

AMELIORATION DE LA PREVISION DES INONDATIONS PAR L'ASSIMILATION DE CARTES D'ETENDUES D'INONDATIONS PROBABILISTES SATELLITAIRES

DI MAURO Concetta¹, HOSTACHE Renaud^{2*}, PELICH Ramona¹, CHINI Marco¹, MATGEN Patrick¹

¹Luxembourg Institute of Science and Technology, Belvaux, Luxembourg

²UMR Espace-Dev, IRD, Univ. Réunion, Univ. Guyane, Univ. Antilles, Univ. Nouvelle Calédonie, UPVD, Univ. Montpellier, Montpellier

*renaud.hostache@ird.fr

Introduction

La prévision des inondations s'avère très souvent cruciale dans les stratégies de gestion des bassins fluviaux. Dans ce contexte, les modèles hydrodynamiques sont fondamentaux pour estimer les niveaux d'eau et les étendues inondées. Cependant, les modèles d'inondation sont soumis à plusieurs sources d'incertitudes concomitantes qui conduisent souvent à des prédictions inexactes. L'assimilation de données peut contribuer à réduire l'incertitude des prévisions par des mises à jour régulières et fréquentes des états et/ou des paramètres du modèle grâce aux observations.

Objectif

Dans cette étude nous proposons d'évaluer comment l'assimilation de cartes d'inondation probabilistes dérivées d'images satellitaires radar permet d'améliorer la prévision des inondations.

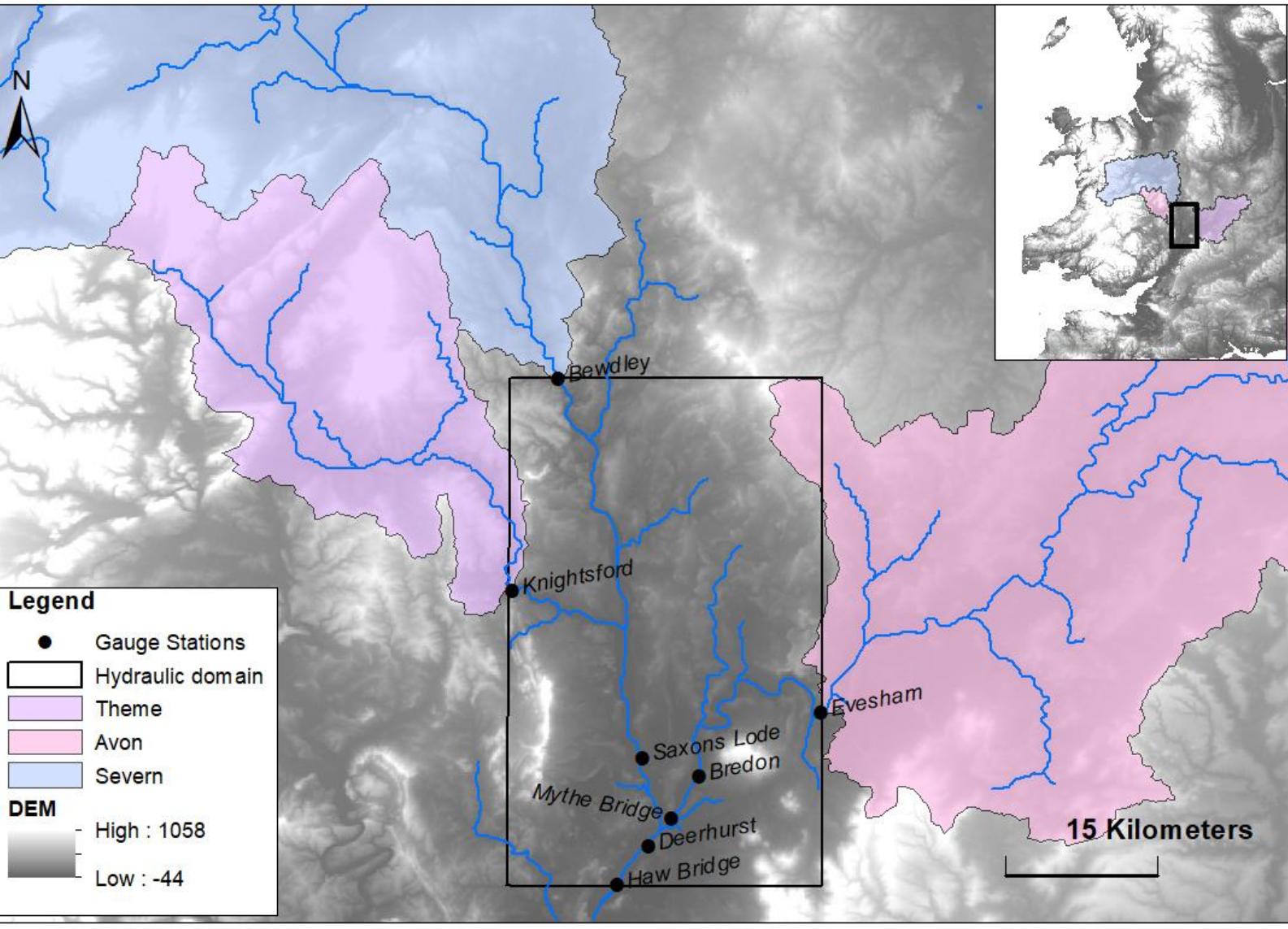


Figure 2 : Zone d'étude: la plaine aval de la rivière Severn (les limites du domaine hydraulique sont représentées par un cadre noir). Les 3 bassins versants sont représentés par des polygones colorés ; leurs sorties sont situées aux stations de jaugeage de Bewdley, Evesham et Knightsford. Les stations de jaugeage sont représentées par des points noirs. (d'après Di Mauro et al., 2022)

Méthodes

1) La série chronologique des précipitations et des variables complémentaires permettant le calcul de l'évapotranspiration issue de ERA5 est utilisée pour simuler des cartes d'étendues inondées grâce au couplage (non dynamique) de modèles conceptuels Superflex pluie-débit (Fig. 1) et d'un modèle hydraulique à surface libre Lisflood-FP (cadre noir sur la Fig. 2)

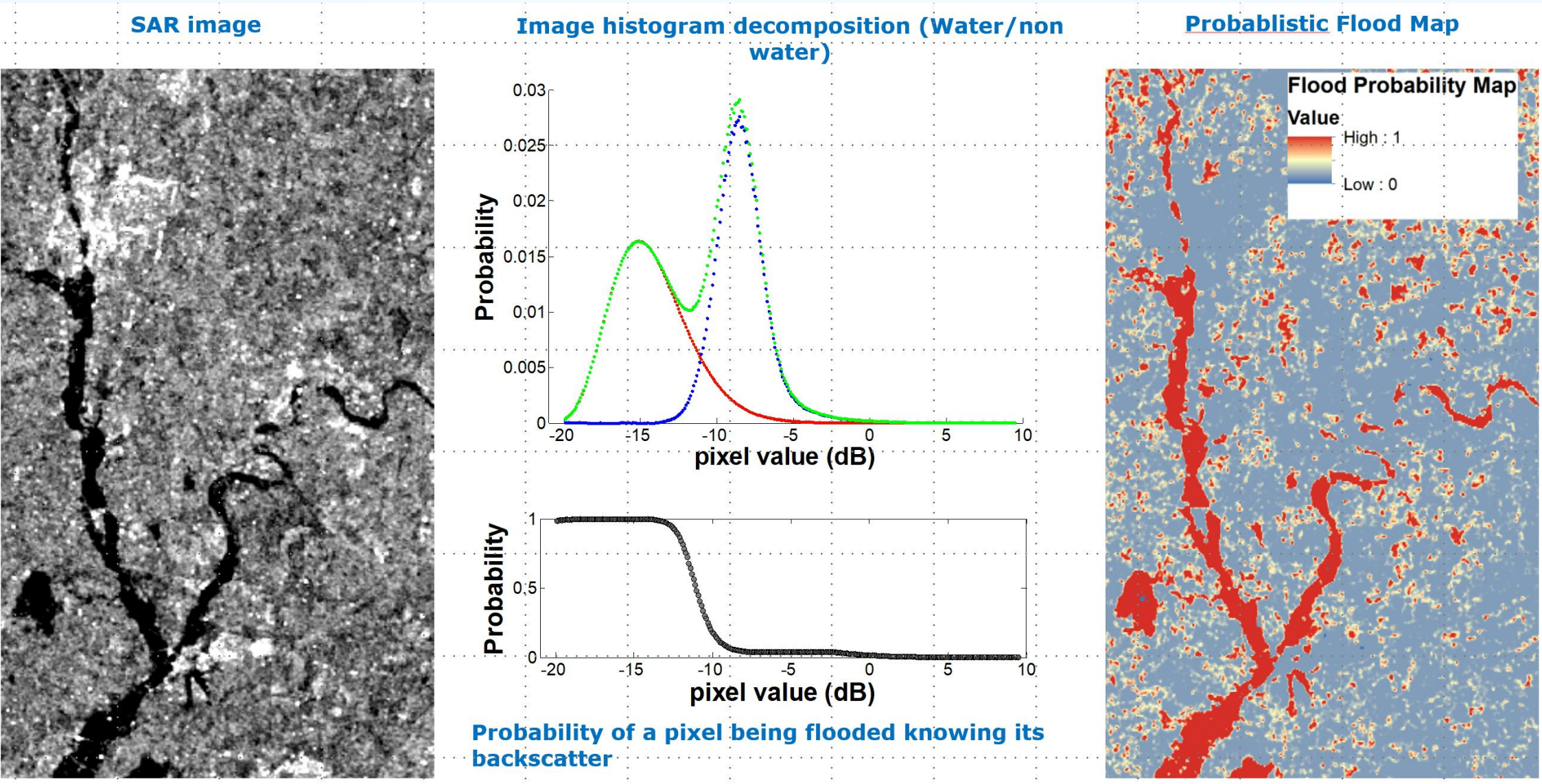


Figure 3 : Cartographie probabiliste des zones inondées à partir d'images satellitaires SAR

3) Afin d'émuler une prédiction d'ensemble, la série chronologique des précipitations d'ERA5 est perturbée et utilisée comme entrée pour le système de prévision des inondations. Les PFM sont assimilées dans ce système de façon séquentielle à l'aide d'un filtre à particule à tempérage (van Leeuwen et al. 2019). Ce filtre d'assimilation, basé sur une factorisation du théorème de Bayes permet une transition itérative progressive entre la distribution ensembliste a priori du système de prévision (i.e., ébauche) et la distribution postérieure optimale après assimilation (i.e., analyse).

4) Dans cette étude, la méthode d'assimilation de données proposée a été appliquée à 3 événements d'inondation survenus le long de la rivière Severn (Royaume-Uni) en 2007 (3 Images: 2images Envisat de résolution spatiale 150m et 1 image TerraSAR-X de résolution spatiale 5m), 2012 (7 images Cosmo-Skymed de résolution spatiale 3 m) et 2020 (6 images Sentinel-1 de résolution spatiale 20m).

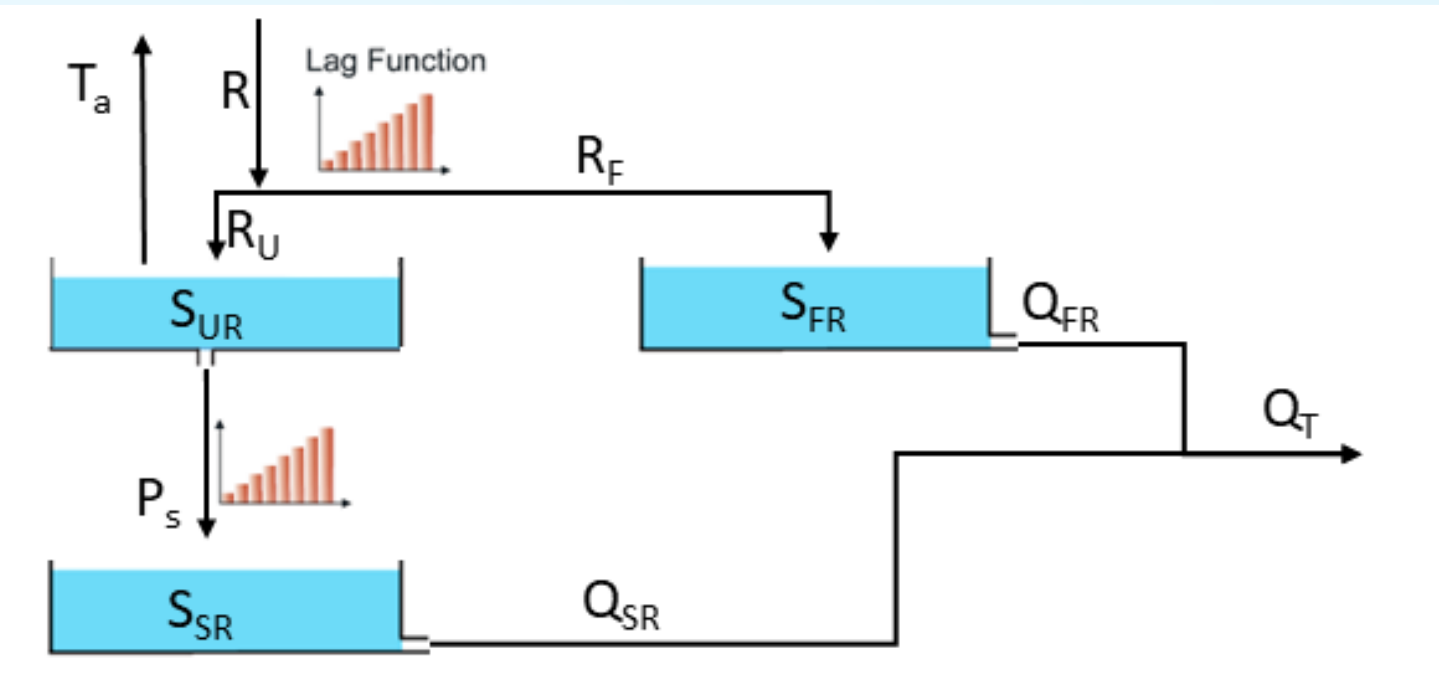


Figure 1 : SUPERFLEX. P=précipitation, Ta= évapotranspiration, SUR= stockage dans le réservoir non saturé, PS= percolation, SSR=Stockage dans le compartiment lent, SFR= Stockage dans le compartiment rapide Ru=Pluie efficace, RF= excès de pluie, QFR=2coulement rapide, QSR= écoulement lent, QT=Eécoulement total

2) Les images satellitaires SAR sont traitées de façon automatique pour produire des cartes de zones inondées probabilistes (PFMs) qui fournissent, sur chaque pixel de l'image, sa probabilité de correspondre à de l'eau, connaissant sa rétrodiffusion (intensité sur l'image SAR) (Giustarini et al. 2016, Fig. 3)

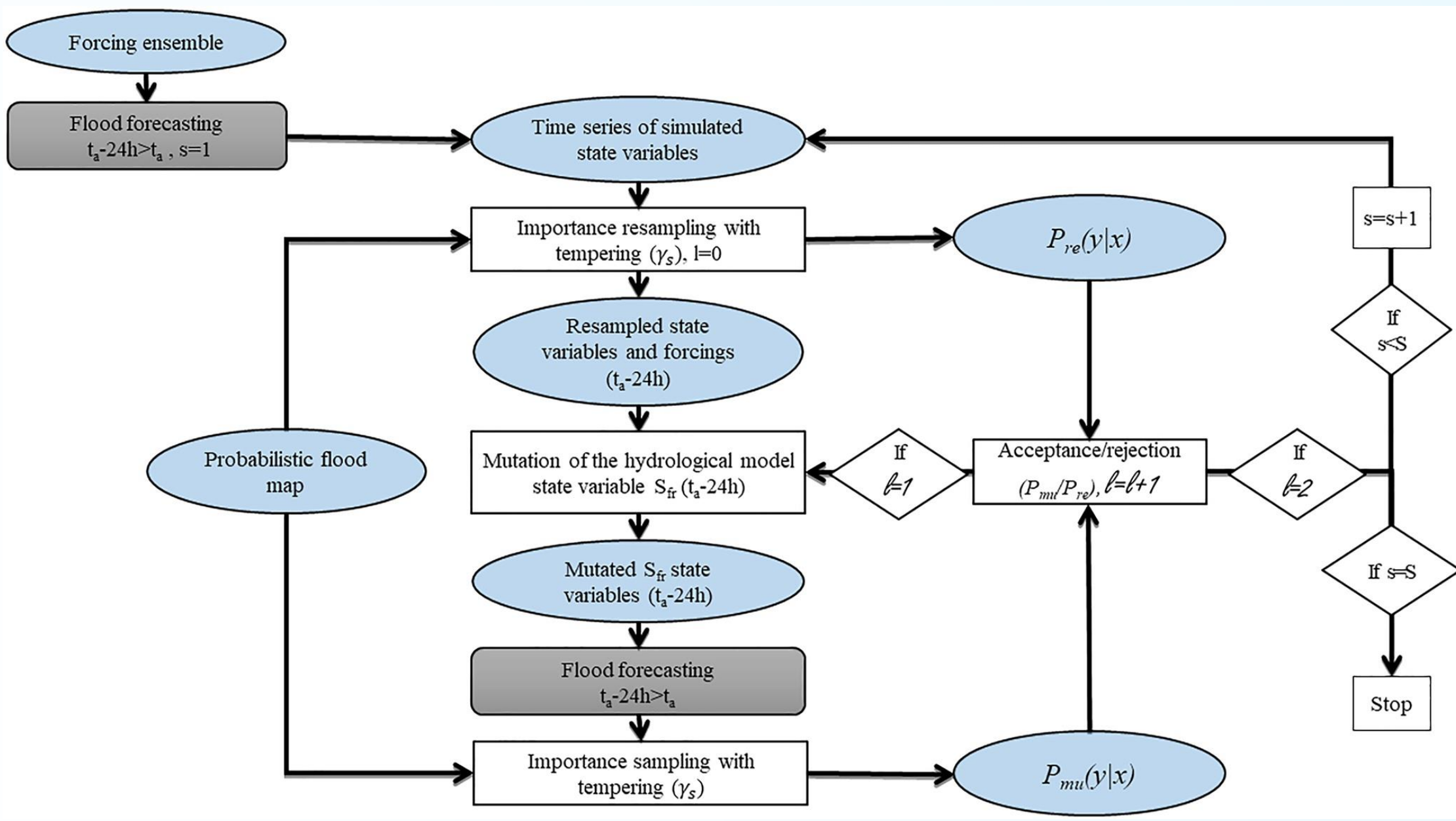


Figure 4 Schéma de la méthode d'assimilation de données. Le modèle de prévision des inondations est représenté par un rectangle gris, les opérations mathématiques par un rectangle blanc, les variables d'état, les entrées et les observations par une ellipse bleue (d'après Di Mauro et al., 2022)

Résultats

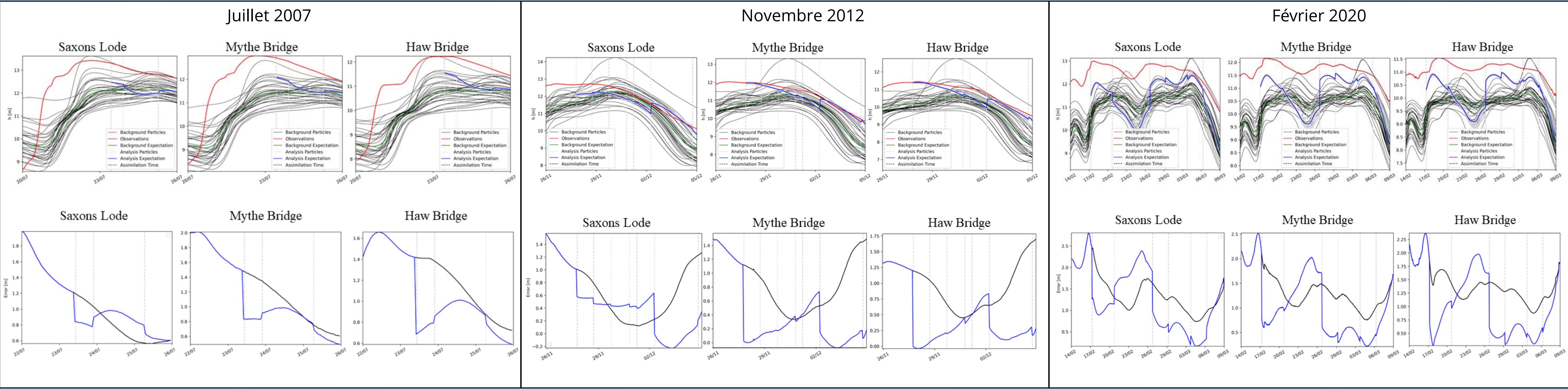
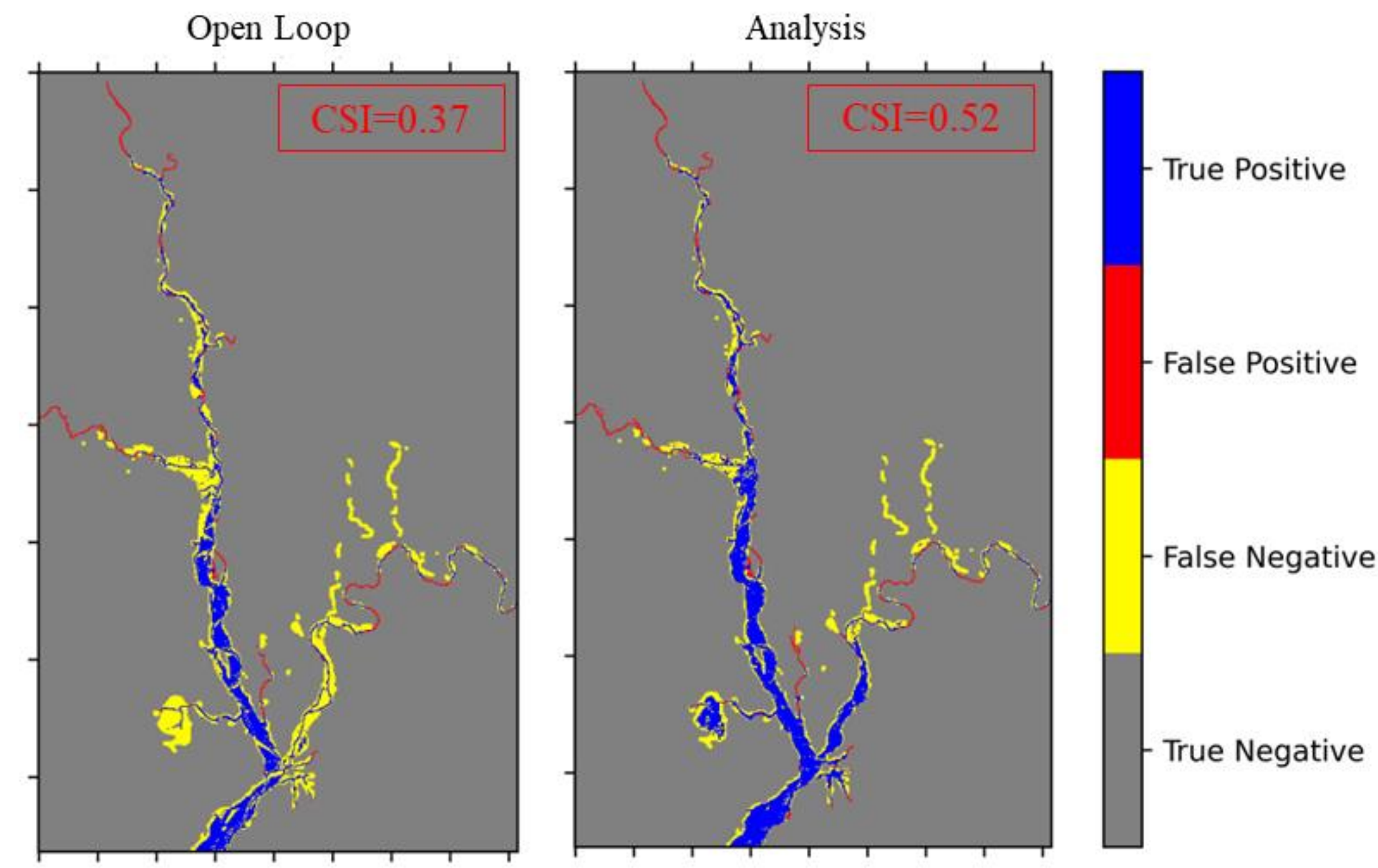


Figure 5: Séries temporelles de niveaux d'eaux (en haut), et d'erreur sur l'ébauche et l'analyse (en bas) pour trois évènements et 3 stations hydrométriques. En haut : Les lignes noires correspondent aux particules de l'ébauche, la ligne verte à l'ébauche (moyenne des particules), les lignes grises aux particules après l'assimilation, la ligne bleue à l'analyse après l'assimilation. La ligne rouge correspond aux données observées de la jauge. En bas: La ligne noire indique l'erreur de l'ébauche et la ligne bleue l'erreur de l'analyse. Les lignes verticales en pointillés correspondent aux pas de temps d'assimilation.



Inondation du 29 Février 2020 à 11:20 Carte de contingence et CSI (= score F1) avant et après l'assimilation calculée entre les résultats du système de prévision et une carte d'inondation extraite d'une image Sentinel 2 optique (résolution spatiale 10m). Les vrais pixels positifs (bleu) indiquent que la simulation d'inondation et l'image satellitaire observent toutes deux le pixel comme inondé, les vrais pixels négatifs indiquent que la simulation d'inondation et l'image satellitaire observent toutes deux le pixel comme non inondé (gris). Lorsque la simulation prédit que le pixel est inondé mais que le pixel est observé comme n'étant pas inondé, il s'agit d'un faux positif (rouge), et lorsque le contraire se produit, il s'agit d'un faux négatif (jaune).

Conclusions

- Le filtre à particule utilisé représente une méthodologie pertinente pour améliorer la qualité des prévisions. En effet, notre expérience montre une amélioration substantielle et quasi systématique des niveaux d'eau prédits grâce à l'assimilation.
- Les améliorations de la précision de la prévision des niveaux d'eau persistent pendant plusieurs heures et dans certains cas pendant plusieurs jours après l'assimilation, à moins que les conditions hydrologiques ne changent trop rapidement.
- Des performances médiocres du filtre d'assimilation sont obtenues pour l'estimation des débits entrants aux conditions au limites du modèle hydraulique (ces résultats ne sont pas montrés sur ce poster).
- Le filtre d'assimilation appliqué dans cette étude calcule des poids globaux qui sont ensuite utilisés pour mettre à jour indépendamment les variables du modèle hydrologique. Les poids globaux sont calculés sur la base de l'étendue de l'inondation qui est le résultat combiné des conditions hydrologiques des 3 bassins versants amont indépendants. Étant donné la complexité du système fluvial, la mise à jour des variables basée sur les poids globaux peut conduire à des erreurs et à des estimations inexactes des débits entrants aux limites de la rivière, car différents ensembles de particules peuvent générer des cartes d'étendue de crue très similaires.

Références

C. Di Mauro, R. Hostache, P. Matgen, R. Pelich, M. Chini, P. J. N. van Leeuwen, N. Nichols and G. Blöschl, A tempered particle filter to enhance the assimilation of SAR-derived flood extent maps into flood forecasting models. Water Resources Research, 58:e2022WR031940, 2022, <https://doi.org/10.1029/2022WR031940>.

Giustarini, L., Hostache, R., Kavetski, D., Chini, M., Corato, G., Schlaffer, S., & Matgen, P. (2016). Probabilistic flood mapping using synthetic aperture radar data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54(12), 6958–6969. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2592951>

van Leeuwen, P. J., Künsch, H. R., Nerger, L., Potthast, R., & Reich, S. (2019). Particle filters for high-dimensional geoscience applications: A review. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 145(723), 2335–2365. <https://doi.org/10.1002/qj.3551>