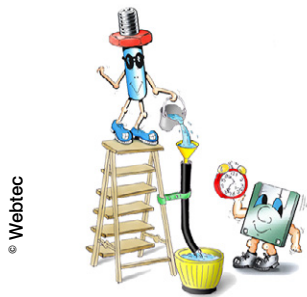


Débitmètres hydrauliques

Webtec propose son guide de choix

Edité par la société Webtec, ce guide explique la notion de débit, passe en revue les critères de choix d'un débitmètre et **détaille certains des procédés les plus courants de mesure du débit sur des systèmes hydrauliques.**



► « Le débit est la mesure du volume d'un liquide qui franchit un point fixe par unité de temps. Dans la plupart des applications hydrauliques, le débit est mesuré en litres par minute (lpm), en gallons US par minute (US gpm), ou parfois en gallons britanniques par minute (UK gpm).

Le débit est à l'ingénieur hydraulicien ce que le courant est à l'électricien, la pression étant l'équivalent hydraulique de la tension. Mesurer l'un sans l'autre peut conduire à un diagnostic erroné des raisons pour lesquelles un système ne remplit pas sa fonction.

Par exemple, si un vérin hydraulique ne bouge pas, on peut mesurer la pression à l'admission et constater qu'elle est de 200 bar (3000 psi) comme prévu. On pourrait conclure que le groupe de puissance hydraulique fonctionne parfaitement et que la panne se situe à l'intérieur du vérin.

Mais en mesurant le débit entrant dans le vérin, on pourrait constater qu'il est inexistant. Ce qui amènerait à se demander si la pompe fonctionne et à se concentrer sur les composants susceptibles d'influer sur le dé-

bit, comme la pompe ou une soupape de décharge mal réglée.

Cinq questions

Une façon approximative de mesurer le débit dans un système hydraulique sans disposer de débitmètre consisterait à chronométrer le temps nécessaire pour remplir un seau d'huile. À partir du volume du seau et du temps qu'il met à se remplir, on peut calculer le volume par unité de temps, autrement dit le débit. La précision dépend de nombreux facteurs, notamment le volume du seau et le type de chronomètre utilisé. Toutefois, en dehors de son côté dangereux, cette solution n'est guère réalisable: une fois que l'huile est dans le seau, elle est hors circulation, exposée à la contamination.

Lors de la recherche d'un débitmètre à utiliser dans une application hydraulique particulière, cinq questions peuvent apporter une aide réelle :

1. Quelles sont les propriétés des fluides ?
2. Quelles sont les conditions de fonctionnement du système hydraulique ?
3. Pourquoi mesure-t-on le débit; avec quelle précision doit-on mesurer le débit ?
4. Quel effet pourrait avoir le débitmètre sur le fluide et vice versa ?
5. Quelle importance revêt la mesure du débit ; quel est son budget ?

Une fois les réponses apportées à ces questions, il devient plus

Table showing kinematic viscosity (cSt) of different mineral oils at specific temperatures

Temp °C	Fluid type					
	ISO15	ISO22	ISO32	ISO37	ISO46	ISO68
0	85.9	165.6	309.3	449.9	527.6	894.3
10	49.0	87.0	150.8	204.7	244.9	393.3
20	30.4	50.5	82.2	105.5	127.9	196.1
30	20.1	31.6	48.8	59.8	73.1	107.7
40	14.0	21.0	31.0	36.6	44.9	63.9
50	10.2	14.7	20.8	23.9	29.4	40.5
60	7.7	10.7	14.7	16.5	20.2	27.2
70	6.0	8.1	10.9	12.0	14.6	19.2
80	4.8	6.4	8.4	9.1	11.1	14.3
90	4.0	5.2	6.6	7.2	8.7	11.1
100	3.3	4.3	5.5	6.0	7.1	8.9

facile de spécifier le débitmètre approprié pour son application à un prix correct pour s'assurer d'obtenir les bons résultats.

Fluides et conditions de fonctionnement

Tout d'abord, le débitmètre sera-t-il utilisé en permanence sur le même fluide ? C'est typiquement le cas lorsqu'un débitmètre est installé à demeure. En revanche, en cas de déplacement sur différentes machines, il pourrait être utilisé avec une gamme de fluides différents.

Les caractéristiques et propriétés du fluide peuvent influencer considérablement le choix de votre débitmètre. Est-il corrosif ou s'agit-il d'un lubrifiant naturel ? Quelle est sa viscosité et sa compatibilité avec les matériaux ?

Les conditions de fonctionnement du système hydraulique entrent également en ligne de compte, selon que l'on doive, par exemple, mesurer des débits importants qui varient peu (entre 1000 et 1100 lpm, soit 264 à 291 US gpm), ou mesurer

une gamme étendue de débits (entre 1 et 400 lpm, soit 0,26 à 106 US gpm). Avec un débit aussi élevé, le premier exemple peut paraître extrême, mais est en fait beaucoup plus simple à mesurer que le deuxième exemple.

Le fait de connaître les débits minimal et maximal que l'on souhaite mesurer influe directement sur le type de débitmètre à acheter ainsi que sur son prix. Le rapport du débit le plus élevé au débit le plus faible est appelé "taux de variation de débit". Dans le premier exemple, celui-ci est de 1,1:1, tandis que dans le deuxième exemple, il est de 400:1. Plus ce rapport est grand, plus il sera difficile de trouver un débitmètre unique couvrant la plage entière avec une précision uniforme. Il sera alors nécessaire d'utiliser deux instruments ou plus pour couvrir la plage, ou de revoir la plage minimale de fonctionnement et décider que 10 à 400 lpm (2,6 à 106 gpm) sont acceptables, ce qui réduira le rapport à 40:1. Il est aussi important de connaître le niveau typique de

propreté du système, en particulier s'il n'est pas très propre, car certains débitmètres sont plus sensibles à la contamination et peuvent facilement se bloquer dans ce cas.

Propreté de l'huile

Il existe de nombreux guides pour définir le niveau de propreté approprié d'un système hydraulique. Les travaux de Brendan Casey sont très instructifs et peuvent être trouvés sur internet ("Brendan Casey - propreté des fluides hydrauliques").

La pression maximale de fonctionnement influe sur le type de matériau du débitmètre et donc sur son prix. Il peut ainsi être plus facile et meilleur marché de surveiller la pression dans une canalisation de réservoir à 10 bar que de surveiller la canalisation sous pression à 350



bar. Dans le premier cas, l'instrument pourrait être fabriqué à partir d'un corps en aluminium moulé en coquille, tandis que dans le second, il devrait être usiné dans de l'aluminium de qualité supérieure ou dans de l'acier inoxydable.

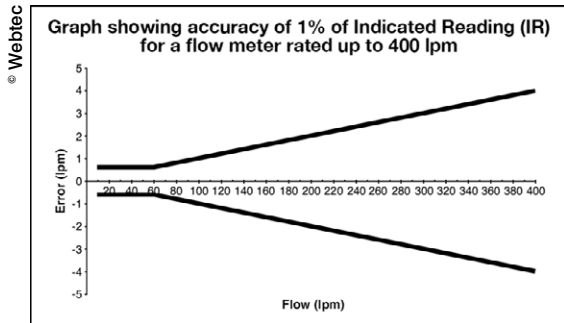
Une fois les propriétés du fluide

et la plage de température de fonctionnement connues, on peut calculer rapidement la viscosité cinématique du fluide. Par exemple, dans un système hydraulique typique utilisant un fluide ISO32 entre 40°C et 60°C, la viscosité cinématique varie entre 34 et 15 cSt.

Viscosité du fluide

À mesure que la température d'une huile hydraulique augmente, la viscosité cinématique diminue. La vitesse de variation de la viscosité du fluide est décrite par "l'indice de viscosité". Plus l'indice de viscosité est élevé, plus le taux de variation de la viscosité est faible par degré de variation de la température.

L'effet de la variation de viscosité de l'huile affectera certaines technologies de débitmètres plus que d'autres. Par conséquent, si la viscosité de l'huile du système hydraulique est assez stable et se situe entre 10 et 100 cSt, tous les types de débitmètres énumérés ci-dessous peuvent être utilisés. Mais si l'huile est utilisée pour la lubrification à haute pression et si sa viscosité est en permanence supérieure à 100 cSt, ou s'il



s'agit d'un fluide hydraulique biodégradable à faible viscosité, l'instrument doit être adapté aux fortes ou aux faibles viscosités. Ce qui a pour effet de limiter les types d'instruments utilisables. La situation la plus difficile est sans doute celle où le fluide est sujet à d'importantes fluctuations de température, se traduisant par de fortes variations de viscosité pouvant affecter directement la précision du débit. L'instrument choisi doit alors être relativement insensible à l'effet de la viscosité, disposer d'une compensation intégrée de viscosité ou être étalonné pour une viscosité moyenne, en spécifiant des marges lorsque la température/viscosité est « hors de la plage ».

Pour plus d'informations sur la "viscosité des huiles hydrauliques", on peut consulter www.webtec.com et rechercher "viscosité" dans le champ de recherche en haut à droite.

Signaux

Pour certaines applications, la mesure du débit est nécessaire pour surveiller des tendances, par exemple, savoir si "le débit est supérieur ou inférieur à celui de la semaine dernière". Pour d'autres, la mesure du débit est nécessaire pour comparer les performances à celles d'autres systèmes ou aux caractéristiques du constructeur. Dans le premier exemple, la répétabilité est plus importante. Dans le second, on a besoin de répétabilité et d'une meilleure précision. Selon l'application, il peut également être nécessaire de capturer un signal provenant du débitmètre pour l'envoyer à un

API ou à un enregistreur de données, de façon à pouvoir garder une trace du débit à travers le système à un instant particulier. Certains débitmètres de base ne disposent que d'un cadran analogique et peuvent rarement être mis à niveau. Mais de nombreux débitmètres proposent en standard un signal de sortie. Il existe une gamme étendue d'options de signaux : analogiques ou numériques, linéaires ou non linéaires. De nombreux débitmètres sont dotés d'une électronique embarquée qui convertit la mesure brute, par exemple une fréquence non linéaire, pour s'assurer que le signal de sortie soit linéaire.

Pour une précision optimale, un signal numérique linéaire tel que CAN donne la plus petite erreur et les résultats les plus fiables, indépendamment de la longueur du câble. De nombreux clients préfèrent utiliser des signaux analogiques linéaires traditionnels, notamment de 0 à 5 V,

0 à 10 V ou 4 à 20 mA, parce qu'ils disposent souvent d'indicateurs existants et qu'ils sont faciles à raccorder et à dépanner. Cependant, si la précision est cruciale, il faut savoir que les dispositifs à sortie analogique peuvent introduire des erreurs de conversion analogique-numérique. Enfin, des précautions s'imposent lorsque des câbles de grande longueur (plus de 5 m/16 ft) sont utilisés avec des dispositifs à sortie en tension, car il peut se produire une chute de tension significative sur la longueur du câble, ce qui aura pour conséquence d'accroître l'erreur sur les valeurs affichées.

Précision

La précision est normalement annoncée par le constructeur du débitmètre sous la forme d'une valeur en pourcentage pour indiquer la plage d'erreur admissible. Celle-ci doit être traçable et être basée sur la date du dernier étalonnage du débitmètre, réalisé dans les conditions énoncées par le constructeur. Typiquement, la précision est annoncée comme un pourcentage, de part et d'autre de la valeur "maximale" ou "de pleine échelle" ou de part et d'autre du relevé "mesuré" ou "indiqué". Il est plus coûteux d'obtenir une plus grande précision sur la même plage. Ainsi, il est plus

onéreux d'acquiescer un appareil donnant des relevés traçables précis en termes de pourcentage de la valeur "mesurée", qu'un appareil qui annonce des relevés en termes de pourcentage de la valeur "de pleine échelle".

Par exemple : une précision de +/- 1 % de la valeur de pleine échelle (1 % FS) signifie qu'un débitmètre qualifié jusqu'à 400 lpm (106 US gpm) devrait mesurer le débit à plus ou moins 4 lpm (1,06 US gpm) près ($0,01 \times 400 = 4$ lpm). Si le même instrument est utilisé pour mesurer 40 lpm, l'erreur possible est toujours de +/- 4 lpm (1,06 US gpm), mais cela équivaut à une erreur de 10 % de la valeur mesurée. Par conséquent, un instrument capable de mesurer avec une tolérance de 1 % du relevé mesuré ou indiqué (1% IR) coûte généralement plus cher, car cela est beaucoup plus difficile à réaliser que 1 % FS.

Mesure du débit

Pour plus d'informations sur la vaste gamme de débitmètres disponible, ne se limitant pas au domaine hydraulique, y compris la théorie sur laquelle est basé le fonctionnement de différents débitmètres, voir "Introductory Guide to Flow Measurement" par Roger C Baker, ISBN : 0791801985.

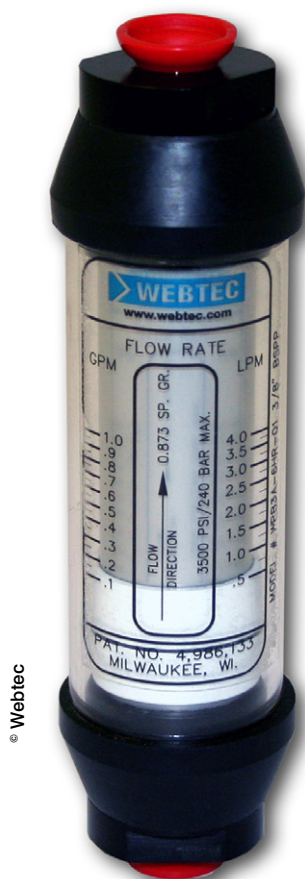
Quelle interaction débitmètre/fluide ?

Cette question peut paraître étrange, car "l'effet sur le fluide" dépend du caractère intrusif ou non du débitmètre ainsi que de sa technologie. Cet "effet" peut être mesuré par la perte d'énergie due à la présence de l'instrument, c'est-à-dire la perte de charge (ΔP) à travers l'appareil. Celle-ci a deux effets : augmenter la pression en amont et générer de la chaleur.

Dans la canalisation de réservoir d'une pompe à pistons, par exemple, le débit peut être assez faible, inférieur à 10 lpm (2,6 US gpm), et il se peut qu'on doive maintenir la pression



Débitmètre à turbine.



Débitmètre à orifice variable.

en-deçà de 10 bar (145 psi) sous peine d'endommager les joints. En pareil cas, la pression doit être maintenue aussi basse que possible en utilisant le type de débitmètre approprié et en s'assurant que les orifices sont assez grands pour minimiser la perte de charge, en particulier dans l'éventualité d'un pic soudain de débit.

Si le débitmètre présente une forte perte de charge dans un système à grand débit et à haute pression, la chaleur générée par la chute de pression peut prendre davantage d'importance, en particulier parce qu'une grande partie de cette chaleur passera dans le fluide. Cette perte d'énergie aurait pu être évitée en spécifiant un débitmètre d'un type ou d'une taille différents.

En ce qui concerne "l'effet" du fluide sur l'instrument, il ne pose normalement pas de problème si on connaît les propriétés du fluide avant de choisir le débitmètre. Les deux problèmes rencontrés le plus couramment, une contamination excessive et

des fluides incompatibles, sont susceptibles de réduire sérieusement la durée de vie du débitmètre et de provoquer son dysfonctionnement. En cas de fluide inadéquat, il peut s'ensuivre une corrosion et un "coincement" du débitmètre ou l'endommagement des joints, entraînant des fuites. Cela est souvent dû à un malentendu, comme lorsqu'un débitmètre équipé de joints en Viton® est utilisé sur un fluide à l'ester de phosphate (comme du Skydrol®). Si le débitmètre avait été équipé de joints en EPDM ou équivalents, le problème aurait pu être prévenu.

Enfin, il convient de prendre en considération les effets à plus long terme du fluide sur le débitmètre, en particulier si on sait que le fluide transporte de fortes teneurs en contaminants ou s'il présente un très faible pouvoir lubrifiant. Il est important d'identifier en premier lieu le débitmètre approprié, mais également de tenir compte de la fréquence avec laquelle il doit être démonté à des fins de maintenance ou de réétalonnage. La précision annoncée ne peut être garantie valide que le jour où a eu lieu le dernier étalonnage. Si la précision est importante, alors le service qualité ajoutera le débitmètre à la liste des instruments devant être réétalonnés. La fréquence exacte de réétalonnage dépend du type d'instrument, du cycle de marche et des recommandations du constructeur. La périodicité typique de réétalonnage est de 12 mois.

Quelle importance et quel budget ?

La question pourrait être mieux formulée comme suit : "Que se passe-t-il si vous ne mesurez pas le débit ?" Si la réponse est "Rien, c'est simplement un des nombreux indicateurs que nous observons", alors vous savez déjà que vous opérez avec un très petit budget. En revanche, si la réponse est "L'API va croire que la lubrification de la machine est en panne et a ces-

sé de fonctionner", alors vous voyez d'ici à quel point le responsable d'exploitation se fera du mauvais sang, à quel point il est important de mesurer le débit et quel budget vous pourriez prévoir pour empêcher que cela arrive.

Le simple fait d'avoir un budget ne signifie pas qu'il faille le dépenser. Le fait de répondre aux cinq questions permet également de déterminer ce qui est exigé d'un débitmètre, afin de pouvoir spécifier le modèle approprié et expliquer au responsable de l'exploitation pourquoi certaines caractéristiques sont importantes. De plus, on peut souvent économiser de l'argent, car on a beaucoup moins de chances de "sur-spécifier" un débitmètre simplement à titre de "précaution".

Tous les facteurs mentionnés plus haut influencent le prix de l'instrument, aussi n'existe-t-il pas de règle infaillible, mais l'aperçu des différentes technologies ci-dessous devrait constituer un guide utile.

La mesure des débits est un vaste domaine. Tous les débitmètres évoqués ici sont "volumétriques", ce qui signifie qu'ils mesurent le volume de fluide traversant une conduite, et non la masse. Les modèles que nous examinons ici sont les types les plus fréquemment utilisés pour la mesure des débits hydrauliques. Pour aider à la comparaison, un simple tableau à côté de chaque type de débitmètre note de 1 à 5 quelques facteurs clés, 1 étant la plus basse et 5 la plus haute note. Les icônes utilisées sont les suivantes :

Remarque	Score
Précision	
Perte de charge (ΔP)	
Sensibilité de la viscosité	
Prix	
Autres remarques	

Où 1 = faible ; 5 = élevé.

Orifice variable

L'idée d'un écoulement déplaçant un objet, habituellement un piston ou un anneau, constitue la base des débitmètres "à orifice variable" simples. La quantité de mouvement du fluide exerce une force sur un piston maintenu en place par un ressort. À mesure que le débit augmente, le piston se déplace et la taille de l'orifice s'accroît ainsi que la force élastique sur le piston. Le piston est lié à l'indicateur analogique via un aimant. L'indicateur de débit est purement mécanique et est idéal pour examiner des tendances plutôt que pour une mesure exacte du débit. De tels débitmètres ont une précision comprise entre 2 et 5 % de la pleine échelle. L'indicateur de débit existe dans plusieurs tailles ; l'une quelconque des tailles couvre typiquement une plage de 15:1. L'indicateur de débit apporte une solution économique, avec une perte de charge typique d'environ 1,5 à 2 bar (22 - 29 psi) à 400 lpm (106 US gpm).

Remarque	Score
Précision	1
Perte de charge (ΔP)	2
Sensibilité de la viscosité	3
Prix	1
Autres remarques	normalement unidirectionnel

Débitmètres à engrenages

Il s'agit de débitmètres volumétriques. Intérieurement, ils ont une apparence semblable à celle d'un moteur à engrenages. Du fluide passe autour de l'extérieur d'une paire d'engrenages en prise, faisant tourner les engrenages sur leurs arbres. Un transducteur monté au-dessus d'un des engrenages génère une impulsion chaque fois qu'une dent d'engrenage passe sous celui-ci. La rotation des engrenages est proportionnelle au débit. Parfois, deux transduc-

teurs sont utilisés pour mesurer le sens et améliorer la résolution. La relation entre la fréquence mesurée par le transducteur et le débit est représentée à l'aide du facteur de l'instrument, dit facteur "K" ($K = \text{fréquence} / \text{débit}$). Étant donné un facteur K constant, le débit peut facilement être calculé à partir de la fréquence. Un débitmètre à engrenages donne une mesure très précise du débit. Typiquement, un débitmètre à engrenages présente un grand taux de variation de débit, d'au moins 30:1, pouvant parfois atteindre 200:1. Il est capable de mesurer le débit avec une précision meilleure que 1 % de la pleine échelle, sans linéarisation supplémentaire.

Ces débitmètres sont relativement insensibles aux variations de la viscosité du fluide et donnent les meilleurs résultats avec des fluides à forte viscosité dépassant 10 cSt et pouvant atteindre des milliers de cSt. Avec les fluides à faible viscosité, inférieure à 10 cSt, des fuites peuvent se produire à travers le dessus des engrenages, ce qui réduit la précision du débitmètre. Suivant la taille du débitmètre et la technologie de linéarisation du capteur, des précisions de $\pm 0,3\%$ à $0,5\%$ du relevé indiqué sont réalisables. Toutefois, les débitmètres à engrenages présentent habituellement une très forte perte de charge, par exemple 9 bar (130 psi) à 10 lpm (2,6 US gpm), et peuvent être assez bruyants.

Remarque	Score
Précision	5
Perte de charge (ΔP)	5
Sensibilité de la viscosité	1
Prix	5
Autres remarques	peuvent être très bruyants

Débitmètres à turbine

Dans un débitmètre à turbine, un rotor de turbine est monté sur un arbre entre deux jeux de stabilisateurs d'écoulement. Le fluide traverse le débitmètre et fait tourner l'aubage de la turbine. Comme pour le débitmètre à engrenage, un transducteur est monté au-dessus de la turbine et génère une impulsion chaque fois qu'une aube passe sous celui-ci. La fréquence issue du transducteur est proportionnelle au débit sur une plage limitée. Par exemple, un débitmètre à turbine de 1" pourrait typiquement présenter une précision de $\pm 1\%$ de la pleine échelle sans linéarisation. Le même débitmètre à turbine de 1", utilisé avec une table de correspondance de linéarisation, fonctionnerait sur une plage plus étendue, avec une précision de 1 % du relevé indiqué. Un taux de variation de débit de 30:1 est courant. L'utilisation d'une turbine au lieu d'engrenages signifie que l'instrument nécessite moins d'énergie pour fonctionner et présente une très faible perte de charge, par exemple 3 bar (44 psi) à 400 lpm ou inférieure, selon la taille de l'alésage. L'inconvénient de ce type d'instrument est qu'il est assez sensible aux variations de viscosité. C'est pourquoi il est habituellement utilisé pour des fluides en-deçà de 100 cSt.

Remarque	Score
Précision	4
Perte de charge (ΔP)	2
Sensibilité de la viscosité	4
Prix	3
Autres remarques	ne doit pas être monté près d'un coude de conduite



Débitmètres hydrauliques à engrenages.

Autres types

Les débitmètres à engrenages ovales sont similaires aux débitmètres à engrenages conventionnels, mais utilisent deux engrenages elliptiques qui tournent à 90° l'un de l'autre à l'intérieur d'un carter. Le fluide est chassé autour de la chambre par les engrenages et la fréquence de rotation est directement liée au volume de fluide traversant l'instrument. Ce type d'instrument fonctionne généralement de manière optimale avec des fluides à plus forte viscosité, mais présente une plus faible perte de charge qu'un débitmètre équivalent à engrenages conventionnels. Les dents des engrenages ont tendance à être très fines, ce qui rend le débitmètre plus sensible à la contamination du fluide que d'autres types d'instruments.

En théorie, les instruments non intrusifs, tels que les débitmètres ultrasoniques, sont très intéressants dans la mesure où ils ne nécessitent pas de "sectionner le système" et

ne présentent aucune perte de charge. Cependant, ils ne sont pas très largement utilisés dans les systèmes hydrauliques pour trois raisons principales. D'abord, les dimensions des canalisations hydrauliques sont souvent assez petites, descendant même en-dessous de 25 mm (1 pouce), ce qui rend les temps de transit très courts et plus difficiles à mesurer. Ensuite, les canalisations hydrauliques sont habituellement souples et le matériau qui s'y trouve est souvent inconnu, ce qui peut rendre très difficiles l'installation et l'étalonnage de l'instrument. Troisièmement, l'installation correcte des parties émettrice et réceptrice du débitmètre peut prendre beaucoup de temps, en particulier si l'instrument est destiné à une utilisation portable. ■

*Martin Cuthbert,
directeur général de Webtec.
Webtec conçoit et fabrique une
gamme étendue de compo-
sants hydrauliques et d'équipe-
ments d'essais hydrauliques.*