



Prédiction des Inondations

Reduction de Dimension & Réseaux de Neurones

Johan Fourdrinoy, Cédri Goeury,
Fabrice Zaoui, Vito Bacchi.
EDF R&D (LNHE)

PRÉDICTIONS DES INONDATIONS



BESOINS OPERATIONNELS :

- Anticiper l'arrivée d'une inondation
- Estimer le délai avant l'inondation
- Déterminer la durée de l'événement
- Évaluer l'intensité (hauteur d'eau)

MODÈLE PHYSIQUE : TELEMAT-2D

- ✓ Haute Précision et robustesse
- ✓ Adapté aux crues extrêmes

MÉTAMODÈLE : Réseaux de Neurones

- ✓ Prévisions rapides, adaptées au temps réel
- ✓ Exploitable pour la gestion opérationnelle

! Une prévision binaire insuffisante.

✗ Temps de calcul trop long pour un usage opérationnel

! Nécessite un volume massif de données comprenant des événements extrêmes

→ **générer les données via le modèle physique TELEMAT-2D**

D'UN HYDROGRAMME À LA PRÉDICTION



ENSEMBLE DE
CRUES
POSSIBLES



Variabilité des
hydrogrammes



MODÈLE
PHYSIQUE
TELEMAC-2D



Simulation de
haute précision
(référence)



RÉDUCTION DE
DIMENSION



192 éléments
→
6+22 paramètres



ENTRAÎNEMENT
RNA



3 réseaux
spécialisés
combinés



PREDICTION
INSTANTANÉE

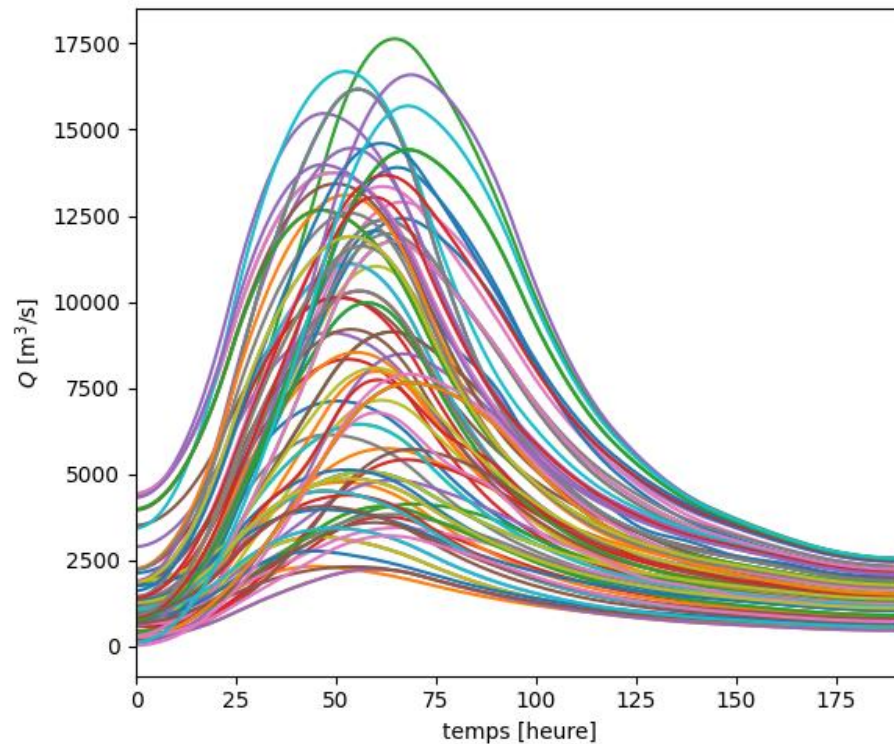


Dynamique
complète

ENTRÉE : HYDROGRAMMES DE CRUE



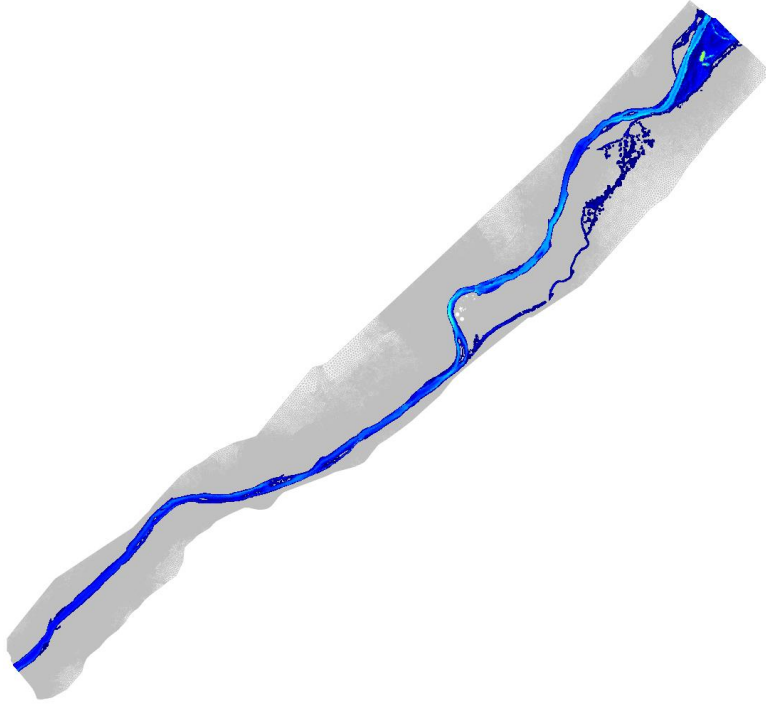
160 000 scénarios de crue d'une durée 8 jours (générés par calculs hydrologiques)



- **Forme et intensité réaliste**
- **Plus riche que les observations**

Temps de calcul pour un scénario : 3h sur 48 cœurs
→ Nécessité un **plan d'expérience optimisé**

SIMULATION HYDRAULIQUE AVEC TELEMAC-2D



Configuration du modèle :

- Domaine simulé : 40 km représentés (**128 km²**)
- Présence de digues pouvant rompre (**brèches**)
- Paramètre de calage : coefficients de rugosités
- Entrée : **hydrogramme de crue sur 8 jours**
- Sortie : **limnigramme au point d'intérêt**

Le système hydro-informatique TELEMAC-MASCARET

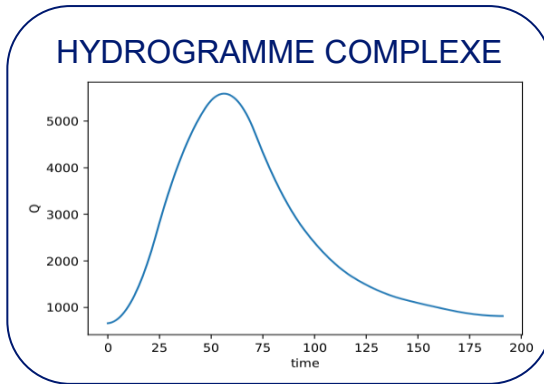
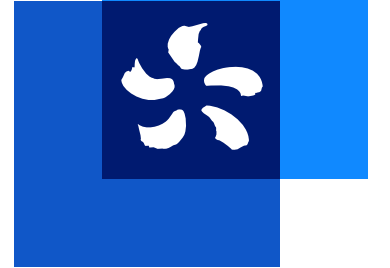
- Solveurs dédiés aux écoulements à surface (EDF R&D / LNHE)
- Logiciel open source (<http://opentelemac.org>)
- Massivement parallèle / large emprise spatiale et temporelle
- Zone sèche (inondations) / géométries complexes

Nombre de simulations TELEMAC-2D : **25 051**

→ Entraînement RNA: 20 051

→ Évaluation du métamodèle : 4 000

RÉDUCTION DE DIMENSION

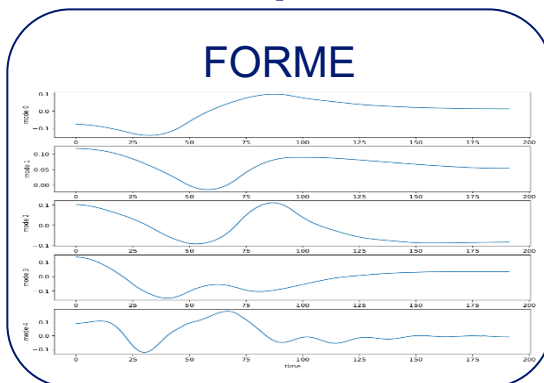


=

INTENSITÉ
QMAX

+

FORME



Objectif : Simplifier les signaux tout en conservant l'information utile

Méthode : Analyse en Composantes Principales (ACP)

Hydrogrammes (entrée) :

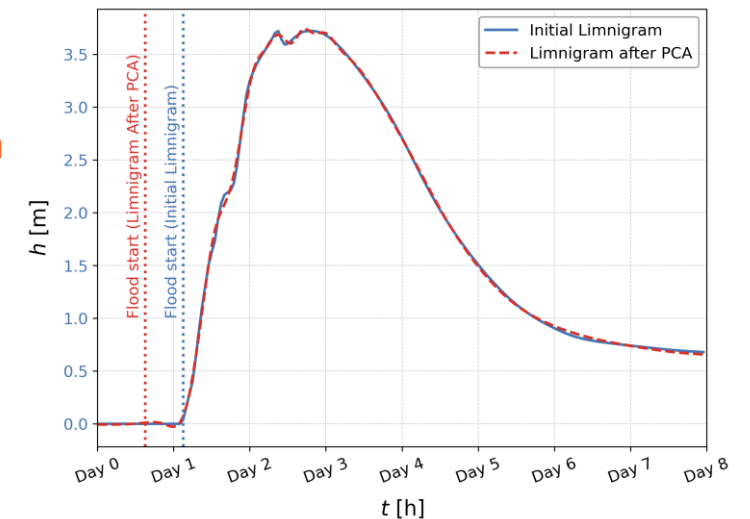
- Réduction : 192 points → **6 paramètres** (1 intensité + 5 modes)

Limnigrammes (sortie) :

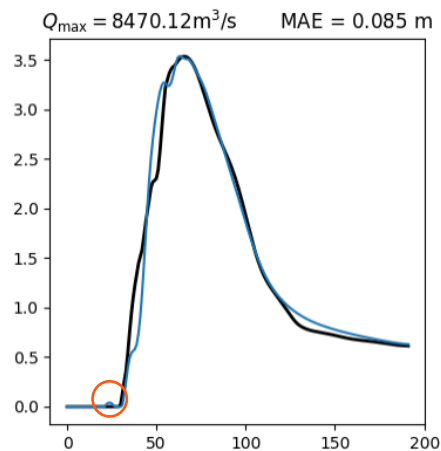
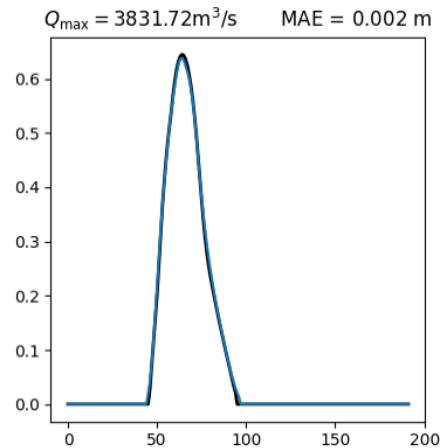
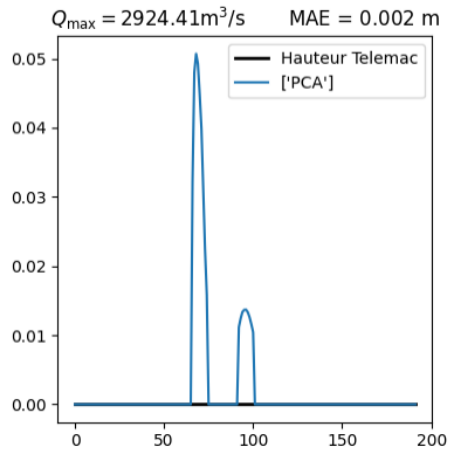
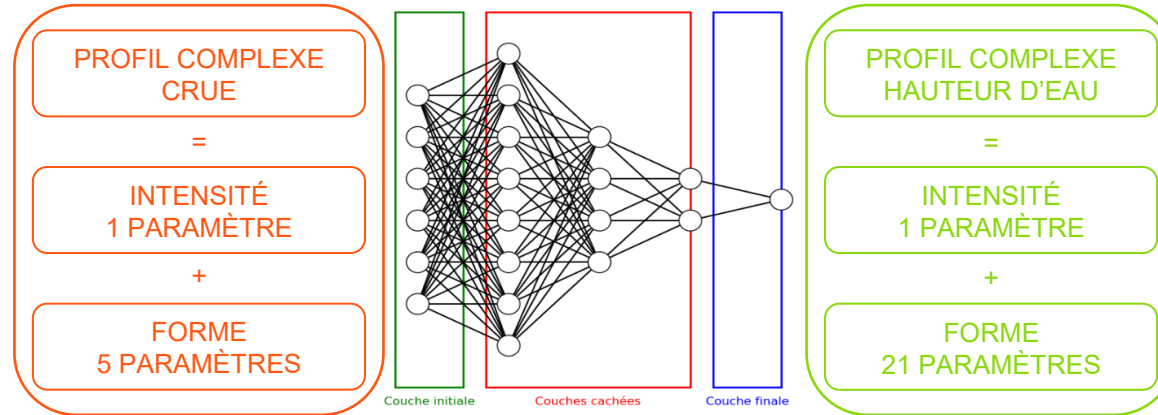
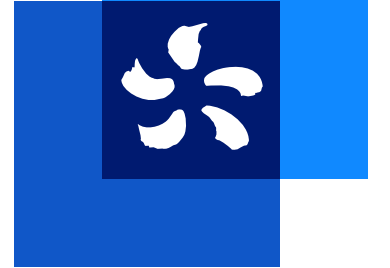
- Forte variabilité + phénomènes brusques (début d'inondation, rupture de digue)
- Réduction : 192 points → **22 paramètres** (1 intensité + 21 modes)

Limites de l'ACP :

- ✗ Capture difficile des irrégularités
- ✗ Génération d'oscillations parasites
- ✗ **Mauvaise représentation du début d'inondation**



MÉTAMODÈLE PRÉLIMINAIRE : ACP + RNA



Nombre de Faux Positifs : 12.76 %

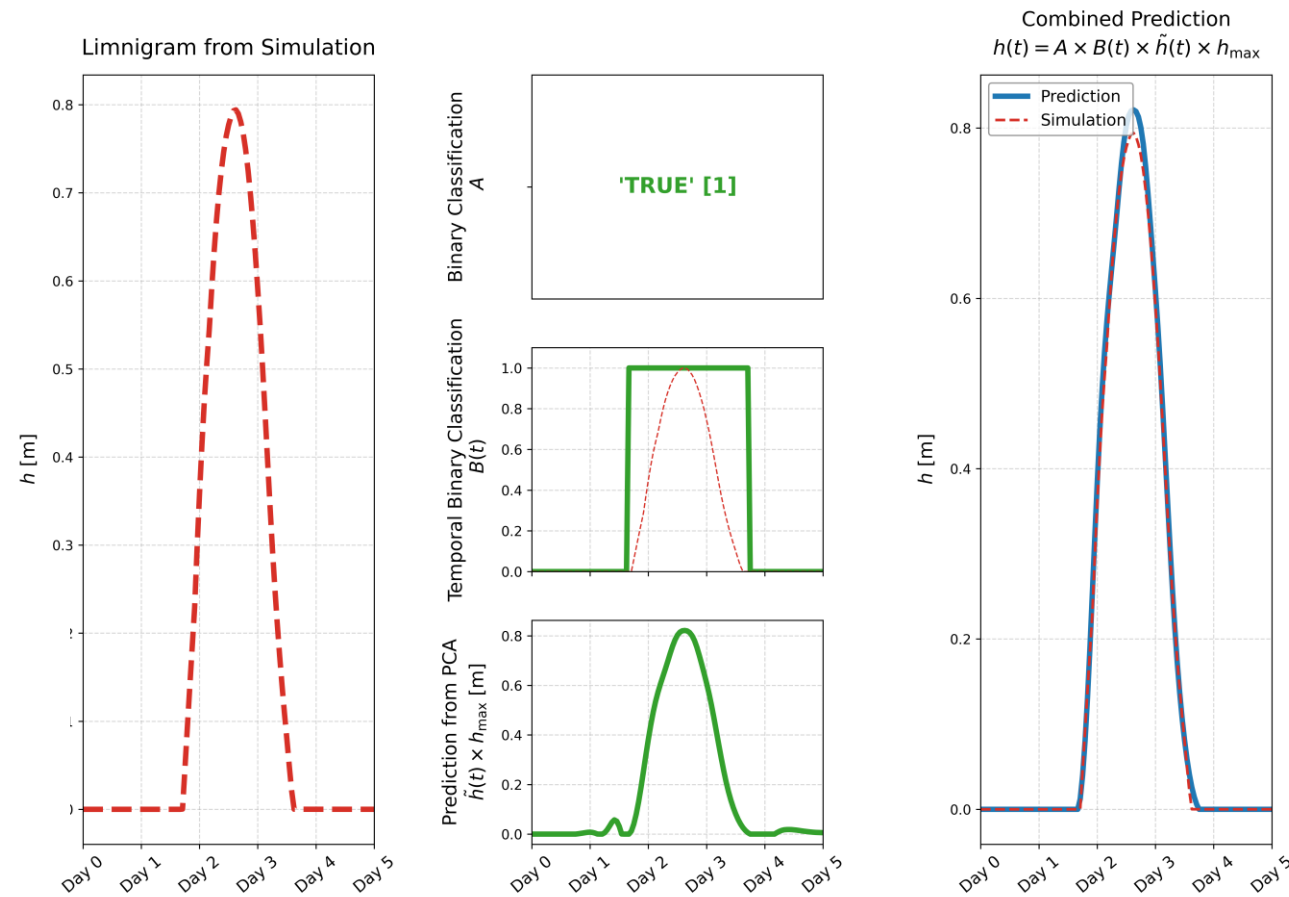
Nombre de Faux Négatifs : 0.03 %

Résultats positifs MAIS :

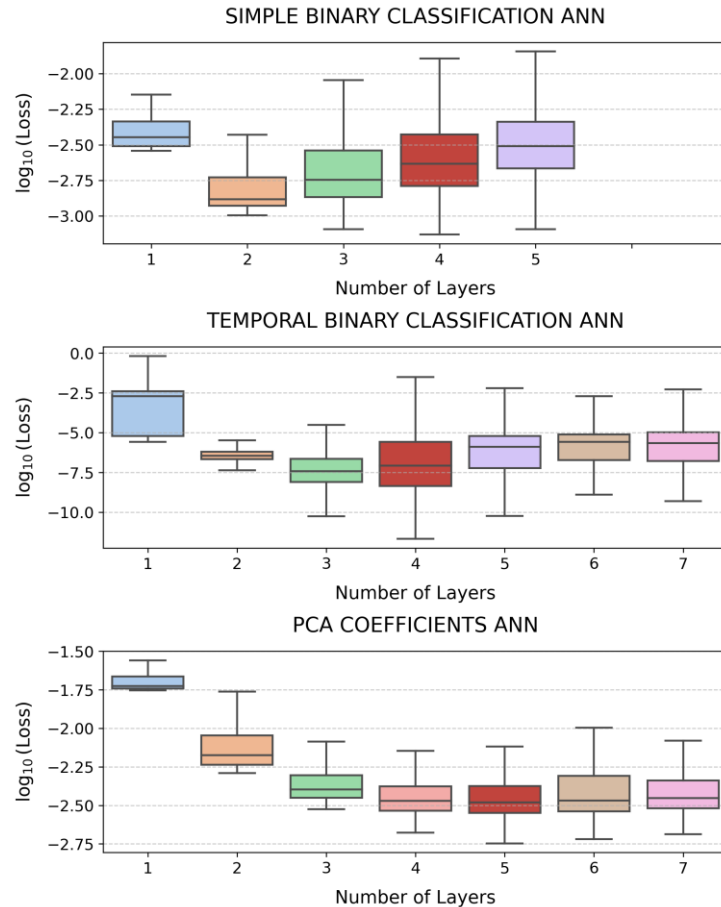
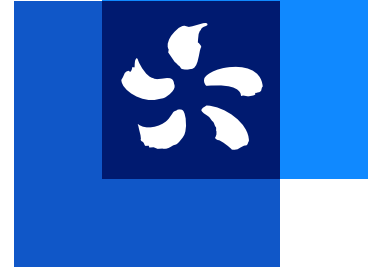
- Trop de faux-positifs
- **Capture mal le début et la fin d'inondation** (« macro-dynamique »)

COMBINAISON DE 3 RÉSEAUX

3 réseaux spécialisés → **un métamodèle unique plus robuste**



OPTIMISATION DES RNA (MLP)



Optimisation du nombre de couches cachées

Pourquoi des MLP :

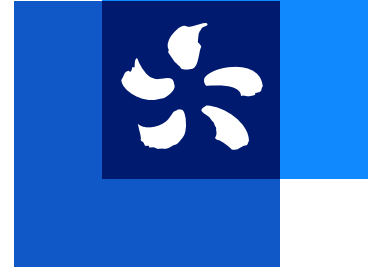
- Les coefficients ACP ne sont pas corrélés
- Architecture simple, robuste, très efficace pour régression & classification

Entraînement réalisé avec PyTorch (pytorch.org)

Model	Binary classification	Binary temporal classification	PCA coefficients
Output	$\mathbb{R}^1 \in [0, 1]$	$\mathbb{R}^{192} \in [0, 1]$	$\mathbb{R}^6$
Layers shapes	52, 2, 2, 19	122, 19, 81, 13	114, 128, 128, 128, 108
Layers' connection	Linear	Linear	Linear
Activation function	$\tanh x$	$\text{ReLU}x = \max(0, x)$	$\tanh x$
Final function	Sigmoid	Sigmoid	$\emptyset$
Loss function	BCE Loss	BCE Loss and $F_{5\text{Oriented}}$ Loss	MSE Loss
Optimiser	Adam	Adam	Adam
Learning rate	0.01	0.01	0.01
Epochs	1000	1000 and 1000	2000

Hyperparamètres optimisés des 3 RNA

FONCTION DE PERTE CONSERVATIVE



Entraînement en deux phases :

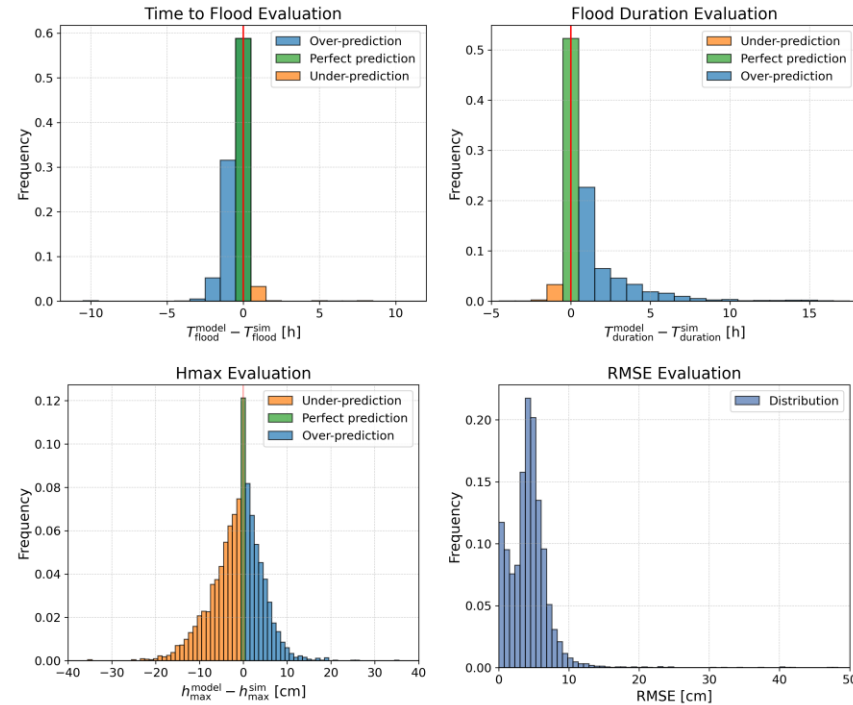
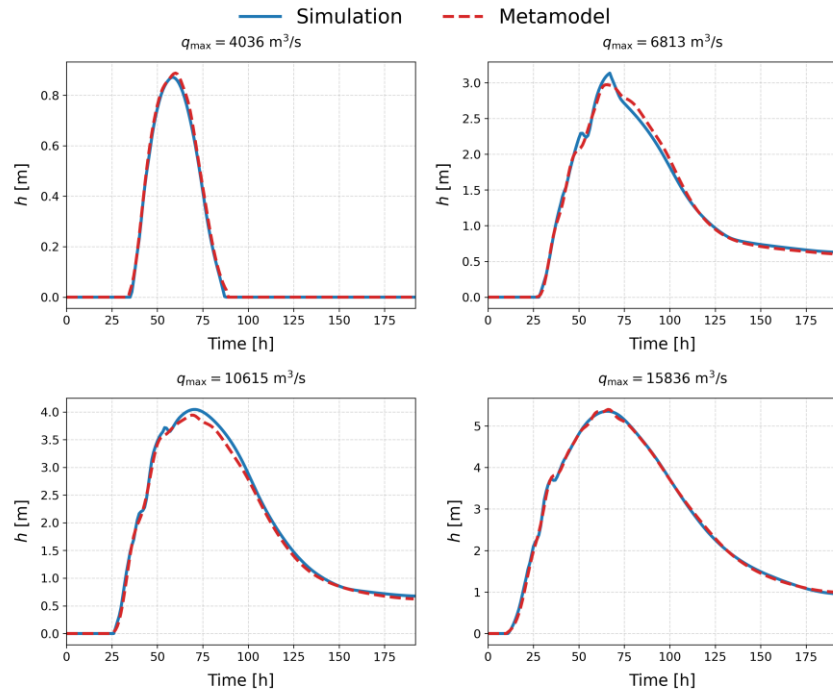
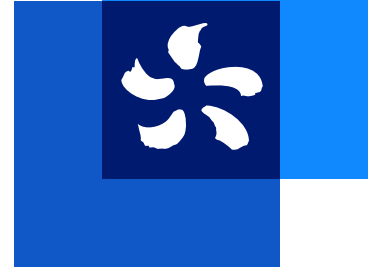
1. Fonction de perte **BCE** → **Classificateur équilibré**
2. Fonction de perte **F_5** → **Classificateur conservatif**

$$F_{\beta} = (1 + \beta^2) \frac{P \times R}{\beta^2 P + R}$$

Pas de temps total 874 792		Simulation TELEMAC-2D		
		Sec	Inondé	$F_1 = 0,9947$
Metamodèle	Sec	TN = 235 939	FN = 327	$NPV = 99,86 \%$
	Inondé	FP = 6 382	TP = 632 144	$P = 99,00 \%$
		$S = 97,36\%$	$R = 99,95 \%$	$F_5 = 0,9991$

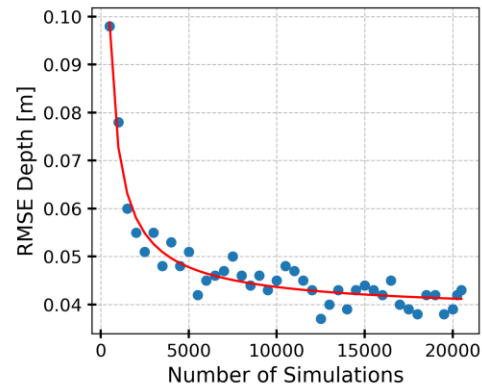
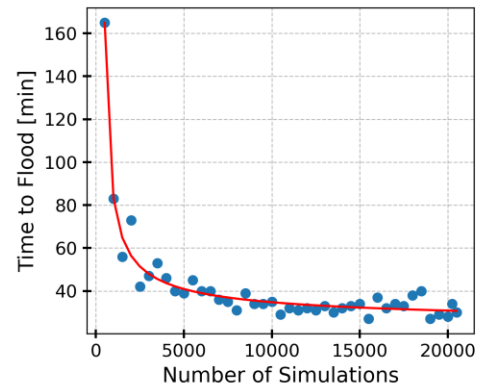
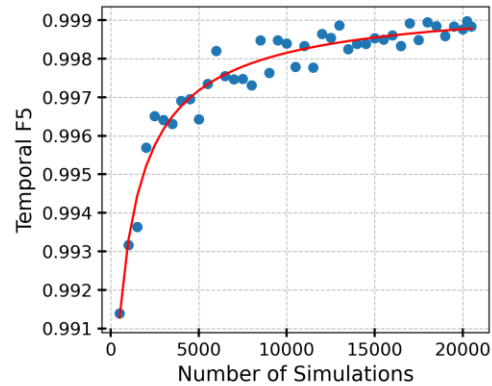
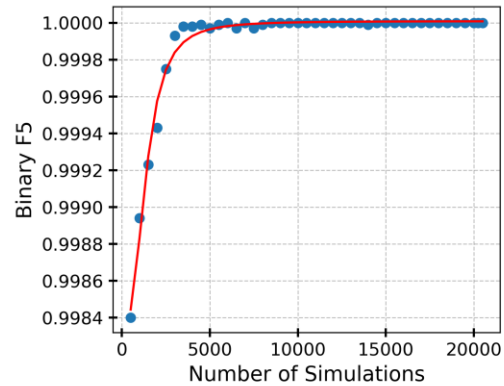
→ Le métamodèle **reproduit fidèlement la dynamique du modèle physique** tout en restant **conservatif**.

ÉVALUATION DU MÉTAMODÈLE



- ➔ Reproduction fiable du modèle physique
- ➔ Une classification sec / inondé **sans erreurs**
- ➔ Une erreur moyenne de **30 min** sur le temps avant inondation
- ➔ Un modèle volontairement **conservatif**

RÉDUCTIONS DU NOMBRE DE SIMULATIONS



Number of simulations	Binary F_5	Temporal F_5	MAE Time to flood	RMSE Depth
2 000	0.99943	0.9957	73 min	5.5 cm
5 000	0.99997	0.9964	39 min	5.1 cm
10 000	1.0000	0.9984	35 min	4.5 cm
20 000	1.0000	0.9991	30 min	5.3 cm

Métamodèles entraînés sur des sous-ensembles :
 → Le métamodèle reste performant dès **5 000 simulations**

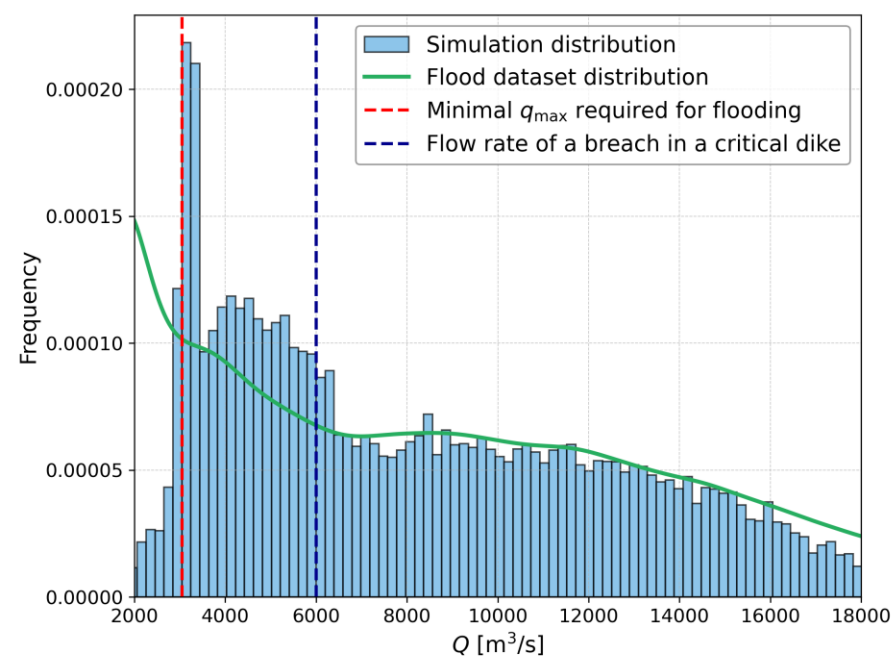
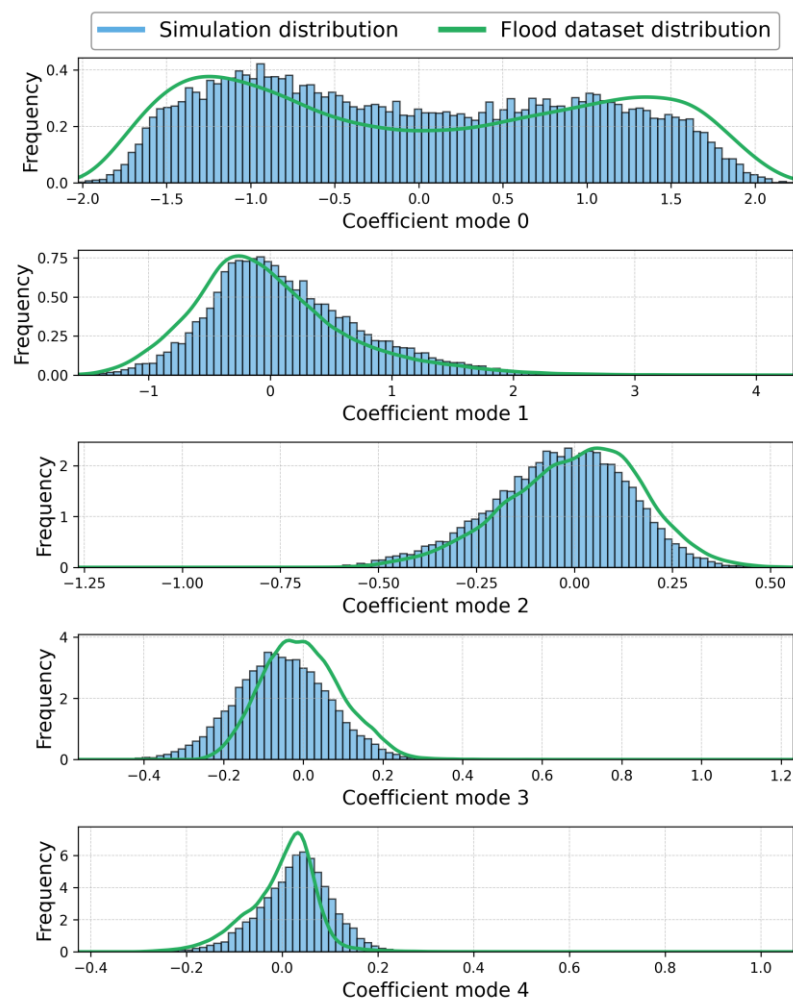
Merci

Contacts

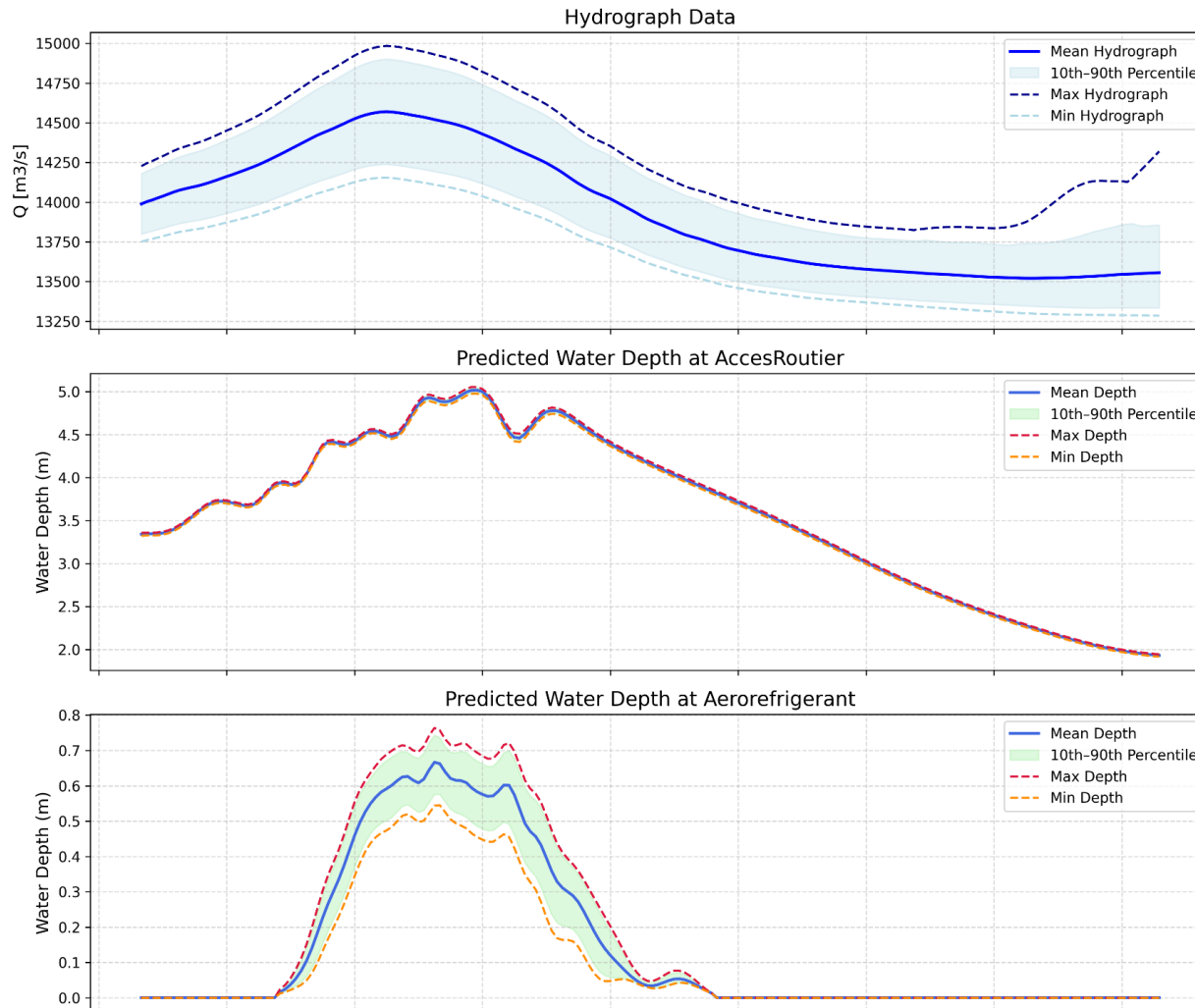
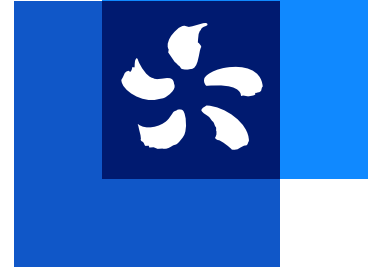
Johan Fourdrinoy
johan.fourdrinoy@edf.fr



PLAN D'EXPÉRIENCE



APPROCHE PROBABILISTE



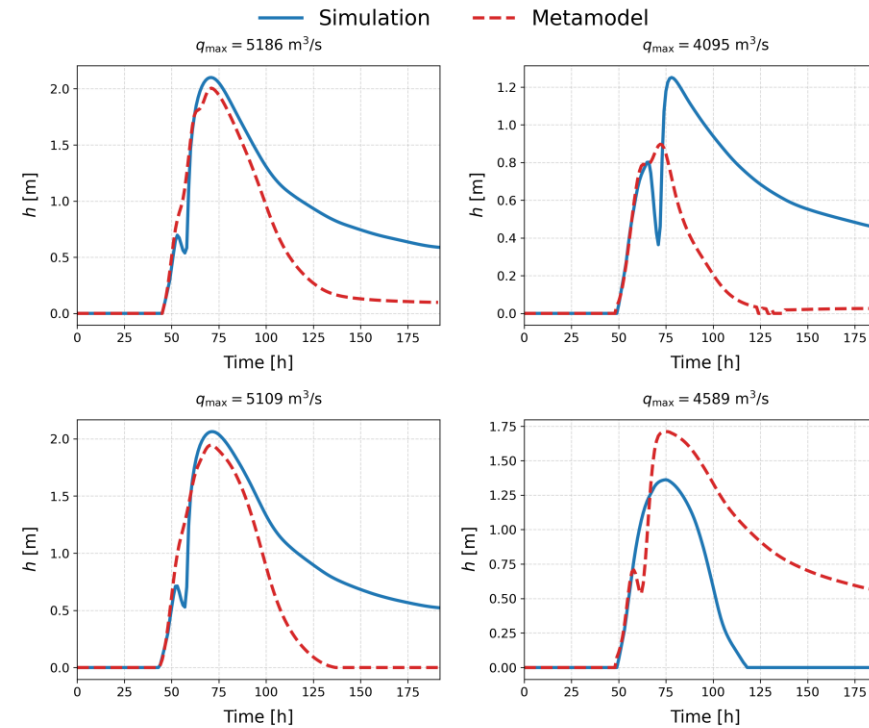
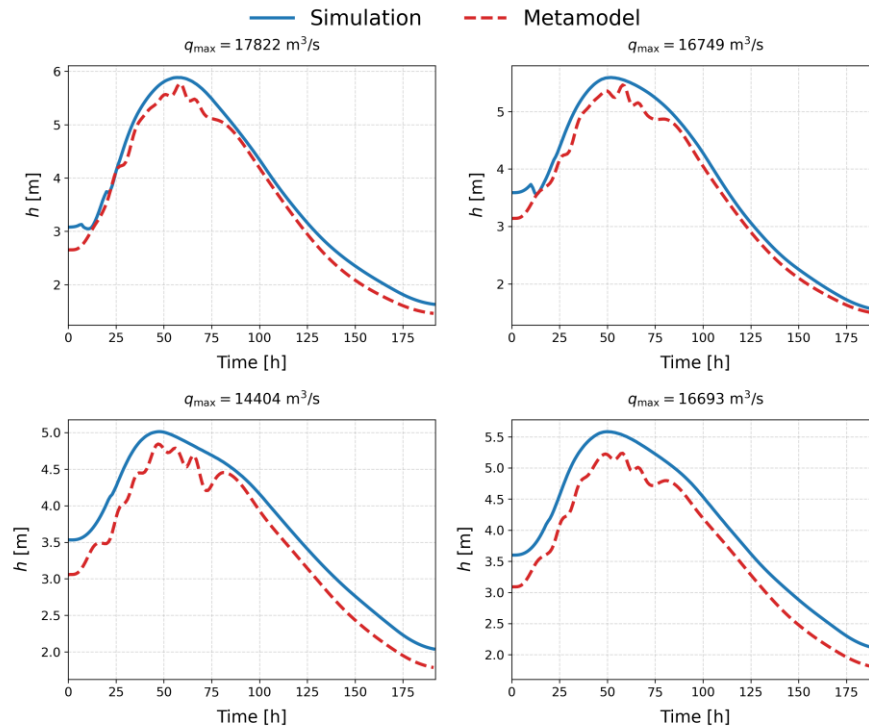
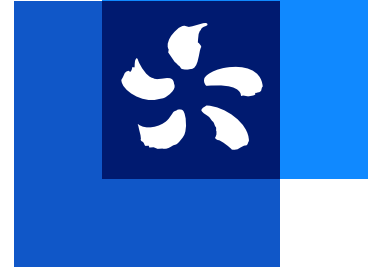
Prévision d'hydrogramme probabiliste

→ Pas un scénario, mais **des** scénarios

Métamodèle capable de faire une prédiction instantanée

→ **Une** prédiction par scénario

PROBLÈMES DE PRÉDICTION



DEL'HYDROGRAMME AU LIMNIGRAMME

