



Université Claude Bernard



Lyon 1

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **15 octobre 2021**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur KADDI Yassine**

Titre de la thèse : « *Modélisation 1D par lit (ISM) d'un réseau hydraulique ramifié maillé. Application au contexte opérationnel de la prévision des fortes crues et des crues de dimensionnement d'ouvrages.* »

Résumé



L'objectif de cette thèse est de rendre opérationnelle une méthode de modélisation unidimensionnelle améliorée (1D+) des rivières débordantes, appelée Independent Sub-section Method (ISM) [Proust et al., 2009]. Alors que les modèles 1D classiques résolvent l'équation de quantité de mouvement (Saint-Venant) ou d'énergie (Bernoulli) sur la section totale de l'écoulement débordant (ou en lit composé), l'ISM résout une équation de quantité de mouvement dans chaque sous-section homogène en terme de topographie et de rugosité, i.e., dans le lit mineur, le lit majeur gauche, ou le lit majeur droit de la rivière débordante. De plus, l'ISM modélise explicitement le transfert latéral de masse entre sous-sections, ainsi que le transfert latéral de quantité de mouvement, qu'il soit dû à l'interaction turbulente entre les écoulements en lit mineur et en lits majeurs (structures turbulentes à grande échelle quasi-2D), ou à l'échange de masse entre lits. Avant la thèse, ce modèle a été validé à partir de données expérimentales collectées dans différents laboratoires, en régime permanent uniforme et non-uniforme [Proust et al., 2009, 2010; Bousmar et al., 2016; Proust

et al., 2016].

Dans un premier temps, l'ISM a été validée en régime transitoire afin de s'assurer des capacités de modélisation dans les situations hydrologiques les plus caractéristiques des écoulements débordants. Pour ce faire, une expérience en régime transitoire a été conçue pour acquérir des données de validation spécifiques. La méthodologie de traitement utilisée a aussi fait l'objet d'un travail original. Cette expérience a été ensuite modélisée avec l'ISM et avec un modèle 1D classique pour comparer les approches 1D+ et 1D. Il a été conclu que l'ISM reproduit mieux les hauteurs d'eau que le 1D, en raison : (i) de la prise en compte de la répartition des débits par sous-section aux conditions limites amont, (ii) de la modélisation explicite tout au long du canal du débit latéral entre lits, (iii) de l'échange de quantité de mouvement par les structures turbulentes quasi-2D, et (iv) de l'échange de quantité de mouvement par le débit latéral entre lits (lorsque les vitesses en lit mineur et lit majeur diffèrent). De plus, à l'interface entre sous-sections, la vitesse latérale et le débit latéral sont également bien reproduits par le 1D+. Ainsi, l'hystérésis observée dans le lien entre hauteur d'eau et débit latéral est reproduite tout au long de l'hydrogramme.

Dans un second temps, deux questions méthodologiques permettant d'appliquer l'ISM en conditions opérationnelles sur un réseau ramifié sont traitées. La première question cherche à reconstruire des

conditions aux limites amont pour l'ISM (1 débit par sous-section) à partir des données disponibles (1 débit unique sur la section totale). On a alors proposé de répartir le débit total amont selon la même répartition que celle qui est obtenue pour le régime uniforme calculé à l'aide des équations de l'ISM. Cette répartition du débit total amont est comparée à celles données par différentes méthodes existantes. La deuxième question concerne la modélisation des confluences jusqu'ici inaccessible à l'ISM. Le travail réalisé a consisté à trouver une solution pour répartir les débits par lits de chaque branche entrante sur les trois lits de la branche sortante de la confluence. On a alors proposé une approche qui consiste à conserver les débits des lits majeurs extérieurs des biefs entrants dans les lits majeurs du bief sortant, puis de sommer le reste des débits des biefs entrants dans le lit mineur du bief sortant. Bien que cette méthode simplifie grandement l'écoulement dans les confluences, elle permet d'avoir une première implémentation numérique relativement plus facile à coder. Dans tous les cas, des tests numériques ont cherché à évaluer l'impact des simplifications apportées.

Ensuite, un cas de terrain a été choisi pour appliquer l'ISM en conditions opérationnelles. Deux situations ont été étudiées : un modèle de tronçon simple et un modèle avec confluence. Dans les deux cas, le site retenu présente des lits majeurs suffisamment représentatifs et plusieurs crues y sont documentées. Ces configurations ont permis de tester la méthode de répartition de débit pour construire des conditions limites amont, ainsi que la méthode de traitement des confluences. La modélisation est réalisée avec le code Mage-8 couplé à la méthode ISM (1D+), ainsi qu'avec le code CRUE 10 couplé à la méthode 1D DCM [Lotter, 1933] et le code Mage-8 couplé à la méthode 1D Debord [Nicollet and Uan, 1979]. Dans l'état actuel de l'implémentation de l'ISM, les simulations ont permis de mettre en évidence la nécessité d'avoir un débordement sur tous les lits majeurs du bief de rivière étudié en raison de problèmes de fronts secs. Une proposition est faite pour forcer le débordement tout au long du bief, ce qui a permis de faire tourner le calcul, dans l'attente d'un traitement plus satisfaisant de ce problème. Sur ce cas test, après calage du coefficient d'échange turbulent [Bousmar and Zech, 1999], l'ISM reproduit mieux les cotes mesurées que les autres modèles avec des biais absolus maximaux plus faibles que ceux obtenus avec les modèles 1D DCM et Debord. Dans la simulation avec confluence, les biais maximaux de Mage ISM sont plus importants mais restent dans des ordres de grandeurs généralement acceptés dans la communauté. Une proposition est suggérée pour améliorer la simulation de l'ISM. Par ailleurs, l'ISM permet de fournir des informations supplémentaires inaccessibles aux modèles 1D classiques comme le remplissage et la vidange des lits majeurs. Elle permet aussi d'analyser la répartition du débit total entre les lits ou les vitesses débitantes par lit, ainsi que le débit latéral d'échange entre lits et le cisaillement turbulent entre sous-sections.