

*Les barrages face aux changements  
climatiques*

# Impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques et sur la sûreté des barrages

Rémy GARCON, Denis AELBRECHT

Experts

EDF-DTG - EDF-CIH

# 1. Les extrêmes hydrologiques



# Les extrêmes hydrologiques

---

## ► Hydrologie et variabilité

- Les débits des cours d'eau sont, le plus souvent, très variables
- Les valeurs moyennes sont insuffisantes pour répondre à toutes les questions
- L'étude des phénomènes rares et extrêmes revêt une grande importance

## ► Illustration

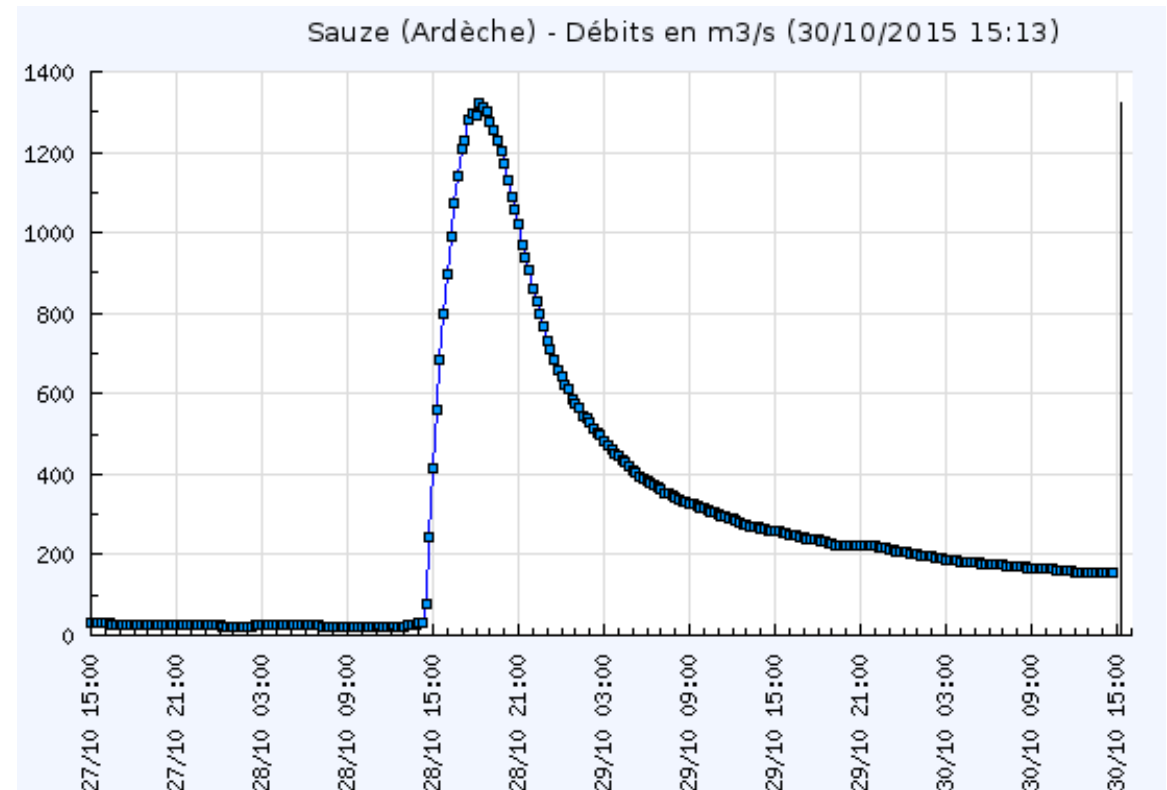
- L'Ardèche à St-Martin d'Ardèche
- Bassin versant de 2240 km<sup>2</sup>
- Régime méditerranéen

# Les extrêmes hydrologiques

▶ Débit moyen de l'Ardèche à St-Martin :  $64\text{m}^3/\text{s}$

▶ Crue du 28 octobre 2015

- Le débit passe de  $30\text{m}^3/\text{s}$  à  $1300\text{m}^3/\text{s}$  en 4 heures
- Etiages fréquents à  $3\text{m}^3/\text{s}$
- Crue extrême observée supérieure à  $7000\text{m}^3/\text{s}$



# Les extrêmes hydrologiques

---

## ► Problématique des extrêmes bas

- Les étiages, même extrêmes ne menacent pas la sûreté des aménagements hydrauliques.
- Mais les menaces liées aux étiages sévères sont multiples et graves (sûreté d'approvisionnement en eau pour les différents usages, sûreté écologique du milieu).

## ► Etiages et changement climatique

- Les tendances, observées et prévues, des étiages extrêmes sont parallèles à celles des étiages plus courants (cf. exposé d'Éric SAUQUET).
- Cette aggravation exige des réponses en économie d'eau et/ou soutien d'étiage par des réserves hydrauliques.

# Les extrêmes hydrologiques

---

## ► Problématique des extrêmes hauts

- Les crues extrêmes menacent les aménagements hydrauliques en cas d'insuffisance des possibilités d'évacuation et/ou de laminage.

## ► Crues extrêmes et climat

- Les crues sont le résultat de l'arrivée d'eau liquide sur le bassin versant (pluie, fonte de neige) et des conditions d'écoulement de cette eau (perméabilité, sécheresse des sols, pente, végétation, géologie, etc.)
- En France, à l'amont des barrages (bassins ruraux de quelques km<sup>2</sup> à quelques milliers de km<sup>2</sup>), le facteur prépondérant des crues extrêmes est l'aléa de pluie extrême à un pas de temps caractéristique du bassin.
- La pluie extrême journalière est, en moyenne, un bon point de repère.

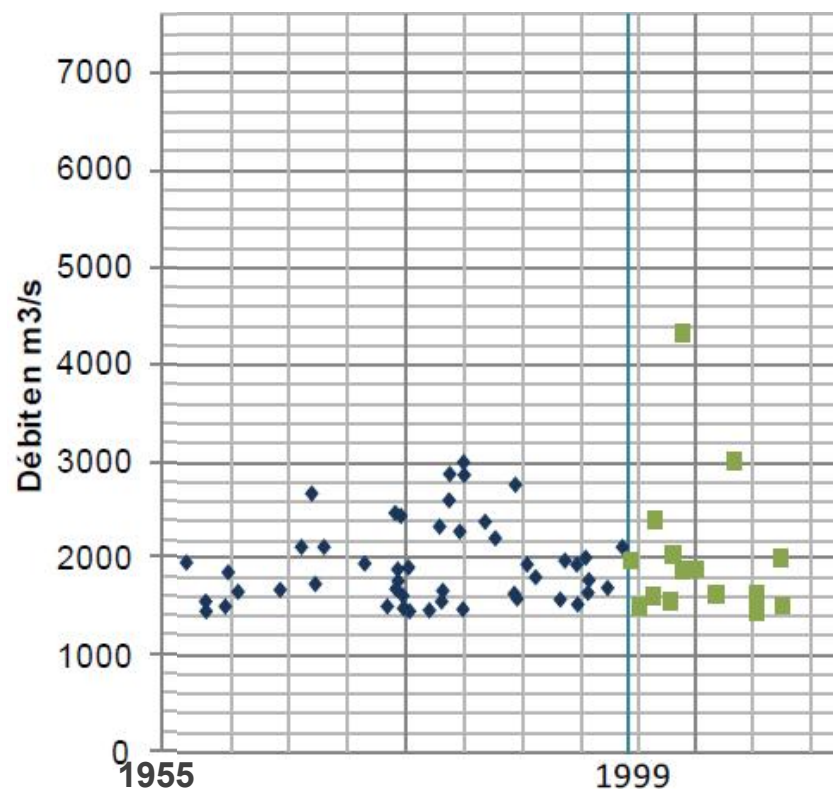
# 2. Crues et pluies extrêmes Que nous apprend le passé ?



# Que nous apprend le passé ?

## ► L'intérêt de prendre du recul

- Exemple des crues de la Loire à Blois



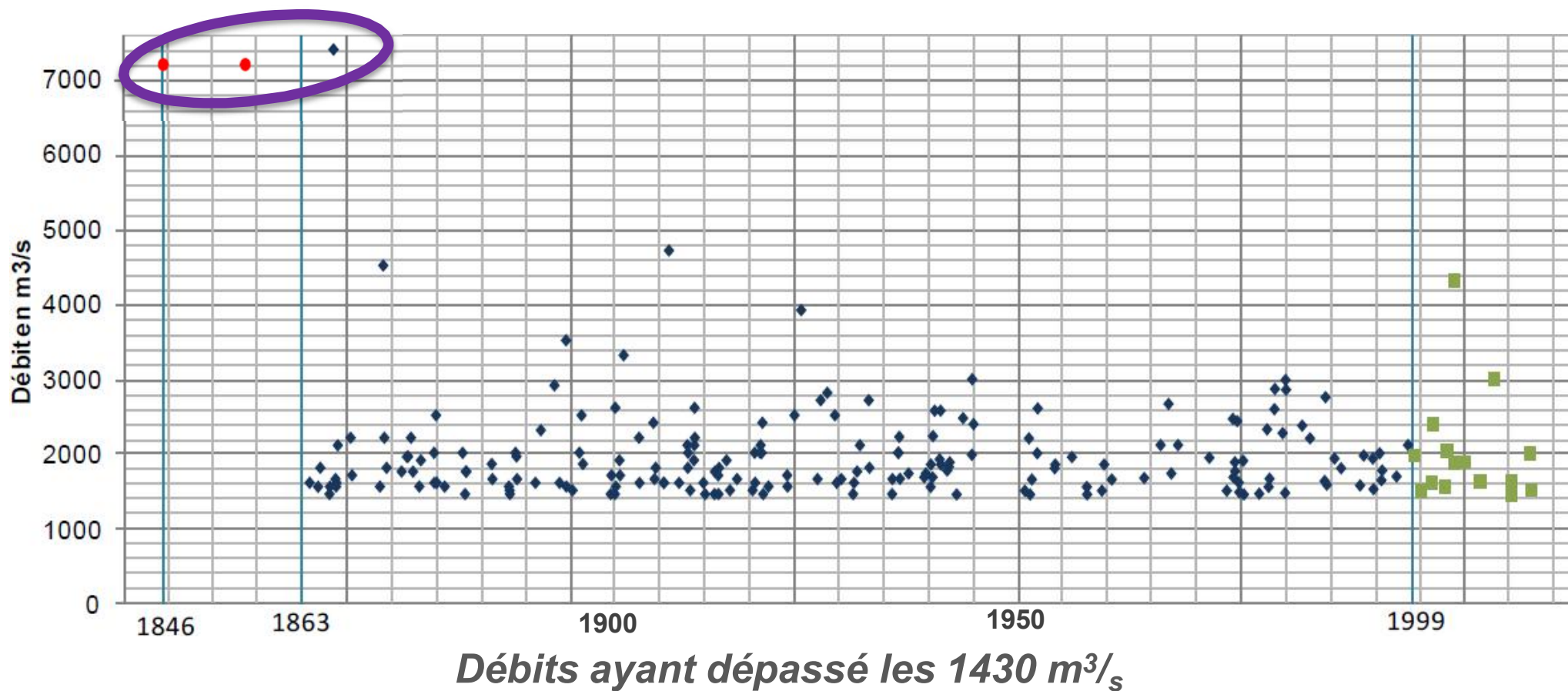
*Débits ayant dépassé les 1430 m<sup>3</sup>/s*



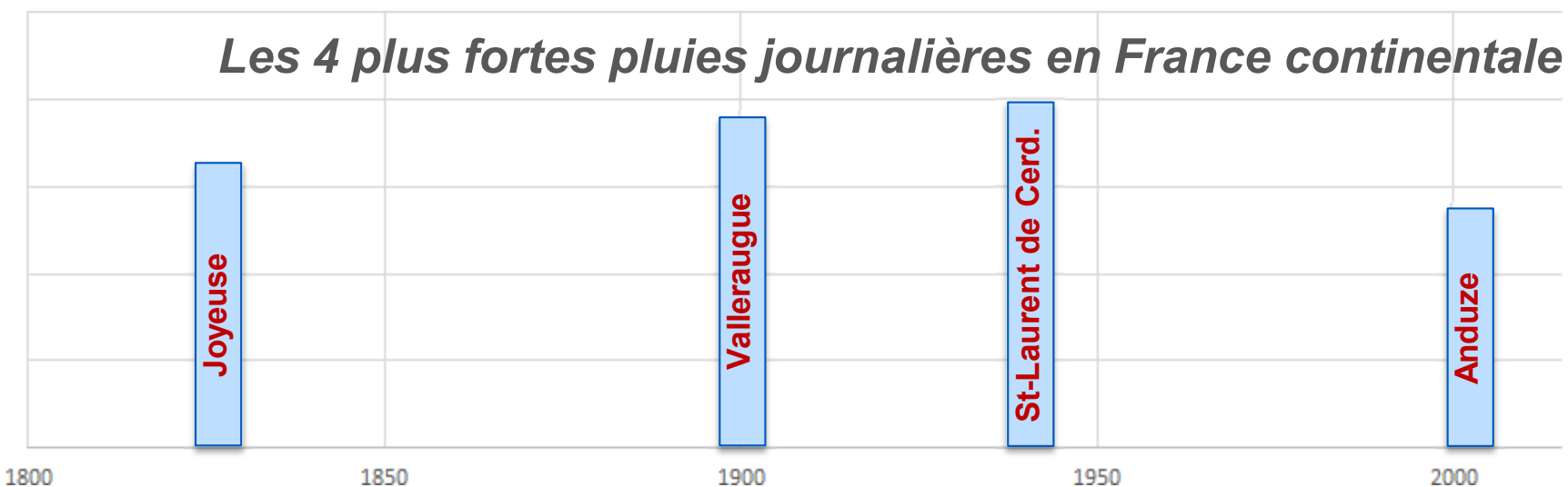
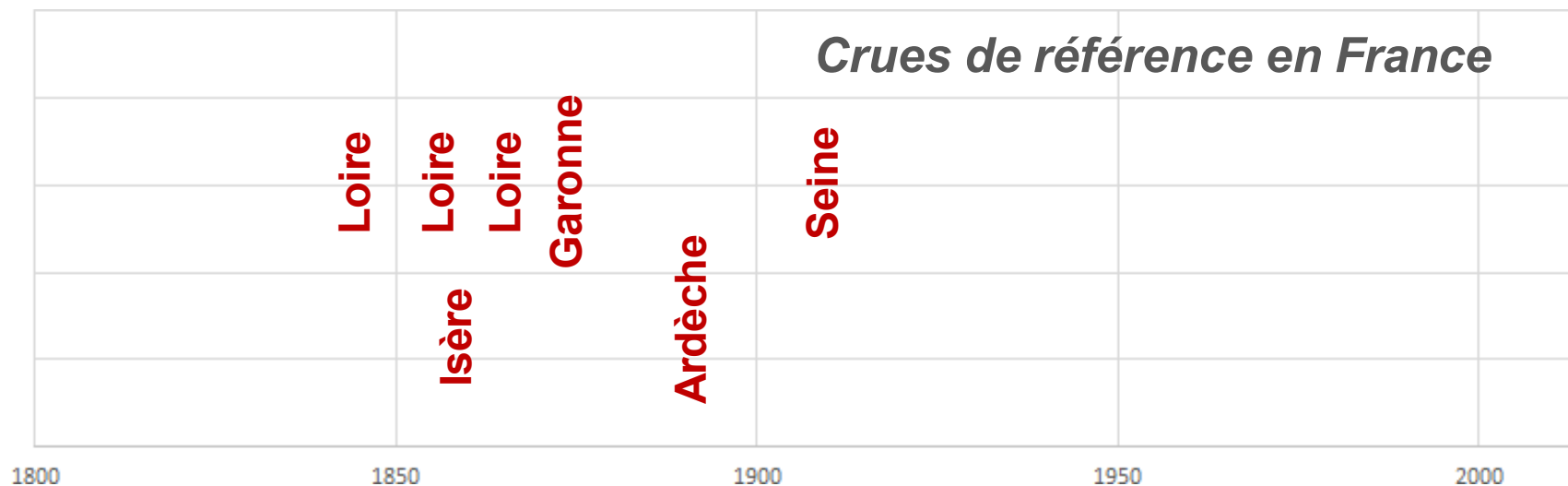
# Que nous apprend le passé ?

## ► L'intérêt de prendre du recul

### ■ Exemple des crues de la Loire à Blois



# Que nous apprend le passé ?



# Que nous apprend le passé ?

---

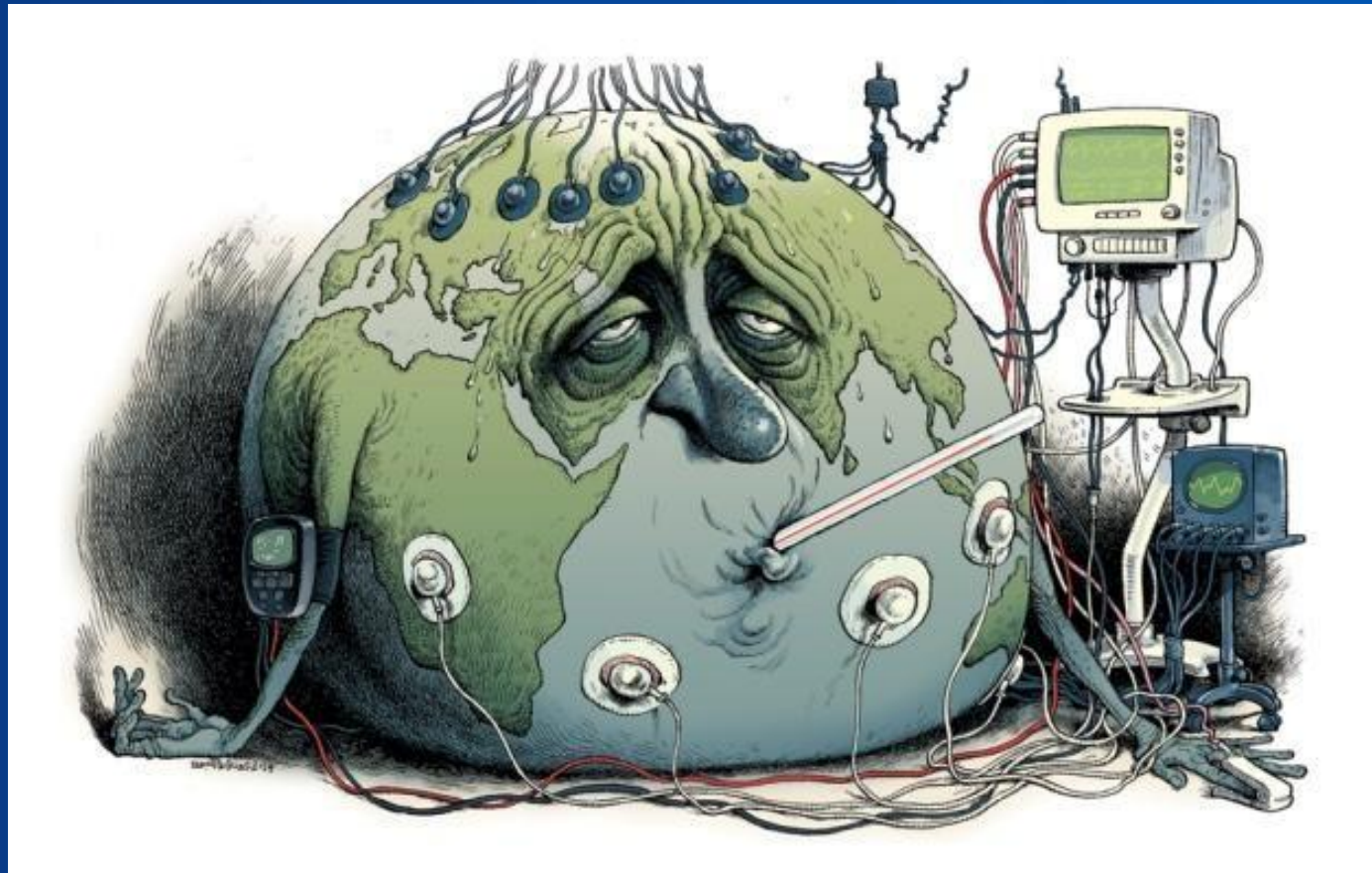
## ► Un travail scientifique rigoureux : thèse de B.RENARD 2006

- 195 stations hydrométriques avec 40 ans d'ancienneté au moins
- 124 stations conservées après critique
- Sélection des tests statistiques les mieux adaptés
- En local : pas de tendance généralisée à l'échelle de la France
- En régional, seulement deux évolutions significatives retenues :
  - **Nord-est : légère augmentation de l'intensité des crues pluviales**
  - **Pyrénées : légère diminution de l'intensité des crues pluviales**

## ► 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC - 2013

- *« Il est probable qu'il y a davantage de régions continentales où le nombre d'épisodes de précipitations abondantes a augmenté plutôt que diminué »*

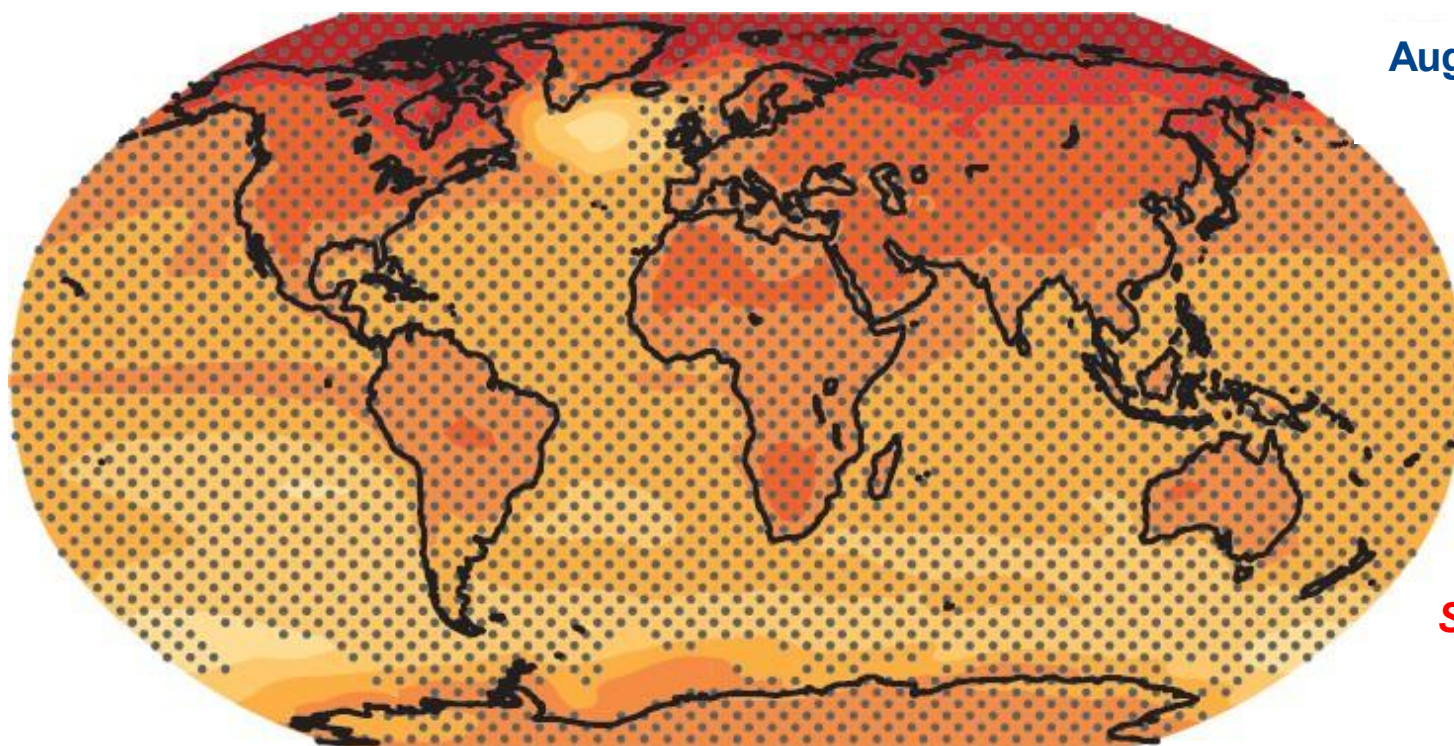
# 3. Crues et pluies extrêmes du futur Que nous dit la science du climat ?



# Que nous dit la science du climat ?

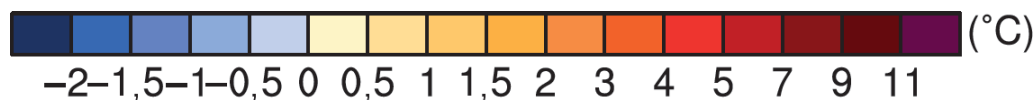
## ► Un signal très clair de hausse des températures

- Des effets directs sur accumulation et fonte de neige
- Une augmentation parallèle de l'évapotranspiration potentielle et de la sécheresse des sols



Augmentation des températures  
d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle

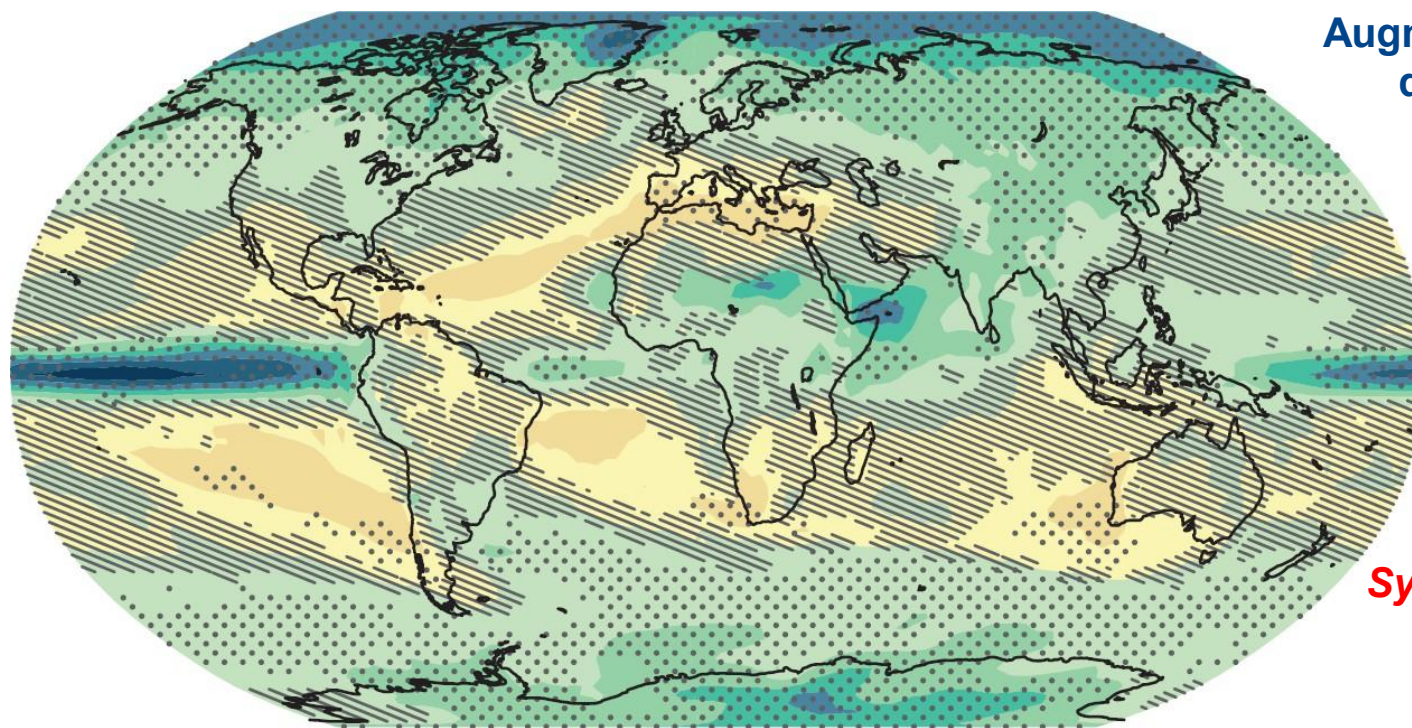
**RCP 6**  
**Synthèse de 25 modélisations**



# Que nous dit la science du climat ?

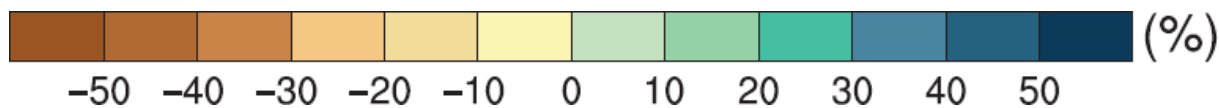
## ► Des pluies en augmentation, en moyenne, mais...

- Une évolution régionalement contrastée
- Même pour les pluies moyennes, de très fortes incertitudes



Augmentation des précipitations  
d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle

**RCP 6**  
**Synthèse de 25 modélisations**



# Que nous dit la science du climat ?

---

## ▶ Les pluies extrêmes sont les moins bien modélisées

- Un point de repère : la relation de Clausius-Clapeyron (+7% de pression maximale de vapeur d'eau par degré)
- 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC : *pluies extrêmes très probablement en augmentation en climat tropical humide et climat continental*

## ▶ Les hypothèses les plus courantes

- Pluies moyennes en augmentation globale de 2% par degré
- Pluies extrêmes horaires en augmentation moyenne de 7% par degré
- Fortes disparités régionales attendues
- Sols en moyenne plus secs du fait de la hausse de l'évaporation, ce qui tempère l'effet de l'augmentation des pluies



# 4. Que fait-on pour les barrages ?

## Crues extrêmes et dimensionnement





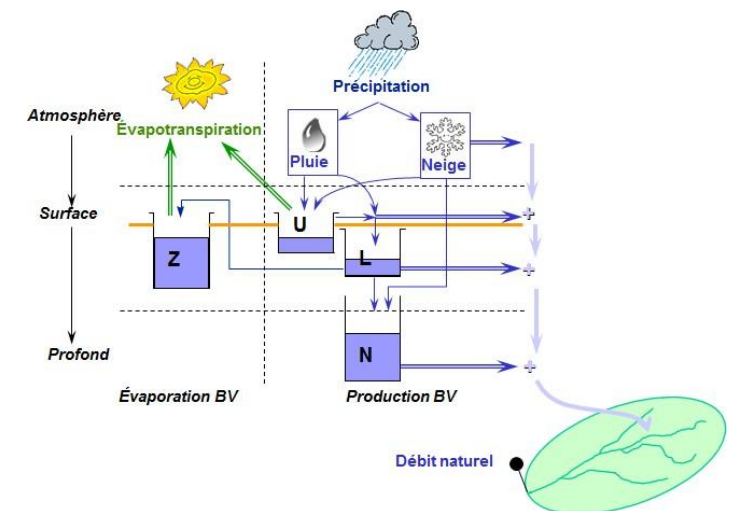
## ► Méthodes d'évaluation des extrêmes hydrologiques

- Les résultats des études de crues extrêmes permettent de définir ou de vérifier les capacités d'évacuation et de laminage des barrages
- 2 classes de méthodes sont utilisées dans le monde :
  - Les méthodes maximalistes tendent à définir une crue maximale « probable »
  - Les méthodes probabilistes définissent une crue correspondant à une probabilité – faible – de dépassement. Par exemple, une crue décennale a 1 chance sur 10.000 d'être dépassée en un an
- En France, les textes font référence aux méthodes probabilistes telles la méthode SCHADDEX, utilisée par EDF pour la sûreté de ses barrages

# Crués extrêmes et dimensionnement

## ► La méthode SCHADEX

- SCHADEX s'appuie sur l'estimation statistique des précipitations extrêmes générées par chaque type de circulation atmosphérique et sur la simulation des conséquences de ces précipitations dans toutes les conditions d'humidité initiale des sols
- Les simulations utilisent un modèle hydrologique déduisant le débit du cours d'eau des pluies et températures de l'air antérieures



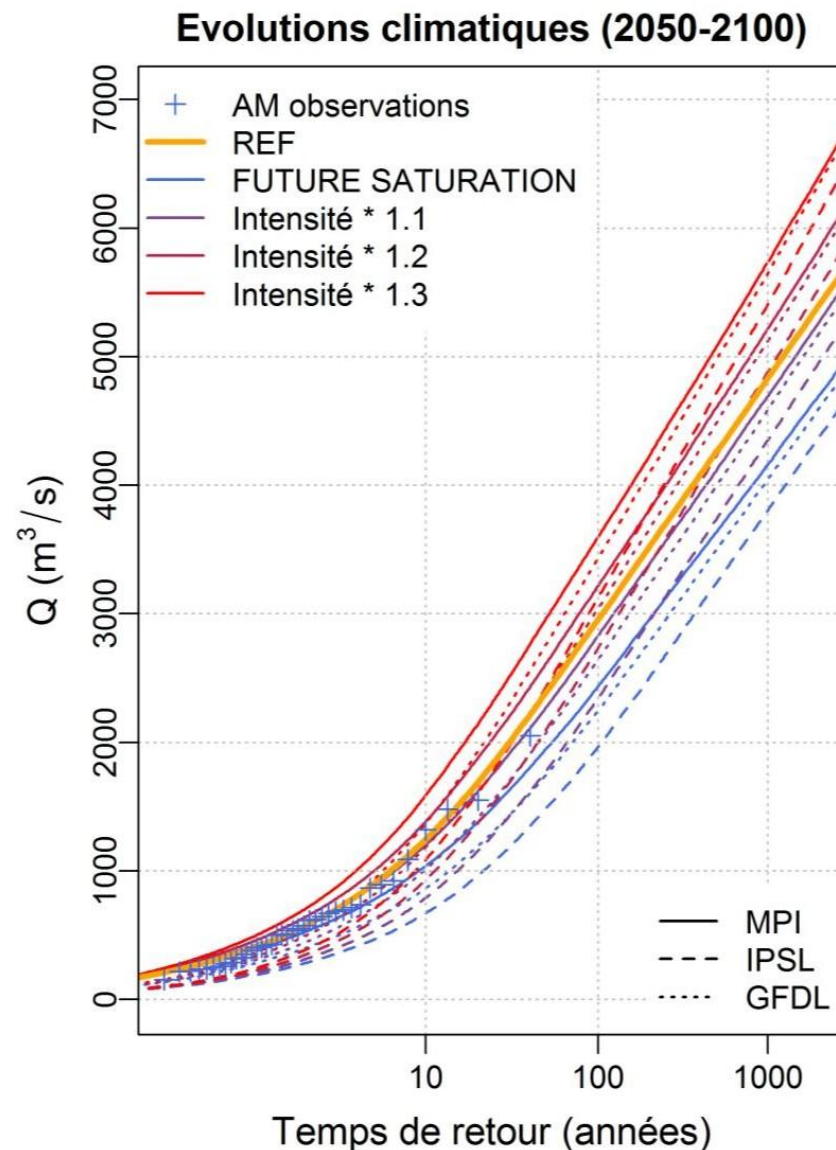
## ► SCHADEX et changement climatique

- Faute de tendance précise sur l'évolution future des précipitations, la méthode SCHADEX est appliquée en « climat présent »
- Mais les travaux de thèse de P.BRIGODE (2013) ont montré que la méthode pouvait décliner des hypothèses sur :
  - les changements de circulation atmosphérique,
  - l'élévation des températures et ses effets
    - sur la sécheresse des sols
    - sur l'enneigement
- une hausse des précipitations

# Crués extrêmes et dimensionnement

## ► SCHADEX et changement climatique

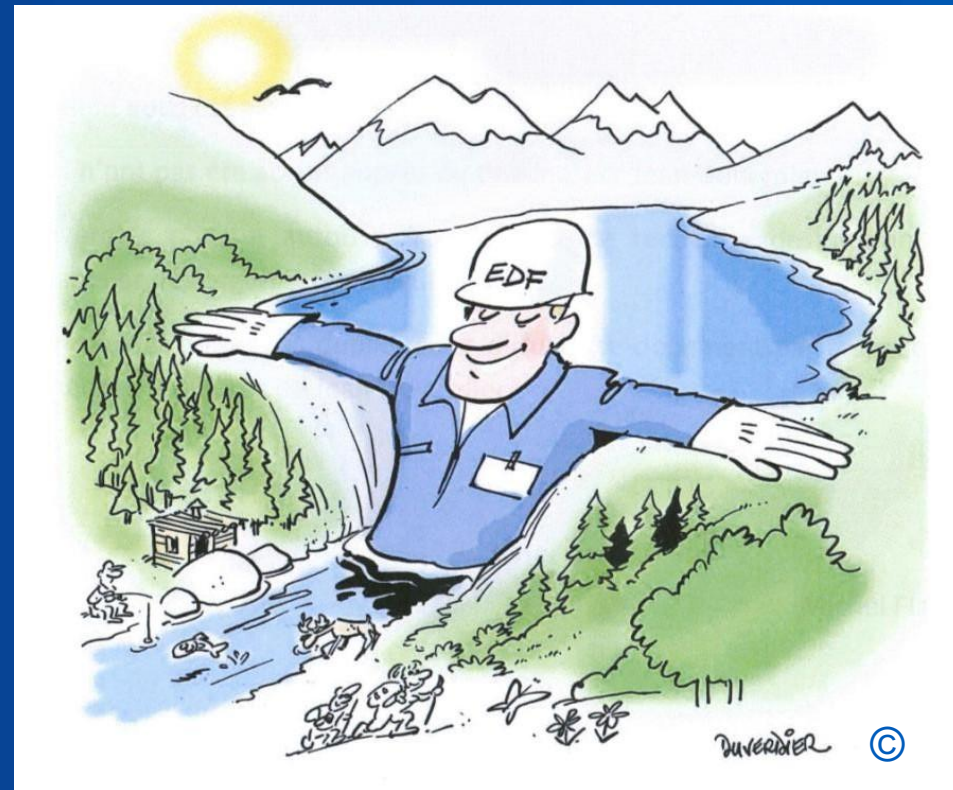
- Etude de sensibilité des crues extrêmes du Tarn à Millau (P.BRIGODE – 2013)
- Une hausse des pluies extrêmes de 10 à 20% peut être compensée sur un tel bassin par une plus grande sécheresse des sols



## ► Des crues de référence en hausse pour de multiples raisons, indépendamment du climat

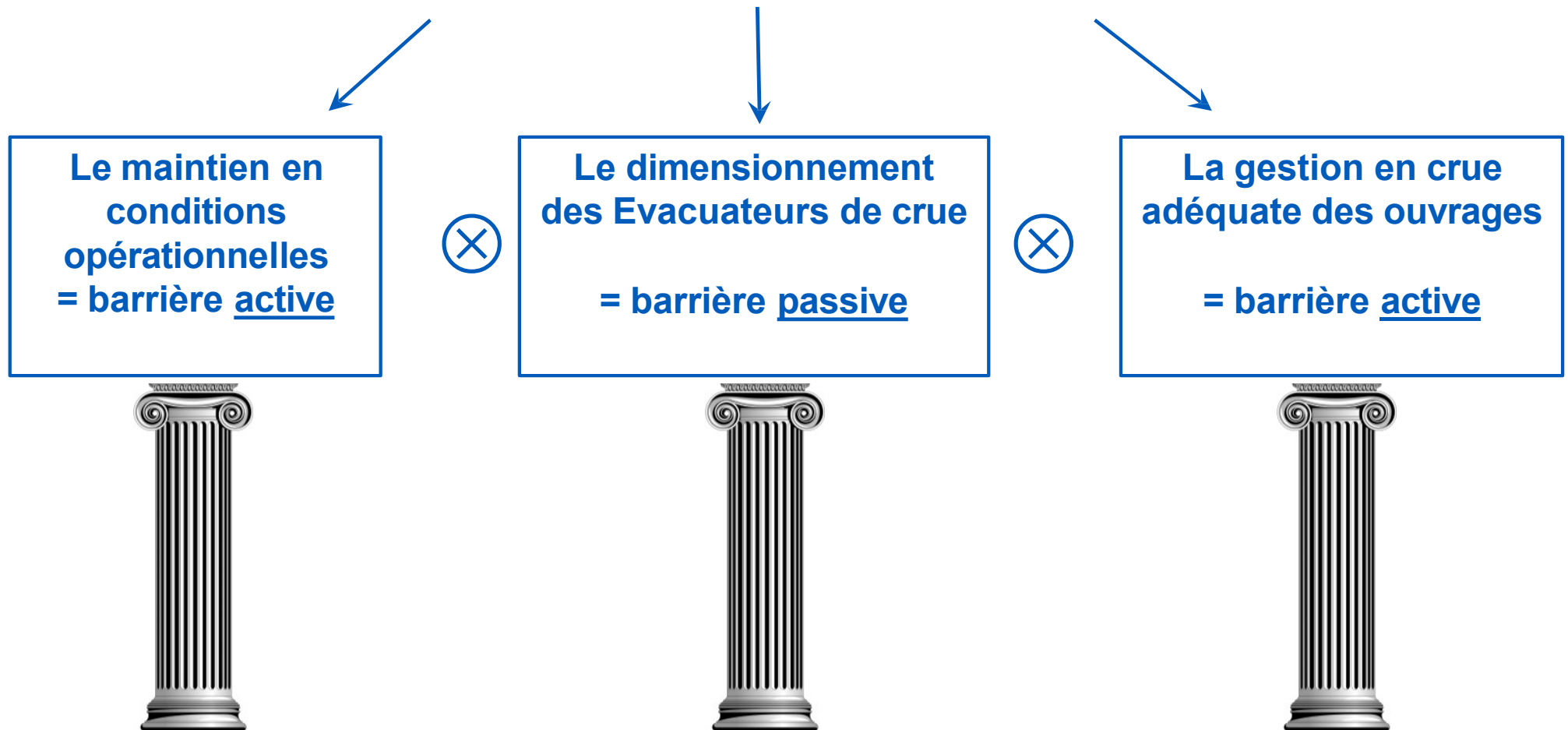
- Des facteurs autres que le changement climatique incitent à protéger les barrages sur des crues plus importantes
  - L'attente sociétale pèse sur les usages et les textes officiels qui demandent désormais explicitement que la sûreté des grands barrages soit étudiée face à des crues de durée de retour extrêmement élevées (100.000 ans)
  - La modernisation des méthodes probabilistes et la prise en compte de jeux de données plus importants débouchent également parfois sur des redimensionnements
- Ces dernières années, les capacités d'évacuation de certains barrages ont ainsi été pratiquement doublées

# 5. Solutions techniques pour garantir la sûreté des barrages en crue



# La maîtrise du risque « Crue » par l'exploitant Hydro

## Les 3 piliers fondamentaux, issus du retour d'expérience international



# Le dimensionnement des Evacuateurs de Crues

---

## ▶ Conception hydrologique

- Crue de dimensionnement
- Crue extrême => sensibilité au dépassement de la crue de dimen.

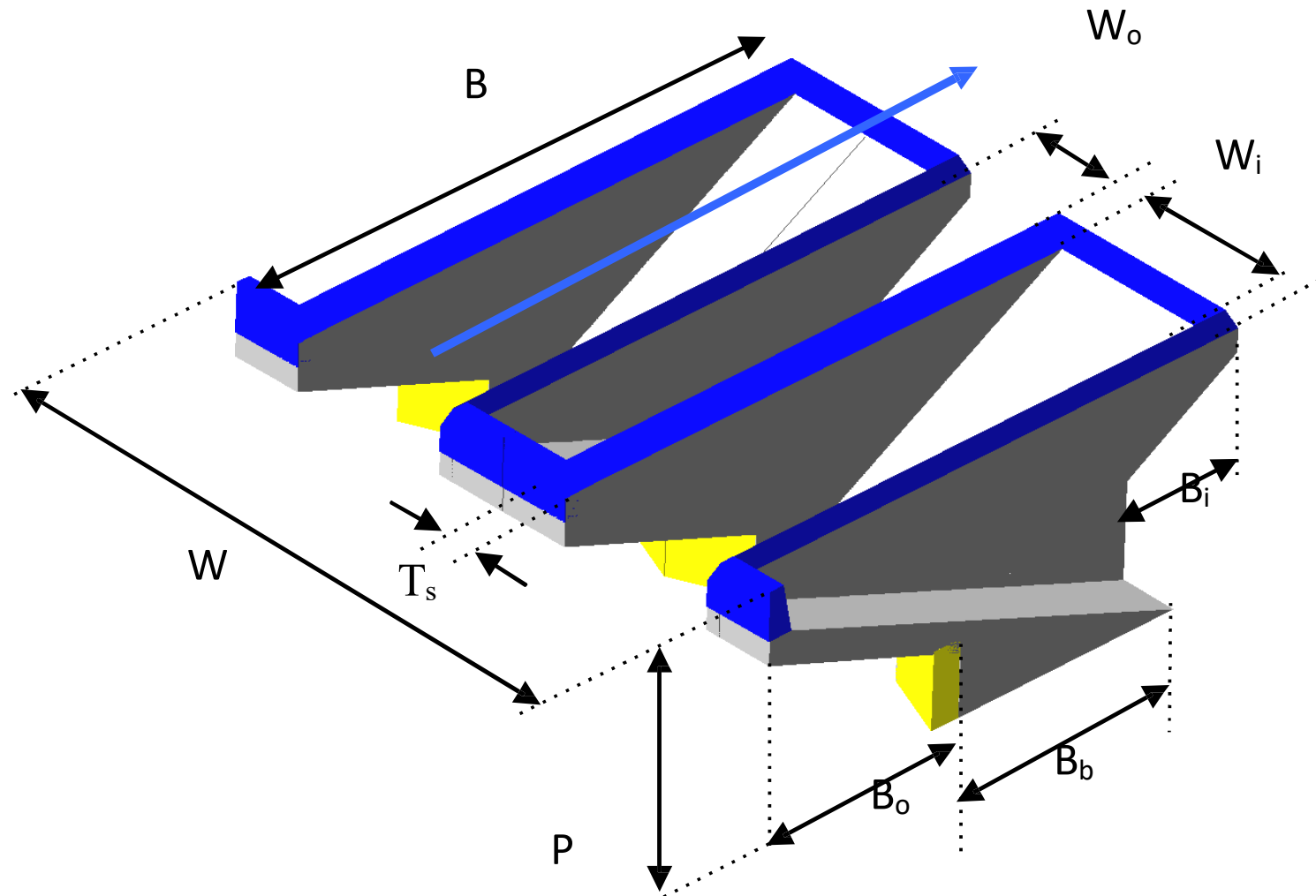
## ▶ Conception hydraulique et structurelle

- Système vanné ou non vanné / en charge ou à surface libre
- Débitance
- Laminage
- RN, PHE, Cote de Danger ; conditions de stabilité du barrage
- Coursier
- Dissipation aval

## ▶ Robustesse et Fiabilité de la conception



# La technologie PKW : « Piano-Key Weir »



# La solution PK-weir : réalisations EDF



Gloriettes dam (France, 2010)



Saint-Marc dam  
(France, 2008)



Goulours dam  
(France, 2006)



Malarce dam (France, 2012)



La Raviege dam (France)

# Le maintien en conditions opérationnelles

---

- ▶ **La maintenance : garantir que les matériels peuvent assurer durablement leur fonction (de sûreté)**
  - Diagnostic de l'état des ouvrages et matériels
  - Périmètre : ensemble des ouvrages et matériels concourant à la fonction « passage des crue » :
    - Entonnement
    - Coursier
    - Dissipation
  - Corrections des défaillances et incidents passés :
    - en situation de crue
    - mais aussi en situation normale hors crue (en particulier les vannes)

# La gestion en crue des ouvrages par l'exploitant

## ► Consignes de crue validées

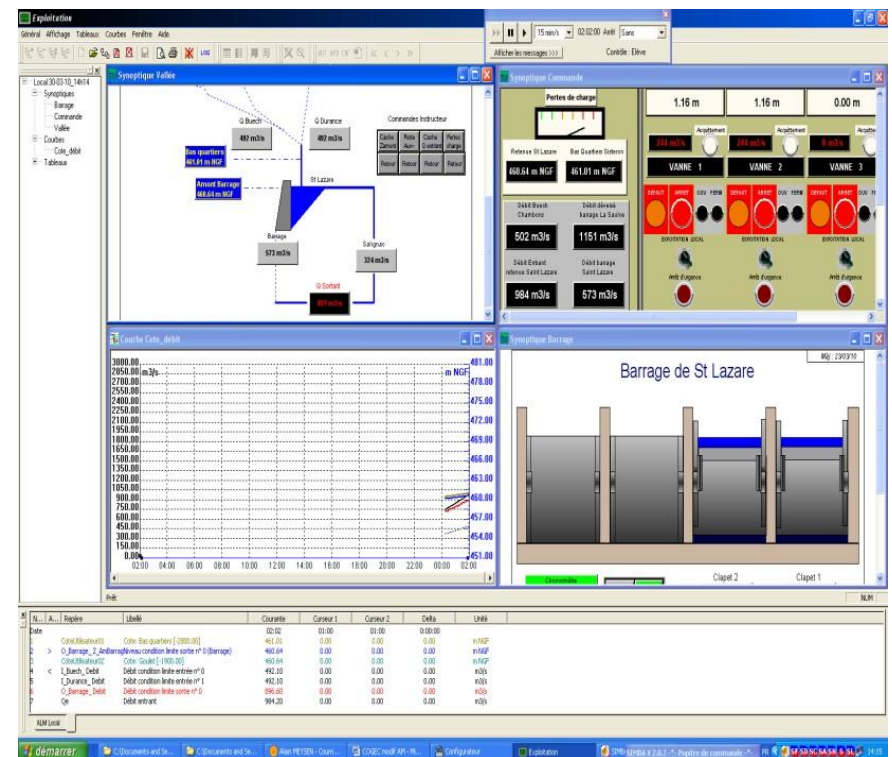
- Déterminer les fonctions à assurer et leur priorité : cotes, débit sortant, ...
- Intégrer des scénarios hydrologiques variés et représentatifs

## ► Entraînement des exploitants

- Test sur simulateur :
  - ⇒ SIMBA
- Comportement face à des situations dégradées (pannes, pb énergie, ...)
- Comportement face à des situations inédites (crues atypiques, ...)

## ► Tests terrain

- Accessibilité au site
- Gestion des embâcles





Merci