

MODÉLISATION HYDRAULIQUE UNI-DIMENSIONNELLE DE LA PROPAGATION DES CRUES SUR LA SAÔNE ET LE DOUBS

Jean-Michel SIGAUD^{1*}, Yohann EVAÏN¹, Elodie PAYA¹, Anne-Laure TIBERI-WADIER¹, Kevin CORSIEZ¹, Alexis BERNARD¹, Elsa LAGANIER², Patrice DEVILLERS²

La modélisation hydraulique comme outil de prévision des crues

Le Service de Prévision des Crues Rhône amont-Saône a sollicité par l'intermédiaire du SCHAPI (Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations) le Cerema pour l'élaboration d'un modèle hydraulique de propagation des crues de la Saône et du Doubs, afin d'harmoniser les outils jusqu'alors exploités et d'améliorer la prévision des crues en termes de précision et d'échéance (au-delà de 12h).



Figure 1 : inondation de Mars 2001 de la Saône à Trévoux (source : DDT de l'Ain)

Les enjeux de l'exploitation opérationnelle au SPC Rhône amont-Saône

Le modèle hydraulique Mascaret Saône-Doubs est piloté par la Plateforme Opérationnelle pour la Modélisation (POM) qui ordonnance, dans la configuration la plus étendue, l'alimentation en données de débits observés et prévus aux 27 points d'entrée (2 points d'entrée amont des branches Saône et Doubs, 3 bassins versants intermédiaires et 22 affluents) et l'enchaînement des 9 sous-modèles.

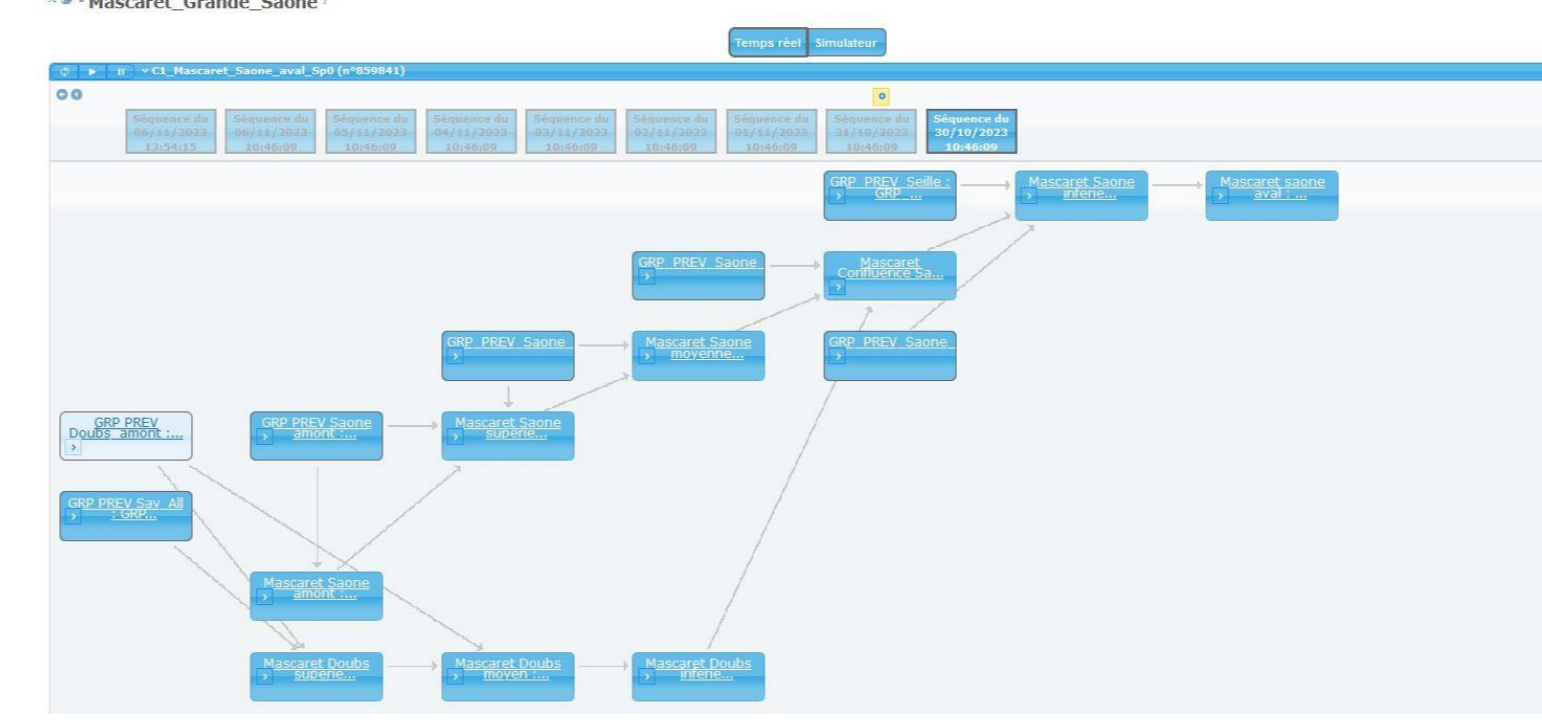


Figure 2 : Organigramme représentant l'enchaînement des 9 sous-modèles dans la POM

La production de prévisions graphiques à 24 heures impose d'alimenter le modèle hydraulique en données de débits observés mais également prévus, ce qui a nécessité le calage de 14 nouveaux modèles GRP en plus des modèles déjà exploités (GRP et relations linéaires avec accroissement de débit).

Un linéaire de modèle ambitieux et de nombreux défis techniques relevés

Le linéaire important à modéliser (800 km) a conduit à segmenter le modèle global en 9 sous-modèles, délimités à leurs extrémités par des stations hydrométriques dites « de référence ».

L'enchaînement des modèles est alors piloté par la POM (Plateforme Opérationnelle pour la Modélisation).

Le modèle en quelques chiffres :

- **800** km modélisés sur la Saône et le Doubs
- **13** modélisateurs répartis sur 7 sites différents
- **1000** profils en travers bathymétriques
- **48** stations hydrométriques exploitées sur la Saône, le Doubs et leur affluents

Plusieurs problématiques techniques sont apparues lors de la construction des différents modèles :

- i. **La représentation complexe des ouvrages** de type barrages ou seuils, indispensable à la bonne reconstitution des lignes d'eau lors des passages en torrentiel et à la stabilisation des simulations ;
- ii. **Le phénomène d'hystérésis marqué** à certaines stations aval de la Saône, venant potentiellement biaiser les débits à injecter dans les modèles du fait d'une courbe de tarage non univoque ;
- iii. **L'incertitude forte** sur les données hydrologiques en amont de bassin versant, obligeant à des corrections significatives sur les hydrogrammes (débits de pointe), afin de reproduire correctement les volumes en crue.

Figure 3 : Barrage mobile de régulation à Couzon sur la Saône (source VNF)

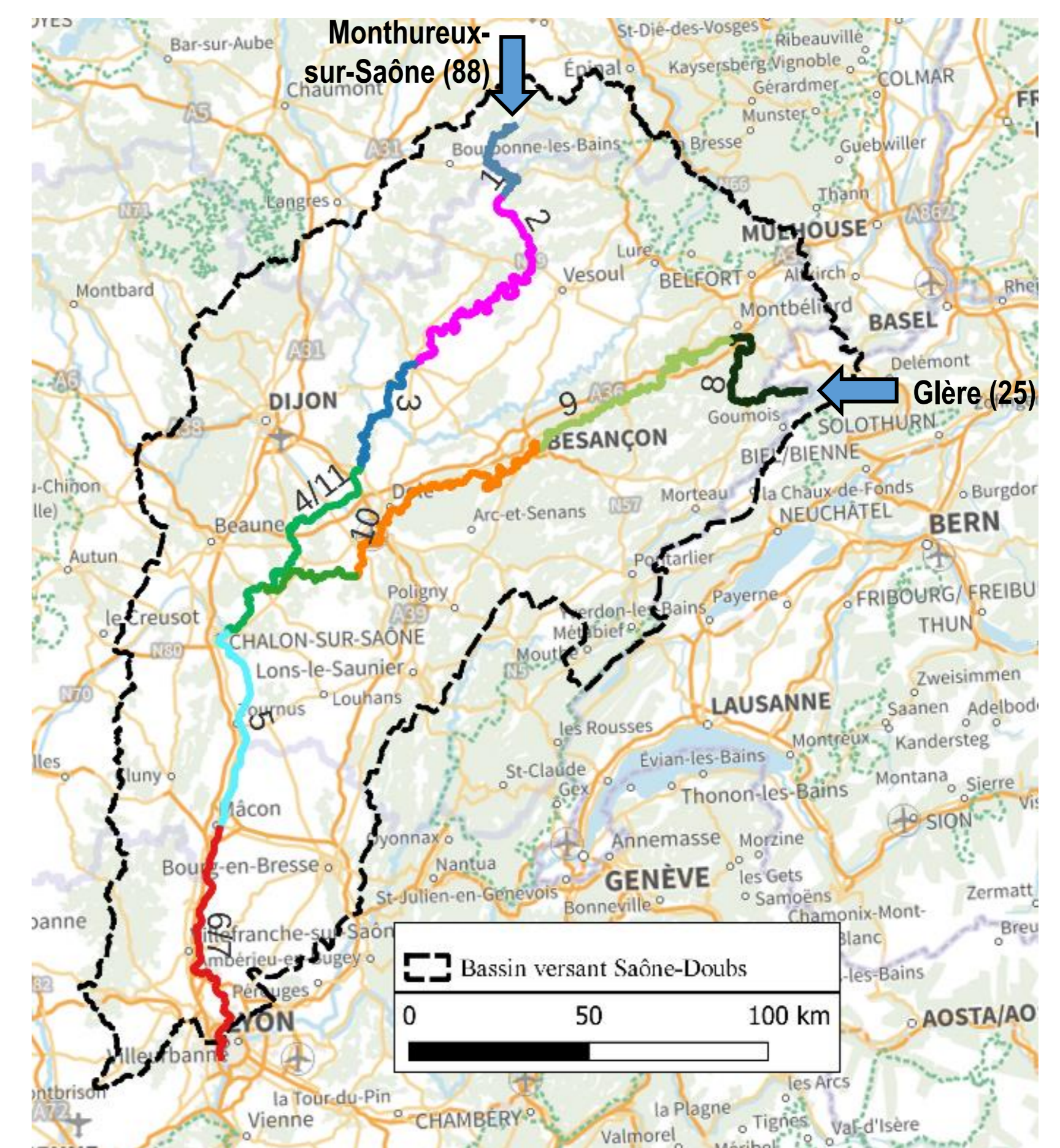


Figure 4 : Représentation cartographique du modèle global, segmenté en 9 sous-modèles délimités par des stations hydrométriques de référence

Le calage des modèles

Plusieurs critères de performance ont été regardés lors des phases de calage des modèles :

☑ **Critère de Nash-Sutcliffe** $NS = 1 - \frac{MSE}{\sigma_x^2}$ avec :
- MSE l'erreur quadratique moyenne
- σ_x^2 la variance des valeurs observées

→ indicateur de performance « globale »...
→ ... mais pas d'information sur la qualité de la prévision du pic de crue

☑ **Erreur sur les volumes** :
soit en discrétisant : $\Delta Q = \sum_{i=1}^{i=\Delta Q} [Q_{sim}(t_i) \cdot \Delta t] - \sum_{i=1}^{i=\Delta Q} [Q_{obs}(t_i) \cdot \Delta t]$

→ correction des hydrogrammes en entrée de modèle

☑ **Décalage temporel sur les pics de crue** : $\Delta t_{H_{max}} = t_{H_{sim,max}} - t_{H_{obs,max}}$

☑ **Erreur en valeur sur les pics de crue** : $\Delta H = H_{sim,max} - H_{obs,max}$

→ La minimisation des critères ☑ et ☑ permet d'aboutir aux résultats les plus probants.

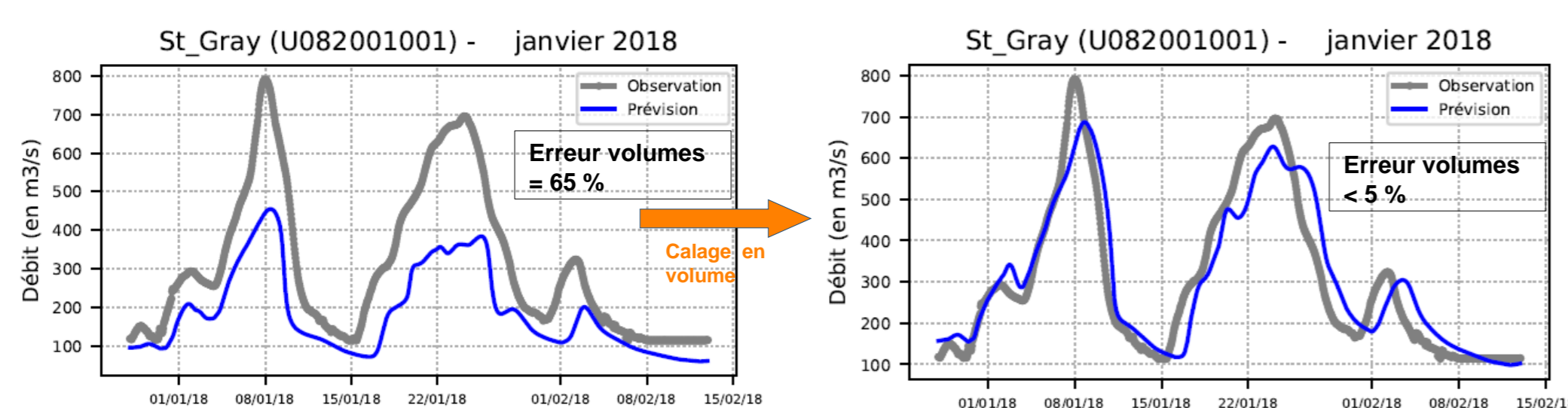


Figure 5 : Exemple de calage tenant compte des erreurs de volumes : à gauche : hydrogrammes obtenus par injection brute des débits ; à droite : hydrogrammes obtenus après corrections des débits (x 1,5 sur débit de la Saône et x 2,5 sur débits des affluents), crue de janvier 2018, station de Gray

Des premiers résultats encourageants et des améliorations envisageables dès à présent

Les résultats déjà obtenus

On note globalement une **bonne reconstitution des limnigrammes** (et dans une moindre mesure des hydrogrammes) observés aux stations, tant pour les valeurs maximales de cote à l'échelle (**écarts généralement de l'ordre de la dizaine de cm**) que pour les décalages temporels (**décalages généralement limités à 24h**, ces écarts étant à relativiser compte-tenu de la durée importante de la crue).

Les perspectives d'amélioration

i. Une meilleure prise en compte de l'**effet d'hystérésis** observé à certaines stations aval et une consolidation de l'hydrologie amont (courbes de tarage) ;

ii. La régulation des cotes d'eau par les **barrages mobiles** pour améliorer les résultats avec des débits intermédiaires ;

iii. La prise en compte de l'**influence du Rhône** tout à l'aval du modèle.

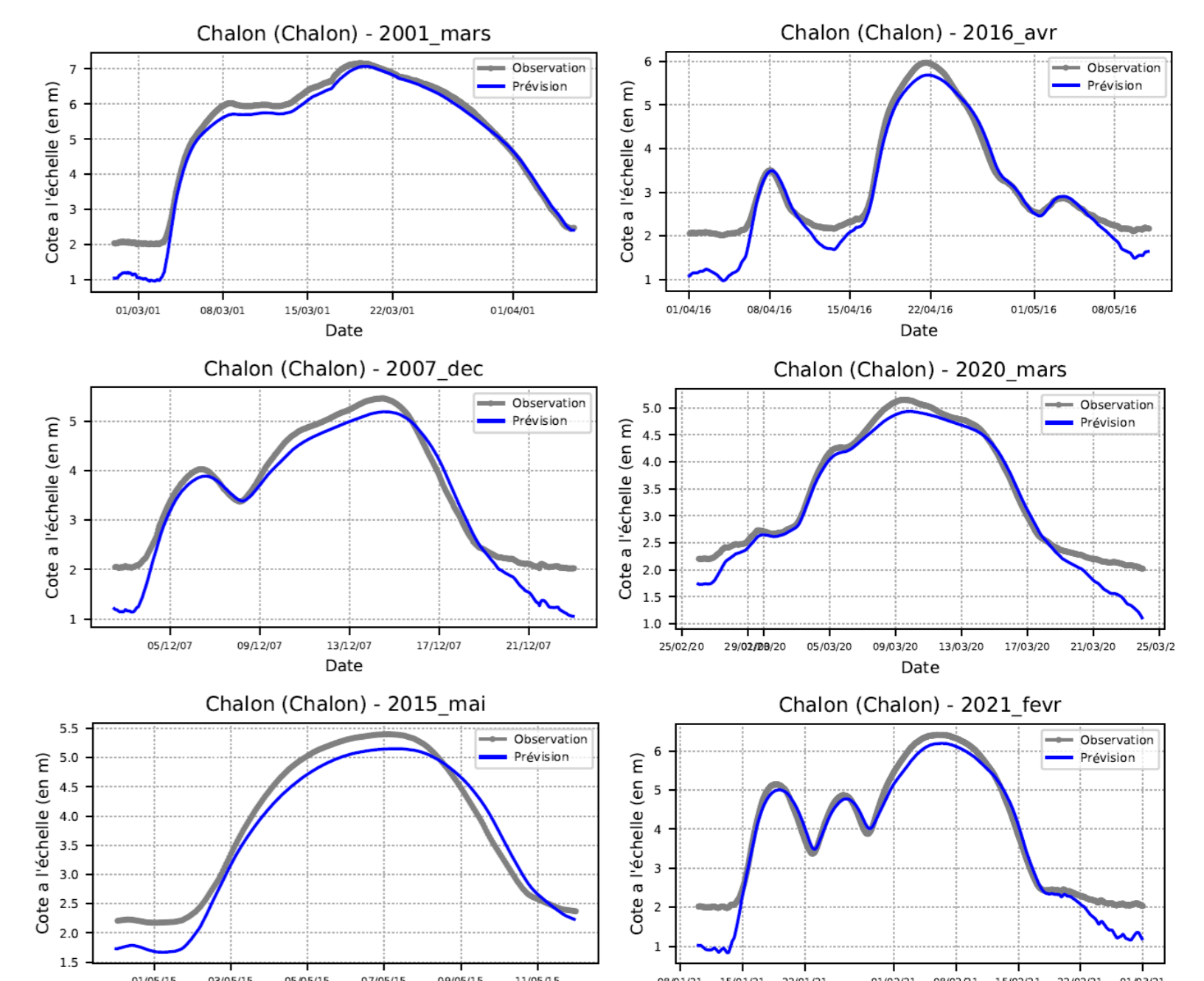


Figure 6 : Limnigrammes observés (en gris) et calculés (en bleu) à la station hydrométrique de Chalon-sur-Saône par le modèle n°5, pour 6 crues