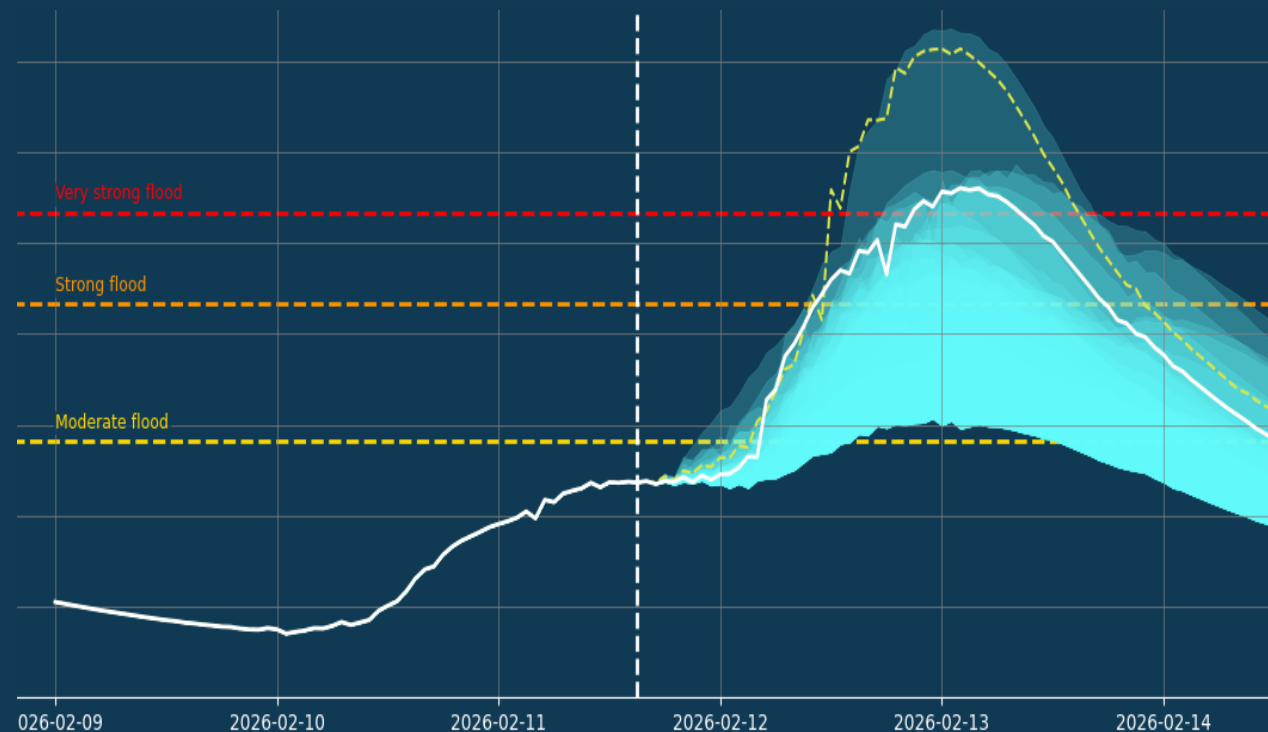




Un indicateur prévisionnel de risque inondation généralisé basé sur l'apprentissage profond

Grenoble, mars 2026



Solution pour le suivi de l'évolution des crues

Micro-stations autonomes



Installation peu invasive

- Installation rapide (1h en moyenne) et mise en route instantanée
- Autonome en énergie (panneau solaire+ batterie)
- Maintenance & supervision à distance



Mesures :

- Niveau d'eau par LiDAR
- Vitesse de surface
- Température de surface
- Photographie



**Disponibilité de la donnée
en quasi-temps réel**

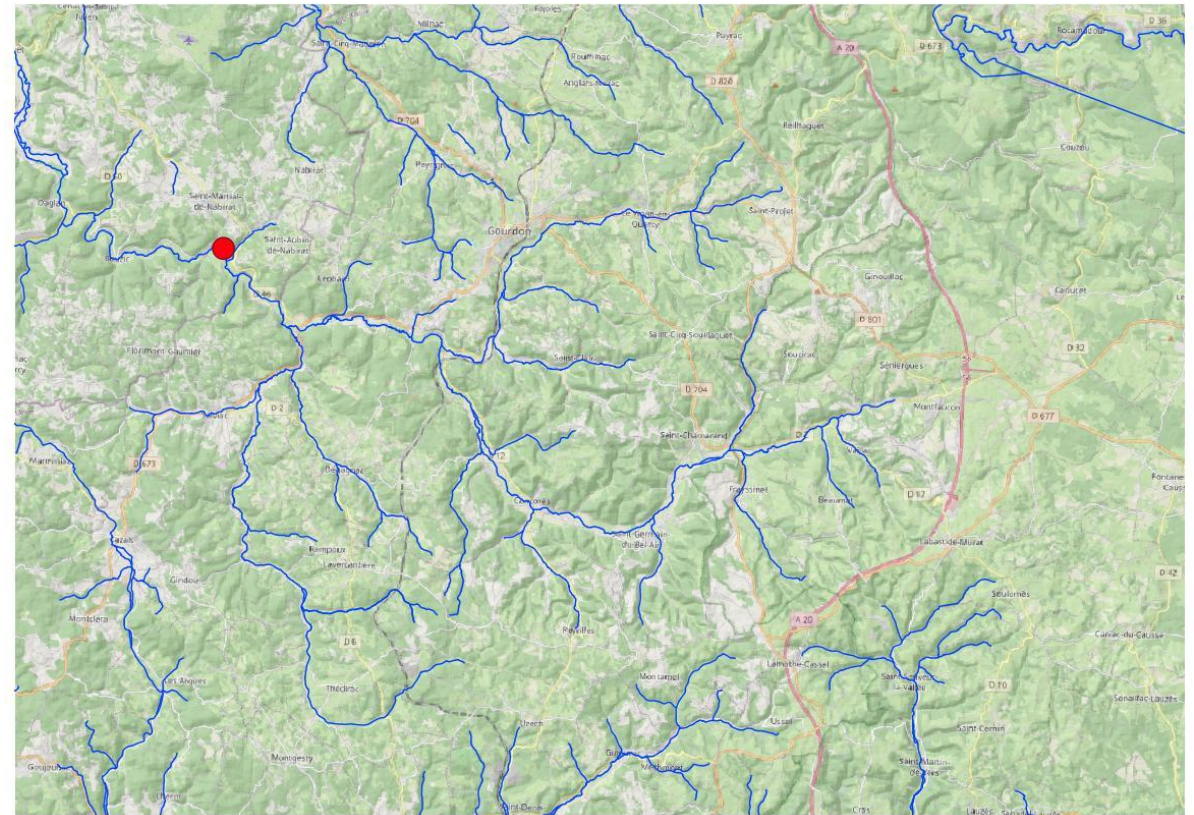


Service de notification

Solution pour le suivi de l'évolution des crues

Etendre le suivi par la prévision

Solution automatique, à partir d'une position sur un cours d'eau :

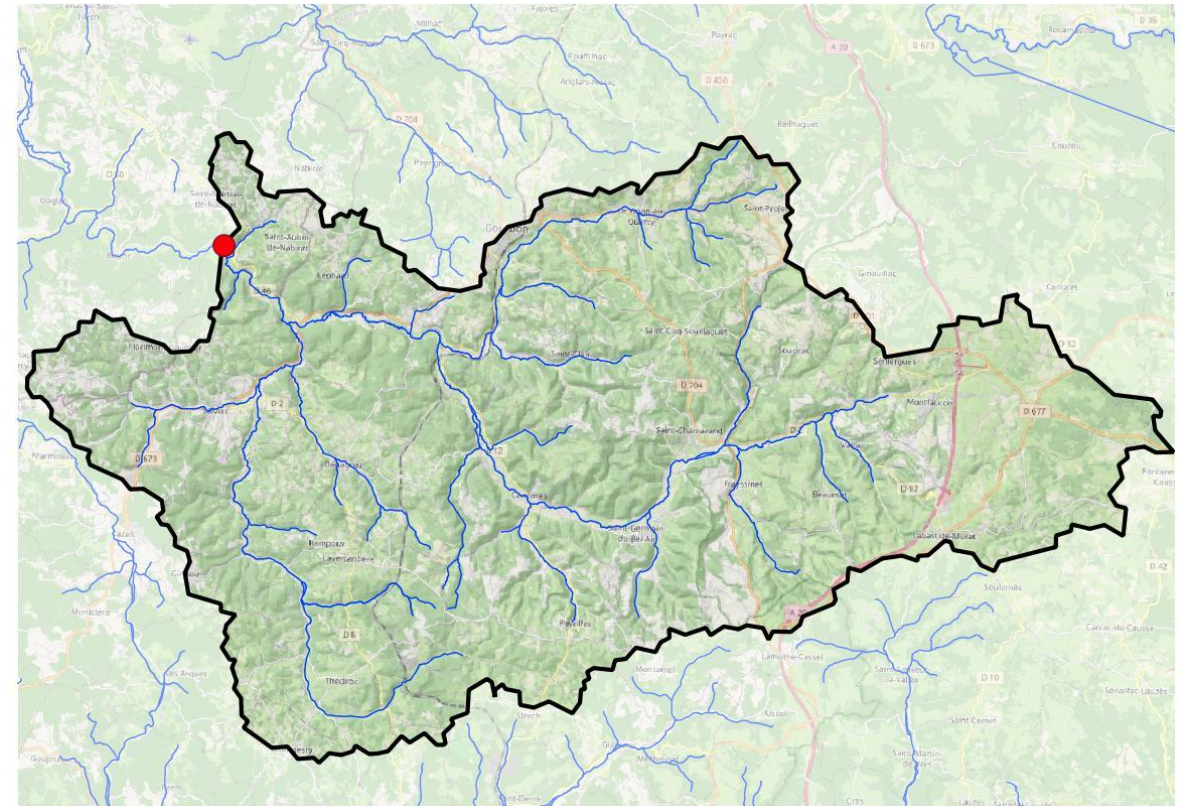


Solution pour le suivi de l'évolution des crues

Etendre le suivi par la prévision

Solution automatique, à partir d'une position sur un cours d'eau :

- Décrire le bassin versant

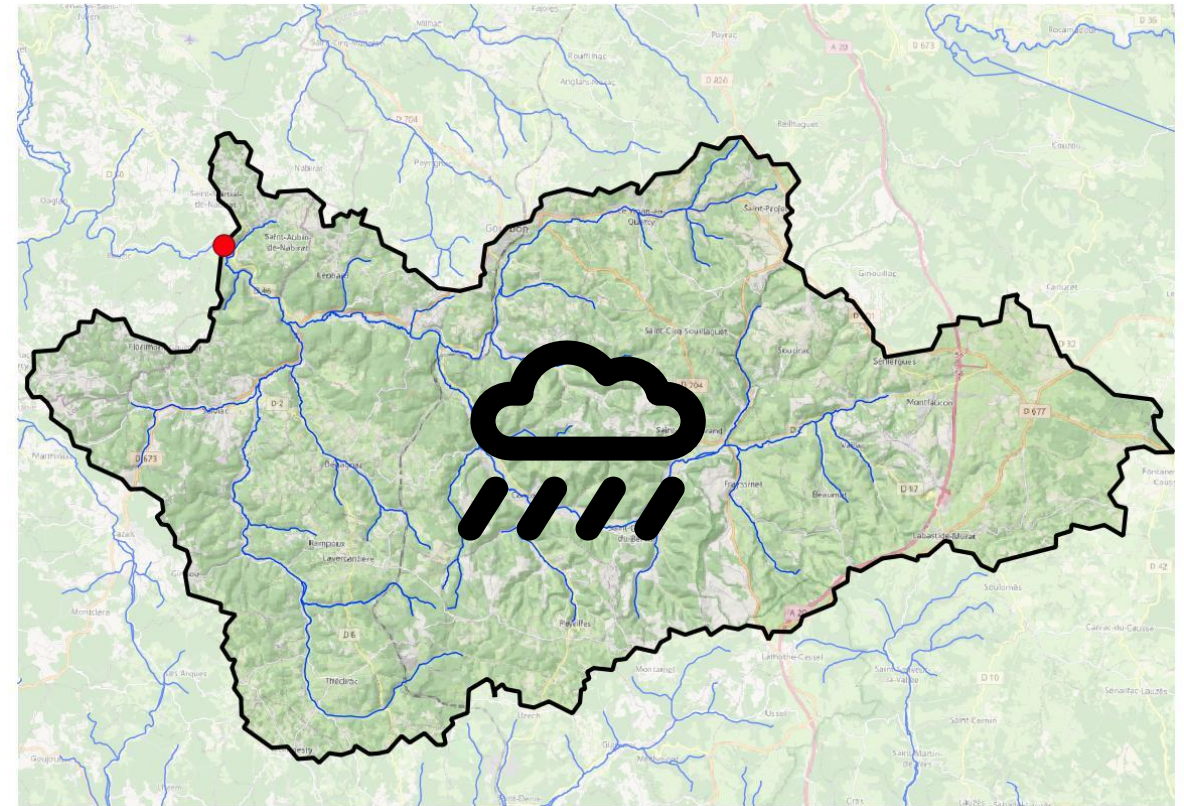


Solution pour le suivi de l'évolution des crues

Etendre le suivi par la prévision

Solution automatique, à partir d'une position sur un cours d'eau :

- Décrire le bassin versant
- Agréger les données météorologiques dès disponibilités

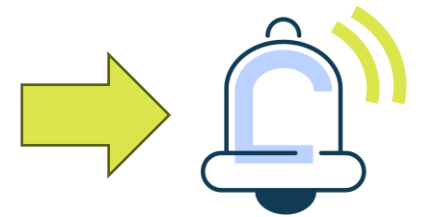
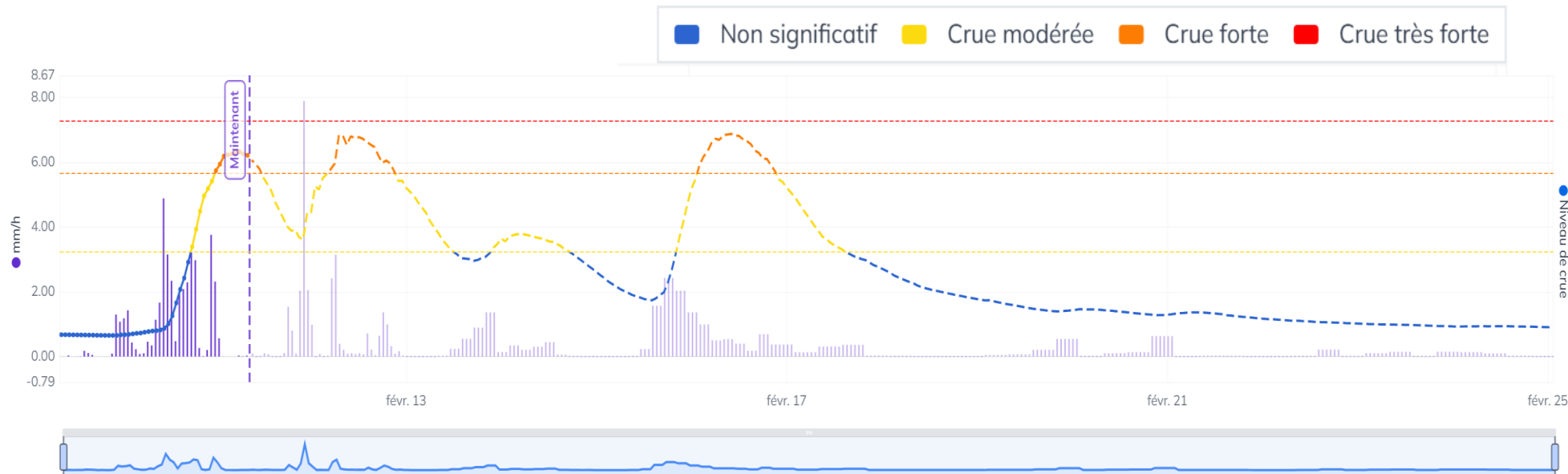
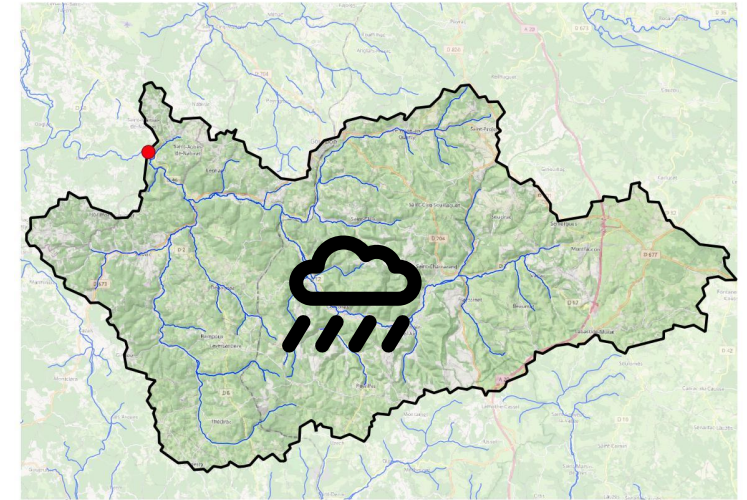


Solution pour le suivi de l'évolution des crues

Etendre le suivi par la prévision

Solution automatique, à partir d'une position sur un cours d'eau :

- Décrire le bassin versant
- Agréger les données météorologiques dès disponibilité
- **Permettre la prévision de l'évolution des crues par un indicateur**



Solution généralisable

Modèle global



Données météorologiques

Historique

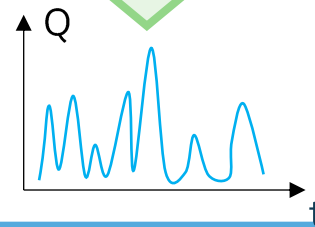
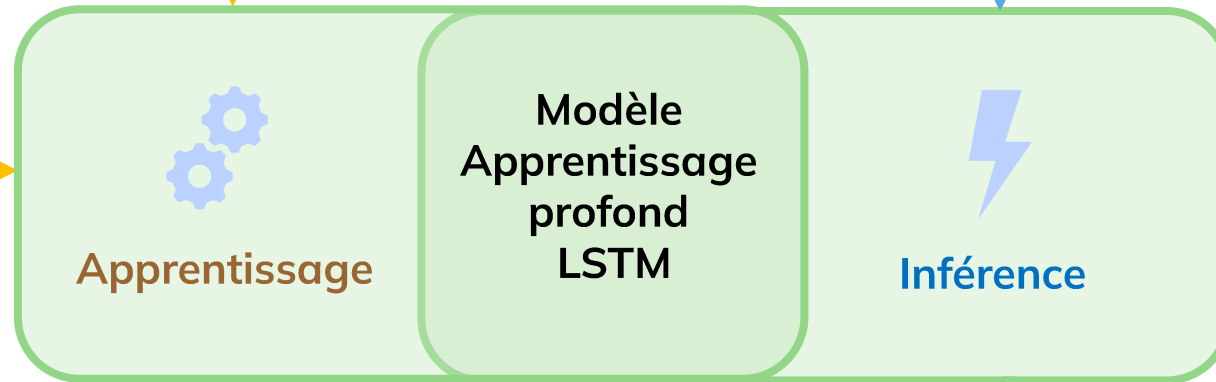
Prévision

Données descriptives des BV

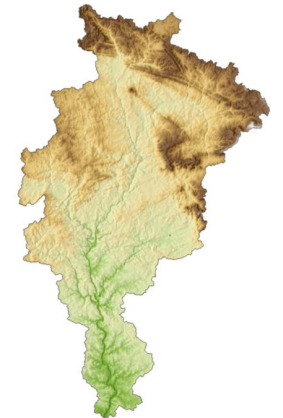


Bassins versants
jaugés

Crue historique
Prévision de crue



Données descriptives des BV



Bassins versants
non jaugés

Crue historique
Prévision de crue

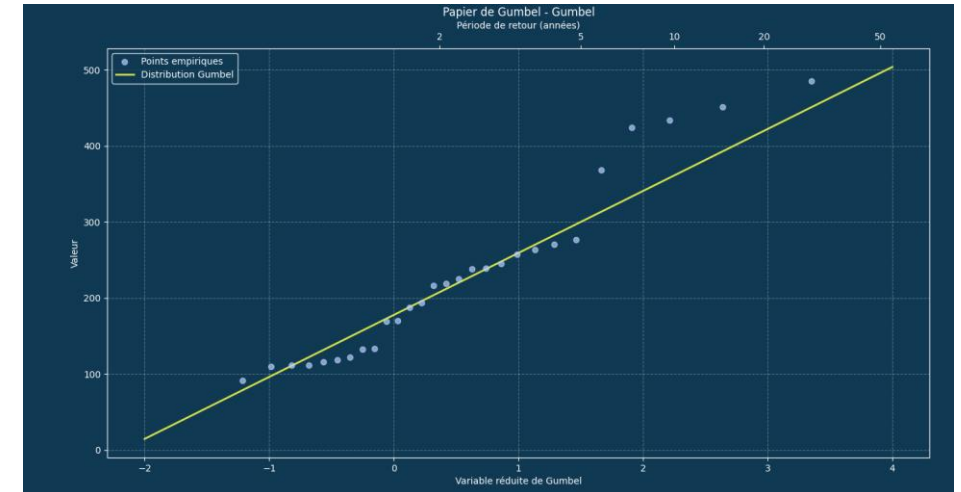
Solution généralisable

Indicateurs de niveau de crue

Un indicateur « normalisé » au contexte historique du bassin versant

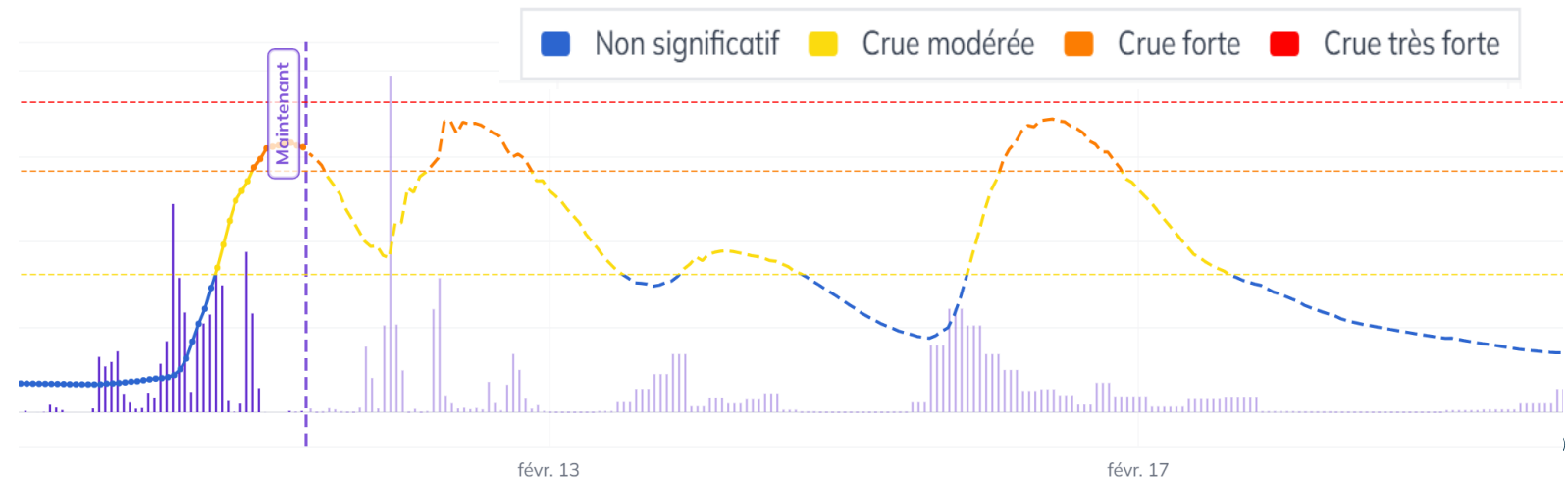
Qualification de la crue :

- Par rapport à des périodes de retour
 - Par rapport à des événements de référence
- Seuil adaptable localement par les gestionnaires



Exemple :

Période de retour de 2 ans	Crue modérée
Période de retour de 10 ans	Crue forte
Crue du 15 Janvier 2003	Crue très forte



Infrastructure

Dimensionnée pour la prévision temps réel



Fournisseurs
de données
météo



Fournisseurs de
données
hydrométriques



Cloud infrastructure

- Infrastructure **totale**ment automatisée depuis l'intégration du bassin versant jusqu'à la production de l'indicateur en temps réel

Infrastructure

Dimensionnée pour la prévision temps réel



Fournisseurs
de données
météo



QGIS

Plugin

Interface
utilisateur pour
l'intégration de
bassin versant

Fournisseurs de
données
hydrométriques

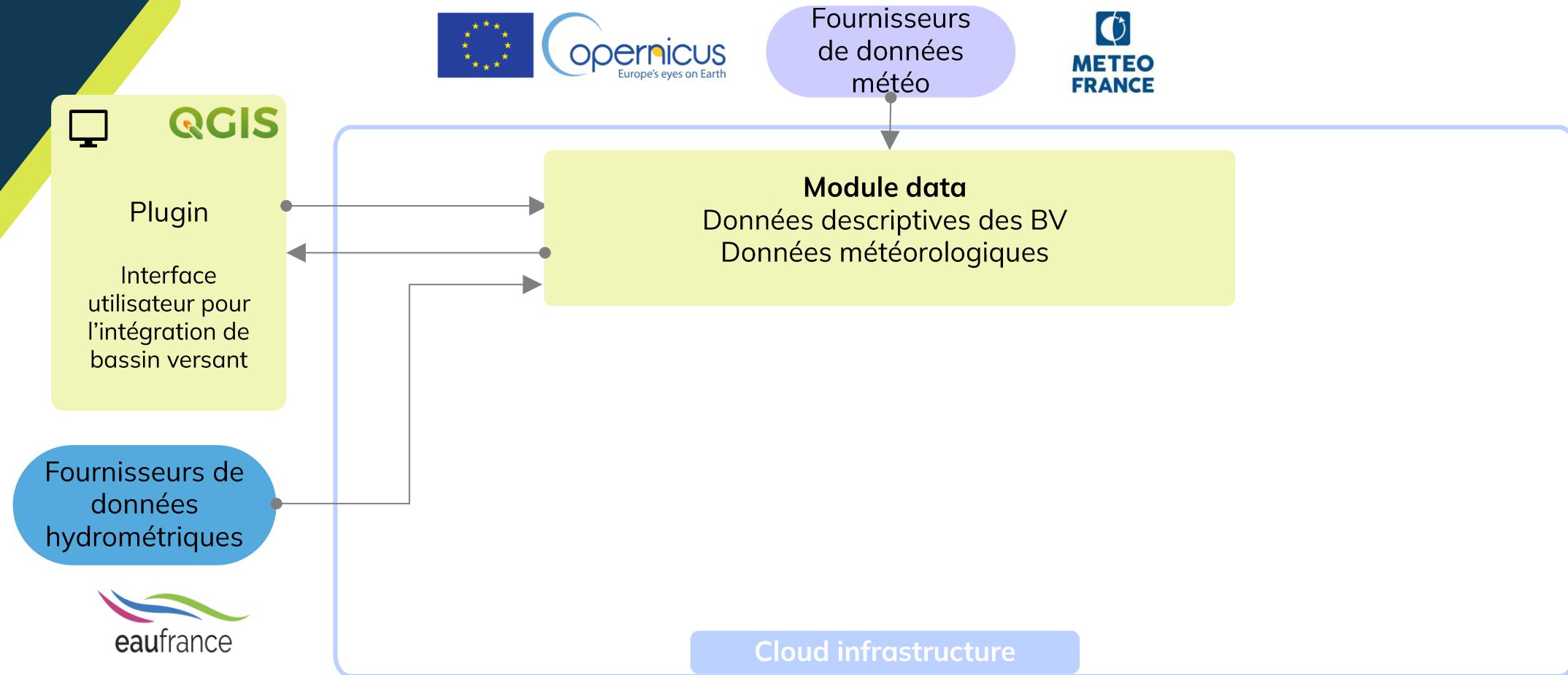


Cloud infrastructure

- Infrastructure **totale**ment automatisée depuis l'intégration du bassin versant jusqu'à la production de l'indicateur en temps réel

Infrastructure

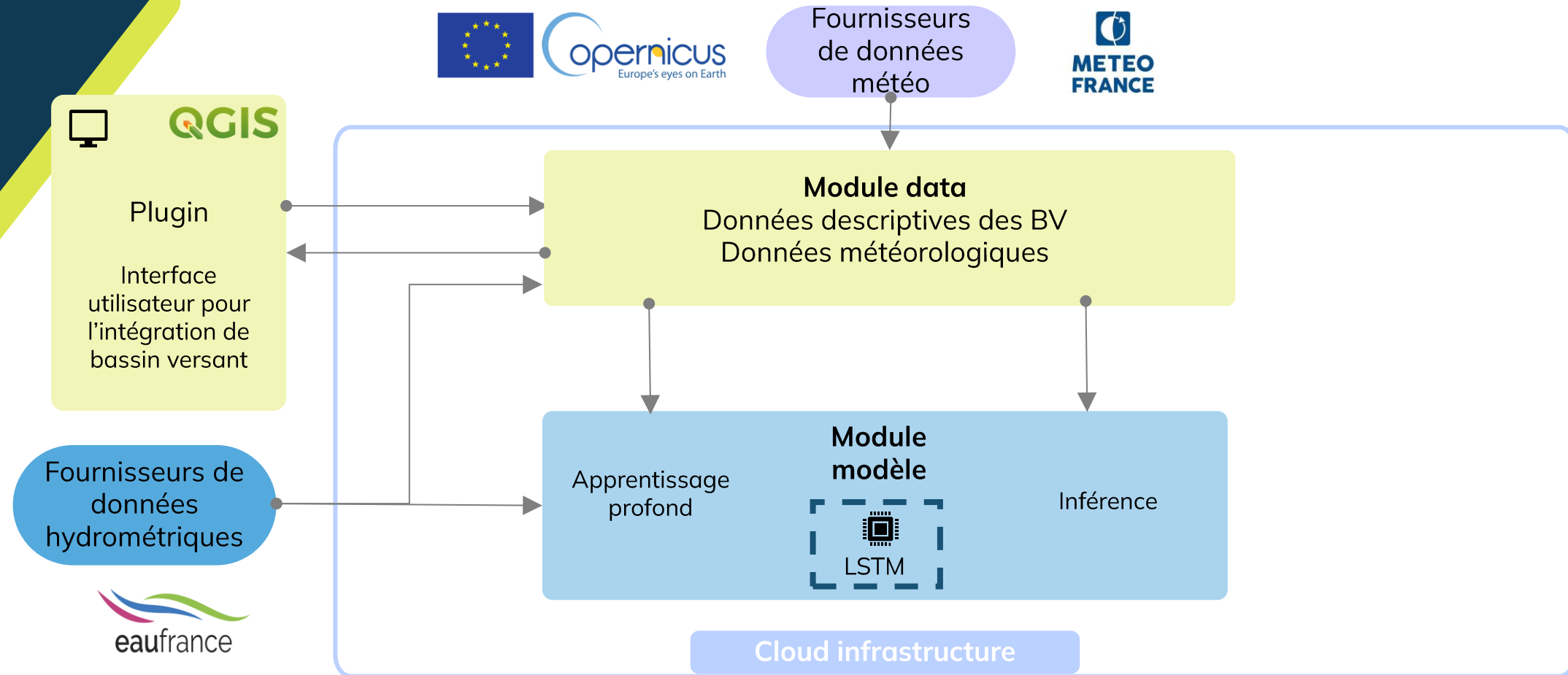
Dimensionnée pour la prévision temps réel



- Infrastructure **totale**ment automatisée depuis l'intégration du bassin versant jusqu'à la production de l'indicateur en temps réel

Infrastructure

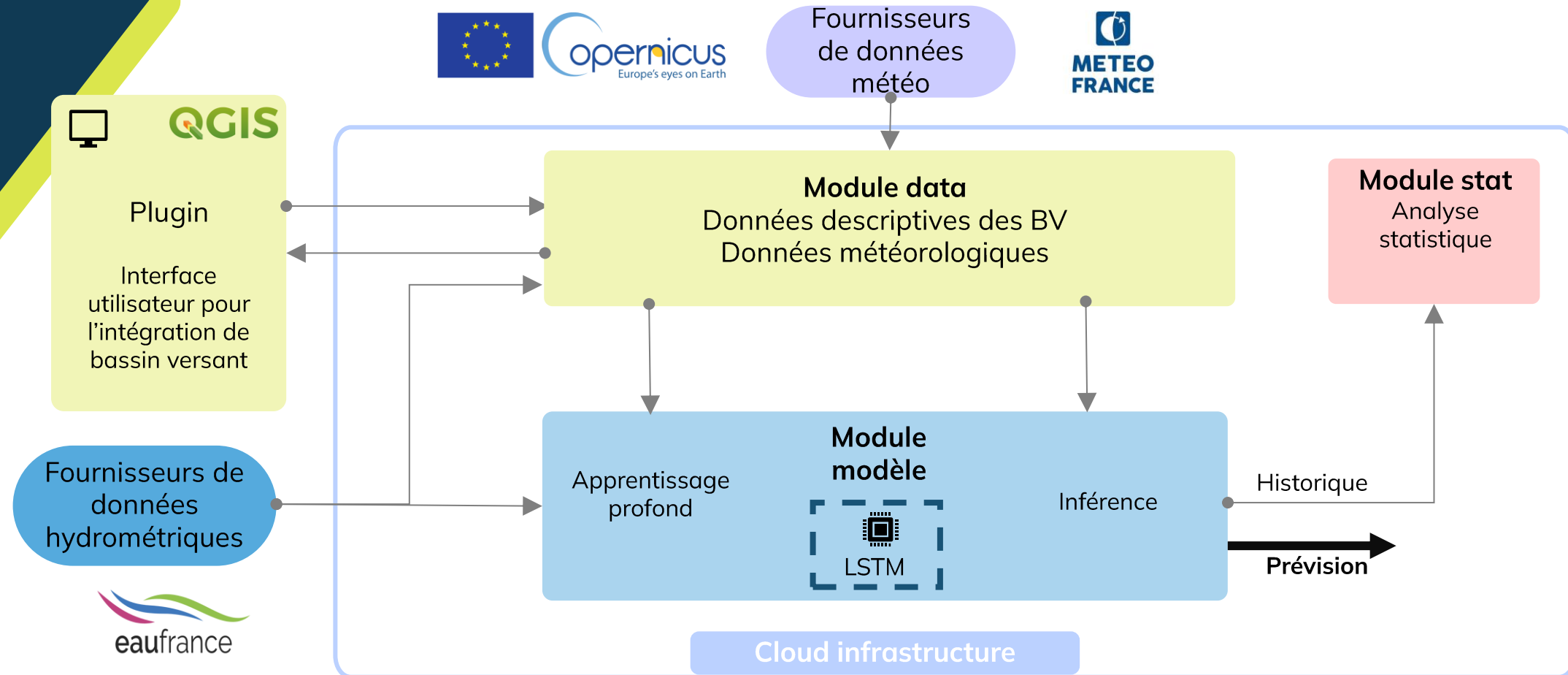
Dimensionnée pour la prévision temps réel



- Infrastructure **totale**ment automatisée depuis l'intégration du bassin versant jusqu'à la production de l'indicateur en temps réel

Infrastructure

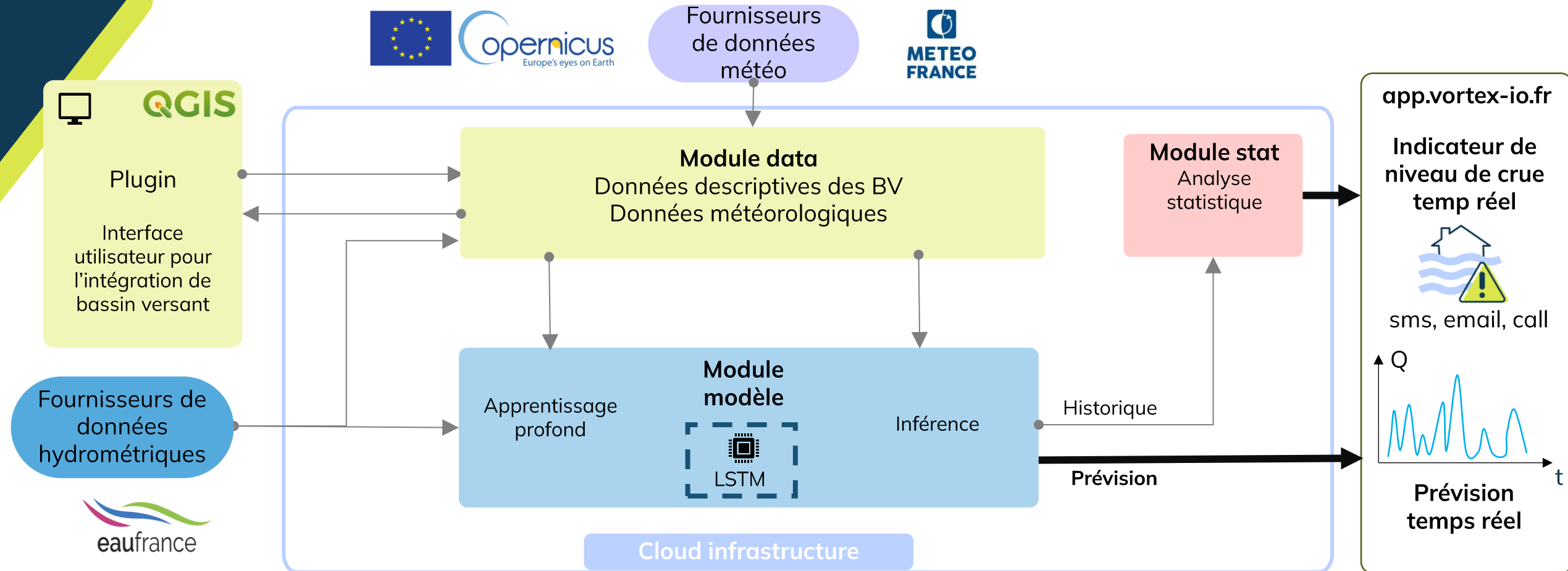
Dimensionnée pour la prévision temps réel



- Infrastructure **totale**ment automatisée depuis l'intégration du bassin versant jusqu'à la production de l'indicateur en temps réel

Infrastructure

Dimensionnée pour la prévision temps réel



- Infrastructure **totale**ment automatisée depuis l'intégration du bassin versant jusqu'à la production de l'indicateur en temps réel

Exemples de prévision

Le Céou

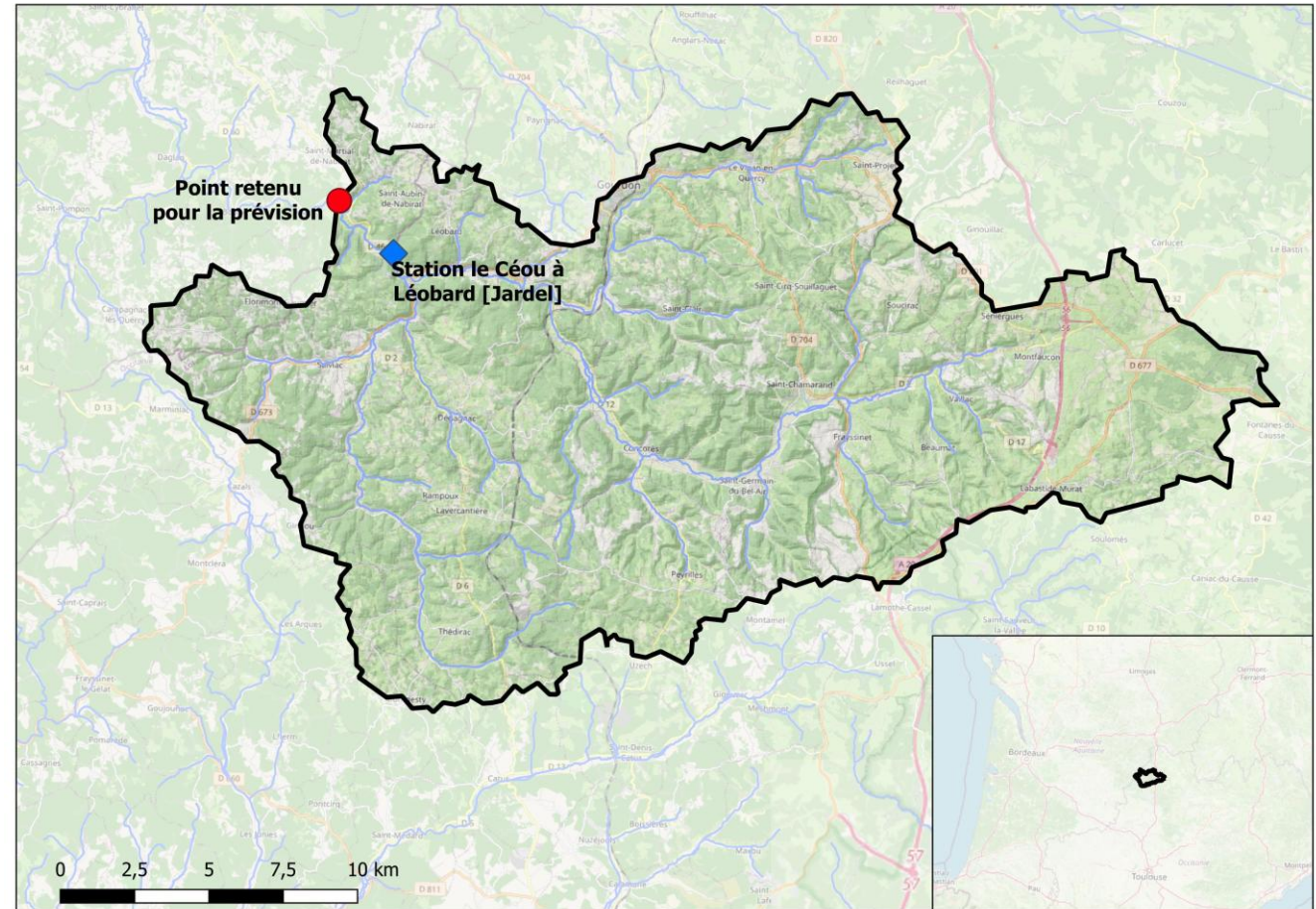
Petit cours d'eau affluent du lot

Surface : 431 km²

Élévation moyenne : 286 m

Sol karstique

Période de retour de 2 ans	Crue modérée
Période de retour de 5 ans	Crue forte
Période de retour de 10 ans	Crue très forte

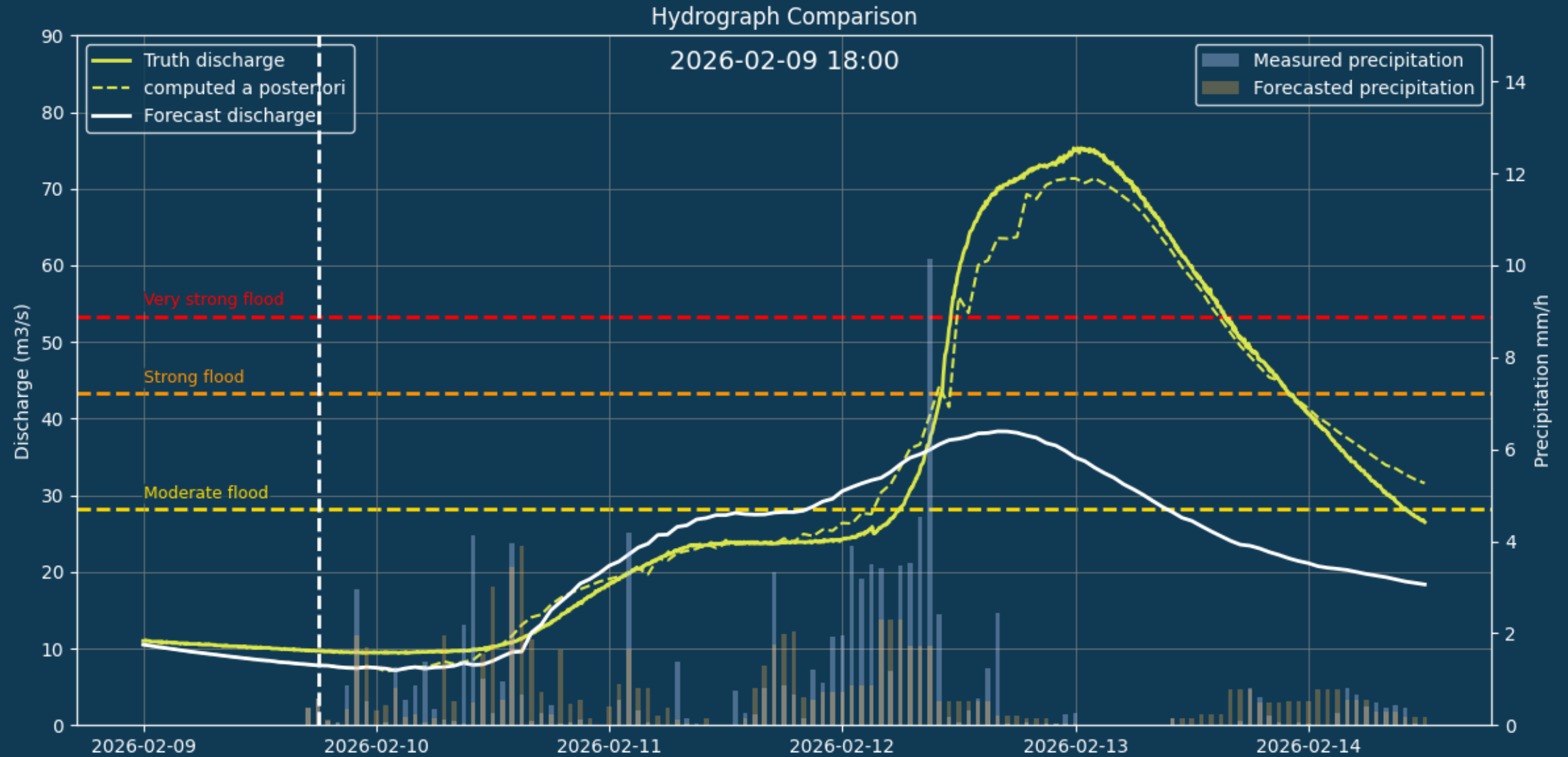


◆ Station hydrométrique

Données en prévision : AROME + ECMWF

Exemples de prévision

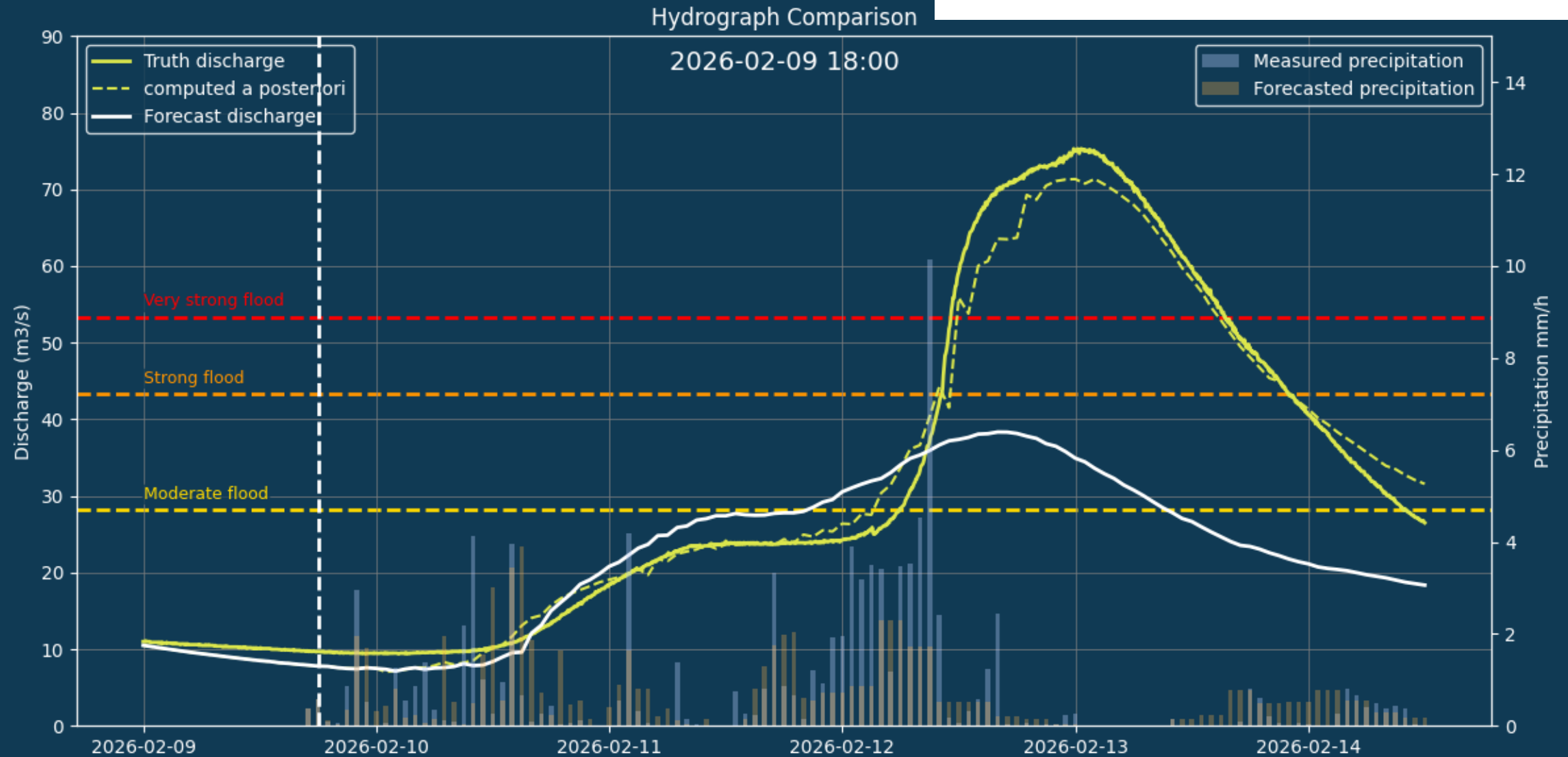
Le Céou



Exemples de prévision

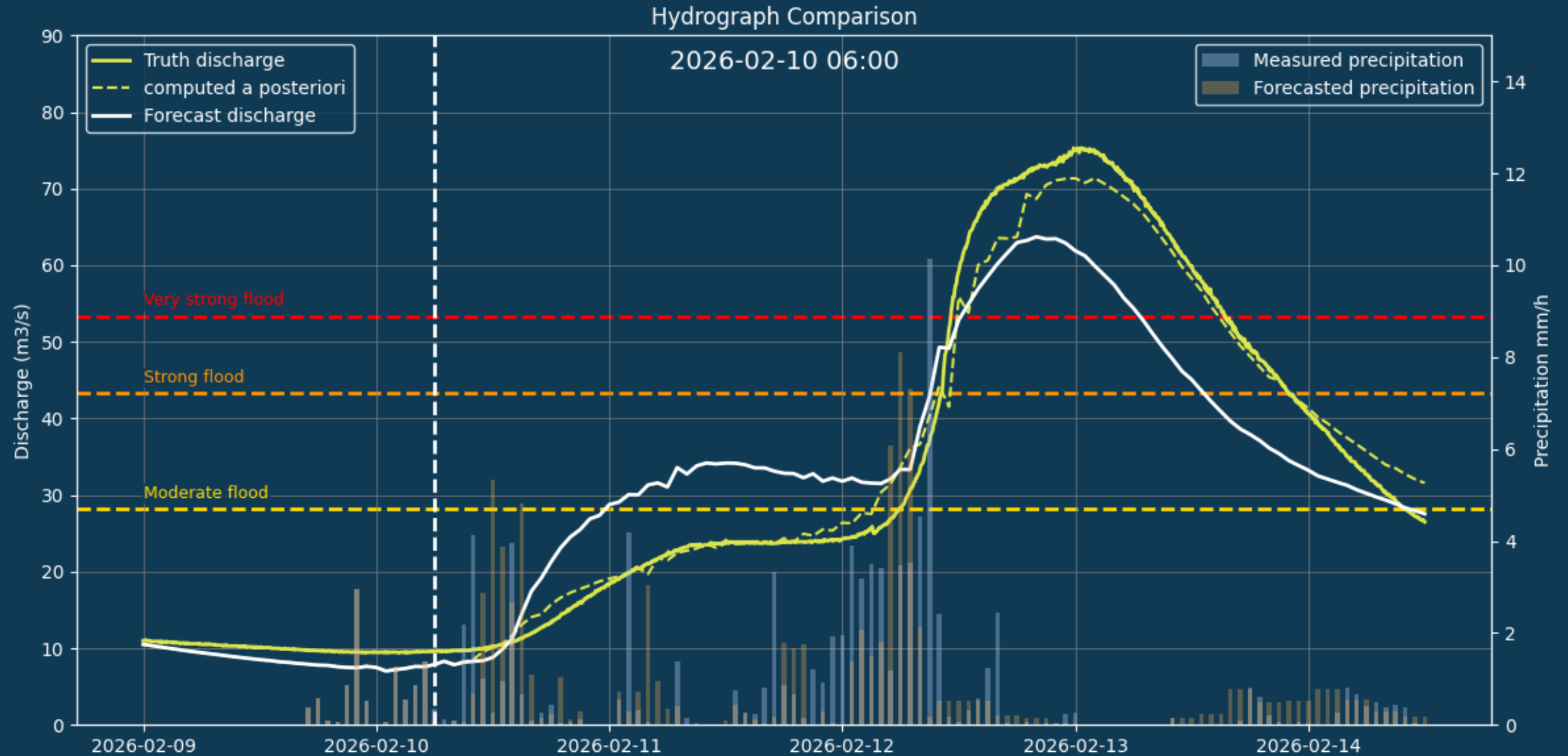
Le Céou

Crue anticipée au moins 3 jours à l'avance



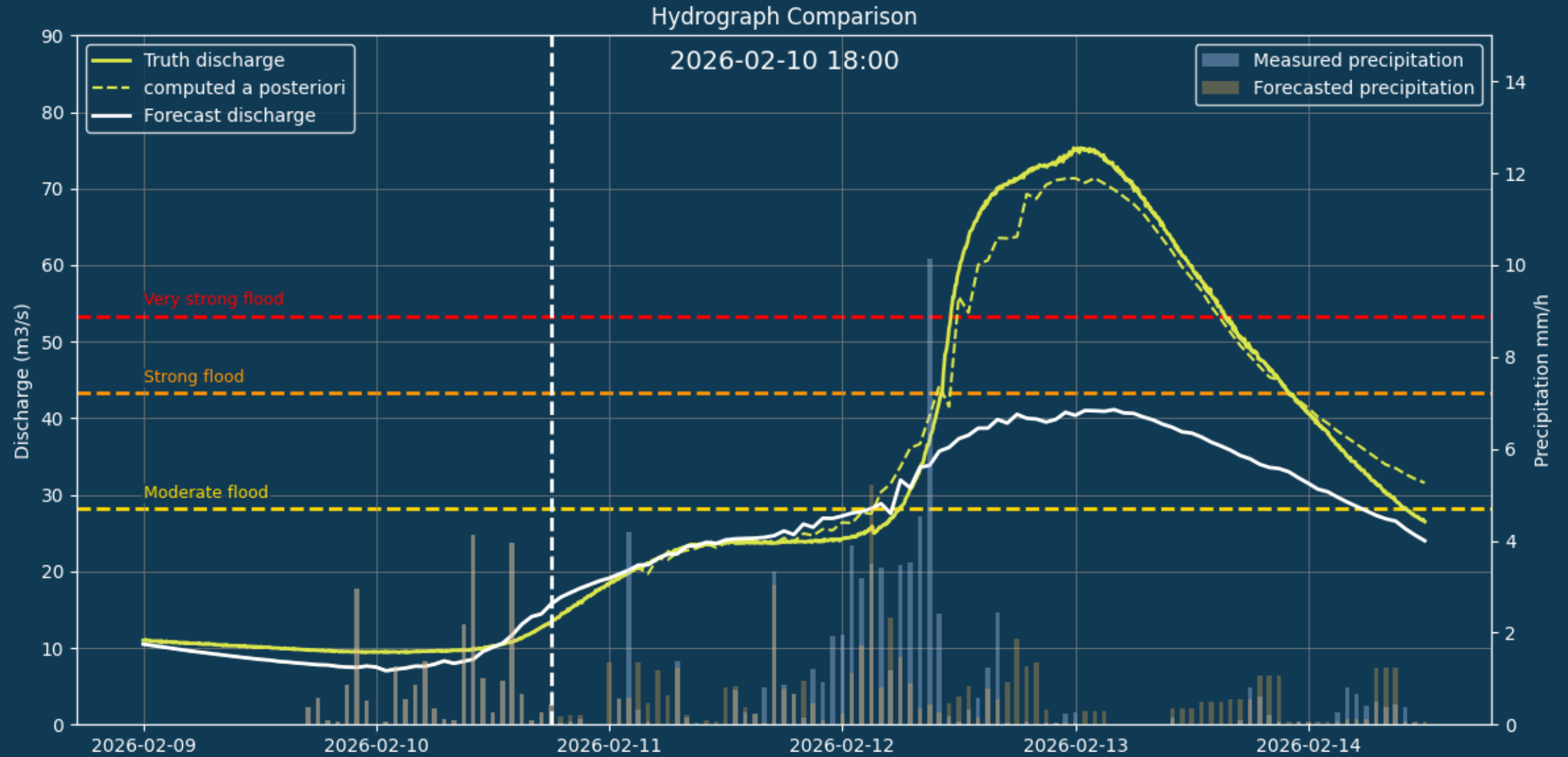
Exemples de prévision

Le Céou



Exemples de prévision

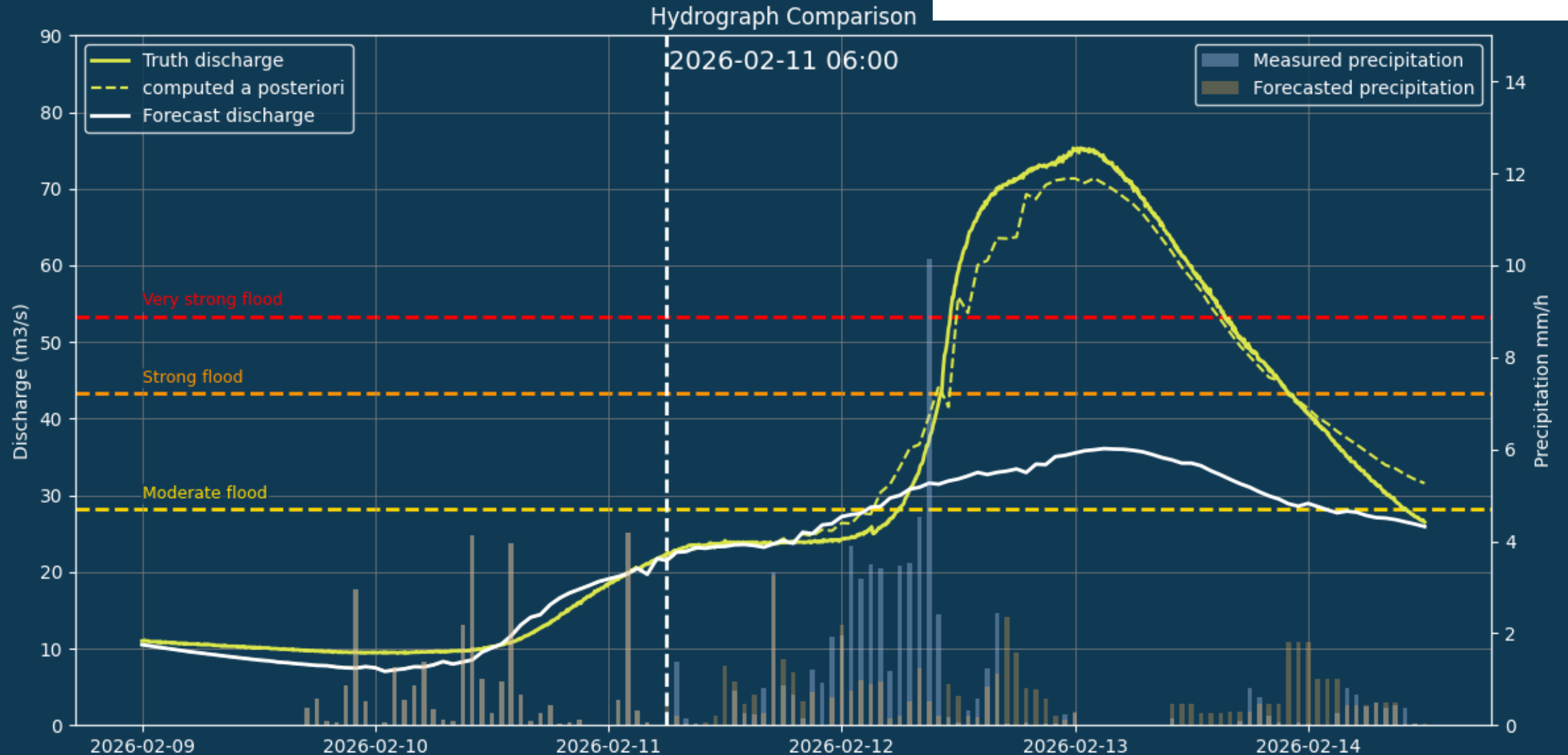
Le Céou



Exemples de prévision

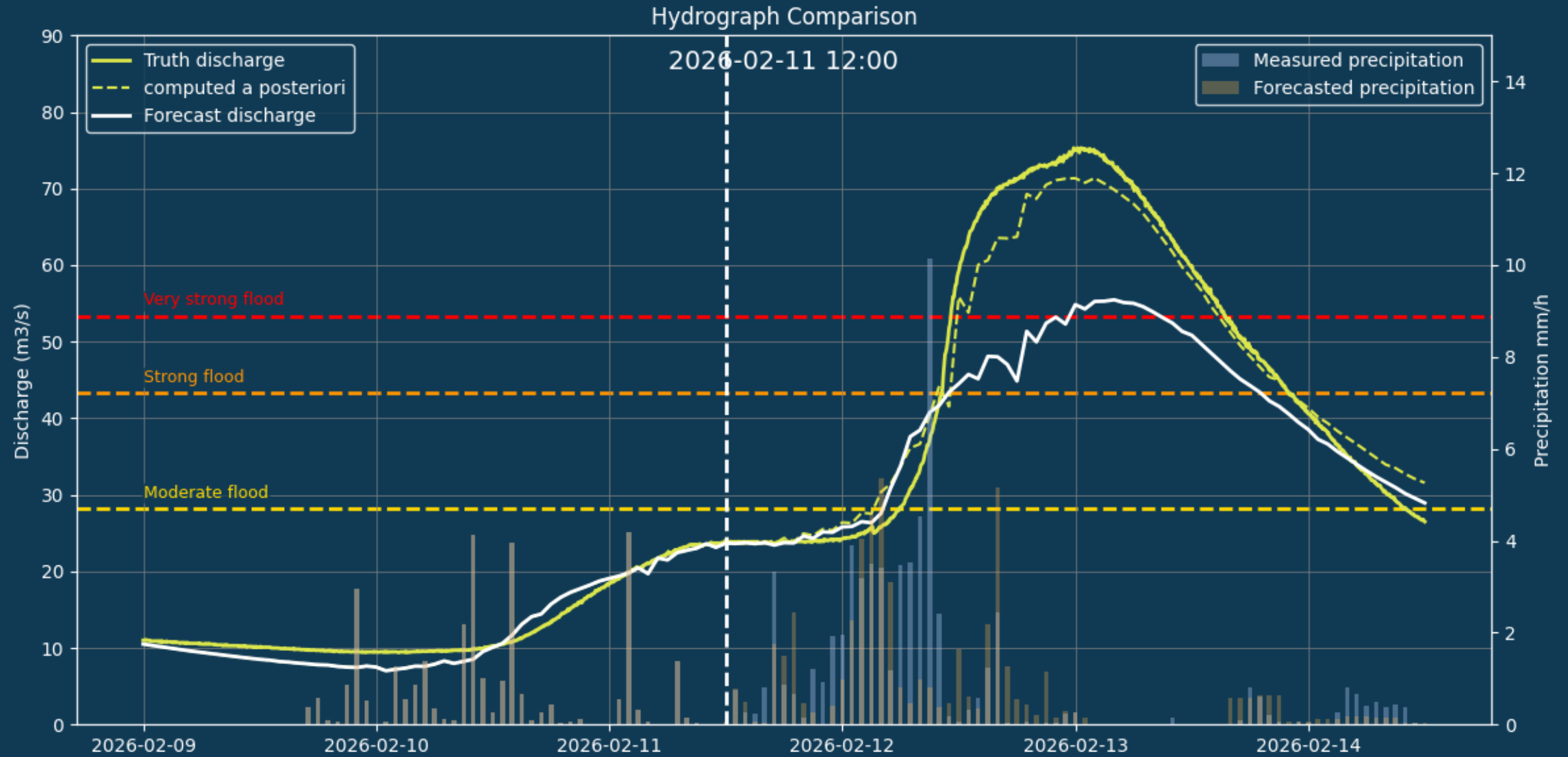
Le Céou

Forte sous estimation à 2 jours



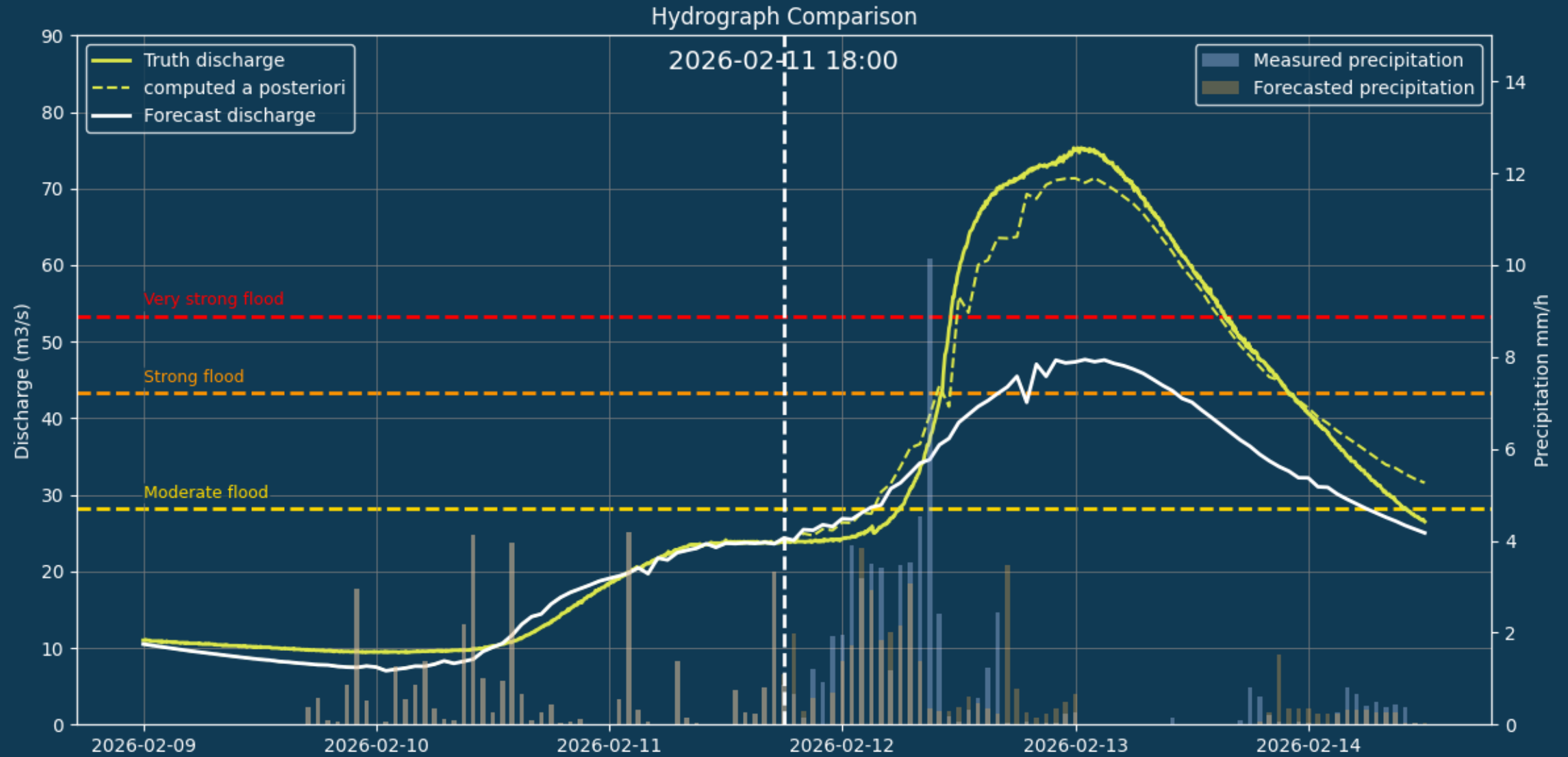
Exemples de prévision

Le Céou



Exemples de prévision

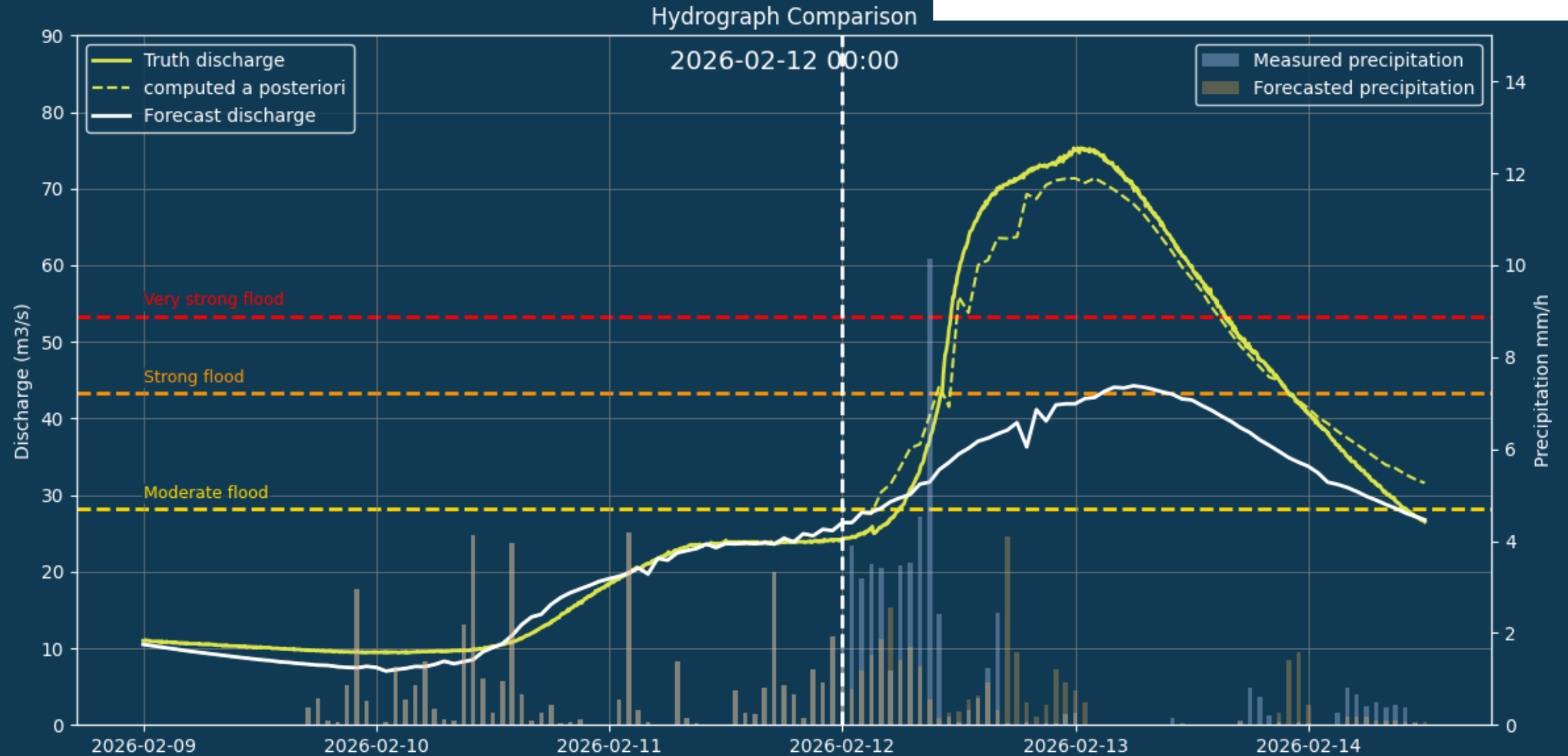
Le Céou



Exemples de prévision

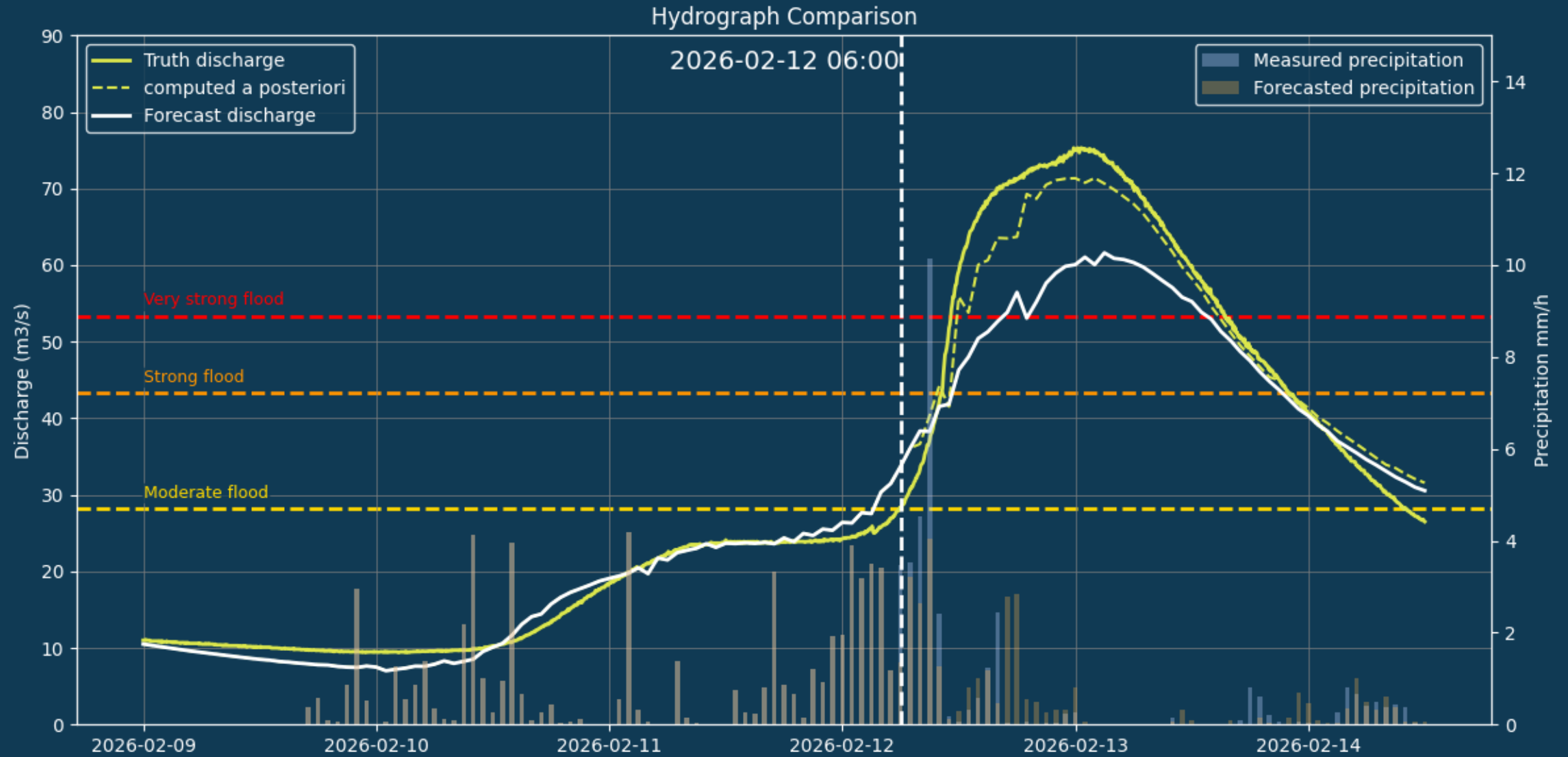
Le Céou

Sous estimation à 24 heures



Exemples de prévision

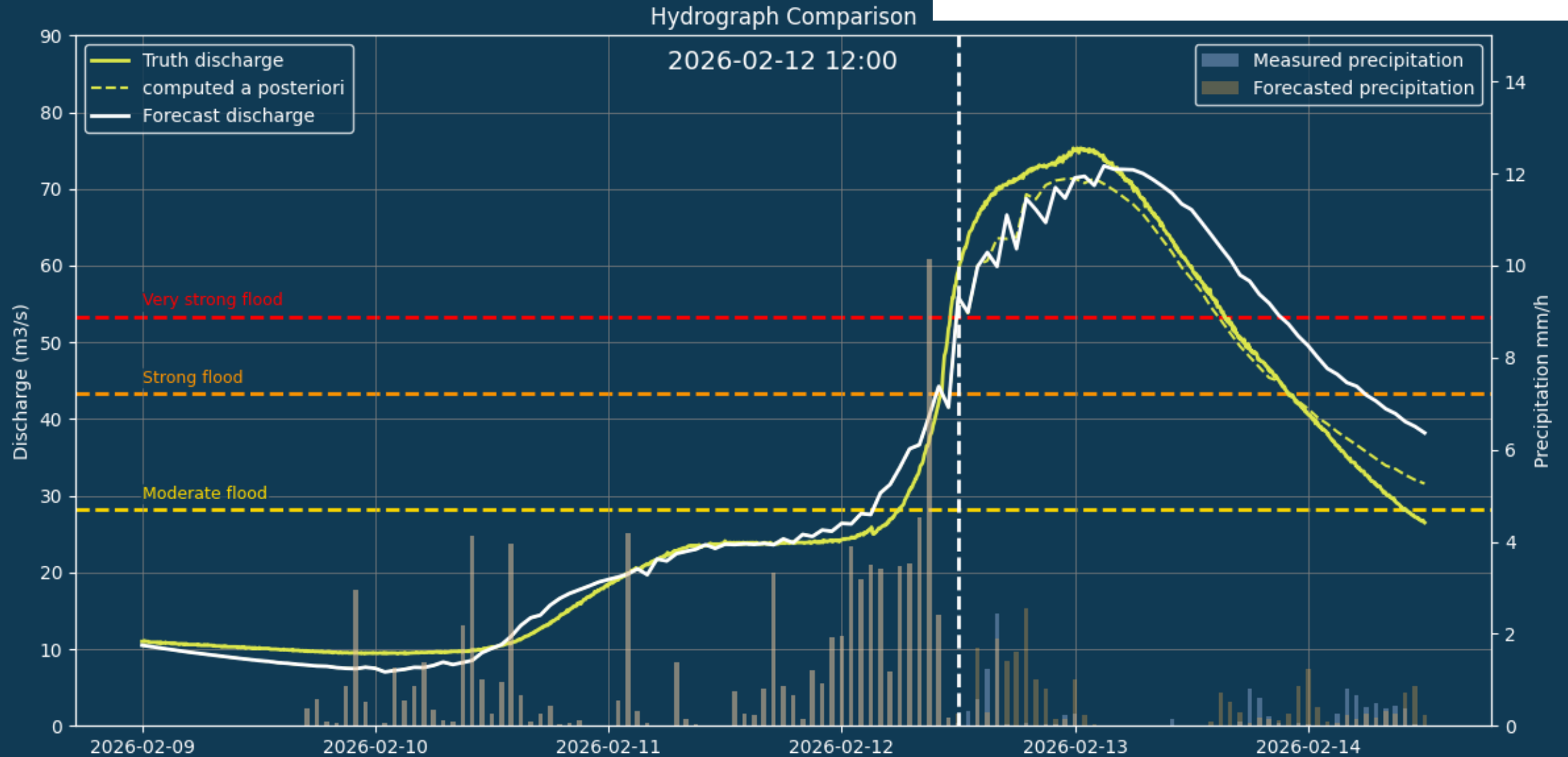
Le Céou



Exemples de prévision

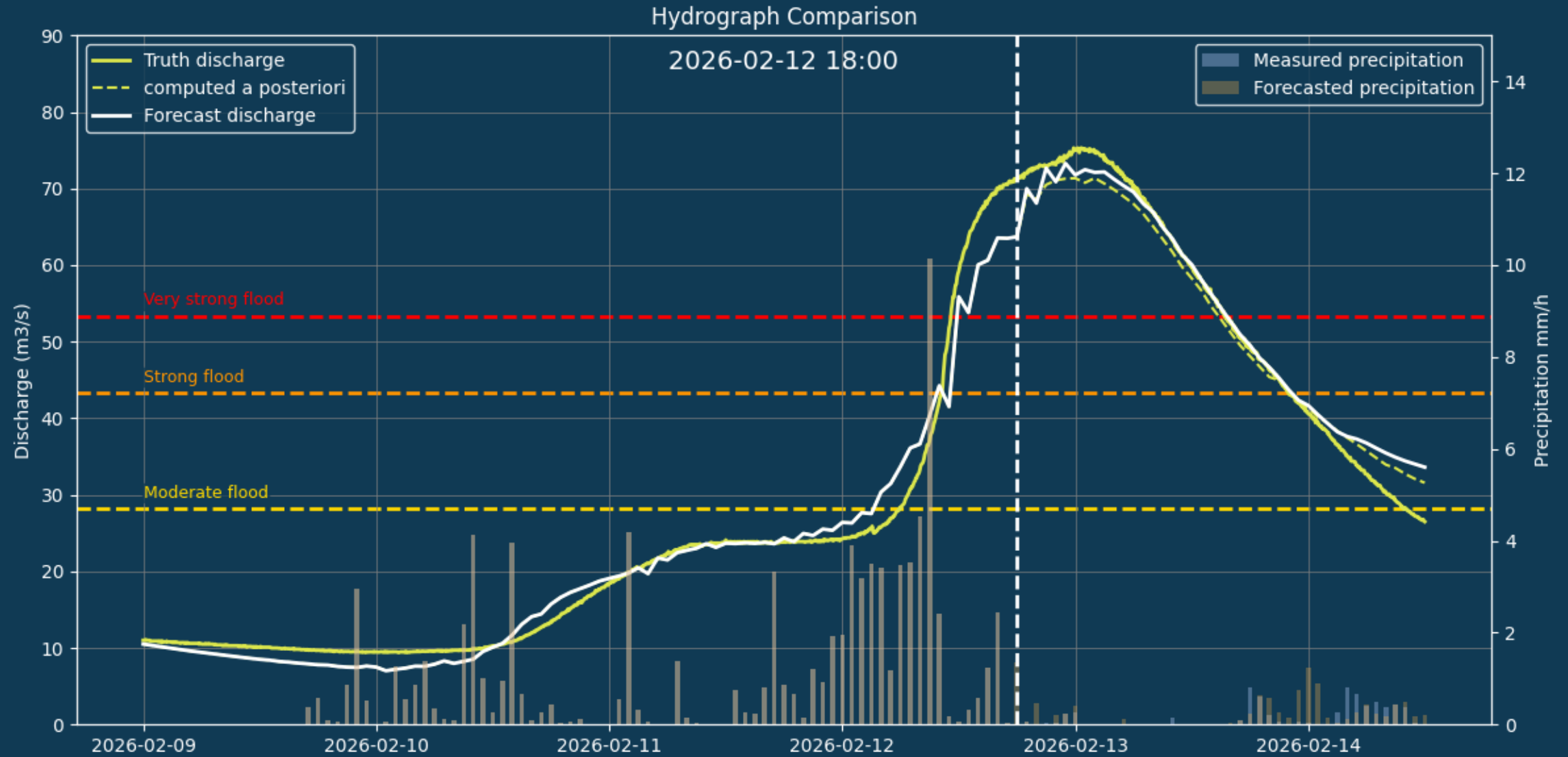
Le Céou

Bonne estimation à 12 heures du pic



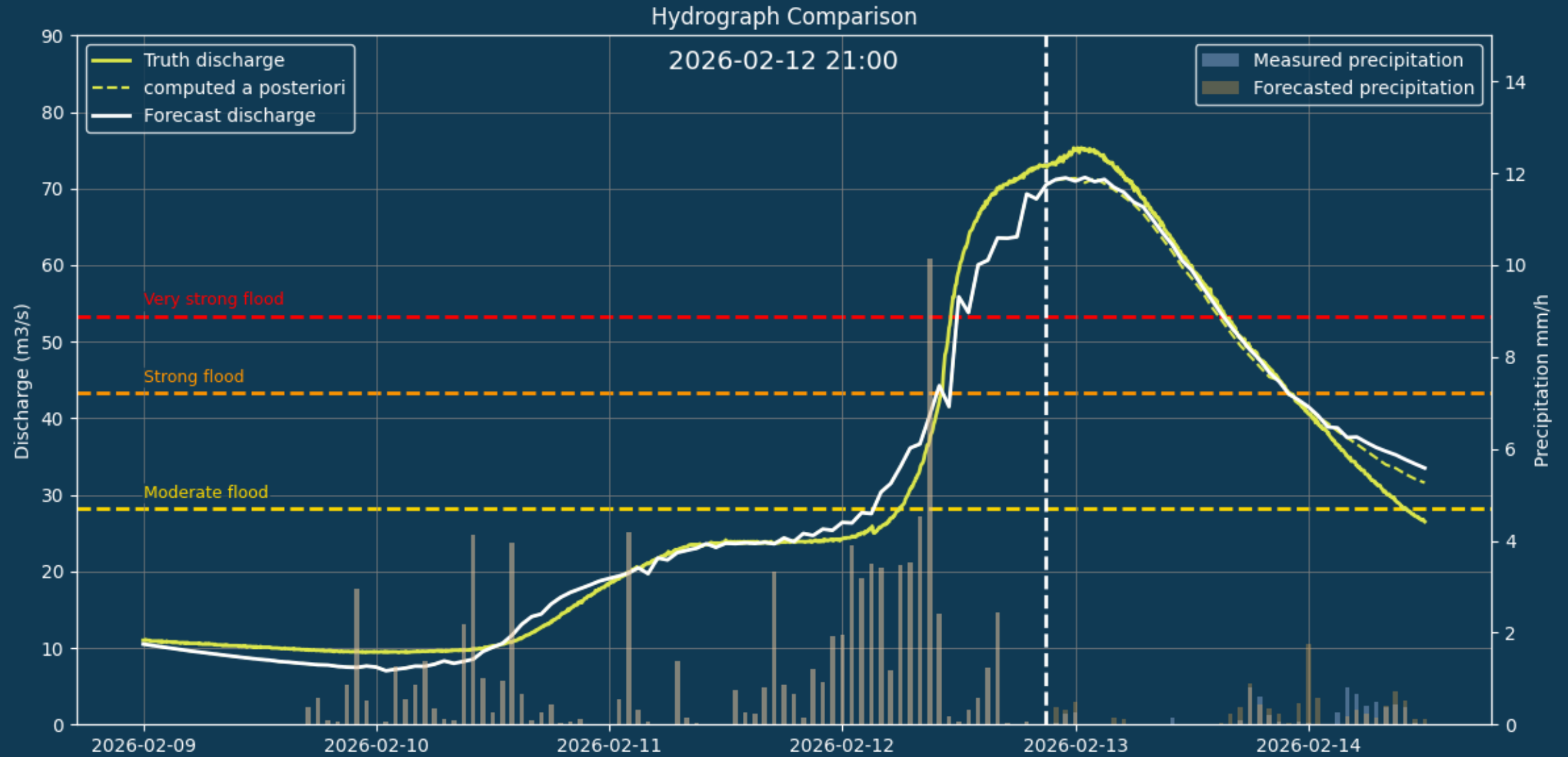
Exemples de prévision

Le Céou



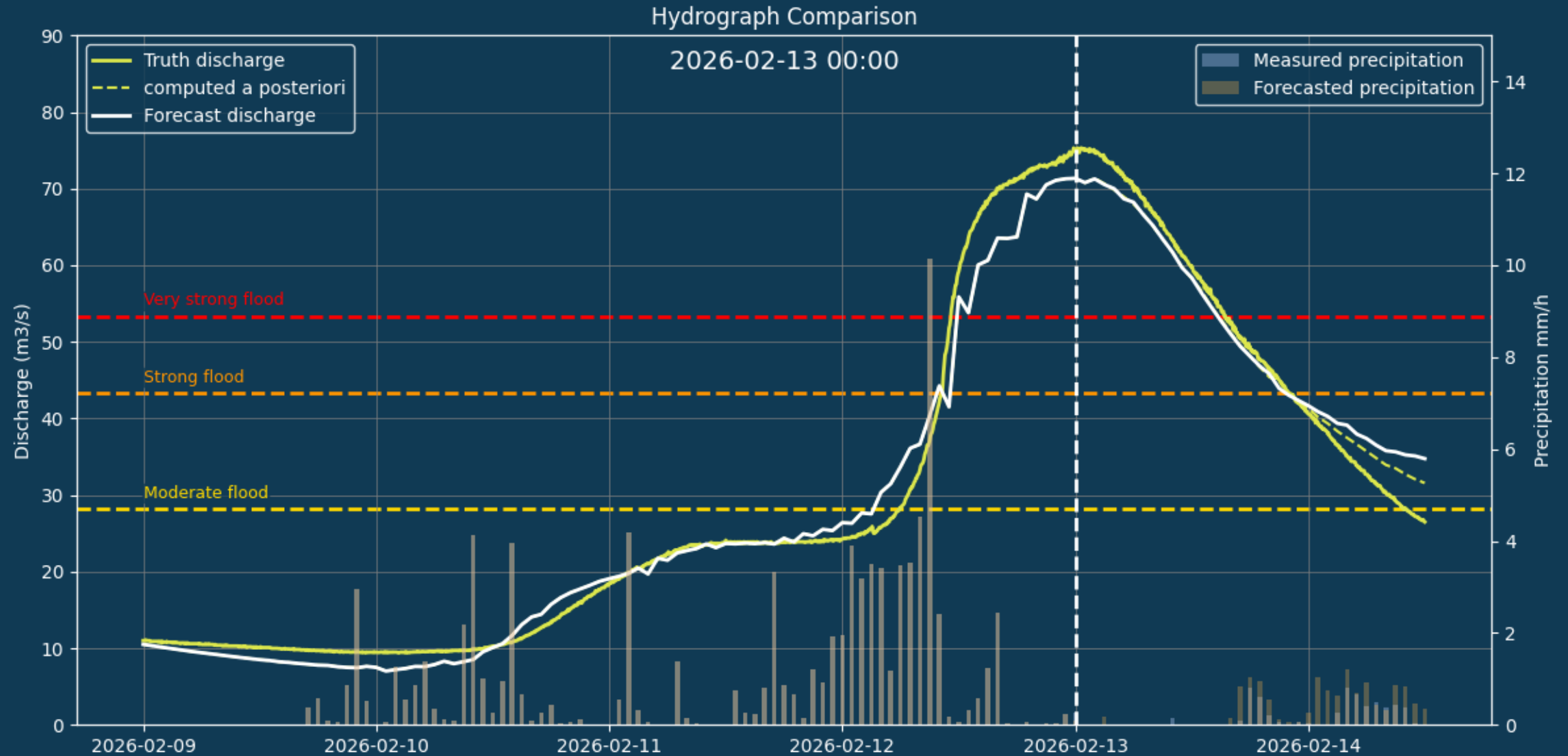
Exemples de prévision

Le Céou



Exemples de prévision

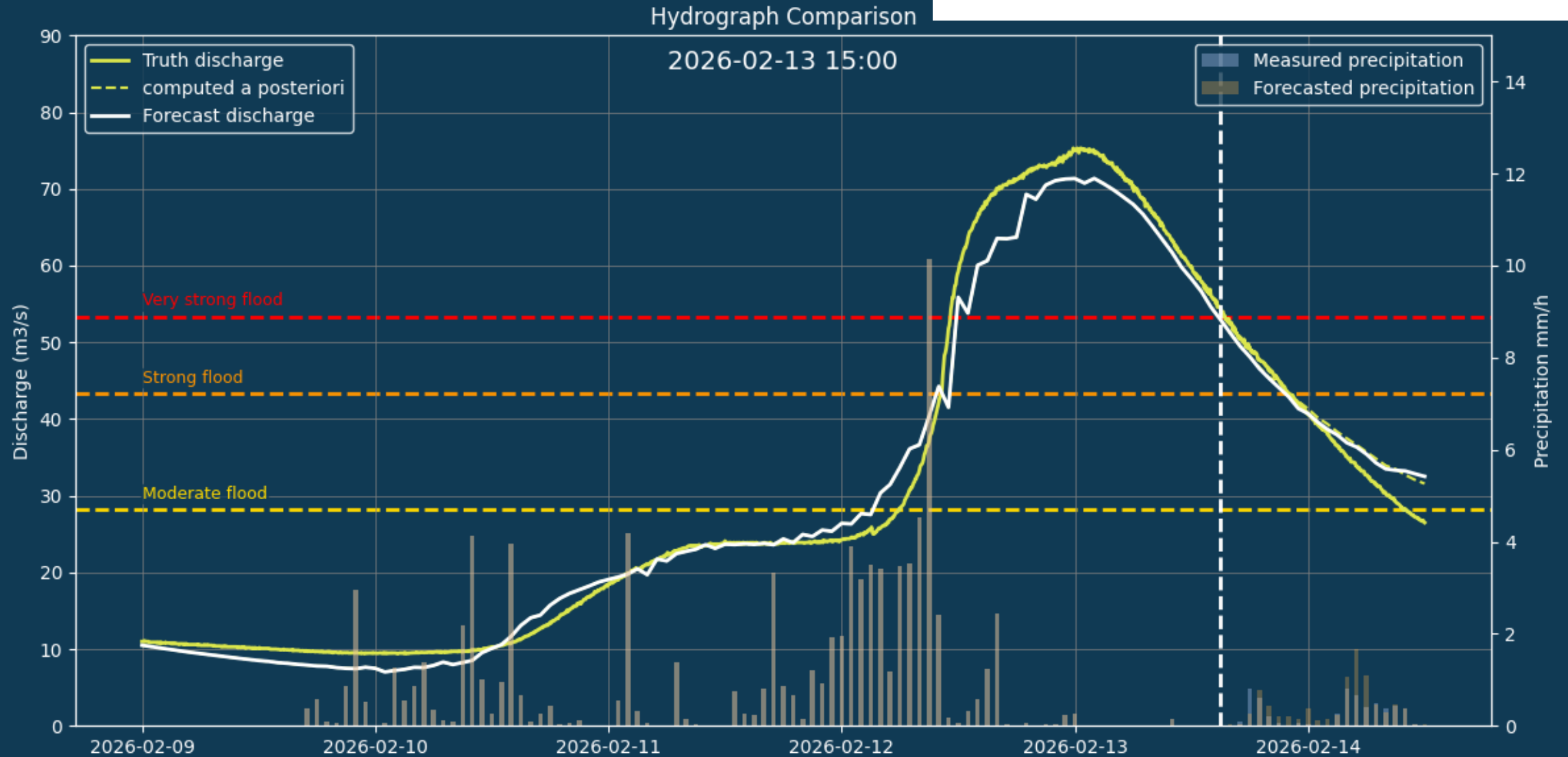
Le Céou



Exemples de prévision

Le Céou

Très bonne estimation à postériori



Exemples de prévision

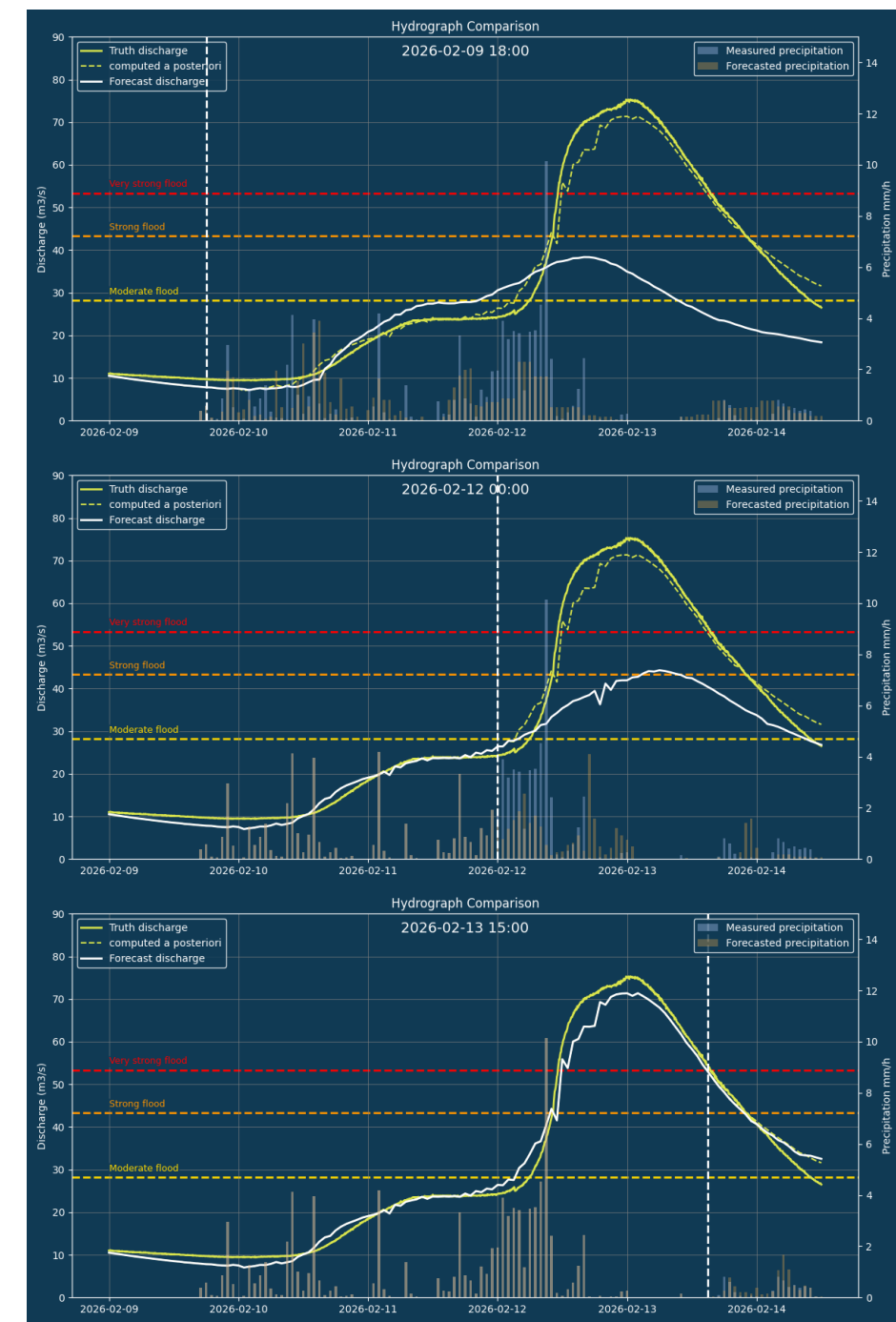
Le Céou

Bilan :

- Crue anticipée au moins trois jours à l'avance
- Sous estimation de l'évènement à priori
- Très bonne estimation du débit à postérieur

Pour améliorer la prévision :

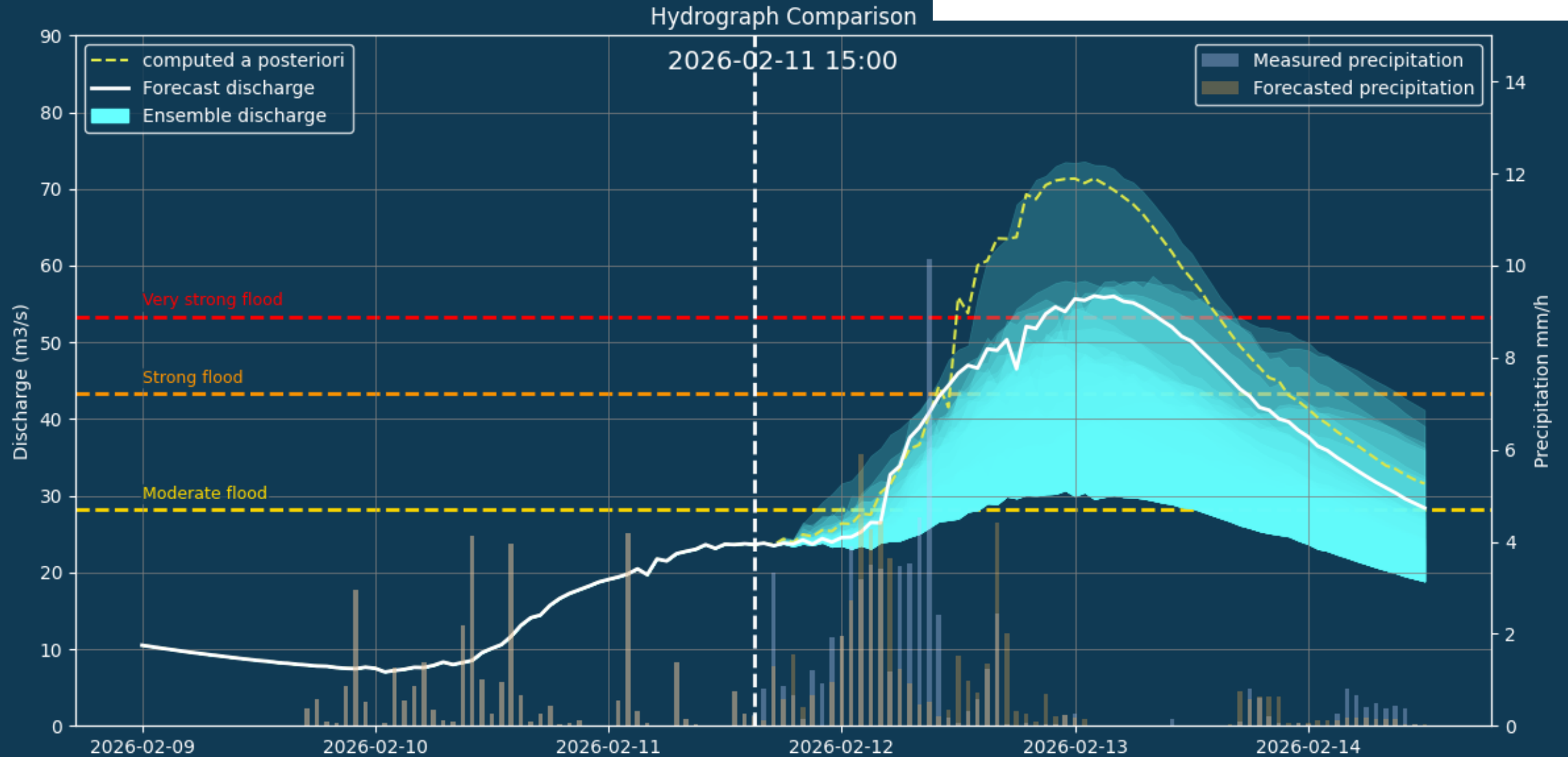
- Utilisation de **AROME Prévision d'Ensemble**
24 « scénarios » supplémentaires



Exemples de prévision

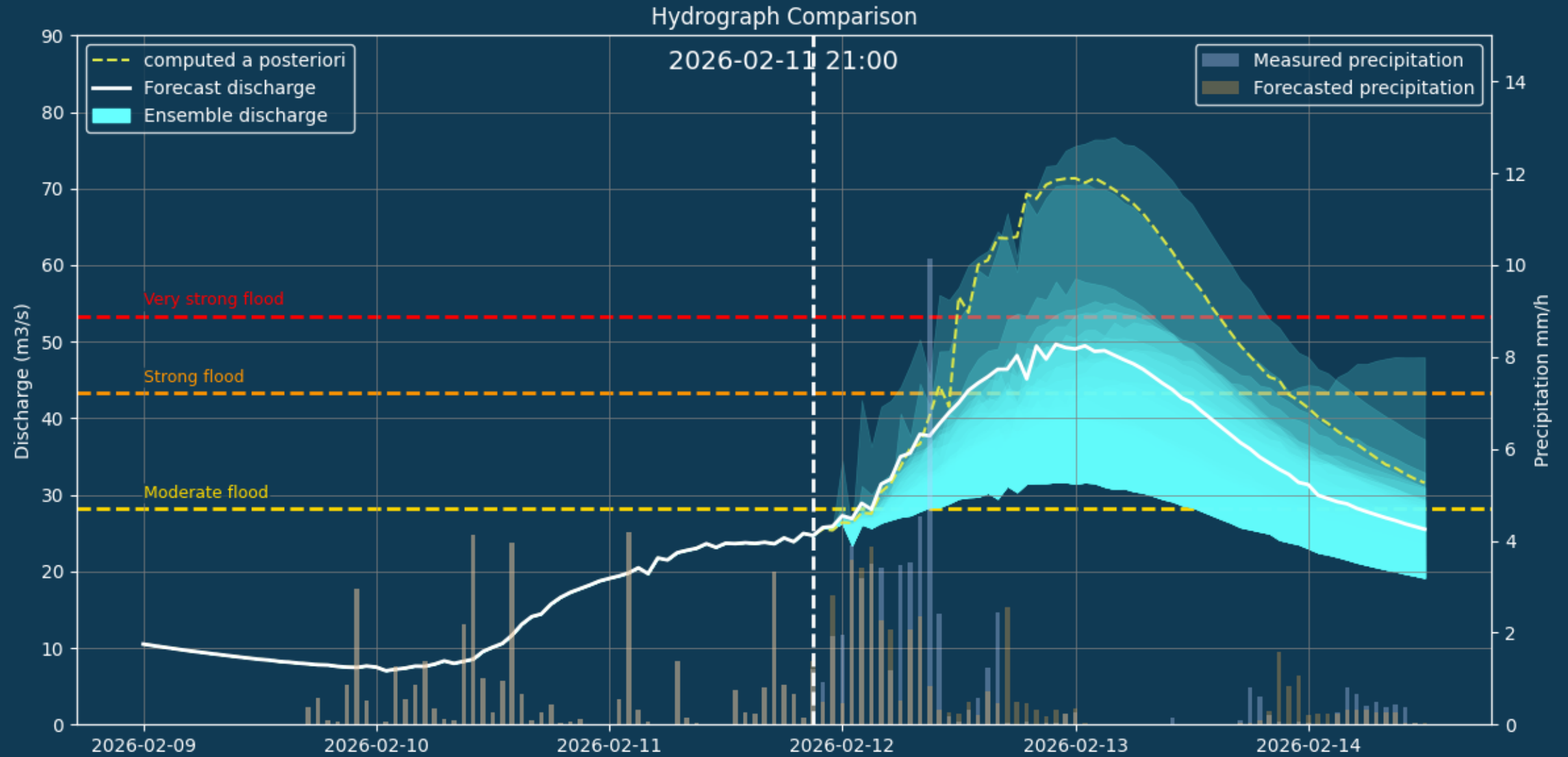
Le Céou

Débit à posteriori compris dans la prévision ensembliste



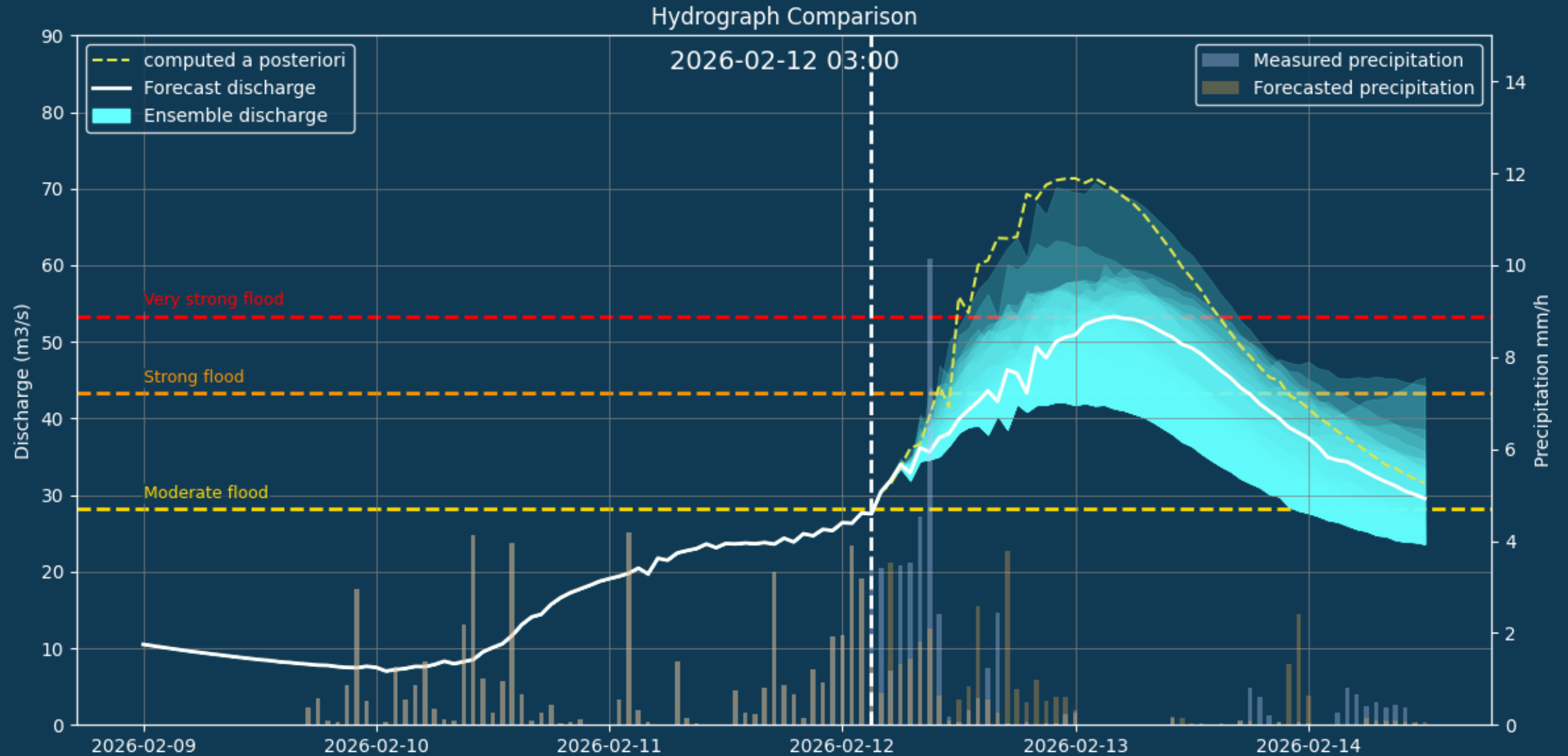
Exemples de prévision

Le Céou



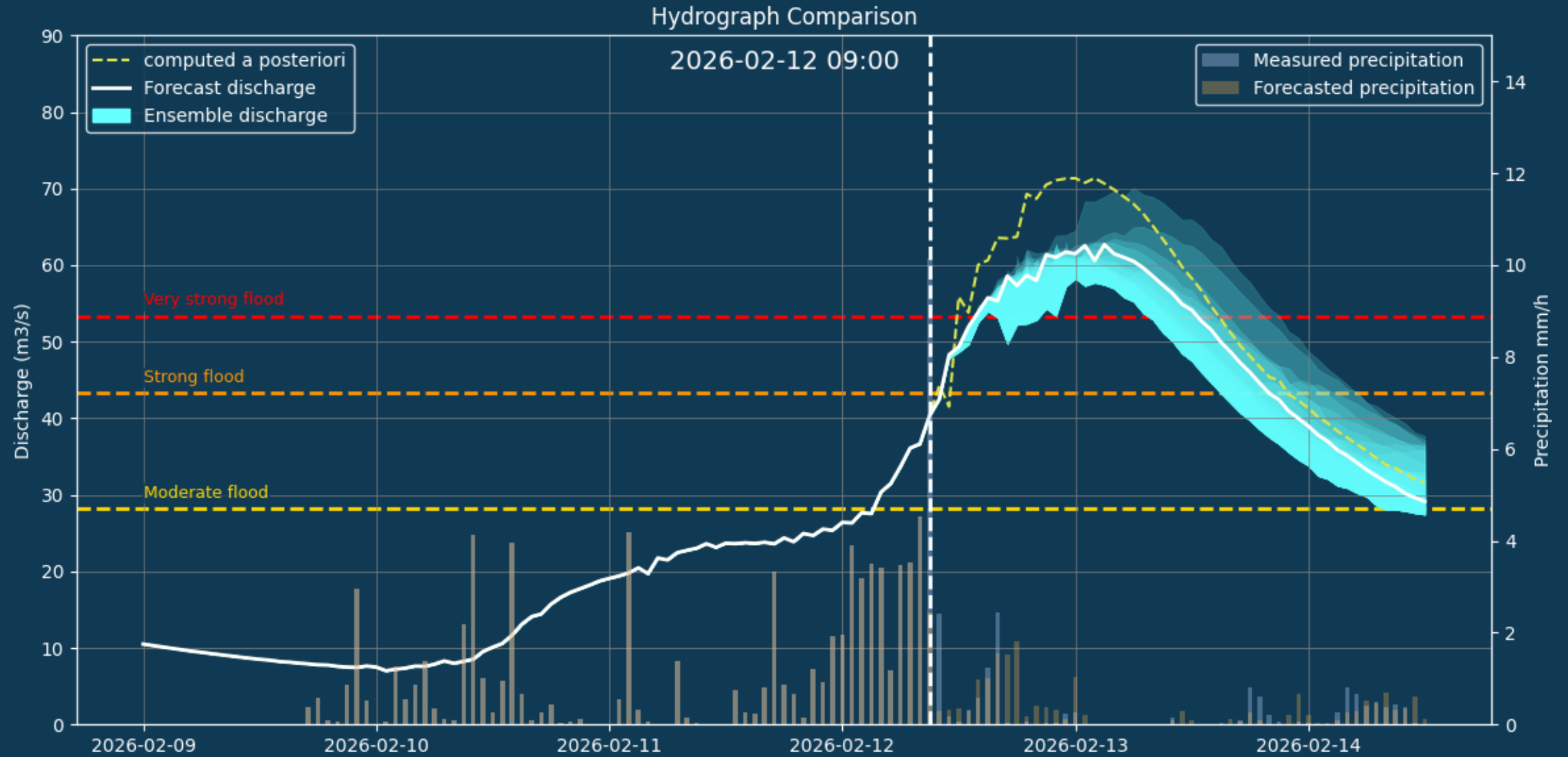
Exemples de prévision

Le Céou



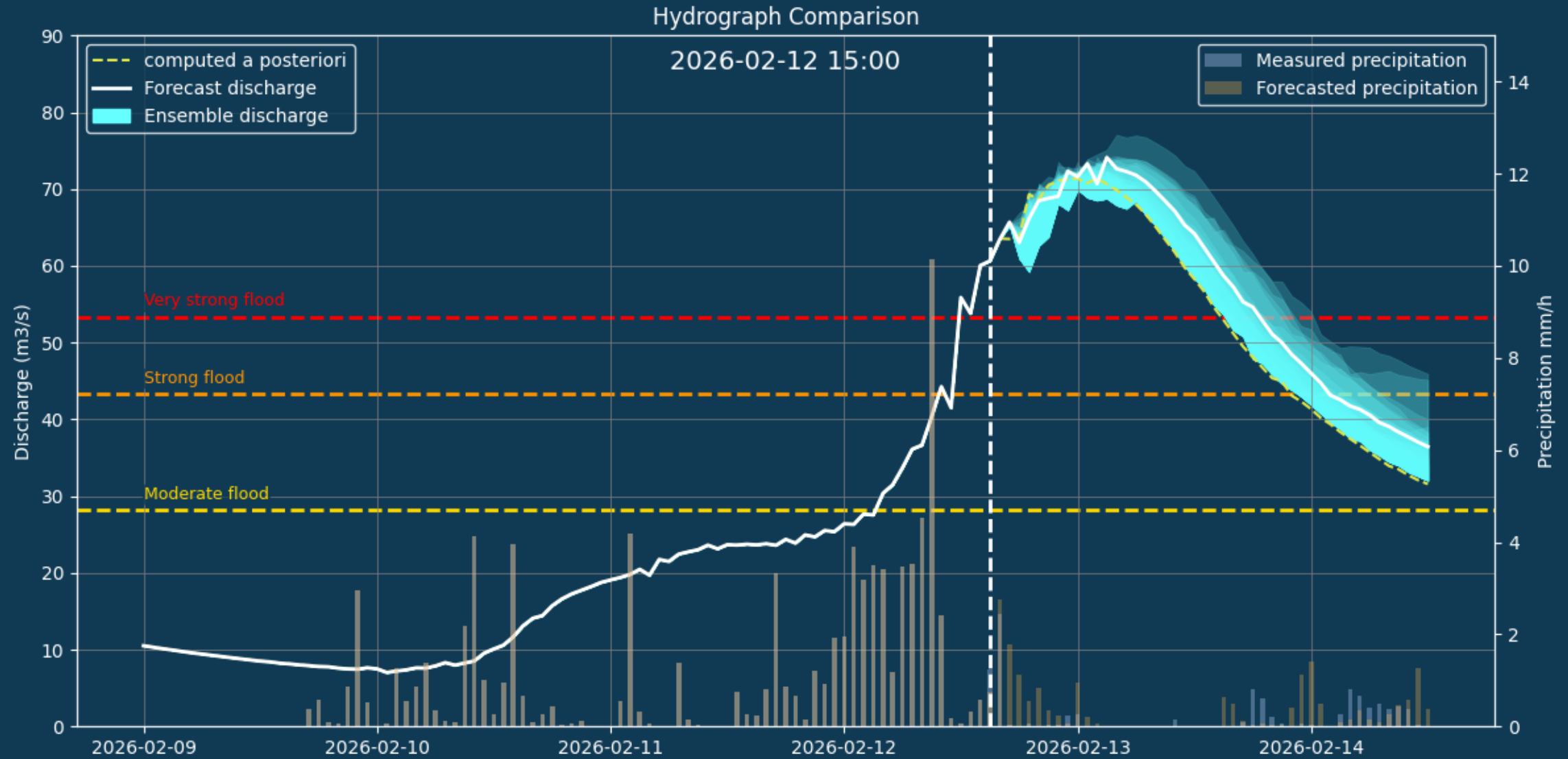
Exemples de prévision

Le Céou



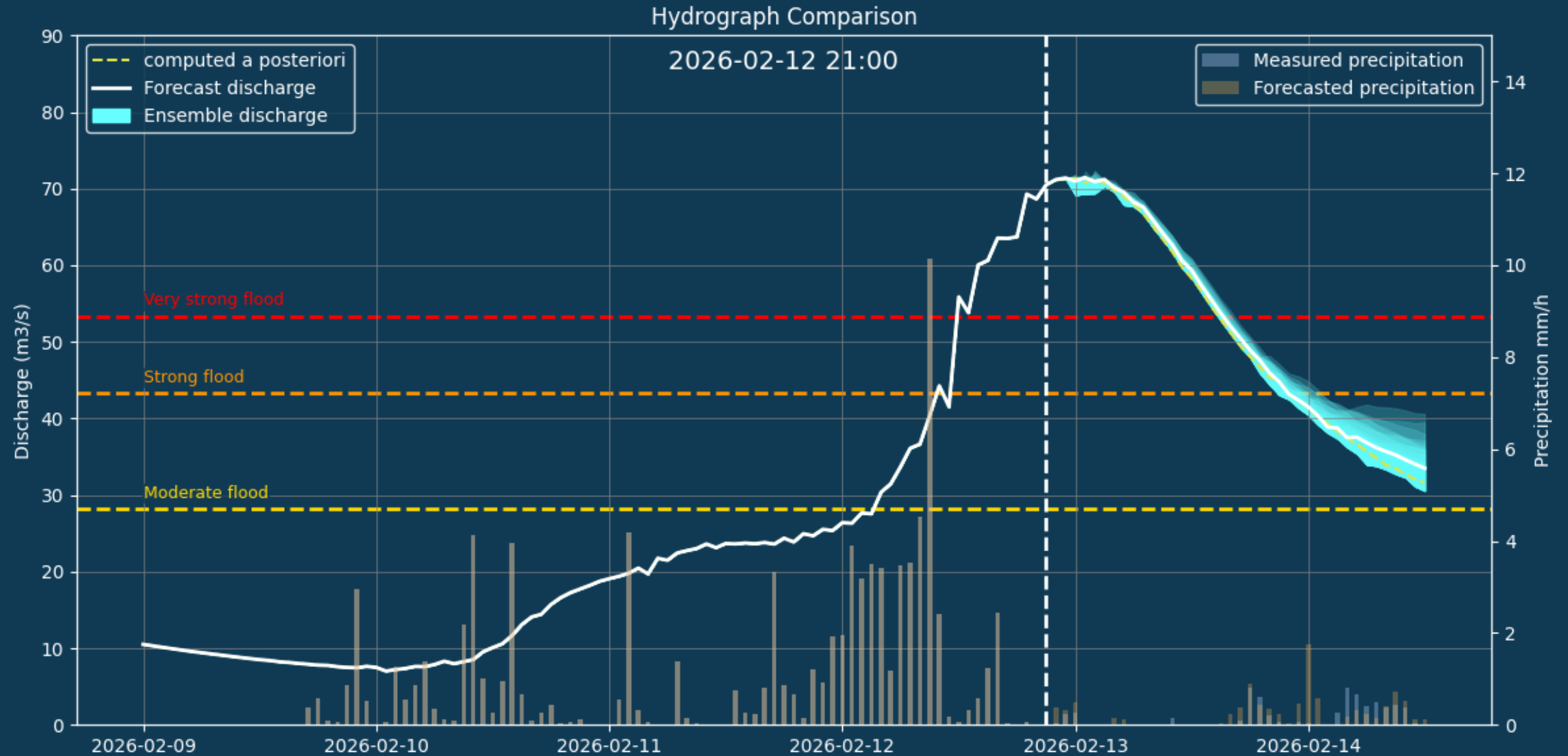
Exemples de prévision

Le Céou



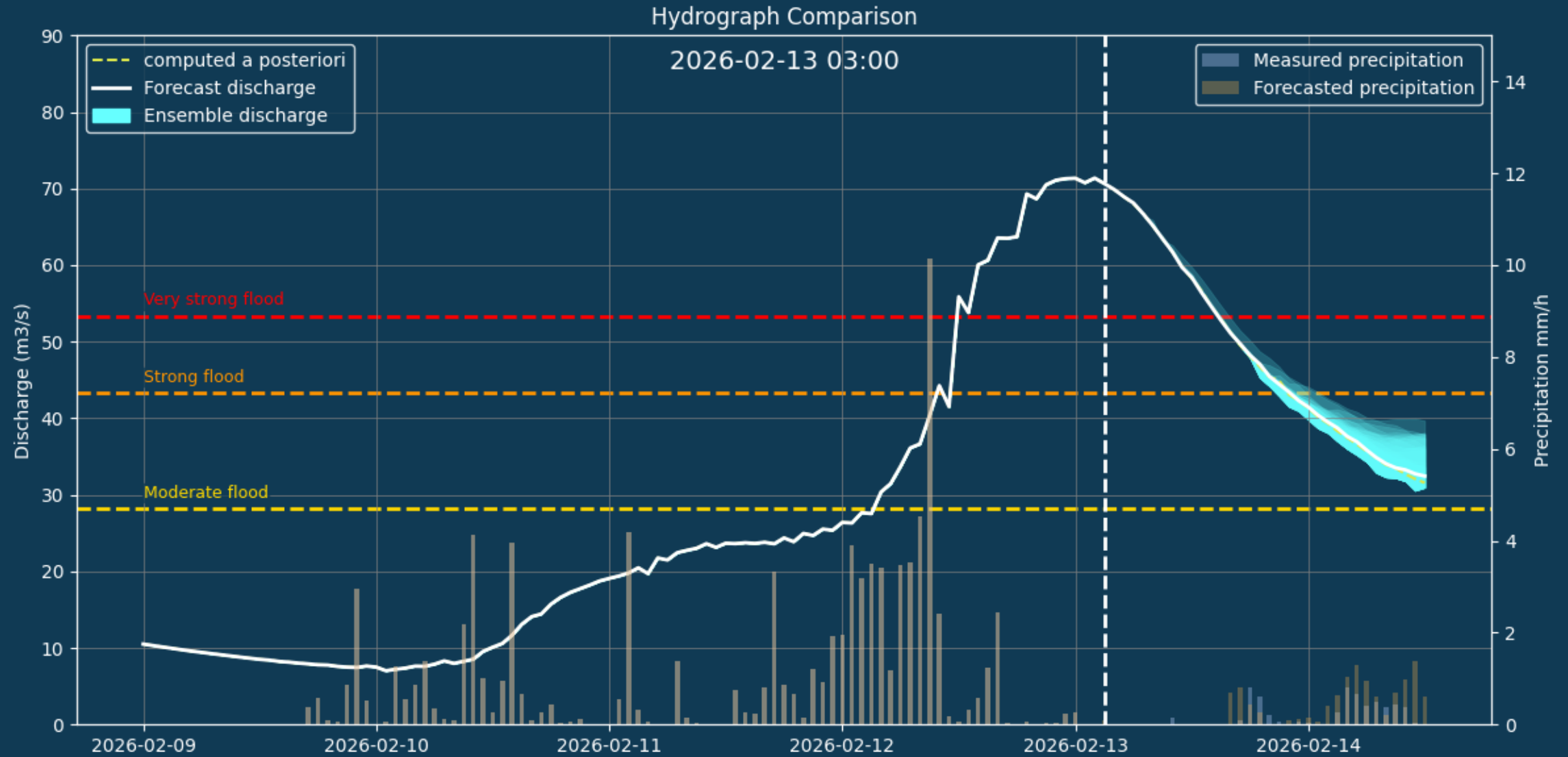
Exemples de prévision

Le Céou



Exemples de prévision

Le Céou



Bilan et perspectives

Systeme aujourd'hui operationnel pour la prevision temps reel :

- Bonne estimation de la dynamique des crues, restant tributaire de la qualite des previsions
- Aujourd'hui, seul l'indicateur est propose aux utilisateurs

Les pistes d'amelioration :

- Approfondir l'exploitation des modeles ensemblistes pour renforcer la fiabilite de l'indicateur
- Augmenter le nombre de donnees descriptives des bassins versant et des donnees meteo
- Affiner / modifier l'architecture du modele



MERCI

Pour votre attention

Vincent Cloarec Ingénieur R&D Hydro-Informatique
Julianna Devillers Data scientist

Bureaux
13 rue André Villet, 4^{ème} étage
31400 Toulouse
FRANCE

Téléphone
+33 (0)5 82 99 12 41

Site web : vortex-io.fr

Plateforme : app.vortex-io.fr



Exemples de prévision

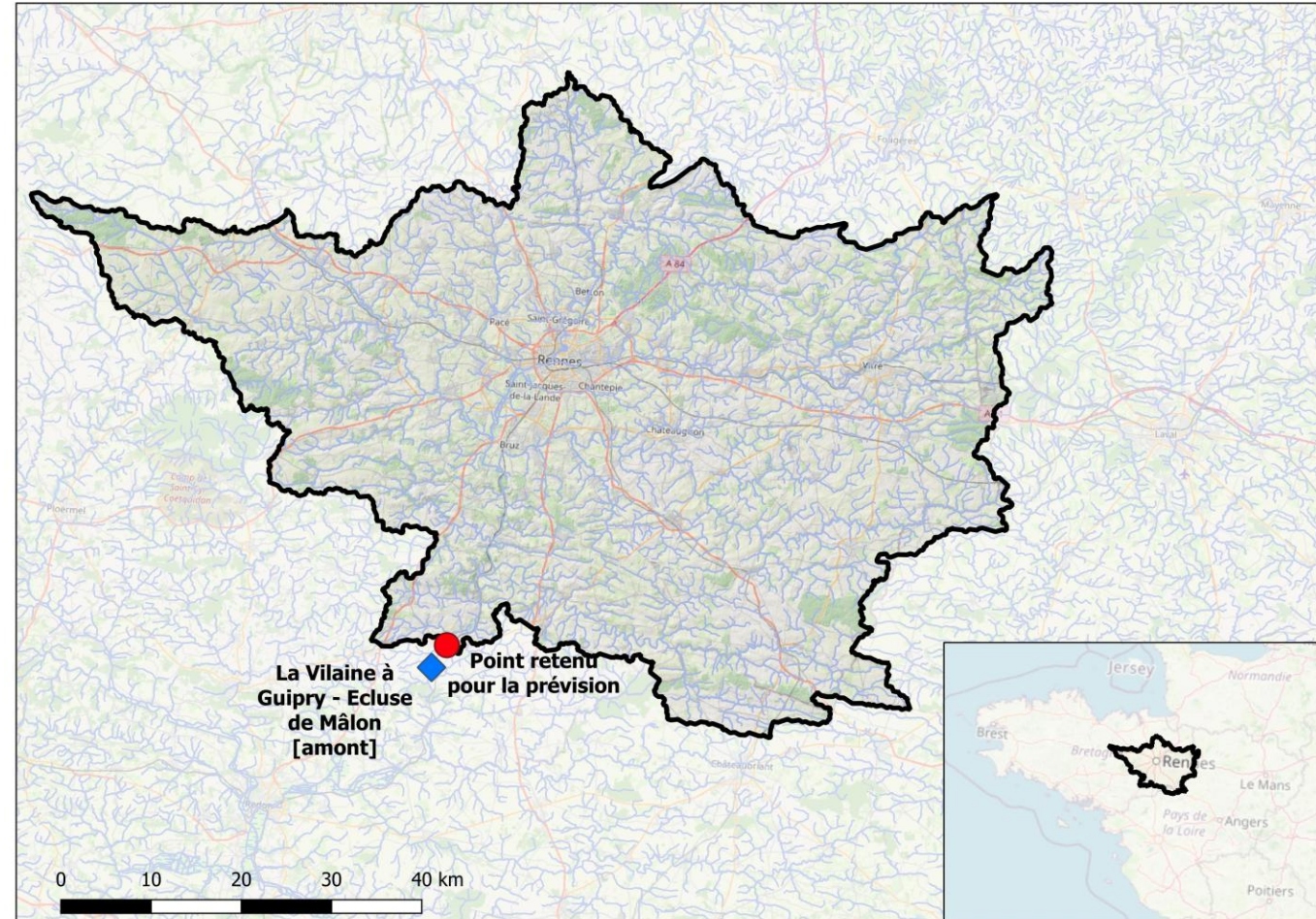
La Vilaine

La Vilaine

Surface : 4120 km²

Élévation moyenne : 81 m

Période de retour de 2 ans	Crue modérée
Période de retour de 5 ans	Crue forte
Période de retour de 10 ans	Crue très forte

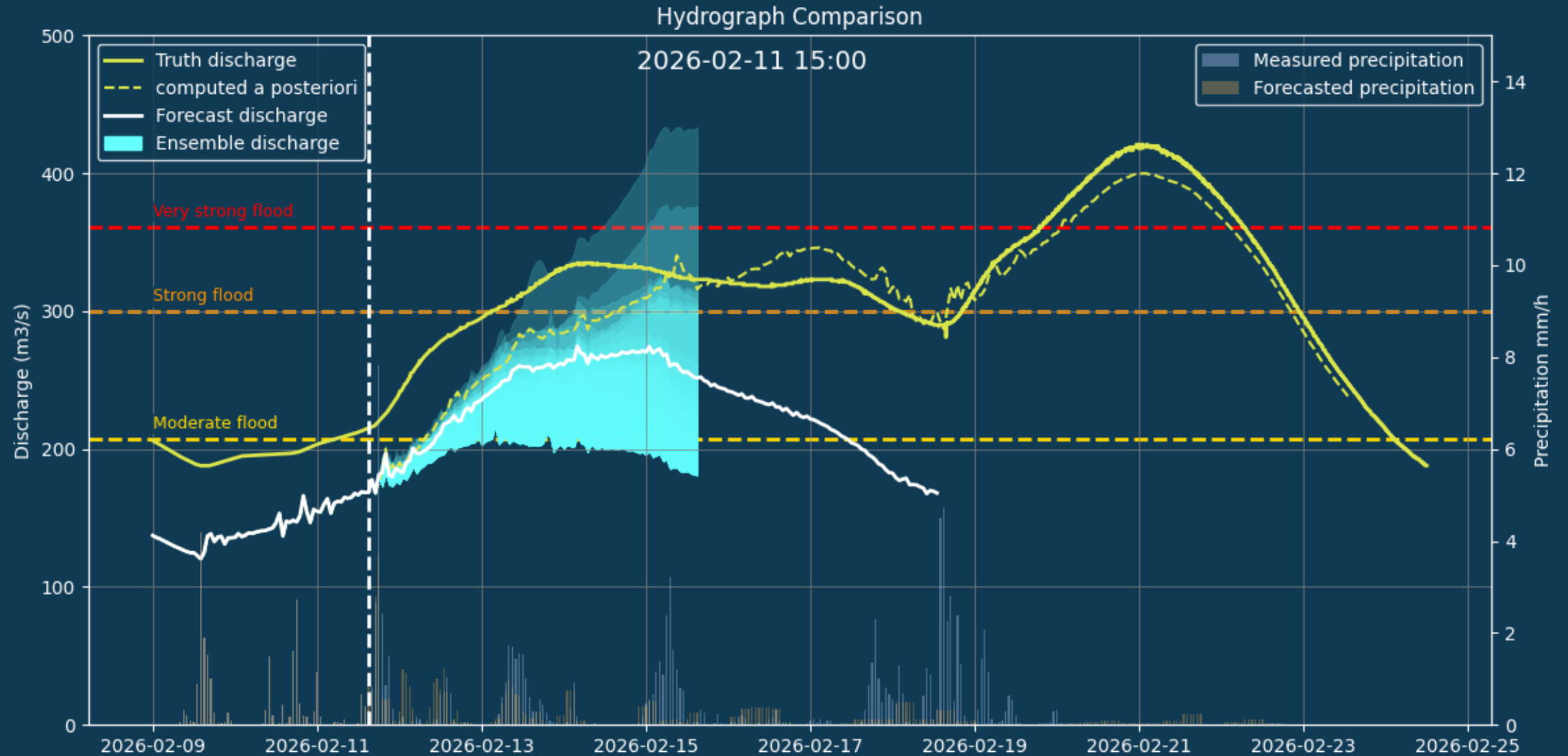


◆ Station hydrométrique

Données en prévision : AROME Prévision d'Ensemble + ECMWF

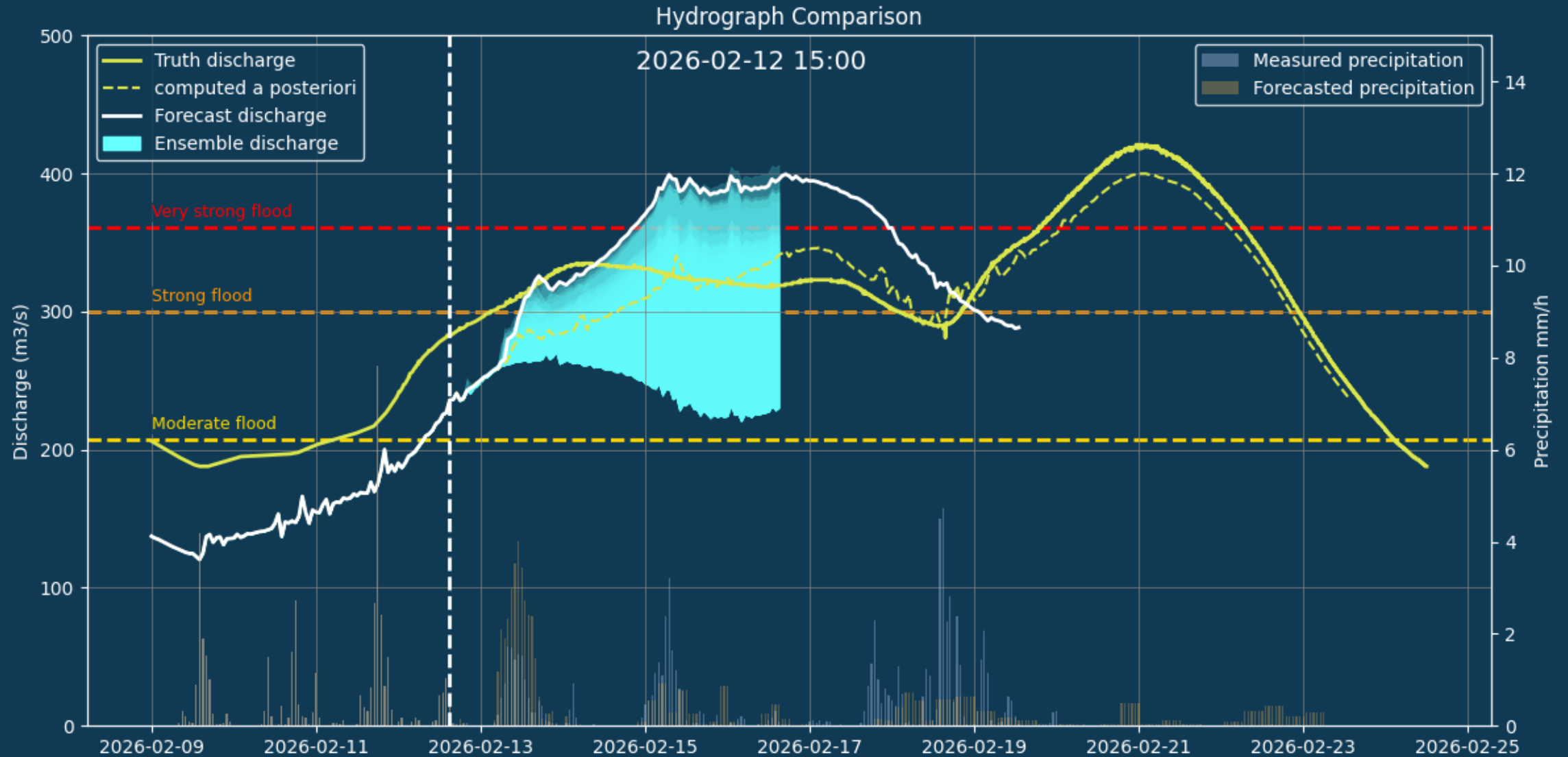
Exemples de prévision

la Vilaine



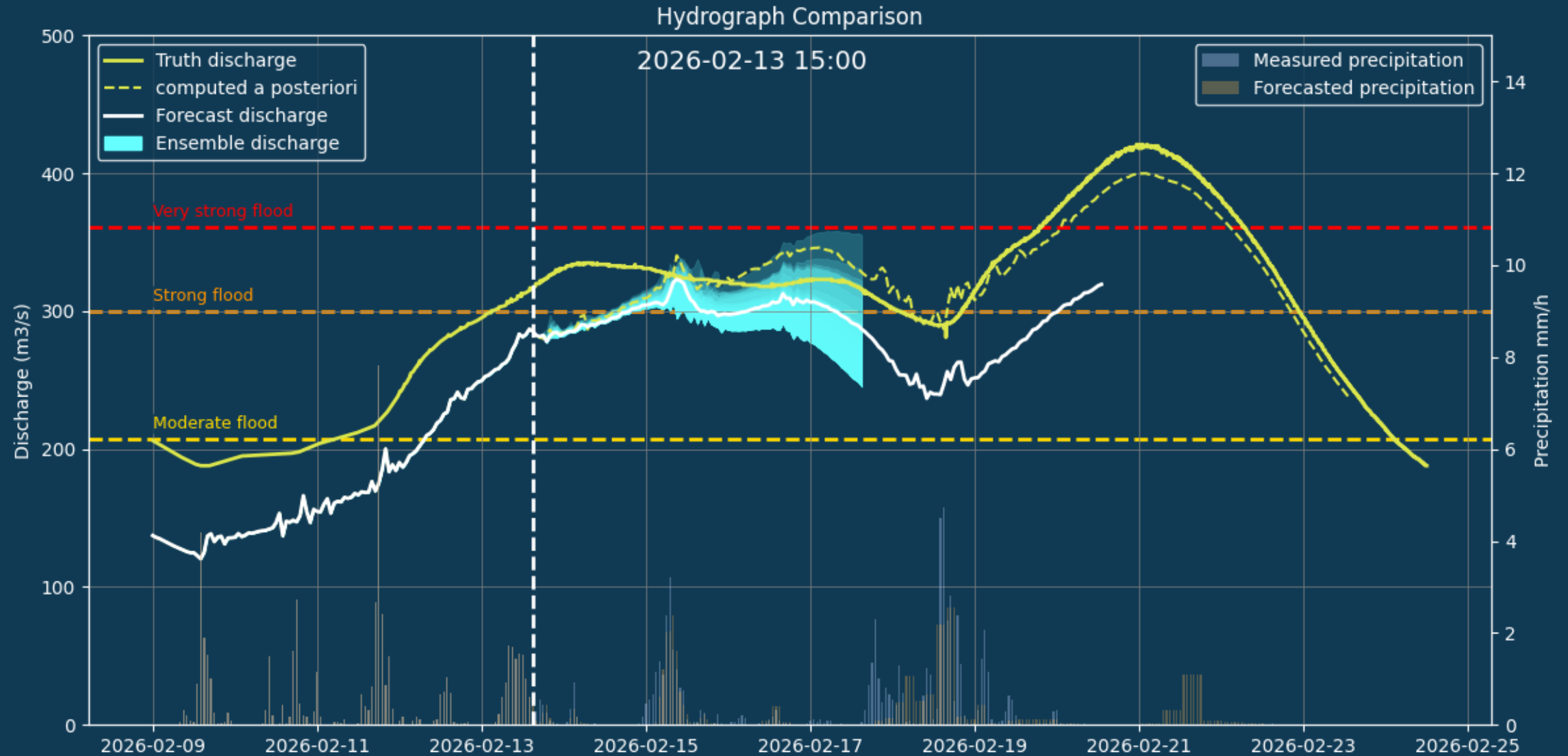
Exemples de prévision

la Vilaine



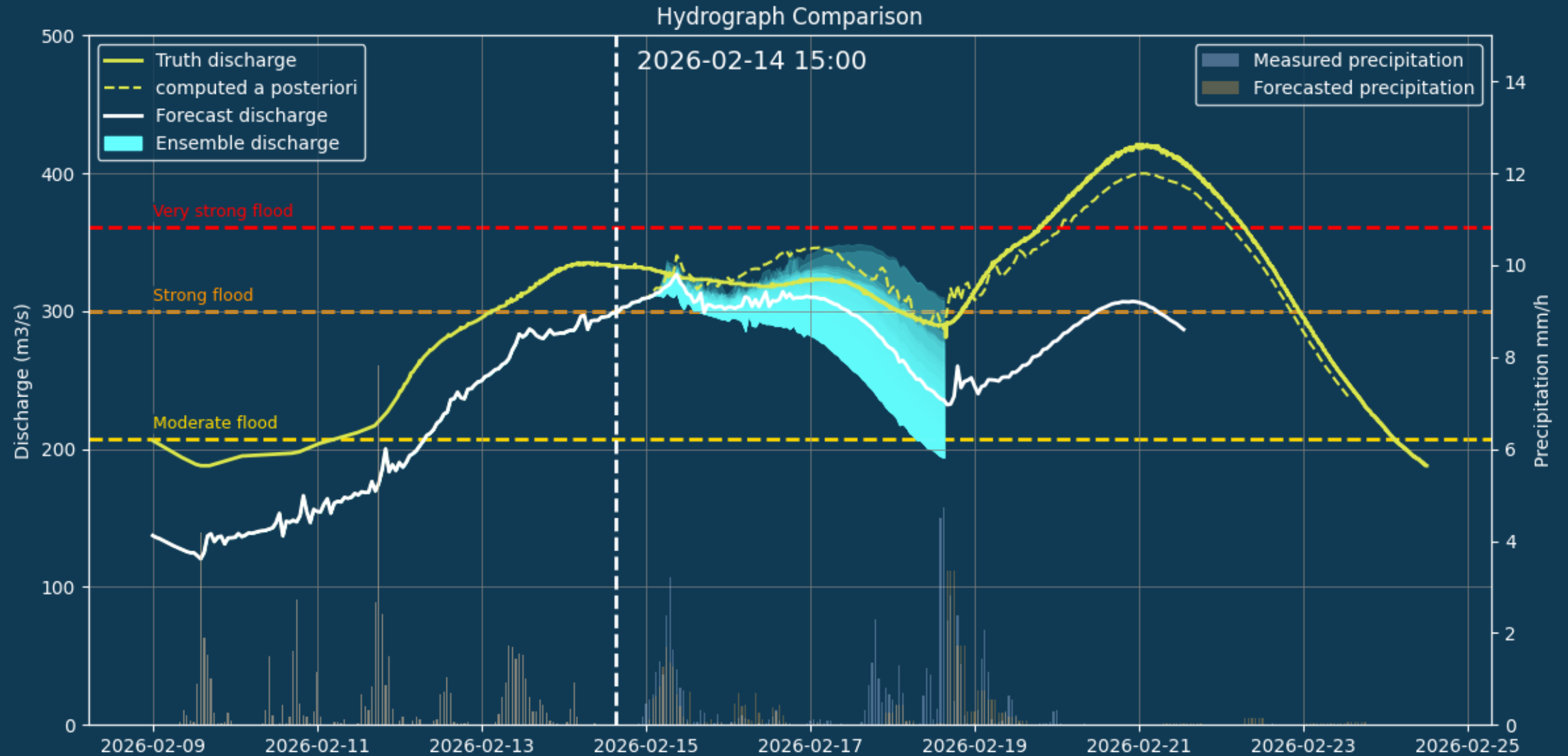
Exemples de prévision

la Vilaine



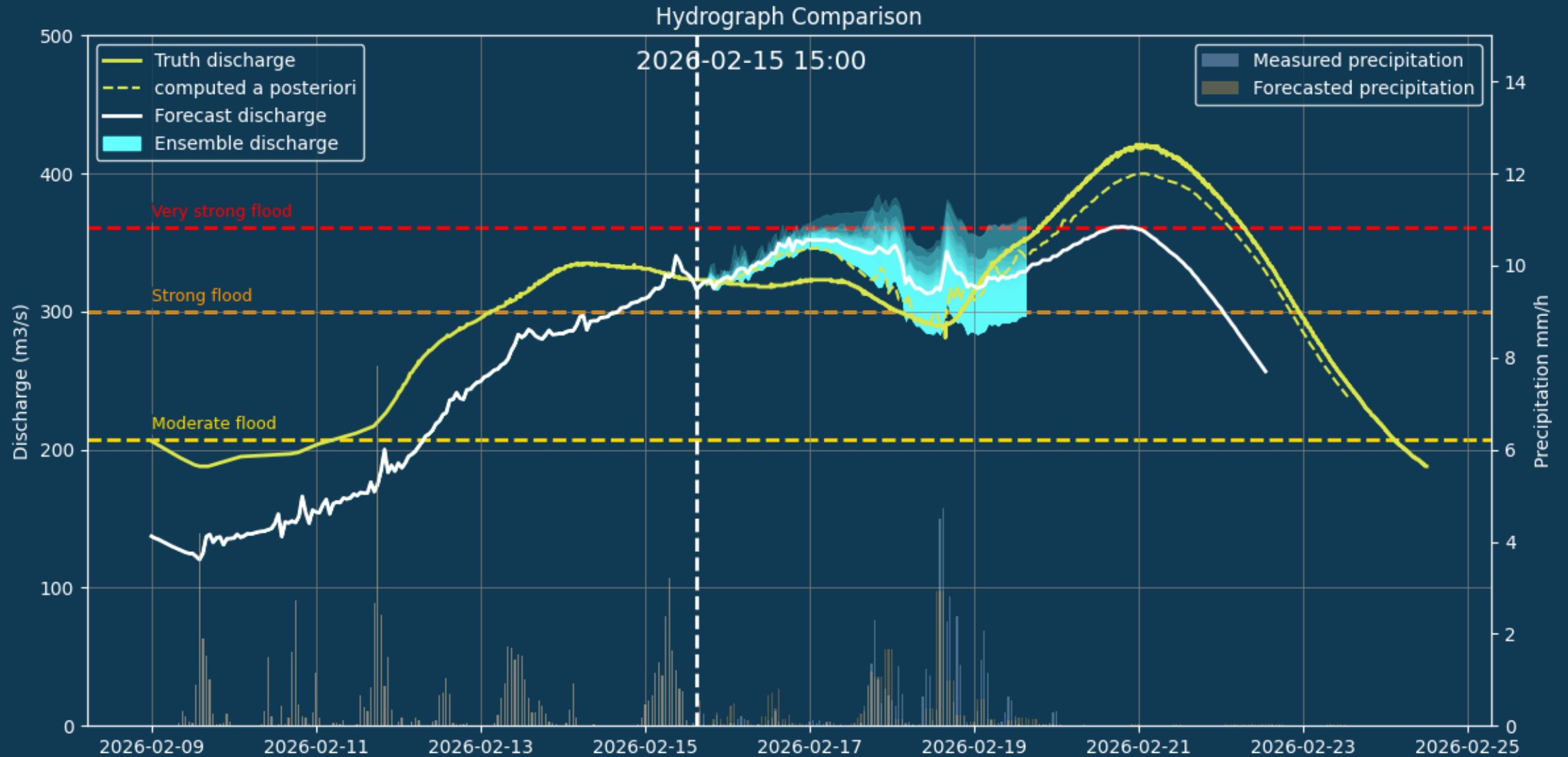
Exemples de prévision

la Vilaine



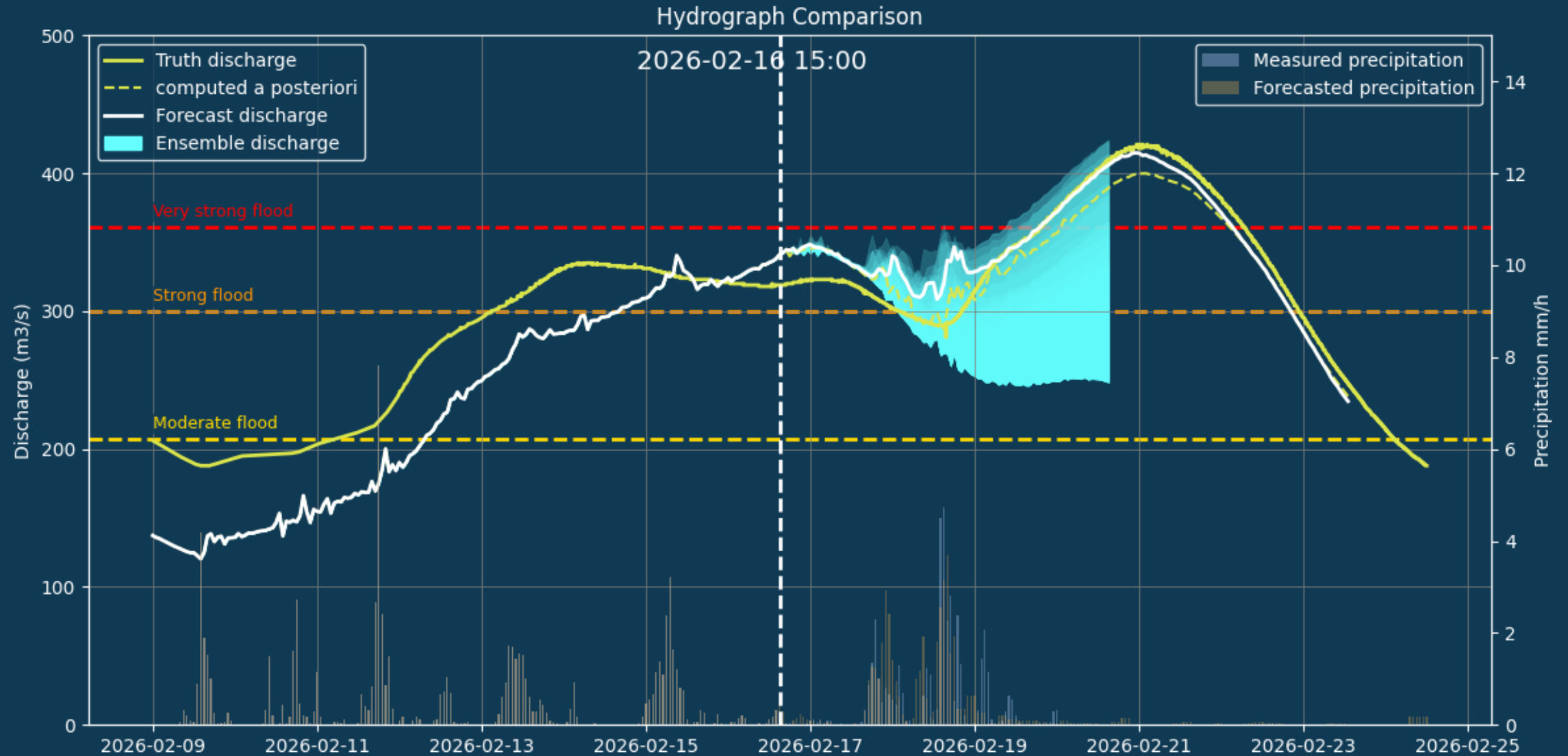
Exemples de prévision

la Vilaine



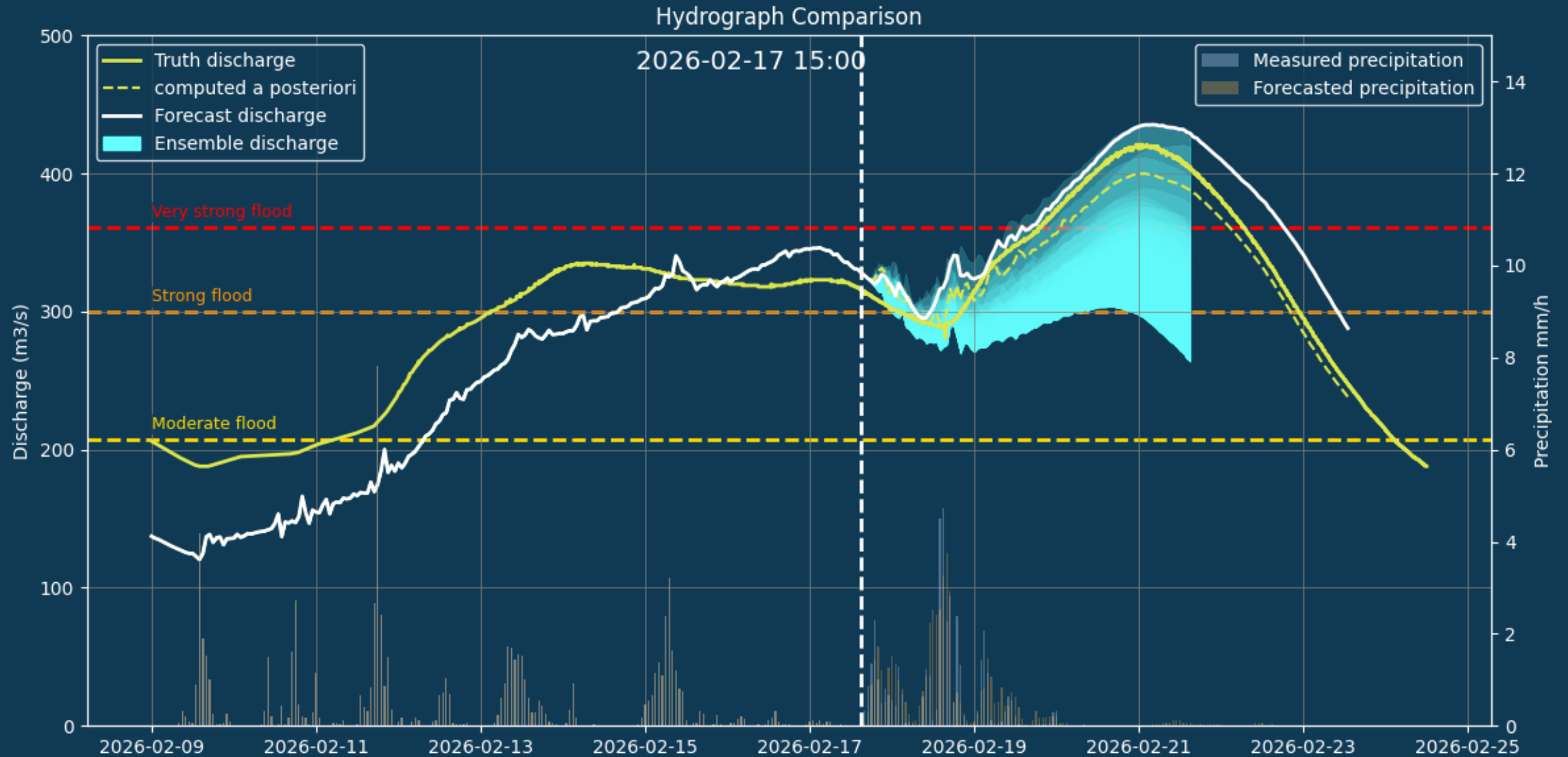
Exemples de prévision

la Vilaine



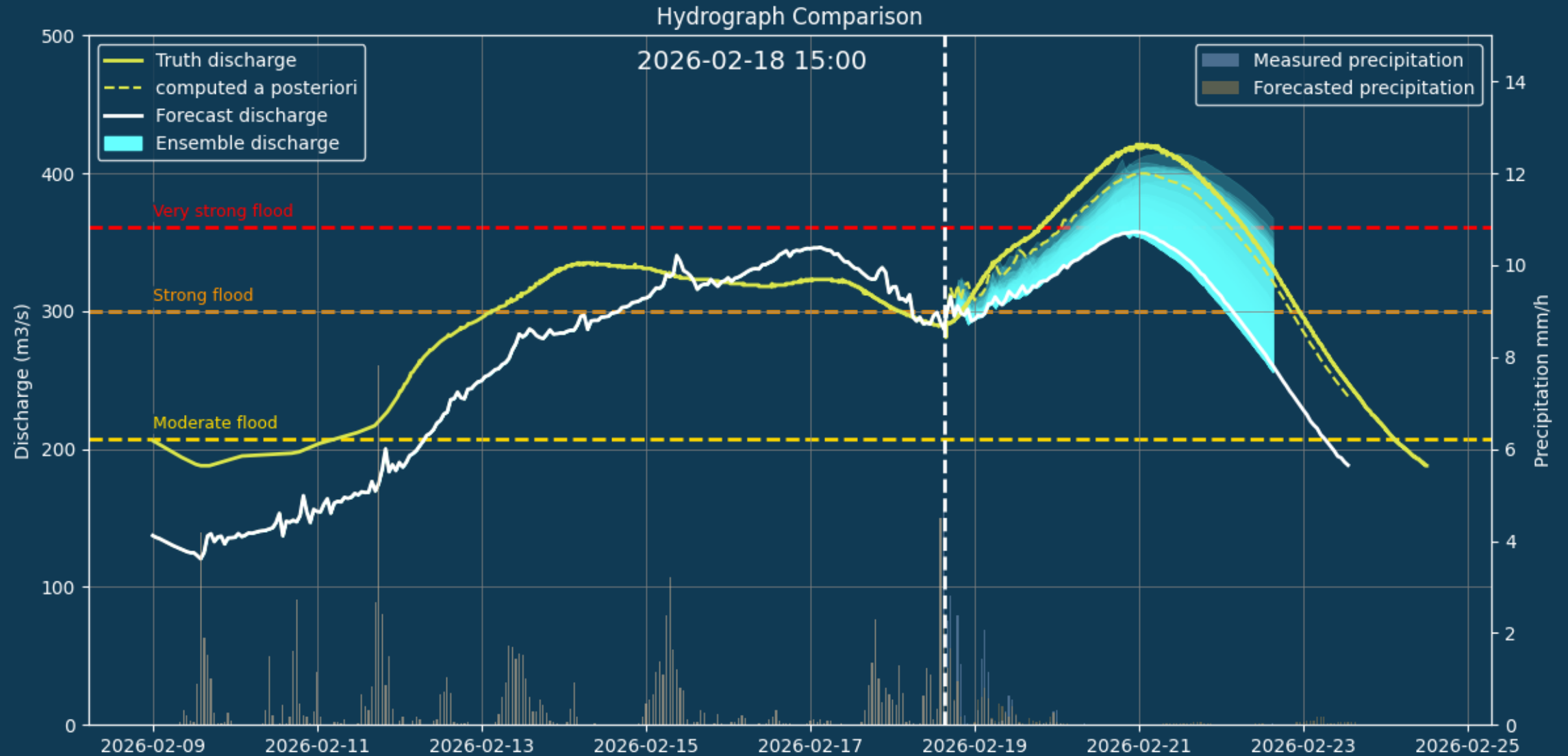
Exemples de prévision

la Vilaine



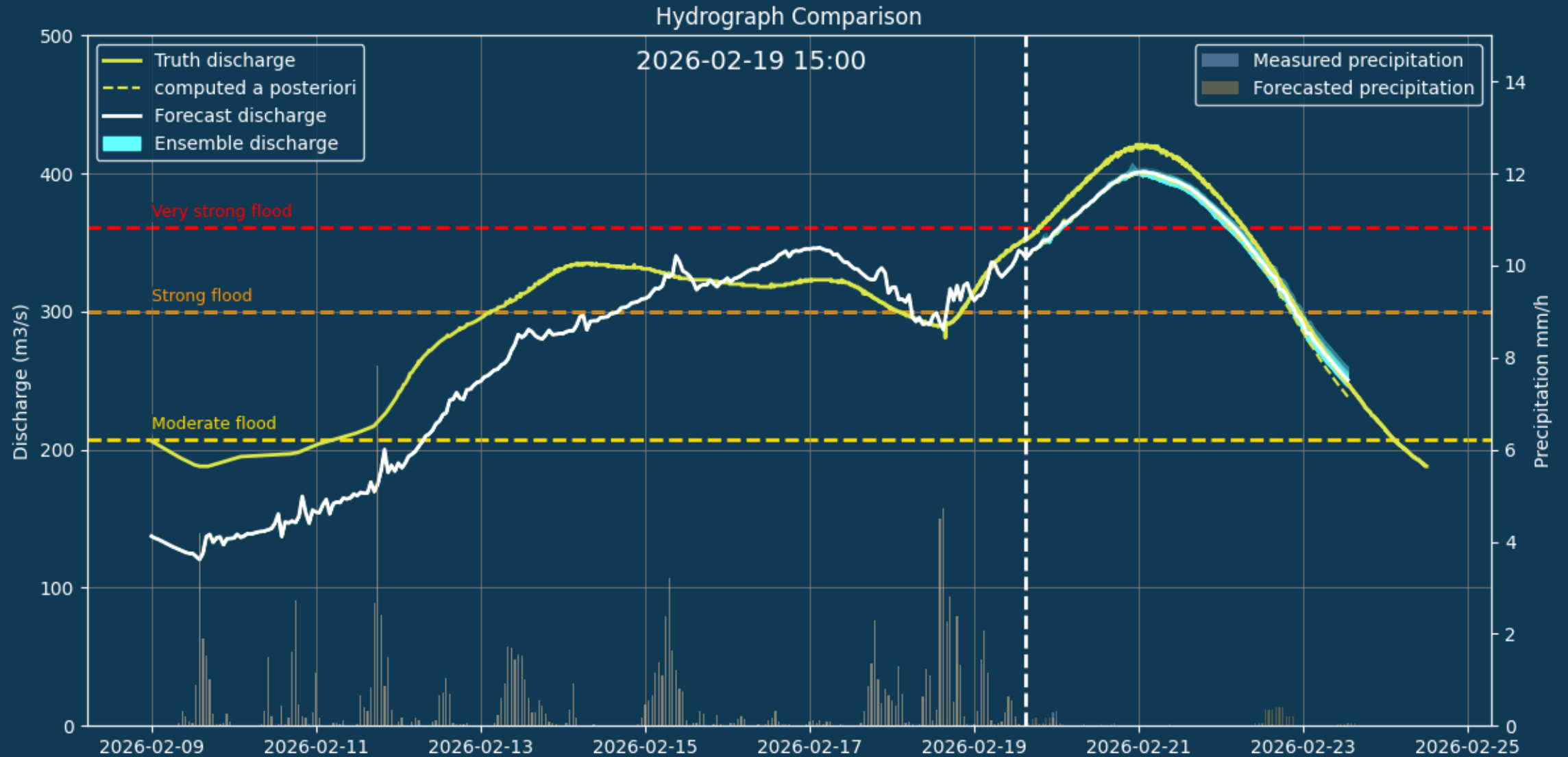
Exemples de prévision

la Vilaine



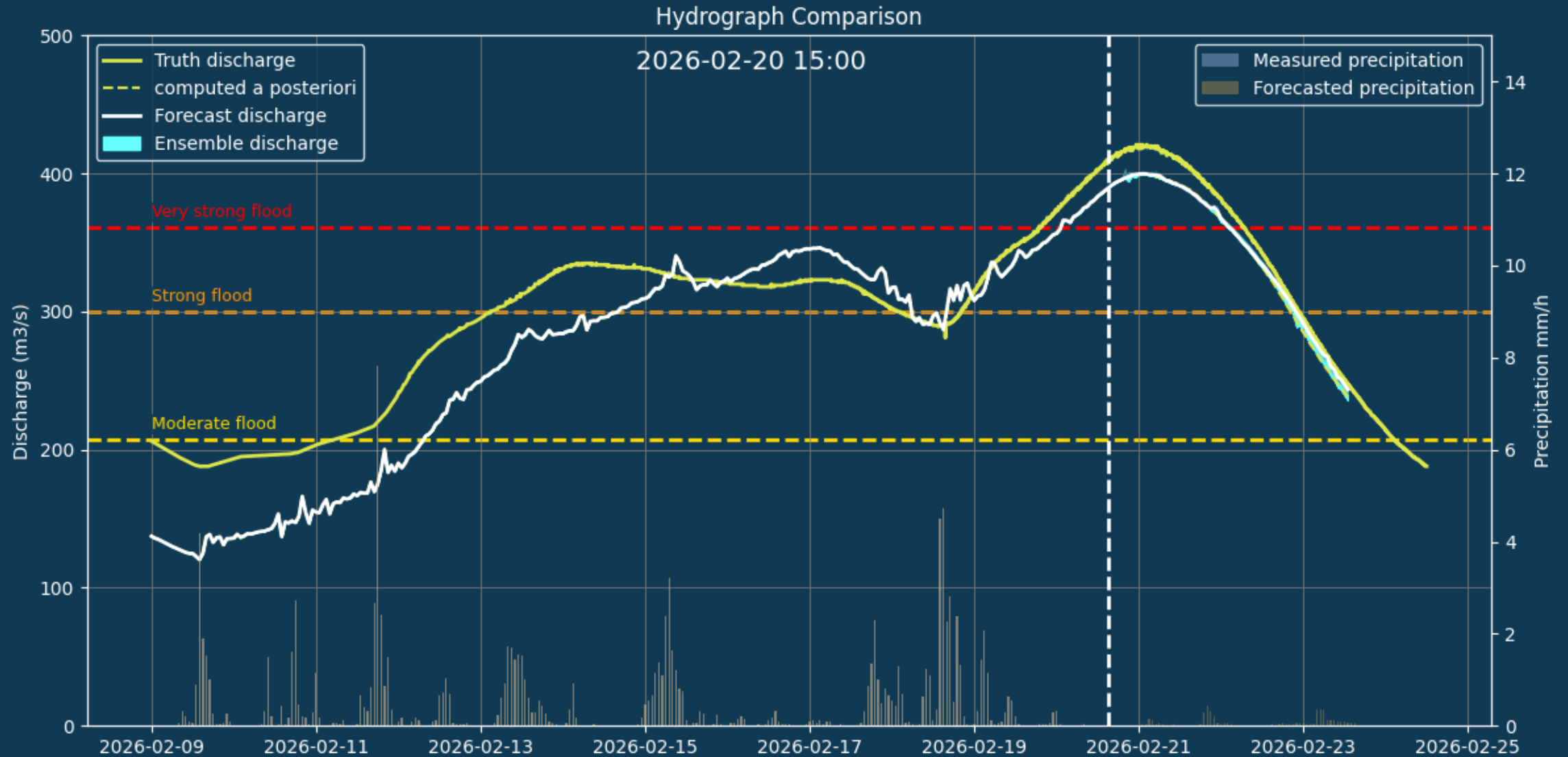
Exemples de prévision

la Vilaine



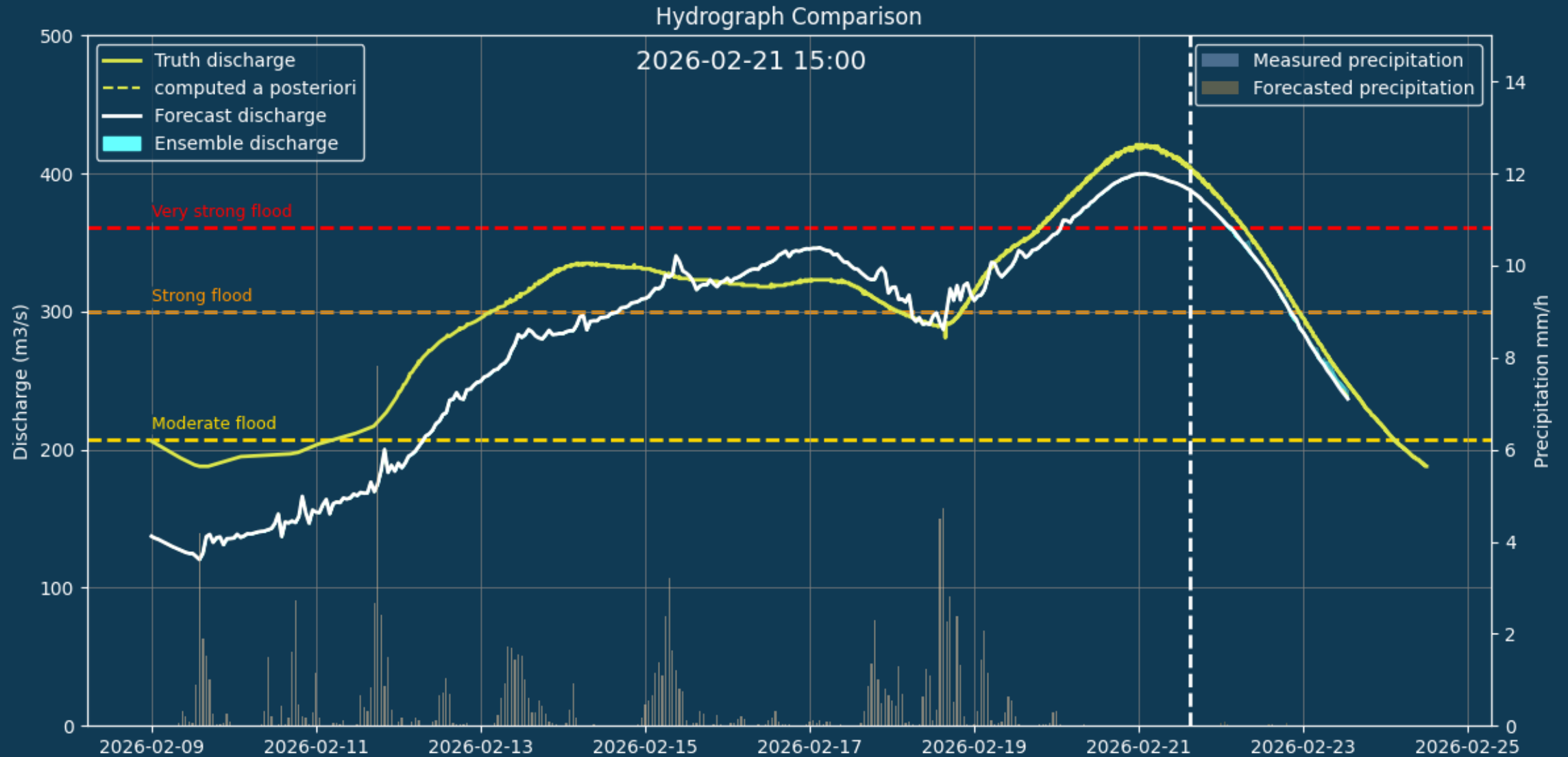
Exemples de prévision

la Vilaine



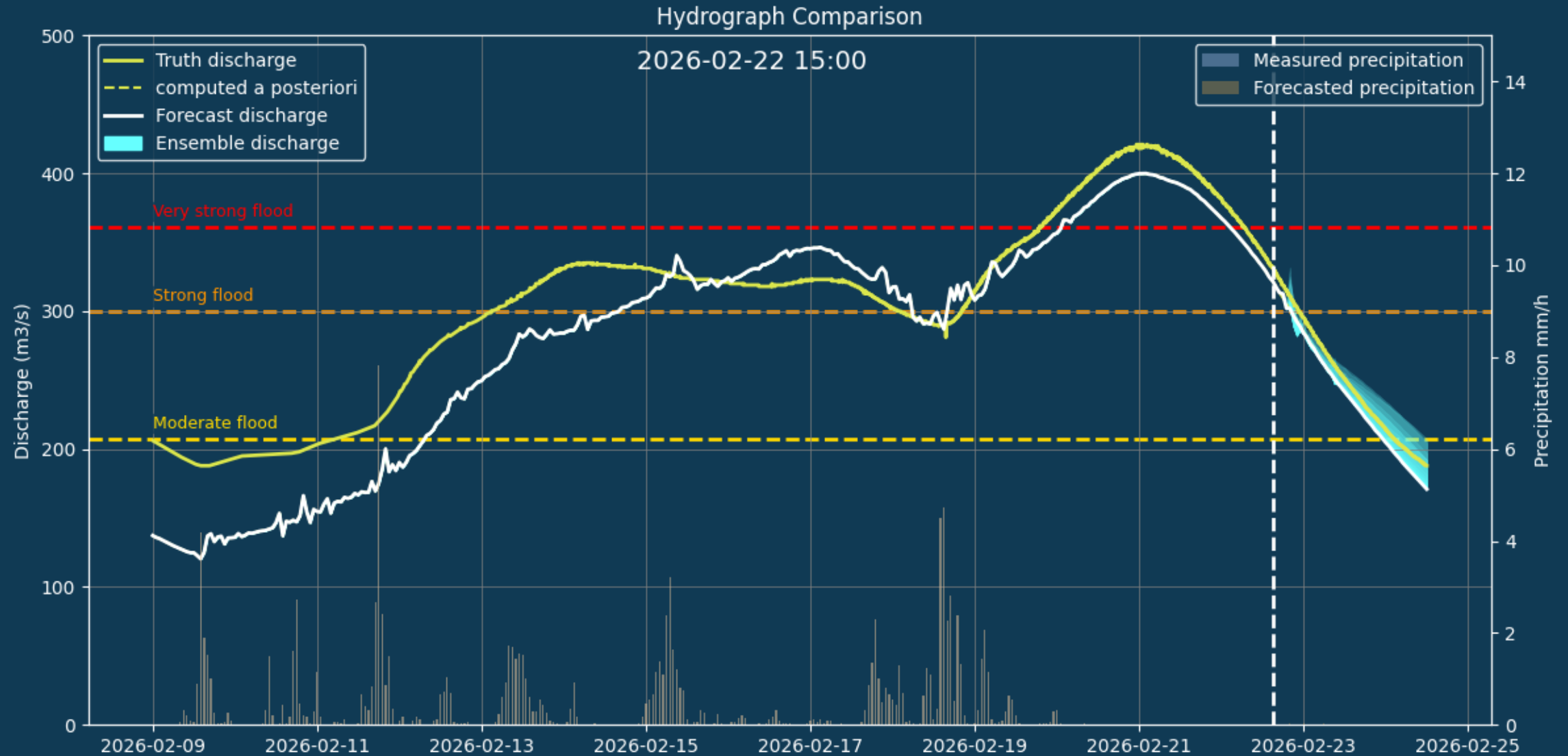
Exemples de prévision

la Vilaine



Exemples de prévision

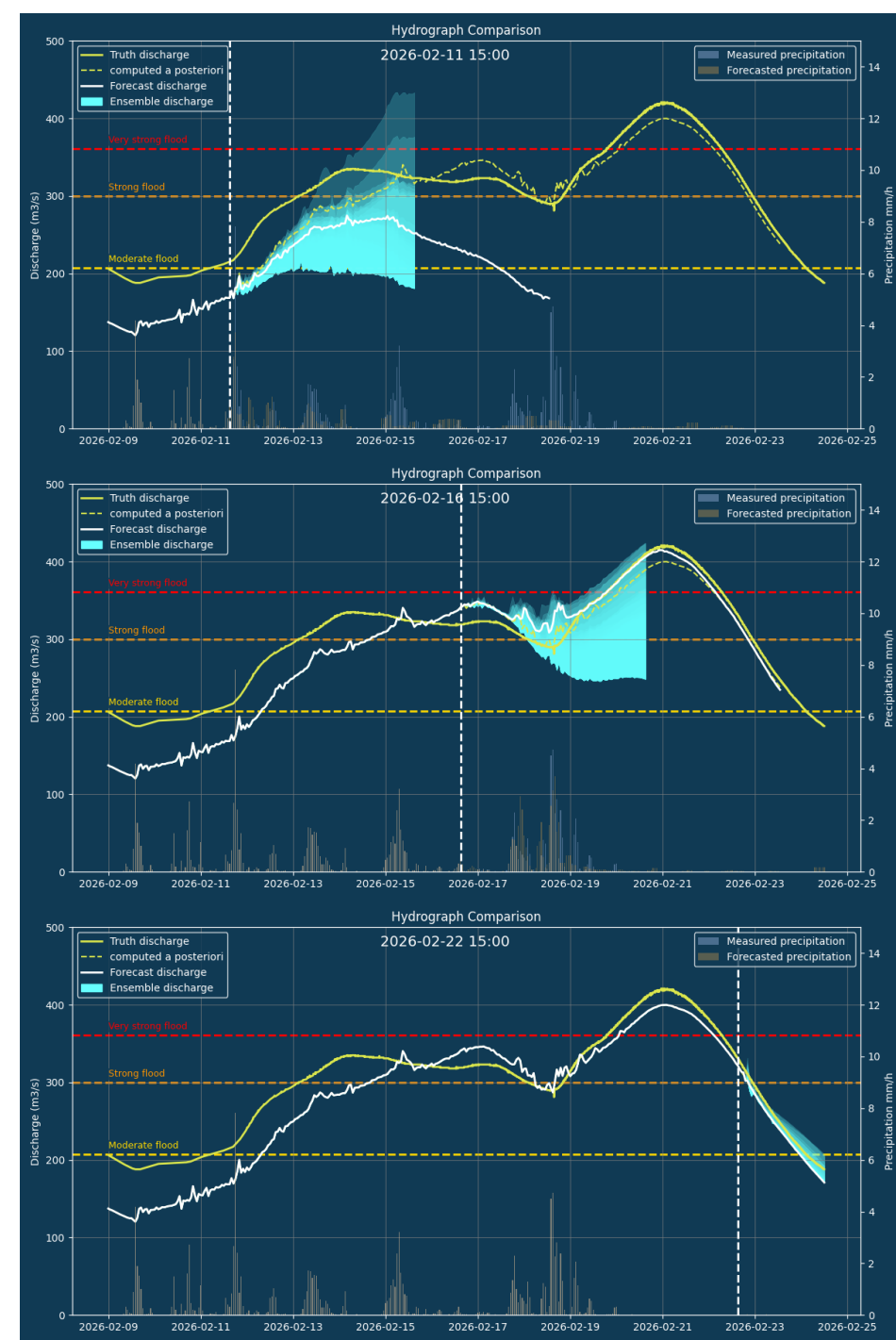
la Vilaine



Exemples de prévision la Vilaine

Bilan :

- Crue anticipée au moins 4 à 5 jours à l'avance
- Bonne modélisation du débit
- Ecart significatif au début
- Le résultat ensembliste englobe bien le débit à postérieur



Solution généralisable

Description des bassins versants

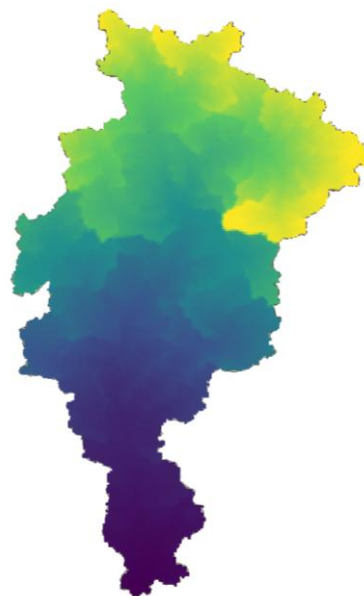
Données permettant de décrire la physique intrinsèque aux bassins versants
Occupation du sol, géomorphologie, la pédologie ...

Démarche semi automatisées : **Définition de l'exutoire et validation par un opérateur**



Exemple de données extraites :

- Contours du bassin versants
- Pente moyenne
- Plus long chemin hydraulique
- Altitude moyenne
- Occupation du sol
- Volume des lacs et réservoirs
- Partie limoneuse, argileuse et sablonneuse
- ...



Sources de données :



SRTM GL1¹
Shuttle Radar Topography
Mission
Global 1 arc

Base de données **hydroATLAS²**

¹ NASA JPL. (2013). *NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second* [Data set]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MEASURES/SRTM/SRTMGL1.003>

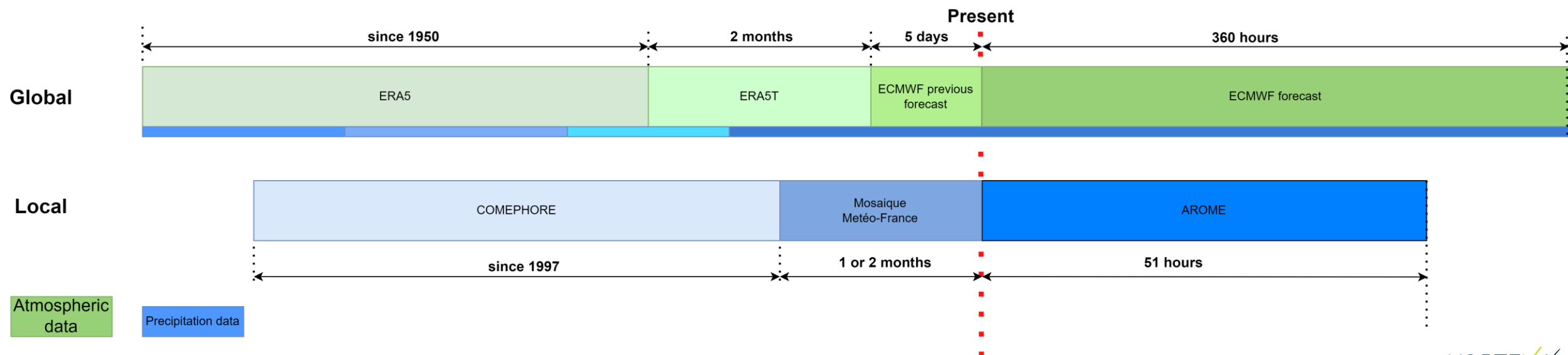
² Linke S., Lehner B., Ouellet Dallaire C., Ariwi J., Grill G., Anand M., Beames P., Burchard-Levine V., Maxwell S., Moidu H., Tan F. and Thieme M. (2019). Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high resolution.

Solution généralisable

Données atmosphériques globales et locales

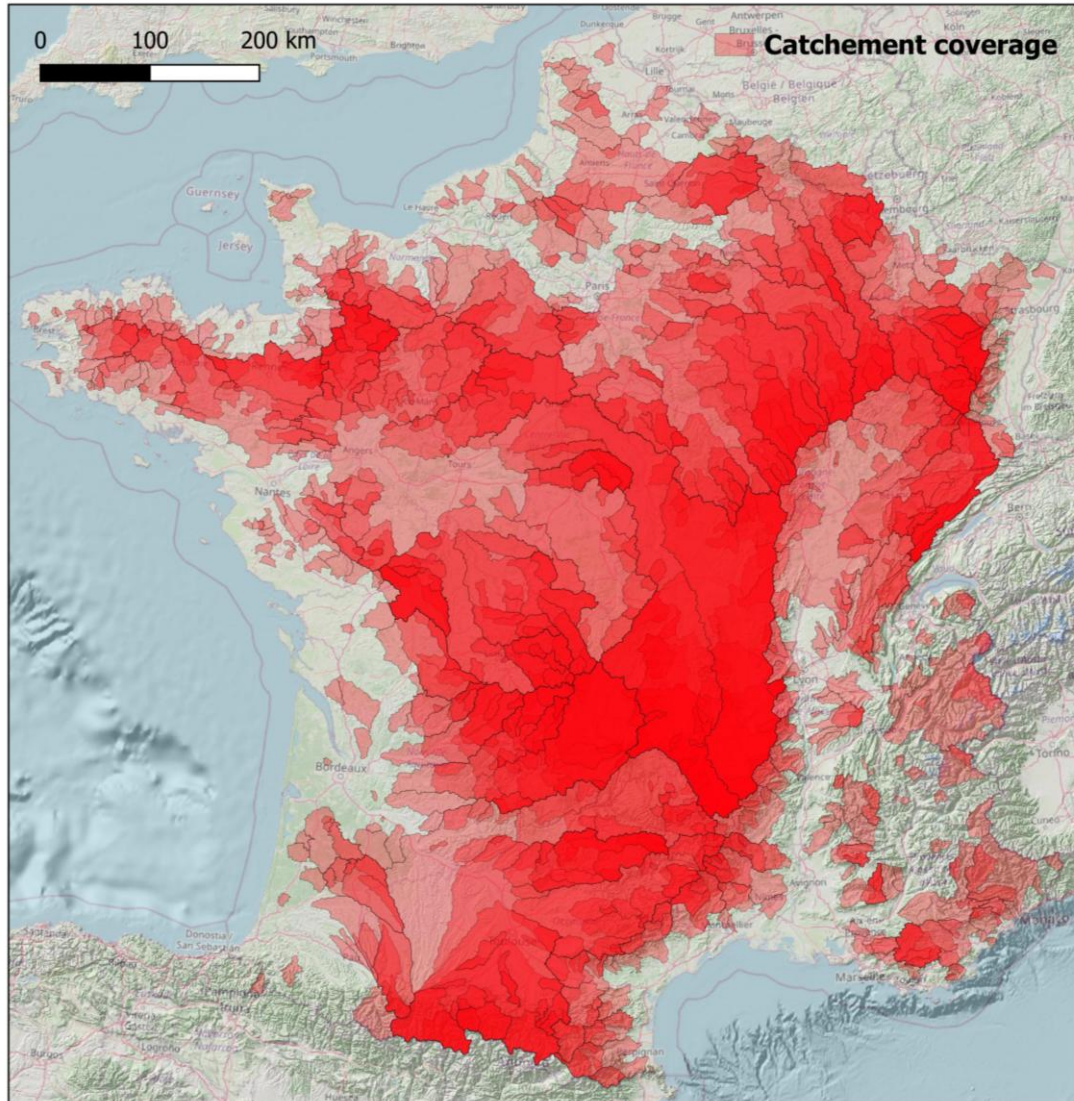


Importance de la temporalité :



Solution généralisable

Apprentissage sur une grande diversité de bassins versants



1200¹ bassins issus du réseau hydrométrique Français

Ventilation en fonction :

- de la localisation
- de la taille
- des pentes moyenne
- de l'occupation du sol

Solution généralisable

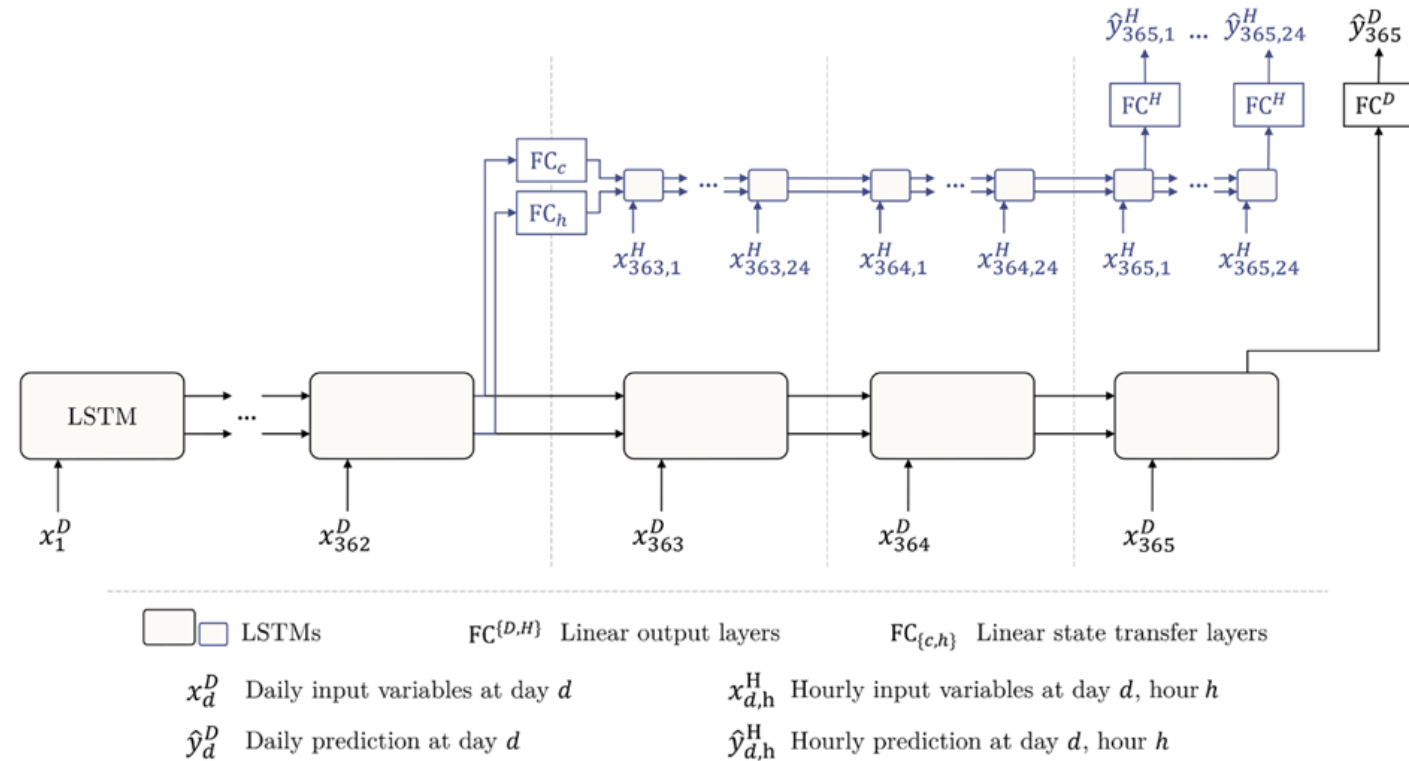
Modèle LSTM

LSTM idéal pour la modélisation des séries temporelles

Modèle adapté à la généralisation

Variante Multi Time Scale (MTS)

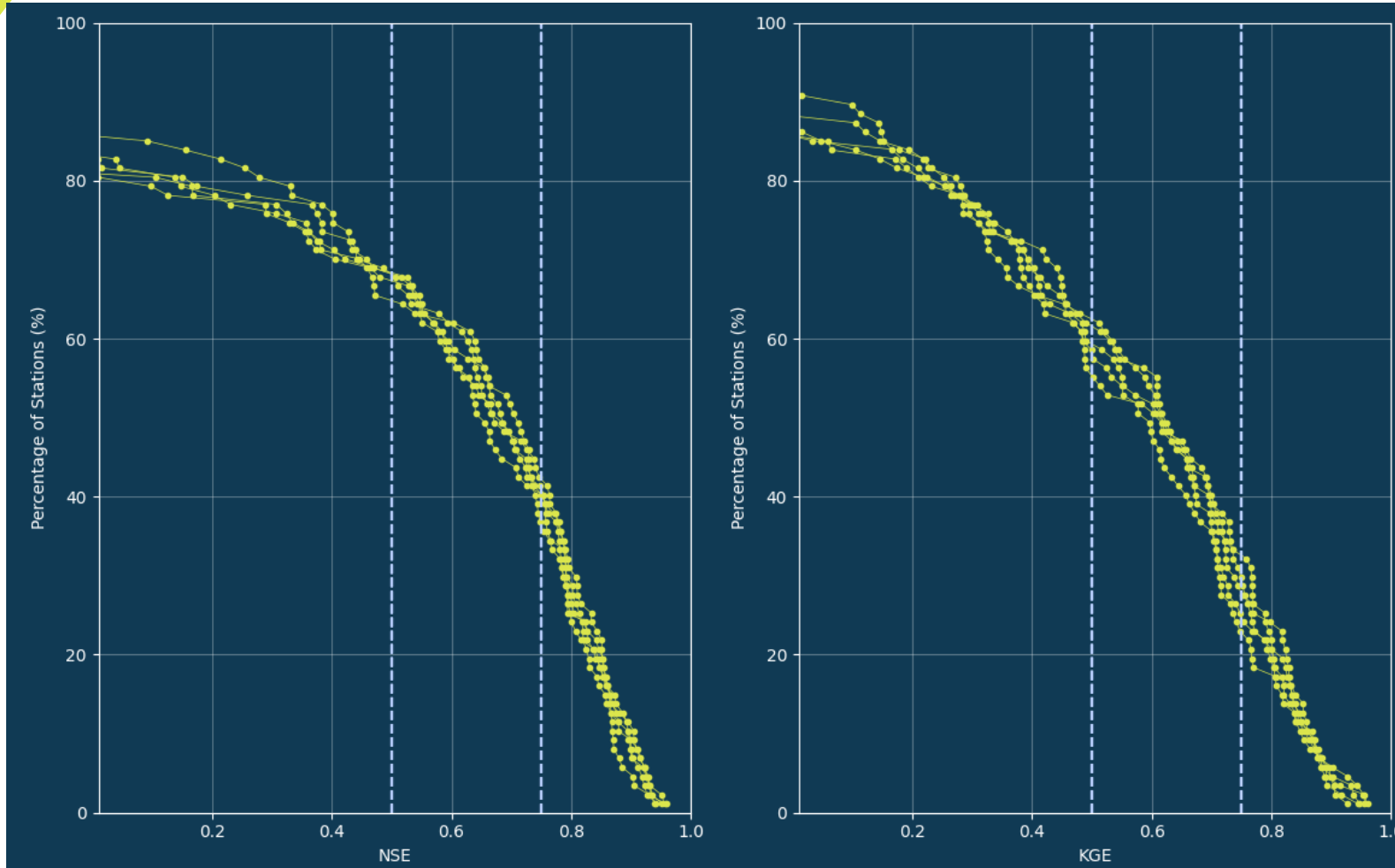
Mémoire des états hydriques proches et lointains



Architecture MTS-LSTM utilisant un modèle LSTM par pas de temps (Gauch, 2021)

Solution généralisable

Performance de l'apprentissage



Nash-Sutcliffe efficiency

- Médiane : 0,68
- Env. 65 % avec $NSE > 0,5$
- Env. 40 % avec $NSE > 0,75$

Kling-Gupta efficiency

- Médiane: 0,61
- Env. 60 % avec $KGE > 0,5$
- Env. 29 % un $KGE > 0,75$