

Exposé invité au prochain Colloque National d'Assimilation

30 novembre au 2 décembre 2016 à Grenoble

<https://cna-2016.sciencesconf.org/>

Assimilation de Données, Observabilité et Quantification d'Incertitudes
appliqués à l'hydraulique à surface libre

P.-O. Malaterre, I. Gejadze, H. Oubanas

UMR G-eau, Irstea, Montpellier

Les techniques d'Assimilation de Données, déjà appliquées dans bien des domaines des géosciences, ont percolé depuis une bonne vingtaine d'années dans celui de l'hydraulique à surface libre. Historiquement, les premières applications en hydraulique reposaient (à notre connaissance, dès le début des années 90) sur des problématiques de commande de systèmes par retour d'état, avec des Observateurs de Luenberger. Pour des contrôleurs automatiques d'un système dynamique par retour d'état, il est en effet nécessaire de reconstituer ces états à partir d'un nombre restreint d'observations disponibles. La limitation de ces techniques est qu'elles supposent un cadre linéaire, même si des extensions non-linéaires existent. Mais un avantage est qu'elles reposent sur et soulignent très bien les notions de convergence asymptotique d'une erreur vers 0 et qu'elles profitent de théorèmes précis, puissants et relativement simples à mettre en œuvre, en tout cas en théorie. Ces notions reposent sur la théorie de l'Observabilité, basée sur le calcul du rang d'une matrice, ce qui numériquement peut néanmoins devenir délicat à évaluer quand la dimension des états devient grande. Le Filtre de Kalman est un très proche cousin de l'observateur de Luenberger. Mais il est rare que ses utilisateurs s'intéressent à ces propriétés de convergence asymptotique d'une erreur vers 0, nullement imposée dans ce cas, contrairement à l'Observateur de Luenberger. En effet, pour un Filtre de Kalman, la minimisation d'une variance est en général une propriété considérée comme suffisante. Nous montrerons cependant pourquoi ces notions sont importantes dans la manière de poser un problème d'Assimilation de Données en lien avec le choix du vecteur de contrôle et en fonction des observations disponibles.

Depuis quelques années, de nouvelles applications liées à l'hydrologie et à l'hydraulique spatiale, et en particulier les recherches autour du futur satellite SWOT (Mission CNES-NASA, 2021) ont fixé de nouveaux challenges à la communauté située aux interfaces entre hydraulique et Assimilation de Données. En effet, s'il est assez facile de faire de l'Assimilation de Données pour des applications de contrôle automatique pour des canaux d'irrigation dont la bathymétrie est ou peut être bien connue, développer des applications d'hydraulique spatiale à l'échelle de la planète, sur des fleuves complexes et mal connus, fait émerger de nouvelles difficultés théoriques et numériques. Par exemple : Est-il possible d'estimer un débit sur un fleuve si la bathymétrie et/ou les frottements sont mal connus ? Quelle est l'influence de la densité spatiale et temporelle des mesures dans la reconstitution de ces débits ? Quelle est l'influence de la richesse spectrale des scénarios hydrauliques utilisés dans ces calculs d'Assimilation de Données ? Sur les grands fleuves soumis à des

régimes hydrauliques variés, en particulier lors de crues, les hypothèses linéaires ne sont plus satisfaisantes. Des techniques plus puissantes que celles évoquées ci-dessus, ne supposant pas un cadre linéaire, comme les approches variationnelles de type 4D-Var, ont bien entendu des notions et propriétés de convergence et de minimisation équivalentes, mais plus délicates à mettre en œuvre que dans le cadre des Observateurs de Luenberger ou du Filtre de Kalman. Le cadre 4D-Var est bien adapté au traitement des incertitudes sur les paramètres du modèle, de manière explicite ou implicite (en introduisant des « paramètres de nuisance »). Sur la base de cette analyse on peut déterminer la composition optimale du vecteur de contrôle permettant l'estimation robuste du débit même en présence d'incertitudes importantes.

L'équipe GHOSTE (Gestion Hydraulique, Optimisation et Supervision des Transfert d'Eau) de l'UMR G-eau à Irstea Montpellier développe des outils de simulation hydraulique à surface libre et utilise des algorithmes d'assimilation de données depuis plus de 20 ans en collaboration avec divers laboratoires (Cerfacs, EDF, INRIA, Univ. de Lyon, A. des Sc. de Moscou, etc.) : Filtre de Kalman, Filtres particuliers, 4D-Var, et les applique pour des problématiques de contrôle, d'optimisation et pour résoudre de manière générale divers problèmes inverses. Cette présentation visera à montrer comment ces travaux ont permis de répondre aux questions évoquées ci-dessus et de tracer des pistes pour le futur.