

# CRUES et HYDROELECTRICITE

*Rémy GARÇON (EDF – DTG)*



*Barrage de Pinet (Tarn) - Décembre 2003*



# Eau et production d'électricité



## L'eau, une ressource :

Energie gravitaire  
pour les centrales hydrauliques

Source froide  
pour les centrales thermiques



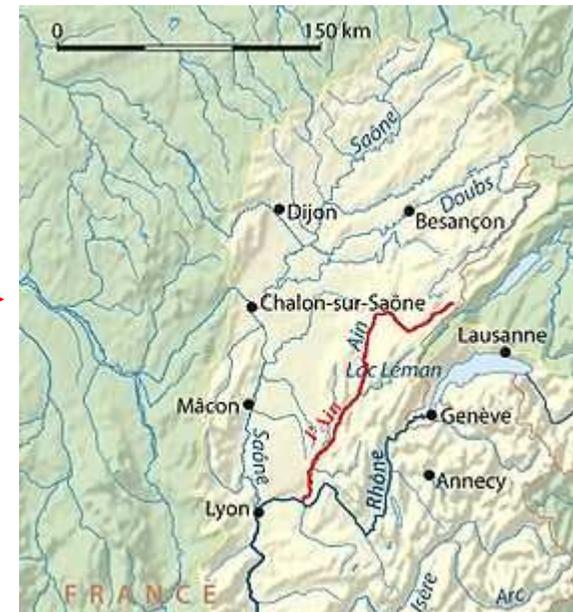
## L'eau, une menace :

Déficit de la ressource, pression des  
autres usagers de l'eau

Ruine d'installations par excès et  
atteinte à la sûreté



# Ressource en eau : le cas de la vallée de l'Ain



# Barrage et retenue de Vouglans



## Barrage :

Voûte de 103 m  
au-dessus de la rivière

## Retenue :

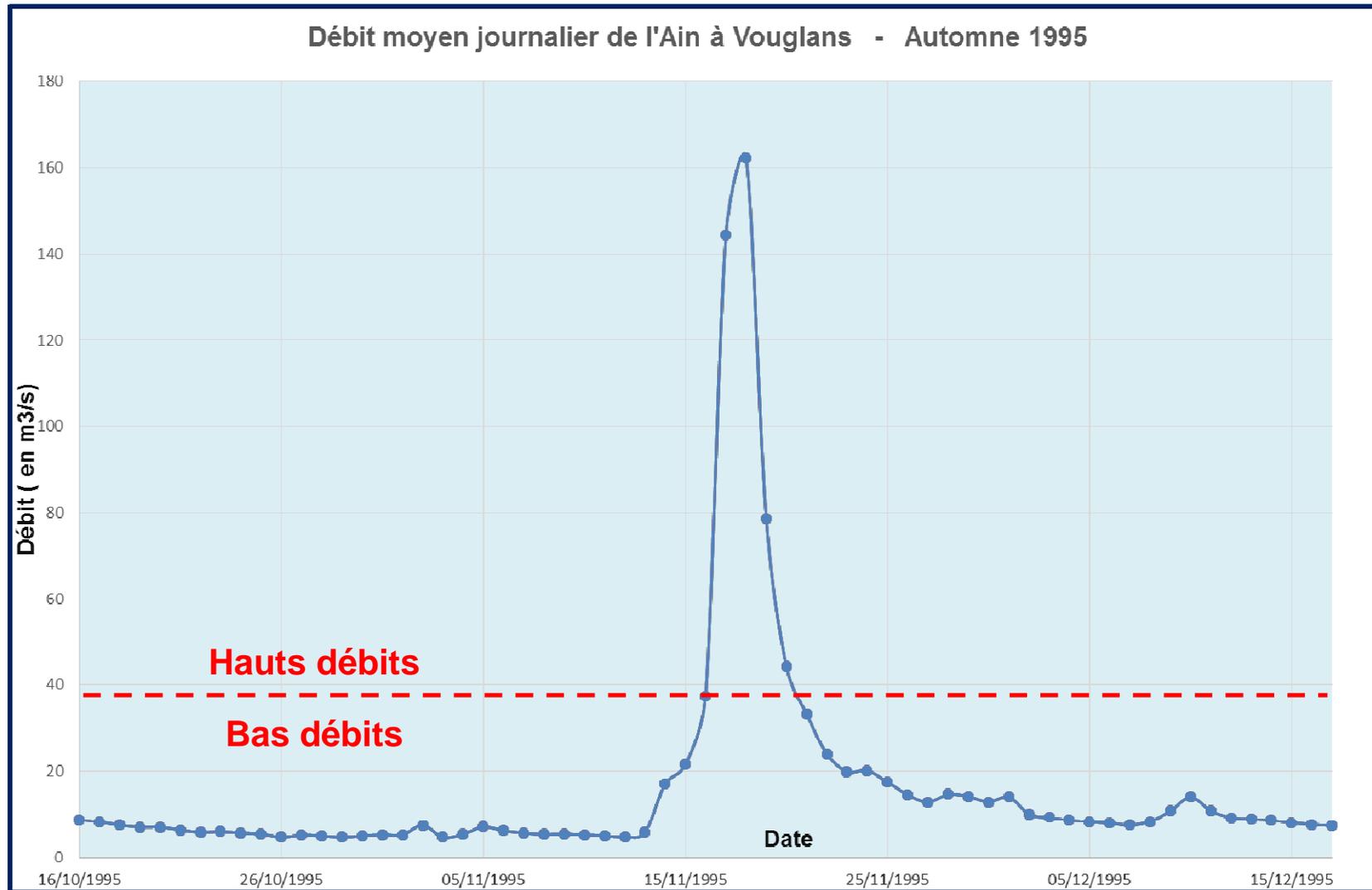
Capacité totale  
de 600 millions de m<sup>3</sup>

Capacité utile  
de 425 millions de m<sup>3</sup>

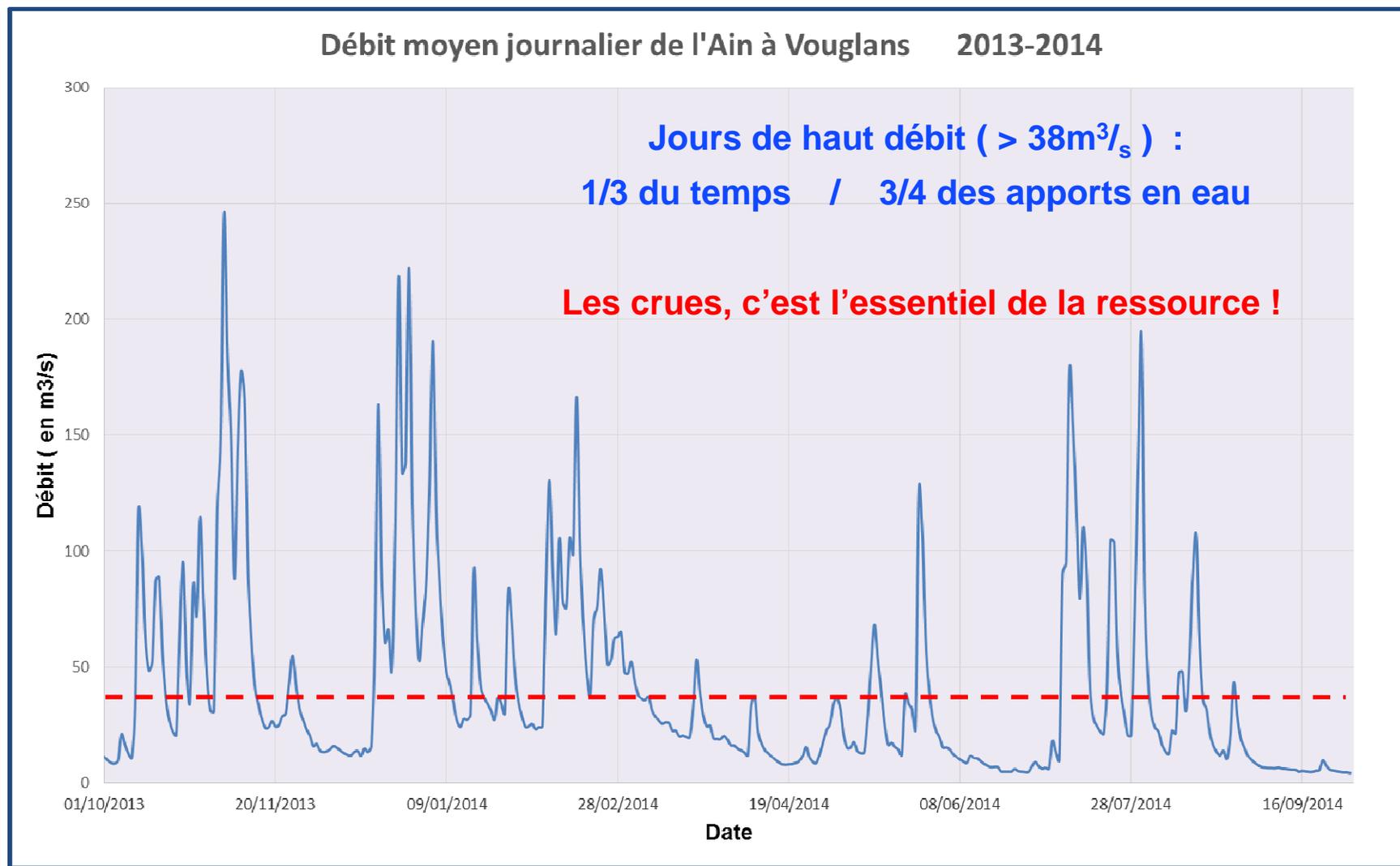
Ressource renouvelée  
par le débit de l'Ain

Débit moyen de 40 m<sup>3</sup>/s → environ 10 millions de secondes pour remplir, soit 4 mois

# Débit de l'Ain à Vouglans



# Débit de l'Ain à Vouglans



# Nécessité d'une prévision hydrologique

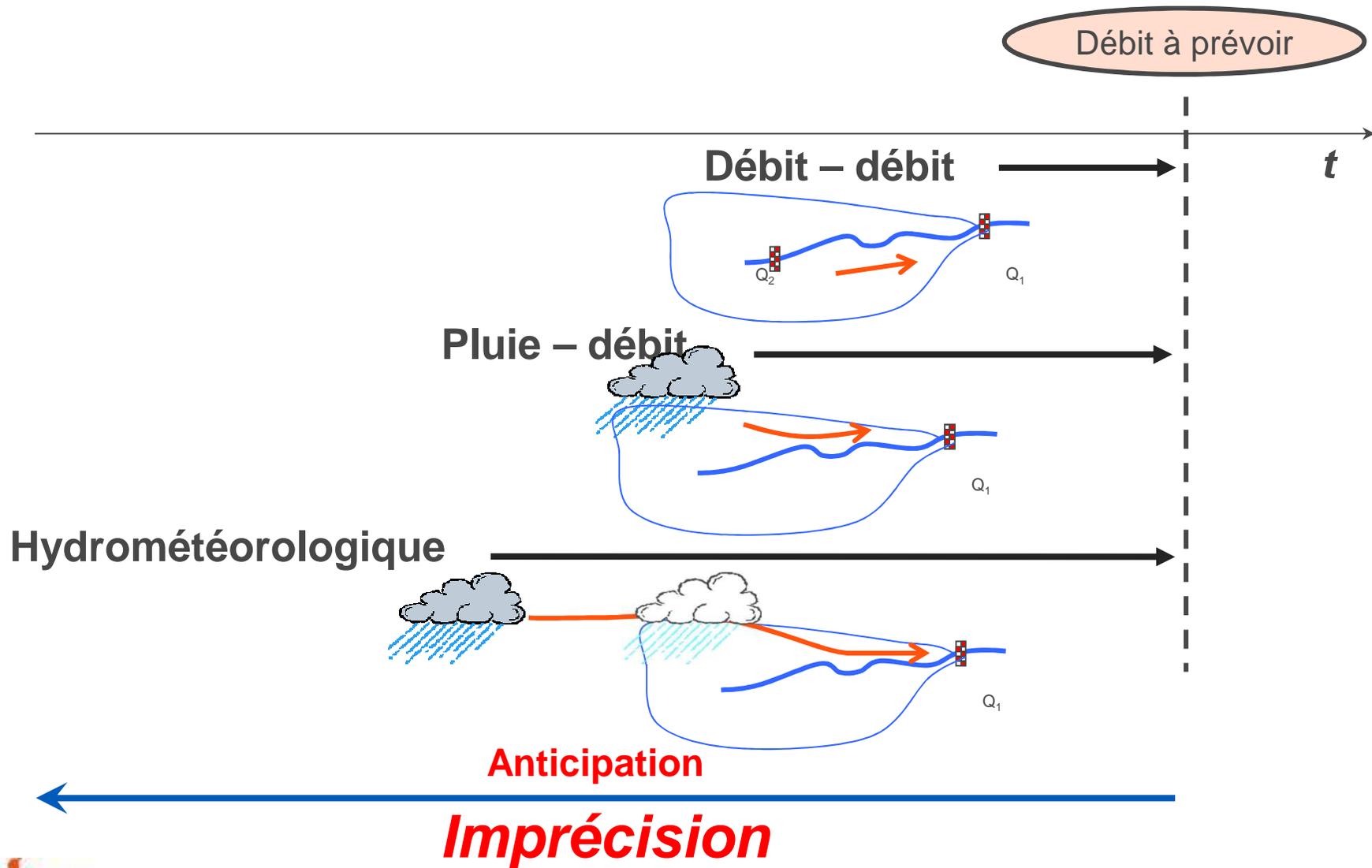
**Stockage de l'électricité difficile : à chaque instant, la production doit correspondre à la consommation d'électricité**

**Nécessité de s'appuyer sur des programmes de production les plus précis possible**

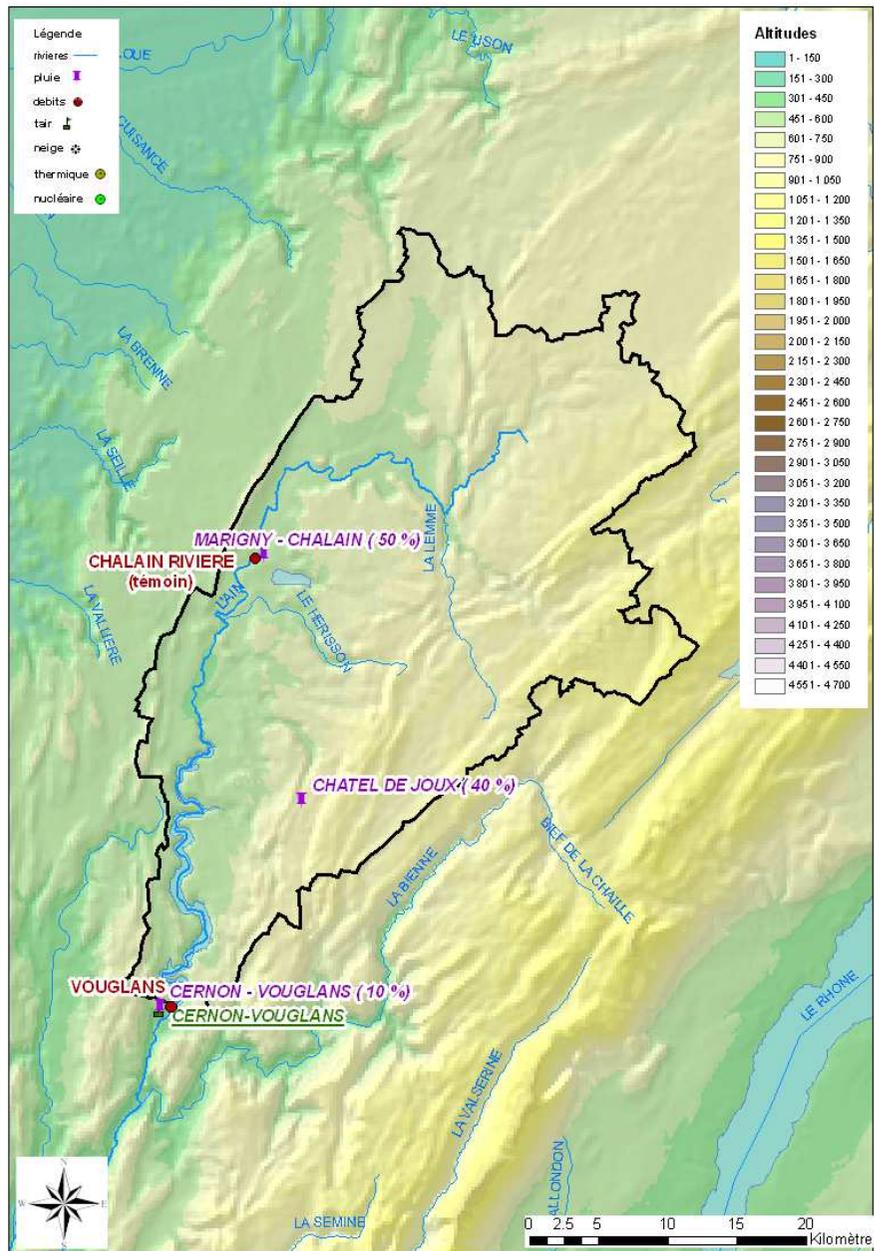
**Faire le meilleur usage des ressources naturelles renouvelables**

**Gérer, c'est prévoir !**

# Quels types de prévision hydrologique ?



# Le bassin versant topographique de l'Ain à Vouglans



Bassin versant d'environ  
1150 km<sup>2</sup> (zone karstique)

Précipitation annuelle moyenne  
de 1700 mm

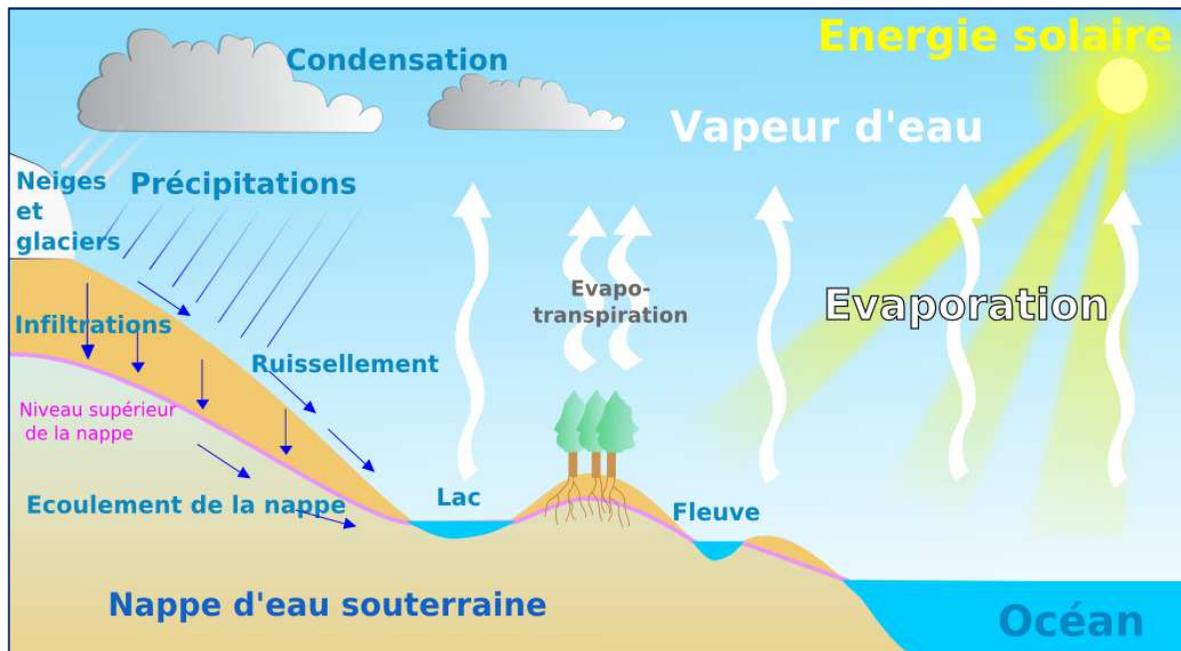
$$1700 \text{ mm} \times 1150 \text{ km}^2 = 1950 \text{ M.m}^3$$



# La modélisation hydrologique - comment représenter une nature bien complexe ?

L'aléa hydrologique n'est pas le reflet exact de l'aléa de précipitation

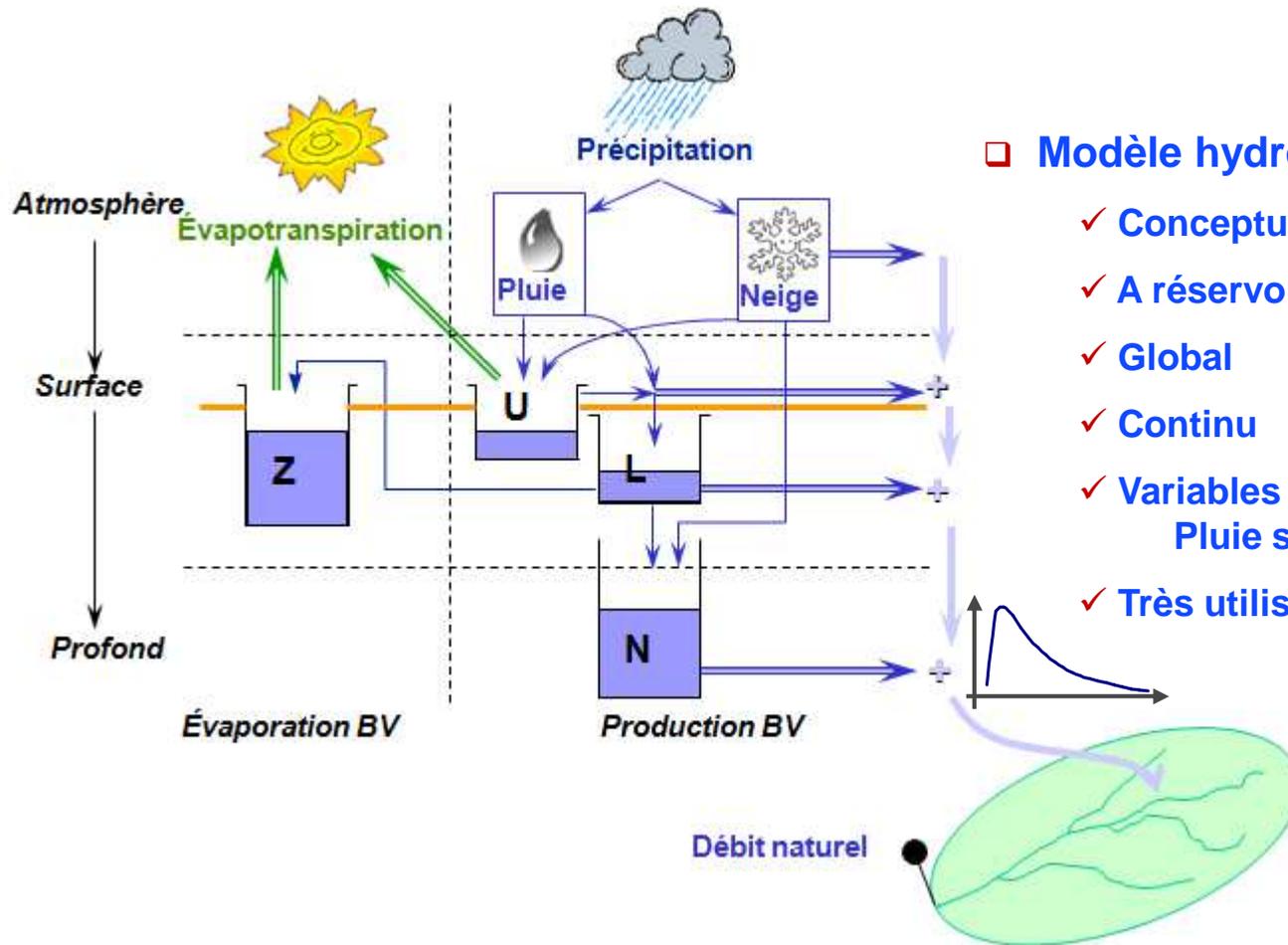
Le bassin versant est un filtre complexe, théâtre de nombreuses péripéties



- Stockage sous forme de neige, puis fonte
- Infiltration de l'eau
- Évapotranspiration
- Recharge et vidange de nappes, échanges souterrains avec les bassins voisins
- Célérité-diffusion de la propagation hydraulique amont-aval

**Besoin d'adopter une représentation très simplifiée du fonctionnement réel**

# Le modèle hydrologique utilisé à EDF : MORDOR

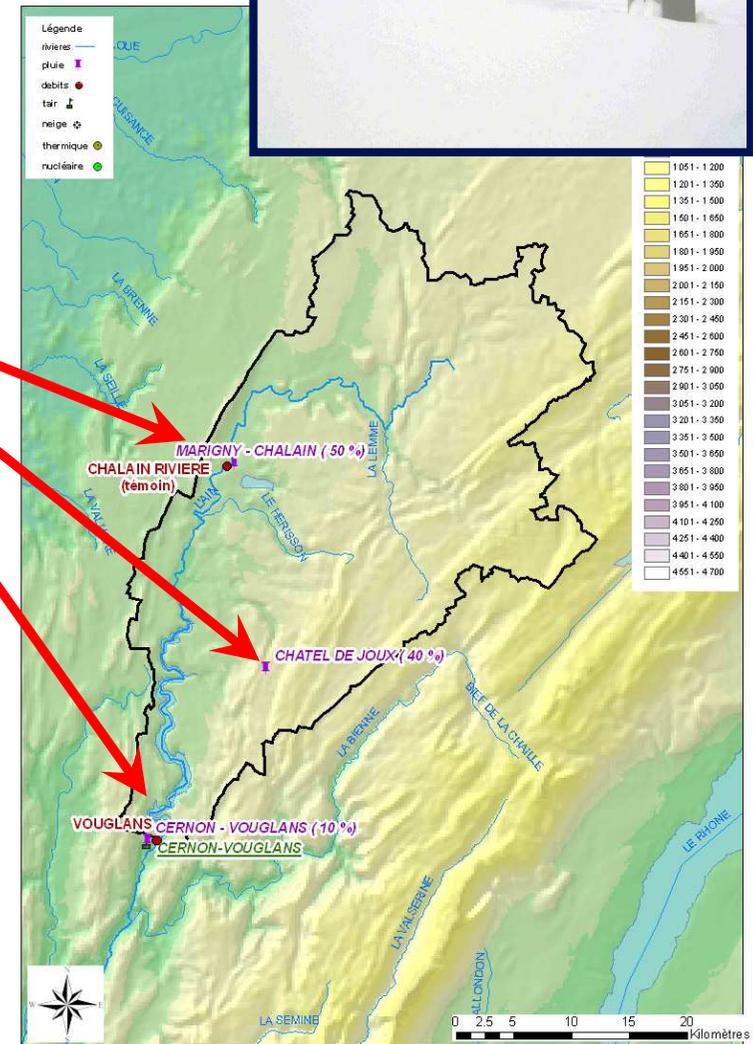


## ❑ Modèle hydrologique MORDOR

- ✓ Conceptuel
- ✓ A réservoirs
- ✓ Global
- ✓ Continu
- ✓ Variables en entrée :  
Pluie spatiale & Température de l'air
- ✓ Très utilisé au pas de temps journalier

# Les variables d'entrée du modèle - 1

La précipitation spatiale est généralement estimée à partir d'une combinaison linéaire de données pluviométriques locales (on a commencé à tester des lames d'eau radar). La variabilité spatiale de la pluie engendre un bruit d'estimation qui se répercute sur le débit simulé. Les biais liés à l'orographie sont pris en compte (somme des coefficients souvent supérieure à 1 en zone de montagne)



## Les variables d'entrée du modèle - 2

**La température de l'air** est une variable mieux corrélée spatialement. La qualité de cette donnée est néanmoins déterminante pour le débit simulé (stockage sous forme de neige, dynamique de fonte, déficit d'écoulement)

Abri  
température +  
sonde PT100



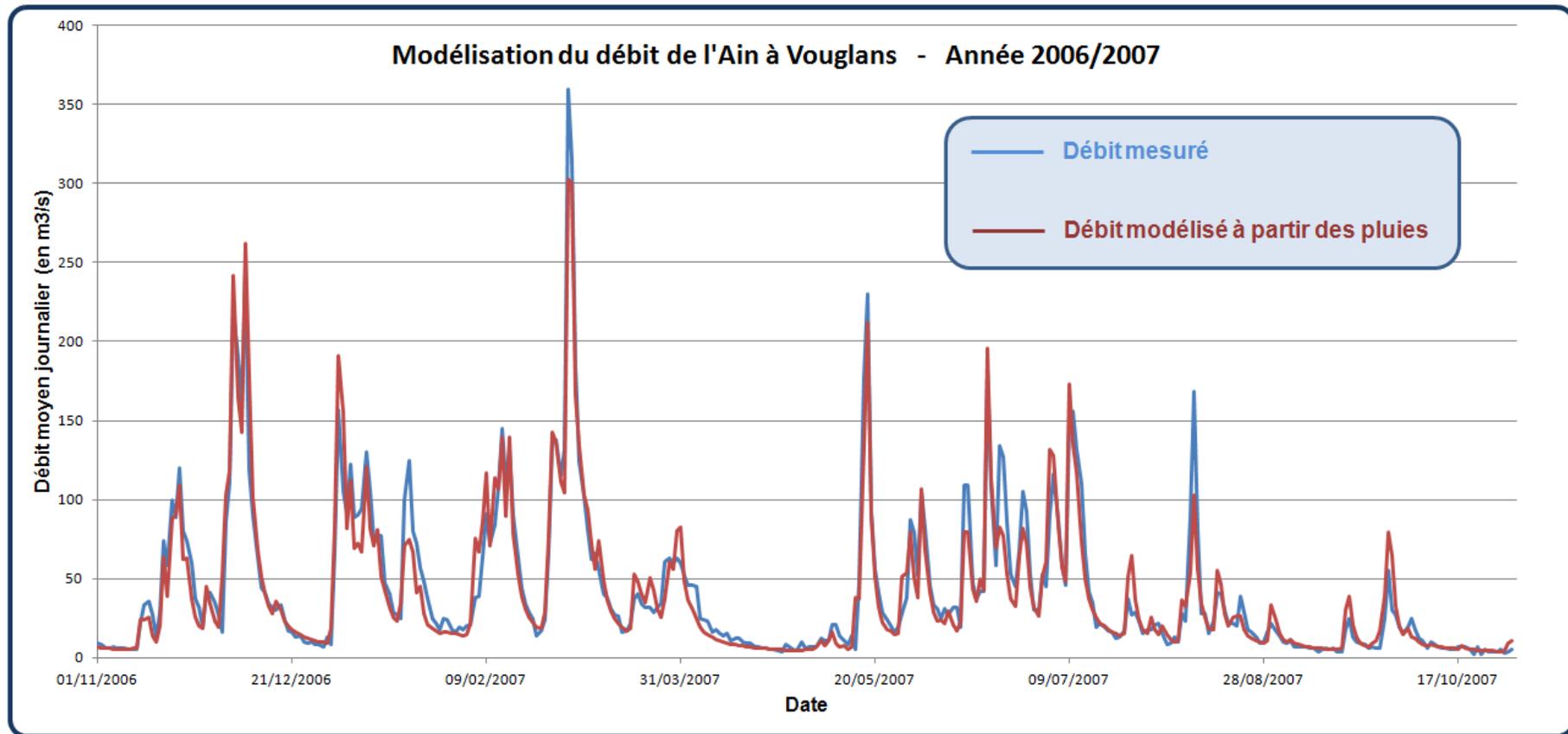
## Les paramètres du modèle

Outre les paramètres « physiques » (surface du bassin, courbe hypsométrique) une vingtaine de paramètres règlent les flux entre les différents compartiments du modèle.

Les bassins ont des comportements très différents du fait de leurs morphologies, leurs géologies, l'occupation de leurs sols, leurs végétations...

Mais le rôle de ces différents éléments est très difficile à quantifier et les paramètres de MORDOR sont prévus pour être calibrés d'après une chronique de précipitations, températures d'air et débits à l'exutoire.

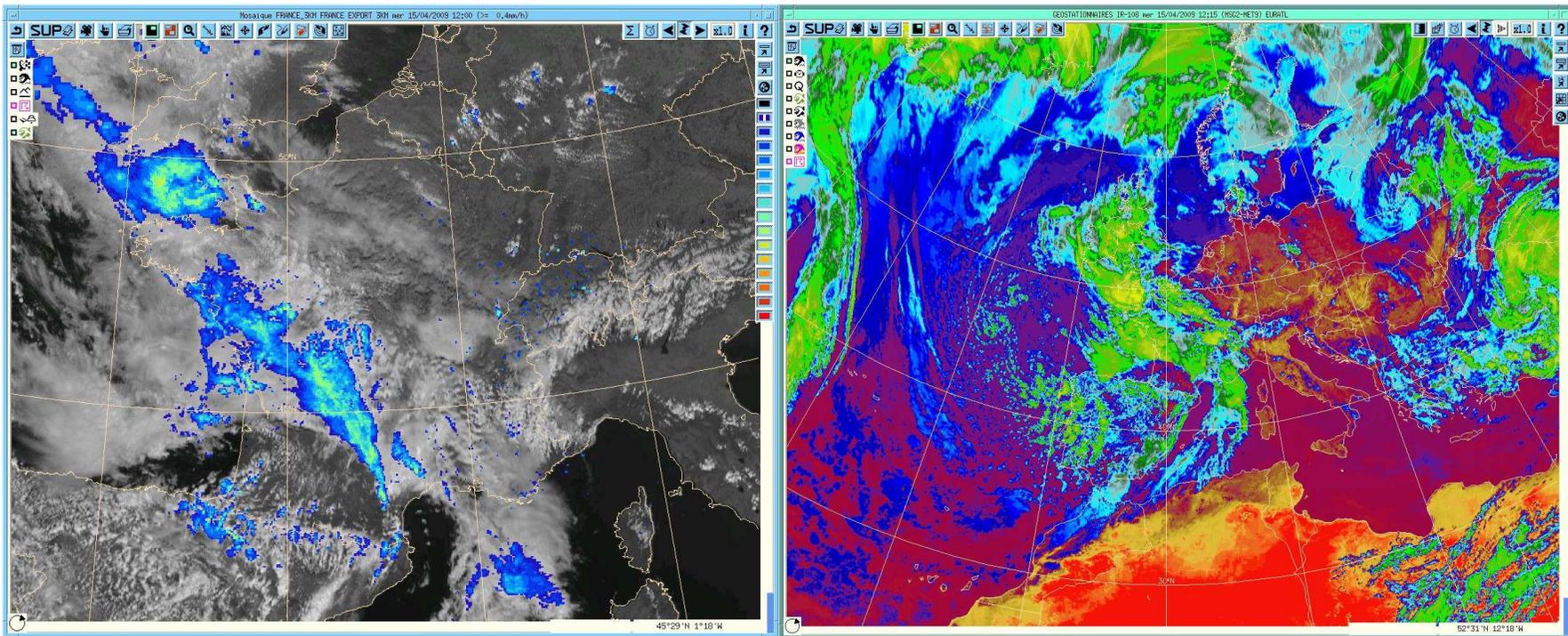
# Modélisation du débit de l'Ain à l'aide de MORDOR



# Des outils aussi pour la météorologie :

## 1 - L'observation satellitaire et radar

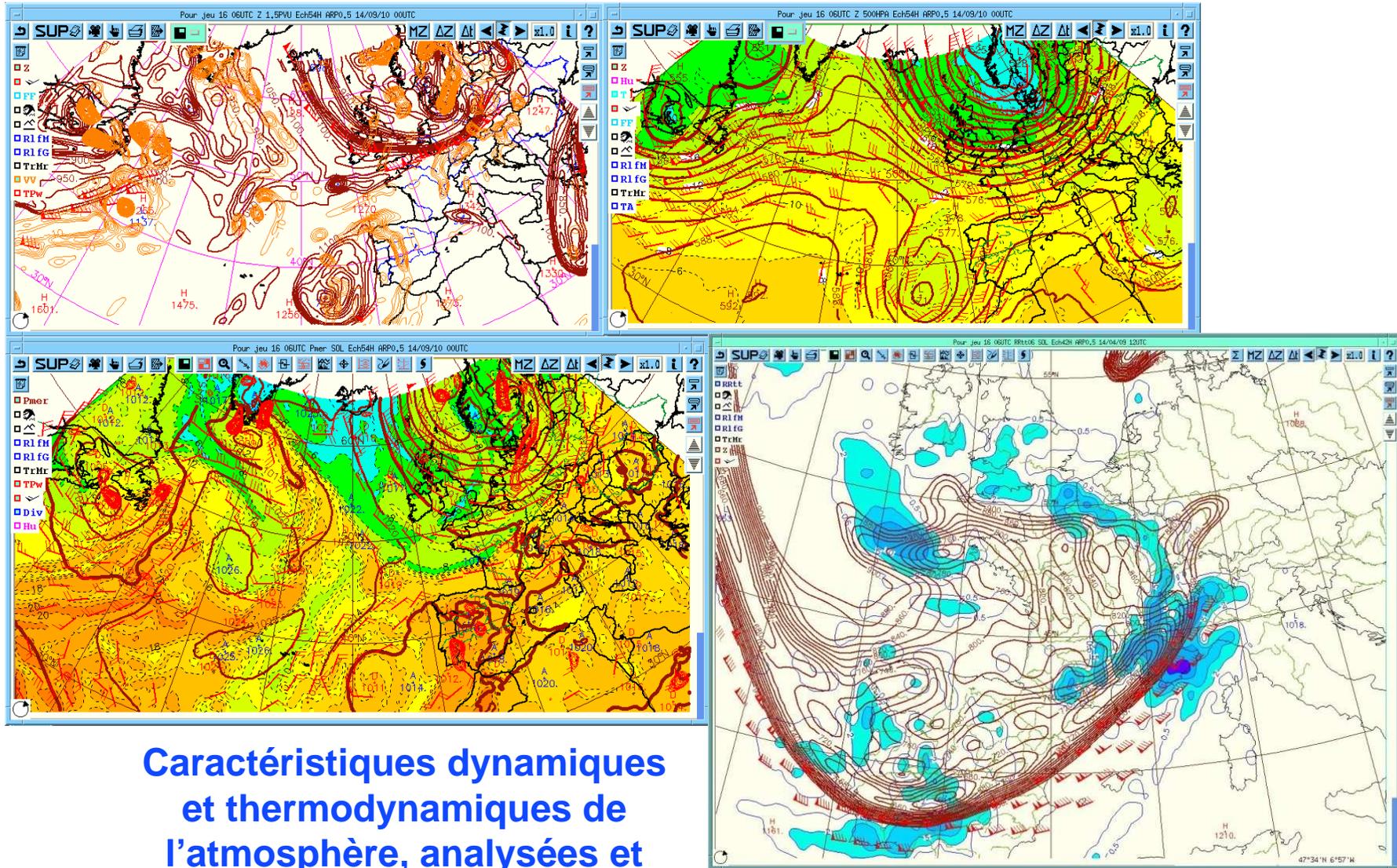
### Produits Météo-France



Radar + Visible

Infrarouge

# Des outils aussi pour la météorologie : 2 – La modélisation atmosphérique



Caractéristiques dynamiques  
et thermodynamiques de  
l'atmosphère, analysées et  
prévues jusqu'à J+10



Produits Météo-France

# Des outils, mais aussi des équipes

24 prévisionnistes travaillent dans les 2 centres de prévision d'EDF à Grenoble et Toulouse sous régime d'astreinte

4 prévisionnistes sont joignables en permanence 24h/24, 7j/7

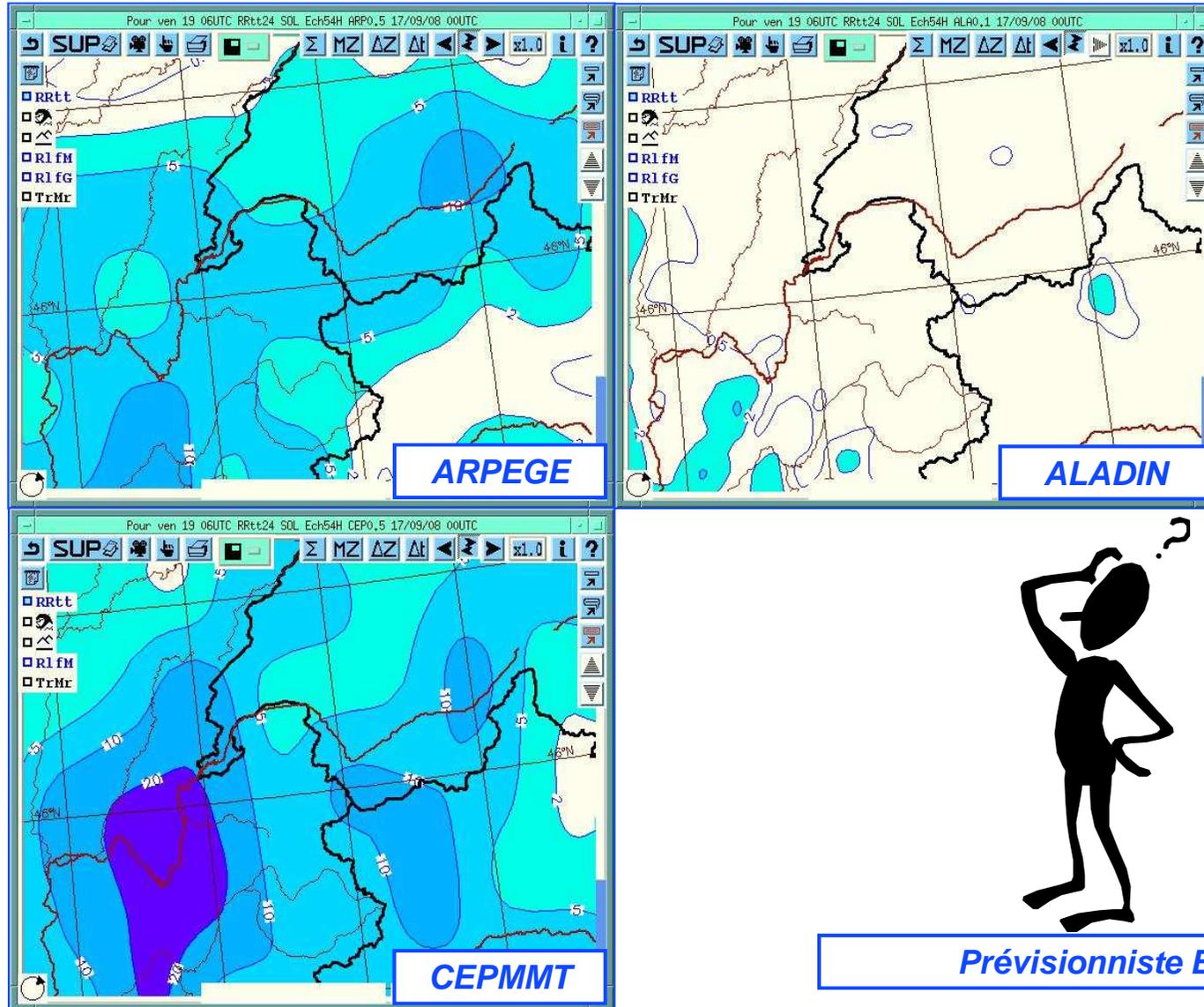


**Une fonction essentielle du prévisionniste :  
l'expertise des données de terrain et des sorties de modèles**

# Exemple de besoin d'expertise

## Modélisation météorologique et incertitude

Prévision des précipitations journalières à J+1 sur Jura – Alpes du Nord



# Vers la prévision probabiliste

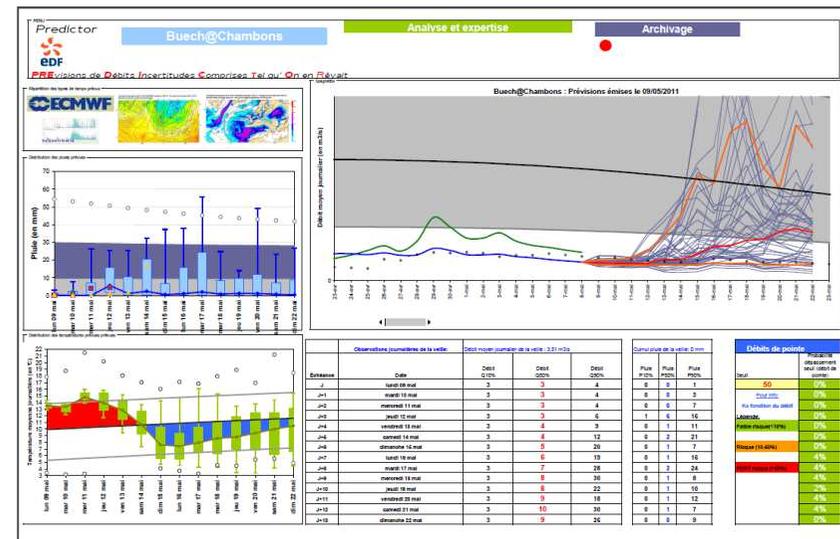
Les incertitudes de la prévision hydrométéorologique peuvent être élevées

Les enjeux d'optimisation et de sûreté sont importants

Les décideurs doivent faire leurs choix en connaissant tous les futurs hydrologiques possibles et leurs degrés de crédibilité

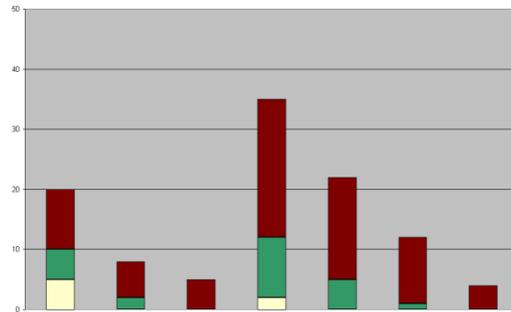
Utilisation d'un outil dédié à la prévision probabiliste :

**PREDICTOR**



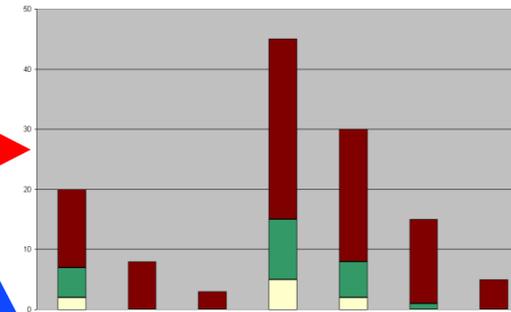
# Architecture de PREDICTOR

Prévision probabiliste automatique des précipitations et températures

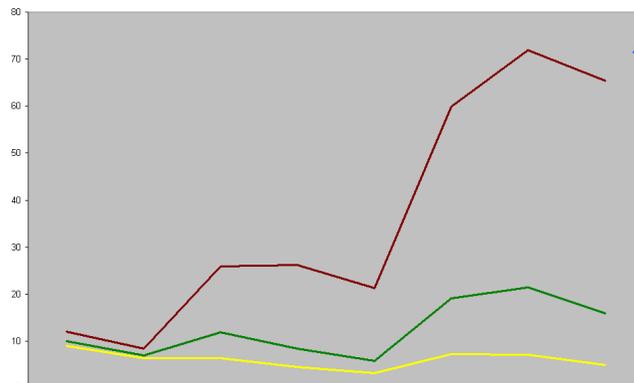


Expertise

Prévision probabiliste expertisée des précipitations et températures

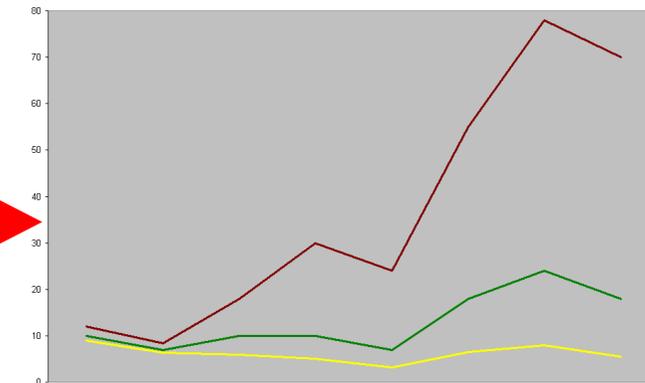


Modèle + erreur



Prévision probabiliste automatique des débits

Expertise

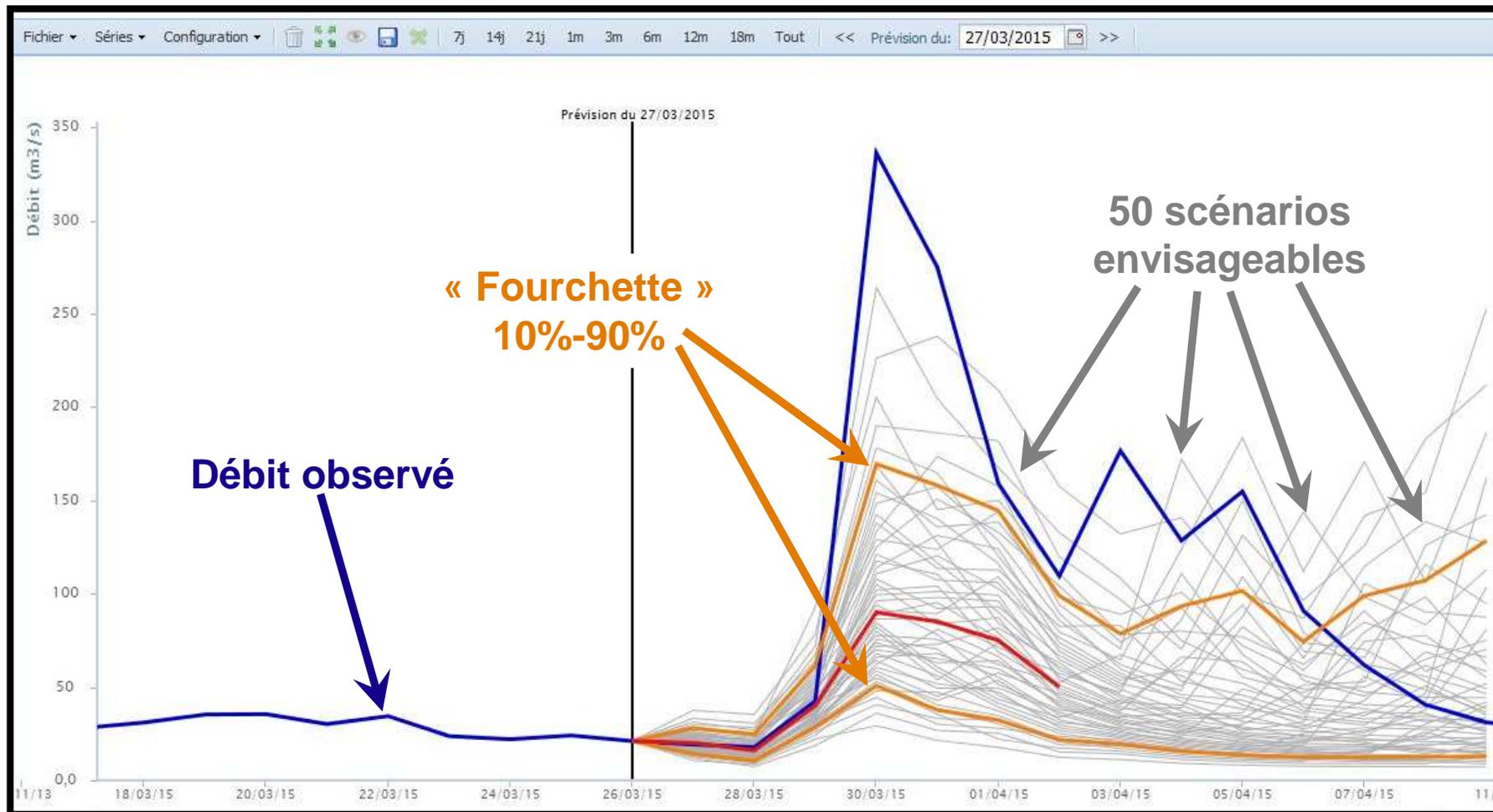


Prévision probabiliste expertisée des débits



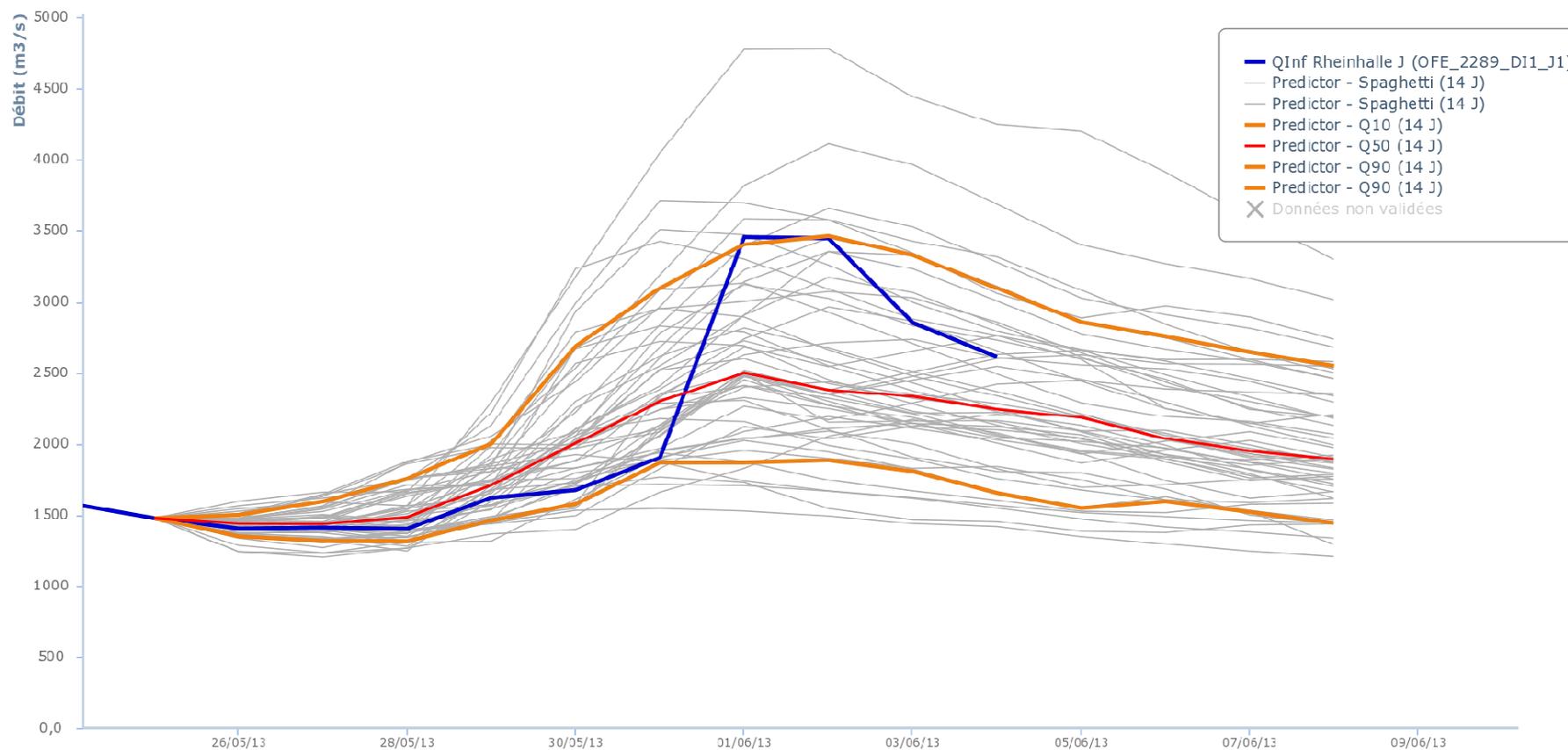
# Exemple de prévision à l'aide de PREDICTOR

Prévision du débit de l'Ain à Vouglans du 26 mars 2015 pour J à J+13



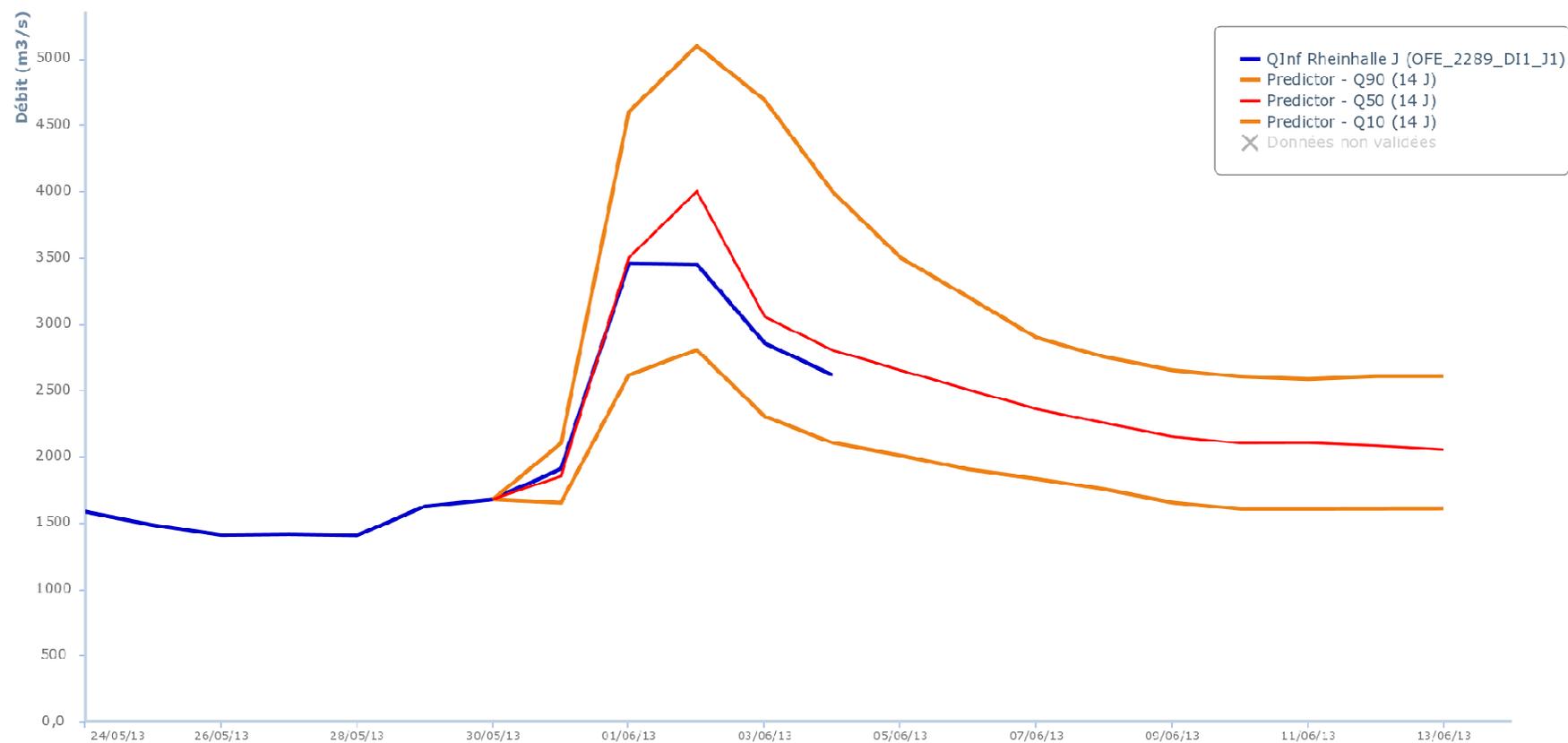
# Crue du Rhin – 1<sup>er</sup> juin 2013

## Prévision du dimanche 26 mai (J-6)



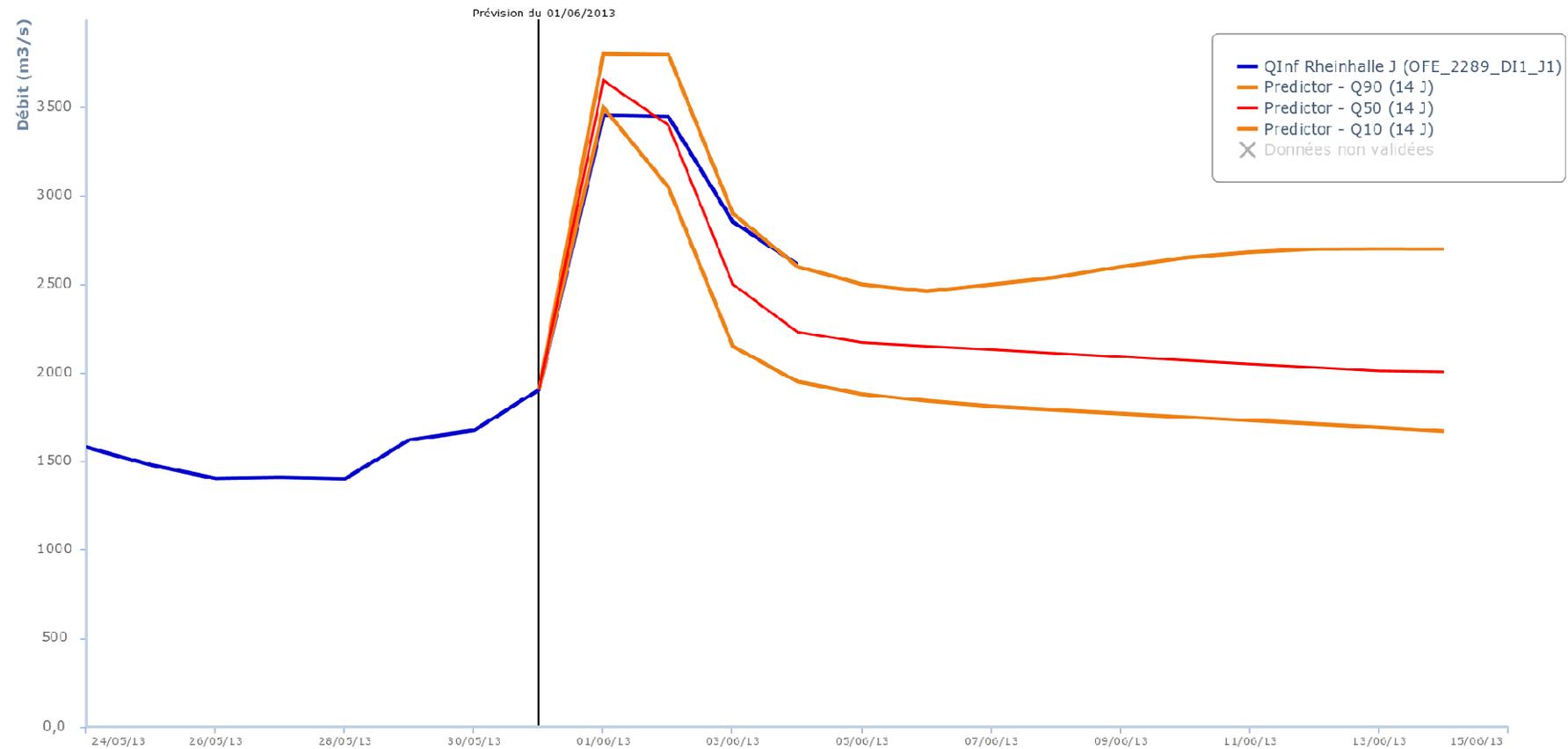
# Crue du Rhin – 1<sup>er</sup> juin 2013

## Prévision du vendredi 31 mai (J-1)



# Crue du Rhin – 1<sup>er</sup> juin 2013

## Prévision du samedi 1<sup>er</sup> juin (J)

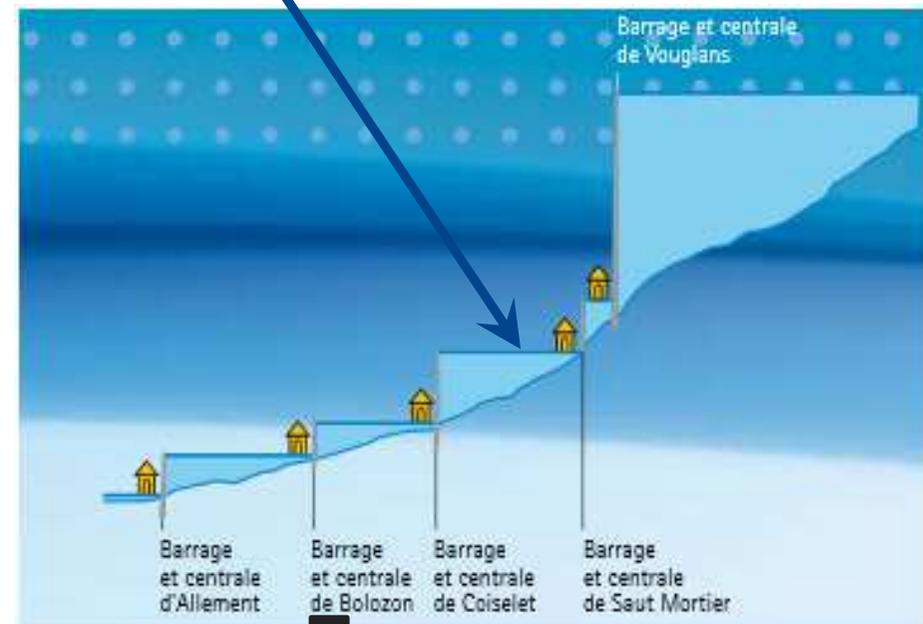


# Intérêt de la prévision dans l'optimisation de la production sur l'Ain

L'aménagement de Vouglans est à l'amont d'autres usines :



Confluence avec la Bienne  
(affluent rive gauche de l'Ain)



Débit turbinable à Bolozon : 190 m<sup>3</sup>/s

**Si le débit prévu de la Bienne est élevé, l'intérêt des turbines de Vouglans est moindre, à cause du risque de déversement à l'aval**

# Et pour les fortes crues ?

Au-delà de seuils de débits bien définis, les considérations liées à la sûreté donnent la priorité au passage de la crue sans incident.

L'optimisation énergétique passe alors au second plan.

Les prévisionnistes d'EDF-DTG aident les exploitants à anticiper sur le dépassement de 130 de ces seuils pour aborder sereinement les crues (présence physique sur les aménagements concernés, réquisition préalable de moyens humains supplémentaires)

**Mais c'est d'abord la conception des aménagements qui garantit leur sûreté**

# Conception et crue de projet

La crue de projet est celle jusqu'à laquelle l'ouvrage est conçu pour ne subir ni risque ni dommage.

Deux paramètres sont déterminants dans le dimensionnement de l'ouvrage

1. Sa capacité de stockage au-delà de la cote normale d'exploitation
2. Le débit pouvant transiter par les organes d'évacuation



En France, les conséquences d'un déversement déterminent la durée de retour de la crue de projet

# Notion de durée de retour - 1

La crue de durée de retour 1000 ans – ou crue millennale – est celle qui a une chance sur 1000 d’être dépassée une année donnée.

On est donc amené à déterminer les probabilités de débits extrêmes

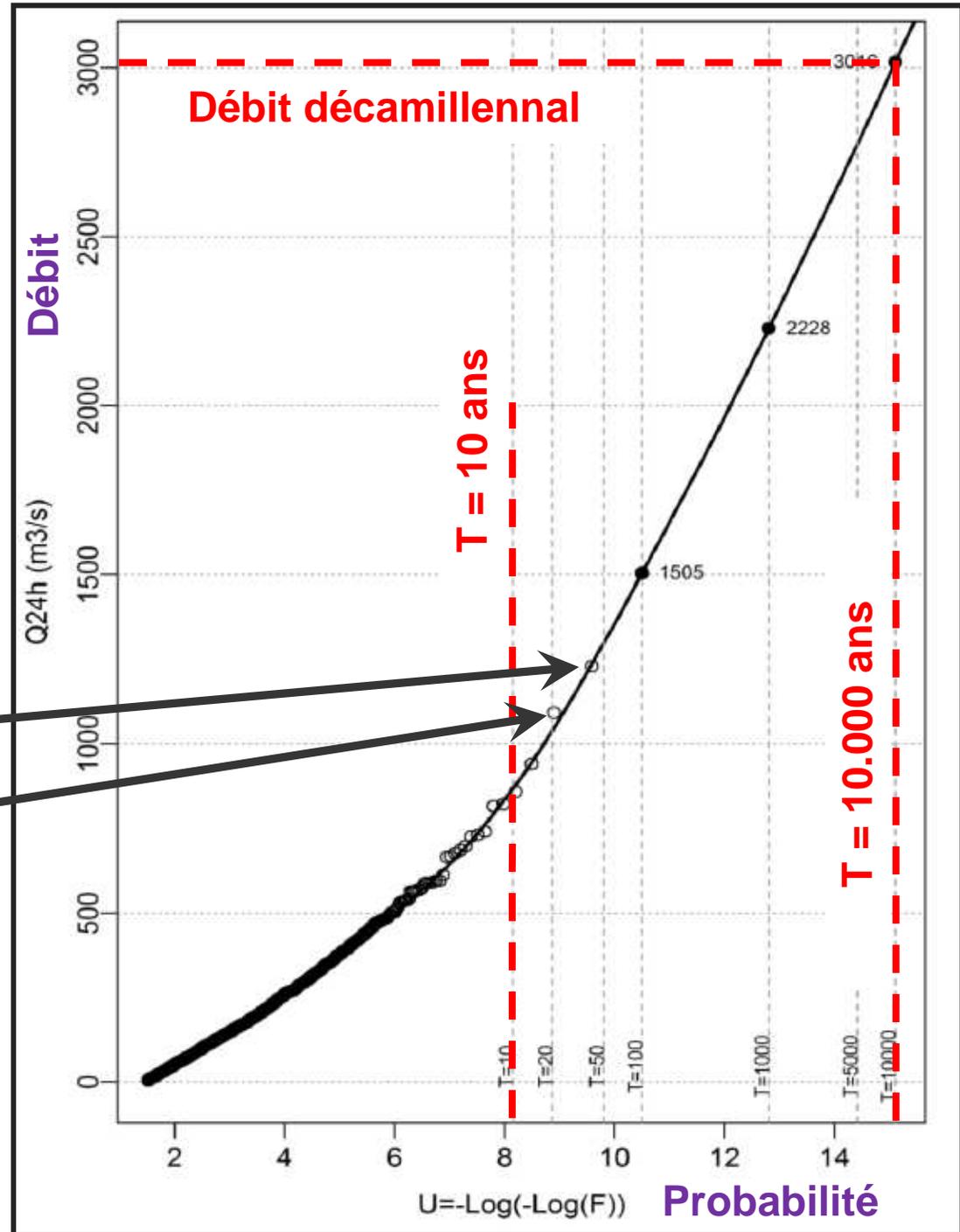
EDF calcule ces probabilités selon la méthode SCHADEX

# Notion de durée de retour - 2

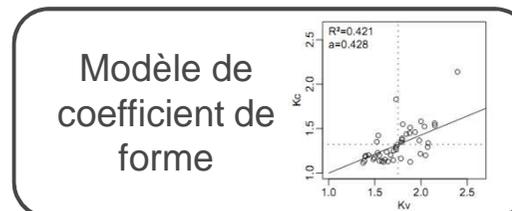
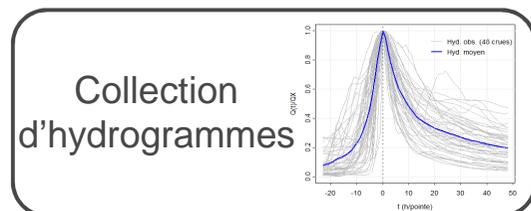
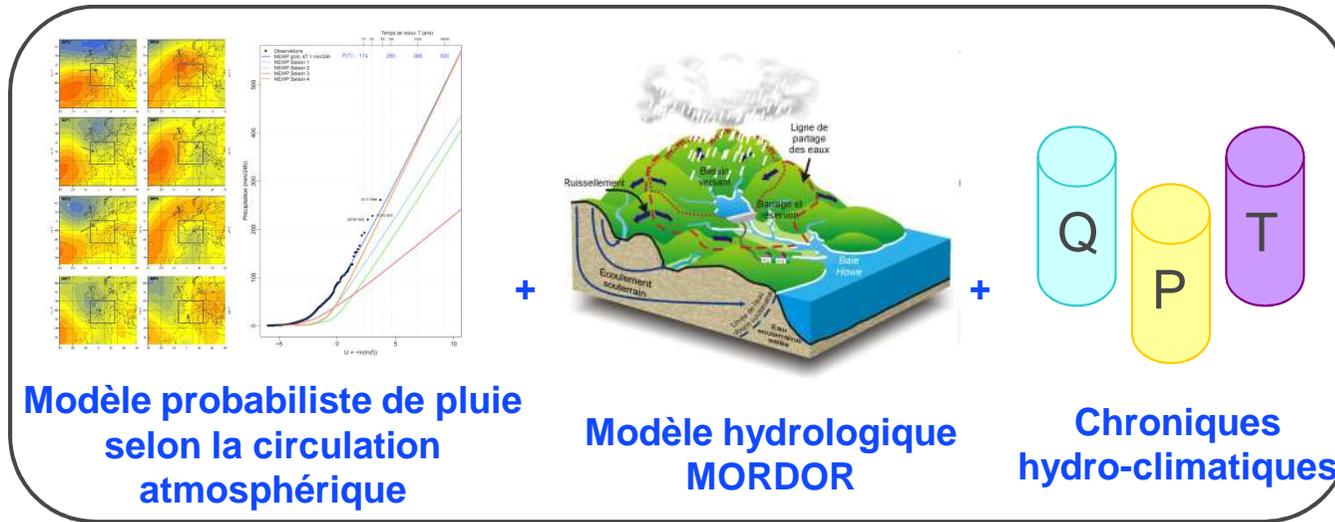
En pratique, on utilise souvent des « graphes de Gumbel », pour visualiser la relation probabilité-débit

Plus forte valeur observée en 40 ans

2<sup>ème</sup> plus forte valeur



# Principaux composants de la méthode SCHADEX



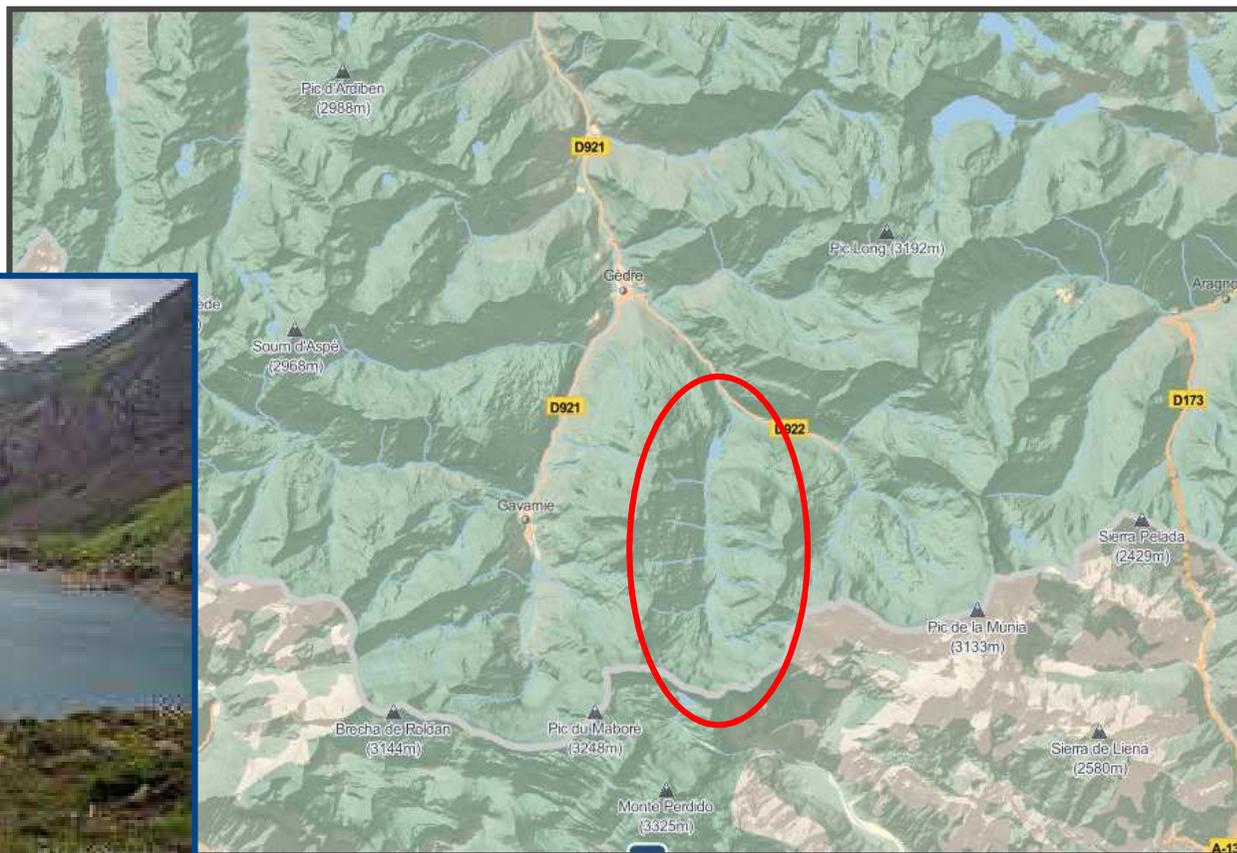
# Les crues extrêmes du Gave d'Estaubé au barrage des Gloriettes



Bassin versant de 20 km<sup>2</sup>

Barrage-voûte de 47 m de hauteur

Réserve de 3 millions de m<sup>3</sup> à 1667 m d'altitude



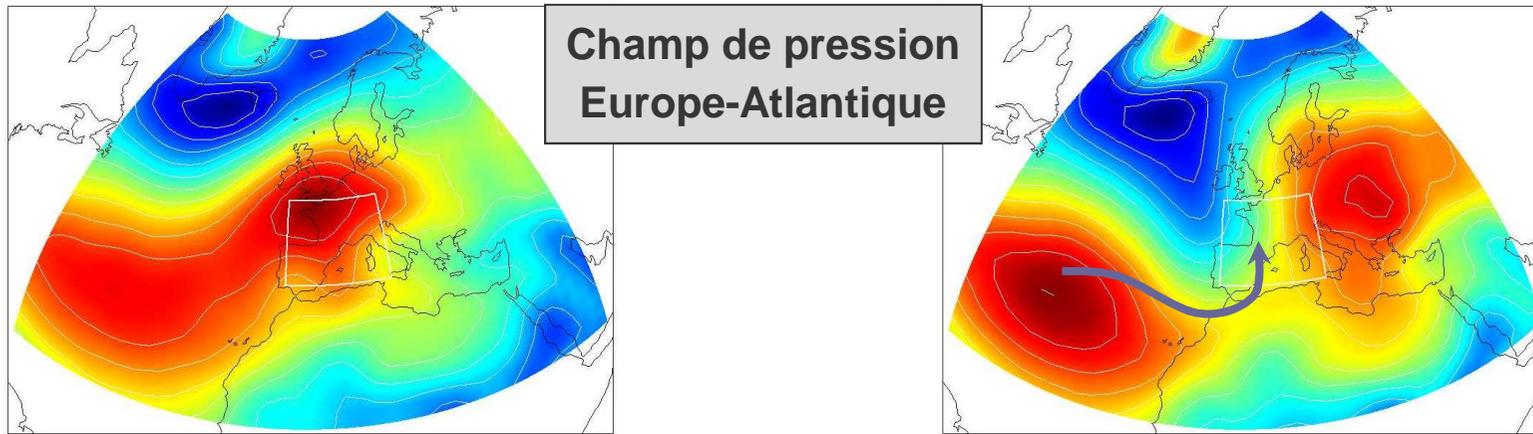
# Étude du risque de pluie extrême

*L'aléa de pluie est étudié*

- **indépendamment pour chacune des 4 saisons**
- **indépendamment pour chacune des 8 circulations atmosphériques-types**

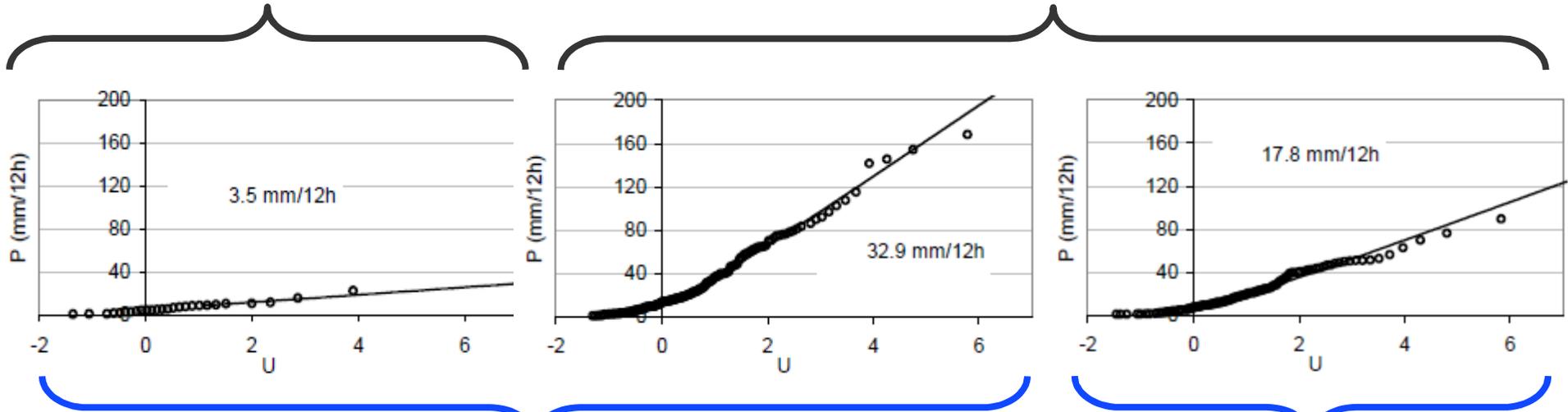
***Car les contrastes sont forts***

# Probabilité de pluie extrême à Gloriettes



Classe 8 : 27% des jours

Classe 4 : 18% des jours

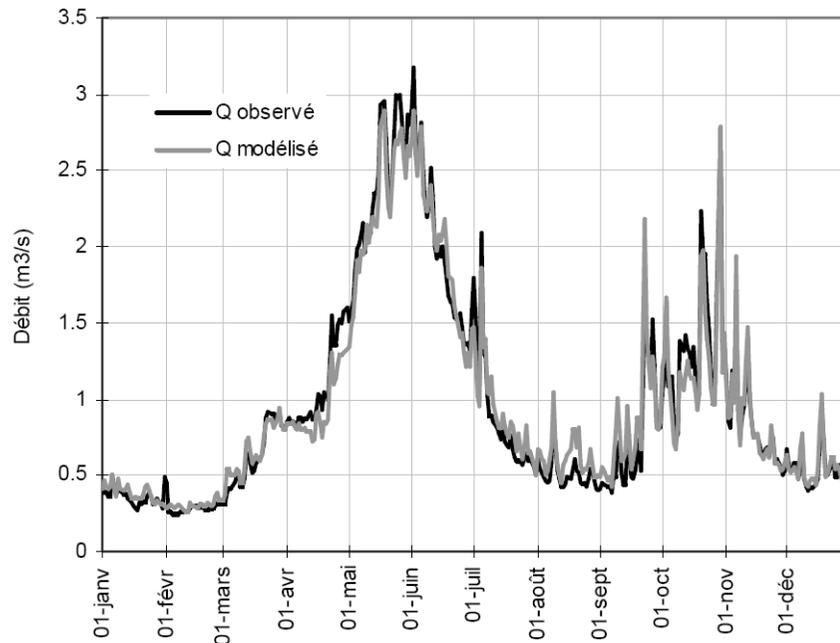


Septembre à Novembre

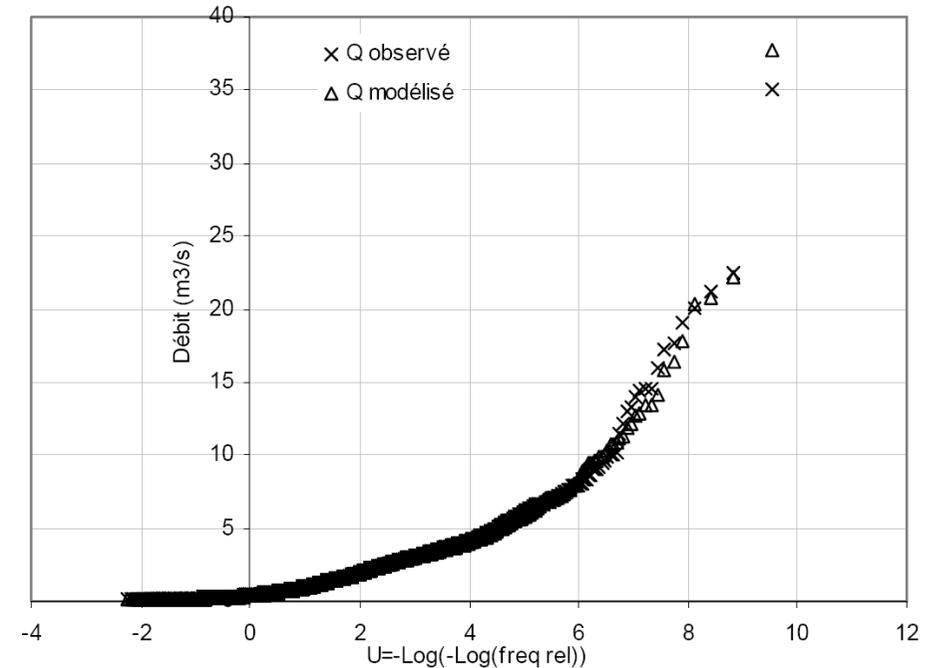
Février à Mai

# Calage du modèle MORDOR sur le Gave d'Estaubé

Calage sur la chronique 1987-2006 au pas de temps 12h

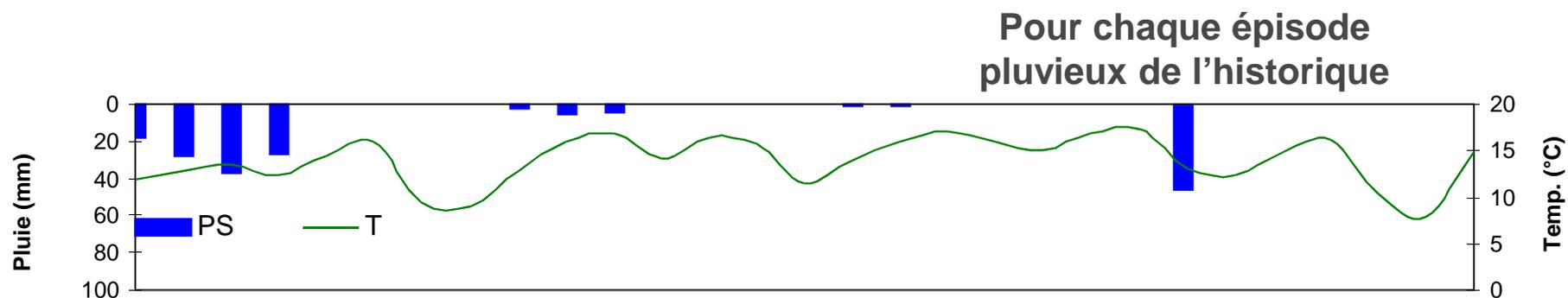


Vérification de la bonne représentation des débits moyens interannuels par le modèle

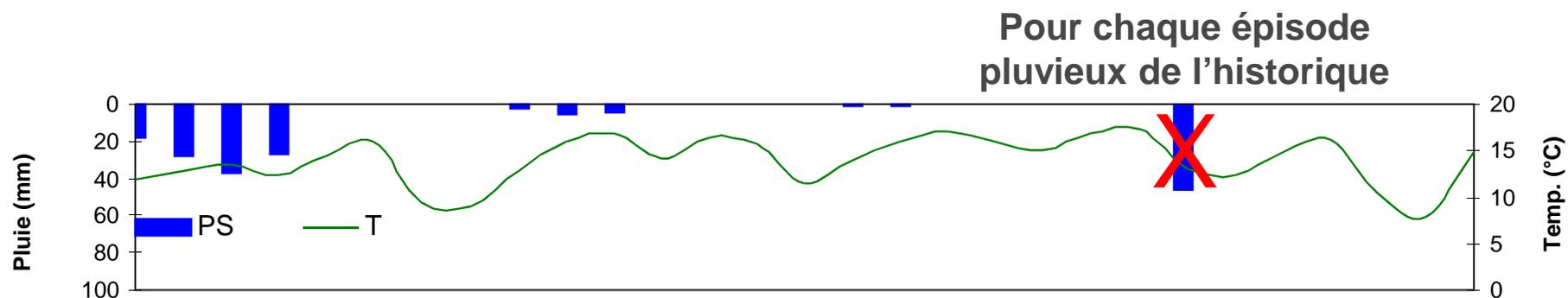


Vérification de la bonne représentation de la distribution statistique par le modèle

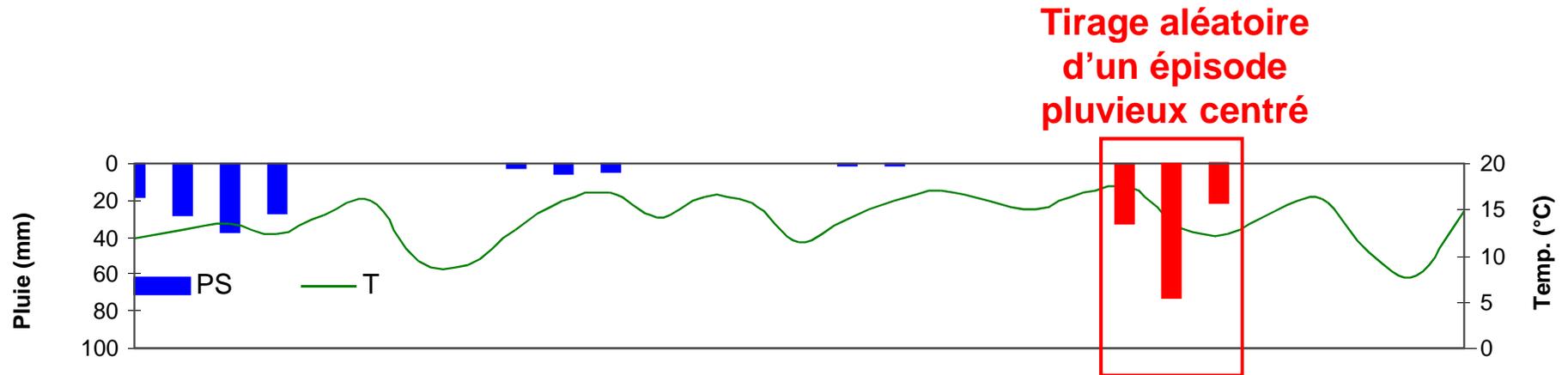
# Simulation stochastique pluie-débit



# Simulation stochastique pluie-débit

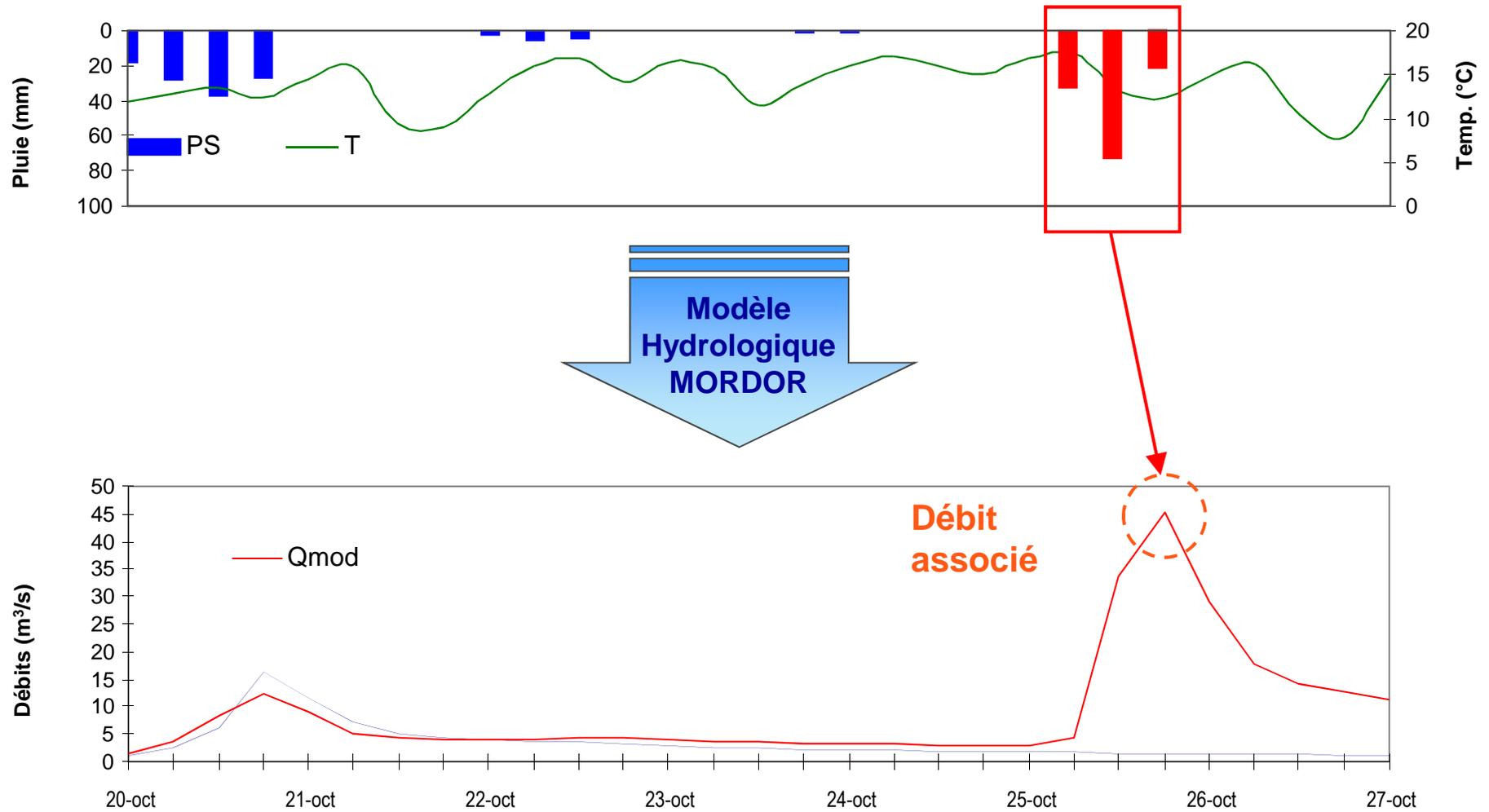


# Simulation stochastique pluie-débit

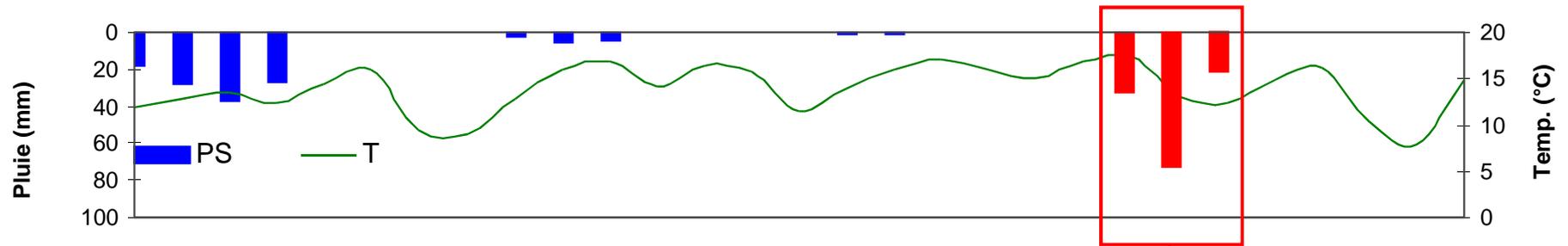


Calcul de la probabilité associé à l'épisode pluvieux généré aléatoirement

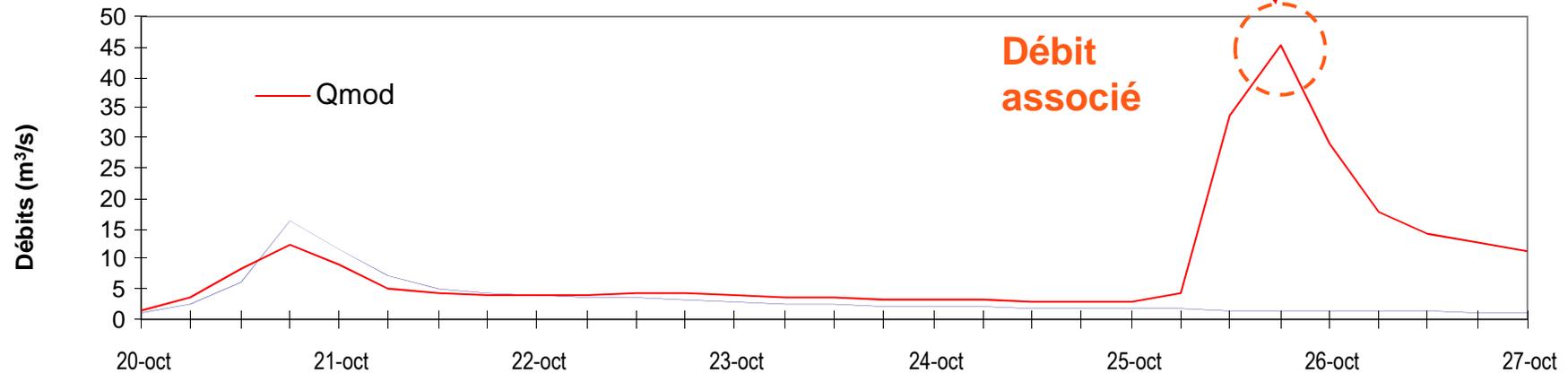
# Simulation stochastique pluie-débit



# Simulation stochastique pluie-débit



On attribue au débit simulé la probabilité d'occurrence conjointe de la pluie et des conditions hydrologiques



Répétition de cette génération 2 millions de fois ...

# Synthèse des 2 millions de simulations

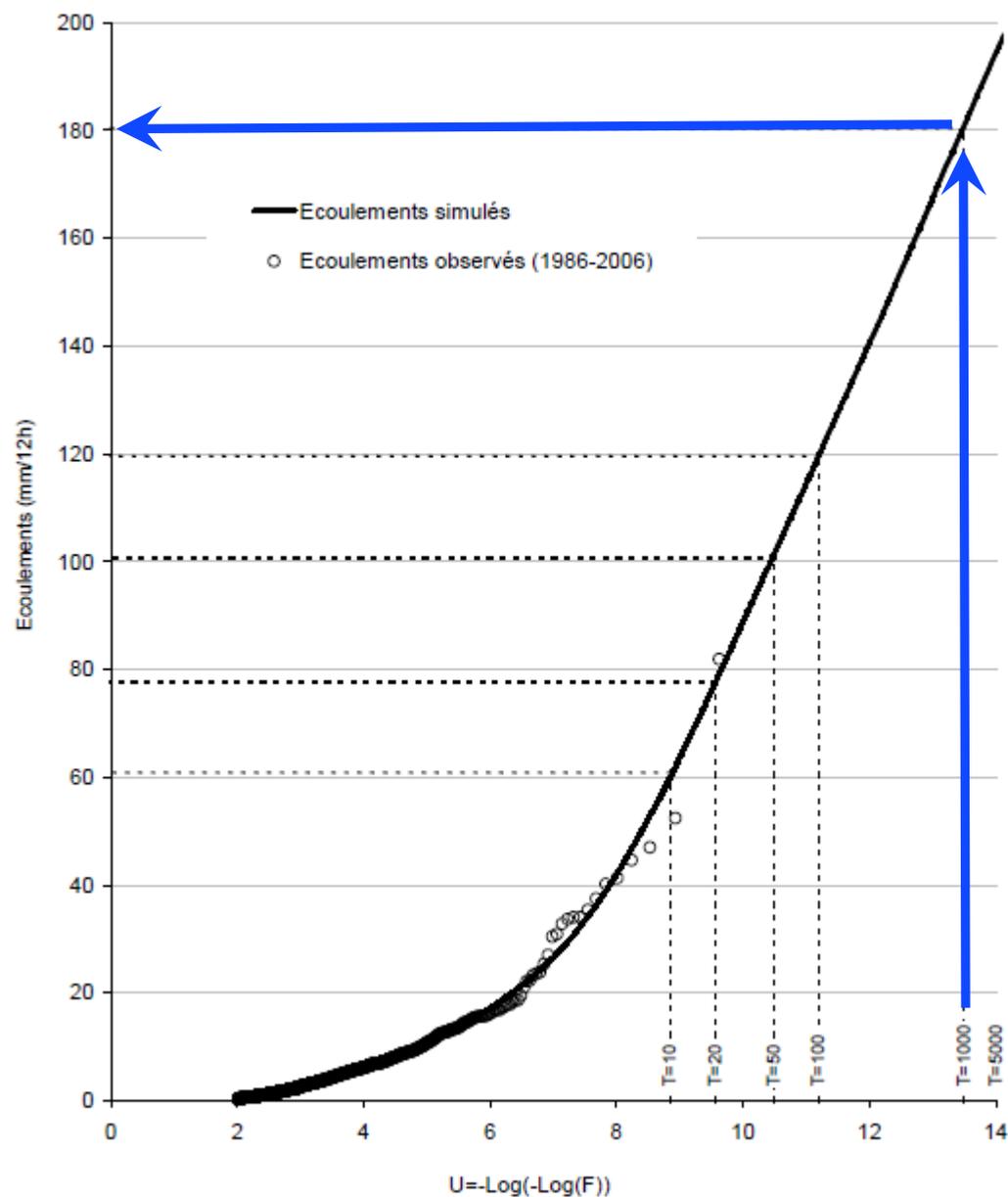
Écoulement en 12h de durée de retour 1000 ans : 180 mm

Soit un débit moyen de  
(180 mm x 20,6 km<sup>2</sup> / 12h)

soit  $Q_{\text{moy1000}} = 86 \text{ m}^3/\text{s}$

Le débit de pointe de la crue millennale est calculé à partir du débit moyen par application d'un coefficient de forme déduit des crues historiques

Soit  $Q_{\text{inst1000}} = 157 \text{ m}^3/\text{s}$



# Amélioration de l'évacuation des crues suite à l'étude

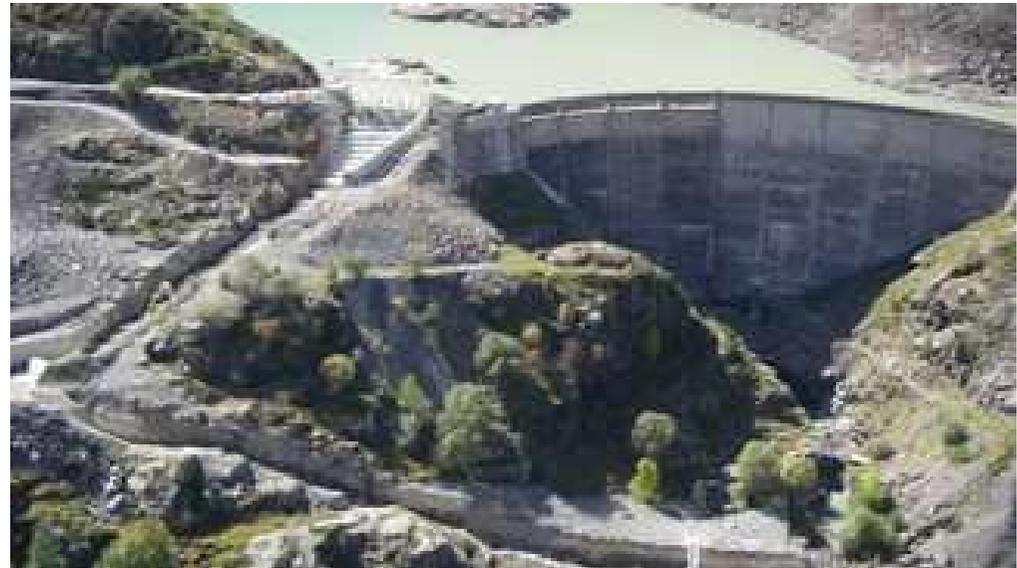
Avant

Déversoir libre sur crête  
Capacité 70 m<sup>3</sup>/s (1000 ans)  
Conception 1948



2011

Ajout d'un évacuateur en rive  
droite du barrage



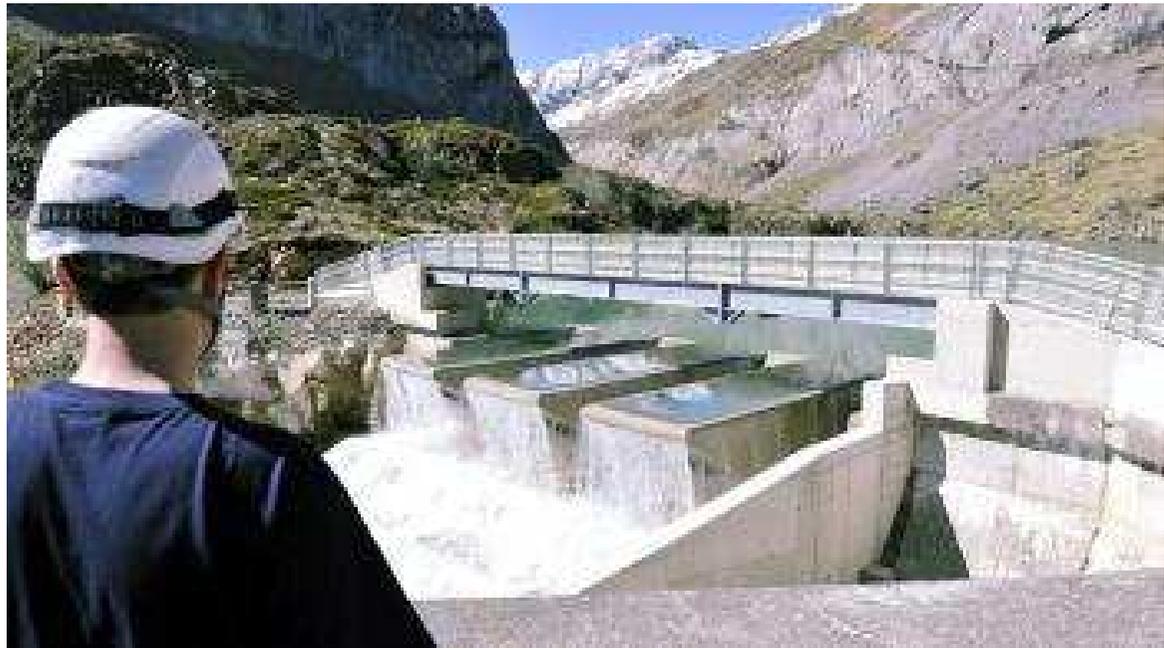
# Amélioration de l'évacuation des crues suite à l'étude

Nouvel évacuateur en « touches de piano »

Capacité de 80 m<sup>3</sup>/s pour une capacité totale d'évacuation de 150 m<sup>3</sup>/s



**Amont**



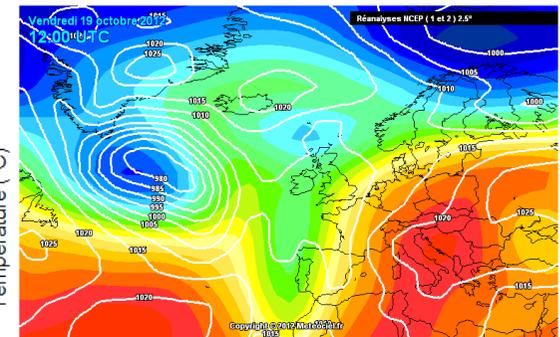
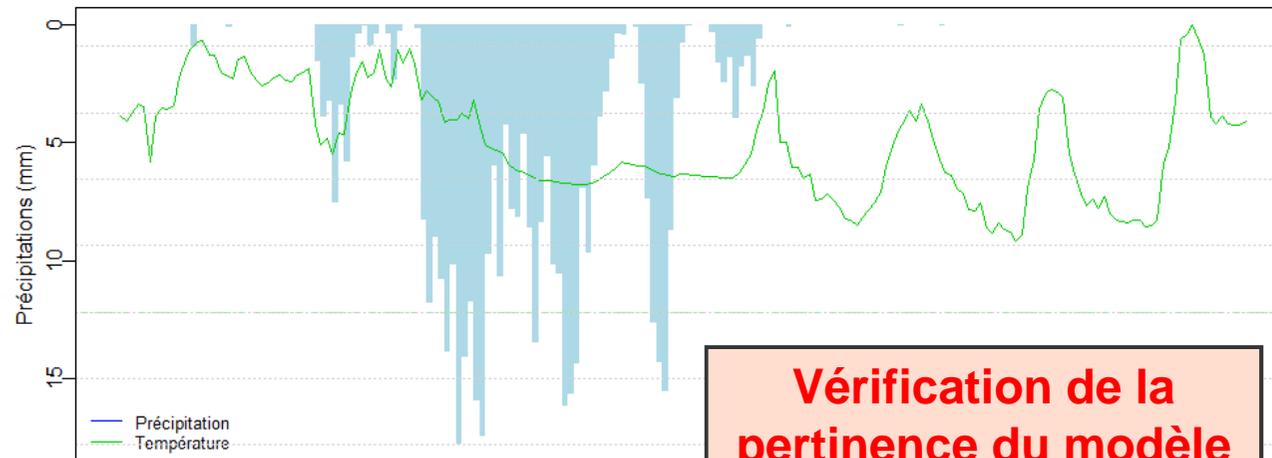
**Aval**

# Crue du 19 octobre 2012

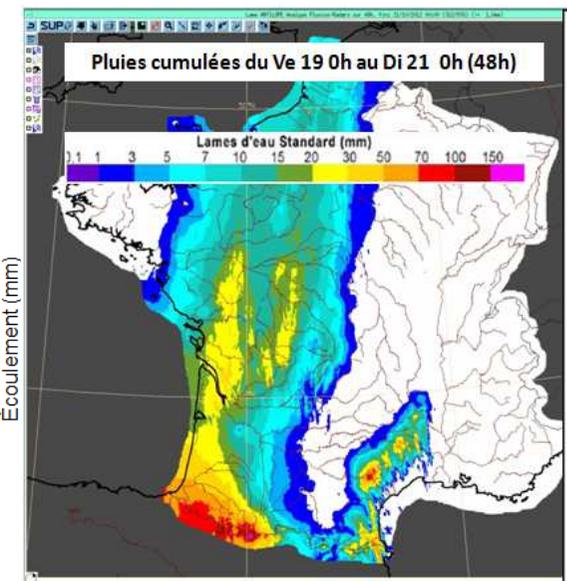
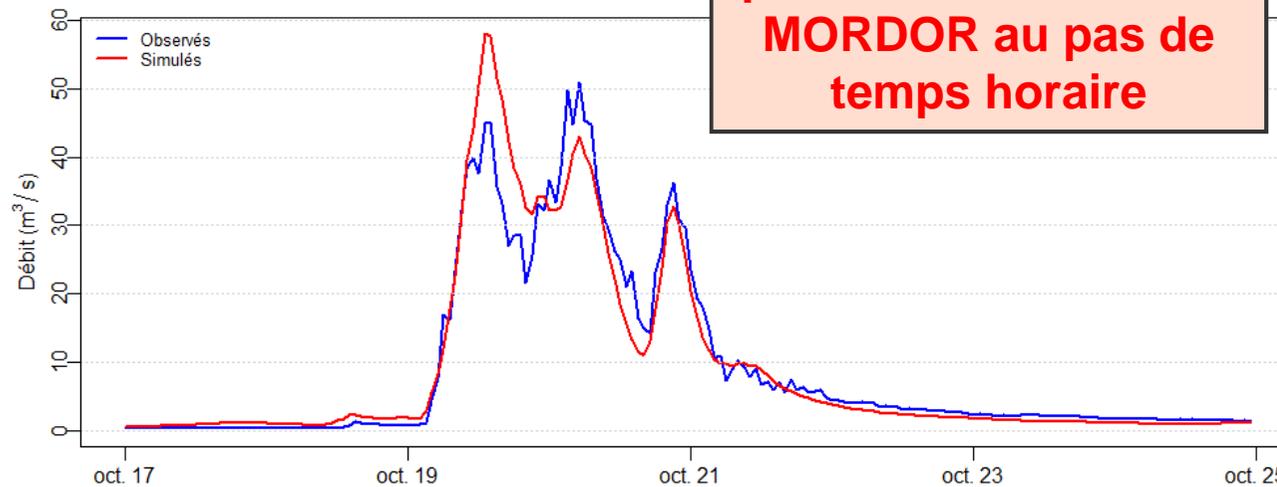


**Précipitation cumulée  
470 mm**

Gave d'Estaubé à Gloriettes - Période du 17 oct. 2012 au 24 oct. 2012



**Vérification de la pertinence du modèle MORDOR au pas de temps horaire**



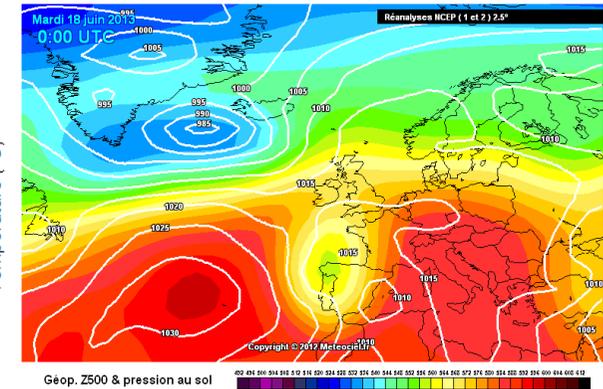
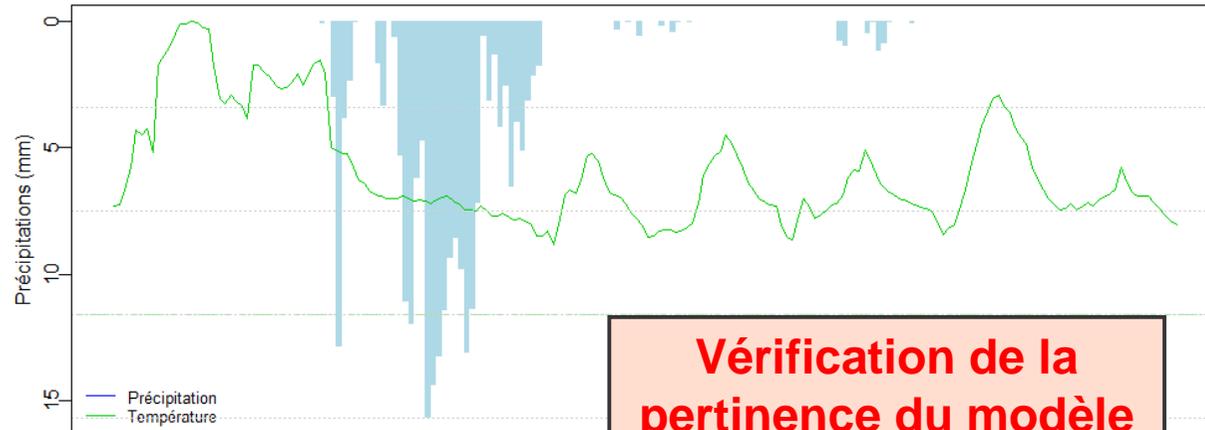
# Crue du 18 juin 2013

**Précipitation cumulée  
231 mm**



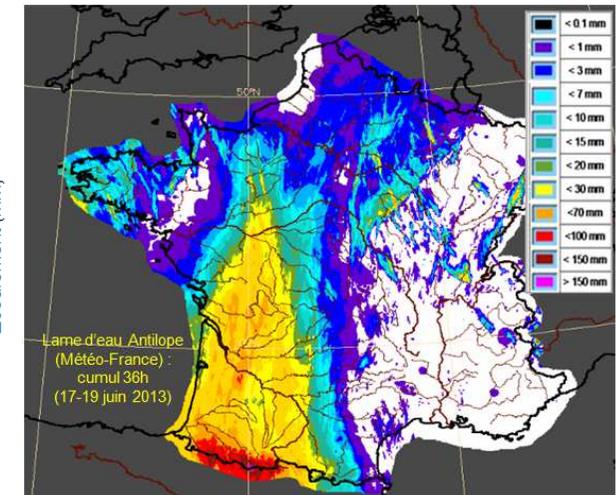
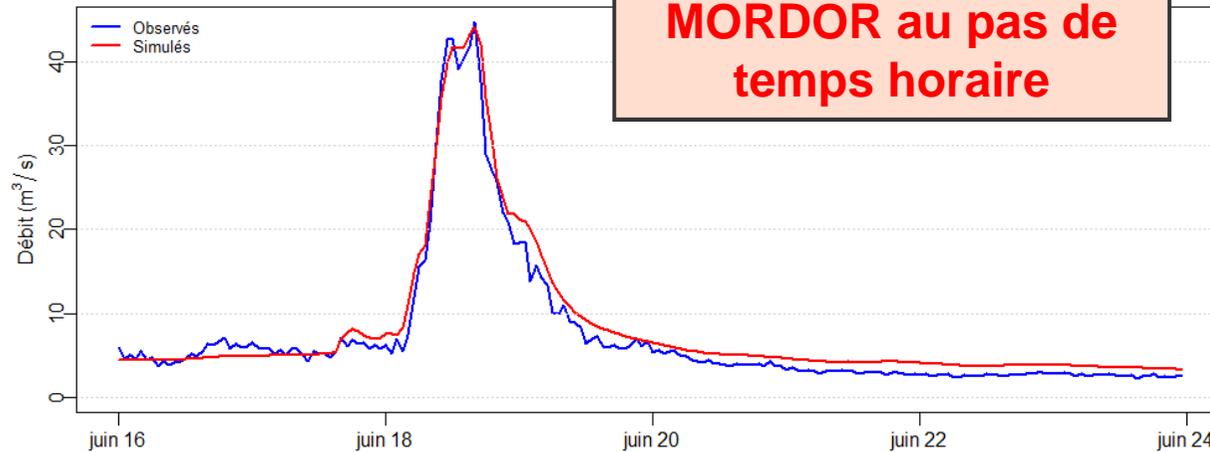
Luz St-Sauveur, le 19 juin

Gave d'Estaubé à Gloriettes - Période du 16 juin 2013 au 23 juin 2013



Géop. Z500 & pression au sol

**Vérification de la pertinence du modèle MORDOR au pas de temps horaire**



Lame d'eau Antilope (Météo-France) : cumulé 36h (17-19 juin 2013)

# Hydrologie des crues à EDF

Gestion des ressources en eau



**Prévision**

Sûreté des installations



**Prédétermination  
(probabilité de débits extrêmes)**

Mesures



Modélisation hydrologique



Intégration de la météorologie pour  
éloigner l'horizon de prévision

Communication des incertitudes  
par la prévision probabiliste

Élaboration de programmes de  
production ou de travaux compatibles  
avec l'hydrologie probable

Mise en vigilance des exploitants sur  
les crues possibles

Facteur essentiel : pluie extrême

Étude détaillée de l'aléa de pluie par  
saison et circulation atmosphérique

Dimensionnement de  
l'évacuation des crues

L'expertise humaine reste irremplaçable



*Fin*