

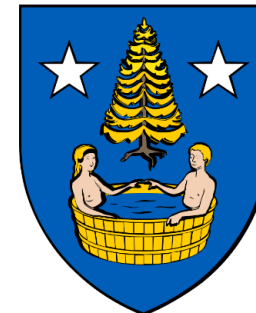
Techniques de Machine Learning hybrides et d'agrégation pour modéliser les réseaux d'eau multiusage en région alpine

François Mettra, Fanny Terrettaz, Emilie Neveu

Institut Energie et Environnement, Haute Ecole d'Ingénierie,

HES-SO Valais-Wallis, Sion, Suisse

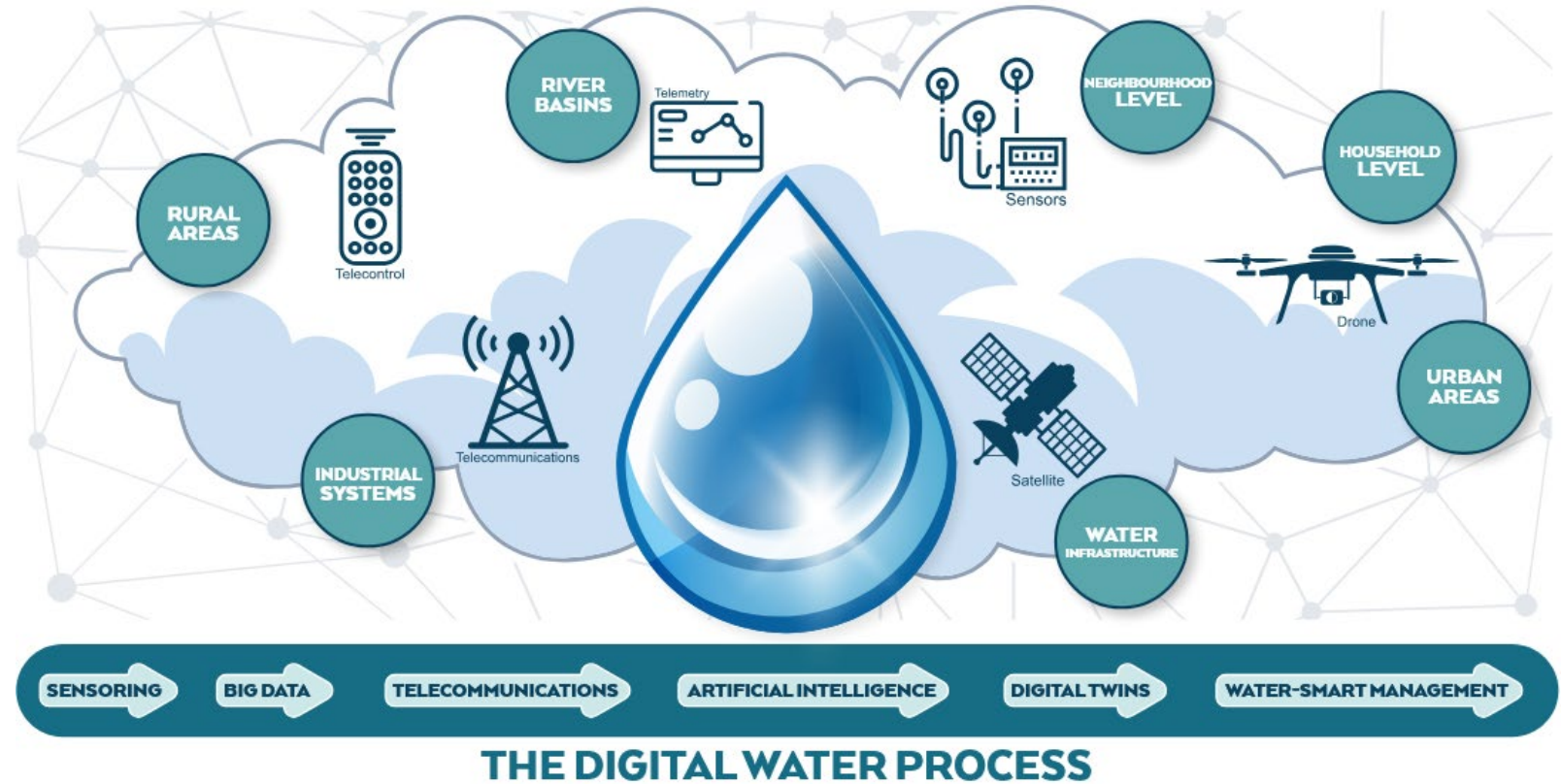
`francois.mettra@hevs.ch`, `fanny.terrettaz@hevs.ch`,
`emilie.neveu@hevs.ch`



COMMUNE DE
VAL DE BAGNES

«Water-Smart society»

Flexibilité, solutions digitales intégrées, protection, prédictions, résilience

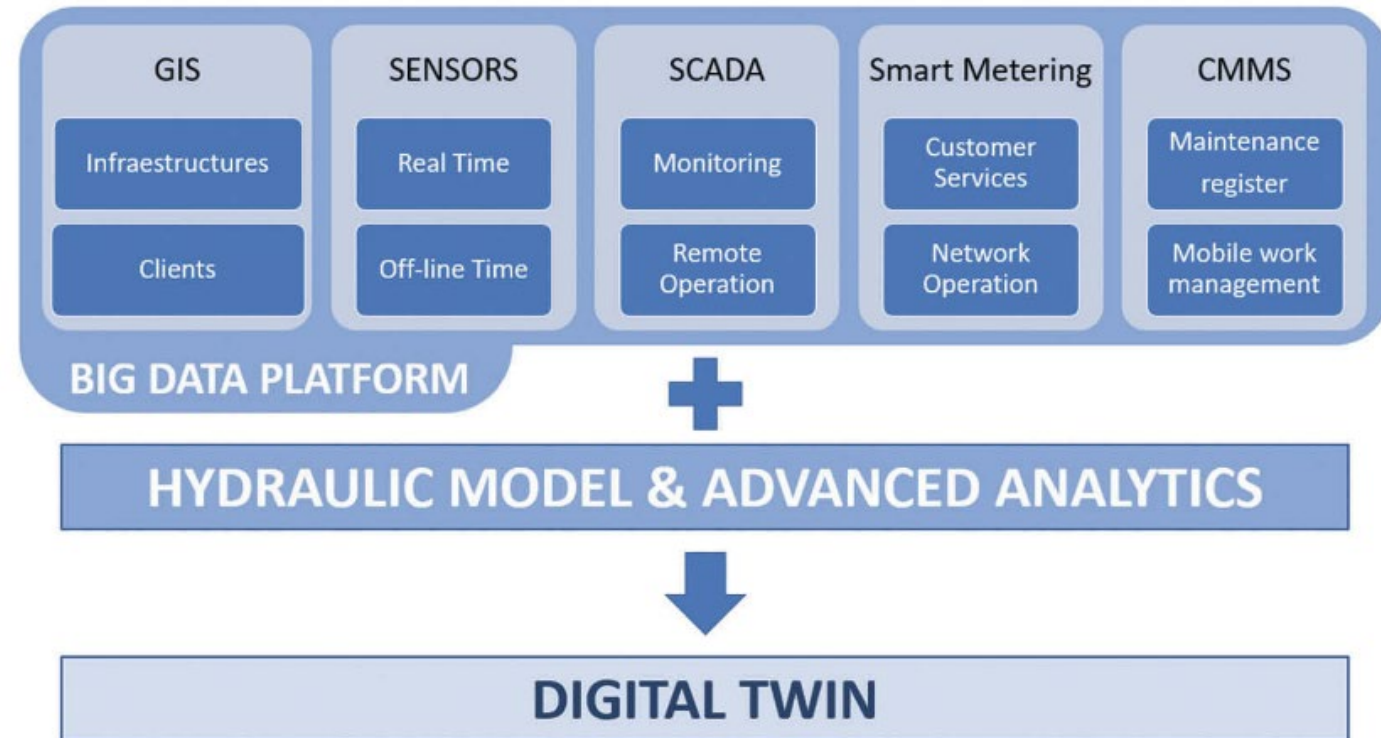


- *Water Resilience Strategy, Water Europe. 7. Support disruptive Research & Innovation activities. Janvier 2025.*
- *The value of water, Water Europe. 2023.*
- Appel à projet HORIZON Research and Innovation Actions :
“Towards the water infrastructures of the future”

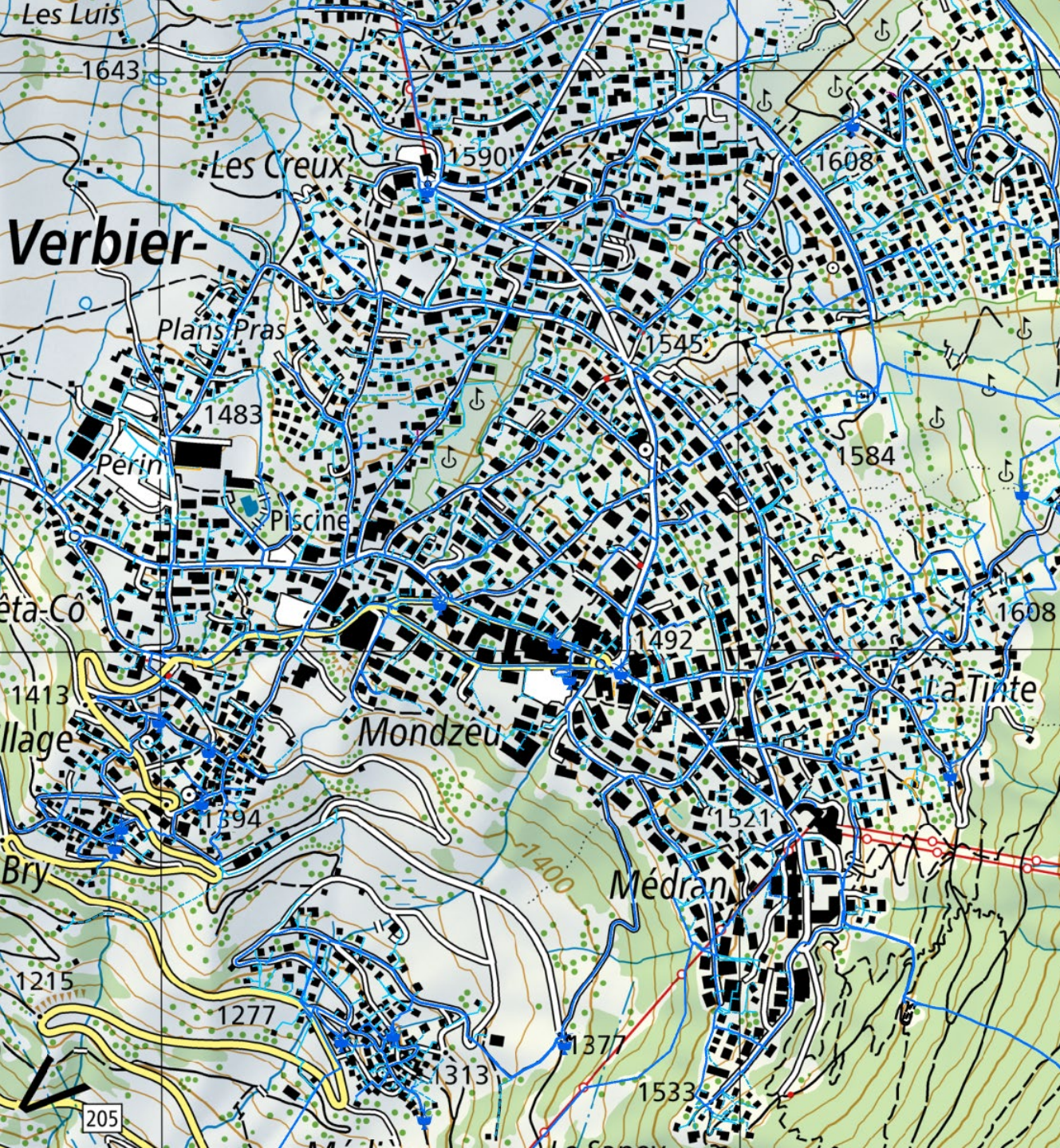
Modélisation des réseaux d'eau

Conejos Fuertes et al. (2020)

- Beaucoup de communes sans modèle de leur réseau (ou pas à jour, pas utilisable sans intermédiaire, ...)
- Villes possédant des jumeaux numériques basés sur la résolution des équations physiques
- Beaucoup de solutions IA mais sont-elles opérationnelles ?



Implémentation sur un réseau réel avec contraintes réelles

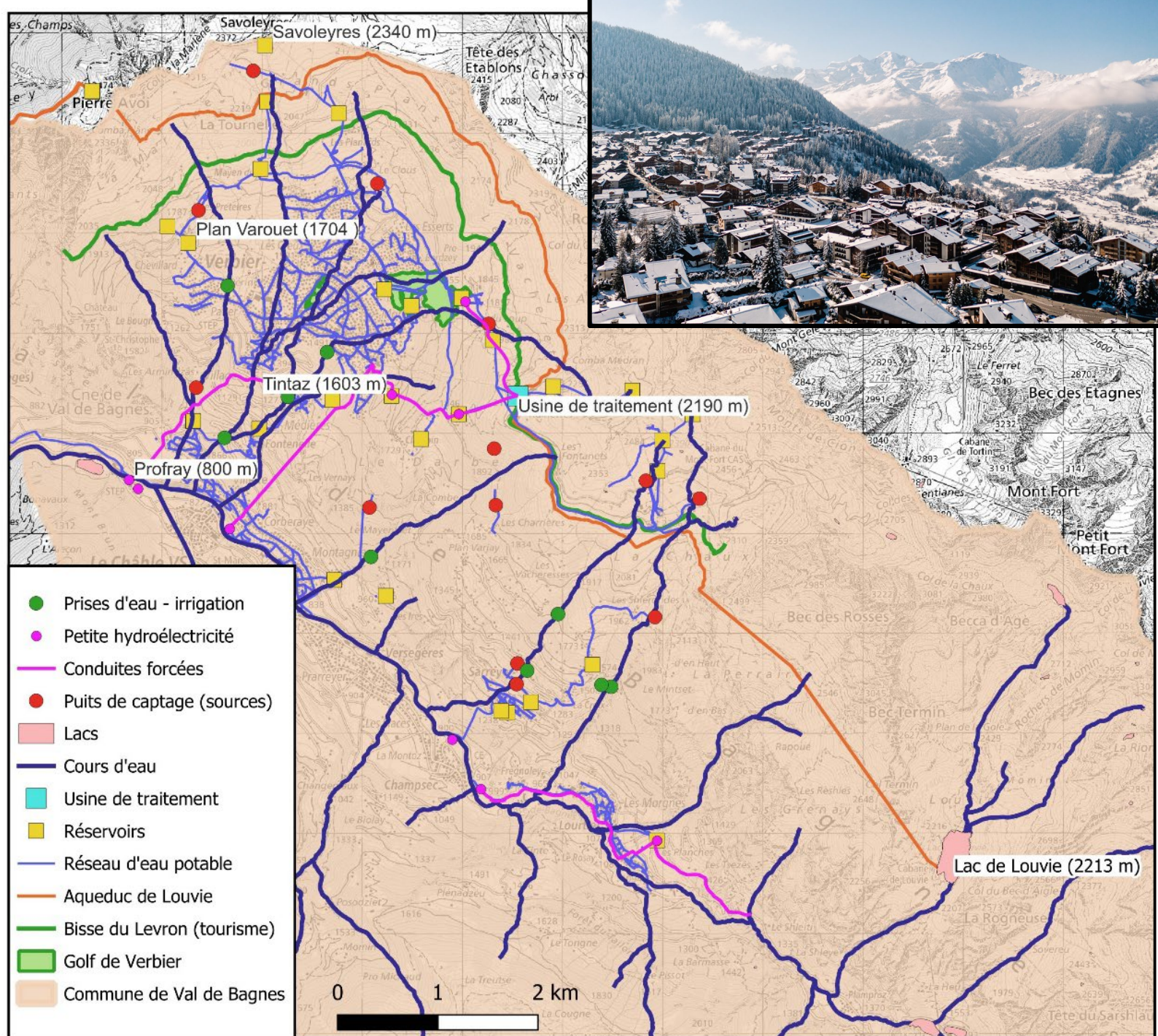


Problèmes liés à la modélisation

- Paramètres sans représentation physique
- Manque de donnée (variables, géométrie, ouvrages) / surajustement
- Manque de flexibilité des modèles
- Modèles coûteux en temps de calcul ([Djemel et al., 2024](#))

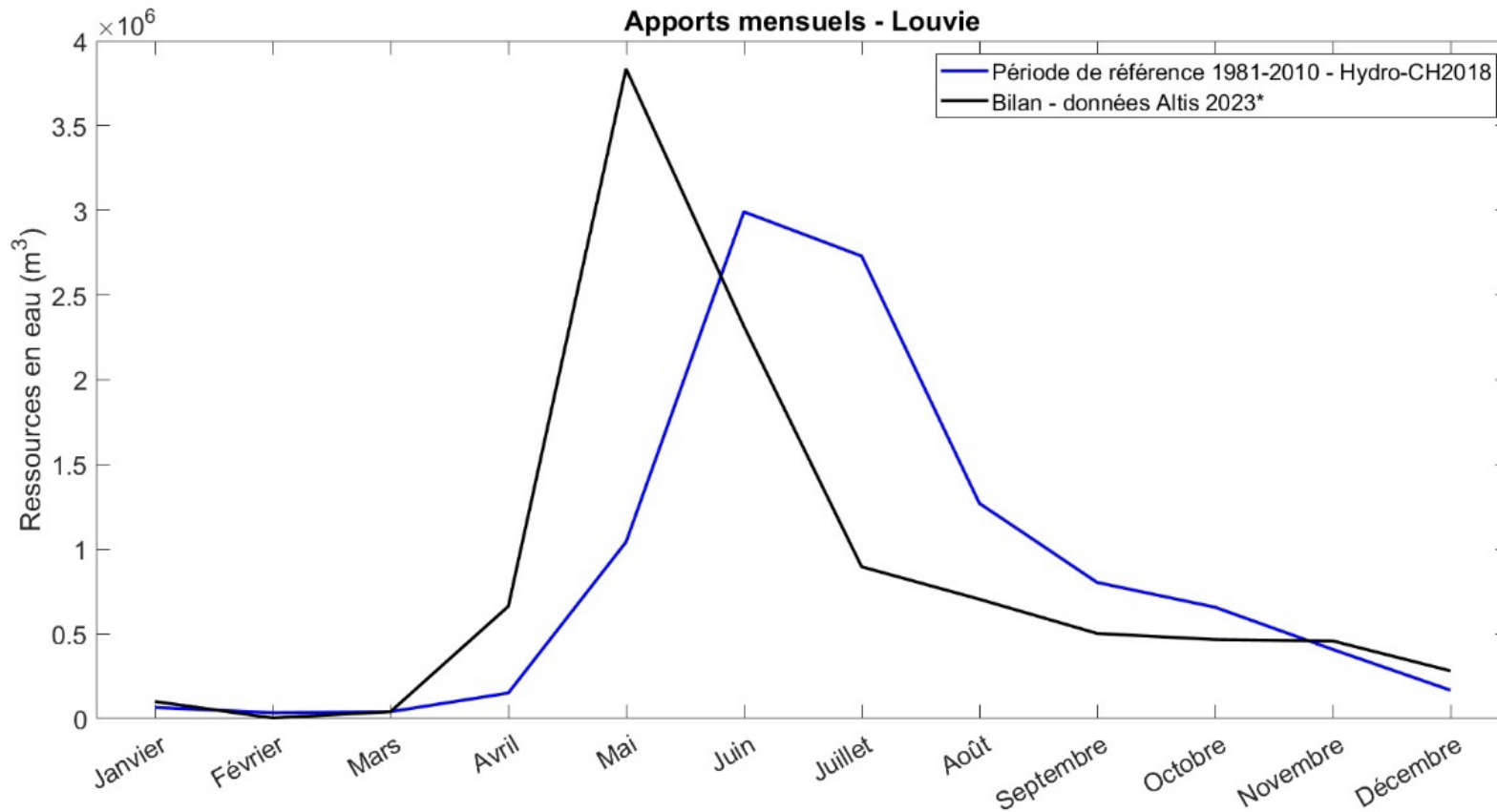
Val de Bagnes

- 180 km de conduites
- 41 réservoirs
- 77 sources
- Lac Louvie 0.45 hm³
- Aqueduc de 11 km
- 10'925 habitants
- 1,3 millions de nuitées touristiques
- Dénivelé de 1540 m



Val de Bagnes

Stockage et multiusage de l'eau

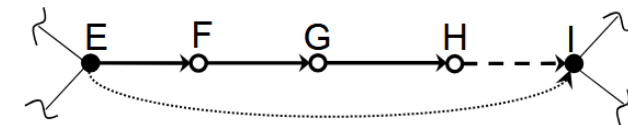
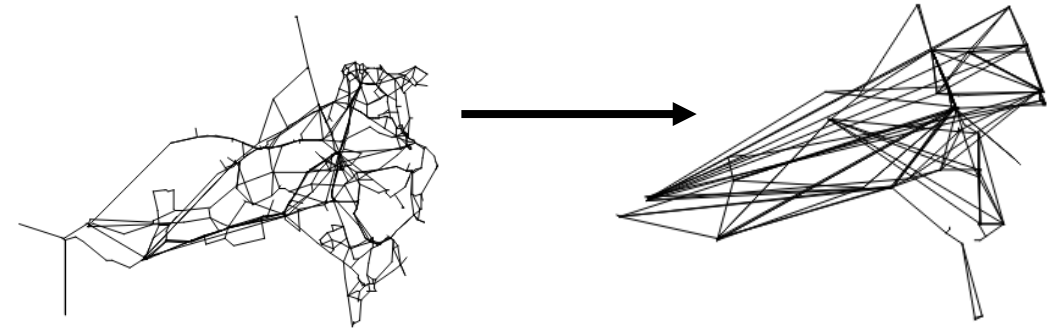
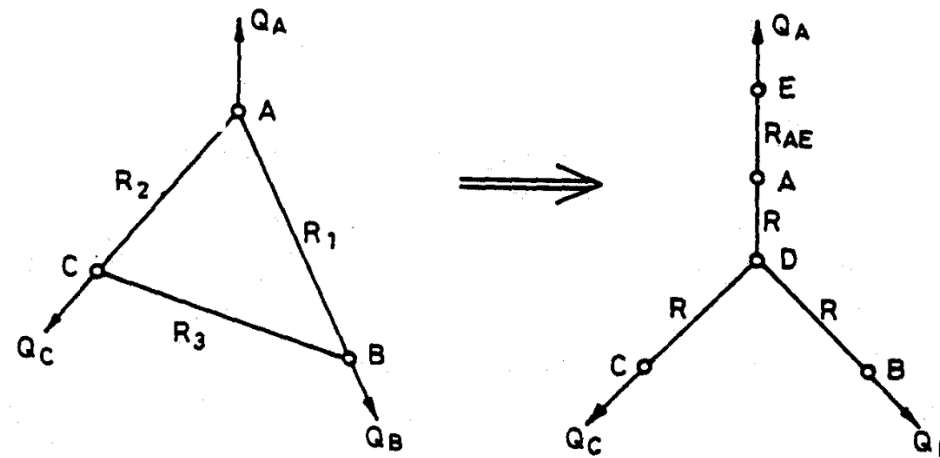


Houillon, G., Delalex, M., Mettra, F., Rey, T., Neveu, E., & Reynard, E. (2025). *Projet interinstitutionnel PInter 07-2024 – Transition énergétique : Synergies et impacts sur la gestion de l'eau. Rapport final (Projet no 132227-RN004)*. 186.

<https://iris.unil.ch/handle/iris/264359>

Simplification

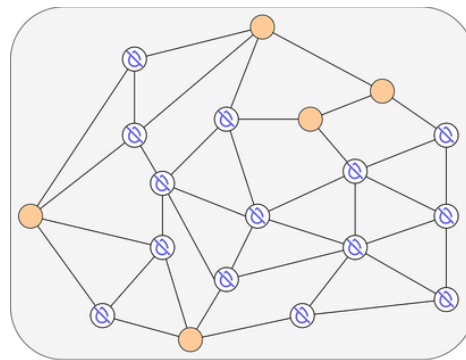
- Combinaison d'éléments
([Hamberg et Shamir, 1988](#))
- Représentation par des équations algébriques non-linéaires
([Ulanicki et al., 1996](#))
- Partitions de graphes
 - Forest Core Partitioning Algorithm
([Simpson et al., 2014](#))
 - Graph Matrix Partitioning Algorithm
([Deuerlein et al., 2016](#))



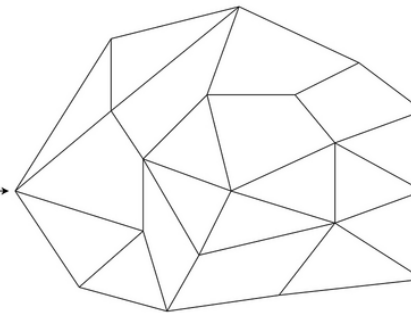
- 1.) ● supernodes (E, I)
- 2.) ○ internal tree nodes (F, G, H)
- 3.) → internal tree branches (EF, FG, GH) (E to H is the internal tree)
- 4.) - - → internal co-tree chord (HI)
- 5.) superlink (EI)

Solutions utilisant l'IA dans les réseaux d'eau

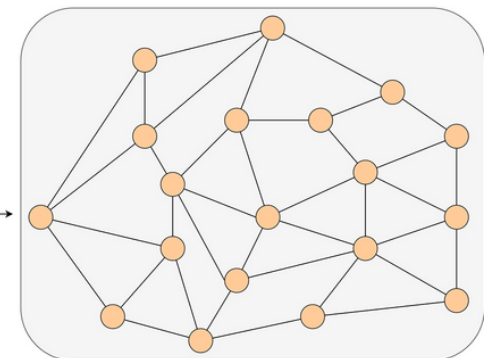
- Applications IA (opérationnelles). Détection de fuites, d'événements ou de pollution ; gestion de données ; gestion de réseaux ; gestion d'investissements ; optimisation des processus de traitement ... ([Krishnan et al., 2022](#) ; [Toloma et al., 2025](#))
- Modélisation IA des réseaux d'eau : utilisation des GNN (réseaux neuronaux en graphes) => besoin de contraintes physiques ! ([Toloma et al., 2025](#))



Partially observed nodal pressures



Graph modeling



Reconstructed nodal pressures

Solutions utilisant l'IA dans les réseaux d'eau

- Modélisation hybrides
 - [MLP (Perceptron Multicouche) ou CNN (réseaux neuronaux convolutifs)] + données EPANET => détection de fuite ([Basnet et al., 2023](#))
 - GNN avec incorporation de lois physiques, robuste aux données bruitées ([Xing et Sela, 2022](#))
 - GCN (réseaux neuronaux convolutifs en graphes) => émulation complète d'EPANET ([Ashraf et al., 2024](#))
 - AIGNN (avec raisonnement algorithmique et contrainte sur le débit) => modélisation fine du réseau pour détecter les fuites ([Zhang et Fink, 2026](#))
- Dans la littérature, ces approches sont utilisées surtout sur des exemples simples.
- Pas de gestion des ouvrages spéciaux.

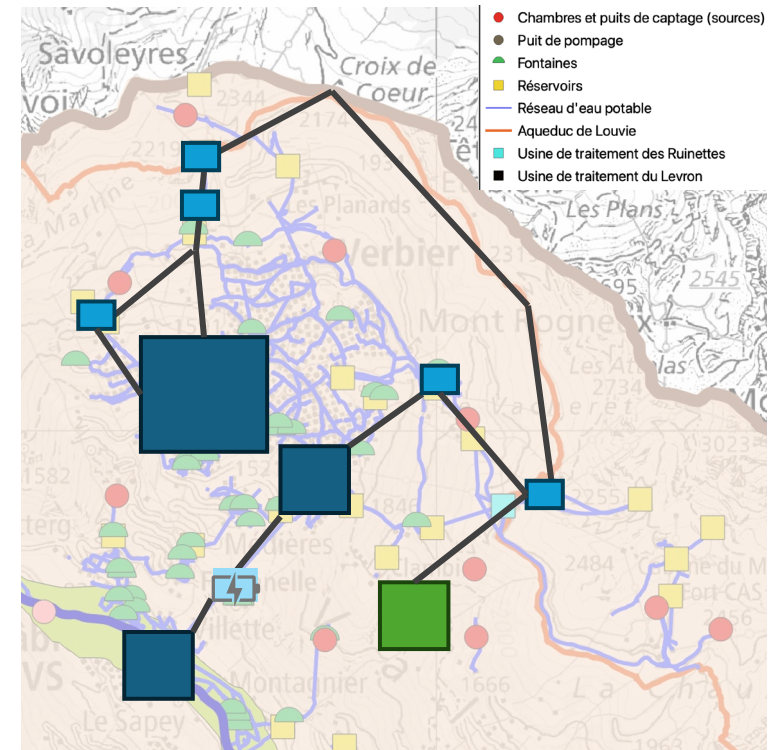
Discussion

- Les GNNs semblent être les solutions les plus adaptées pour incorporer des contraintes physiques.
- GNN + contraintes physiques
=> amélioration temps de calcul +++
=> robuste face au manque de données et au bruit ++
- Peu d'applications concrètes / complètes.
- Pas d'application sur des réseaux complexes et des questions de multiusage de l'eau.



Perspectives

- Approche modulaire
 - Utilisation de plusieurs approches suivant les secteurs.
 - Introduction des ouvrages spécifiques.
- Approche orientée acteurs
 - Simplification des zones en fonction des besoins d'un acteur
 - Assemblage différent des modules en fonction des acteurs
 - Plusieurs modèles ultra-simplifiés et robustes





Techniques de Machine Learning hybrides et d'agrégation pour modéliser les réseaux d'eau multiusage en région alpine

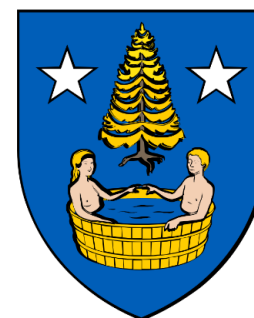
François Mettra, Fanny Terrettaz, Emilie Neveu

francois.mettra@hevs.ch, fanny.terrettaz@hevs.ch, emilie.neveu@hevs.ch

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Projet débutant sur cette thématique en mars 2026.

Gestion intelligente de l'approvisionnement en eau



COMMUNE DE
VAL DE BAGNES