

MODÉLISATION MULTIPHYSIQUE DE DÉBITMÈTRE À VORTEX

Suivre le débit

Le modèle haute fidélité multiphysique validé de débitmètre à vortex d'ABB prédit très précisément les performances du débitmètre, ce qui permet de modifier la conception pour améliorer les performances, même à des débits très faibles. Appliquée à d'autres débitmètres, cette approche de modélisation peut être utilisée comme jumeau numérique. En venant compléter les efforts commerciaux de modification des conceptions existantes, cet équipement numérique permet d'accélérer les mises sur le marché.

—
Subhashish Dasgupta
ABB Corporate Research,
Process Automation
Bangalore (Inde)

subhashish.dasgupta@
in.abb.com

Oliver YongWei-Gu
Rock RenDong-Li
ABB Process Automation
Shanghai (Chine)

oliver-yongwei.gu@
cn.abb.com
rock-rendong.li@
cn.abb.com>

Carsten Habersetzer
ABB Process Automation
Göttingen (Allemagne)

carsten.habersetzer@
de.abb.com

Un élément clé pour obtenir une surveillance efficace du processus est la capacité à mesurer et donc, à surveiller les paramètres physiques tels que le débit, la pression et la température. ABB, qui cumule plus d'un siècle d'expérience dans la technologie de mesure et de contrôle du débit, répond aux exigences de mesure d'industries aussi diverses que l'industrie pétrolière et gazière, l'industrie de traitement des produits chimiques et l'industrie de production d'énergie électrique. Le débitmètre à vortex fait partie intégrante du portefeuille de débitmètres d'ABB.

—
Le débitmètre à vortex est unique de par sa capacité à mesurer très précisément les débits de divers fluides.

La demande mondiale pour ce débitmètre à vortex est due à sa capacité unique à mesurer très précisément des débits de divers fluides, tels que les gaz propres, les vapeurs et les liquides, tout en conservant une construction relativement simple. Ces attributs garantissent que les industries telles que les industries pétrolière, gazière, des produits chimiques et de génération d'électricité ont accès à une méthode économique, fiable et nécessitant peu de maintenance pour mesurer le débit

dans les pipelines, les réservoirs, les chambres industrielles, etc. Les différentes versions de débitmètres à vortex d'ABB, telles que les débitmètres VortexMaster (FSV 430, FSV 450) sont parfaitement adaptées pour une utilisation sur les matières premières pétrochimiques et l'eau déminéralisée et pour la mesure directe et économique de débit-massique de vapeur, dans diverses conditions →01. Bien que ces débitmètres promettent aux clients des performances de grande qualité, il est encore possible de repousser les limites actuelles des performances. En effet, on connaît bien les difficultés liées à la mesure précise du débit avec des débitmètres à vortex lorsque la vitesse d'écoulement est faible.

En alliant leur expérience et leur expertise de la technologie de mesure avec leur capacité à développer des innovations numériques, les chercheurs d'ABB ont développé un modèle haute fidélité multiphysique du débitmètre à vortex : un outil pour évaluer les nouvelles idées de conception visant à améliorer la performance.

Comment le débitmètre à vortex a été imaginé et planifié

Les débitmètres de la gamme existante de débitmètres à vortex d'ABB sont construits pour permettre une excellente détection du signal du débit et pour protéger la mesure contre les effets des interférences hydrauliques et des vibrations des conduites [1].



01

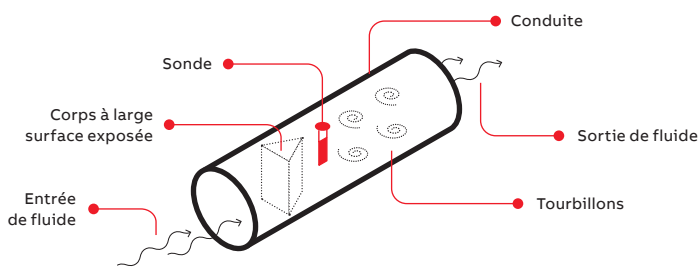
— 01 L'un des débitmètres à vortex d'ABB, le VortexMaster FSV430. Ce débitmètre de base mesure précisément les débits de gaz, liquides, et vapeurs, sur une large plage de températures.

Malgré le succès commercial de ces produits, à partir du début 2019 et pendant toute l'année 2020, les chercheurs d'ABB ont misé engagement, expérience et expertise pour développer des modèles de débitmètres à vortex multiphysiques dans un but précis : improviser des conceptions existantes et fournir des débitmètres présentant une très grande précision de mesure pour les faibles vitesses d'écoulement (moins de 0,2 m/s). L'idée était d'utiliser la mécanique des fluides numérique en conjonction avec l'analyse struc-

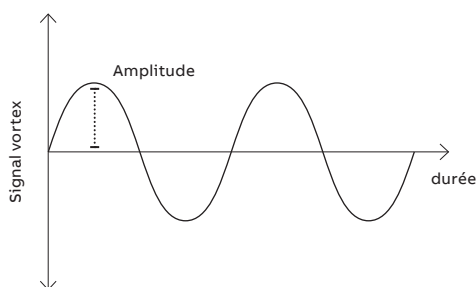
—
ABB croit réellement qu'il est possible de repousser les limites actuelles des performances des débitmètres.

turelle des parties mécaniques, afin de créer des modèles capables de résoudre les événements compliqués de débit et de dynamique structurelle à l'intérieur du débitmètre. Cela devait, de plus, permettre d'obtenir une conception optimale pour atteindre des mesures de qualité à faible débit.

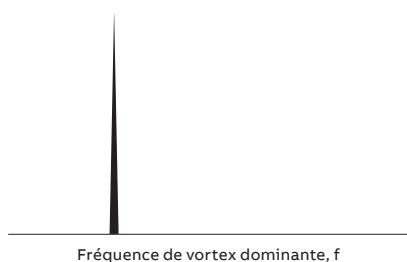




02a



02b



02c

côtés de l'obstacle et la perturbation qui émet des impulsions est enregistrée par un capteur en aval →02a. La fréquence fondamentale des pulsations, f , calculée par l'unité de traitement, est proportionnelle à la vitesse et est donc utilisée pour estimer la vitesse. Le nombre de Strouhal qui caractérise les performances du débitmètre et est lié à son facteur d'étalonnage, est donné par le produit de la fréquence de pulsation et des dimensions caractéristiques du corps à large surface exposée divisé par la vitesse correspondante. Dans l'idéal, le nombre de Strouhal devrait être indépendant de la vitesse du fluide, garantissant ainsi la linéarité des performances sur une large plage de vitesses.

En plus de la linéarité au niveau des performances, la résistance ou l'amplitude du signal de vortex brut doit être adéquate pour la détection dans des conditions de faible vitesse. →02b – c. Cela est

—
L'approche d'ABB, basée sur la modélisation, permet d'obtenir une conception optimale, pour améliorer les performances des débitmètres.

essentiel, car les faibles vitesses sont associées aux signaux faibles et facilement perturbés par les interférences, ce qui peut entraîner des mesures imprécises tout à fait désastreuses. C'est de là qu'est venu le besoin d'improviser des conceptions de débitmètres.

Anticipant les résultats des tests rigoureux d'un modèle multiphysique de débitmètre à vortex, ABB s'est posé la question suivante, tellement essentielle pour l'innovation : serait-il possible d'utiliser une approche de modélisation de ce type comme outil prédictif ou jumeau numérique pour d'autres débitmètres à l'avenir ? Si c'est le cas, cette plateforme de modélisation innovante serait un actif de grande valeur pour la gamme d'appareils de mesure de débit d'ABB et changerait la donne pour les clients.

Le débitmètre à vortex, en partant de zéro

Le débitmètre à vortex fonctionne selon le principe de détachement de vortex de Karman. En gros, lorsqu'un fluide s'écoule dans une conduite dotée d'un corps à large surface exposée qui représente un obstacle (un objet non aérodynamique), des tourbillons se séparent des deux

L'objectif est de générer des signaux vortex suffisamment forts pour faciliter la détection du débit. À un débit donné, la force du signal dépend principalement des caractéristiques de conception des composants du débitmètre. L'utilisation traditionnelle d'approches expérimentales pour réaliser des études paramétriques sur des caractéristiques de conception pour optimiser cette dernière est une approche coûteuse et longue en raison des besoins matériels, de la disponibilité des ressources, etc. De plus, les événements physiques compliqués sont extrêmement difficiles à résoudre en utilisant seulement les études expérimentales. Les modèles capturent une vision globale des paramètres physiques essentiels, tels que le débit et la pression, alors que les études expérimentales peuvent uniquement fournir une image superficielle des événements physiques complexes. On peut en

—
02 Schéma indiquant l'origine et les caractéristiques des tourbillons pendant le débit.

02a Ce schéma illustre comment les tourbillons sont générés au fur et à mesure que les fluides traversent un tube.

02b La puissance ou l'amplitude du signal vortex brut varie au fil du temps et doit être suffisamment forte pour permettre une détection facile.

02c La fréquence de vortex dominante est indiquée.

—
03 Le modèle CFD a simulé la dynamique de fluide compliquée dans le débitmètre à vortex, comme présenté.

03a Modèle CFD : Une résolution spatiale et temporelle fine est présentée.

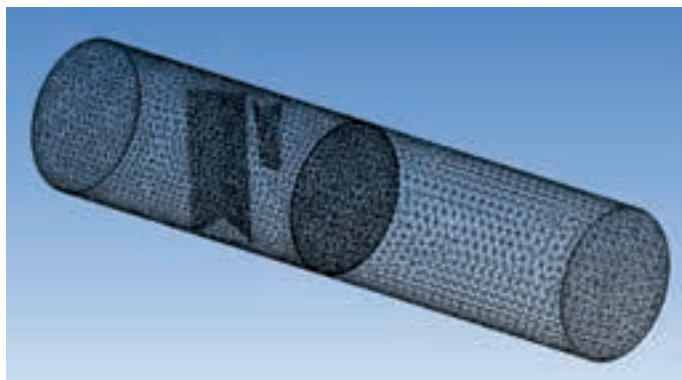
03b L'image indique la distribution du débit complexe prédit.

03c Le modèle calcule le coefficient de portance au fil du temps.

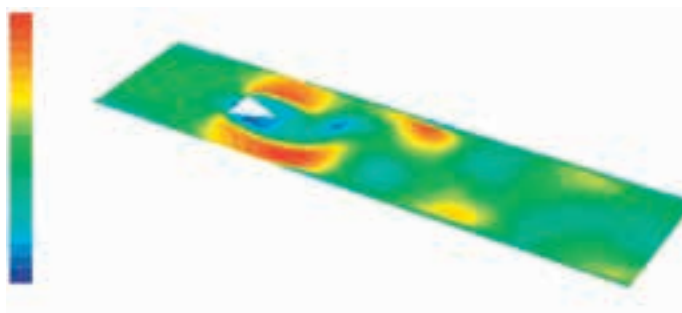
toute bonne foi se demander comment il peut être possible de concevoir des débitmètres précis, économiques et faciles à installer. C'est là que l'approche de conception de débitmètres d'ABB, basée sur la modélisation, entre en jeu. En adoptant cette approche pour réaliser diverses études paramétriques, ABB crée la conception optimale pour améliorer les performances des débitmètres, réduisant ainsi au minimum le temps de mise sur le marché et rendant inutiles les procédures expérimentales difficiles.

Modèle CFD et jumeau numérique physique

Un modèle CFD a été développé pour simuler la dynamique de fluide compliquée au sein du débitmètre à vortex, en utilisant le programme d'analyse de volume fini et des techniques mathématiques de pointe, telles que les formules d'écoulement turbulent avancées pour résoudre les équations de masse et d'impulsion pour la conservation du débit de fluide, dans un espace en trois dimensions, dans la zone du débitmètre →03a. Les motifs de vitesse complexes évoluant en fonction du moment et qui ont pu être résolus correctement par le modèle ont contribué à la compréhension des complexités inhérentes au processus de débit et ont finalement permis d'élaborer une capacité permettant de prédiction des performances →03b.



03a



03b

Le modèle a calculé le coefficient de portance agissant sur le capteur comme une fonction de temps ou un profil de signal →03c. Une transformation de Fourier rapide du signal a permis d'obtenir la fréquence dominante au débit donné. Cela a été possible car une transformation de Fourier décompose les fonctions tributaires de l'espace ou du temps en fonctions tributaires de la fréquence spatiale ou temporelle.

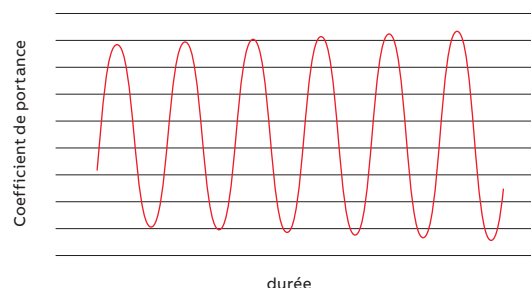
—
Suite au développement et à la validation du modèle, plusieurs modifications de conception des débitmètres ont été étudiées.

Essais et validation du modèle

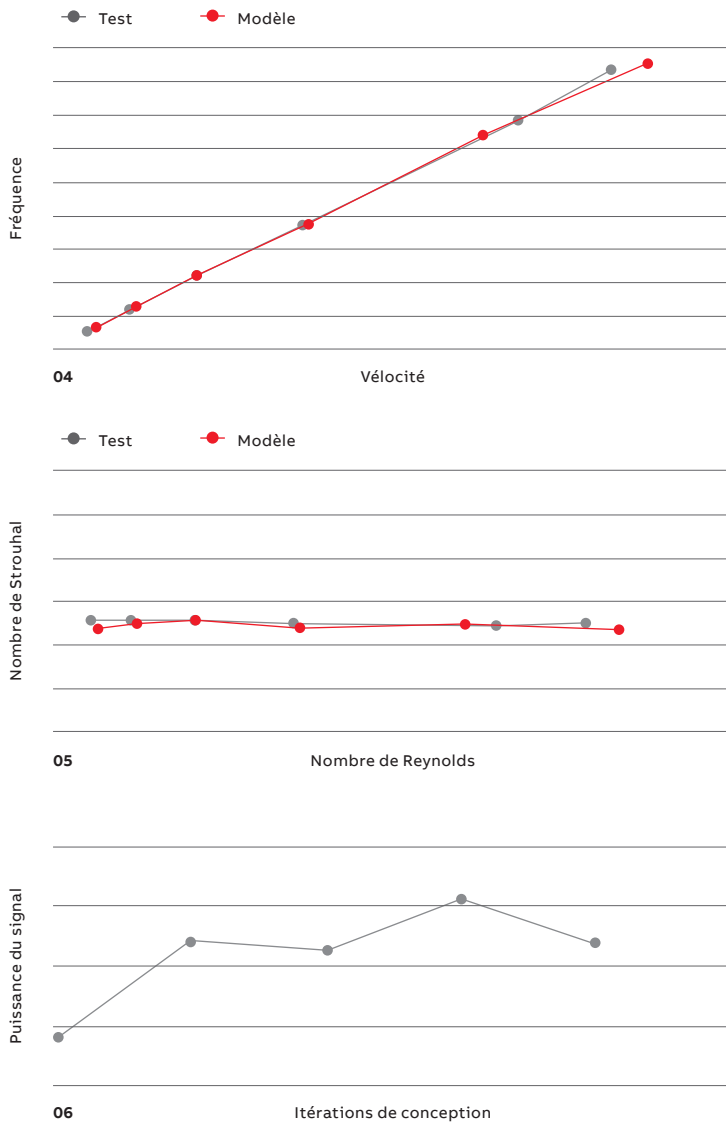
Le modèle a tout d'abord été validé en comparant les résultats calculés avec les données de mesure rassemblées lors d'essais précédents exécutés sur un débitmètre standard. Une correspondance proche entre les fréquences de vortex calculées et celles mesurées sur l'ensemble de la plage sélectionnée de vitesses de fluide a été obtenue. Elle comprenait des vitesses inférieures à 0,2 m/s →04. Ces résultats ont permis de confirmer la validité de l'approche de modélisation.

La linéarité dans les performances

En plus d'obtenir une puissance de signal adéquate, il était essentiel de garantir un haut niveau de linéarité dans les performances du débitmètre. De cette manière, le facteur d'étalonnage de l'appareil obtenu à un haut débit est également valide pour les faibles débits. Dans cette optique, les nombres de Strouhal sans dimension ont été calculés et comparés aux nombres de Reynolds sélectionnés. Les nombres de Reynolds pour un



03c



débit sont une mesure du rapport de la force inertielle par rapport aux forces de viscosité dans le débit du fluide se dirigeant vers un corps ou un canal. Il s'agit d'un paramètre non dimensionnel de la vitesse du débit de fluide utilisé pour la prédiction du débit. Servant à décrire les mécanismes de débit oscillants, les nombres de Strouhal qui sont proportionnels à la fréquence d'impulsions et aux dimensions des bulles et inversement proportionnels à la vitesse ont été calculés à partir des fréquences de détachement de vortex calculées et mesurées. Il a été établi que les nombres de Strouhal étaient indépendants des vitesses de fluide ou des nombres de Reynolds sélectionnés dans les études →05, assurant ainsi la linéarité dans les performances sur la plage de débit sélectionnée.

Optimisation de la conception en fonction du modèle

Après la validation du modèle, plusieurs modifications de conception des débitmètres ont été

étudiées. Ces modifications de conception ont été simulées pour obtenir la conception optimale offrant la meilleure puissance de signal →06.

Problèmes structurels

Les choses en resteraient là s'il n'y avait pas le risque de problèmes structurels défavorables. Les vibrations structurelles de l'ensemble de capteur sont une source possible d'interférences susceptible de remettre en cause la précision des débitmètres à vortex. Ces forces d'impulsions peuvent affecter le signal en sortie. Pour compléter le modèle CFD, un élément fini, un modèle de dynamique structurelle a été développé pour évaluer les caractéristiques vibratoires du capteur, afin de supprimer ce problème. Il est important de noter que les résultats du modèle ont démontré des interférences minimales entre les fréquences de vortex et la fréquence naturelle du capteur →07, prouvant ainsi l'absence d'artefacts liés aux vibrations dans le signal de sortie du débitmètre.

Fabrication de débitmètres modifiés et essais réalisés par la suite

Selon les directives du modèle CFD, le débitmètre à vortex a été repensé et un prototype a été créé par fabrication additive à l'aide d'une imprimante 3D →08a, dans une usine ABB PAMA de Shanghai, en Chine. Ensuite, le débitmètre modifié a été installé sur le banc d'essai du centre de test commercial d'ABB →08b et il a été testé pour mesurer la puissance du signal qui a ensuite été comparée à la puissance de signal des débitmètres traditionnels actuellement utilisés.

Conformément aux résultats des études de modélisation CFD, les résultats préliminaires des essais ont montré une augmentation importante de la force du signal du débitmètre modifié, par rapport au débitmètre existant, dans des conditions de débit constant, mais lent. C'est ainsi qu'ABB a atteint son objectif d'amélioration des capacités du débitmètre à vortex, maintenant capable de réaliser des mesures précises à de faibles débits.

Débits futurs

La réussite prometteuse de l'approche basée sur la modélisation pour improviser le débitmètre à vortex a encouragé les experts de modélisation et de physique d'ABB à développer des prototypes étendus et à tester d'autres conceptions modifiées. Une application possible importante en cours d'étude est l'extension de l'approche de modélisation pour évaluer les avantages possibles des modifications de conception dans d'autres débitmètres, tels que le débitmètre à tourbillons d'ABB. Fonctionnant selon le même principe de séparation de tourbillons, les débitmètres à tourbillons d'ABB sont importants pour la mesure du débit volumique lorsque les exigences en termes de tuyauterie sont strictes,

— 04 Le modèle d'ABB fournit des résultats proches de ceux des essais, ce qui valide l'utilisation de la méthode de modélisation.

— 05 Une excellente linéarité dans des conditions de débit extrêmes est confirmée par les essais et la modélisation.

— 06 Le modèle identifie la conception optimale, celle qui fournit la puissance de signal maximale.

— 07 Le modèle structurel d'élément fini a étudié la possibilité de l'influence des vibrations sur le signal de sortie du débitmètre.

— 08 Production de prototype et banc d'essai.

08a Installation d'impression 3D utilisée pour la production du prototype.

08b Banc d'essai utilisé pour mesurer la puissance du signal, etc.

Les modifications de conception simulées ont permis d'obtenir la conception optimale qui offre la meilleure puissance de signal.

par exemple pour le débit de matières premières pétrochimiques. Contrairement aux débitmètres à vortex, les débitmètres à tourbillons créent leur propre profil de débit dans le débitmètre. Ils ne requièrent qu'un diamètre de type 3 de tuyau droit en amont après une réduction de conduite et un diamètre de type 5 après un robinet de contrôle, plus un diamètre de type 1 en aval.

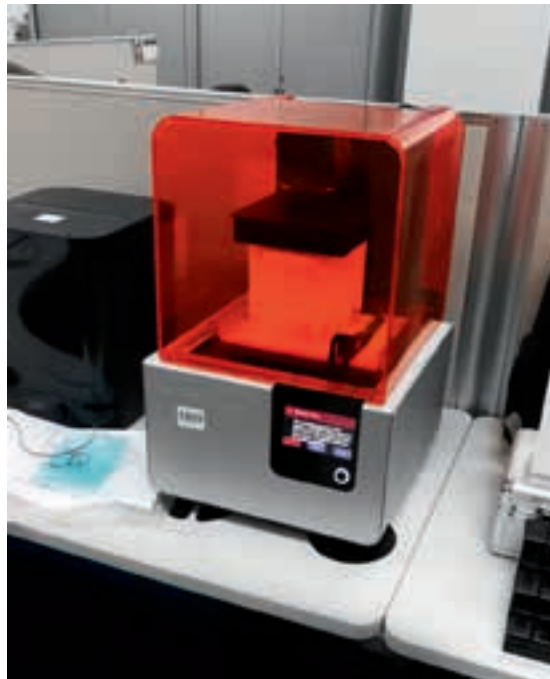
En étendant cette approche de modélisation à d'autres types de débitmètres, ABB s'attaque aux besoins divers des secteurs pétrolier, gazier et des produits chimiques.

En appliquant l'approche de modélisation du débitmètre à vortex à d'autres applications de débitmètres, ABB avance un peu plus dans l'innovation.

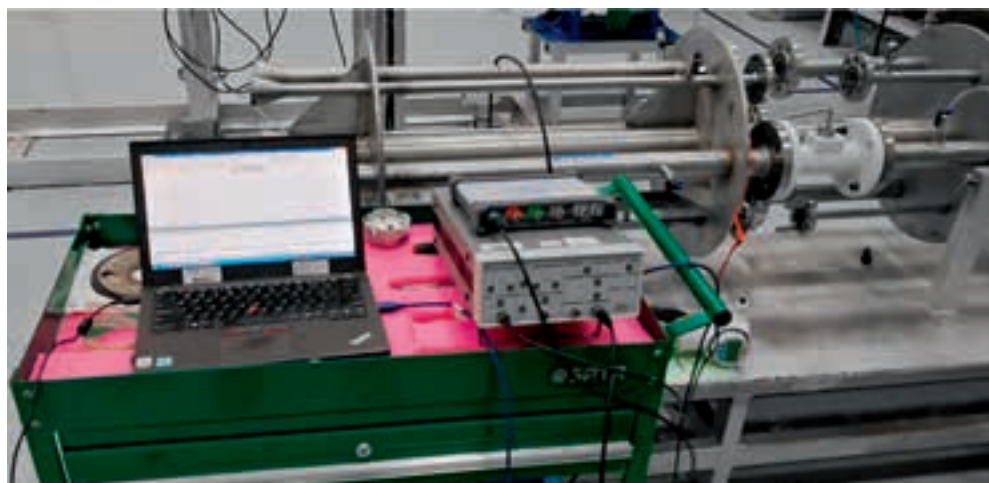
En inventant, testant, validant, apprenant et appliquant ses connaissances et réussites dans d'autres domaines, ABB innove dans un monde numérique en constant développement. Pour les clients achetant des débitmètres, cette innovation permet d'obtenir des performances optimales et des solutions économiques. •



07



08a



08b

Références

[1] ABB Measurement & Analytics Brochure, « VortexMaster: The new generation of vortex flowmeters », 2017, pp. 9.