

# Enjeux et avantages de la redondance en hydrologie prévisionnelle

## Défis d'une expérience heuristique

Philippe Richard (Ulaval)

François Anctil (Ulaval)

Richard Turcotte (MELCC)

10 juin 2021



UNIVERSITÉ  
**LAVAL**

*Développement durable,  
Environnement et Lutte  
contre les changements  
climatiques*

Québec 



Plan d'action  
**SAINTE-LAURENT**  
2011-2026



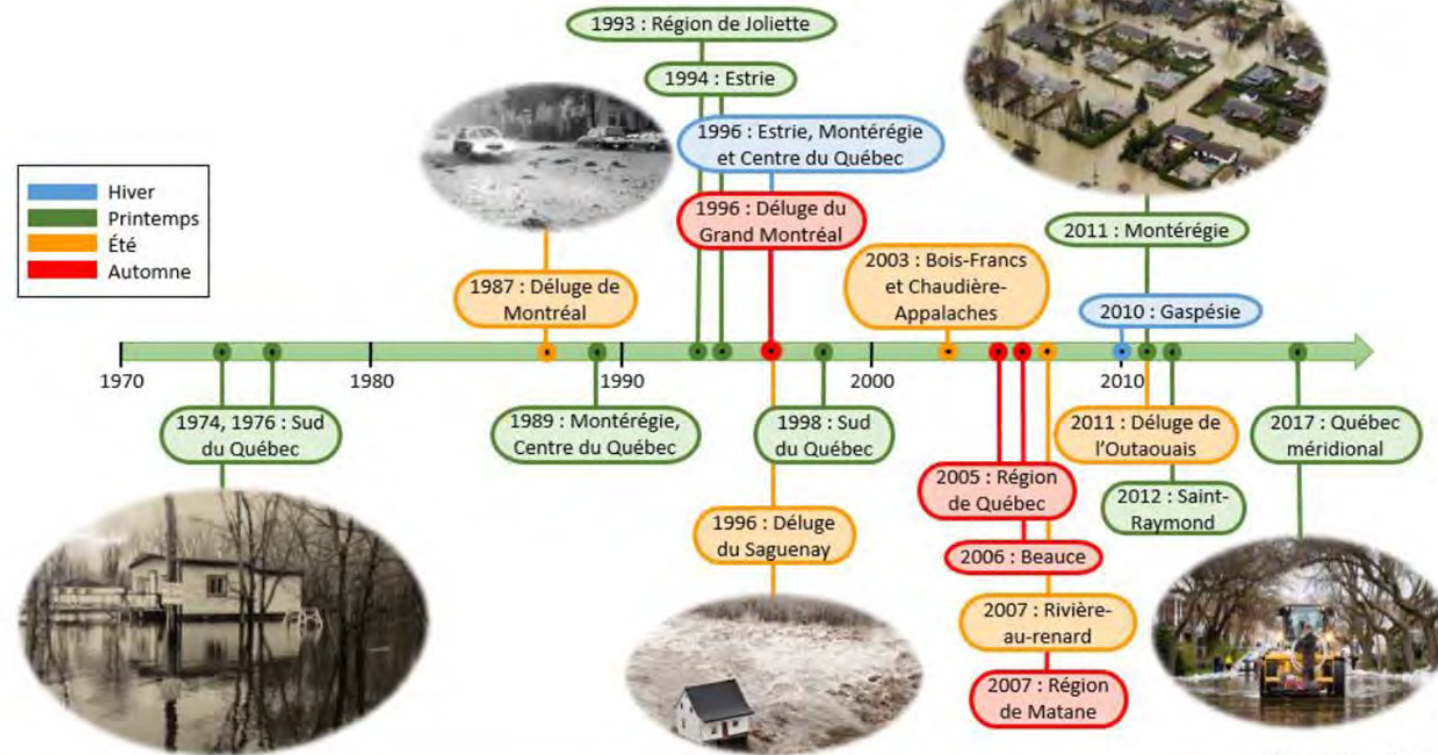
Environnement et  
Changement climatique Canada

 **CentrEau**  
Centre québécois de recherche sur l'eau  
Quebec Water Research Centre

# Introduction

## Quelques inondations récentes au Québec

Développement durable,  
Environnement et Lutte  
contre les changements  
climatiques  
Québec



Fournier, Ricard et al. 2017

## Mise en contexte

- **Responsabilité provinciale 1996 (Déluge du Saguenay)**
  - Émettre des prévisions hydrologiques (MELCC)
  - Émettre des alertes d'inondations (MSP)
  
- **Sujets de nombreuses recherches**
  - Institut national de la recherche scientifique (INRS)
  - École de technologie supérieure (ETS)
  - Université de Sherbrooke
  - Université Laval
  
- **Intérêts publics, société d'état et privés**
  - Environnement et Changement climatique Canada
  - Hydro-Québec
  - Rio Tinto, Hydro Météo (1996), etc.

# Objectifs & moyens des prévisions hydrologiques

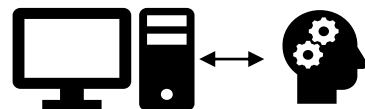
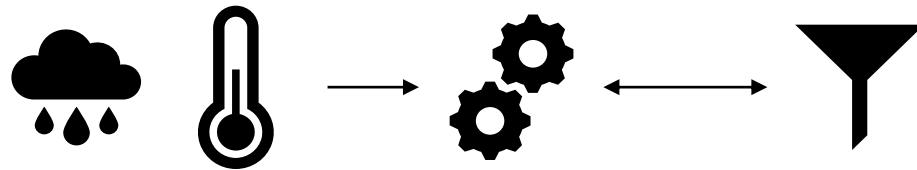
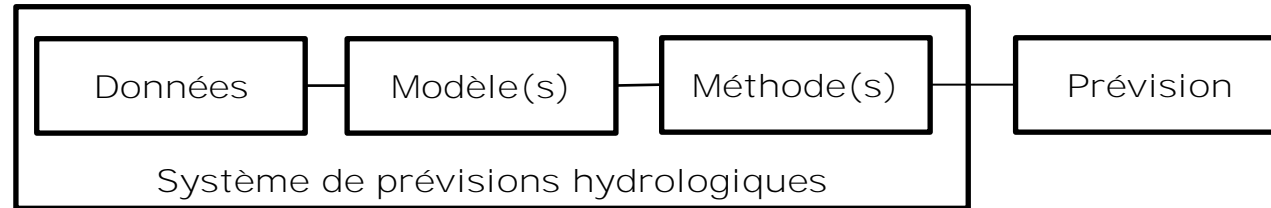
## Objectifs

1. Prévoir le comportement hydrologique (débits) d'un cours d'eau
2. Prévoir le comportement hydraulique (niveau d'eau) d'un cours d'eau
3. Anticiper, orienter, organiser les interventions et les planifications sur le territoire afin d'atténuer les conséquences pour les populations et la pérennité des infrastructures.

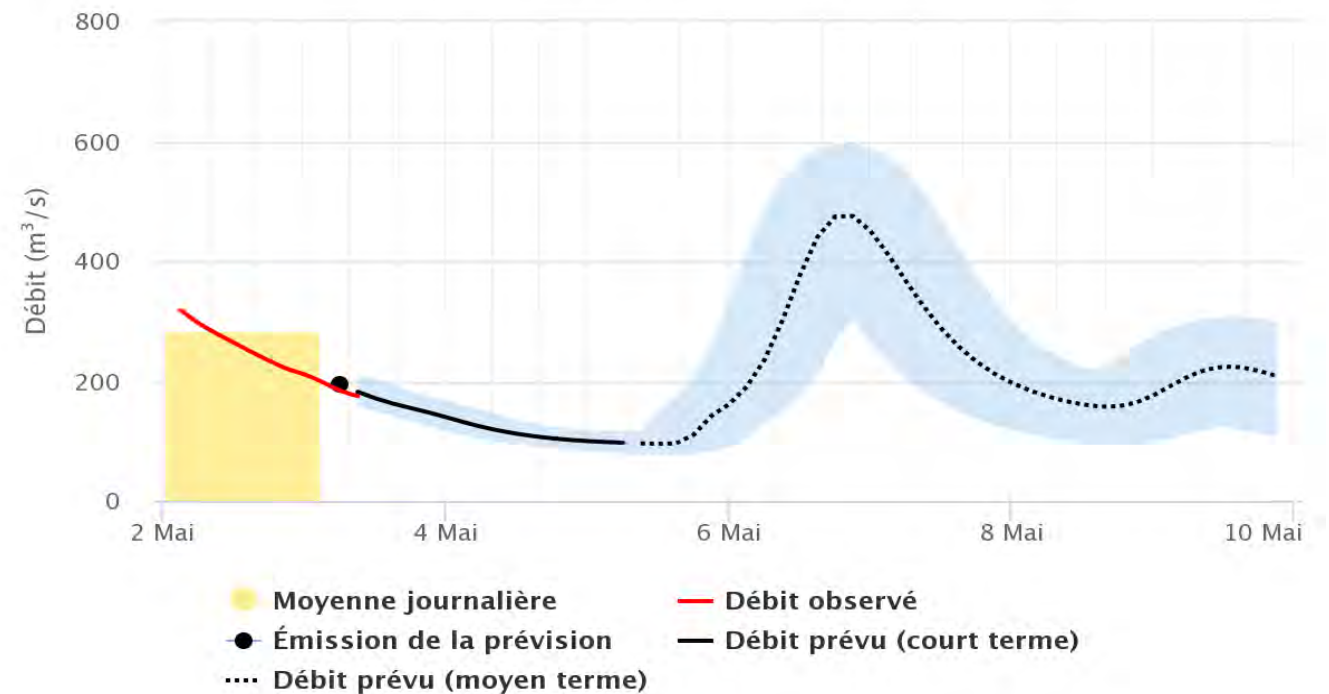
## Moyens

1. Système(s) de prévisions hydrologiques
2. Prévisions d'ensembles (plusieurs scénarios)
3. Intervention d'un prévisionniste hydrologue (meilleur scénario + incertitude)

# Système de prévisions hydrologiques (composante)



### Détail des prochains jours



Highcharts.com

# Définitions et concepts

## Redondance

Un caractère d'un message ou d'un code présentant des répétitions ou des éléments excédentaires par rapport au nombre de signes strictement nécessaires à la transmission de l'information et permettant ainsi une compréhension et une fiabilité meilleures (définition du Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL)).

## Hydrologie prévisionnelle

La science qui étudie l'ensemble des maillons de la chaîne de modélisation de la prévision hydrologique et qui inclut l'expertise comme dernier maillon.

## Incohérence

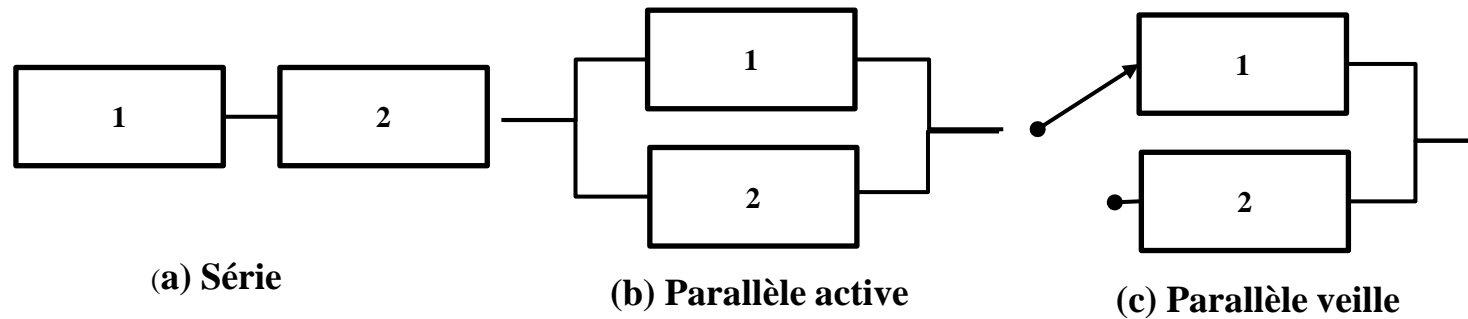
Manque d'accord, d'unité, de lien logique entre des parties, entre les éléments d'un ensemble (CNRTL).

## Défaillance

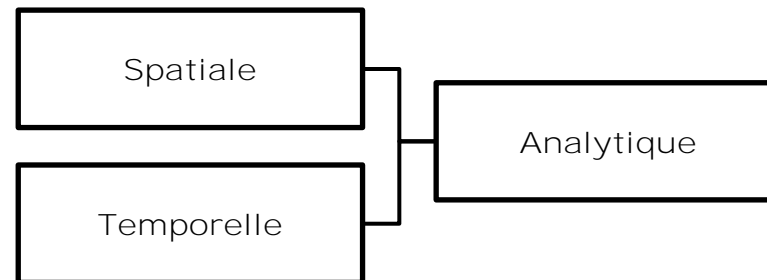
Perte (momentanée ou non) des qualités requises pour remplir une fonction. (CNRTL)

# Définitions et concepts

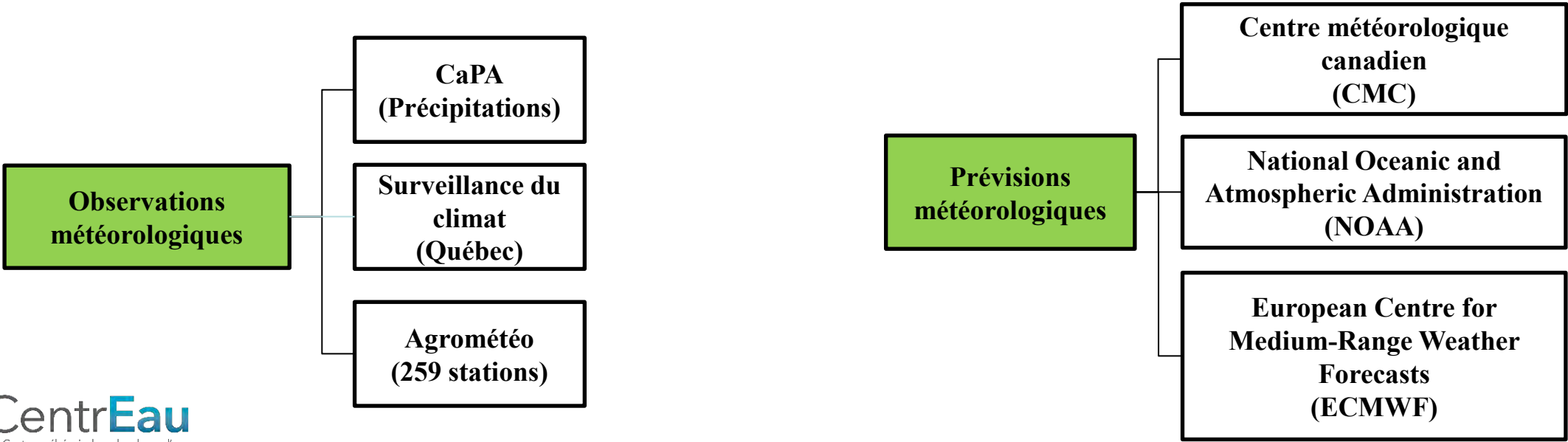
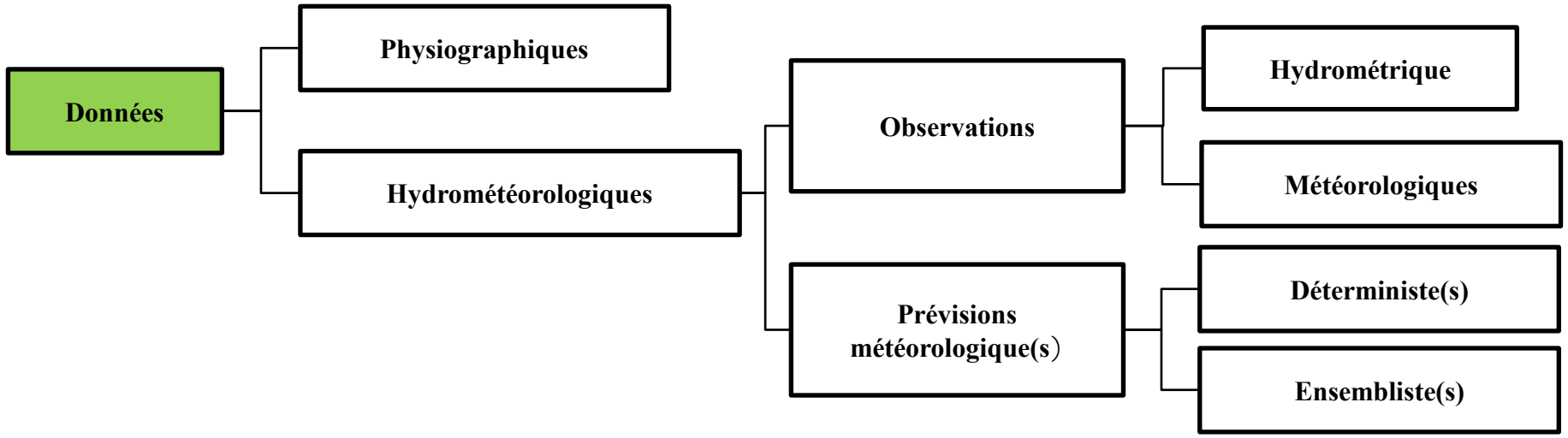
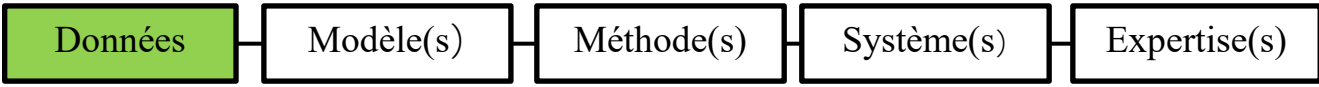
## Redondance (structure)



## Redondance (catégorie)

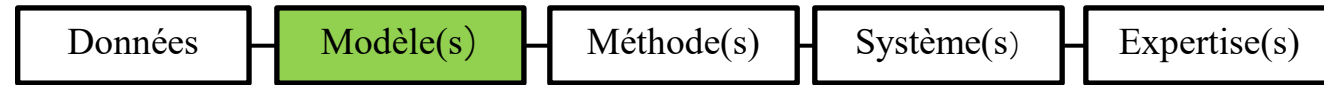
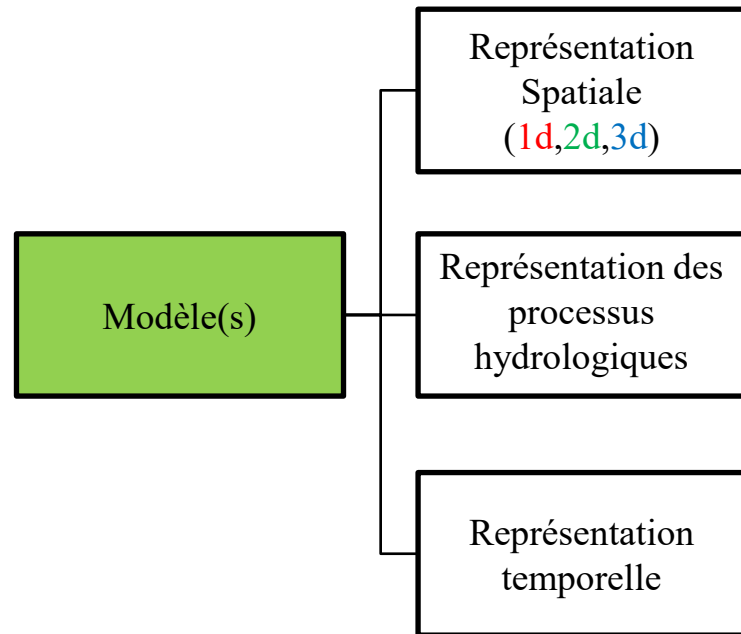


# Redondance de données





# Redondance de modèles



## Approches multimodèle

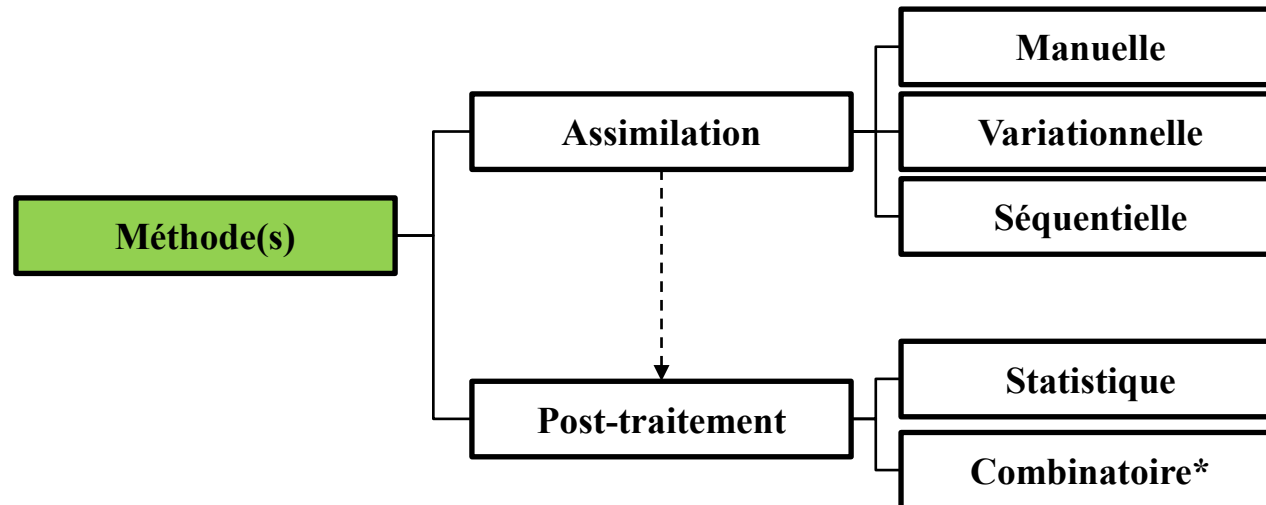
- **HydrOlOgical Prediction Laboratory (HOOPLA)**
  - 20 modèles globaux conceptuels
- **Modular Assessment of Rainfall-Runoff Models (MARRMoT)**
  - 46 modèles globaux conceptuels

# Redondance de méthodes



- Méthode

- Ensemble des techniques permettant d'arrimer au mieux les simulations des modèles hydrologiques aux observations afin d'estimer les conditions initiales servant à la production de prévisions hydrologiques déterministes ou ensemblistes.

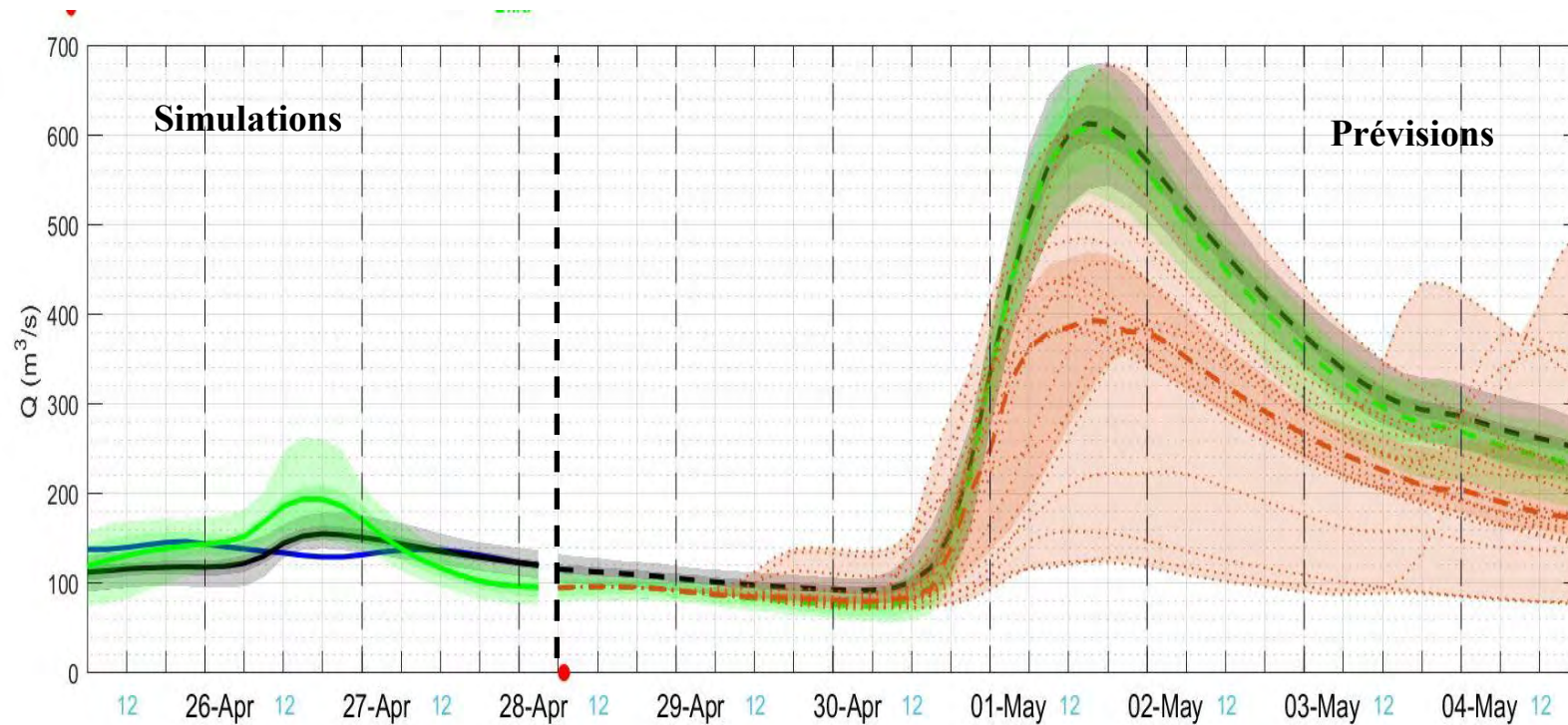


\* Méthode de post-traitement nouvelle

# Avantages et enjeux



- Redondance interne pour un système de prévisions hydrologiques



**Diagnostic de fonctionnement**

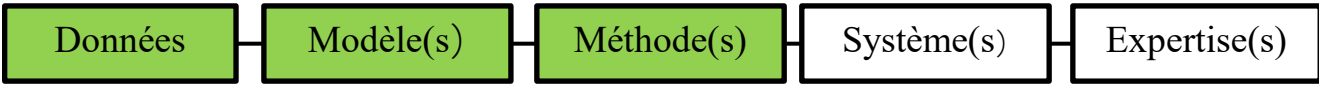
**Méthodes**

$EnKF_{d\acute{e}terministe} \approx MMCS_{d\acute{e}terministe}$

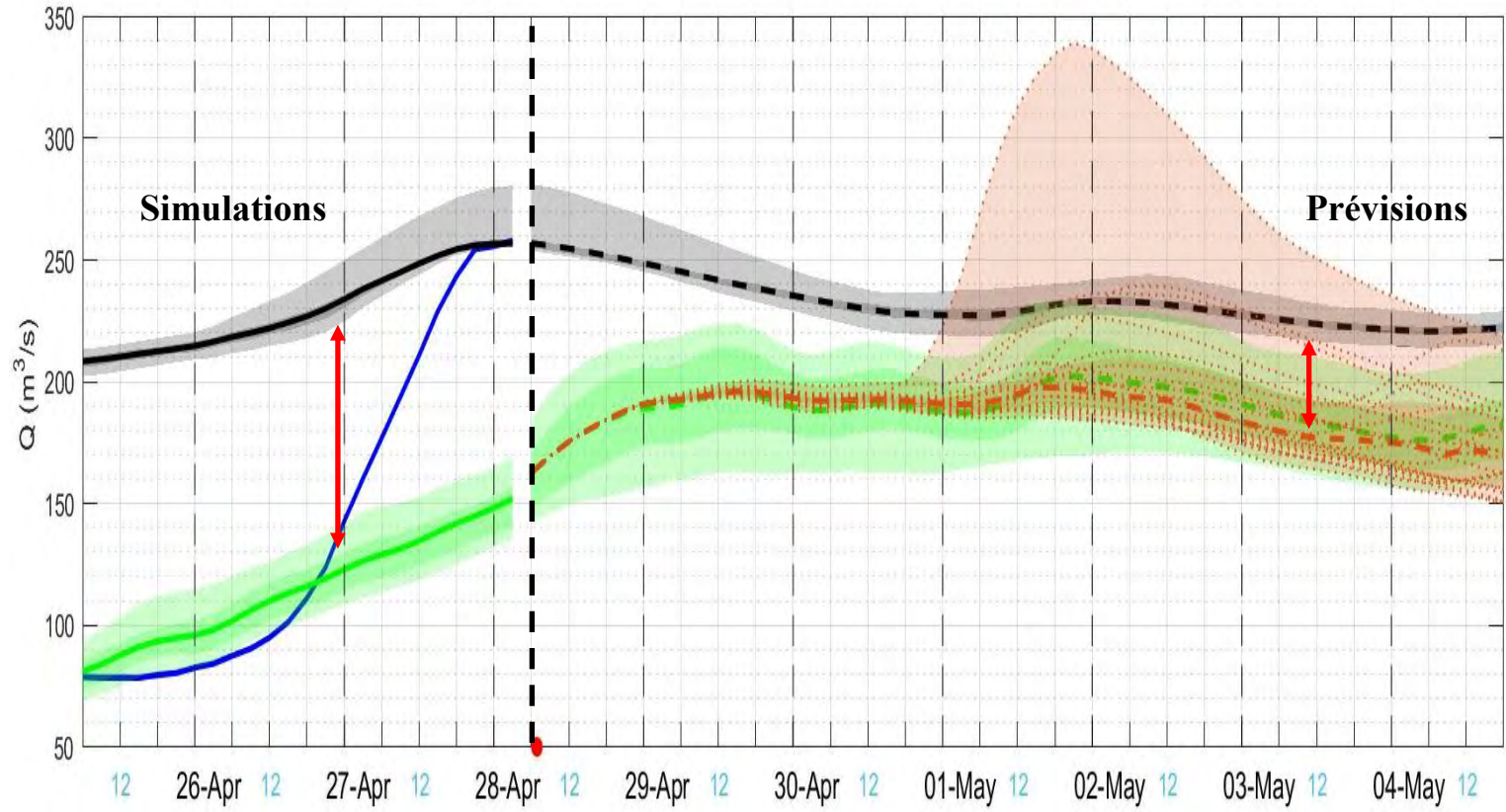
**Données**

$EnKF_{d\acute{e}terministe} \neq EnKF_{ensembliste}$

# Avantages et enjeux



- Redondance interne pour un système de prévisions hydrologiques



## Diagnostic de fonctionnement

Défaillance du système

$$\text{EnKF}_{\text{déterministe}} \neq \text{MMCS}_{\text{déterministe}}$$

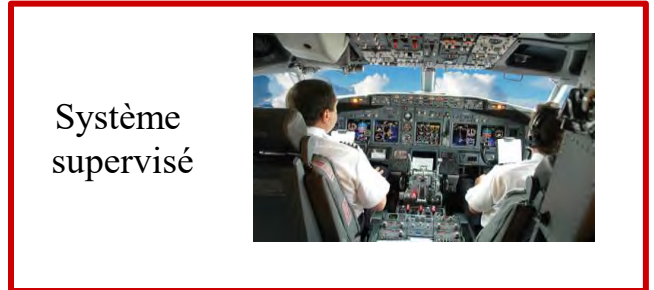
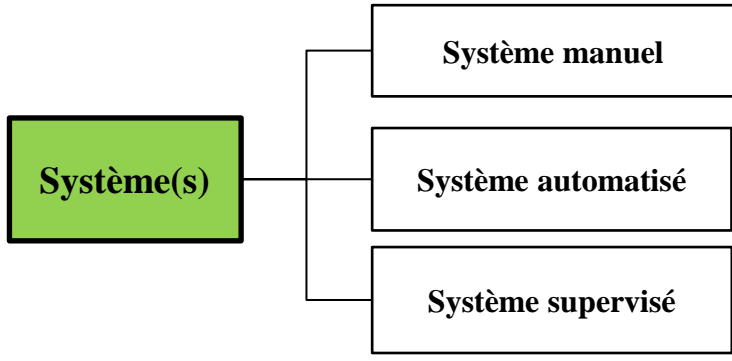
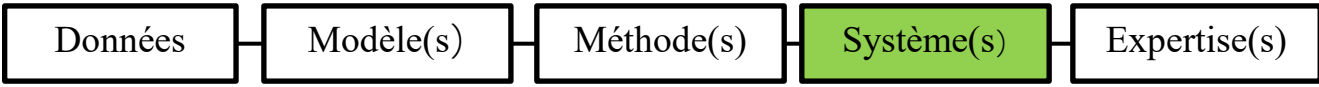
Enjeux

Aucune interaction

cause

Système automatisé

# Redondance de systèmes (catégorie)



Caractéristiques système(s)	Manuel « In the loop »	Automatisé « Out of the loop »	Supervisé « Over the loop »
Automatisation	Partielle	Totale	Totale
Interactions	Nécessaire	Aucune	Au besoin
Indicateurs	Présents	Variables	Présents
Expertises	Interne/externe	Externe	Interne/externe

# Redondance externe de systèmes pour le Québec

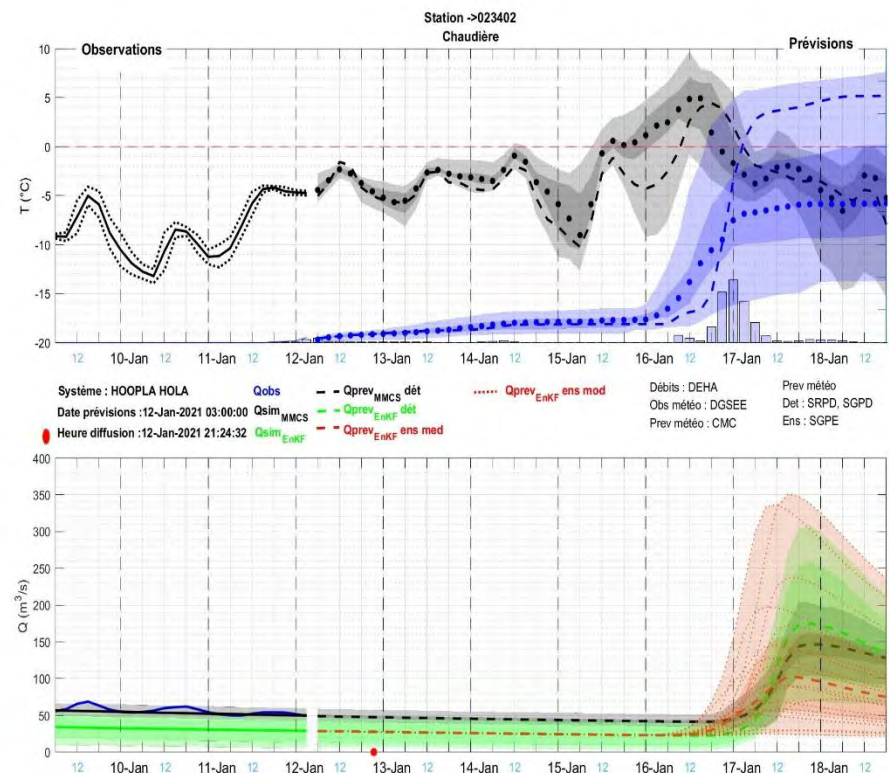
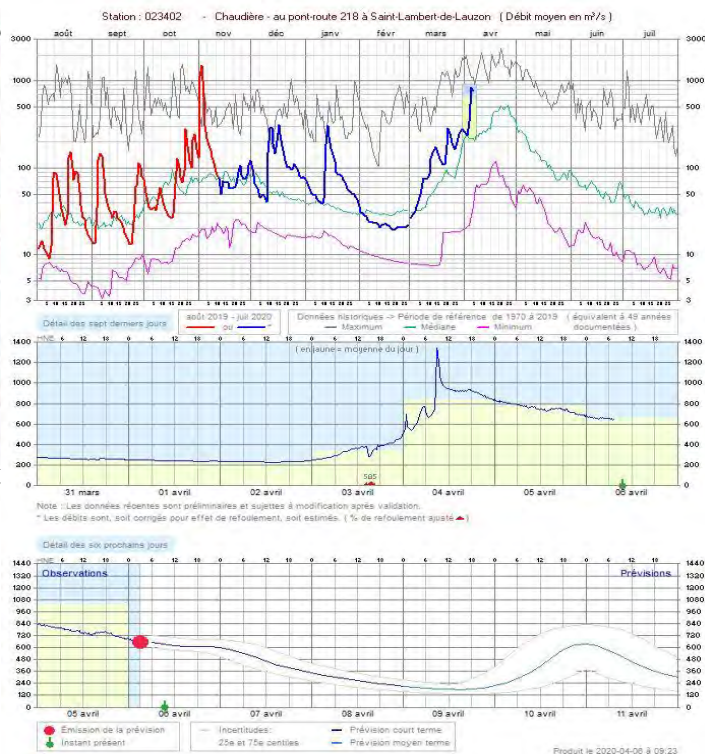
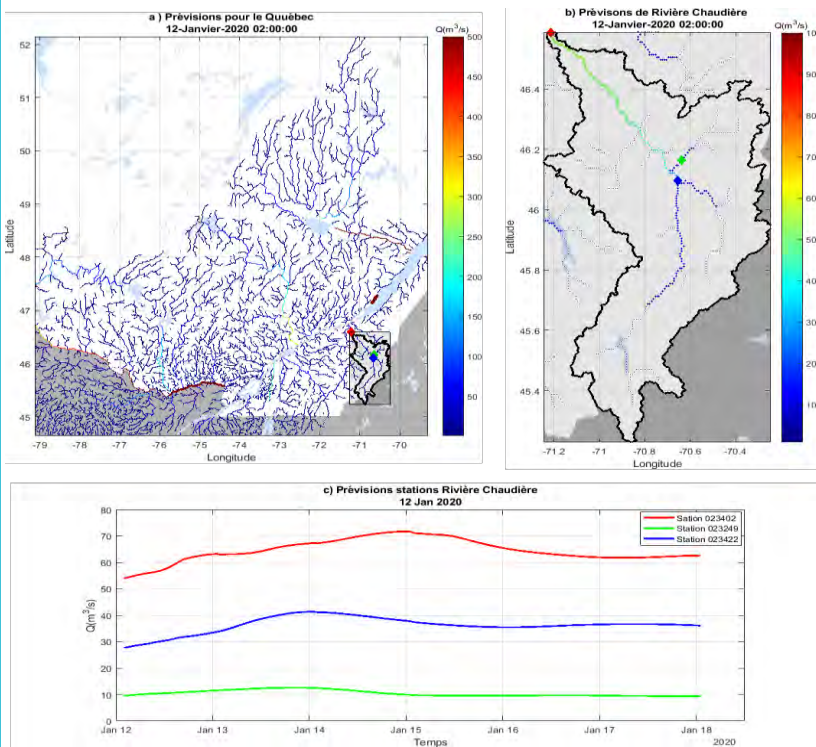
Données

Modèle(s)

Méthode(s)

**Système(s)**

Expertise(s)



**Système de prévision du cycle de l'eau (SPCE)**

Source : ECCC

Catégorie système : automatisé

Modèle : hydrométéorologique pleinement couplé (3d)

Opérationnel : 4 mars 2019

**Prévision officielle**

Source : DEH

Catégorie système : manuel + Prévisionnistes

Modèle : Hydrotel (2d)

Opérationnel : 1996

**Système de prévisions hydrologiques Uval (SPHUL)**

Source : Université Laval

Catégorie système : automatisé

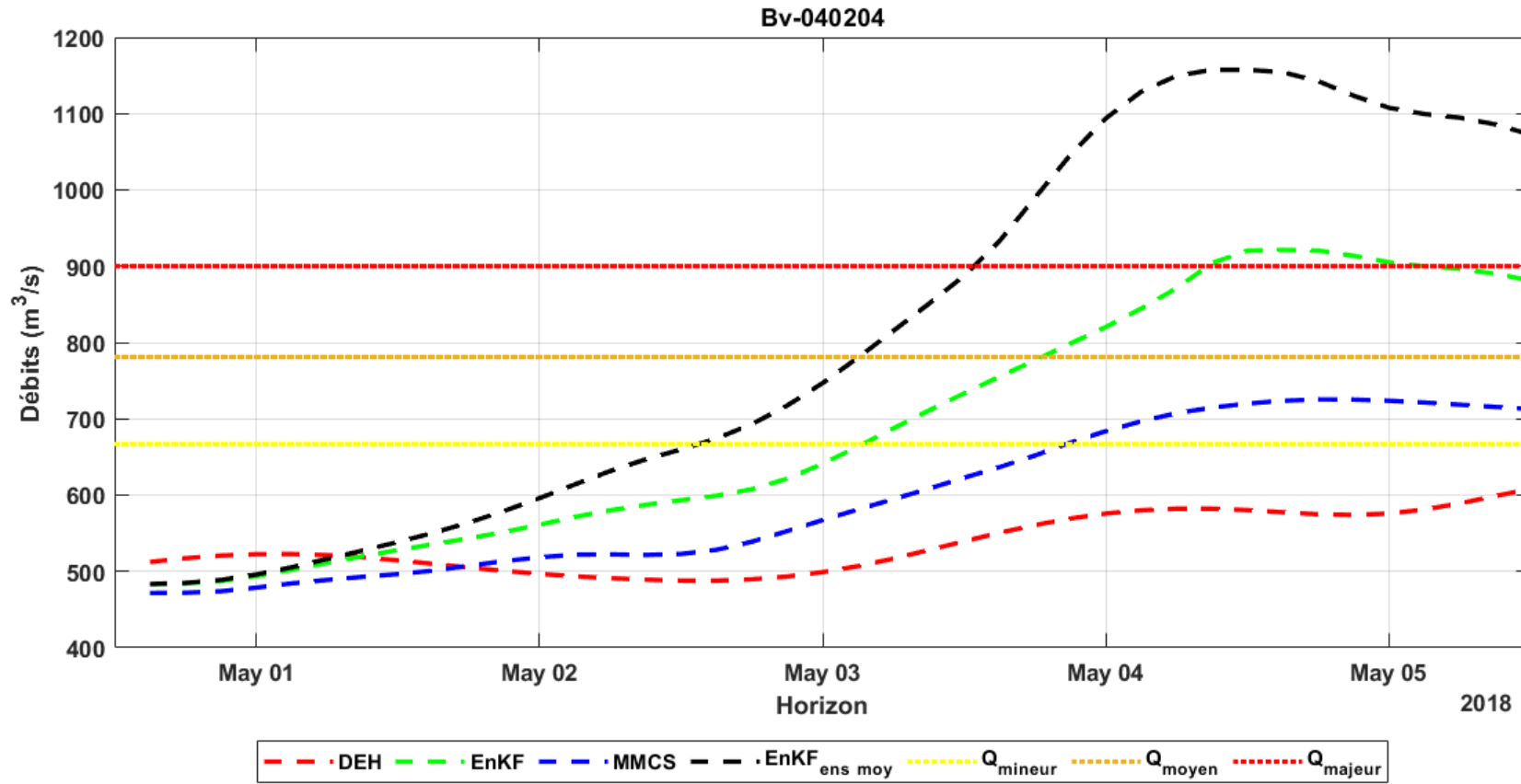
Modèles : 20 modèles globaux de HOOPLA (1d)

Opérationnel : 21 avril 2018

# Avantages et enjeux



- Redondance externes de systèmes de prévisions hydrologiques



## Diagnostic de fonctionnement

### Incohérence méthodes & systèmes

$EnKF_{déterministe} \neq MMCS_{déterministe}$

$EnKF_{déterministe} \neq DEH_{détermiste}$

$EnKF_{déterministe} \neq EnKF_{ensembliste}$

### Enjeux

**Aucune interaction**

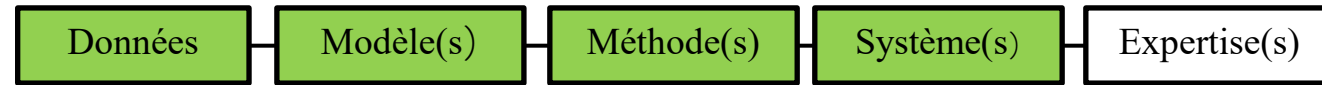
**Méconnaissance des états modélisés**

**Méconnaissance des états réels**

**Données, modèles, méthodes différenciés**

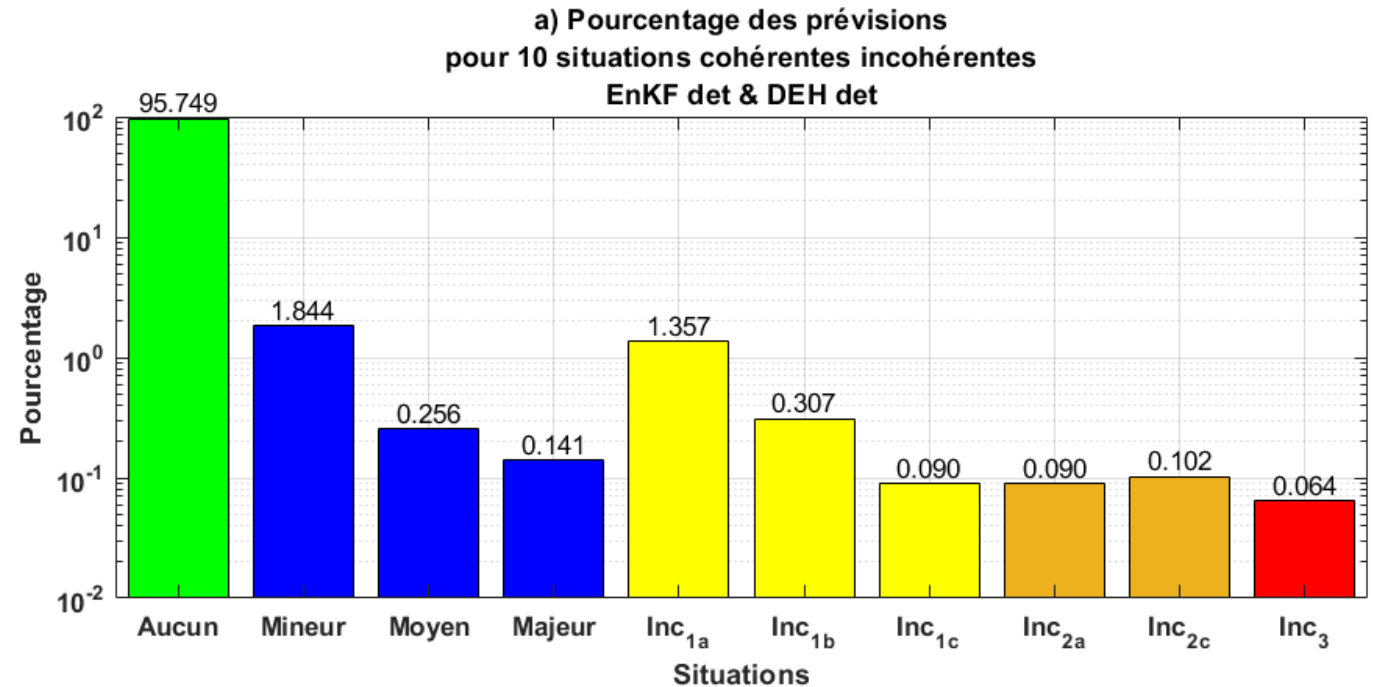
**Centre de prévisions (unificateur) Absent**

# Avantages et enjeux



- Redondance externes de systèmes de prévisions hydrologiques

Situations	Seuil d'inondation atteint			
	Aucun	Mineure	Moyenne	Majeure
Cohérentes (4)	■	■	■	■
Incohérentes niveau 1 (6)	■	■ 1a	■ 1b	■ 1c
Incohérentes niveau 2 (4)	■	■	■ 2a	■ 2c
Incohérentes niveau 3 (2)	■			■



**97.99 %** cohérentes, **1.754 %** incohérence niveau 1, **0.192 %** incohérence niveau 2, **0.064 %** incohérence niveau 3

Période : Avril 2018 à Mai 2019 → 9464 jours de prévisions sur 34 bassins versants

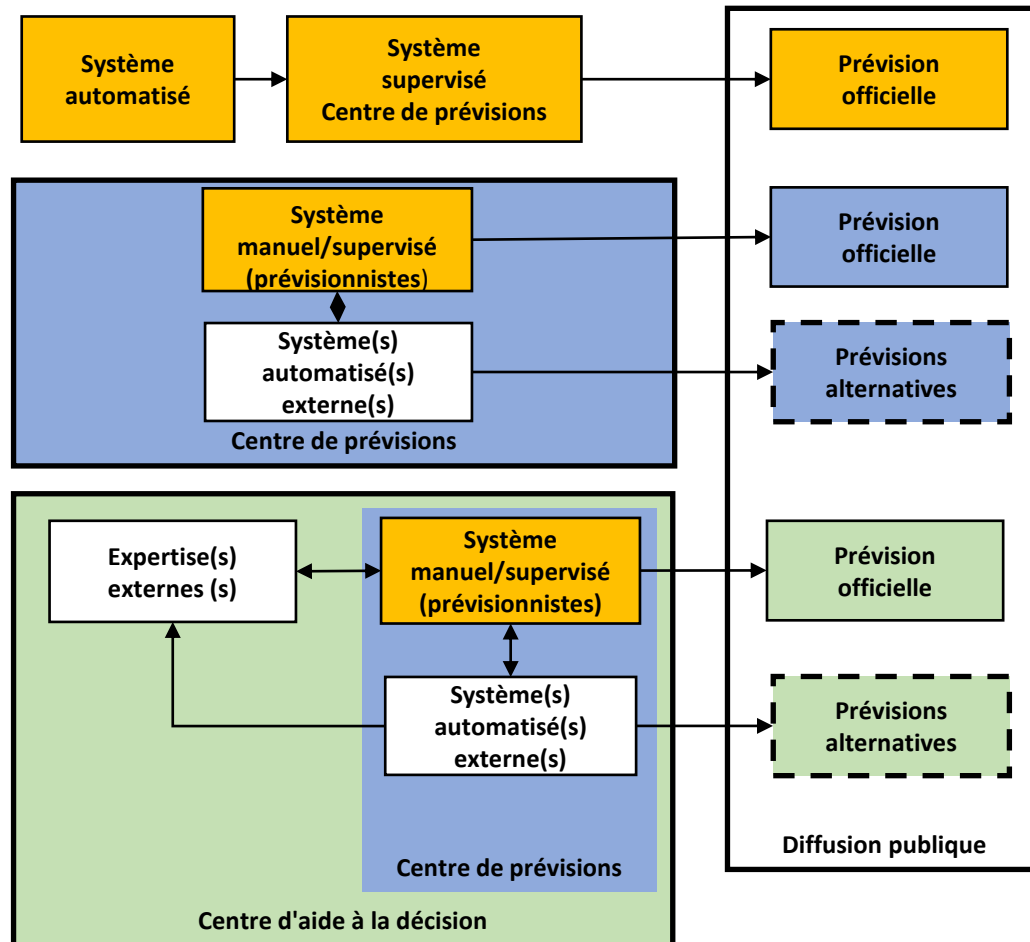


## Avantages et enjeux de la redondance

- **Constats de la redondance de méthodes au sein d'un même système**
  - Détection des défaillances (diagnostic)
  - Détection des incohérences (diagnostic)
  - Possibilité de faire des pronostics\*
  
- **Constats de la redondance externe de système**
  - Analyses internes (états modélisées) très complexes
  - Superposition de conditions initiales modélisées
  - Conditions réelles partiellement connues
  - Incohérence(s) de dépassement de seuil

# Réflexions et perspectives

- Quelles sont les évolutions possibles pour le centre de prévisions officiel ?



Avantage(s)	Évolution possible 1	Évolution possible 2	Évolution possible 3
Interactions avec le système	Green	Green	Green
Considération autre(s) système(s) automatisé(s) opérationnel(s)	White	Green	Green
Redondance de l'expertise	White	White	Green

# Redondance de l'expertise

Données

Modèle(s)

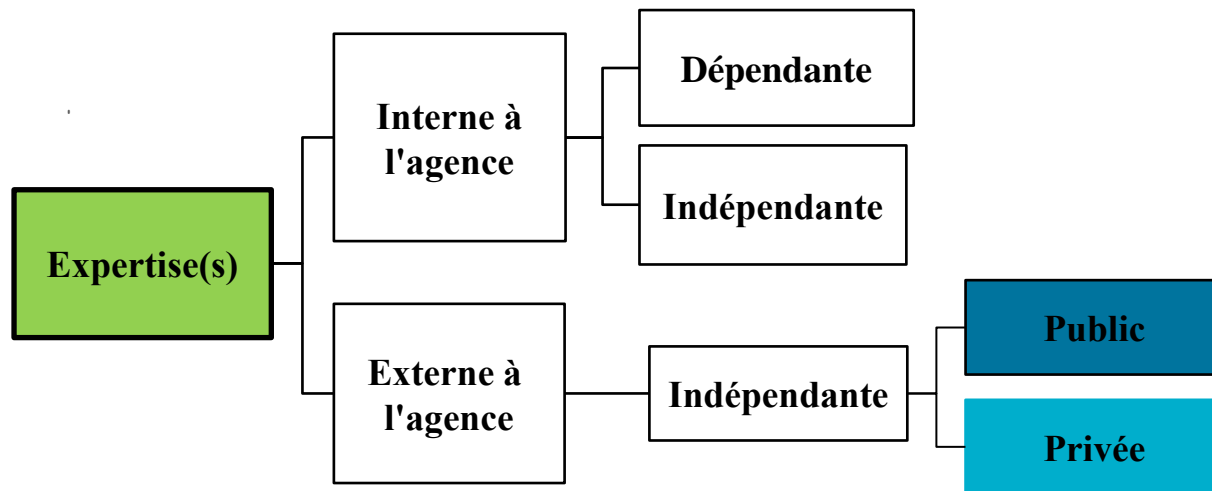
Méthode(s)

Système(s)

Expertise(s)

- Expertise(s)

- Procédure par laquelle on confie à un ou plusieurs experts le soin de donner un avis sur les éléments d'un différend, quand ceux-ci présentent des aspects techniques (CNRTL).

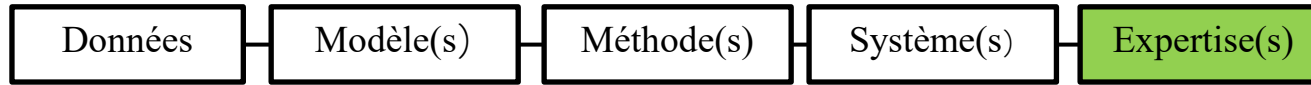


- **Prévisionnistes de la DEH**

- **Experts locaux**

- **Prévisionnistes d'Hydro Météo**
- Professeurs
- Professionnels de recherches
- Étudiants
- Directeur général d'une municipalité
- Comité de riverains
- Etc

## Défis d'une expérience heuristique (qui sert à la découverte)



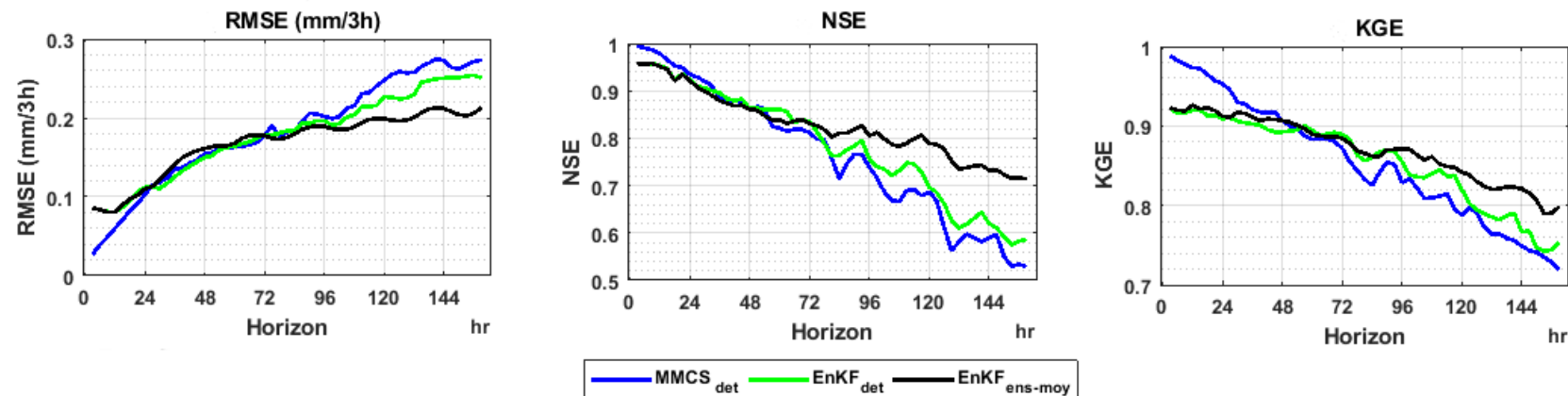
- Comment évaluer un nouveau système de prévisions automatisé opérationnel ?

Redondance de l'expertise → **Brian Morse + Équipe**

Rivière Chaudière (3 stations)

Rivières Ste-Anne et Bras du nord → **Ville de Saint-Raymond**

Métriques sur une **longue chronique** (RMSE, NSE, KGE etc...)



- 37 Bassins versants, 26 564 jours de prévisions, **période avril 2018 à juillet 2020**

## Conclusion

- La redondance présente un grand potentiel de recherche en hydrologie prévisionnelle, car elle est omniprésente dans tous ses maillons.
- La redondance interne de méthode au sein de même système est avantageuse car elle permet de faire des diagnostics de défaillance(s) et d'incohérence(s).
- La redondance de systèmes de prévisions hydrologiques opérationnels est compliquée dans sa mise en œuvre, en raison, de la diversité des données, de la diversité des modèles, de la diversité des systèmes et de la rareté de l'expertise externe.
- Trois (solutions) proposées sont déjà disponibles ou partiellement disponibles pour quelques bassins versants.