

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

ANALYSE INDÉPENDANTE SUR LA GESTION DES  
VOIES HYDRAULIQUES LORS DES INTEMPÉRIES  
DE LA SEMAINE DU 12 JUILLET 2021

# TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction
2. Prévision météorologique, prévision hydrologique et prise de décision
3. Types de modèles de prévision
4. Interprétation et performance de prévisions probabilistes
5. Défis liés aux prévisions hydrologiques et le modèle Tethys
6. Prise de décision en cas de crue
7. Possibilité d'application à la Wallonie
8. Conclusion



### **Déclaration introductive:**

La prévision hydrologique est un sujet très complexe.

La prise de décision en cas de crue l'est encore plus.

L'objectif de cette présentation n'est donc pas de critiquer, mais simplement d'apporter des pistes qui pourront être utiles lors des décisions futures.

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

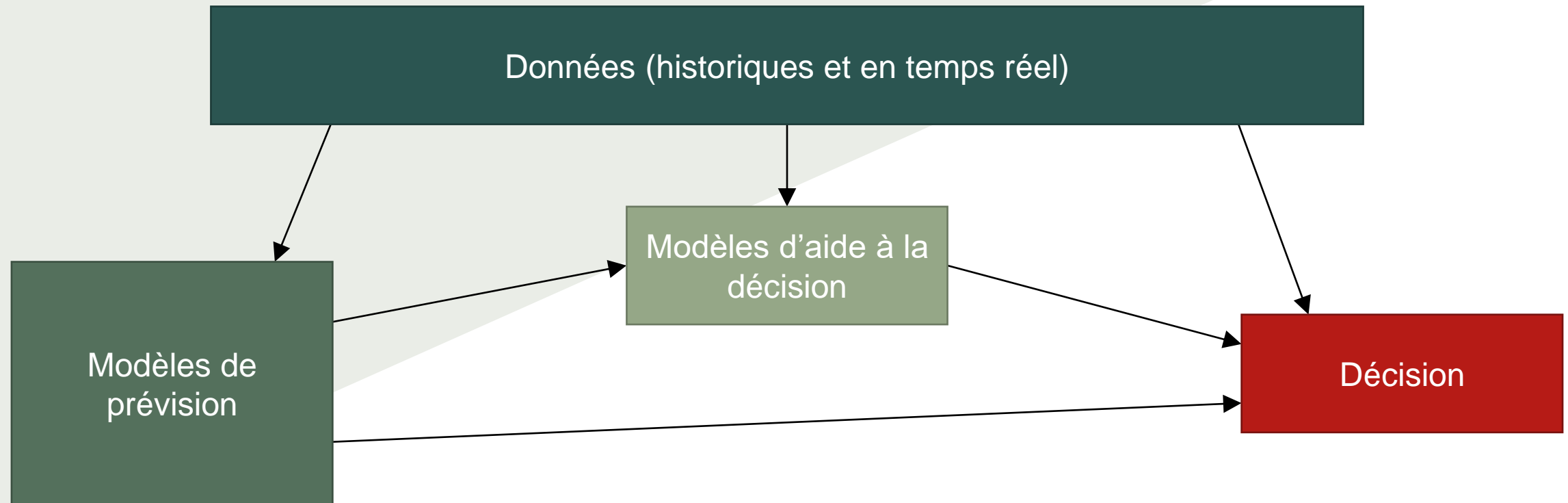
## INTRODUCTION

- > **De la prévision à la décision:**
  - > **Une bonne décision en cas de crue dépend d'information fiable, précise et de passible d'une interprétation simple et rapide.**
  - > **Des informations utiles viennent normalement de:**
    - > **Mesures de pluie et/ou débit en temps réel ou quasi-réel.**
    - > **Modèles de prévision météorologiques et/ou hydrologiques.**
- > **La modélisation et la prise de décision peuvent être découplées.**
  - > Bien sûr, des modèles de prévision très performants aident à prendre des bonnes décisions, néanmoins...
  - > Des bonnes décisions peuvent être prises dans un cadre d'information manquante.
  - > Des mauvaises décisions peuvent être prises malgré la disponibilité de information.

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## INTRODUCTION

- > C'est une erreur de croire que les capacités de prévision sont directement liées au processus de prise de décision.



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## INTRODUCTION

- > Origine et applications du modèle Tethys.
- > Préoccupations avec la prise de décision en cas de crue.

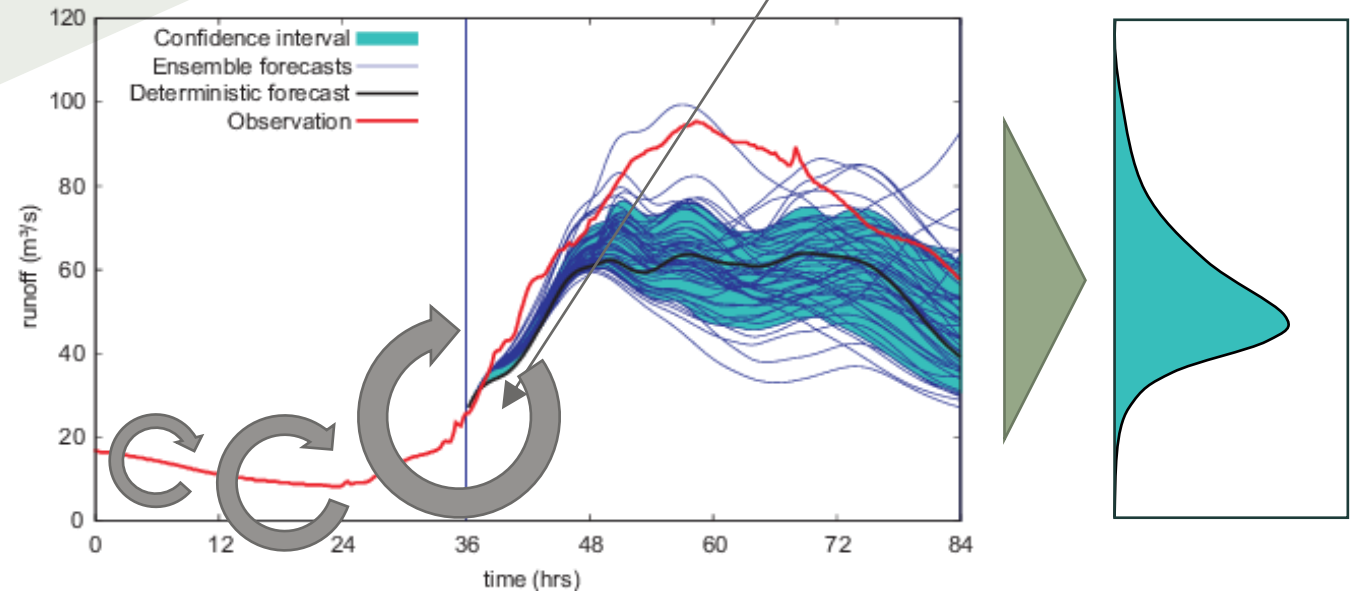
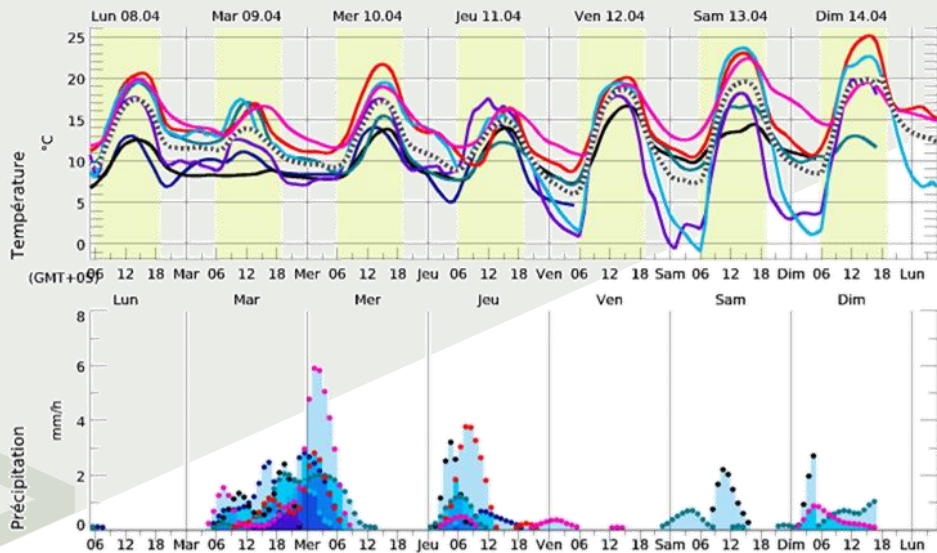


# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRÉVISION MÉTÉOROLOGIQUE, PRÉVISION HYDROLOGIQUE ET PRISE DE DÉCISION

- Démarche typique des systèmes de prévision hydrologique
  - Prévisions météorologiques d'ensembles.
  - Modèle(s) hydrologique(s).
- Et éventuellement:
  - Correction des biais (post-traitement).
  - Aide à la décision.

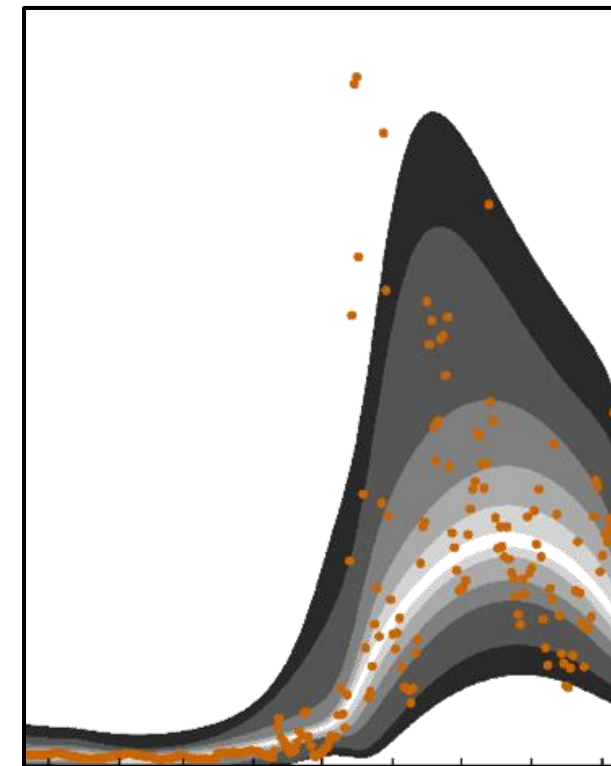
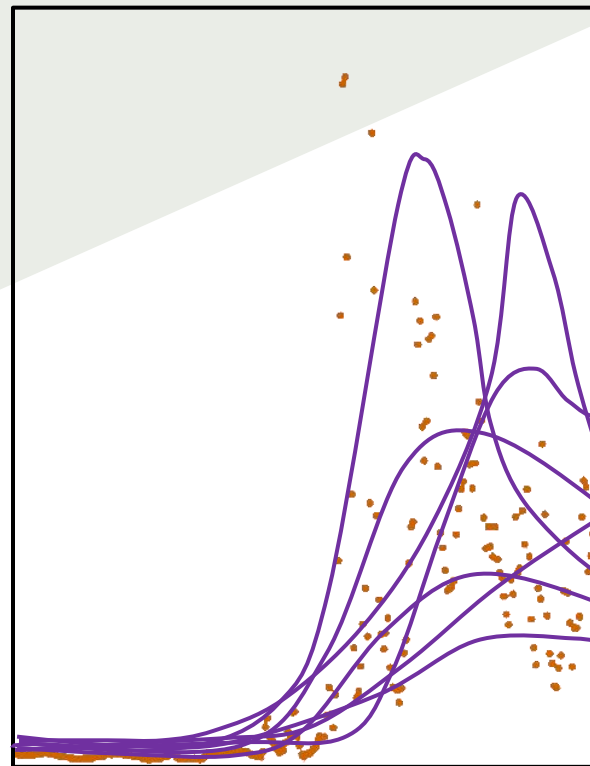
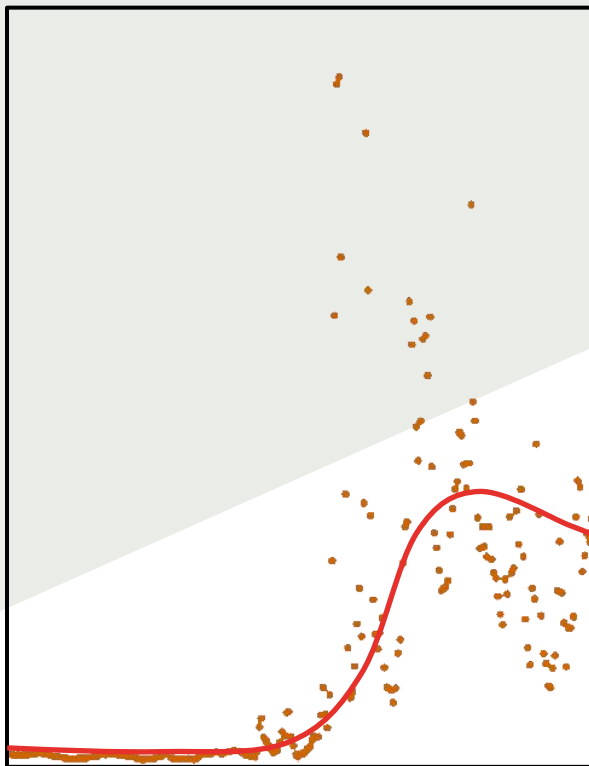
- Tourner le modèle hydrologique pour chaque membre de l'ensemble météorologique.
- Réajuster les paramètres internes du modèle à chaque pas de temps.



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## TYPES DE MODÈLES DE PRÉVISION

- > Plusieurs options. Les suivantes catégories peuvent être signalées:
  - > **Déterministes.**
  - > **Possibilistes.**
  - > **Probabilistes.**





# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## INTERPRÉTATION ET PERFORMANCE DE PRÉVISIONS PROBABILISTES

- > **Comment calculer la performance d'un modèle de prévision?**
  - > **Evaluation unidimensionnelle:**
    - > **Erreur quadratique moyenne, coefficient de Nash–Sutcliffe, CRPS (*continuous-ranked probability score*), indice de Brier ...**
  - > **Evaluation bidimensionnelle:**
    - > **Résolution.**

**Le plus fine la prévision, le plus de résolution elle a. Une prévision probabiliste à une résolution infinie.**
    - > **Fiabilité.**

**Correspondent les probabilités prévues aux observations (statistiquement parlant)?**

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## INTERPRÉTATION ET PERFORMANCE DE PRÉVISIONS PROBABILISTES

- > **Comment calculer la performance d'un modèle de prévision?**
  - > **Evaluation unidimensionnelle:**
    - > **Erreur quadratique moyenne, coefficient de Nash–Sutcliffe, CRPS (*continuous-ranked probability score*), indice de Brier ...**
  - > **Evaluation bidimensionnelle:**
    - > **Résolution.**

**Le plus fine la prévision, le plus de résolution elle a. Une prévision probabiliste à une résolution infinie.**
    - > **Fiabilité.**

**Correspondent les probabilités prévues aux observations (statistiquement parlant)?**

WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 46, W05521, doi:10.1029/2009WR008328, 2010

### **Understanding predictive uncertainty in hydrologic modeling: The challenge of identifying input and structural errors**

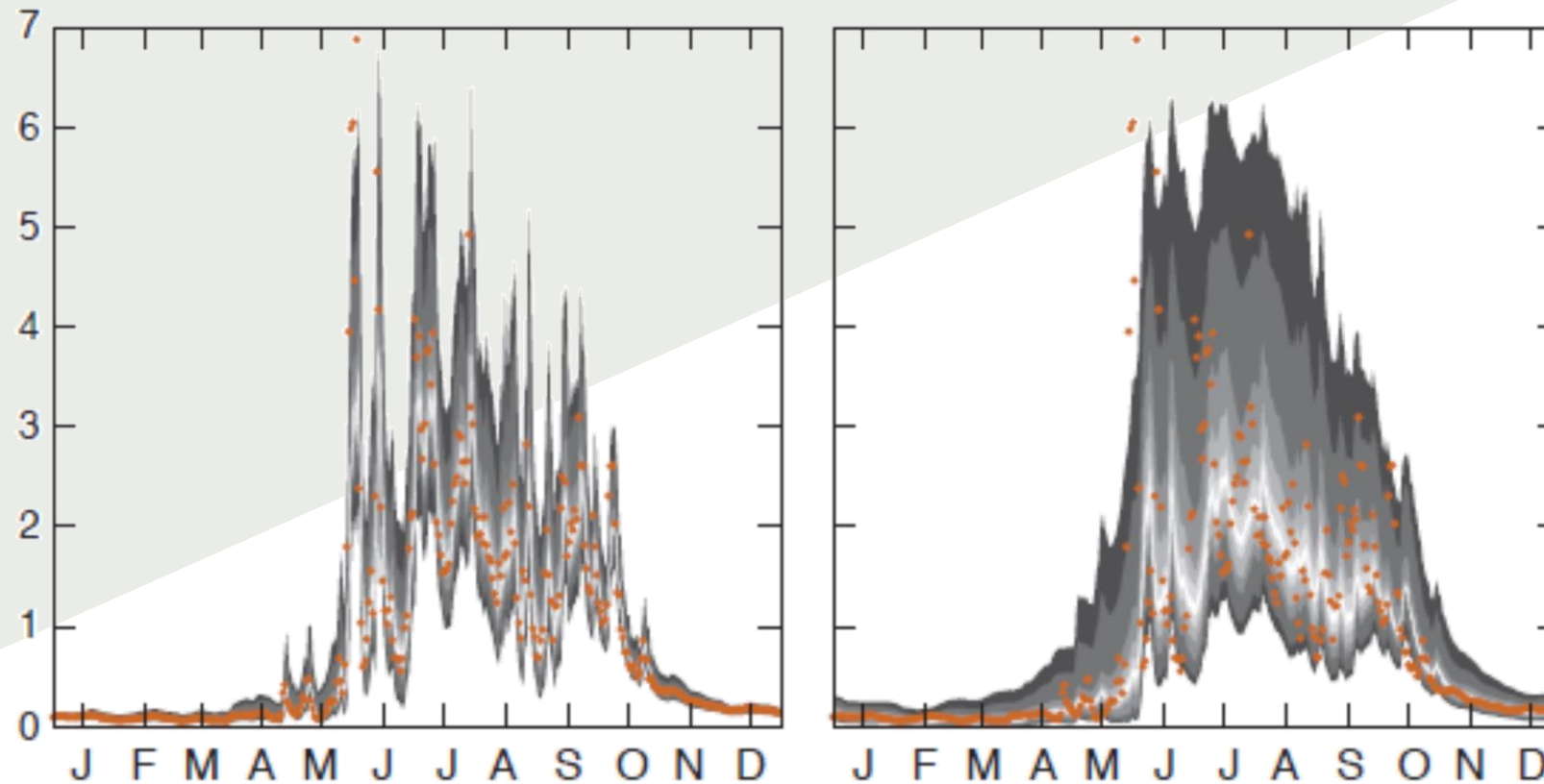
Benjamin Renard,<sup>1</sup> Dmitri Kavetski,<sup>2</sup> George Kuczera,<sup>2</sup> Mark Thyer,<sup>2</sup>  
and Stewart W. Franks<sup>2</sup>

Received 24 June 2009; revised 5 November 2009; accepted 2 December 2009; published 20 May 2010.

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## INTERPRÉTATION ET PERFORMANCE DE PRÉVISIONS PROBABILISTES

### > Résolution



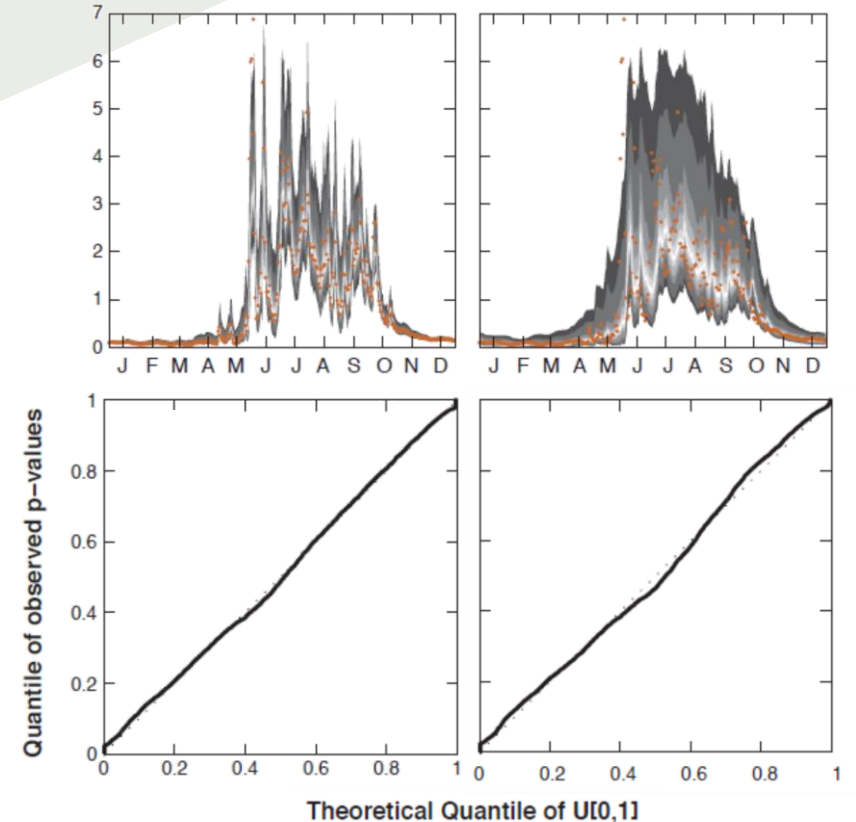
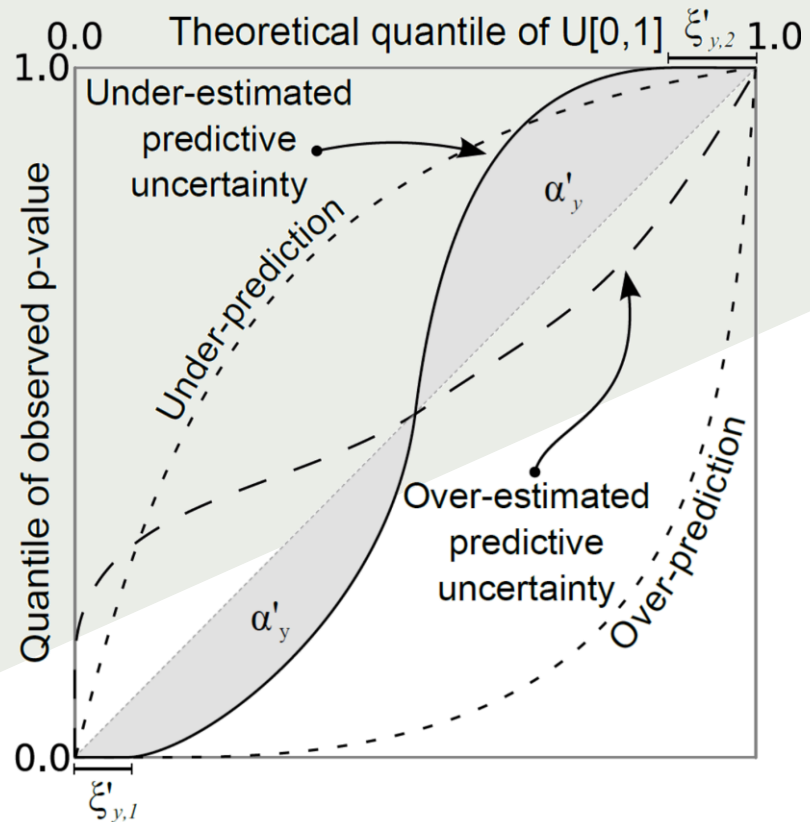
# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## INTERPRÉTATION ET PERFORMANCE DE PRÉVISIONS PROBABILISTES

### > Fiabilité:

### > Diagramme quantile-quantile

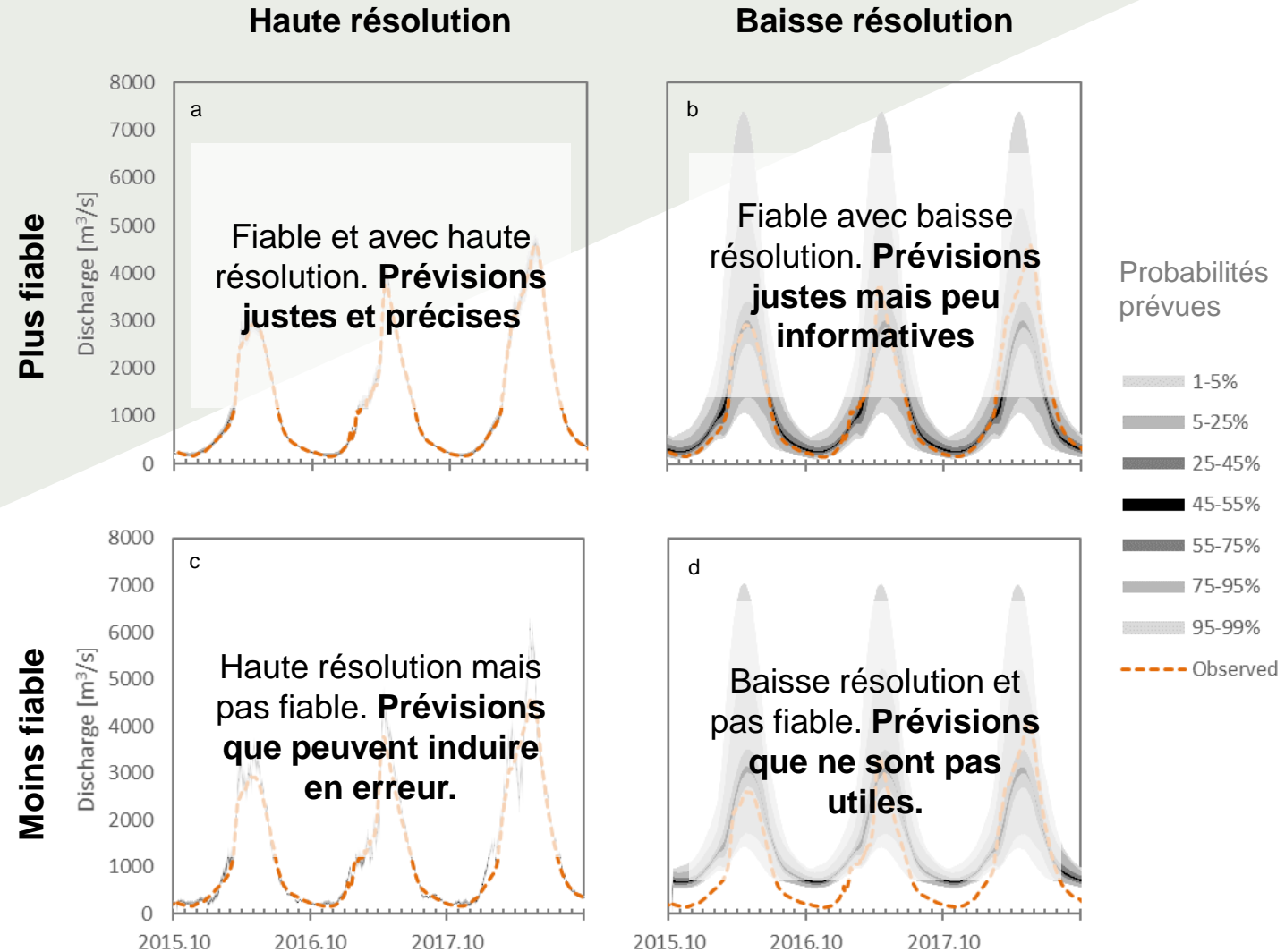
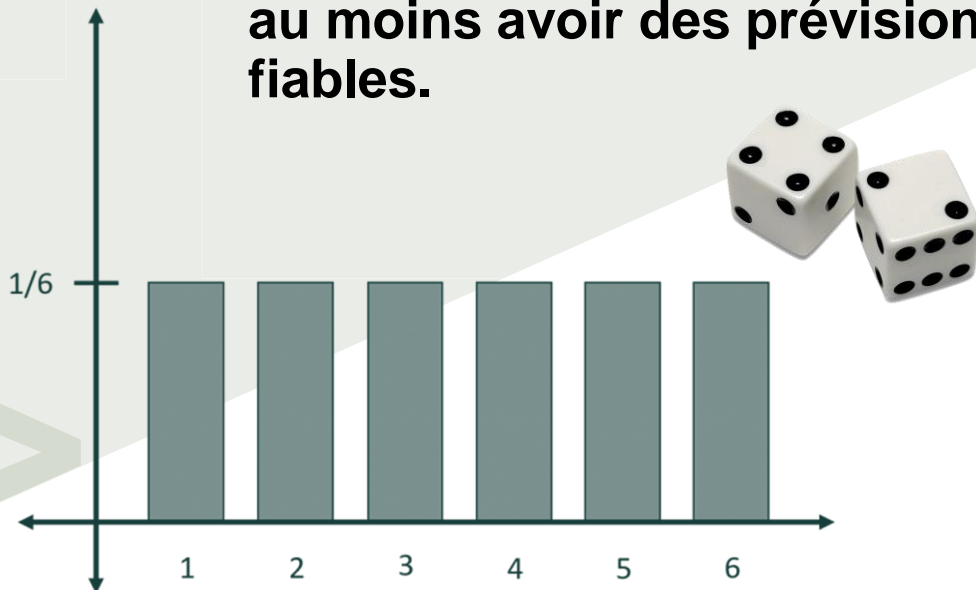
Résolution et fiabilité ne sont pas toujours liées.



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## INTERPRÉTATION ET PERFORMANCE DE PRÉVISIONS PROBABILISTES

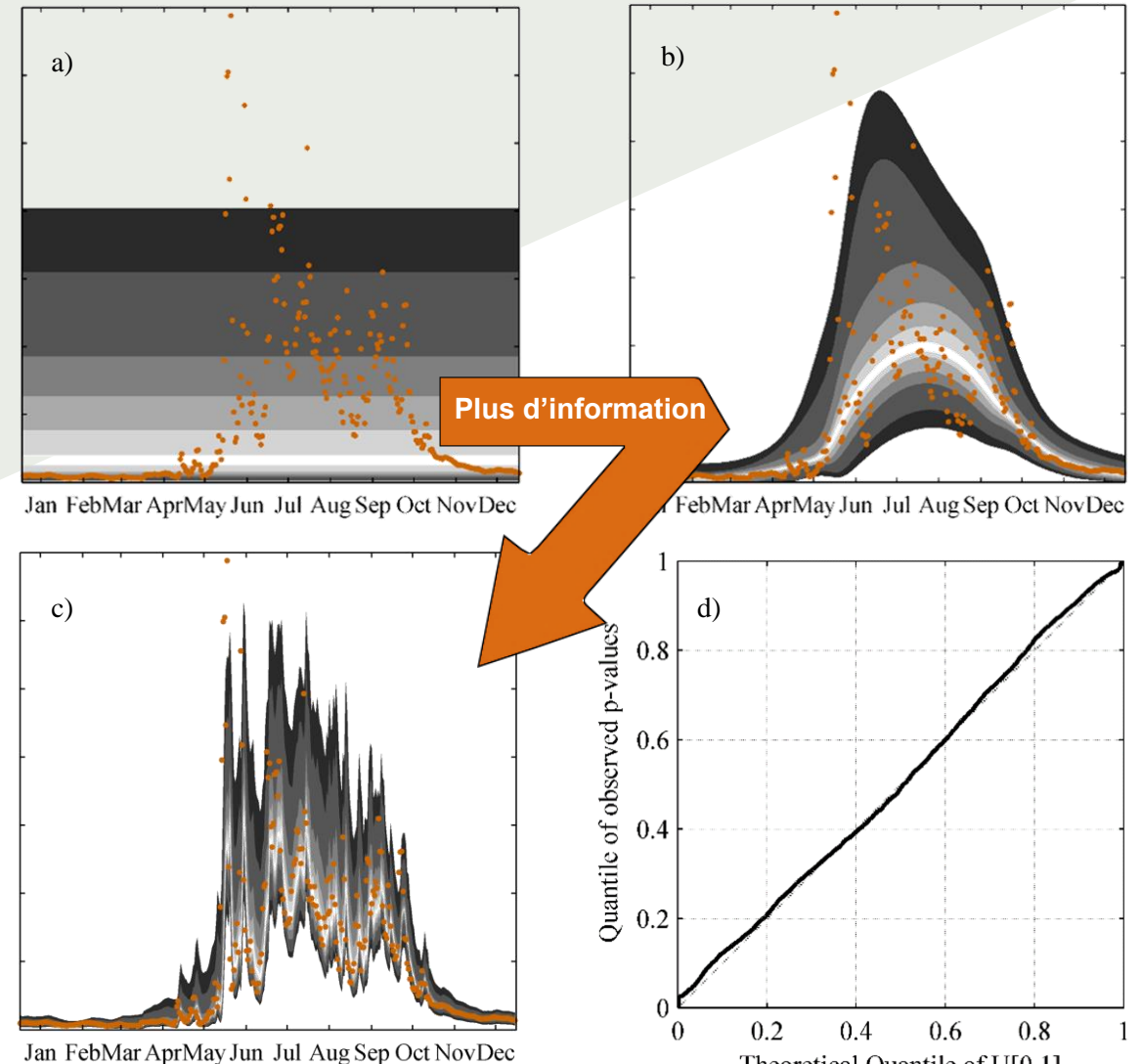
- > La vision proposée:
  - > La fiabilité avant la résolution
  - > L'idéal sont des prévisions avec haute résolution et fiables.
  - > Quand ceci n'est pas possible, au moins avoir des prévisions fiables.



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

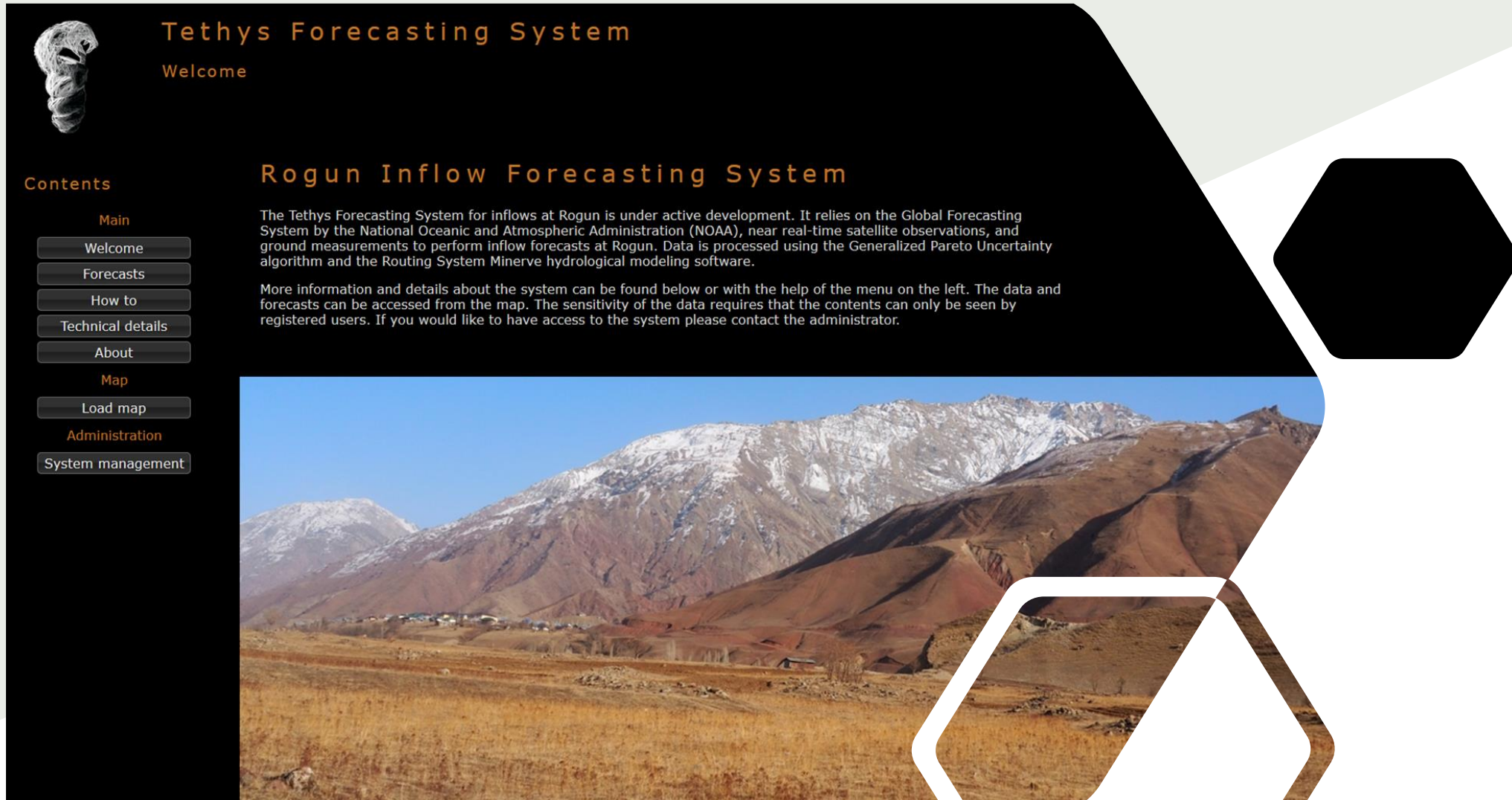
## DÉFIS LIÉS AUX PRÉVISIONS HYDROLOGIQUES ET LE MODÈLE TETHYS

- > Les "centres" de prévision sont souvent des structures lourdes et coûteuses.
- > Le traitement des données et l'opération des modèles prennent du temps et exigent des ressources informatiques importantes.
- > L'analyse de la performance est difficile.
- > Mieux de commencer avec une infrastructure simple, bâtie sur des **ressources existants**.
- > Potentiel des approches basées sur l'**apprentissage automatique**.



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## DÉFIS LIÉS AUX PRÉVISIONS HYDROLOGIQUES ET LE MODÈLE TETHYS



The screenshot displays the Tethys Forecasting System interface. At the top left is a logo of a mountain peak. The main header reads "Tethys Forecasting System" and "Welcome". Below this is a "Contents" sidebar with buttons for "Welcome", "Forecasts", "How to", "Technical details", "About", "Map", "Load map", "Administration", and "System management". The main content area is titled "Rogun Inflow Forecasting System" and contains a paragraph of introductory text and a photograph of a mountainous landscape with snow-capped peaks and a valley with small buildings.

**Tethys Forecasting System**  
Welcome


**Contents**

- Main
  - Welcome
  - Forecasts
  - How to
  - Technical details
  - About
- Map
  - Load map
- Administration
  - System management

**Rogun Inflow Forecasting System**

The Tethys Forecasting System for inflows at Rogun is under active development. It relies on the Global Forecasting System by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), near real-time satellite observations, and ground measurements to perform inflow forecasts at Rogun. Data is processed using the Generalized Pareto Uncertainty algorithm and the Routing System Minerve hydrological modeling software.

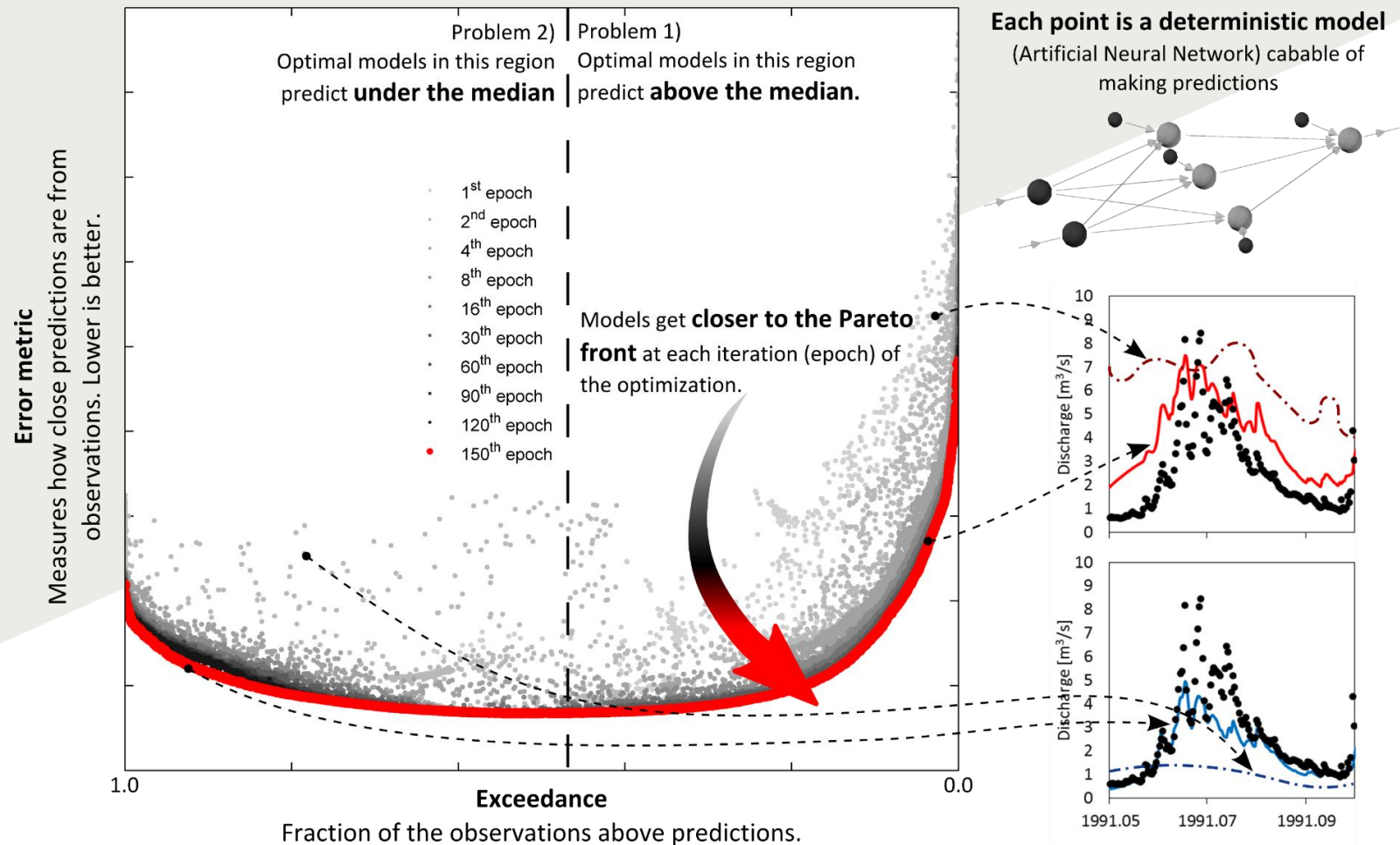
More information and details about the system can be found below or with the help of the menu on the left. The data and forecasts can be accessed from the map. The sensitivity of the data requires that the contents can only be seen by registered users. If you would like to have access to the system please contact the administrator.



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## DÉFIS LIÉS AUX PRÉVISIONS HYDROLOGIQUES ET LE MODÈLE TETHYS

> Le modèle Tethys: des ensembles qui sont "forcées" à représenter la probabilité.

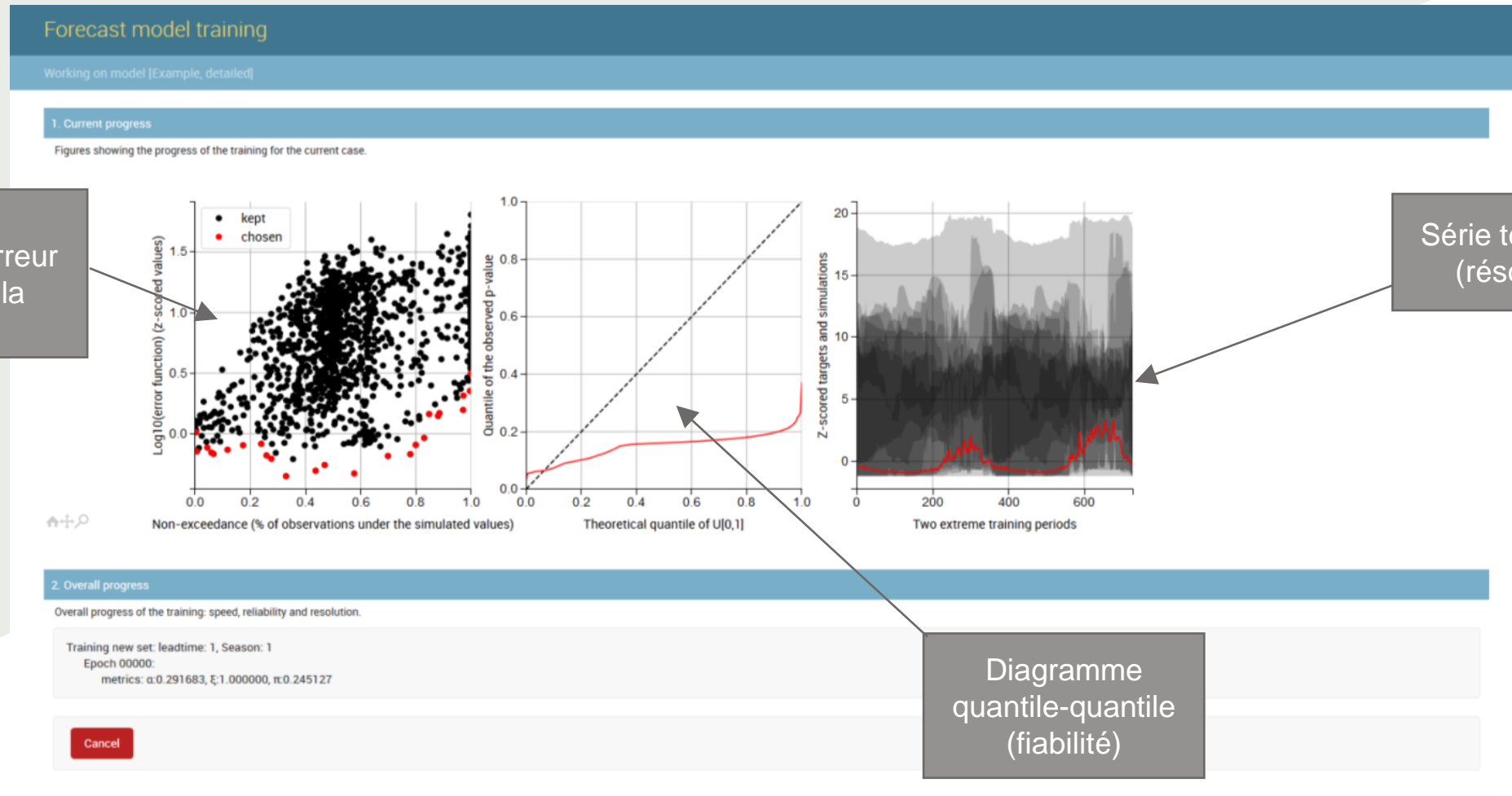




# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## DÉFIS LIÉS AUX PRÉVISIONS HYDROLOGIQUES ET LE MODÈLE TETHYS

- > **Le modèle Tethys: prévisions fiables non-paramétriques qui peuvent profiter des modèles existants.**



Objectifs:

- Minimiser l'erreur
- Représenter la probabilité

Série temporelle (résolution)

Diagramme quantile-quantile (fiabilité)

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRISE DE DÉCISION EN CAS DE CRUE

- > **Décisions en cas d'événements extrêmes: un vrai dilemme.**
  - > **Quand les modèles échouent, c'est souvent lors des crues (ou situations rares/inattendues).**
  - > **C'est un comportement normal (manque d'exemples historiques, comportements météorologiques, hydrologiques méconnus, etc...).**
  
- > **Toutes prévisions sont fausses (ou presque).**
  
- > **L'incertitude peut faire peur.**
  
- > **La décision "rationnelle" c'est de ne croire pas à une crue extrême – les extrêmes sont finalement très rares...**
  - > ***"On n'a peur que d'une chose, que le ciel nous tombe sur la tête !"***  
***Mais "c'est pas demain la veille."***

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRISE DE DÉCISION EN CAS DE CRUE

### > Décisions en cas d'événements extrêmes: un vrai dilemme.

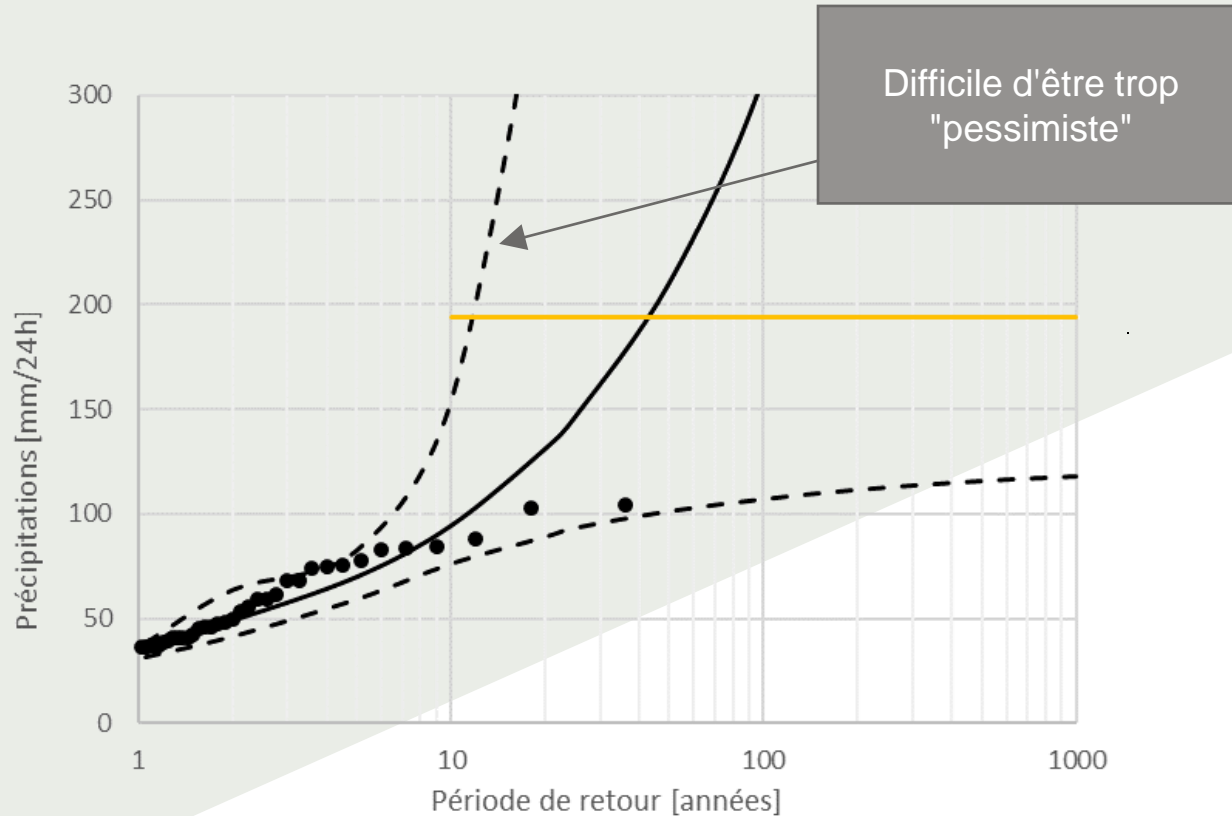


Figure 5-6 : Ajustement GEV aux cumuls maximaux sur 24h (sans 2021) de la station pluviométrique automatique de Jalhay avec intervalle de confiance à 95% et indication du cumul observé (ligne jaune)

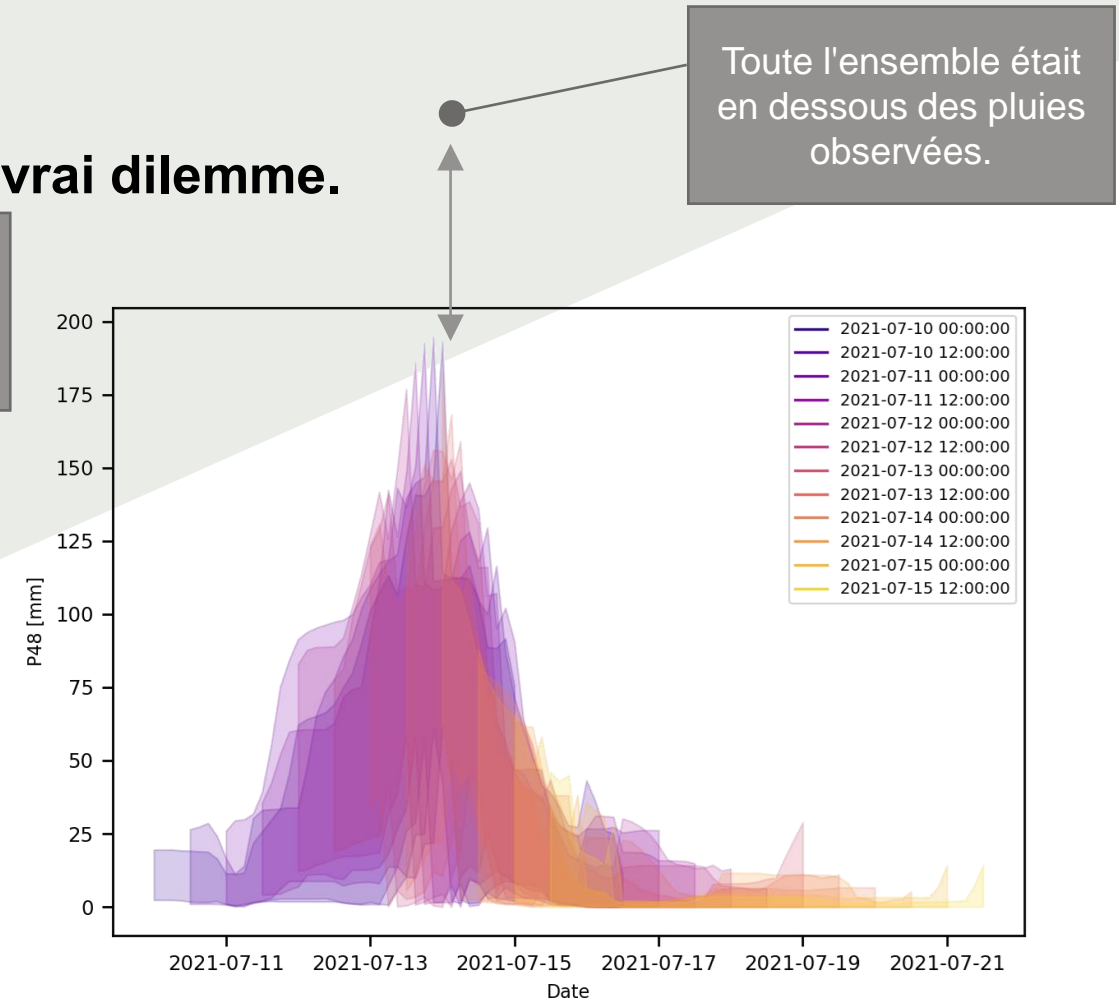
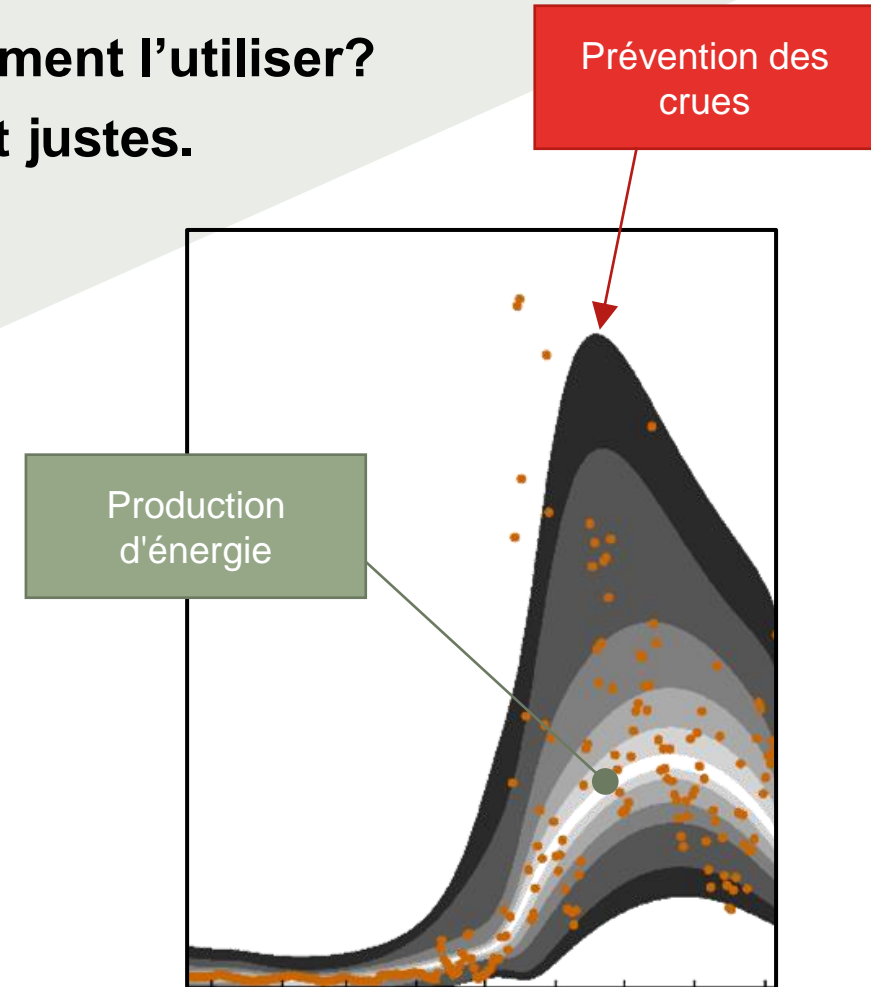


Figure 5-21 : Enveloppe des cumuls glissant sur 48h pour des prévisions issues de différentes dates de production

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRISE DE DÉCISION EN CAS DE CRUE

- > Une "bonne" prévision probabiliste est disponible. Comment l'utiliser?
  - > Fiabilité avant tout. Les probabilités représentés sont justes.
  - > **L'interprétation dépend de l'objectif.**
- > En situation normale (e.g., production d'énergie)  
Décision basée sur la "moyenne".
- > En situation extrême (e.g., vidange préventive lors des crues)  
Décision basée sur les faibles probabilités (situation pessimiste).



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRISE DE DÉCISION EN CAS DE CRUE

- > Proposition pour le déclenchement d'alarmes / actions.
  - > Décisions basés sur l'analyse de la courbe ROC.
  - > Tout le processus est défini au préalable. En situation de crue la recommandation est simple.
- > Exemple: déclenchement d'une alarme?
  - > 4 possibilités.

		Predicted condition	
		Predicted condition positive (PP)	Predicted condition negative (PN)
Actual condition	Actual condition positive (P)	True positive (TP), hit	False negative (FN), Type II error, miss, overestimation
	Actual condition negative (N)	False positive (FP), Type I error, false alarm, underestimation	True negative (TN), correct rejection

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRISE DE DÉCISION EN CAS DE CRUE

> Plus d'information sur la courbe ROC (et ce qu'elle met en évidence).

> "*True positive rate*" le plus haut possible.

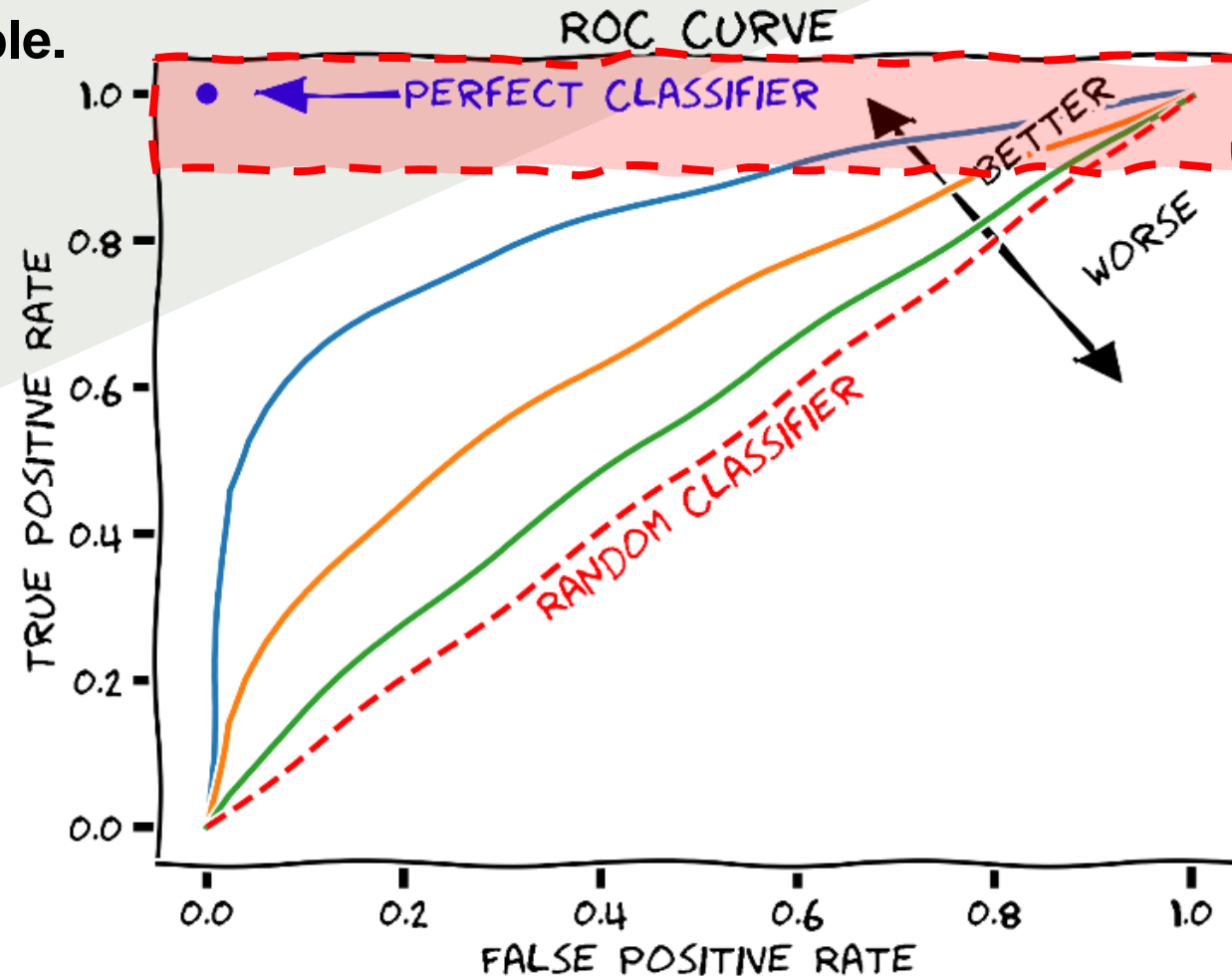
Peu d'événements non détectés.

> "*False positive rate*" réduit.

Peu d'alarmes pas nécessaires.

> Le classificateur parfait n'existe pas...

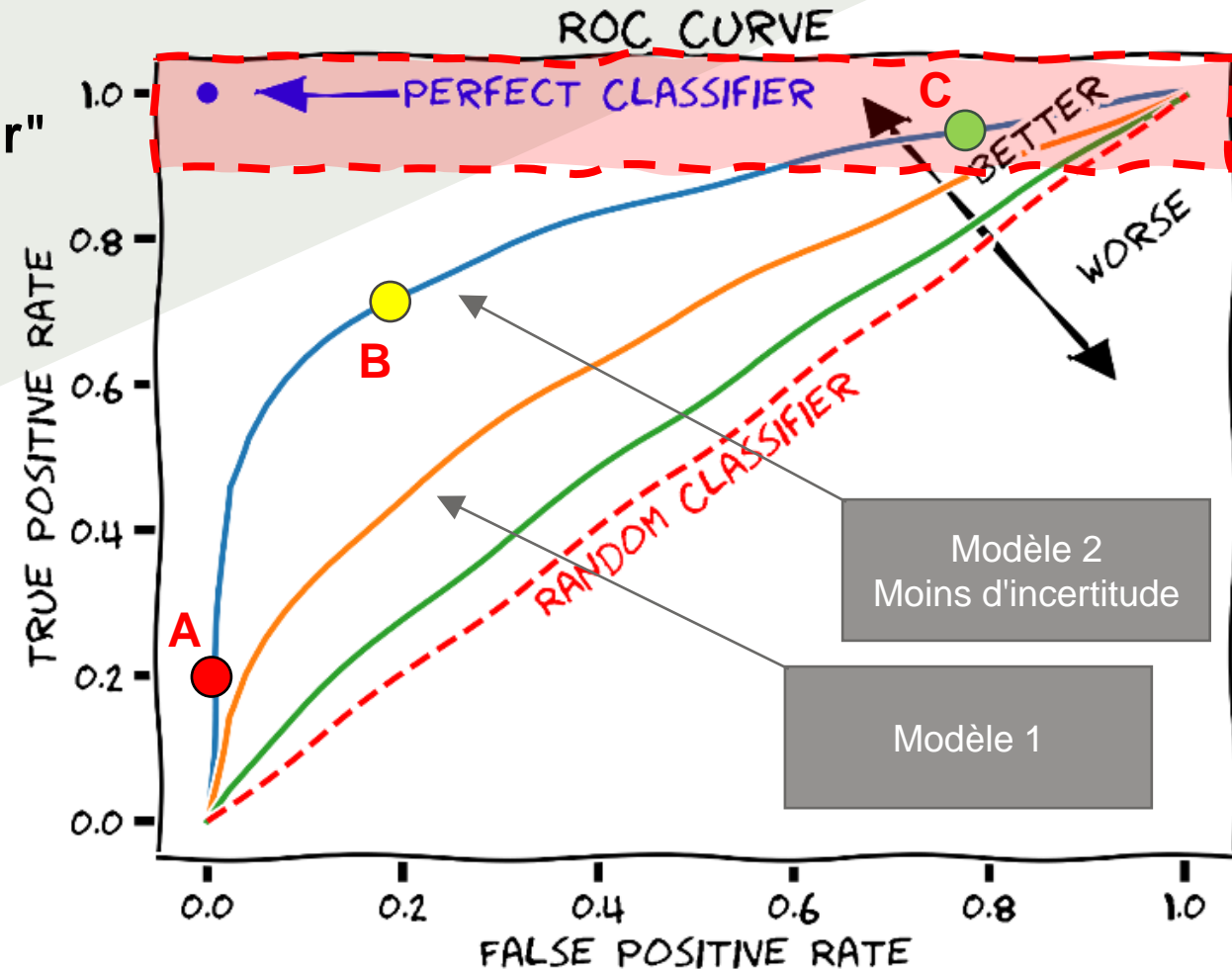
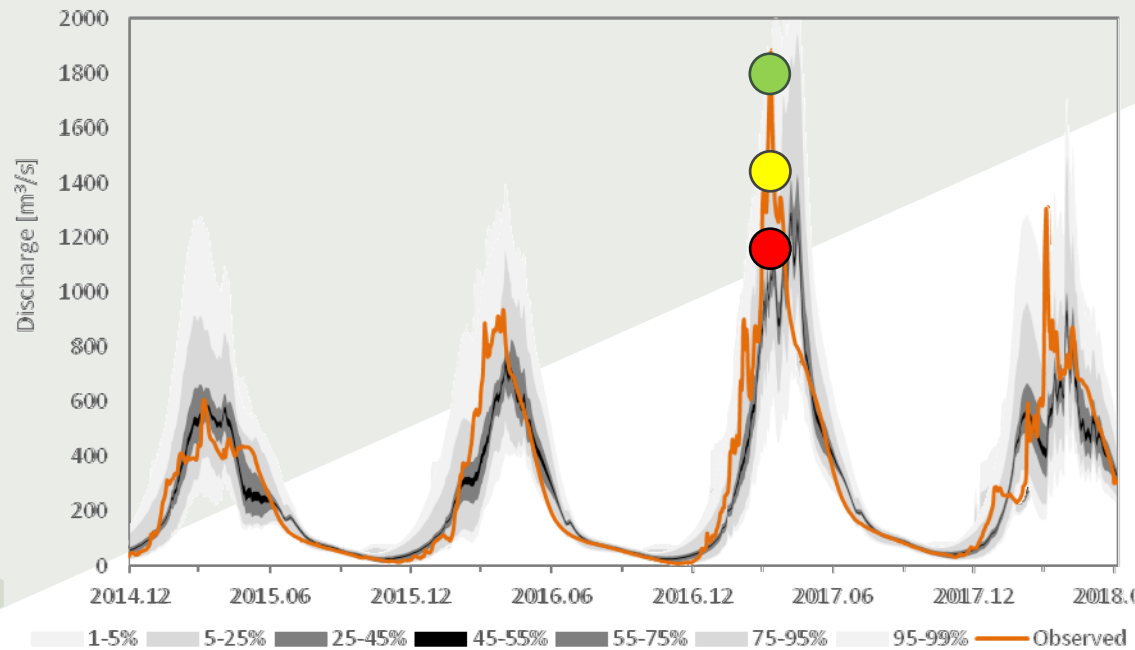
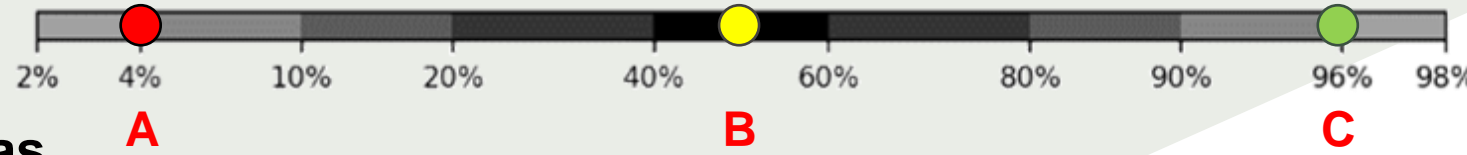
> Sur quoi baser une décision?



# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRISE DE DÉCISION EN CAS DE CRUE

- > Le classificateur parfait n'existe pas...
  - > Sur quoi baser une décision?
- > Une fois que le modèle et le "classificateur" sont choisis, la recommandation est Oui/Non.

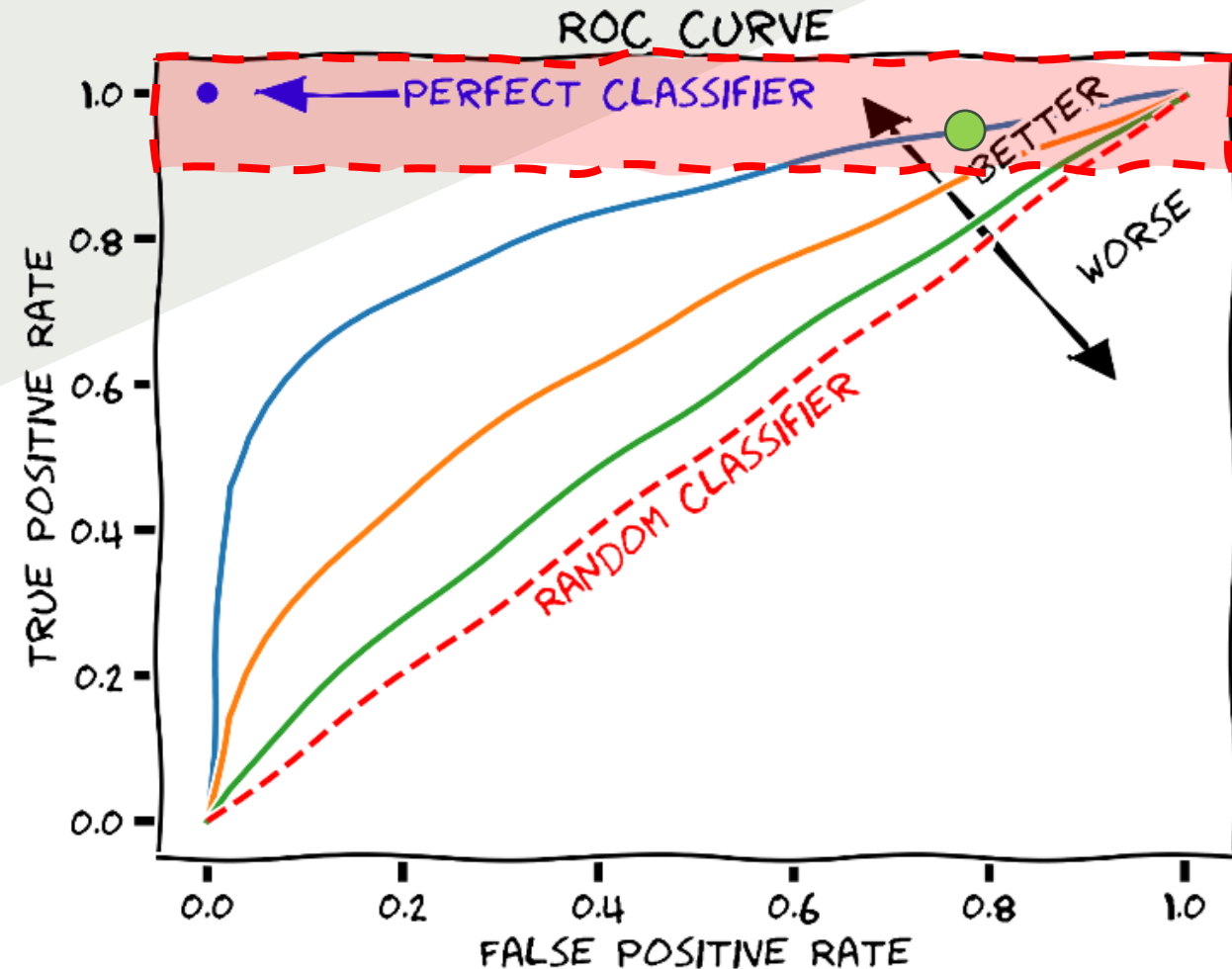


# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## PRISE DE DÉCISION EN CAS DE CRUE



- > Exemple de choix:
  - > Sachant que 80% des fois l'alarme ne sera pas nécessaire...
  - > L'alarme sera de toute manière déclenché quand la "bande" 96% de la prévision dépasse  $x \text{ m}^3/\text{s}$ ...
  - > Pour que 97% des crues soient prévues.
- > Ces valeurs doivent changer selon la qualité des modèles et la tolérance au risque des décideurs et de la population.
  - > Communication.
  - > Vidanges préventives.
  - > Evacuation...





# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## POSSIBILITÉ D'APPLICATION À LA WALLONIE

- > **Découpler les modèles de prévision et de l'aide à la décision.**
  
- > **Capacité de prévision:**
  - > **Analyse régionale de la performance des modèles météorologiques et hydrologiques existants.**
  - > **Préparation du modèle Tethys "alimenté" par des résultats des modèles existants.**
  - > **Analyse de la performance (fiabilité et résolution).**
  
- > **Préparation de modèles de l'aide à la décision:**
  - > **Définition des seuilles "d'alarme".**
  - > **Établissement des courbes ROC (pour des différentes seuilles et horizons de prévision).**
  - > **Consultation pour le choix des points de "décision".**
  - > **Opérationnalisation du système.**

# MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA DÉCISION

## CONCLUSION

- > La prise de décision en cas de crue est très complexe.
  - > et souvent mal accepté après le fait.
- > L'existence de prévisions probabilistes fiables peut beaucoup aider à la prise de décision.
  - > Une approche progressive peut être implémentée sans beaucoup de ressources et en profiter des modèles existants.
- > Pour prévenir toutes les crues on subira probablement des critiques (approche trop conservatrice).
  - > Le mieux c'est de décider au préalable quel est le point optimal entre sécurité et commodité.
  - > Des recommandations simples, presque automatiques, facilitent la tâche des décideurs.



**MERCI**

MODÈLES DE PRÉVISION ET DE L'AIDE À LA  
DÉCISION