

# Utilisation opérationnelle des prévisions probabilistes à EDF

*PUYGRENIER Damien – LE LAY Matthieu – VALERY Audrey*



# Sommaire



- ◆ Le contexte météo-sensible d'une entreprise nationale de l'énergie
- ◆ Système de prévision d'ensemble à EDF: une chaîne expertisée de prévision probabiliste
- ◆ Notre expérience après quatre années de prévisions opérationnelles quotidiennes
- ◆ Nos prévisions probabilistes sur le Rhin

# EDF : une entreprise météo-sensible

## Aléas naturels



Crues (Loire à Grangent, novembre 2008)



Sécheresses

➔ **Les aléas naturels (crues, sécheresse, tempête) affectent nos installations**



Tempêtes de neige

# EDF : une entreprise météo-sensible

## Contexte industriel et prévisions



- ◆ L'eau est pour EDF :
  - La **matière première renouvelable** gratuite pour la production hydraulique
  - La **source froide** pour les productions nucléaires et thermiques classiques
  - Une **menace** pour les installations
  - Une **ressource à partager** avec d'autres utilisateurs de l'eau (agriculture, tourisme, environnement, ...)



- ◆ L'hydrométéorologie est nécessaire pour:
  - Assurer la **sécurité** et la sûreté des installations
  - Respecter les **normes environnementales**
  - Améliorer la **gestion** des ressources en eau
  - **Optimiser** la production des centrales



- ➔ **Besoin fort de prévisions hydrométéorologiques**
  - ➔ **Utilisateurs finaux:** opérateurs hydrauliques et nucléaires et équipes d'optimisation d'EDF
  - ➔ **Estimation et communication des incertitudes :** de première importance pour améliorer la gestion des ressources en eau et la prise de décision





- ◆ Une longue tradition : depuis les années 50...
  - ◆ Débits entrant dans les barrages (*années 50 : modèles statistiques*)
  - ◆ Précipitations (*années 70 : méthode par analogie*)
  - ◆ Débits (*années 90 : prévisions subjectives*)
  - ◆ Température de l'eau (*2004, après la vague de chaleur 2003*)
  - ◆ Vent (*2008*)
  - ◆ Sédiments (*2009*)
  - ◆ ...
  
- ◆ ... Et jusqu'à aujourd'hui, sur la base des prévisions d'ensembles météorologiques
  - ◆ Précipitations et température de l'air (*2010*)
  - ◆ Débits (*2010*)

# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

## Organisation

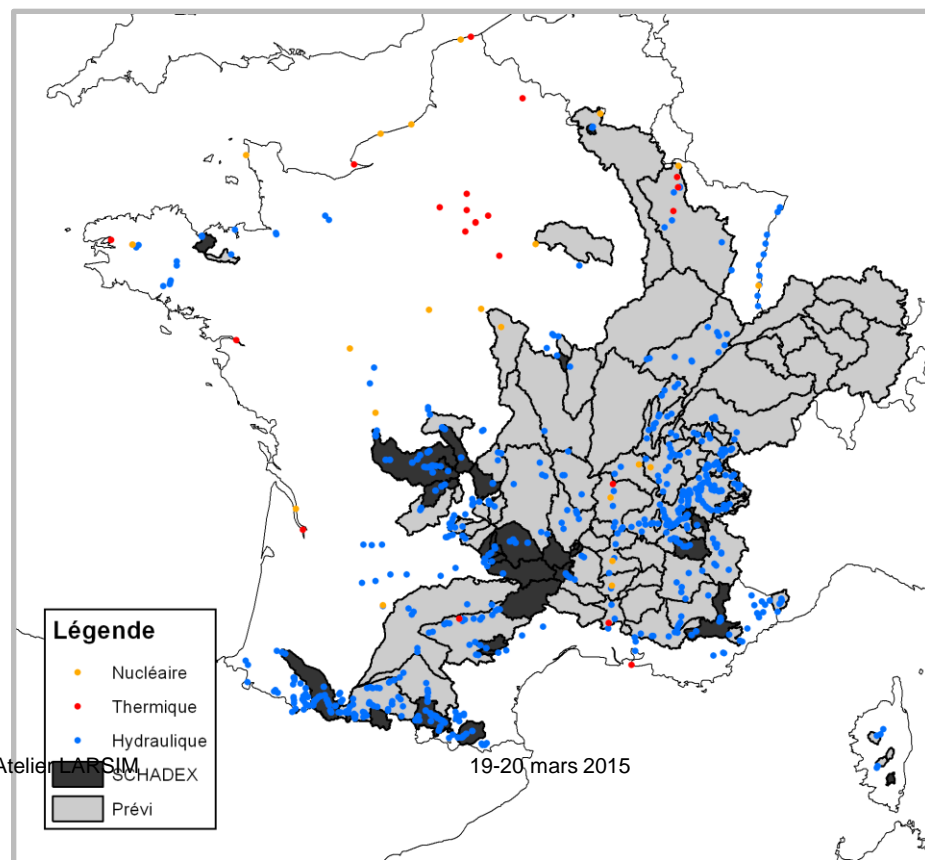


### ◆ Prévisions de débits

- quotidiennes, à courtes et longues échéances
- ~ 130 bassins versants (de ~ 10 à 50000 km<sup>2</sup>)
- principalement dans les régions montagneuses
- ~ 250 000 km<sup>2</sup>
- conçues pour la sécurité et l'optimisation des moyens de production EDF

### ◆ Deux centres de prévision

- ~ 20 prévisionnistes
- Grenoble et Toulouse

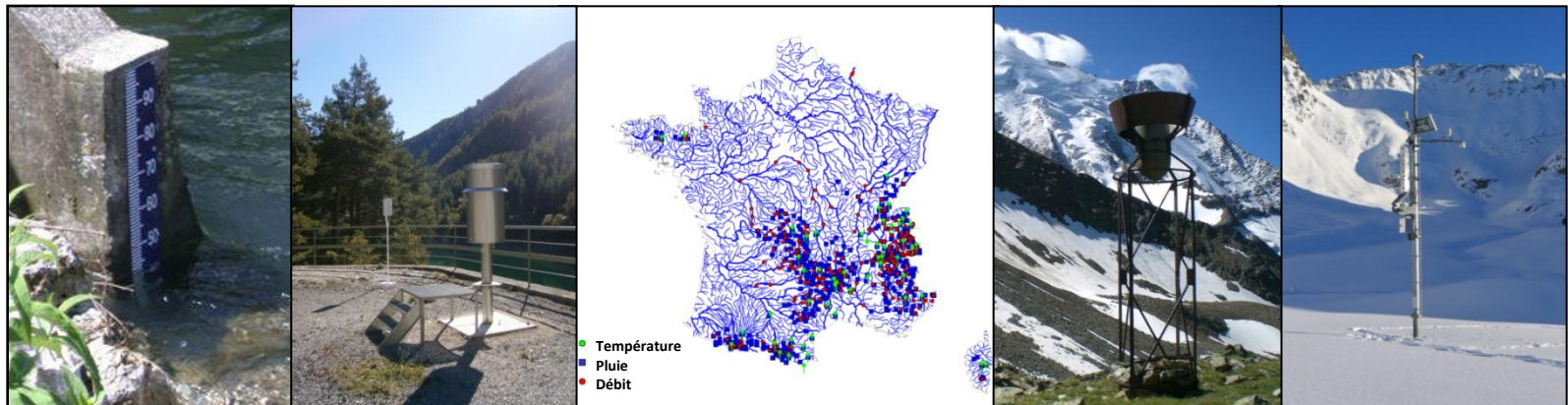
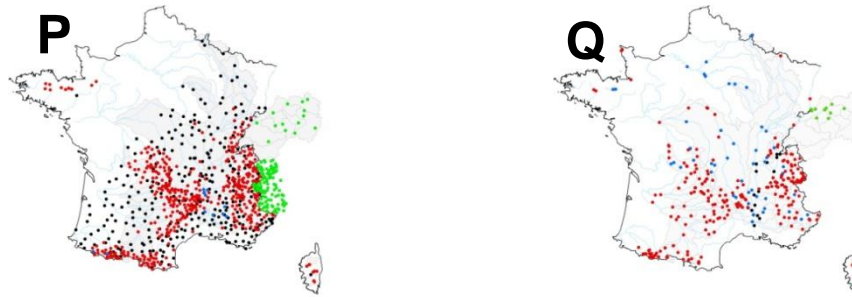


# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

## Surveillance – réseau sol



- ◆ Réseau sol EDF :
  - ~ 1200 stations (pluie , débit, température de l'air et de l'eau, teneur en eau de la neige, sédiments,...), dont ~700 télétransmises en temps réel
  - Longues séries chronologiques (depuis les années 50)
- ◆ + réseaux partenaires (Météo-France, Météo-Suisse, OFEV,...)



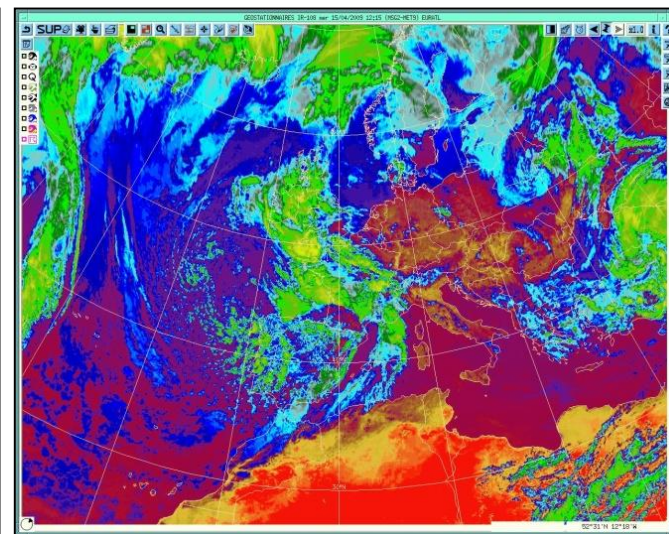
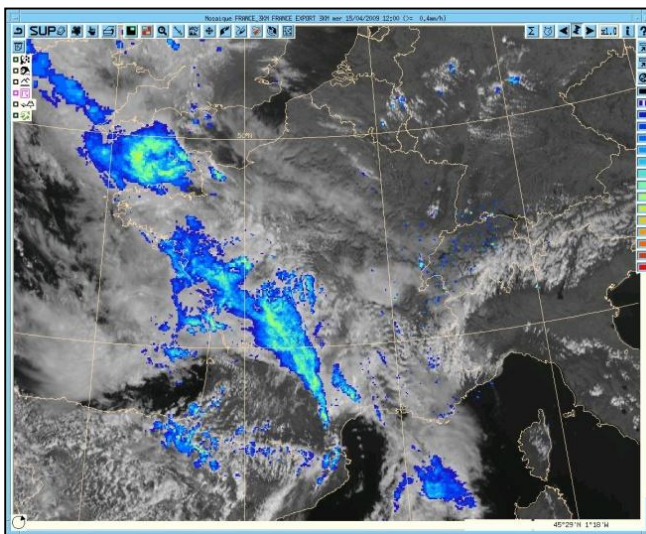
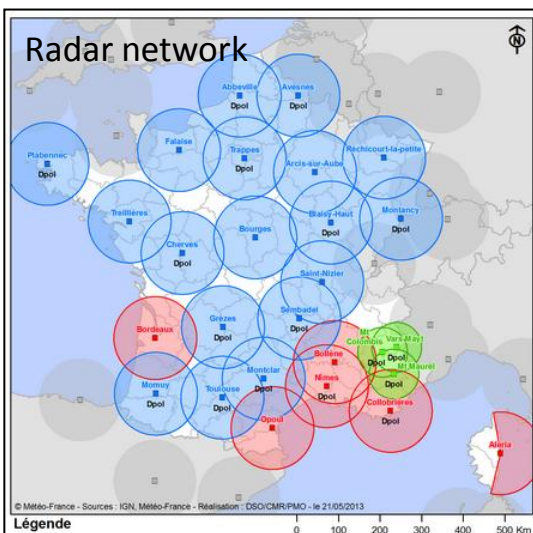
# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

## Surveillance – météo



- ◆ Une large utilisation de produits de télédétection pour les observations atmosphériques
  - Images satellite (IR, visible, vapeur d'eau)
  - Précipitations RADAR (réflectivité radar et fusion radar/pluviomètres)

→ *Via collaboration avec Météo France*



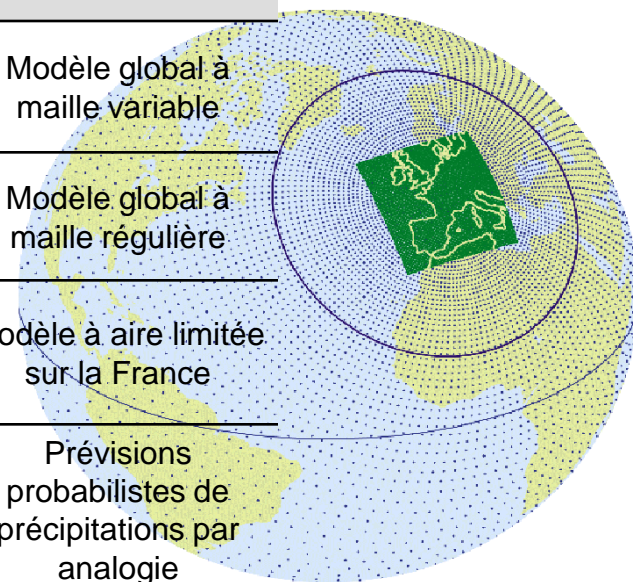


# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

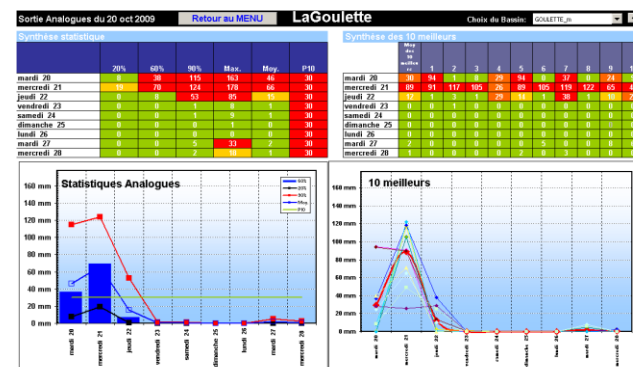
## Surveillance – météo



Modèle	Origine	Résolution spatiale	Portée	Fréquence	Caractéristiques
ARPEGE	Météo-France	10 (à 70) km	102h	2 runs/jour	Modèle global à maille variable
CEP	ECMWF	16 km	240h	2 runs/jour	Modèle global à maille régulière
AROME	Météo-France	2,5 km	30h	4 runs/jour	Modèle à aire limitée sur la France
ANALOGUES	EDF-DTG	-	8J	1 run/jour	Prévisions probabilistes de précipitations par analogie



+ autres modèles, prévisions d'ensemble, etc.



# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

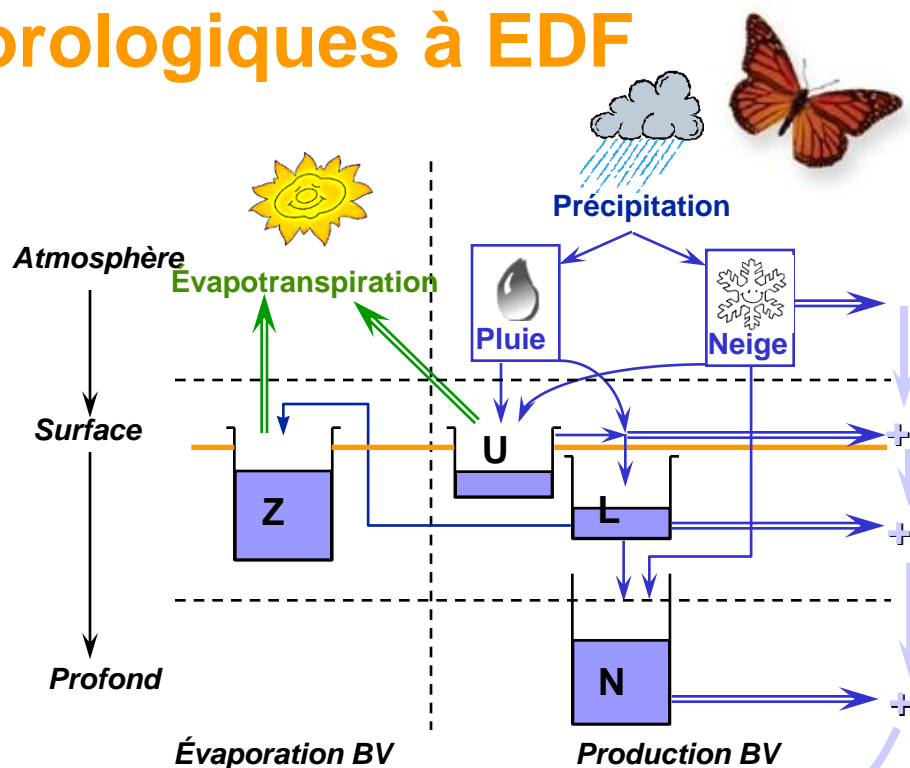
## Modèles hydrologiques

### ◆ Modèle hydrologique MORDOR (DTG)

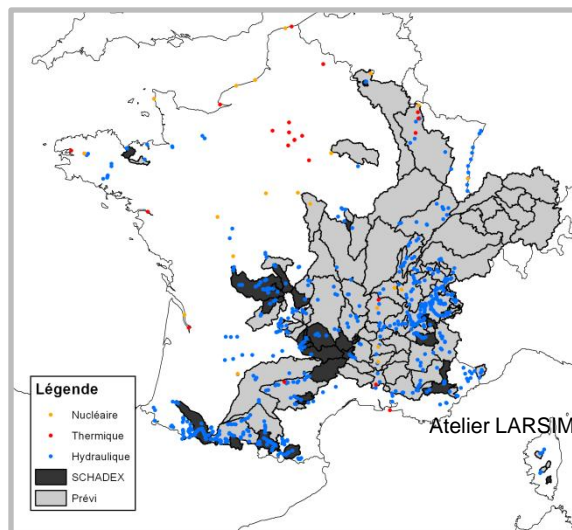
- Conceptuel
- Global ou semi-distribué
- Continu
- Forçages: Pluie spatiale & Température

### ◆ Modèles de propagation (PREDICE)

Plus de 130 bassins MORDOR pour de la prévision en 2014



Débit naturel



# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

## Produits actuels



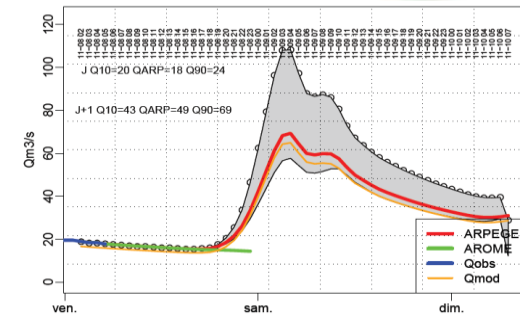
Sureté des  
ouvrages  
**24h**

### Court terme

Prévisions déterministes horaires  
*Météo = Modèles haute résolution*

**14 jours**

**6 mois**



# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

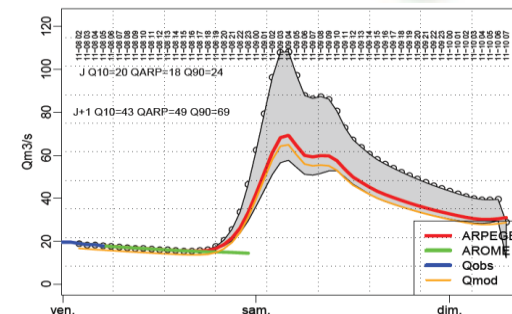
## Produits actuels



Sureté des  
ouvrages  
24h

### Court terme

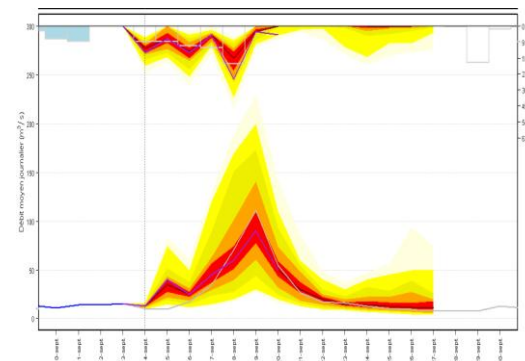
Prévisions déterministes horaires  
*Météo = Modèles haute résolution*



*Optimisation et  
gestion de l'eau*

### Moyen terme

Prévisions déterministes journalières à 7 jours  
Prévisions probabilistes journalières à 14 jours  
*Meteo = Modèles haute résolution, analogues,  
ensembles CEP*



14 jours

6 mois



# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

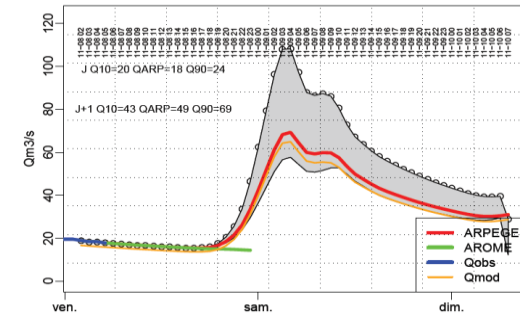
## Produits actuels



Sureté des  
ouvrages  
24h

### Court terme

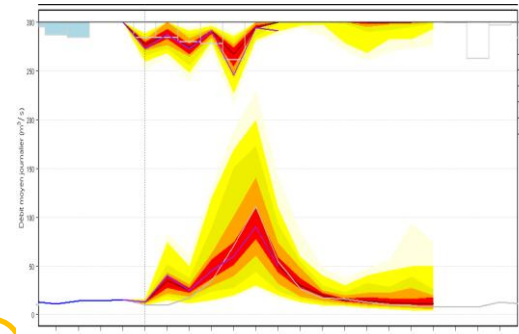
Prévisions déterministes horaires  
*Météo = Modèles haute résolution*



*Optimisation et  
gestion de l'eau*

### Moyen terme

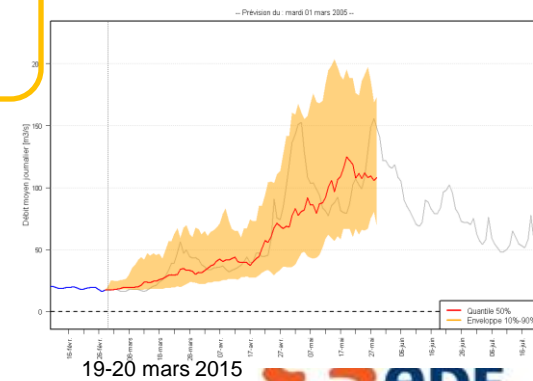
Prévisions déterministes journalières à 7 jours  
Prévisions probabilistes journalières à 14 jours  
*Meteo = Modèles haute résolution, analogues,  
ensembles CEP*



14 jours

### Long terme

Prévisions probabilistes journalières  
*Meteo = climatologie*



*Prévisions d'apports  
aux barrages*

6 mois

# Prévisions hydrométéorologiques à EDF

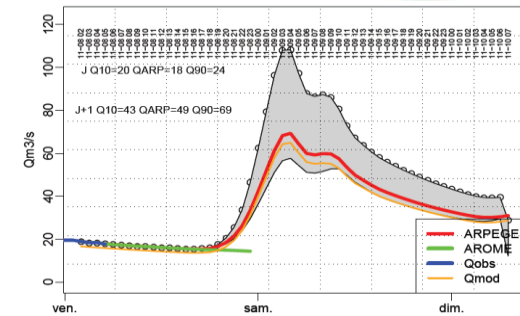
## Produits actuels



Sureté des  
ouvrages  
24h

### Court terme

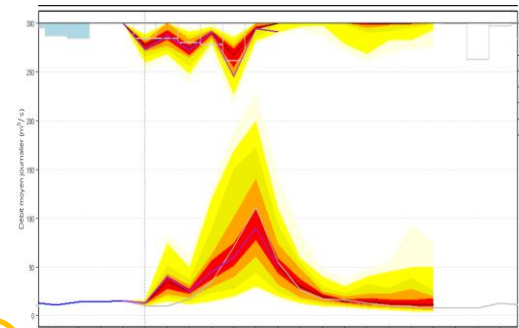
Prévisions déterministes horaires  
*Météo = Modèles haute résolution*



Optimisation et  
gestion de l'eau

### Moyen terme

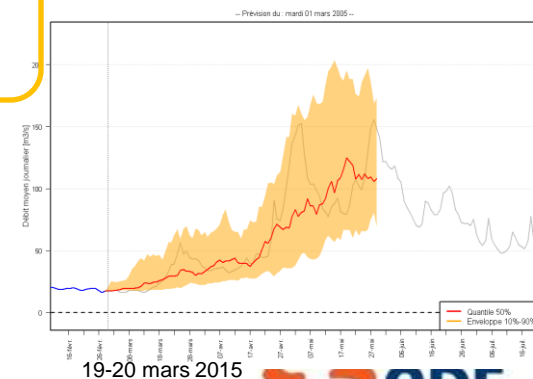
Prévisions déterministes journalières à 7 jours  
Prévisions probabilistes journalières à 14 jours  
*Meteo = Modèles haute résolution, analogues, ensembles CEP*



14 jours

### Long terme

Prévisions probabilistes journalières  
*Meteo = climatologie*



Prévisions d'apports  
aux barrages

6 mois



### ◆ Notre expérience a montré que :

- La **communication des incertitudes** à l'utilisateur final est essentielle
- **L'estimation de ces incertitudes** doit être objectivée pour éviter sous-dispersion et une dépendance aux prévisionnistes (problèmes industriels complexes )
- **L'expertise** des prévisionnistes est utile et doit être maintenue

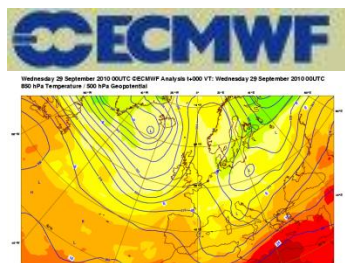
➔ *Mise en œuvre d'une chaîne de prévision d'ensemble semi-automatique pour améliorer le travail des prévisionnistes et la communication des incertitudes*

### ◆ Système conçu pour :

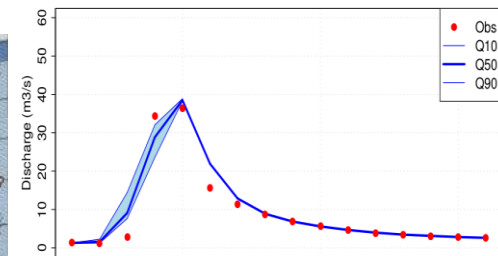
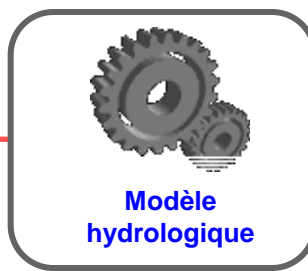
- Tenir compte de la gamme complète de incertitudes (météorologique et hydrologique)
- Assurer une bonne calibration statistique des prévisions
- Permettre une expertise humaine à tous les niveaux

# Chaine de prévision opérationnelle à EDF

## Description



**50 scénarios  
de pluie &  
température**

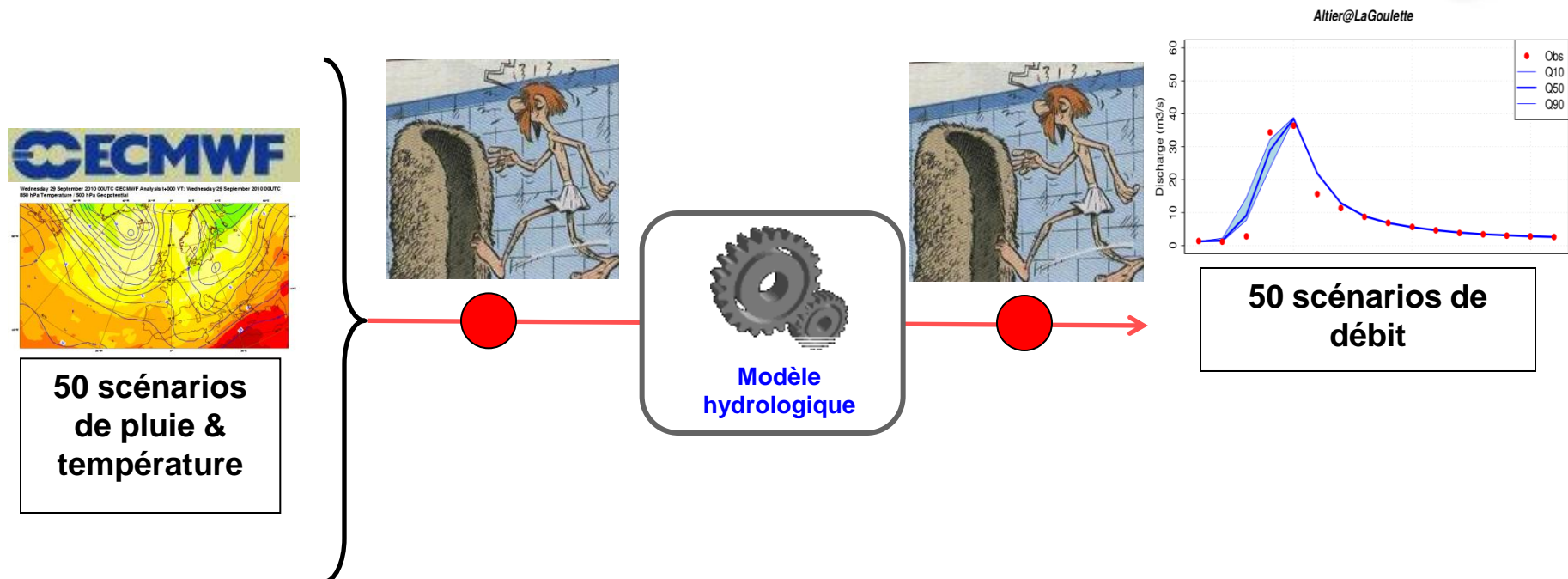


**50 scénarios de  
débit**



# Chaine de prévision opérationnelle à EDF

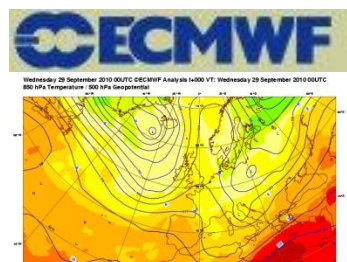
## Description



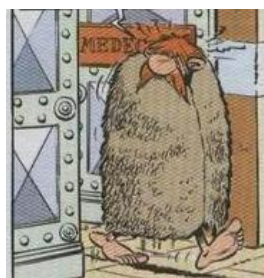
- ◆ Prévisions d'ensemble brutes généralement **biaisées** et **sous-dispersives** (précipitations, températures et débits)
- ◆ **L'habillage/post-traitement des prévisions d'ensemble** est nécessaire pour assurer une bonne fiabilité et un bon calibrage statistique du système

# Chaine de prévision opérationnelle à EDF

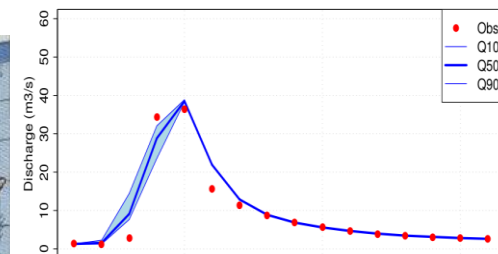
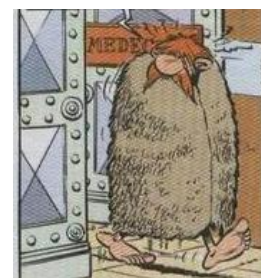
## Description



50 scénarios  
de pluie &  
température



Modèle  
hydrologique



50 scénarios de  
débit

1

Approche Analogues  
(Z700-Z1000)

2

Incertitudes des  
prévisions du modèle  
hydrologique

# Chaine de prévision opérationnelle à EDF

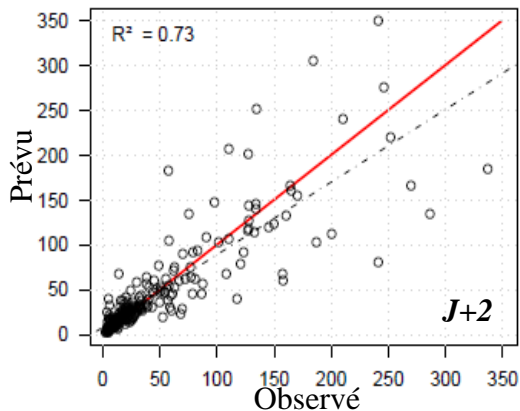


## Verification - Propriétés statistiques

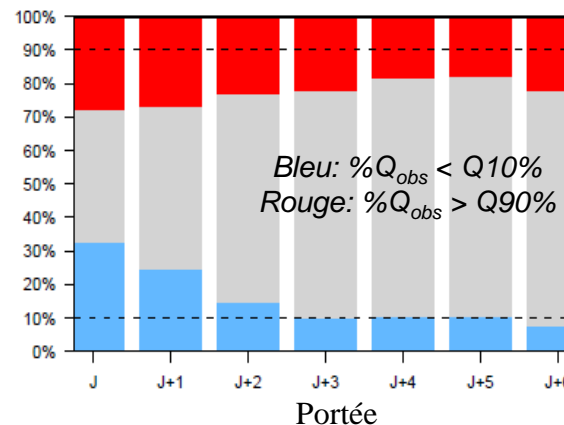
◆ Nous voulons que nos prévisions soient :

- non biaisées
- fiables
- plus fines que les prévisions climatologiques (prévisions à partir des données historiques)

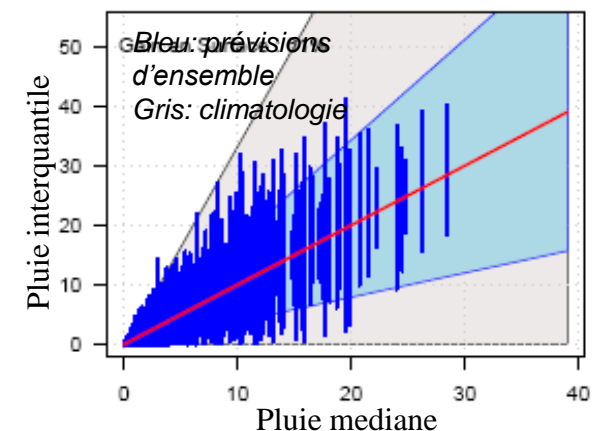
### Performance déterministe



### Fiabilité



### Finesse



◆ Propriétés résumées par un score probabiliste:

*Continuous Ranked Probability Score [Brown, 1974]*

■ Score brut:

$$CRPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{+\infty} (F^{prev}(x_i) - H(x_i))^2 dx_i$$

$$H(x < x_{obs}) = 0$$

$$H(x > x_{obs}) = 1$$

■ Score de performance (vs climatologie):

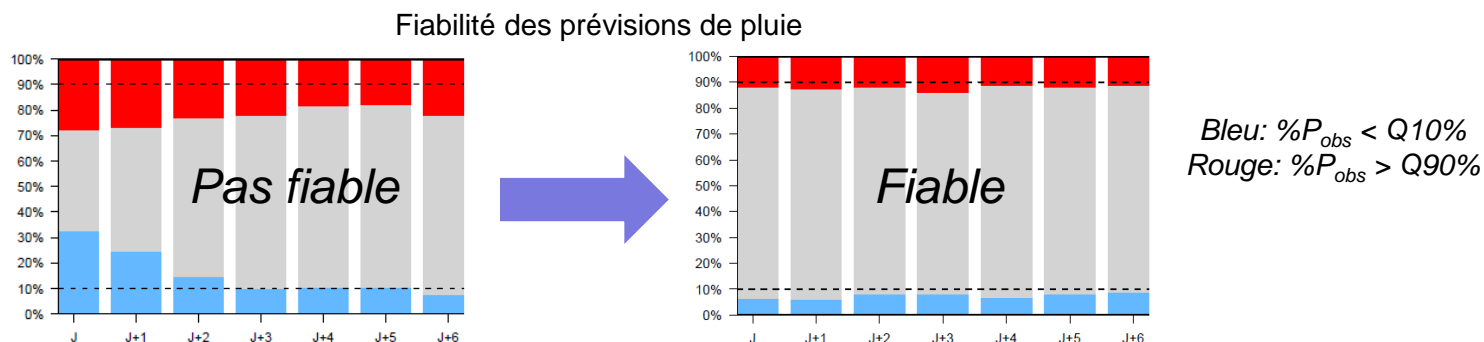
$$CRPSS = \frac{CRPS_{clim} - CRPS_{fc}}{CRPS_{clim}} > 0$$

# Chaine de prévision opérationnelle à EDF

## Post-traitement et expertise



### ◆ Habillage des scénarios météo: mix des ENS (CEP) et des Analogues



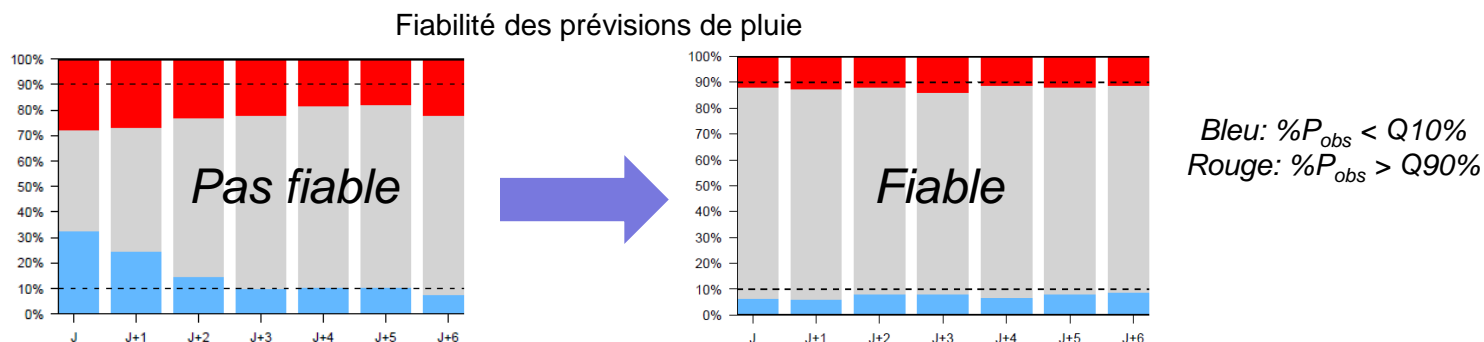


# Chaine de prévision opérationnelle à EDF

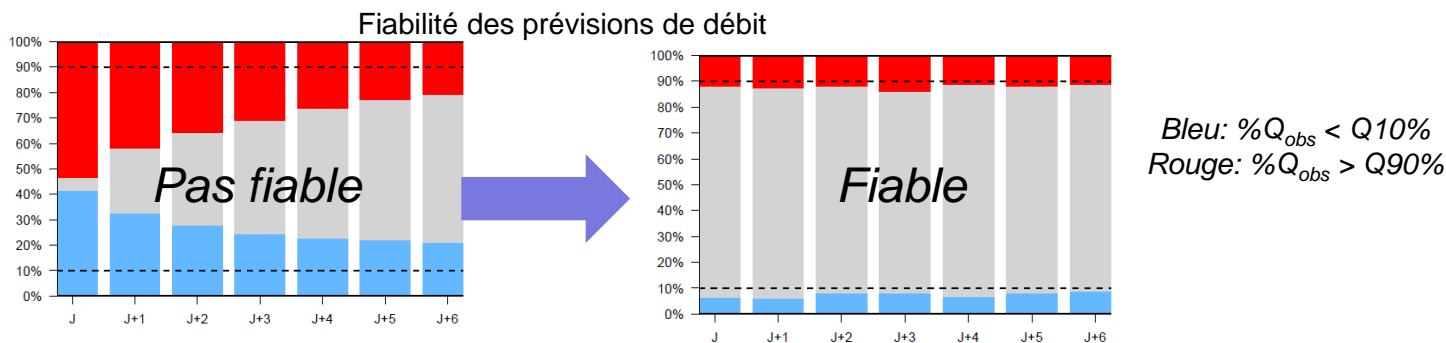
## Post-traitement et expertise



### ◆ Habillage des scénarios météo: mix des ENS (CEP) et des Analogues



### ◆ Habillage des scénarios hydrologiques: modélisation statistique des incertitudes du modèle pluie-débit

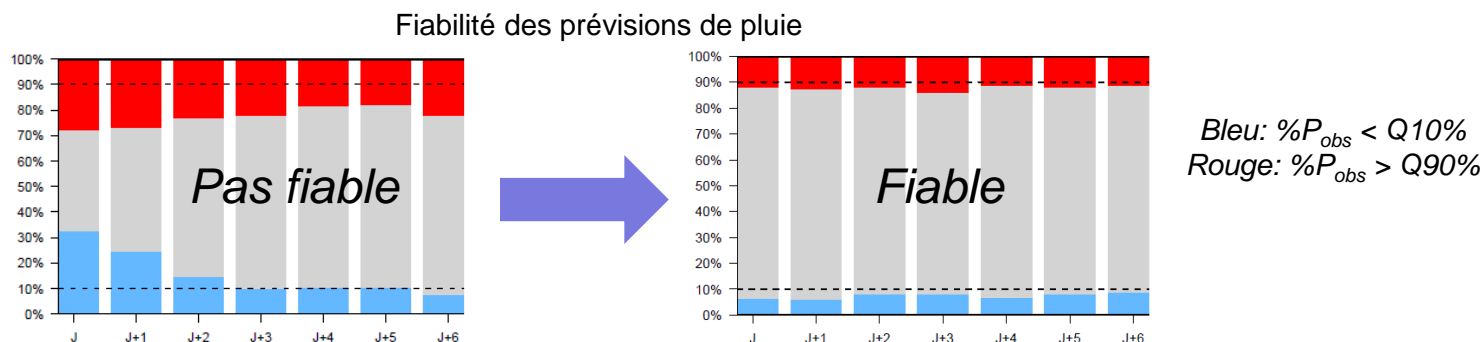


# Chaine de prévision opérationnelle à EDF

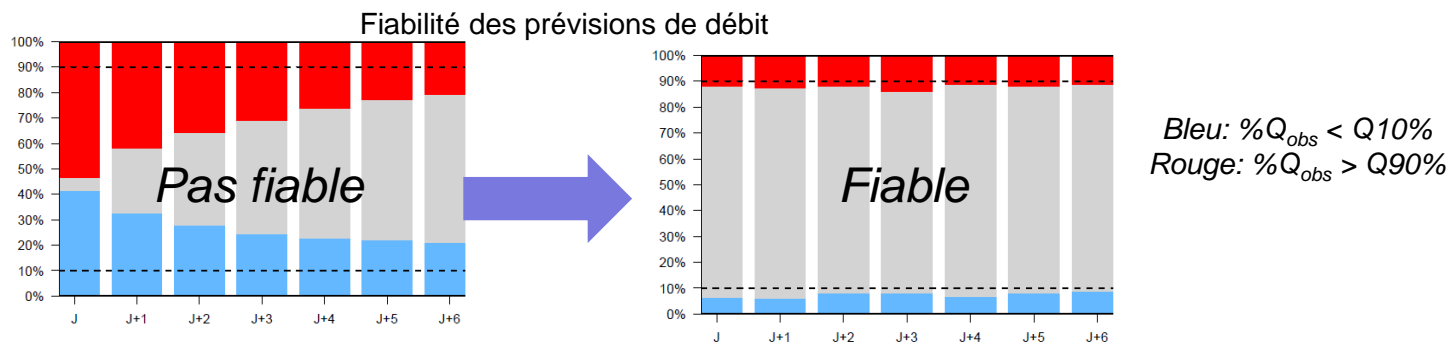
## Post-traitement et expertise



### ◆ Habillage des scénarios météo: mix des ENS (CEP) et des Analogues



### ◆ Habillage des scénarios hydrologiques: modélisation statistique des incertitudes du modèle pluie-débit



### ◆ Expertise: les prévisionnistes peuvent modifier les scénarios de pluie, température et débit, en fonction de leur expertise

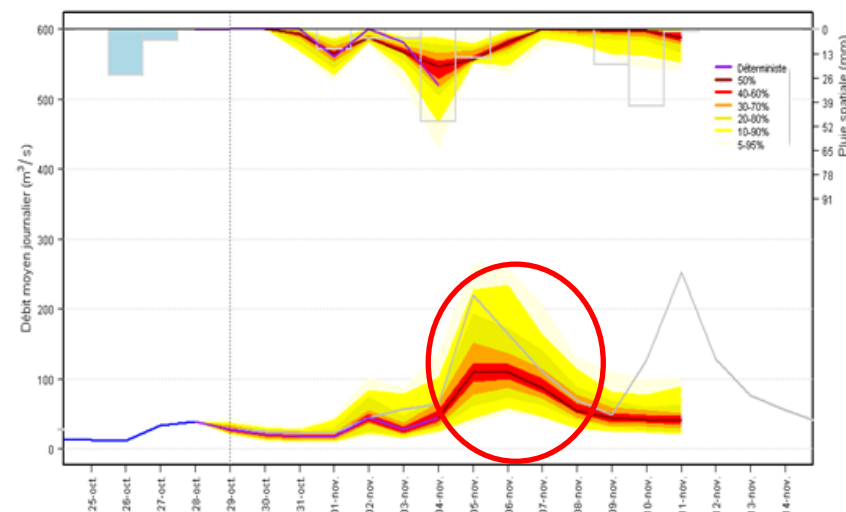
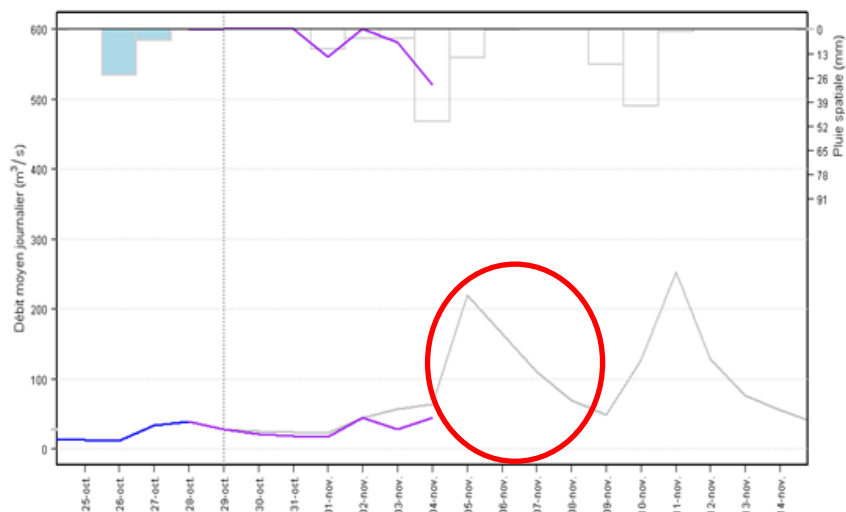
# Prévisions probabilistes

## Intérêts



### ◆ Une meilleure anticipation

- La portée de prévision passe de 7 à 14 jours. L'incertitude de prévision est évidemment importante sur les dernières échéances, mais l'expérience montre un gain fréquent pour l'anticipation et la détection du risque.



*Prévisions déterministe (à gauche) et probabiliste (à droite) du 28 octobre 2012 sur l'Ain à Vouglans.  
La prévision probabiliste permet d'anticiper la crue du 5 novembre 2012*

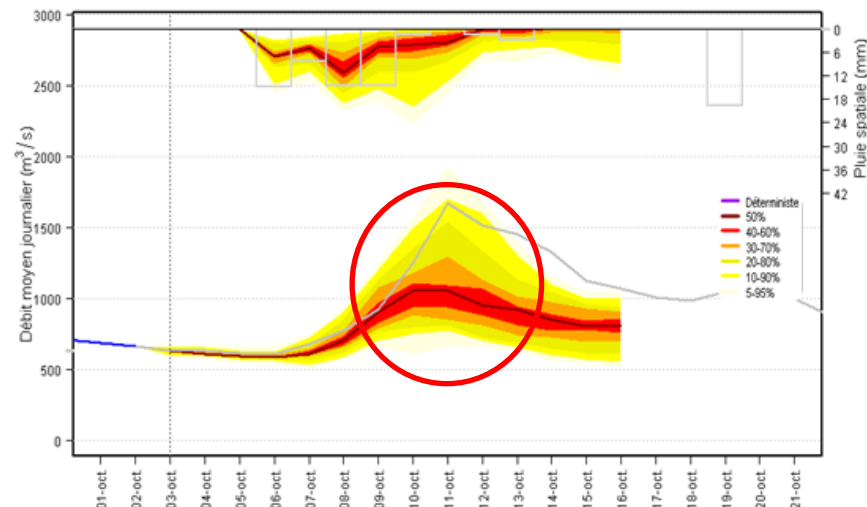
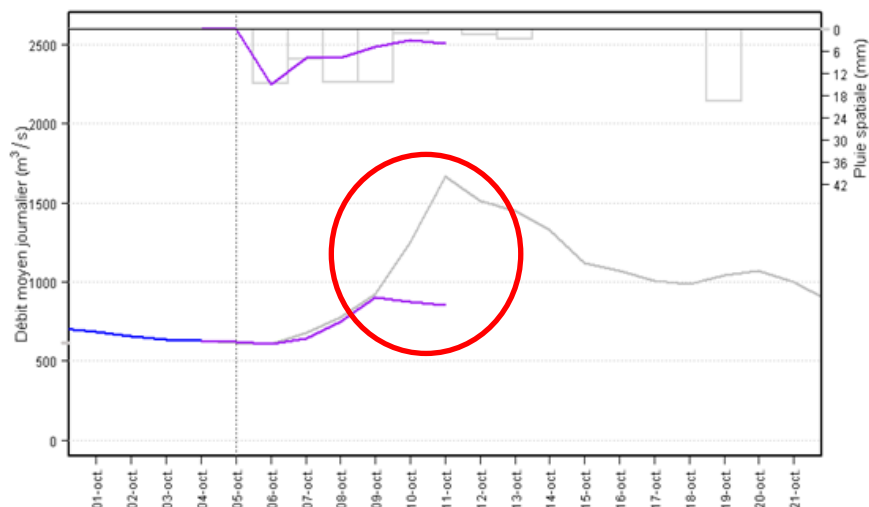
# Prévisions probabilistes

## Intérêts



### ◆ Une meilleure une meilleure détection du risque

- L'enveloppe de prévision fournie par les quantiles 10% et 90% permet à l'utilisateur de connaître l'incertitude associée à chaque prévision, et de mieux appréhender le risque, même associé à une faible probabilité.



*Prévisions déterministe (à gauche) et probabiliste (à droite) du 4 octobre 2011 sur le Rhin à Rheinhalle.  
La pointe de crue du 11 octobre 2011 est incluse dans la prévision probabiliste.*

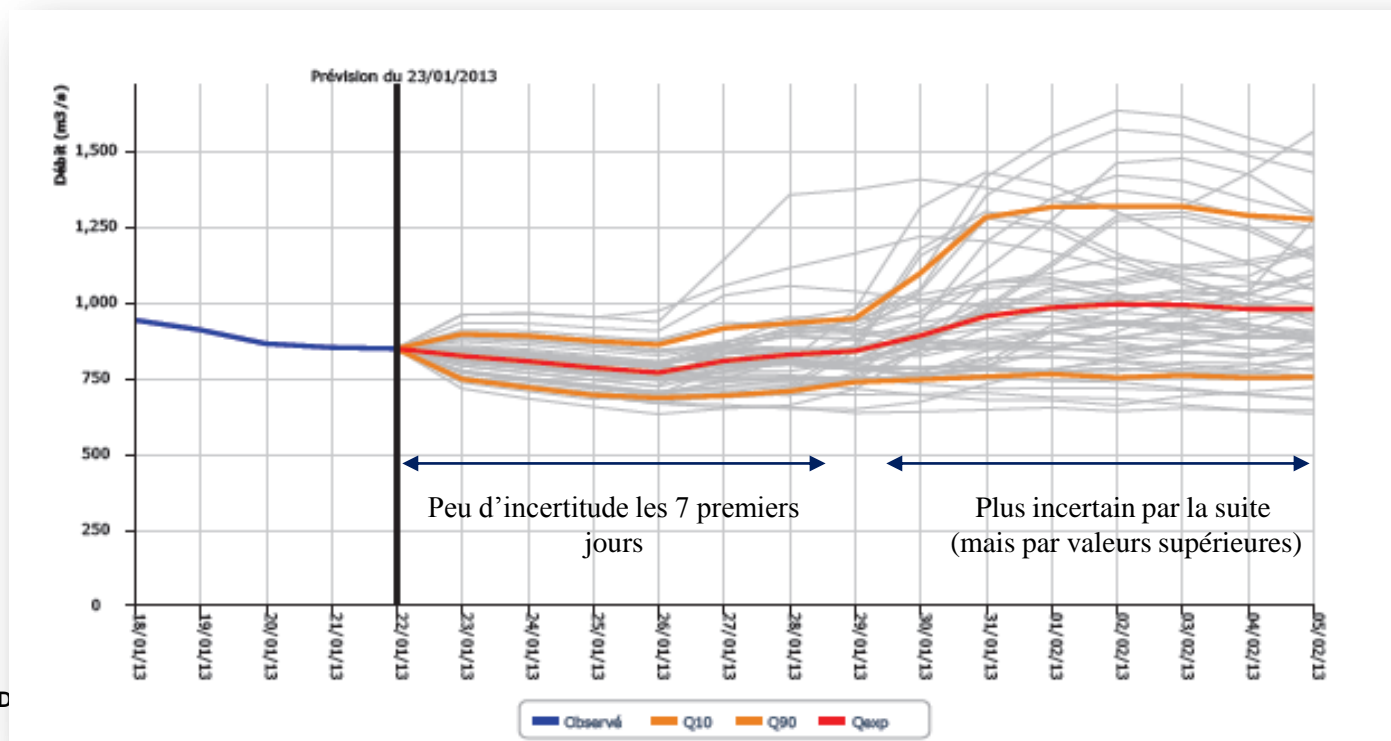
# Prévisions probabilistes

## Intérêts



### ◆ Une prise de décision plus objective

- Selon la problématique de l'utilisateur, la prise de décision peut se baser sur différents quantiles de prévision.
  - Dans le cas d'un risque de déversement, l'utilisation du quantile 90% peut ainsi être judicieuse.
  - Dans le cas d'un objectif de remplissage de retenue, il peut être intéressant de privilégier le quantile 10%.
  - Enfin, en l'absence d'enjeux spécifiques, l'utilisation de la moyenne est à privilégier, dans la mesure où elle constitue la meilleure prévision disponible



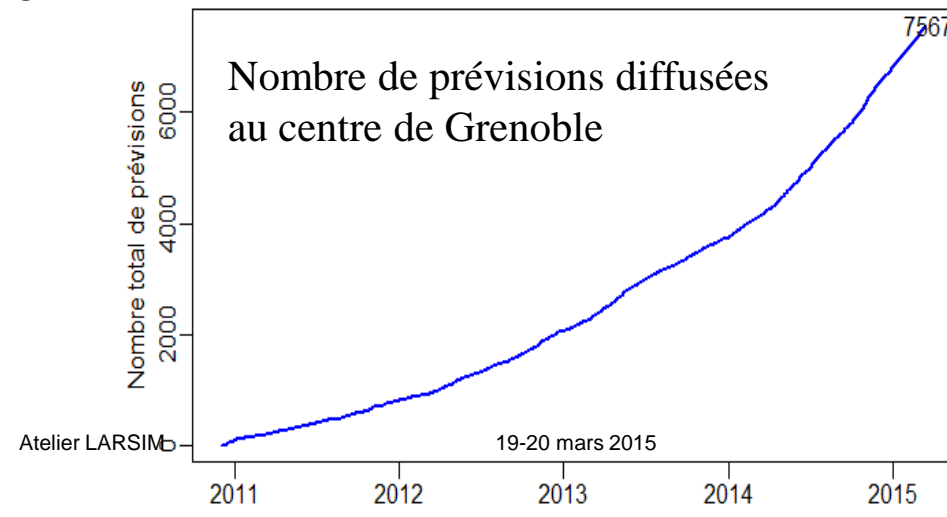


# Notre expérience après 4 années de prévisions opérationnelles quotidiennes



- ◆ Ce type de prévision est opérationnel à EDF depuis décembre 2010
- ◆ Fin 2014 :
  - ◆ EDF réalise des prévisions probabilistes en opérationnel sur près de **100 bassins versants** (d'environ 50 à 35500 km<sup>2</sup>)
  - ◆ **Plus de 10000 prévisions expertisées** ont été diffusées à près de 200 utilisateurs
  - ◆ Des prévisions d'ensembles brutes, des prévisions d'ensemble habillées et des prévisions d'ensemble expertisées ont été archivées pour des analyses statistiques

➔ **Un jeu de données très riche!**

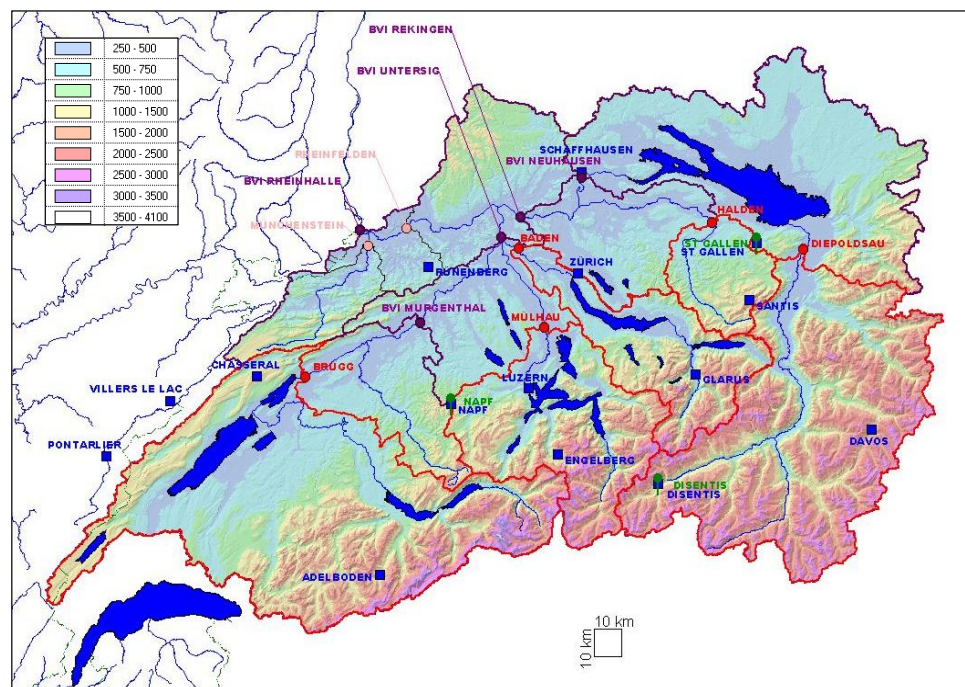


# Rhin – prévisions probabilistes

## Réseau et modèles



- ◆ **Contrats avec l'OFEV et Météo-Suisse** – récupération des données horaires en temps réel
  - ◆ OFEV : 12 stations hydrométriques
  - ◆ Météo-Suisse : 12 stations pluviométriques et 3 températures de l'air
- ◆ **Modèles hydrologiques**
  - ◆ 10 modèles emboîtés en déterministe
  - ◆ 1 modèle global en probabiliste

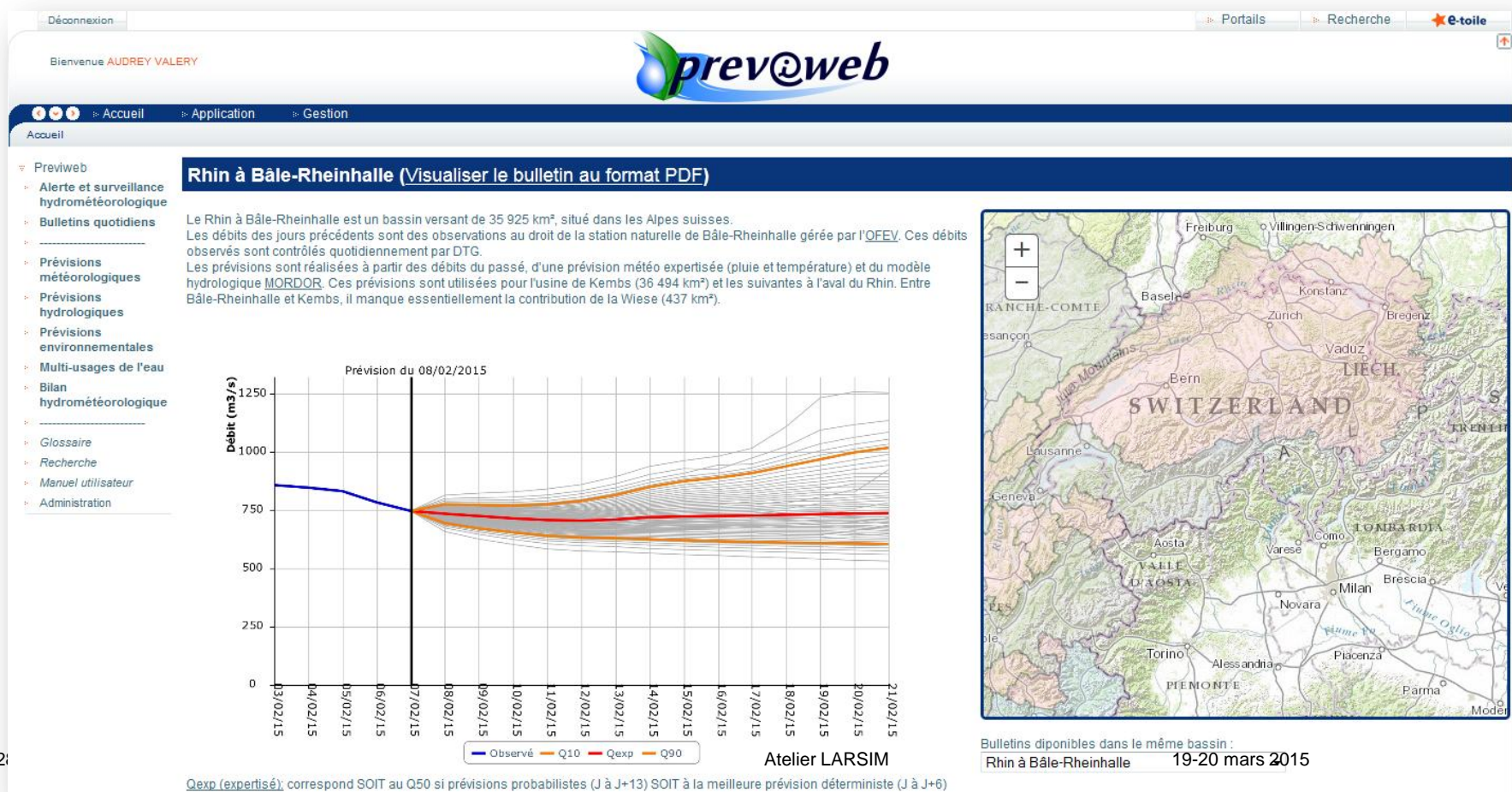


# Rhin – prévisions probabilistes

## Livrables



- ◆ 2 fois par semaine (ou plus si besoin/aléa hydrologique)
- ◆ Vision des quantiles et des spaghetti sur plateforme intranet

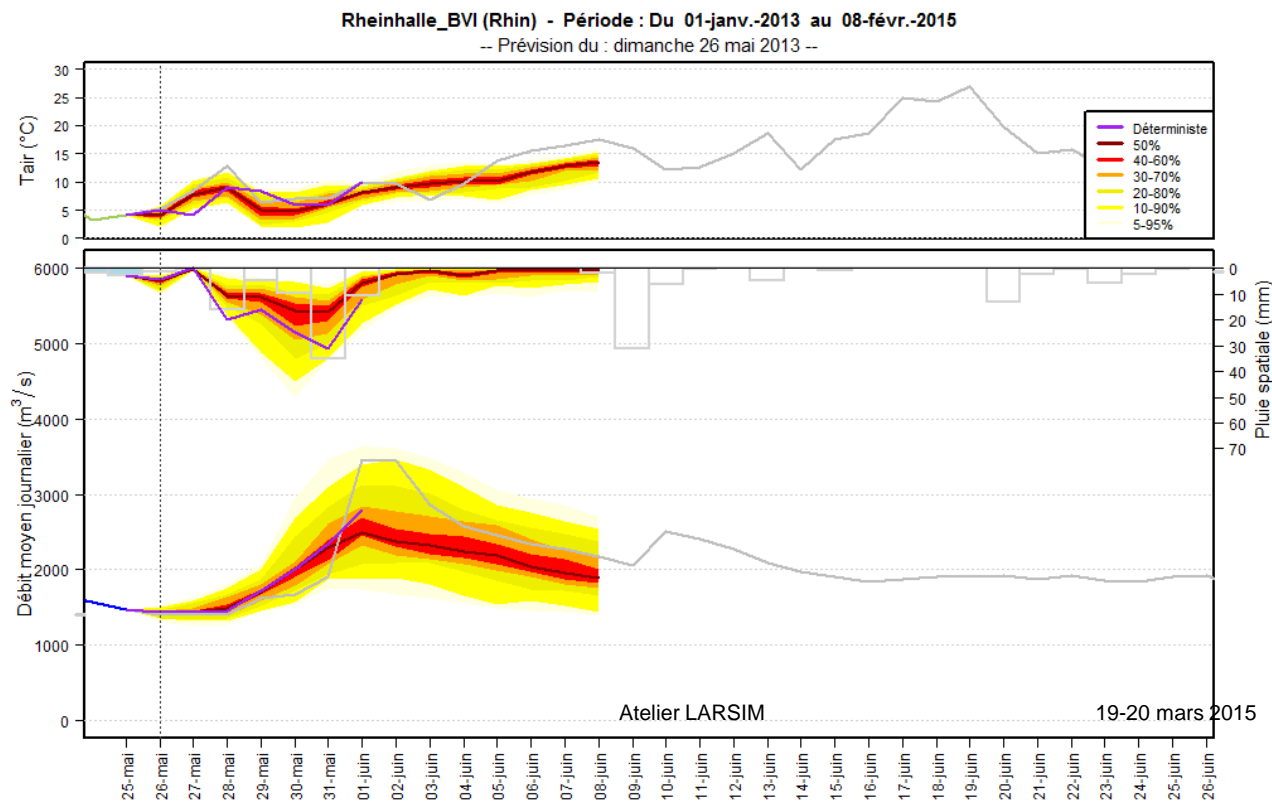


# Rhin – prévisions probabilistes

## Retour sur l'épisode de juin 2013



- ◆ Épisode pressenti 7 jours en avance
- ◆ Bon encadrement de la pointe de crue et de la récession
- ◆ Réactualisations fréquentes (+ contacts téléphoniques)

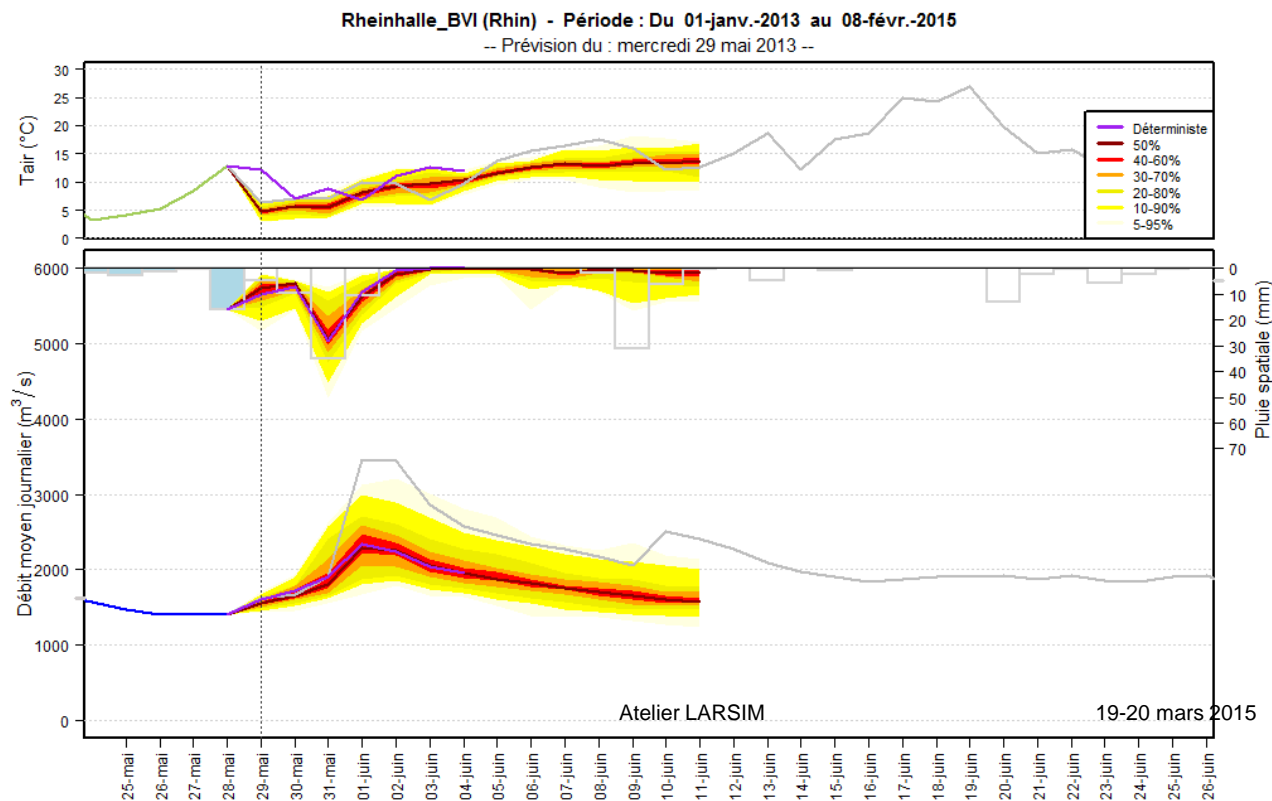


# Rhin – prévisions probabilistes

## Retour sur l'épisode de juin 2013



- ◆ Épisode pressenti 7 jours en avance
- ◆ Bon encadrement de la pointe de crue et de la récession
- ◆ Réactualisations fréquentes (+ contacts téléphoniques)



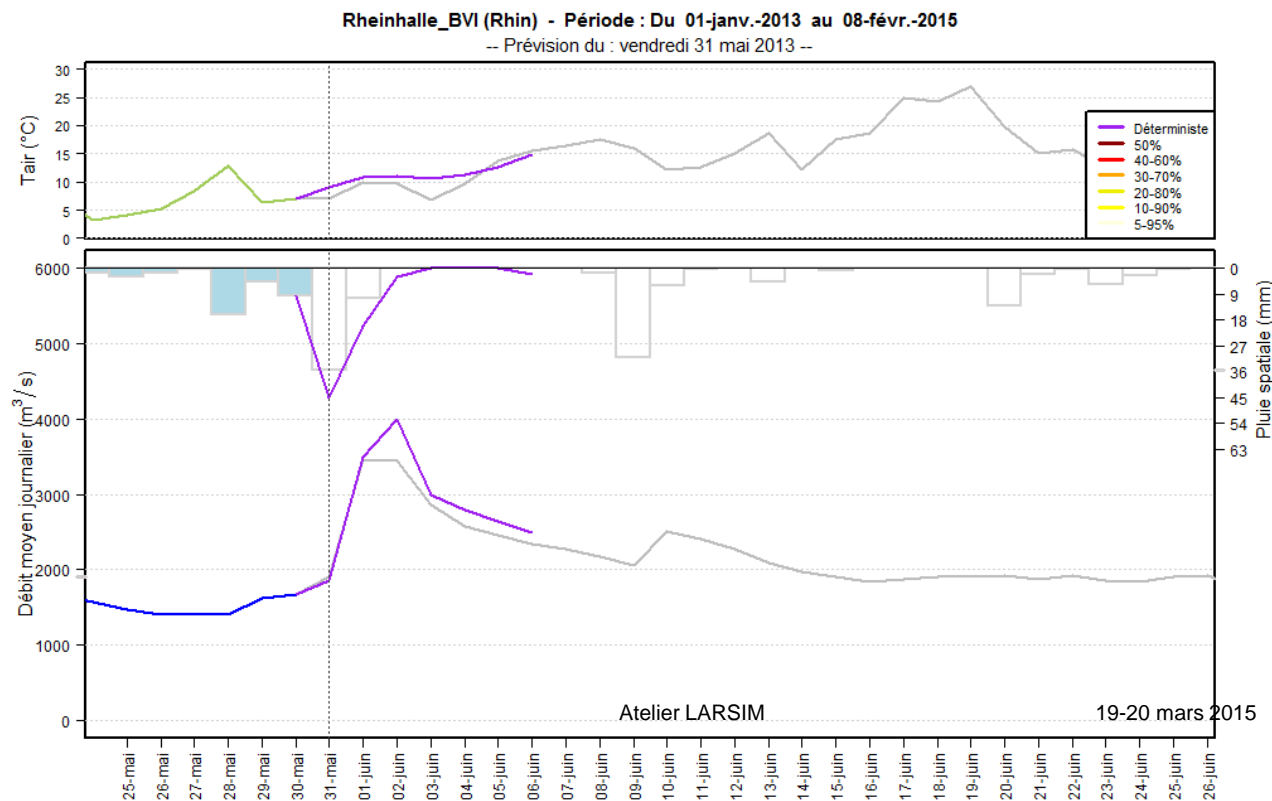


# Rhin – prévisions probabilistes

## Retour sur l'épisode de juin 2013



- ◆ Épisode pressenti 7 jours en avance
- ◆ Bon encadrement de la pointe de crue et de la récession
- ◆ Réactualisations fréquentes (+ contacts téléphoniques)

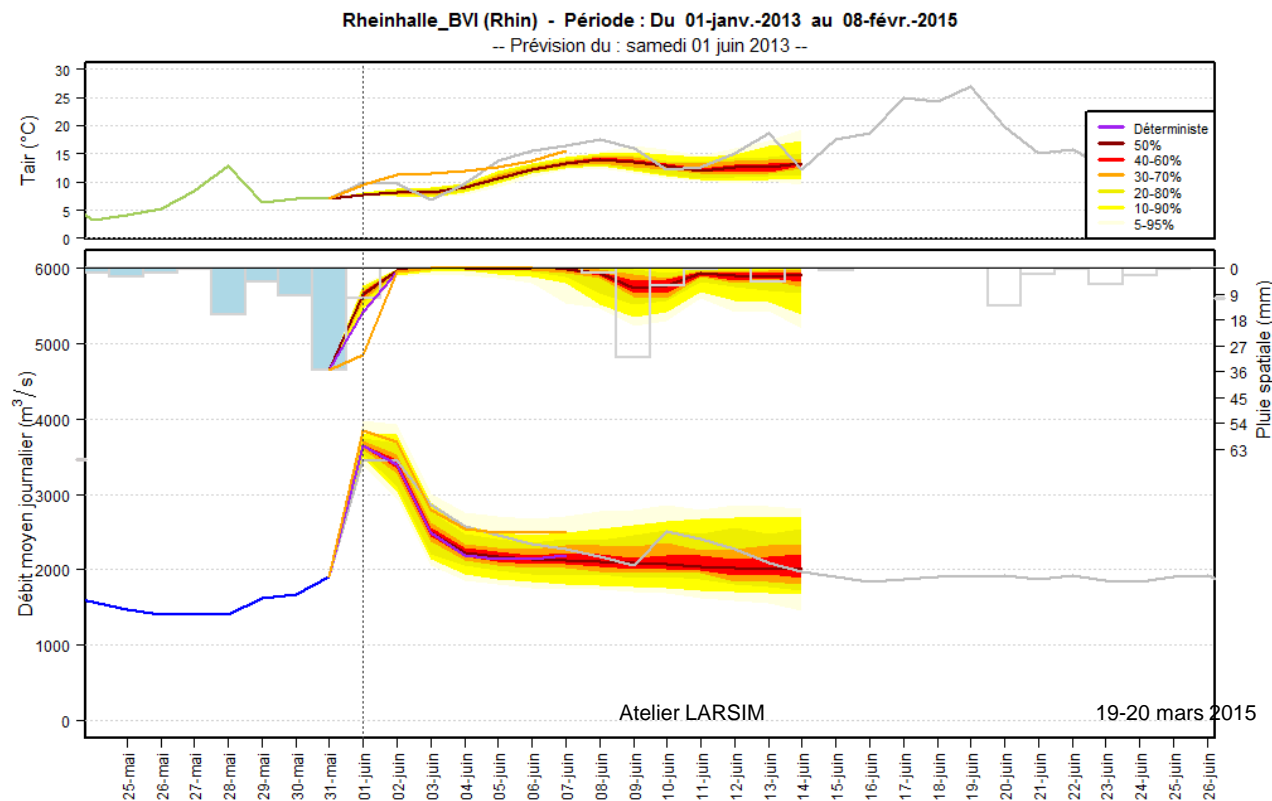


# Rhin – prévisions probabilistes

## Retour sur l'épisode de juin 2013



- ◆ Épisode pressenti 7 jours en avance
- ◆ Bon encadrement de la pointe de crue et de la récession
- ◆ Réactualisations fréquentes (+ contacts téléphoniques)

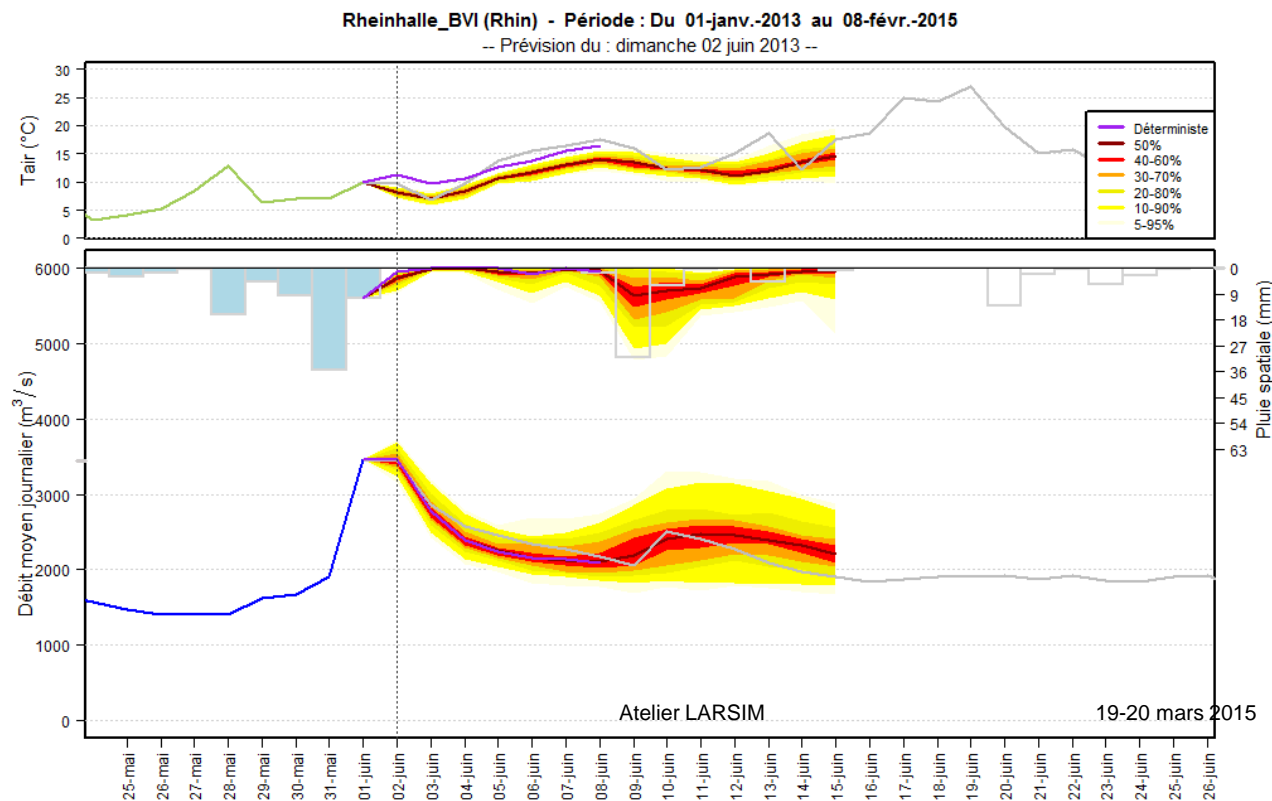


# Rhin – prévisions probabilistes

## Retour sur l'épisode de juin 2013



- ◆ Épisode pressenti 7 jours en avance
- ◆ Bon encadrement de la pointe de crue et de la récession
- ◆ Réactualisations fréquentes (+ contacts téléphoniques)

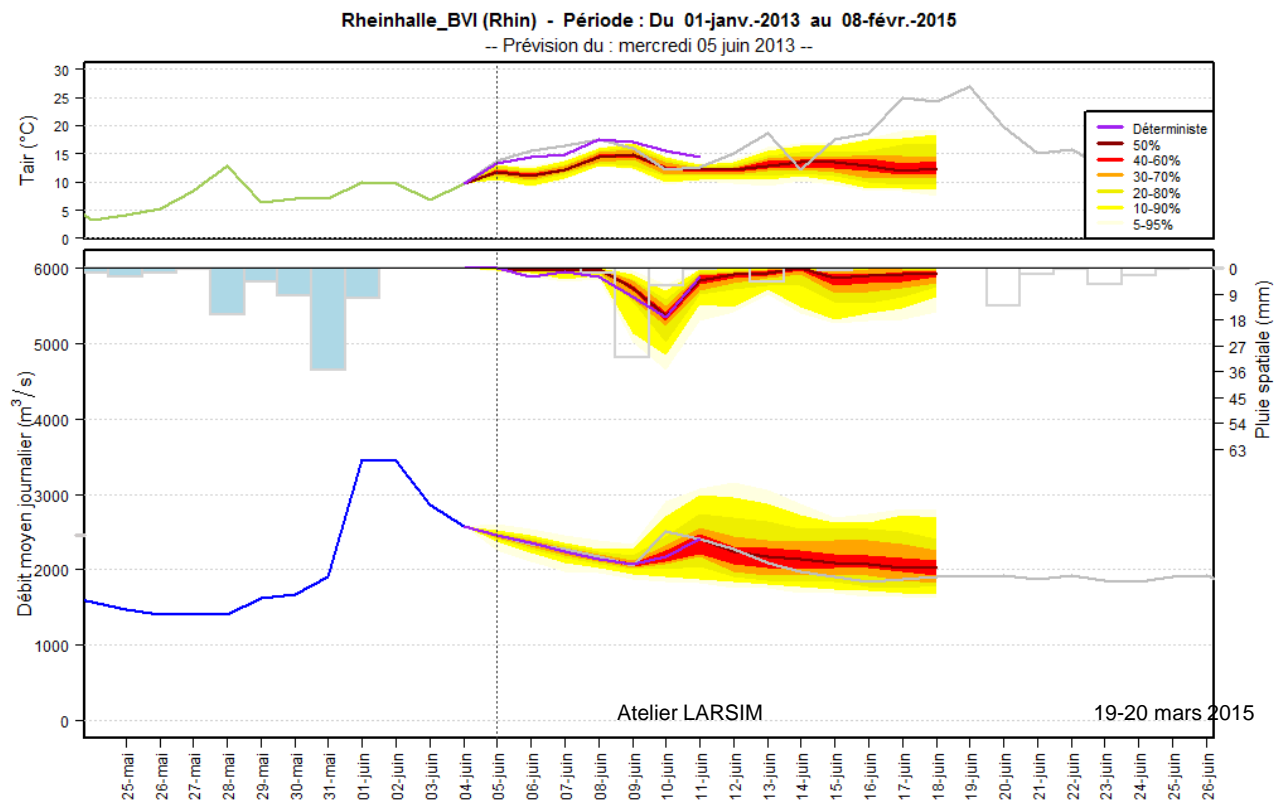


# Rhin – prévisions probabilistes

## Retour sur l'épisode de juin 2013



- ◆ Épisode pressenti 7 jours en avance
- ◆ Bon encadrement de la pointe de crue et de la récession
- ◆ Réactualisations fréquentes (+ contacts téléphoniques)

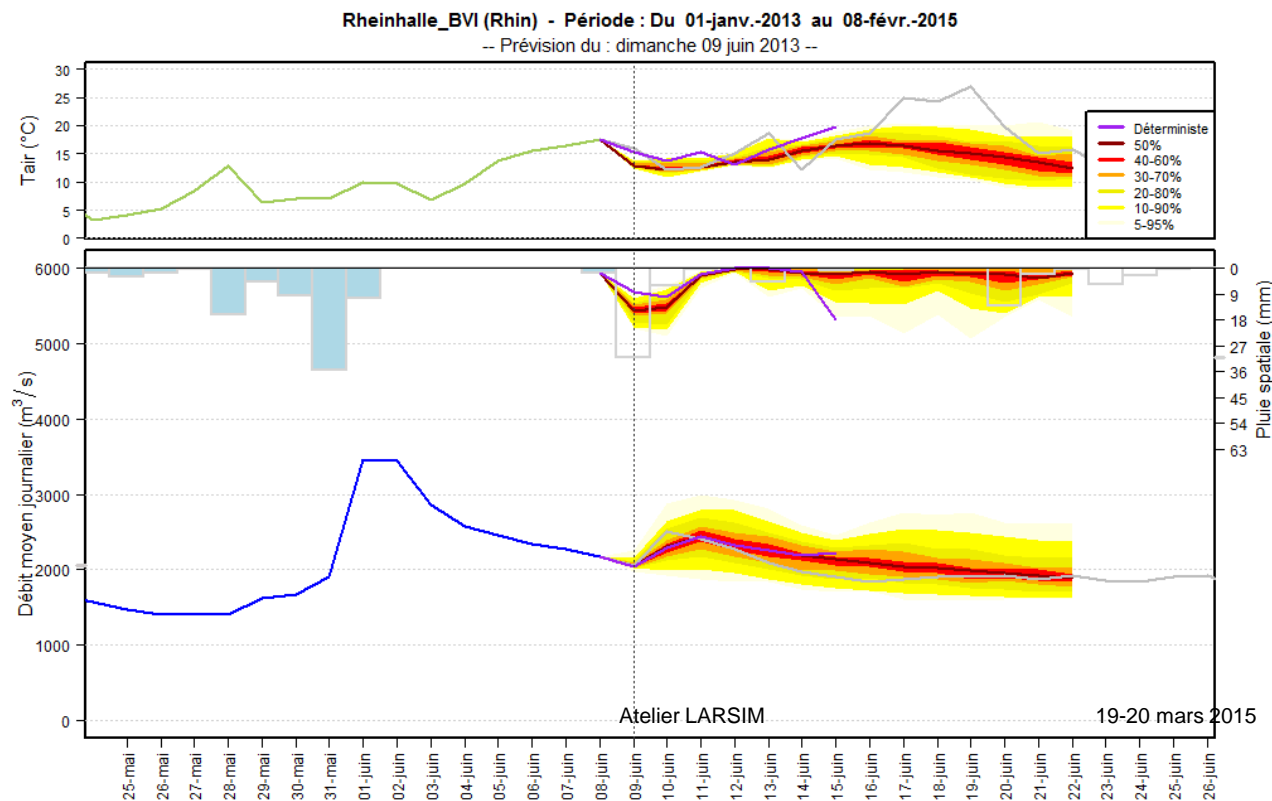


# Rhin – prévisions probabilistes

## Retour sur l'épisode de juin 2013



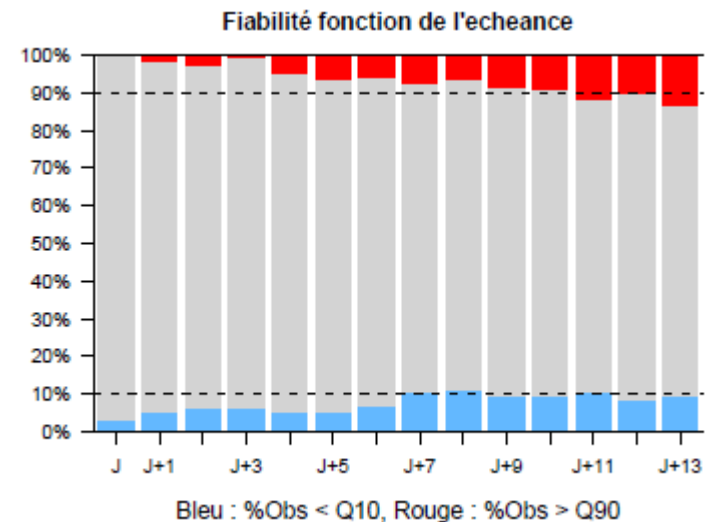
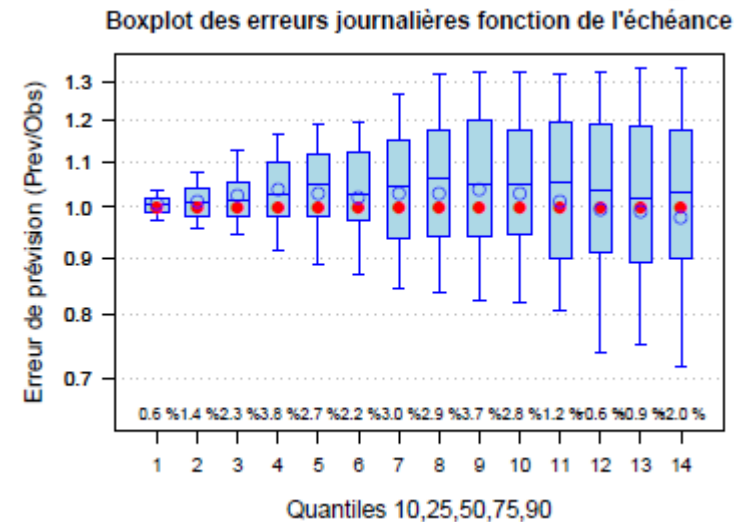
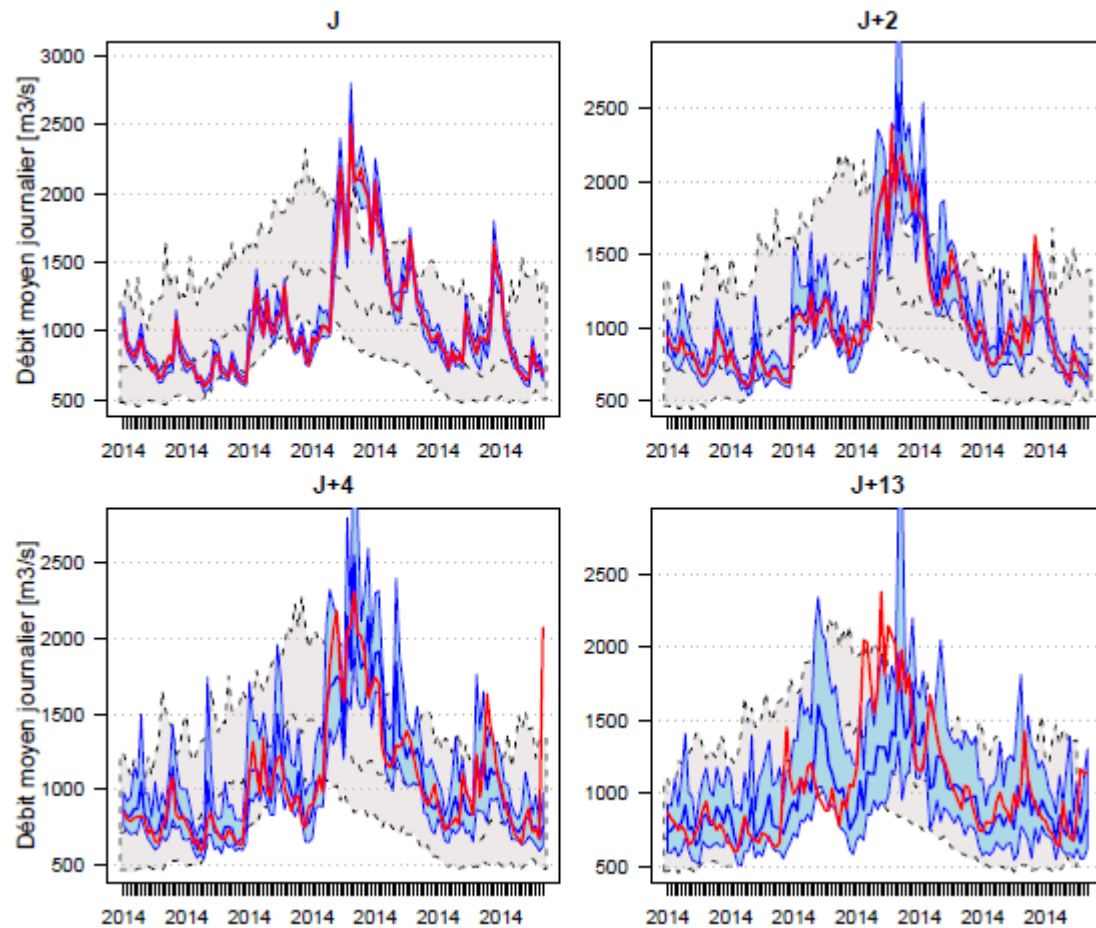
- ◆ Épisode pressenti 7 jours en avance
- ◆ Bon encadrement de la pointe de crue et de la récession
- ◆ Réactualisations fréquentes (+ contacts téléphoniques)





# Rhin – prévisions probabilistes

## Résultats pour 2014



# Conclusions



- ◆ Système de prévision d'EDF développé afin de **mieux estimer et communiquer les incertitudes de prévision** pour les utilisateurs finaux
- ◆ Une attention particulière a été accordée à la **bonne calibration statistique** des ensembles hydrologiques
- ◆ L'expérience a montré que l'utilisation d' EPS nous a permis de :
  - augmenter la portée de la prévision (14 jours irréaliste en déterministe)
  - correctement quantifier et communiquer des prévisions et leurs incertitudes
  - améliorer la gestion de l'eau (utilisation de différents quantiles en fonction des enjeux des utilisateurs finaux)
- ◆ Le système de prévision suit un **développement continu** depuis sa première utilisation opérationnelle



# MERCI BEAUCOUP!

---

# VIELEN DANK!