tous deux des gaz idéaux. La pression de vapeur de l'eau à 300K est de 35mbar, ce qui ne représente qu'une petite partie de l'air à la pression atmosphérique. Cette faible pression partielle peut être négligée pour l'ensemble du tableau.

La fraction molaire de l'air dissous dans l'eau sous la surface de l'eau à la pression atmosphérique est de $1/7.4 \cdot 10^4 = 1,35 \times 10^{-5}$. La masse molaire de l'air est de 28,97g/mole. La masse molaire de l'eau est de 18,02 g/mole. Par conséquent, la fraction massique de l'air dans l'eau pressurisée avec 1 bara est de $2,1 \cdot 10^{-5}$. Avec une densité d'eau connue de 1kg/l, l'eau dans le

réservoir à 1 bara contient 0,022g d'air par litre d'eau. Et avec une densité connue de l'air dans des conditions standard de 1,2 g/l, cela correspond à 0,018 l/l à 1 bara ou 1,8 vol%/bar. Cela signifie que l'eau exposée à l'air à la pression atmosphérique contient l'équivalent de 1,8vol% d'air dissous.

Selon la loi de Henry, la quantité de gaz dissous est proportionnelle à la pression. Ainsi, à une pression plus élevée, il y a plus de gaz qui se dissout dans l'eau. Lorsque la pression est relâchée, le gaz dissous en excès ne peut pas rester dans le liquide et le gaz apparaîtra sous forme de bulles. C'est par exemple le cas lors de la première ouverture d'une bouteille d'eau minérale gazeuse. Pour les systèmes microfluidiques qui exigent une grande stabilité, ce phénomène est à éviter.

Selon les constantes de Henry, la solubilité de l'hélium est inférieure à celle de l'air et la solubilité du dioxyde de carbone est bien supérieure à celle de l'air.

Bulles dans un système microfluidique

Lorsque l'on régule un débit à l'aide d'un dispositif comme celui de la figure A à une pression d'air de 2 bar, le volume d'air dégagé de l'eau à la fin du procédé est de $2 \times 1,8 \% = 3,6 \%$ en volume. L'hypothèse est que l'eau est saturée d'air sous pression à 2 bar(d) et que toute la chute de pression se fait par la vanne de régulation. Il en résulte une expansion volumique théorique due aux bulles d'air de 3,6 % après la vanne en raison de la décompression. Cette expansion de l'air générera 3,6 % de volume de bulles qui entraînera une augmentation du débit volumique après la vanne. Mais comme le débit massique entrant est égal au débit massique sortant, le débit massique moyen, y compris les bulles d'air, reste identique. Aussi, la réduction de la pression ou l'utilisation de l'hélium comme gaz propulseur réduira la quantité de bulles de gaz.



Informations approfondies (2/4)

La loi de Henry, une évaluation empirique de l'équilibre liquide / vapeur qui détermine la dissolution gazeuse dans les liquides

Image A

configuration de base du débit. De gauche à droite : Un réservoir de stockage sous pression avec vanne d'arrêt, débitmètre thermique pour liquide L01, vanne de régulation V21 à commande piézoélectrique. Tous les composants sont interconnectés par un tube en 1/16". Un dégazeur peut être utilisé pour réduire les effets des gaz dissous dans le liquide. Un dégazeur est constitué d'un tube perméable aux gaz qui est placé dans une chambre à vide. Lorsque le liquide contenant des gaz dissous passe dans le dégazeur, les gaz dissous sont extraits du liquide, ce qui devrait permettre un écoulement stable plus en aval. Les dégazeurs sont des appareils disponibles dans le commerce.

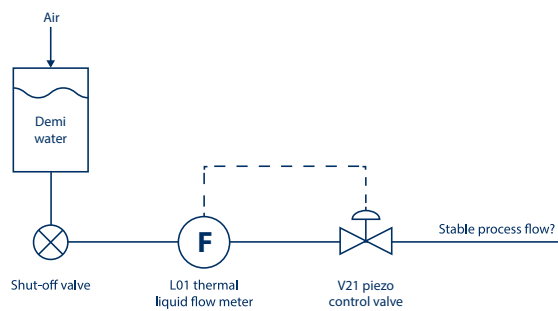
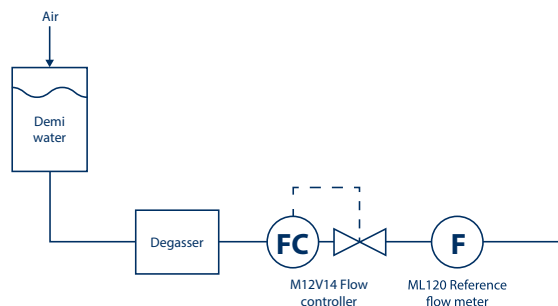


Image B

Installation expérimentale pour étudier l'effet des bulles d'air et du dégazeur. De gauche à droite : cuve de stockage sous pression avec de l'eau, dégazeur, régulateur de débit M12V14. Débitmètre de référence ML120



Les spécifications de précision des instruments utilisés, telles qu'indiquées par le fabricant

Une mesure est effectuée pour contrôler la stabilité du débit du procédé de la configuration de base de l'image B. Pour cela, un capteur de débit ML120 est placé après le régulateur de débit M12V14 pour mesurer la stabilité du débit généré. Au départ, le dégazeur est désactivé afin de laisser l'air dissous dans l'eau. Le M12 a une consigne de régulation pour un débit de 1g/h. En aval, le débitmètre ML120 mesure la stabilité du débit généré. Après quelques heures, le dégazeur est mis en marche pour réduire la quantité d'air dissous. Les résultats sont illustrés dans le graphique 1 et commentés dans la section suivante.

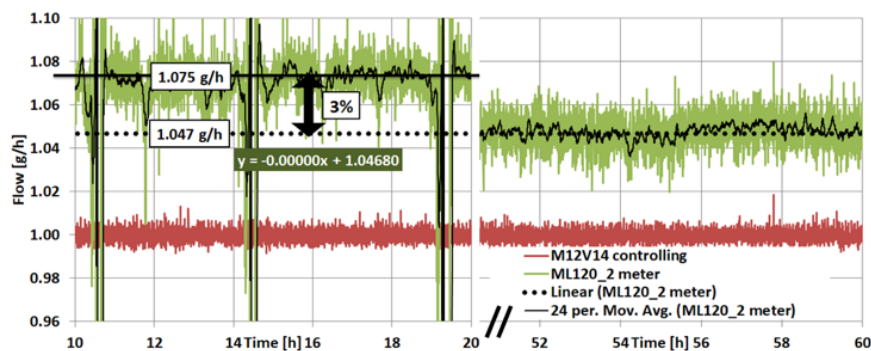


Informations approfondies (3/4)

La loi de Henry, une évaluation empirique de l'équilibre liquide / vapeur qui détermine la dissolution gazeuse dans les liquides

Interprétation des résultats

Le graphique 1 est divisé en deux parties. La première partie, à gauche, montre le rendement avec le dégazeur désactivé. La partie de droite montre les performances du système avec le dégazeur activé. Comme il faut un certain temps pour que le système devienne stable, seules les mesures stables pendant plusieurs heures sont indiquées dans les deux cas.



(Graphique 1 : Résultats des mesures avec le dégazeur désactivé (côté gauche) et le dégazeur activé (côté droit))

Dans le graphique 1, la ligne rouge représente le débit mesuré du régulateur de débit M12 fonctionnant en continu à 1 g/h pendant 60 heures. La ligne verte représente le débit mesuré du débitmètre de référence ML120 placé en aval après la vanne de régulation du M12.

Dans la partie gauche, on voit clairement que le débit du M12 est stable car il régule alors que le ML120 voit un débit discontinu causé par des bulles d'air. On peut également observer un décalage final de 45 mg/h entre les deux instruments, qui peut être causé par une mise à zéro incorrecte des instruments ou un écart d'étalonnage. Cet écart se situe dans les limites de spécifications combinées des débitmètres, comme indiqué dans le tableau :

Propriété	M12V14	ML120
Précision [%RD]	0.2 %	0.2 %
Stabilité du Zéro [mg/h]	100	10

Sur le côté droit du graphique, où le dégazeur est actif, on peut voir un débit inférieur. Le débit semble moins important lorsque les bulles de gaz ne sont pas présentes. Il en résulte une baisse du débit massique d'environ 3 %.

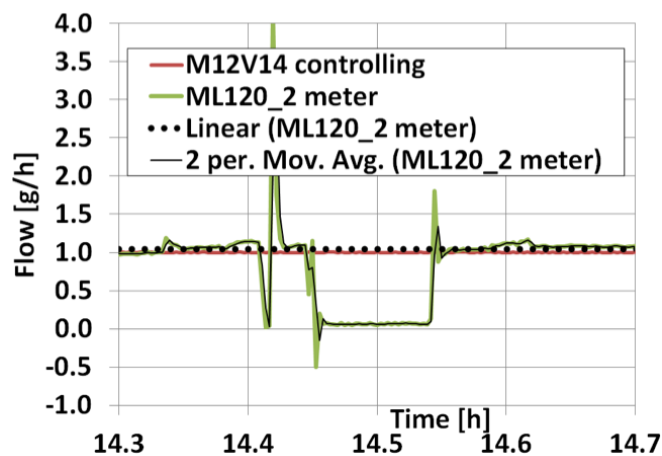
La ligne pointillée à gauche et à droite du graphique est la valeur moyenne calculée sur l'ensemble des données durant 60 heures. Cela montre que dans les deux cas, le débit massique est le même, bien qu'il "semble" plus élevé sur le côté gauche du graphique, entre les bulles d'air.



Informations approfondies (3/4)

La loi de Henry, une évaluation empirique de l'équilibre liquide / vapeur qui détermine la dissolution gazeuse dans les liquides

La bulle d'air met environ 0,1 heure à passer dans le système alors que le débit semble stable entre deux bulles d'air. Le temps entre deux bulles d'air est d'environ 3,5 heures selon le côté gauche du graphique 1. Le pourcentage de temps pendant lequel une bulle d'air est présente dans le capteur est égal à $0,1/3,5 = 3\%$. Dans ce laps de temps, le débit massique est presque nul car les bulles d'air passent à la même vitesse que le liquide alors que la densité est de 0,1% de celle de l'eau.



(Graphique 2 : Un zoom sur une bulle d'air passant devant le débitmètre de référence à 14,5 heures)

Conclusion

Les gaz dissous dans le liquide seront libérés lorsque la pression sera atténuée. Cela se produit dans les systèmes microfluidiques lorsque les réservoirs de liquide sont pressurisés au gaz et que le débit est régulé par des vannes qui provoquent une chute de pression (perte de charge). Les bulles de gaz provoquent une instabilité et des déviations dans le débit massique.

La conclusion que l'on peut tirer de l'expérience est que dans le cas où des bulles d'air sont présentes dans un système initialement pressurisé à 2 bara, le débit massique est supérieur de 3 % la plupart du temps, alors que dans 3 % du temps, le débit massique est proche de 0, ce qui donne le même débit massique moyen que si le gaz était encore dissous. Cet effet semble très faible mais est très bien mesurable avec des débitmètres de bonne précision.

Bien que le débit massique moyen soit le même dans des conditions stables, il semble être plus élevé entre les bulles de gaz produites. Comme le débit dans notre exemple est régulé par un débitmètre précis, il faut s'attendre à ce que le débit délivré soit précis. Cependant, en présence de gaz dissous et de chute de pression (perte de charge), le débit massique entre les bulles de gaz peut être plus élevé de quelques pourcents après le régulateur de débit. L'écart mesuré de 3 % correspond à peu près aux 3,6 % calculés. Un dégazeur réduit la perturbation et les écarts causés par les bulles d'air.

PARTIE 4

Alimentation en liquide à l'aide d'une pompe

Pour garantir qu'un régulateur de débit ait un (ultra) faible débit de liquide stable, une pression d'entrée très stable est indispensable. Comme vous l'avez lu dans la partie 3 de cet e-book, la présence de gaz dissous dans le liquide est la principale difficulté à surmonter lors de l'utilisation d'une cuve sous pression pour obtenir un faible débit de liquide stable. S'il est essentiel d'éviter la dissolution de gaz dans le liquide, l'utilisation d'une pompe pour produire la pression d'entrée est un bon choix.

Pourquoi l'utilisation d'une pompe ?

Une pompe est un dispositif permettant de fournir **une pression ou un débit stable, fiable et continu** pour cette application. Aucun gaz dissous n'entrera dans le flux de liquide, car l'action mécanique de la pompe seule pressurise le liquide. Si la pompe soutire le liquide d'un réservoir séparé non pressurisé, celui-ci peut être rempli à tout moment sans interrompre le débit injecté. Il est recommandé que cette cuve soit placée au même niveau que la pompe afin d'éviter une aspiration en dépression qui risquerait de produire des bulles de gaz quand le réservoir est placé plus bas. Dans le cas contraire où le réservoir est placé en hauteur, il convient de prévoir une vanne d'arrêt supplémentaire ou un clapet anti-retour qui empêche que la cuve ne se vide spontanément dans la pompe. Assurez-vous que cette vanne soit montée de sorte qu'il n'y ait aucun volume mort supplémentaire, où de l'air pourrait s'accumuler et se dissoudre dans le liquide.

Quel type de pompe choisir ?

Une pompe à mouvement – comme une pompe à engrenages ou une pompe à piston – permet de fournir la pression d'entrée nécessaire pour le régulateur de débit. Dans une pompe à engrenages, un volume de liquide fixe se déplace entre les dents des engrenages rotatifs afin de générer un débit.

Dans une pompe à piston, un débit de liquide est généré par les déplacements linéaires d'un piston qui remplit et vide un volume fixe. De manière générale, les petites pompes sont préférables, car une pompe ayant un faible volume interne réduit le temps d'injection et du renouvellement de la charge. Quel que soit le type de pompe choisi, assurez-vous toujours que les matériaux de la pompe en contact avec le fluide résistent au liquide utilisé. Étant donné que le volume de liquide fixe déplacé dans les pompes à engrenages est généralement plus faible que dans les pompes à piston, les premières sont davantage recommandées si un client souhaite une régulation du débit relativement stable pour de faibles débits de liquide. Toutefois, **les pompes à engrenages** sont limitées à une pression de fonctionnement maximale de **10 à 15 bars** en général. **Les pompes à piston** peuvent gérer des pressions plus élevées, de quelques dizaines de bars à **plus de 100 bars**. De telles conditions de procédé sont fréquentes dans des applications à faible débit.

Les pompes à double piston que nous utilisons chez Bronkhorst sont déphasées de 180° et offrent dès lors une pression/un débit très stable, ce qui est important dans la gamme « faible débit ». Quant à savoir si une telle pompe est suffisamment précise, cela dépend du procédé de l'application client. La quantité de liquide requise est précisément dosée mais, en raison du principe de fonctionnement du pompage, elle sera dosée par petites impulsions. Si le volume du procédé est assez élevé, il sera suffisant pour lisser les impulsions. Cependant, si vous voulez un dosage ponctuel qui soit réparti de façon uniforme sur une courte période de quelques secondes, une telle installation de pompe à piston sera moins adaptée et une pompe à engrenages sera un meilleur choix.



Utilisation de débitmètre massique avec une pompe en vue d'obtenir une boucle de régulation

Les débitmètres massiques de Bronkhorst, en particulier les Coriolis, sont idéaux pour travailler avec des pompes afin d'obtenir une boucle de régulation qui fixe un faible débit stable. Une autre méthode permettant de créer un faible débit stable, consiste à utiliser la pompe avec une boucle de régulation de pression. Dans ce cas-ci, la vitesse de la pompe est régulée grâce à un régulateur de pression (**EL-PRESS**) qui établit une pression d'entrée stable et constante. Parallèlement, le débit est réglé par une vanne de régulation actionnée au moyen d'un débitmètre/régulateur, tel que le mini CORI-FLOW ML120 de Bronkhorst

Pour de nombreuses applications à faible débit, l'installation d'une boucle de régulation ne doit pas être aussi complexe que celle combinant les régulations du débit et de la pression, décrite ci-dessus.

La manière la plus simple d'utiliser une pompe pour générer un débit de liquide est de la laisser soutirer le liquide dans une cuve et de réguler la vitesse de la pompe par le signal « actionneur » de la boucle de régulation du débitmètre-régulateur. Dans la pratique, une telle installation de « **régulation directe** » a été appliquée pour le dosage stable de faibles débits d'hydrocarbures liquides sans pulsation pour la R&D de catalyse haute pression.

Pour assurer une régulation douce et un débit stable sur toute la plage de débit, une ligne de dérivation (by-pass) peut être ajoutée entre la sortie de pompe et le débitmètre-régulateur avec une restriction réglable, comme une vanne à pointeau. Dans le cas de la configuration avec dérivation, la vitesse de la pompe sera plus grande, ce qui entraînera une régulation du débit/de la pression plus stable, de sorte que la pompe fonctionnera à un régime plus efficace et stable, permettant un débit de sortie du liquide plus lissé.



Conseils d'experts

Configurations possibles des pompes

Mise en place d'un contrôle direct

La façon la plus simple d'utiliser une pompe pour générer un débit de liquide est d'utiliser un dispositif de contrôle direct. Dans cette configuration, la pompe est directement commandée par le débitmètre (avec régulateur PID intégré). La plage de débit supportée par la pompe doit être comparable à la plage de mesure du débitmètre.

- Un filtre est placé devant la pompe pour la protéger contre les particules.
- Les débitmètres Bronkhorst présentent un logiciel pour programmer une alarme de réponse empêchant le fonctionnement à sec de la pompe.
- Cette configuration peut avoir une rangeabilité limitée (20:1) car la plupart des pompes sont plus instables dans les plages basses de débit.

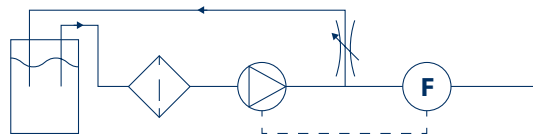




Configuration d'une boucle de recirculation ou dérivation/by pass

L'utilisation d'une boucle de recirculation derrière le module de pompage présente plusieurs avantages dans les applications à faible débit de liquide. Dans certains cas, elle peut même être nécessaire. À très faible débit, la pompe peut devoir fonctionner dans la partie inférieure de sa plage de vitesse, ce qui peut entraîner un comportement de régulation instable : des pulsations. L'ajout d'une boucle de recirculation permet à la pompe de fonctionner à une vitesse plus efficace, alors que la quantité de liquide dosé peut encore être très faible. Dans de nombreuses configurations, une recirculation peut aider à faire fonctionner la pompe à la vitesse la plus efficace. Cette configuration permet également d'obtenir une rangeabilité plus importante, ce qui signifie que la configuration peut être utilisée dans la plage de débit supérieure du régulateur de débit liquide avec la recirculation fermée, et dans la plage inférieure du LFC avec la recirculation ouverte.

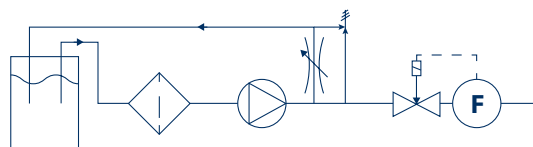
Article Que faire en cas de vibrations lors de l'utilisation de débitmètres massiques Coriolis



Réglage de la pompe à une vitesse fixe

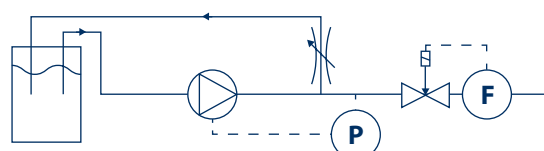
Une autre méthode consiste à faire fonctionner la pompe à une vitesse fixe (optimale), créant ainsi un débit continu et stable de liquide à une pression constante. Le flux retourne dans le réservoir de stockage par le biais d'une boucle de recirculation (by-pass). Un régulateur de débit de liquide avec une vanne utilise le débit d'alimentation constant pour réguler le liquide dans le procédé. Des composants supplémentaires sont ajoutés pour prolonger la durée de vie du système: une soupape de sécurité de surpression pour protéger l'installation des pics de pression imprévus et un filtre à particules supplémentaire pour plusieurs raisons.

1. La pompe est généralement capable de supporter des particules plus grosses que dans la vanne de régulation (surtout s'il s'agit d'une vanne piézoélectrique).
2. En raison de la plus grande surface et de la taille des pores, le premier filtre a une capacité de débit sensiblement plus élevée que ce qu'exige le débitmètre, ce qui est nécessaire pour travailler sur la plage haute de débit de la pompe.
3. Le deuxième filtre protège la vanne de régulation non seulement contre les particules qui passent par le premier filtre, mais aussi contre les particules générées par la pompe.



Configuration de la régulation de pression

Une optimisation finale peut être obtenue en régulant la vitesse de la pompe au moyen d'un régulateur de pression, afin de fournir une pression d'entrée stable pour le procédé en aval.



PARTIE 5

Comment gérer les conditions externes

Quelle influence les conditions ambiantes peuvent-elles avoir sur votre débitmètre ?

Les débitmètres Bronkhorst mentionnés dans les précédentes parties de cet e-book, qui sont capables de mesurer des (ultra) faibles débits, y sont très sensibles. Cela implique que même les perturbations les plus infimes du procédé d'un client ou des conditions ambiantes peuvent être perceptibles. Toute perturbation éventuellement déjà présente dans le procédé est désormais vue par le capteur, grâce aux mesures beaucoup plus précises de ces débitmètres très sensibles.

Un client peut alors réagir en se disant que « quelque chose ne va pas avec ce débitmètre ! » Mais n'oublions pas que nos outils ne sont que des transmetteurs d'information ! Les informations contenues dans cet e-book vous permettront d'optimiser votre procédé lors de l'utilisation d'un débitmètre. Vérifiez les éléments externes tels que les **tuyaux** en amont et en aval du débitmètre, ainsi que tout équipement vibrant et l'éventuelle **présence de particules solides** dans le liquides qui peuvent avoir une influence sur la mesure.

Pour mettre ce qui précède en pratique : lors du choix d'un régulateur de débit ou d'un débitmètre massique Coriolis, une pression amont relativement élevée sera nécessaire pour compenser la chute de pression (perte de charge) relativement élevée de l'appareil, ce qui est globalement le cas lorsque les instruments Coriolis fonctionnent dans leur plage de débit nominale. Toutefois, pour les instruments Coriolis ayant une large gamme de mesure (jusqu'à 1 % de la pleine échelle), la perte de charge dans la partie inférieure de l'échelle est généralement négligeable et comparable à celle des débitmètres thermiques.

Bien que les mesures faites avec un débitmètre Coriolis soient beaucoup plus précises qu'avec un débitmètre thermique, une forte pression amont d'un volume sous pression va causer la dissolution d'une plus grande quantité de gaz dans le liquide. La libération de ce gaz dissous sous forme de bulles lors de la détente à une pression inférieure dans le procédé entraîne une instabilité. Cet e-book est destinée à vous sensibiliser à tout ce que vous pouvez faire pour améliorer la configuration de votre procédé, chaque méthode ayant ses propres avantages, ses inconvénients et ses effets induits.

Quels tuyaux dois-je choisir?

Choisissez le plus petit tuyau possible. En **minimisant la longueur et le diamètre** du tuyau d'alimentation de liquide entre le débitmètre et le procédé, le temps nécessaire au remplissage et au renouvellement sera aussi court que possible. La chute de pression sur les débitmètres massiques Coriolis est beaucoup plus importante que sur les débitmètres thermiques parce que le capillaire de ces derniers est environ 20 fois plus court et que son diamètre est plus large.

Trouvez la solution optimale entre la perte de charge et le plus petit volume intérieur de tuyau possible. Pour **les faibles débits jusqu'à 100 g/h**, il est recommandé d'utiliser un tuyau d'un diamètre extérieur de **1/16 pouce** (~ 1,6 mm). Pour **les débits supérieurs**, nous recommandons des tuyaux de **1/8 pouce** (~ 3,2 mm) afin de limiter la perte de charge. Essayez d'utiliser aussi peu que possible des raccords, coudes ou connecteurs en T, car ils risquent de provoquer une accumulation de bulles d'air et une instabilité du débit. Si nécessaire, utilisez des raccords de petit volume.



Conseils d'expert

tailles de tuyau recommandées

Les conduites de diamètre intérieur (DI) plus petit entraînent une perte de charge plus importante, ce qui augmente le risque de dégazage des gaz dissous. Il faut trouver un compromis optimum entre la perte de charge et le plus petit volume interne possible de la tuyauterie. En général : Faibles débits < 100 g/h => OD : 1/16 de pouce / Débits supérieurs > 100 g/h => OD : 1/8 de pouce (OD = diamètre extérieur)

Débit (g/h)	Taille de tuyau recommandée (OD x ID)	Perte de charge sur 10 cm / 100 mm	Vitesse du liquide (estimation)
0.1	1/16" x 0.01"	< 0.3 mbar	0.5 mm/s
	1/16" x 0.02"	négligeable	0.1 mm/s
1	1/16" x 0.01"	< 3.0 mbar	5.5 mm/s
	1/16" x 0.02"	< 0.3 mbar	1.4 mm/s
2	1/16" x 0.01"	< 6.0 mbar	11 mm/s
	1/16" x 0.02"	< 0.5 mbar	2.7 mm/s
	1/8" x 0.0069"	négligeable	0.2 mm/s
10	1/16" x 0.02"	< 0.2 mbar	13.7 mm/s
	1/8" x 0.069"	négligeable	1.2 mm/s
100	1/16" x 0.02"	< 20 mbar	137 mm/s
	1/8" x 0.069"	< 0.2 mbar	11.5 mm/s

(Tableau : tailles de tuyau recommandées et pertes de charge attendues (calculées avec de l'eau))

Le choix de tuyaux rigides (en acier inoxydable, par exemple) ou souples dépend principalement de la pression d'utilisation. Il est rare que des tuyaux souples soient utilisés à haute pression. **Pour les débits inférieurs à 2 g/h**, l'utilisation de **tuyaux rigides** est fortement recommandée parce qu'elle permet de prévenir les changements de volume interne. Pour les débitmètres avec capillaires en hastelloy, nous recommandons d'utiliser des tuyaux en hastelloy. Du polyétheréthercétone, ou PEEK, est de préférence appliqué pour les liquides agressifs qui attaquent l'acier inoxydable.

Exemple

Différence entre le résultat d'une installation utilisant un tuyau de 1/4 de pouce et un tuyau de 1/16 de pouce

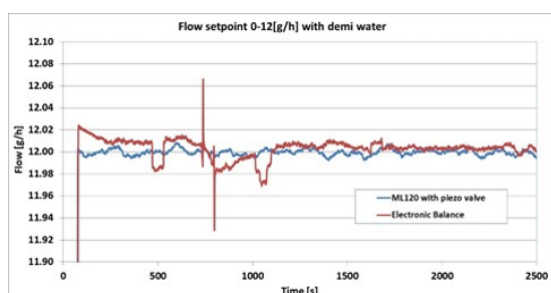


Figure A: tube 1/4

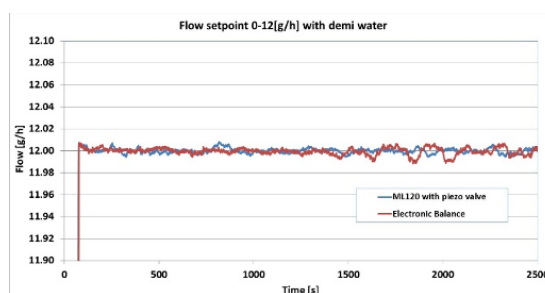


Figure B: tube 1/16

Utiliser des matériaux à faible coefficient de dilatation. Lorsque ces matériaux sont utilisés, l'installation est moins sensible aux changements ambiants, tels que les changements de température et de pression.

Un diamètre de tuyau plus important rend le débit plus sensible aux gradients de température en cours de route, en raison de la dilatation du tuyau et d'un volume de liquide plus important à l'intérieur du tuyau. Les figures A et B donnent une indication de la stabilité de l'écoulement dans une section de tuyau chauffé à 40 °C.



Se prémunir des coups de bélier en évitant les changements soudains de diamètres des tuyaux

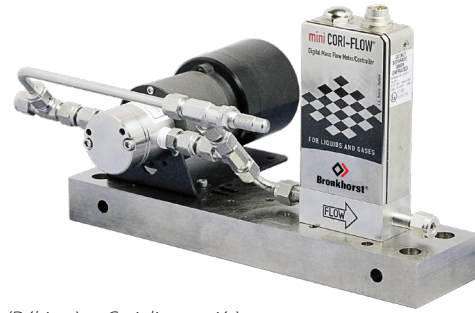
Le coup de bélier est un phénomène qui nécessite une attention particulière. Vous le connaissez déjà de par vos toilettes ou votre lave-vaisselle à la maison : il s'agit du choc hydraulique qui se produit lorsqu'un liquide en mouvement est soudainement forcé à s'arrêter ou à changer de direction. Il en résulte alors des variations de pression nettement supérieures aux valeurs de pression (statique) pour lesquelles un système a généralement été dimensionné.

Préservez-vous des coups de bélier en évitant les changements soudains de diamètre d'un tuyau à l'autre, en installant un petit amortisseur de pulsations (lorsqu'une colonne de gaz isolée avec une membrane a un effet d'amortissement), en augmentant progressivement une pression appliquée ou en évitant de faire fonctionner une pompe alors qu'une vanne est fermée.

Comment gérer les vibrations ?

Les vibrations d'une pompe ou d'un autre équipement environnant peuvent avoir un impact négatif sur les performances des débitmètres massiques Coriolis. En effet, le principe de fonctionnement des instruments Coriolis repose sur les vibrations. Il convient donc de s'assurer que les pompes et autres machines environnantes vibrent à des fréquences différentes de celle du débitmètre Coriolis. Afin d'empêcher ces vibrations extérieures d'atteindre le débitmètre Coriolis, vous pouvez utiliser un tuyau en PEEK (légèrement flexible), ou le débitmètre/régulateur de débit peut être dissocié mécaniquement en faisant faire une boucle au tuyau rigide (« lyre en cor de chasse »). Pour les instruments Coriolis, Bronkhorst dispose de blocs de lestage 2 kg et 4 kg avec amortisseurs de vibrations, des éléments tampons supplémentaires pour absorber les vibrations.

Article [Que faire en cas de vibrations lors de l'utilisation de débitmètres massiques Coriolis](#)



(Débitmètre Coriolis associé à une pompe, montés sur un bloc de lestage)

Et concernant l'étalonnage?

Nous vous recommandons d'étalonner les débitmètres thermiques tels que les appareils [μ-FLOW](#) et [LIQUI-FLOW](#) une fois par an. Pour les appareils Coriolis comme le [mini CORI-FLOW ML120](#), aucun étalonnage n'est nécessaire, car leur principe de mesure est moins sensible au vieillissement. Dans certains secteurs (automobile, pharmaceutique et alimentaire, par exemple), un étalonnage régulier est toutefois exigé par la législation ou par la normalisation. Dans ces secteurs, il est d'une importance vitale que les appareils de mesure indiquent des valeurs exactes. À des fins d'étalonnage, il peut être utile d'appliquer des tuyaux flexibles transparents, en Téflon, par exemple, afin de pouvoir détecter visuellement toute bulle de gaz présente dans le liquide d'étalonnage.

Utilisez des filtres à particules pour éviter tout encrassement

Afin d'empêcher les tubes et les capillaires de débitmètres de petit diamètre de s'encrasser, ou de prévenir les dommages des vannes de régulation piézoélectriques, il est recommandé d'intégrer en amont un ou plusieurs filtres à particules. Cette démarche est importante en cas d'utilisation de capteur de petit diamètre et de vannes de régulation pour les débits les plus faibles. Les pores du filtre doivent être au moins dix fois plus petits que le capillaire de mesure, orifice ou restriction de régulation dans le système et, en amont d'une vanne de commande piézoélectrique, la porosité recommandée est de **5 microns**. Une grande surface de filtre peut compenser une perte de charge importante causée par la petite taille des pores.



Conseil d'initié

Installer un filtre
à particules

Dans la gamme des faibles débits de liquide, la présence des plus petites particules peut augmenter le risque de colmatage et donc d'endommagement des composants. Pour assurer un débit stable dans la plage de faible débit, il est important que le liquide soit absolument exempt d'impuretés. Cependant, même lorsque vous utilisez un liquide de la plus haute pureté, il est fortement recommandé d'utiliser des filtres à particules. Lors du choix d'un filtre approprié, observez les recommandations suivantes:

Taille des pores

- *Au moins 10 fois moins que le plus petit capillaire, orifice ou espace de contrôle du système*
- *La porosité recommandée est de 5 µm (pour les vannes piézo)*
- *Si le liquide traité contient de nombreuses particules, plusieurs étages de filtration avec des pores de taille décroissante peuvent être une option pour éviter le colmatage rapide du filtre le plus fin.*

Superficie

- *Une perte de charge élevée doit être évitée, elle peut provoquer le dégazage du gaz dissous avec ses bulles.*
- *La surface du filtre doit assurer une faible perte de charge, même lors de la mise en route ou de la purge du système*
- *Une grande surface peut compenser une perte de charge plus importante causée par une petite taille de pores*
- *Une grande surface permet de réduire l'encrassement et donc la fréquence des entretiens comme le nettoyage et le remplacement.*

Conseils

- *Montez le filtre "à l'envers" (sortie vers le haut (si possible)), afin que les bulles de gaz puissent s'échapper pendant la purge.*
- *Choisissez des filtres en Té pour liquides avec le porte-cartouche monté vers le bas pour éviter le piégeage de bulle d'air.*
- *Nettoyez ou remplacez les filtres bouchés ; veillez à les remonter dans le même sens qu'avant.*
- *Veillez à installer le filtre devant chaque élément sensible au colmatage ou à l'endommagement.*
- *Attention : Les filtres ne filtrent pas les éléments dissous comme les sels minéraux (par exemple, la chaux ou le chlorure de sodium dissous) et les stabilisateurs chimiques. Un traitement spécifique du liquide est nécessaire, par exemple la déminéralisation de l'eau.*

Besoin de conseils?

Contactez-nous



www.bronkhorst.com