



Systeme d'alerte : prévoir les inondations plus rapidement grâce à l'IA

Congrès Eau et IA 2026 – Grenoble 4 au 6 mars 2026

Sommaire

1. La problématique
2. Le contexte dans lequel le travail a été mené
3. La technique
4. Les résultats
5. Conclusions et perspectives



La problématique

La problématique

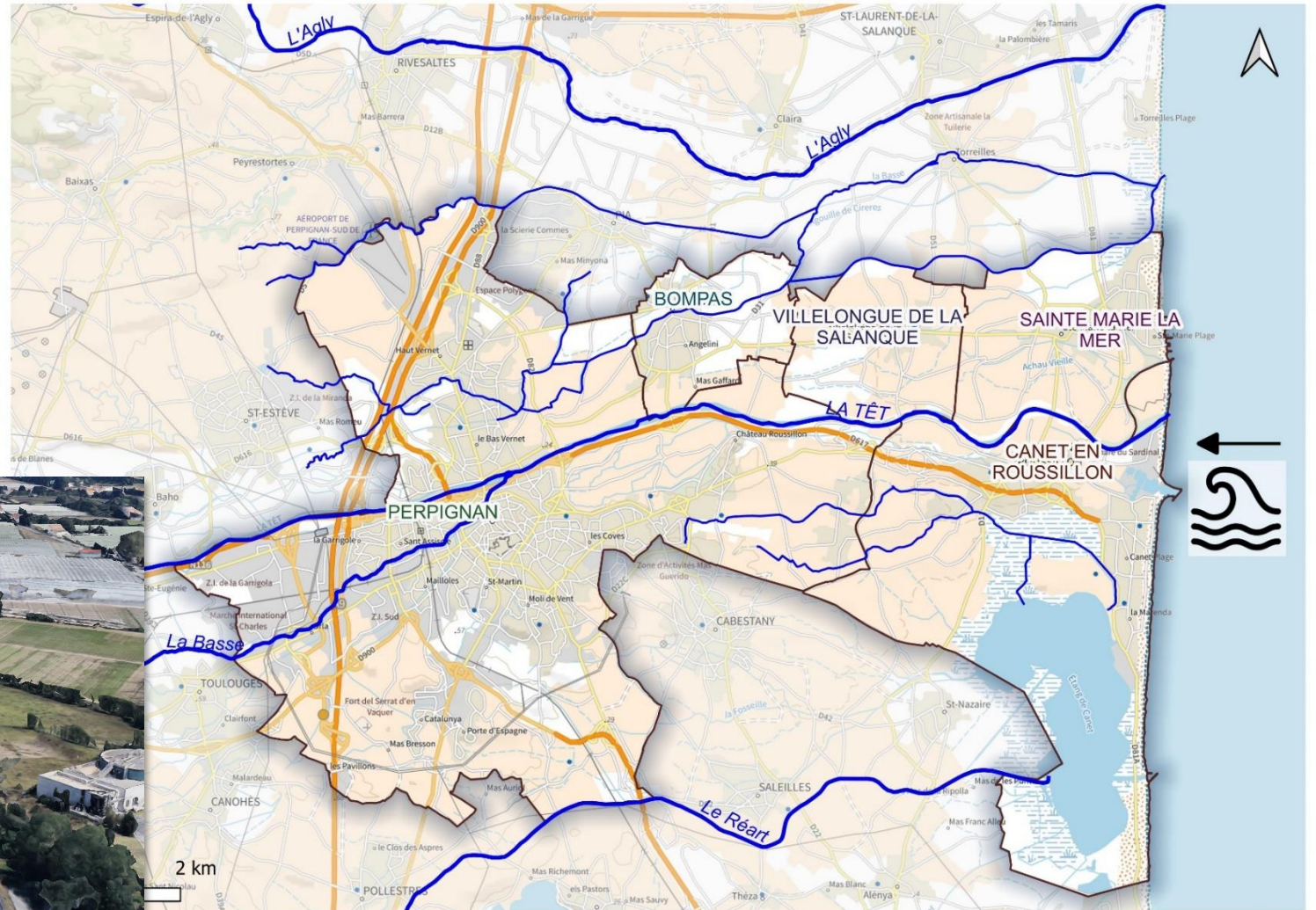
- **Constat** : Les modèles hydrauliques répondent la majeure partie du temps à nos attentes pour décrire les zones inondées :
 - Ils peuvent être très détaillés mais...
 - Les simulations sont longues (quelques heures à quelques jours) et donc peu compatibles avec un suivi en temps réel des crues notamment dans un contexte de prévision et d'alerte
- **Objectif** : faire appel à l'intelligence artificielle alimentée par les résultats des modèles hydrauliques fins pour simuler quasi-instantanément des crues (y compris leur dynamique)
- **Aire de test et de validation de la méthode** : la plaine de la Têt aval
- **Travail de thèse de Valentin Mercier (3 ans) (INP Toulouse, BRLi, ANITI)**

Contexte général et données de base

La Têt aval

Zone étudiée finement dans le cadre du PPRi de la Têt aval (y compris la commune de Perpignan)

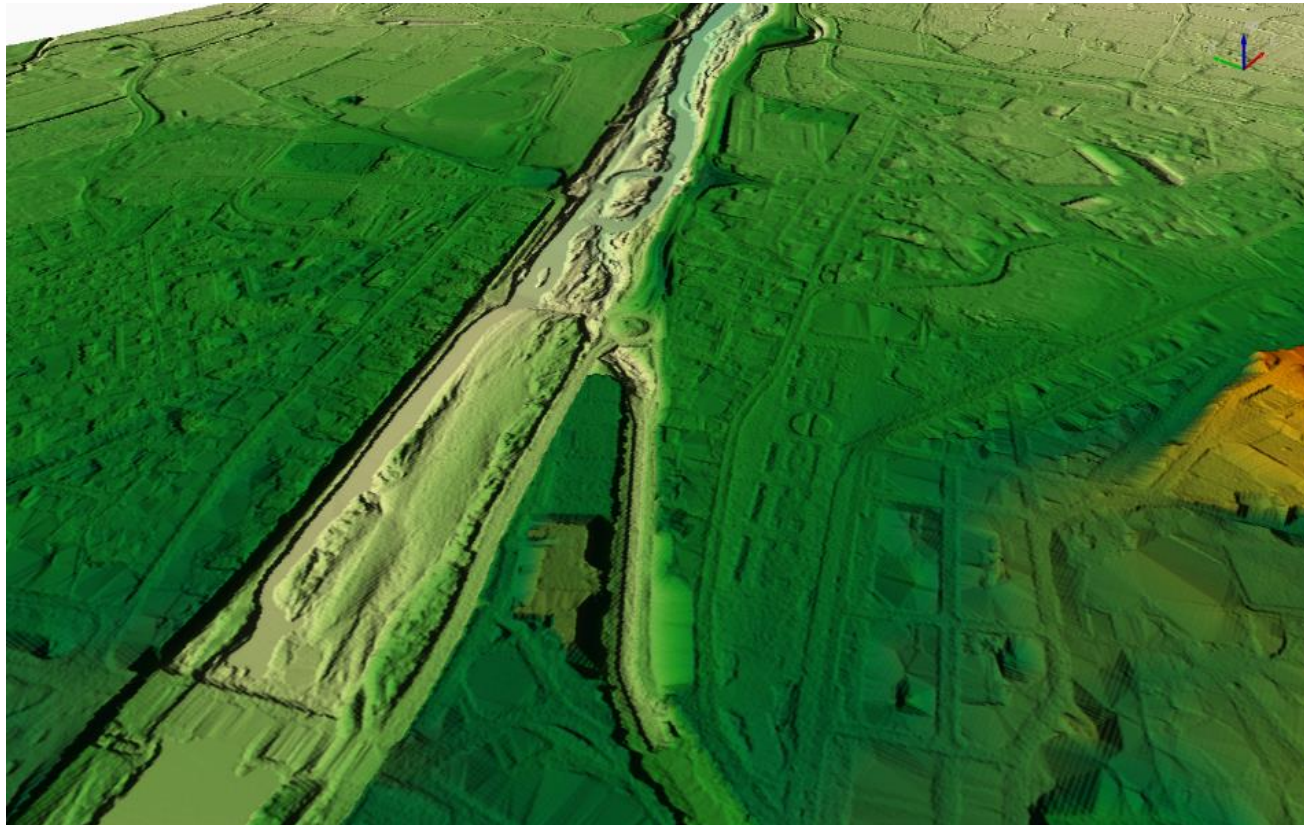
Couloir endigué à l'aval de Perpignan



Les données topographiques

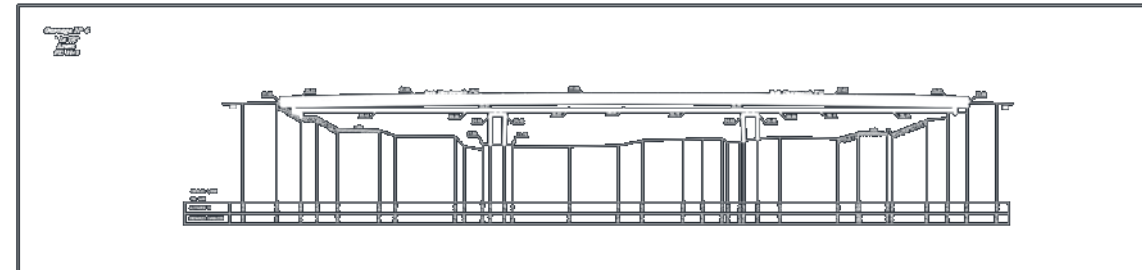
Modèle numérique de terrain issu de LIDAR
(laser par avion), donnée de l'IGN :

- Récente (2021)
- Fiable, précise et dense (1 point par m²)

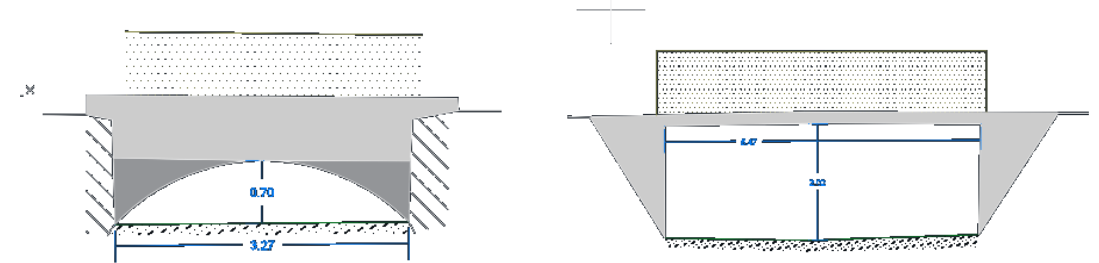


Ouvrages modélisés finement

Vue en coupe du pont de la D82 à Perpignan (BE2T, 2013)



Exemples de profils d'ouvrages levés en 2021 (3DSI)



Le modèle hydraulique détaillé existant

LE MODELE HYDRAULIQUE DE LA TET AVAL

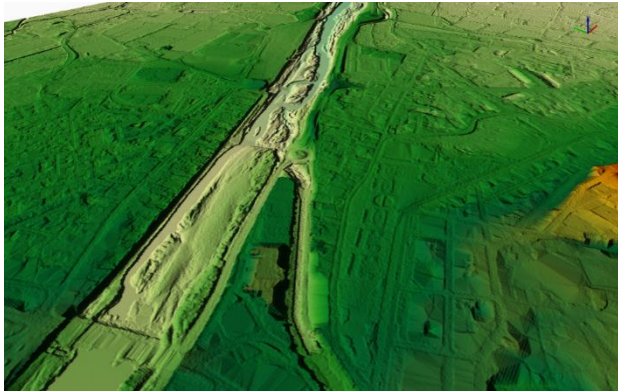
Superficie 230 km²

2,2 millions de mailles de calcul

Taille des mailles : de 1 m à 25 m

Temps de calculs : 24 à 48 h

Le modèle s'appuie sur la topographie



et intègre :

- Cours d'eau, ruisseaux, agouilles,
- Ouvrages en remblais, digues
- Ponts, cadres, buses, gués,...
- Bâtiments, routes, végétation plus ou moins dense

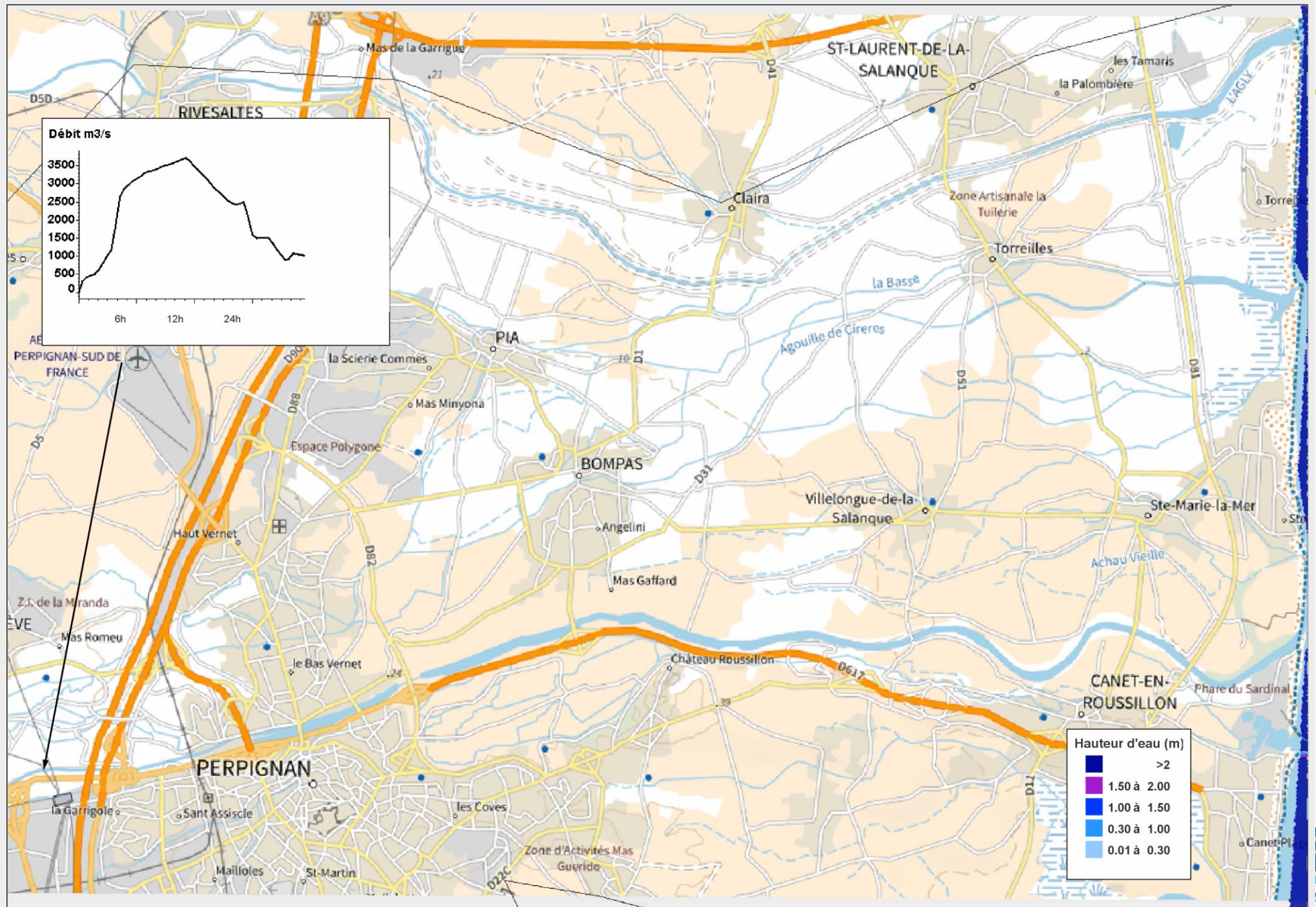
Extraits du maillage du modèle hydraulique



Résultats

Crue de
référence
de la Têt,
scénario
de base

Débit de
1940 en
situation
actuelle



Résultats

La modélisation permet de connaître les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement, les vitesses de montée de l'eau, ... en tout point du territoire et à tout moment de la crue.

Extraits de vues 3D de la zone inondable au maximum de la crue



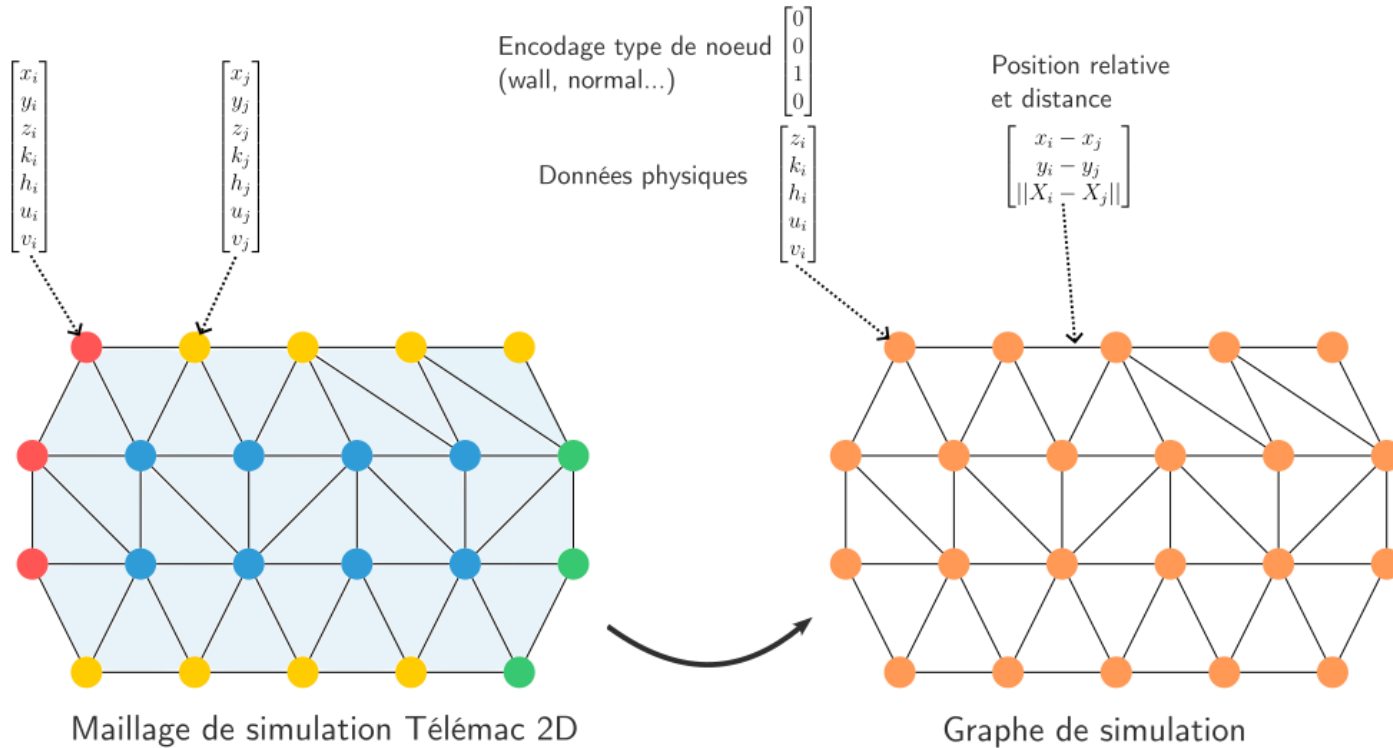


La technique

Approche hybride « Modèle — Apprentissage automatique » Il y a de la physique dans cette IA !

- Apprend à prédire les zones inondables futures (y compris leurs dynamiques) sur la base d'un modèle machine learning :
 - Entraîné sur des résultats de modèles détaillés (Telemac2D) pour des crues précédentes,
 - Comportant des éléments descriptifs physiques en entrée (topographie, frottement...) et en sortie (hauteurs d'eau, vecteurs vitesses...).
- Modèle réemployable tel quel sur d'autres secteurs d'étude (même si un nouvel entraînement local peut améliorer les résultats).

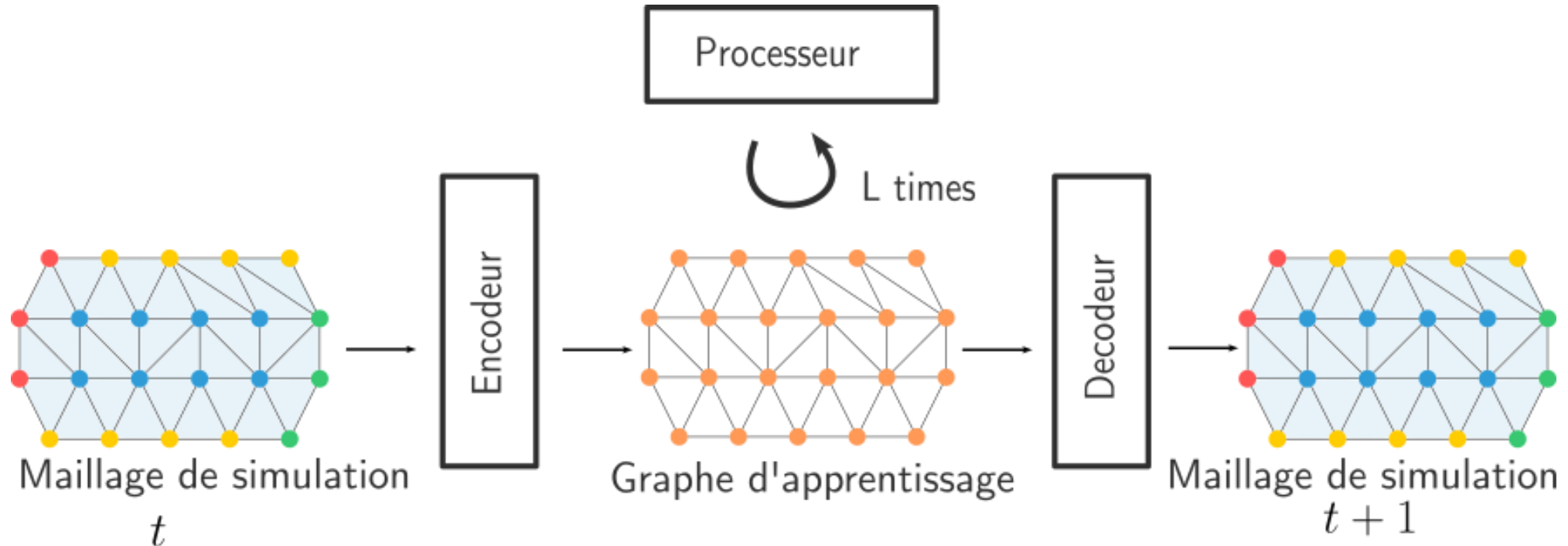
Le modèle (PINN – GNN)



Pré-traitement des données :

- Transformation des données Télémac en graphe
- Projection des données physiques fines vers un maillage plus grossier (réduction du coût de calcul)

Le modèle

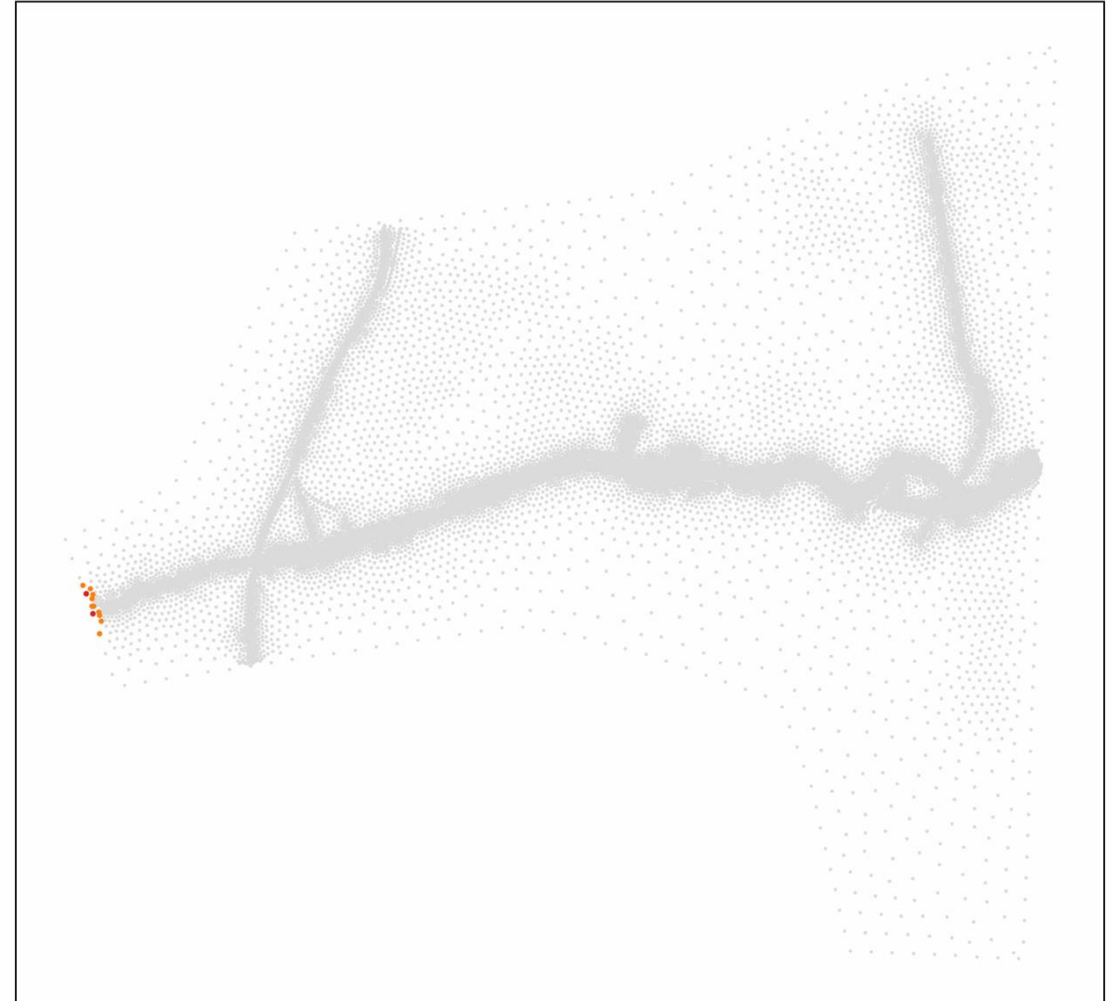


- Encodage des données
- Traitement des données (mises à jour en fonction des nœuds et des arêtes adjacentes « L » fois ~ dans un rayon de « L » arêtes)
- Décodage des données pour obtenir les variations de hauteur et de vitesse

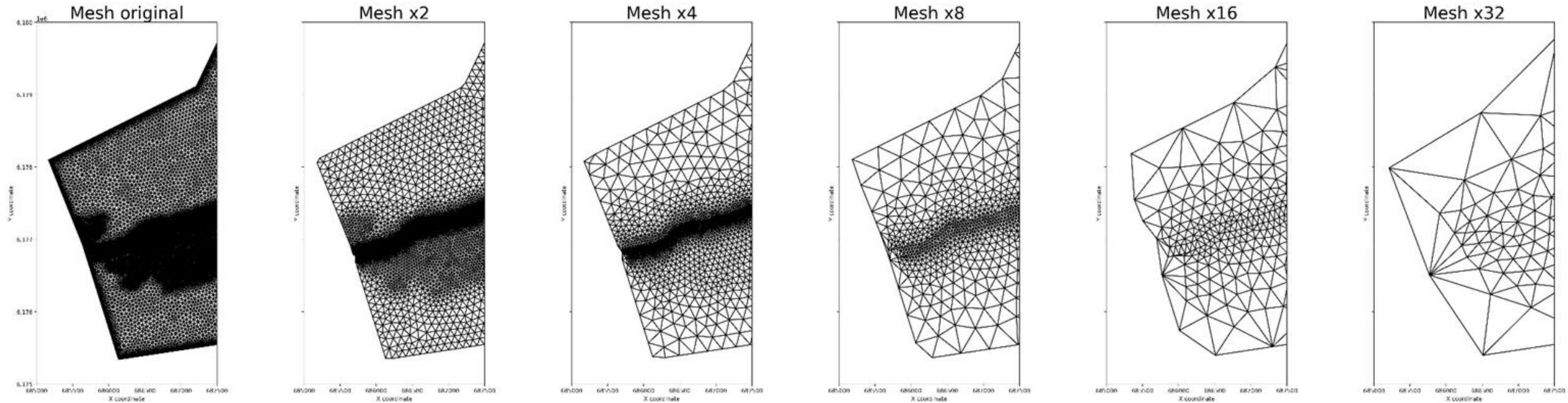
Premier obstacle

- Malgré la projection sur un maillage plus grossier, mettre à jour un nœud en fonction de nœuds à « L » arêtes ne suffit pas
- L'information aux conditions limites est par exemple restreinte à peu de nœuds pour le calcul d'un pas de temps de 30 minutes

Noeuds impactés par les BCs avec 1 etapes de message passing



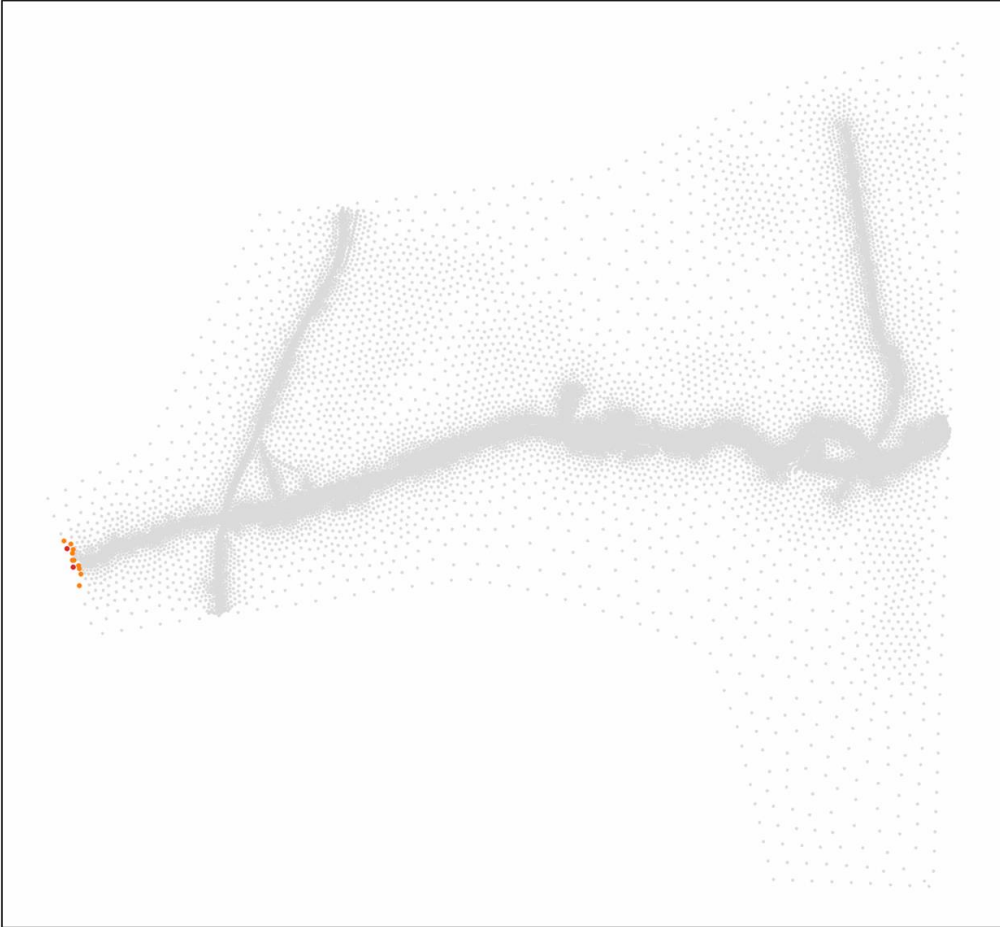
La solution : un multimesh



- On a projeté nos données du maillage original au maillage x8
- On associe aux points des maillages plus grossiers le point le plus proche du maillage x8
- On ajoute au maillage x8 les arêtes des maillages plus grossiers pour obtenir un **Maillage multiple (Multimesh)**

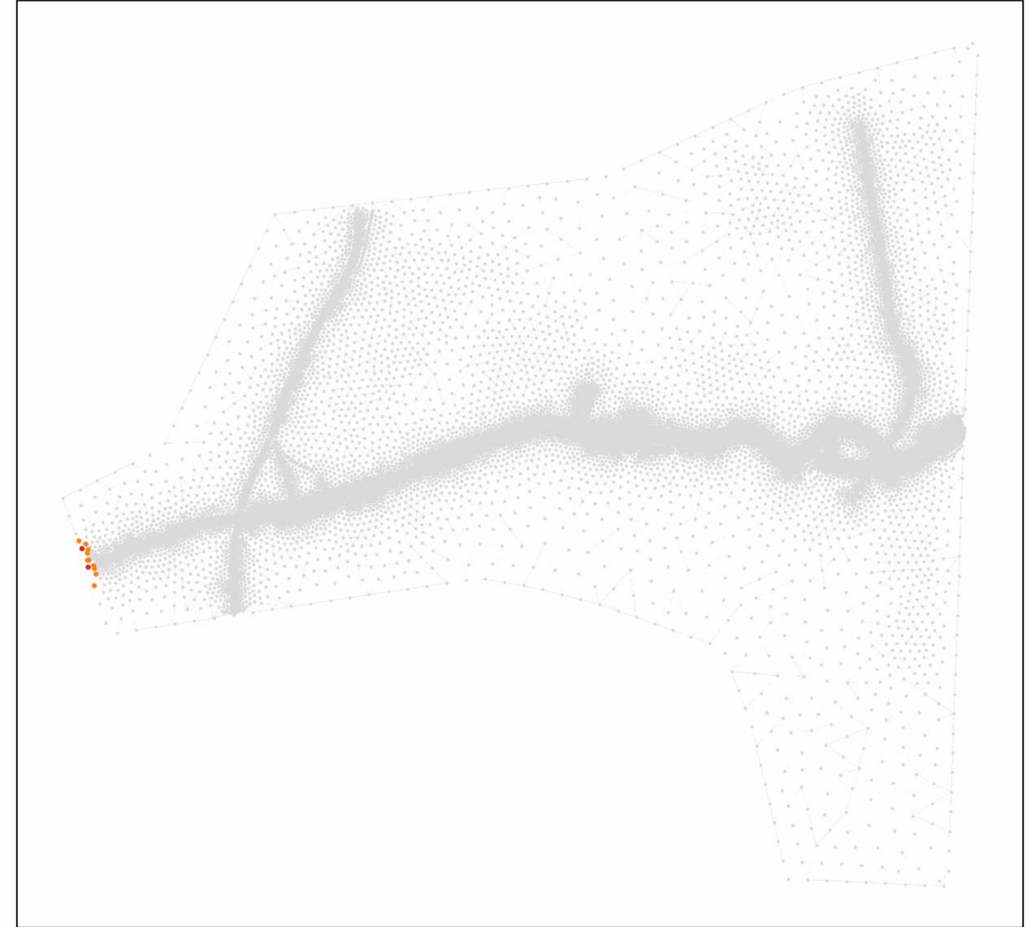
Le multimesh

Noeuds impactés par les BCs avec 1 étapes de message passing



Noeuds impactés en une prévision par les conditions limites **sans** multimesh

Noeuds impactés par les BCs avec 1 étapes de message passing



Noeuds impactés en une prévision par les conditions limites **avec** multimesh

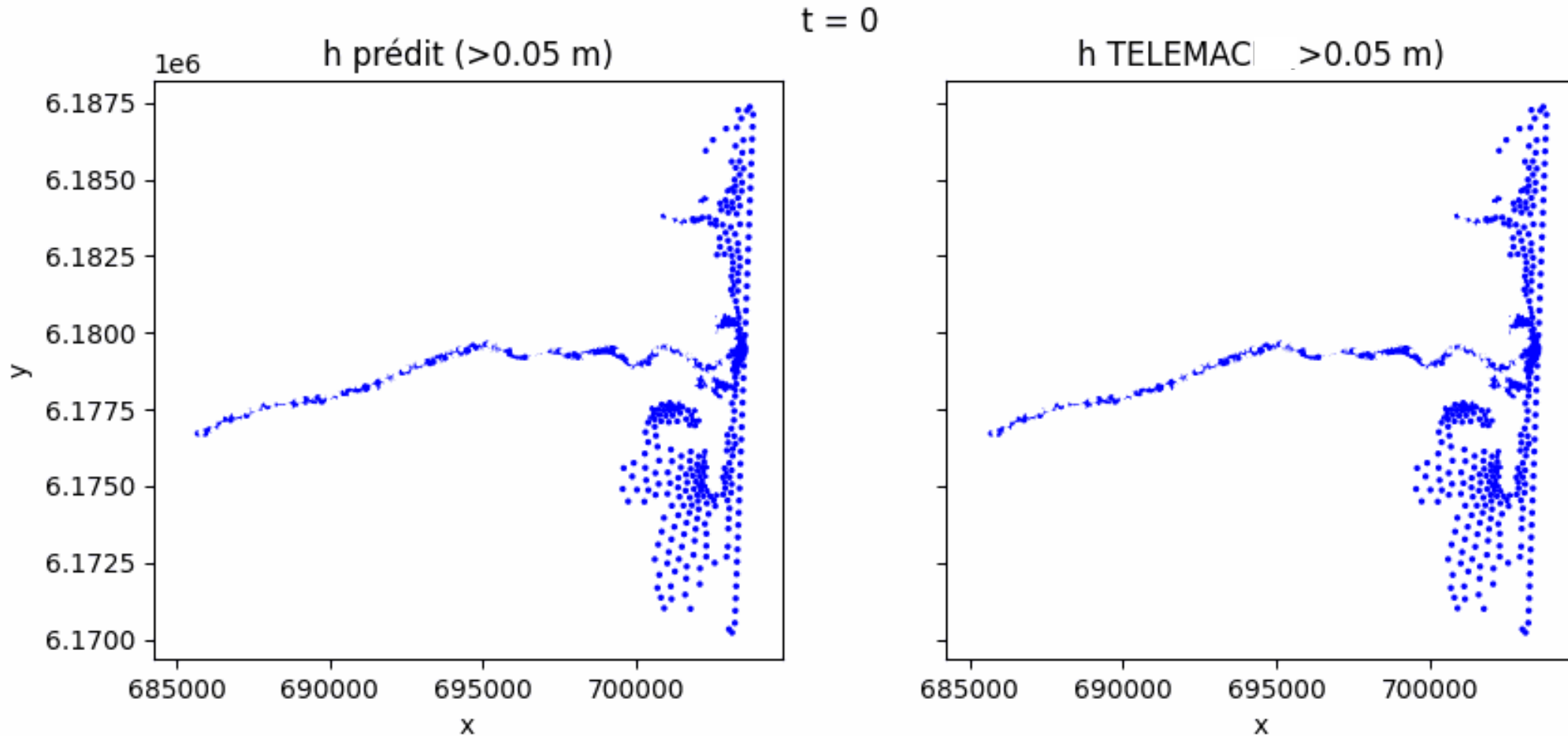
Détail de l'entraînement

- Données d'entraînement : 40 crues de 18h échantillonnées toutes les 30 minutes
- Données de tests et de validation : 8 crues
- Prédiction de la distance aux variations de hauteur et de vitesse (MSE)
- Entraînement prévisions à un seul pas 600 époques
- Entraînement prévisions à deux pas (autorégressif) 300 époques de plus

Les résultats

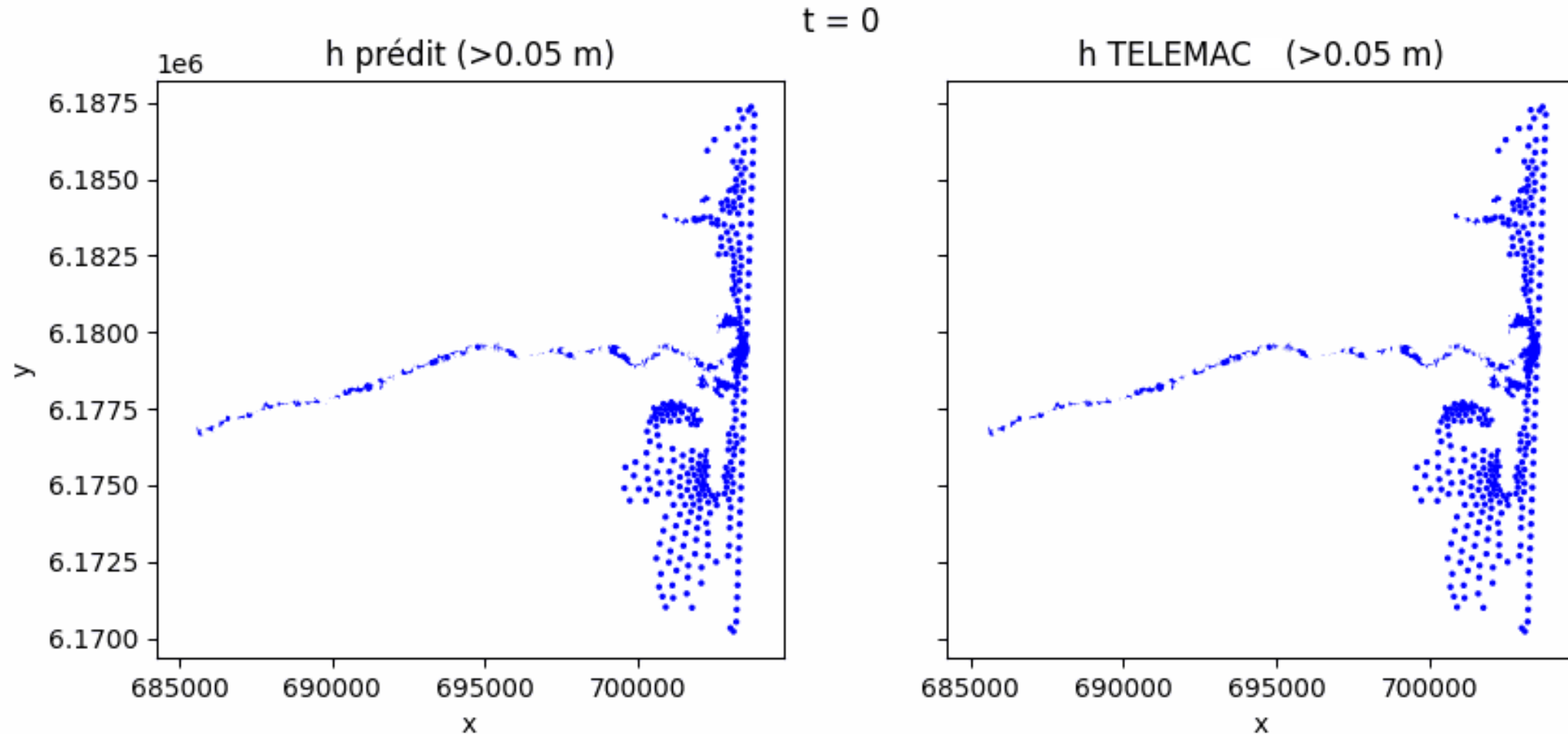
Evaluation sur des crues tests : crue fréquente

Prédiction à 15h en 0.4 secondes sur une carte Nvidia A100



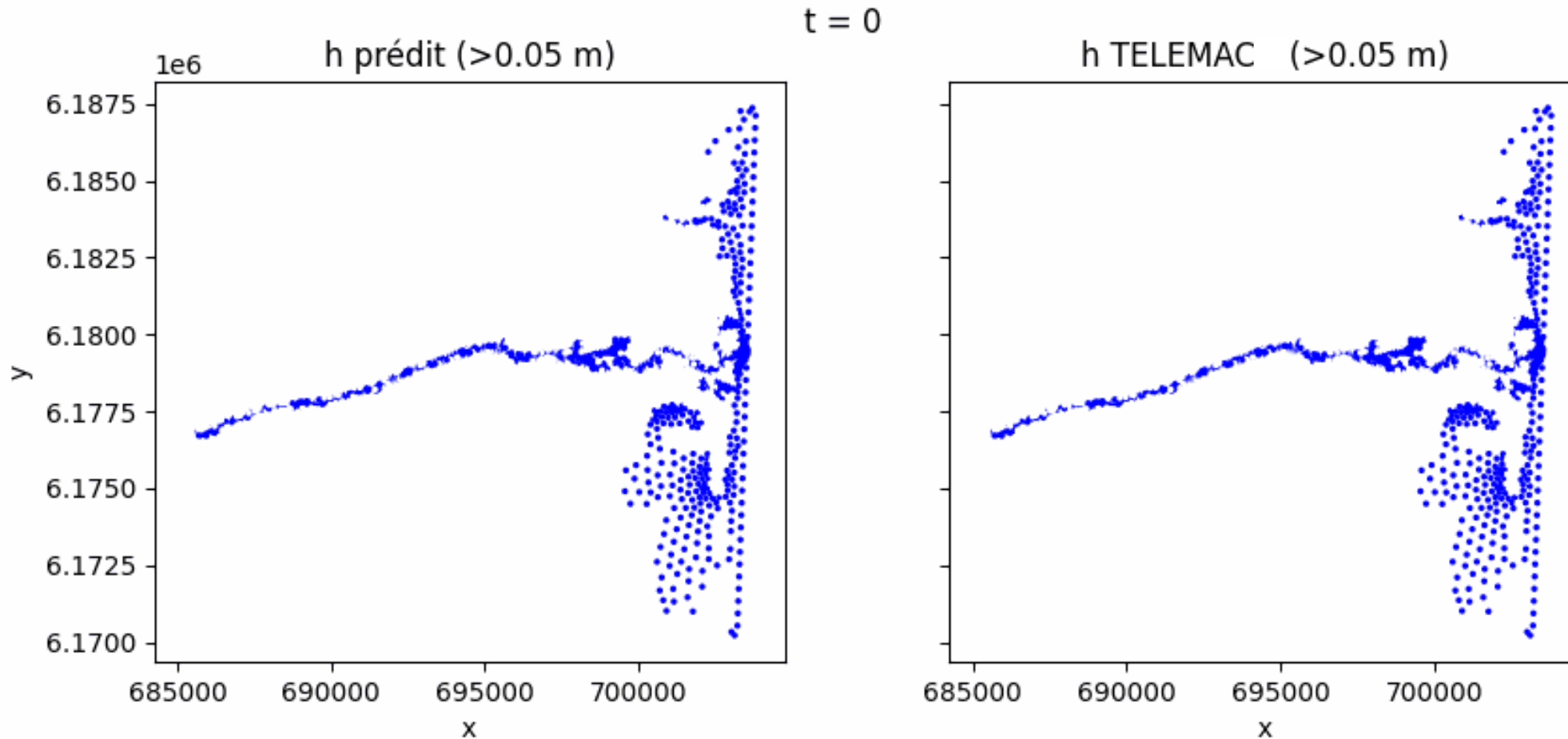
Evaluation sur des crues tests : crue moyenne

Prédiction à 15h en 0.4 secondes sur une carte Nvidia A100



Evaluation sur des crues tests : crue rare

Prédiction à 15h en 0.4 secondes sur une carte Nvidia A100



Conclusions et perspectives

Conclusions et perspectives

- Les résultats sont très satisfaisants (prévision sur 12h voire plus, en moins d'une seconde) malgré un cas hydraulique assez complexe (un couloir endigué)
- Meilleurs résultats que les modèles classiques simplifiés
- Adaptable à d'autres secteurs (avec ou sans ré-entraînement local)
- D'autres travaux en cours permettent de prévoir très rapidement grâce à l'IA les scénarios hydrologiques les plus probables => **Objectif : lancer des centaines/milliers de simulations alimentés par les scénarios hydrologiques pour en extraire les zones inondables avec un degré de probabilité par pixel (méthode de Monte Carlo)** [travail compliqué avec modèles hydrauliques 2D simplifiés].

Questions / Réponses



Merci de votre attention

Suivez-nous sur 

<https://bri.brl.fr/>

BRL Ingénierie

1105, av. Pierre Mendès France - BP 94001

30001 NÎMES Cedex 5

Tél. +33 4 66 87 81 11



Ensemble, relevons les défis
de l'Eau et de l'Environnement