

# RIWER 2030

Regional Climate, Water, Energy,  
Resources and uncertainties from 1960 to 2030

## Changement climatique et gestion d'une retenue multi-usage en zone de montagne.

### Modèles, projections et incertitudes.

B. Hingray<sup>1</sup>, Chargé de recherche, CNRS, LTHE, Grenoble

M. Bourqui<sup>2</sup>, J.- D. Creutin<sup>1</sup>, B. François<sup>1,2</sup>, F. Hendrickx<sup>2</sup>,  
J. Gailhard<sup>2</sup>, M. Lafaysse<sup>1,Cerfacs</sup>, N. Le Moine<sup>2</sup> T. Mathevet<sup>2</sup>,  
A. Mezghani<sup>1</sup>, C. Monteil<sup>2</sup>, étudiants masters



1



GRENOBLE  
UNIVERSITÉS



2

edf

FINANCÉ PAR  
ANR



<http://www.lthe.fr/RIWER2030>  
[benoit.hingray@ujf-grenoble.fr](mailto:benoit.hingray@ujf-grenoble.fr)

Conférence Jacques Cartier  
LES ATOUS DE L'HYDRAULIQUE DANS LA TRANSITION ENERGETIQUE  
Grenoble – 26 Nov. 2013

# Ressource en eau, demande, climat



- L'hydraulique : un élément clé dans le paysage énergétique
- Des modifications majeures sur les décennies à venir
  - Ressource en eau : volumes, saisonnalité, variabilité interannuelle, spatiale
  - Usages de la ressource en eau : diversification, volumes, saisonnalité, valeur
  - Le développement des énergies intermittentes



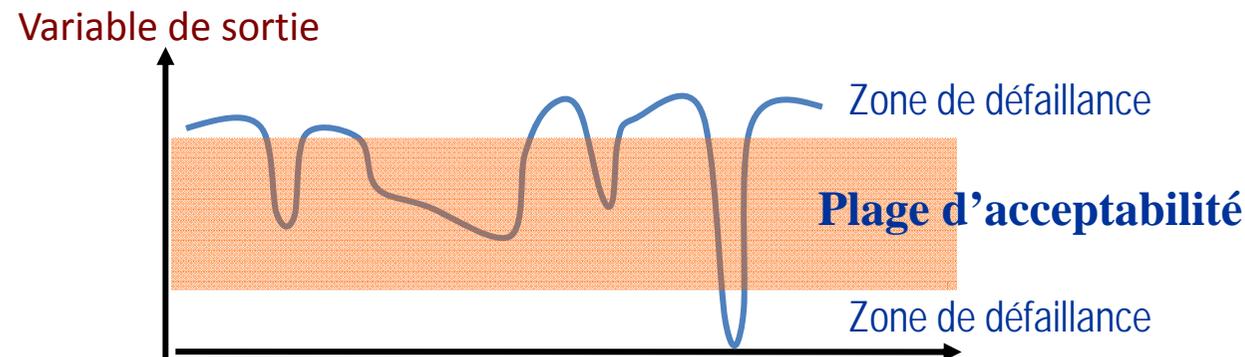
- Systèmes actuels de gestion de la ressource en eau
  - Potentiellement mal adaptés avec des règles de gestion sous optimales pour contexte futur



# Ressource en eau, demande, climat



- Quelques questions majeures..
  - Performance de nos systèmes actuels dans un contexte modifié ?
  - Adaptations (structurelles / non structurelles) nécessaires ?
- Et questions connexes...
  - Performance estimée sur la base de chroniques ( $Q_{\text{étiage}}$ ,  $Q_{\text{irrigation}}$ ,  $Q_{\text{turbinages}}$ ,  $H_{\text{lac}}$ , ...)
    - > production moyenne sur T années / défaillances (demandes non satisfaites)



- Avec quels scénarios futurs et quelle chaîne d'analyse ?
- Quelles incertitudes associées ?



# Le système Durance-Verdon (12'000km<sup>2</sup>)



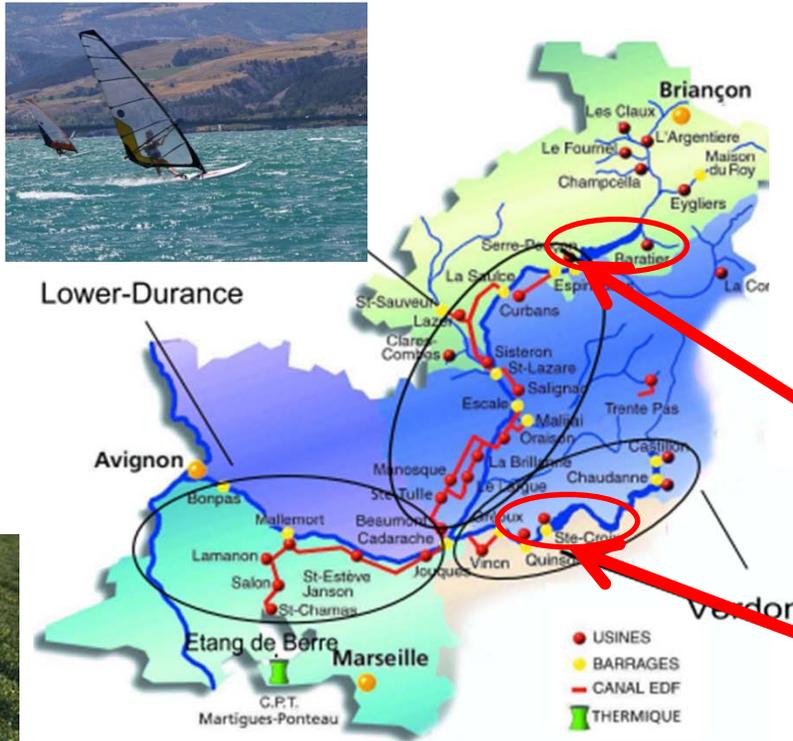
Deux principaux réservoirs + système de collecteurs  
+ usines au fil de l'eau en cascade

Tourisme estival

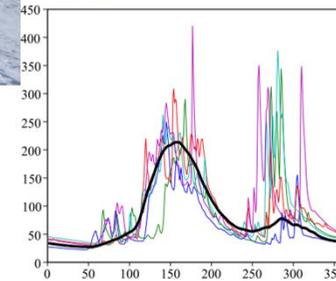


Contraintes environnementales (débits réservés)

Eau potable Irrigation



Régimes pluvio-nival



Serre-Ponçon

Built : 1960

1270 Mm<sup>3</sup>

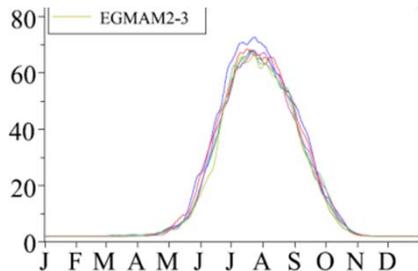
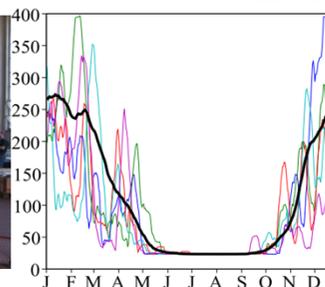


Sainte-Croix

Built : 1975

760 Mm<sup>3</sup>

Hydroélectricité



RIVER 2030

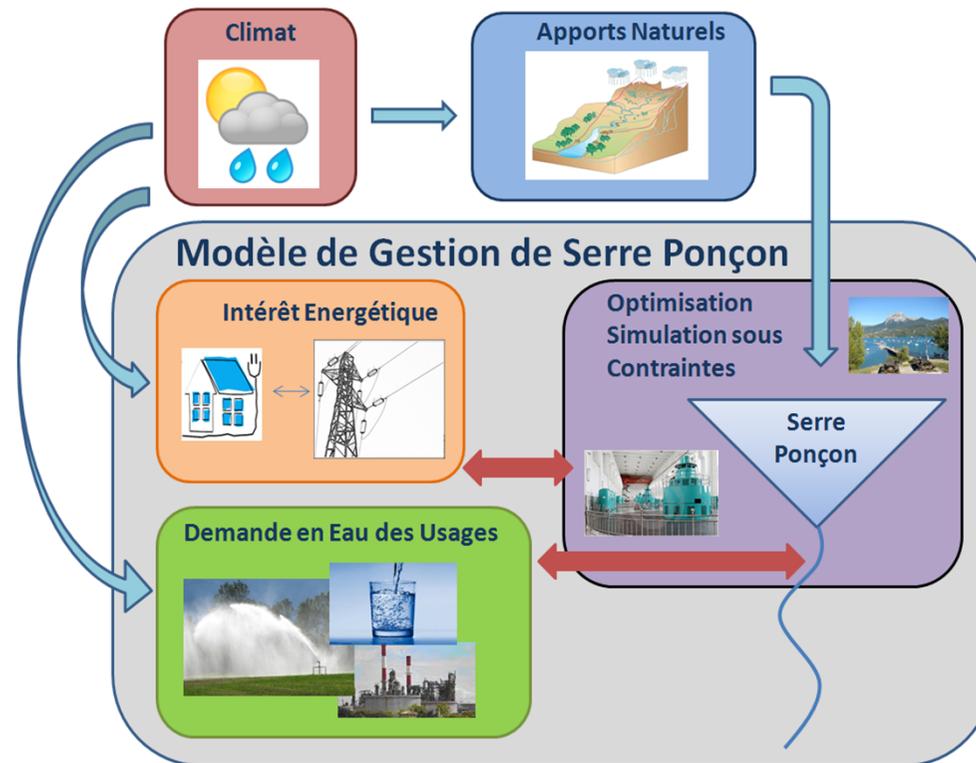
<http://www.lthe.fr/RIWER2030/>



# Le système Durance-Verdon



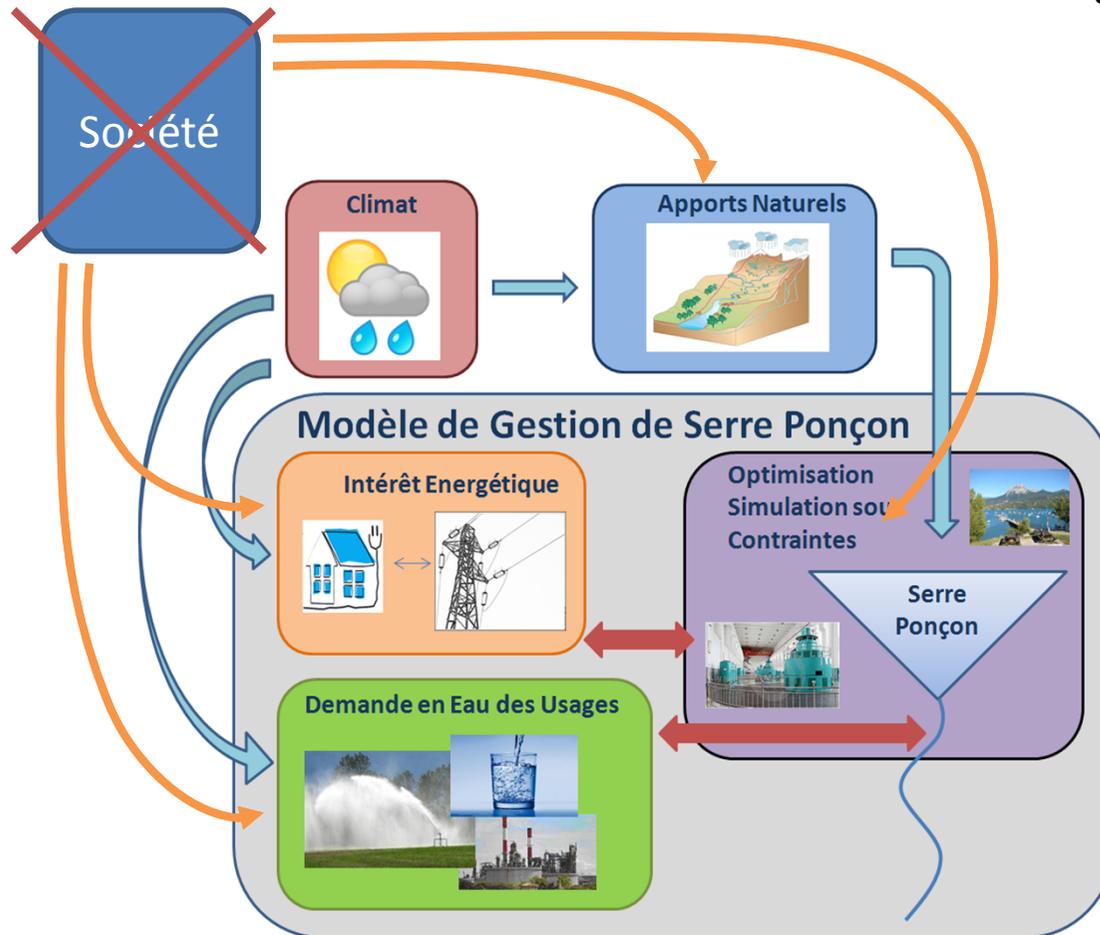
- Simplifications nécessaires :
  - le système : seulement la retenue principale de Serre-Ponçon (1200Mm3)



# Le système Durance-Verdon



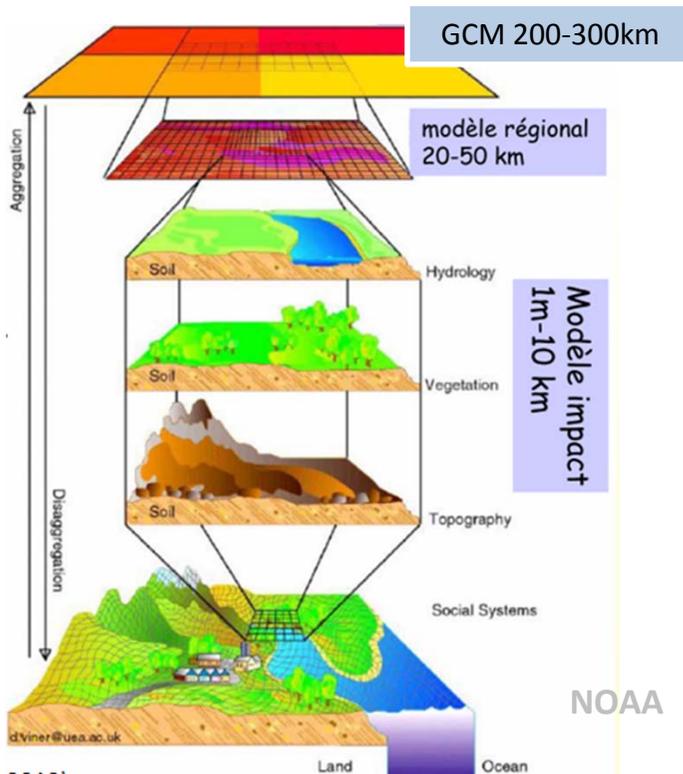
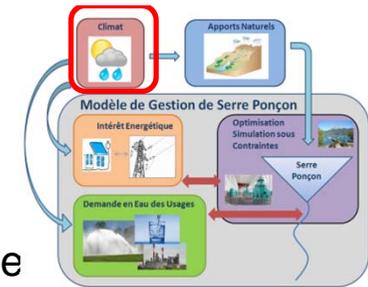
- Simplifications nécessaires :
  - le système : seulement la retenue principale de Serre-Ponçon (1200Mm3)
  - les scénarios : seulement les modifications de la ressource et de la demande liées à la modifications du climat régional



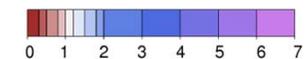
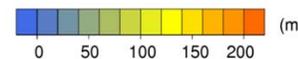
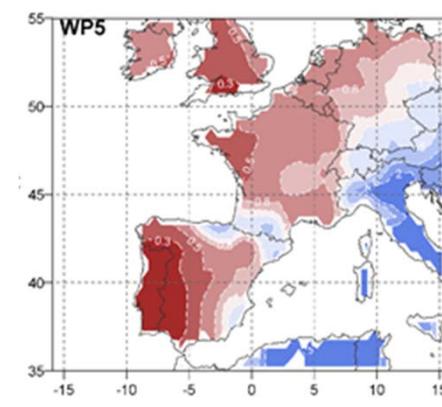
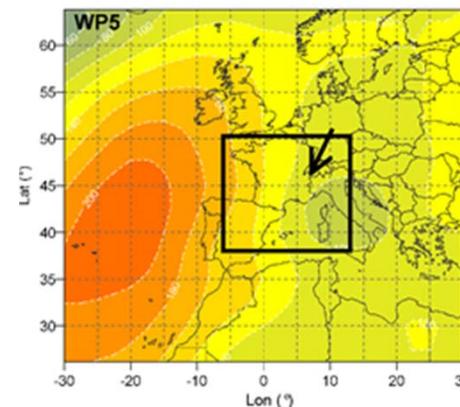
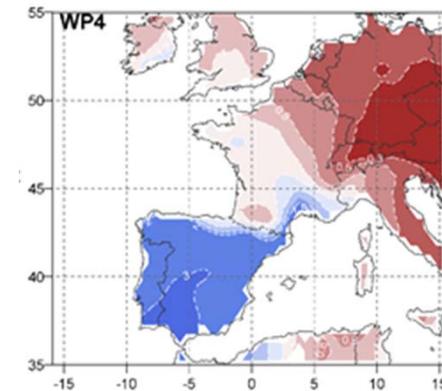
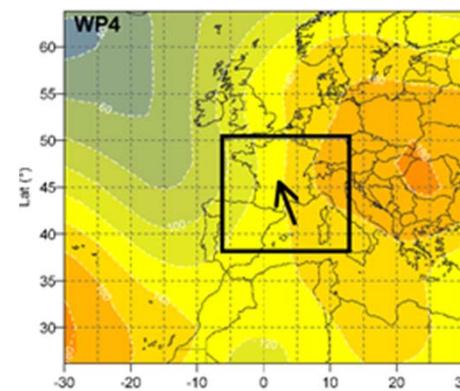
# Scénarios météorologiques locaux

- Une exigence : des scénarios fut. pertinents pour l'hydrologie
  - Adapter les sorties de GCM :

Relation Circulation Grande Echelle  
Exple Précip. Pour 2 types de temps



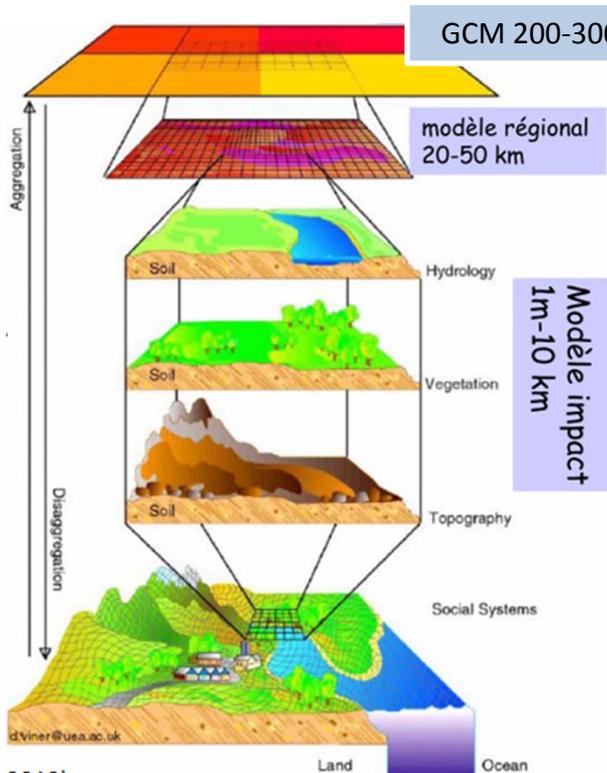
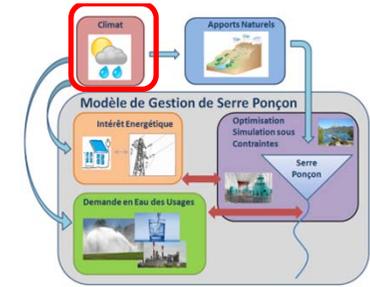
Inadéquation d'échelle  
Biais sur Précip., Temp., ...



Gailhard, EDF, 2009

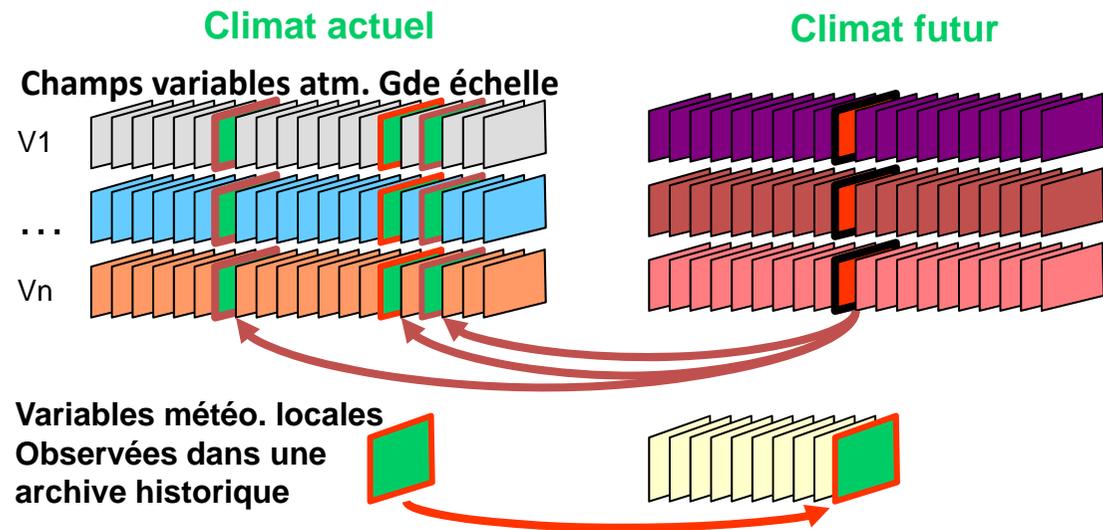
# Scénarios météorologiques locaux

- Une exigence : des scénarios fut. pertinents pour l'hydrologie
  - Adapter les sorties de GCM :



les Modèles de Descente d'Echelle Statistique

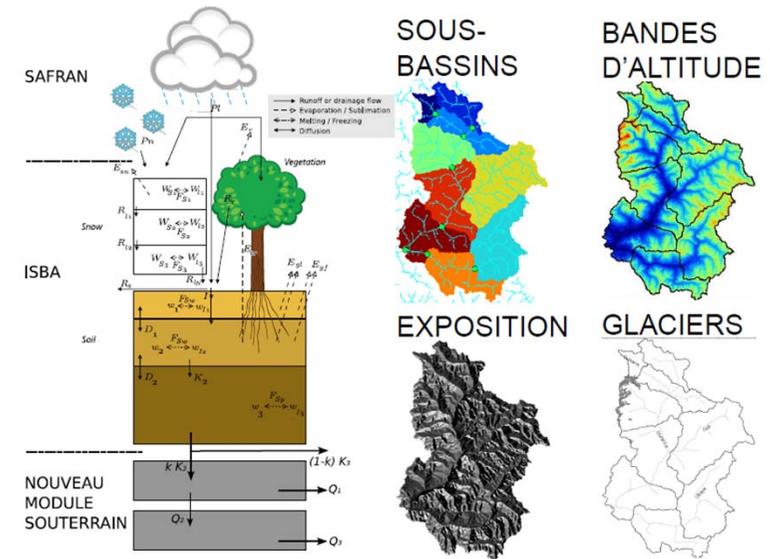
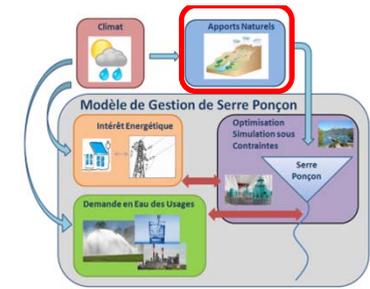
Exple : les analogues (cf. Obled et al. 2002, Gailhard, 2013)



# Scénarios apports / demande

> des modèles de simulation continue

- Débits d'apports à la réserve
  - Modèles hydrologiques :  
Cequeau / MORDOR / Isba-Durance
  - Précip, Températures, autres (journalier)

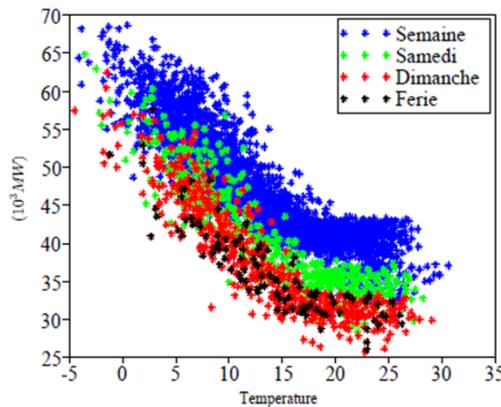
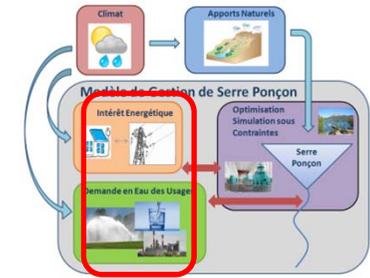


Lafayesse, 2011

# Scénarios apports / demande

> des modèles de simulation continue

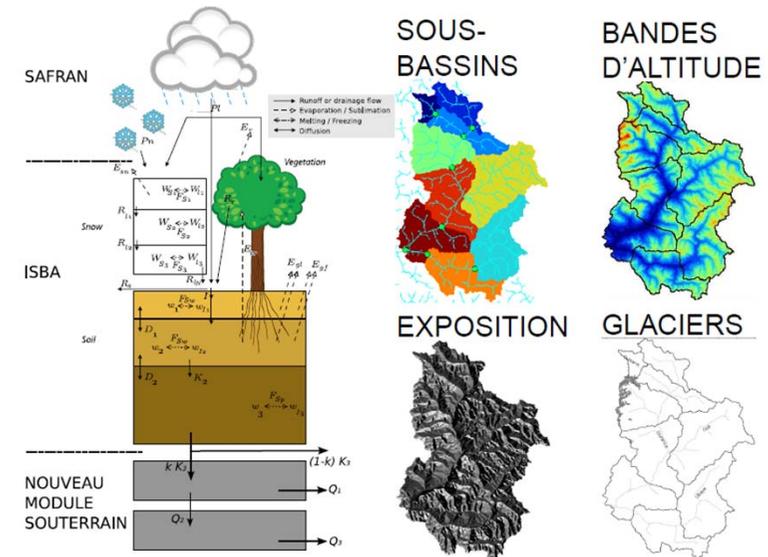
- Débits d'apports à la réserve
  - Modèles hydrologiques : Cequeau / MORDOR / Isba-Durance
  - Précip, Températures, autres (journalier)



François, 2013

- Demande agricole

- Cultures multiples / pratiques exploitations dépendantes...
- Modélisation conceptuelle du globale besoin en eau des cultures + stress hydrique

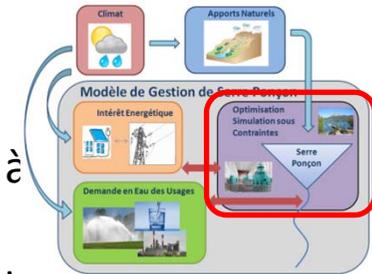


Lafaysse, 2011

- « Demande » en hydroélectricité

- Mix énergétique / grille européenne
- Intérêt à turbiner = f(Tre régionale)

# Représentation de la gestion



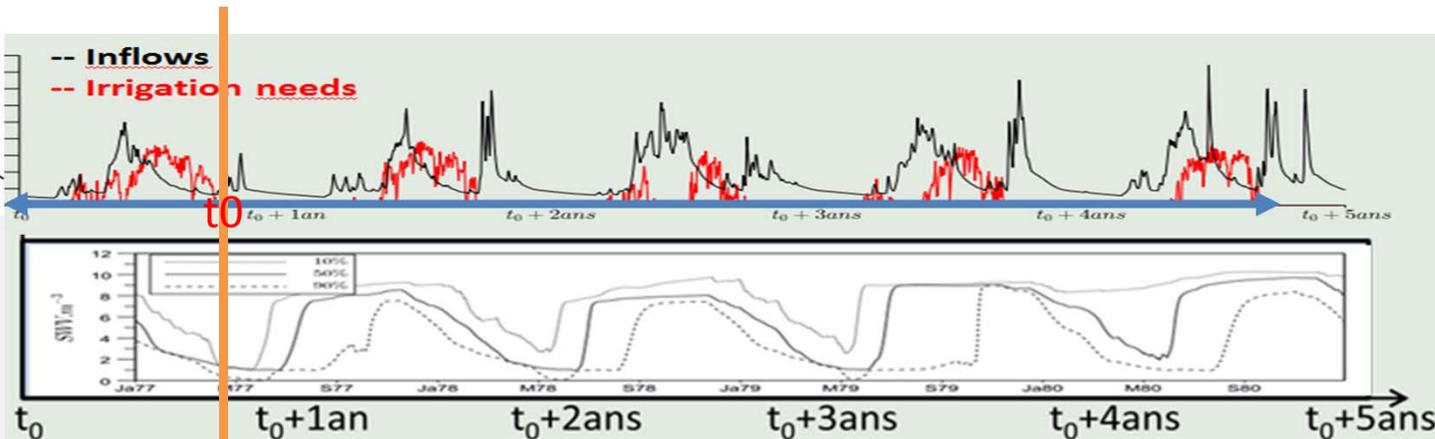
- **Objectifs** : Optimiser la gestion à chaque instant présent  $t_0$  de façon à maximiser sur le long terme le bénéfice total / production hydroélect. sous les contraintes contractuelles (irrigation / Qréservé / tourisme estival)
- **Optimisation sur la base d'une stratégie de gestion** : valeur marginale de l'eau stockée
- **Elaboration de la stratégie ?**

## Configuration idéale : cas d'un gestionnaire médium

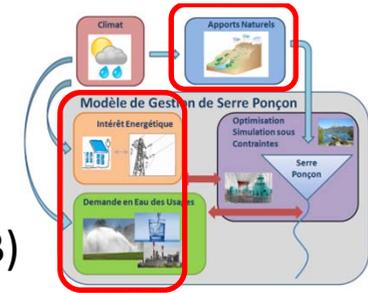
- >> connaissance parfaite du futur – des apports, de la demande sur toute la période de simulation
- >> **Programmation Dynamique déterministe**



Valeur marginale de l'eau stockée

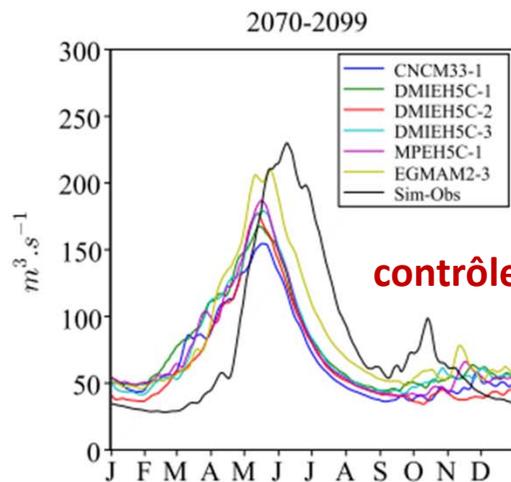


# Résultats : Scénarios apports / demande



- Scénarios hydrométéorologiques
  - 11 GCM : projet EU Ensembles / (Scénario émission GHG SRESA1B) simulations continues (journalier) sur 1860/2099
  - 6 MDES (analog, dsclim, d2gen) : RIWER2030

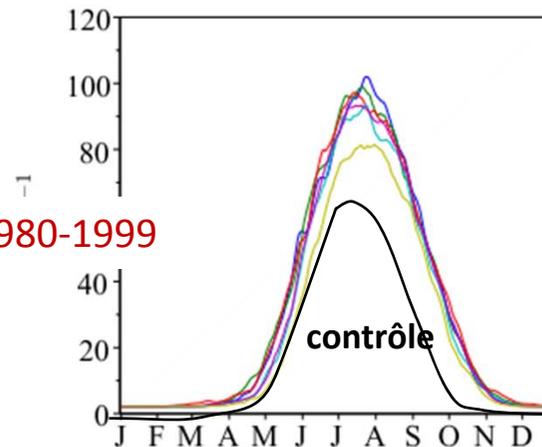
Apports



$$-23\% < \Delta Q_{year} < -12\%$$

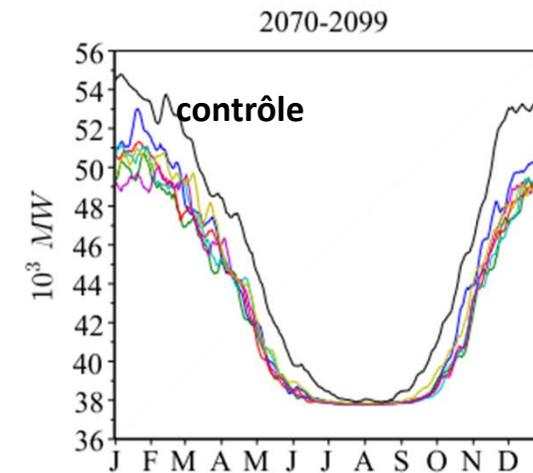
Besoin en irrigation

futur 2080-2099



$$+41\% < \Delta Q_{irr_{year}} < +71\%$$

Demande hydroélectricité



$$-5.8\% < \Delta C_{year} < -3.6\%$$

François, 2013



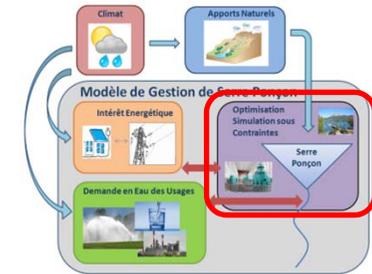
# Résultats : Gestion

- Performance estimée

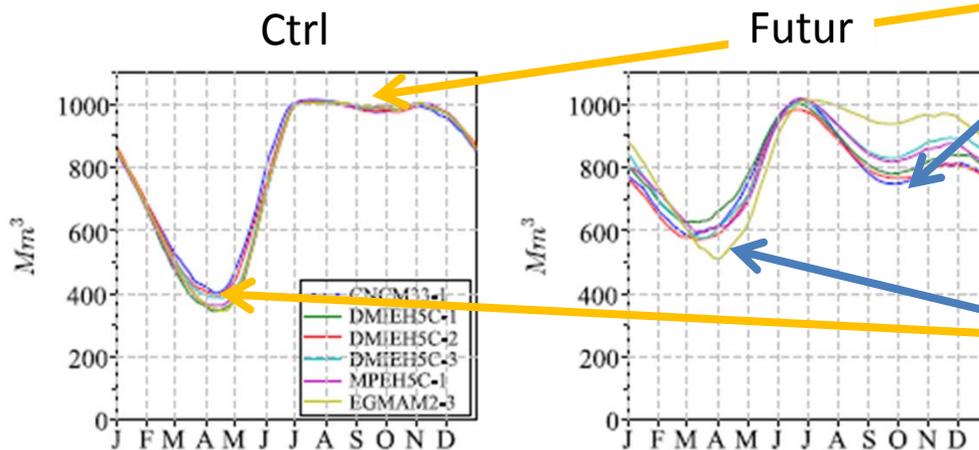
GCM	Fia (%)		$G_{HEP}$ (U.M)	
	Ctrl	Futur	Ctrl	Futur
DMIEH5C-1	97	36	4	3.2
DMIEH5C-2	92	39	3.9	2.9
DMIEH5C-3	95	47	4	3.2
CNCM33-1	96	30	3.8	2.9
MPEH5C-1	95	41	4	3.4
EGMAM2-3	99	76	4.4	3.7

Satisfaction de la cote touristique estivale  
Diminution importante de la fiabilité (Fia)

Revenus hydroélectricité  
Diminution significative (GHEP)



- Trajectoires moyennes de stock simulées



Augmentation des déstockages estivaux

Diminution des déstockages hivernaux

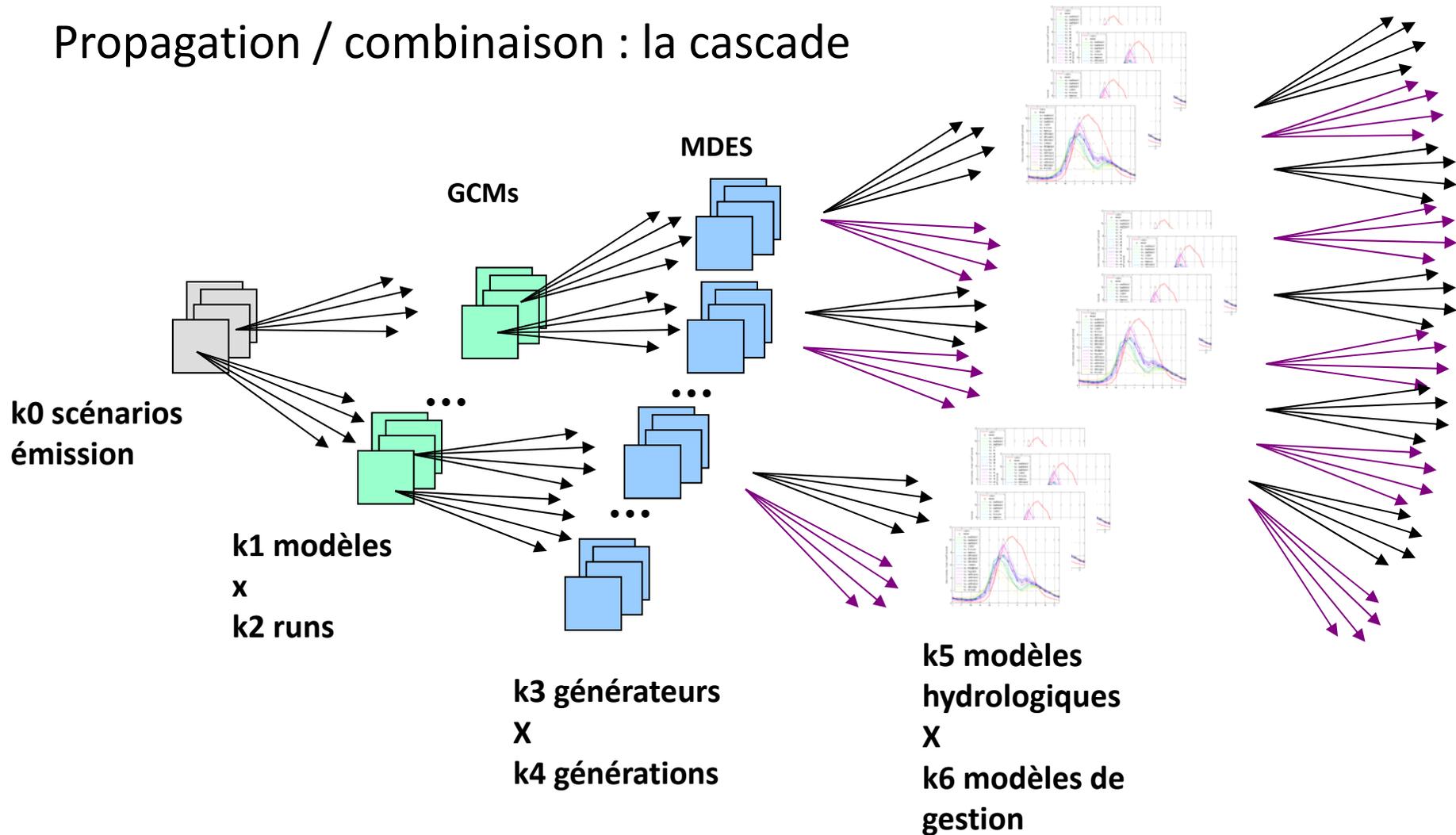
François, 2013



# Incertitudes : sources / quantification



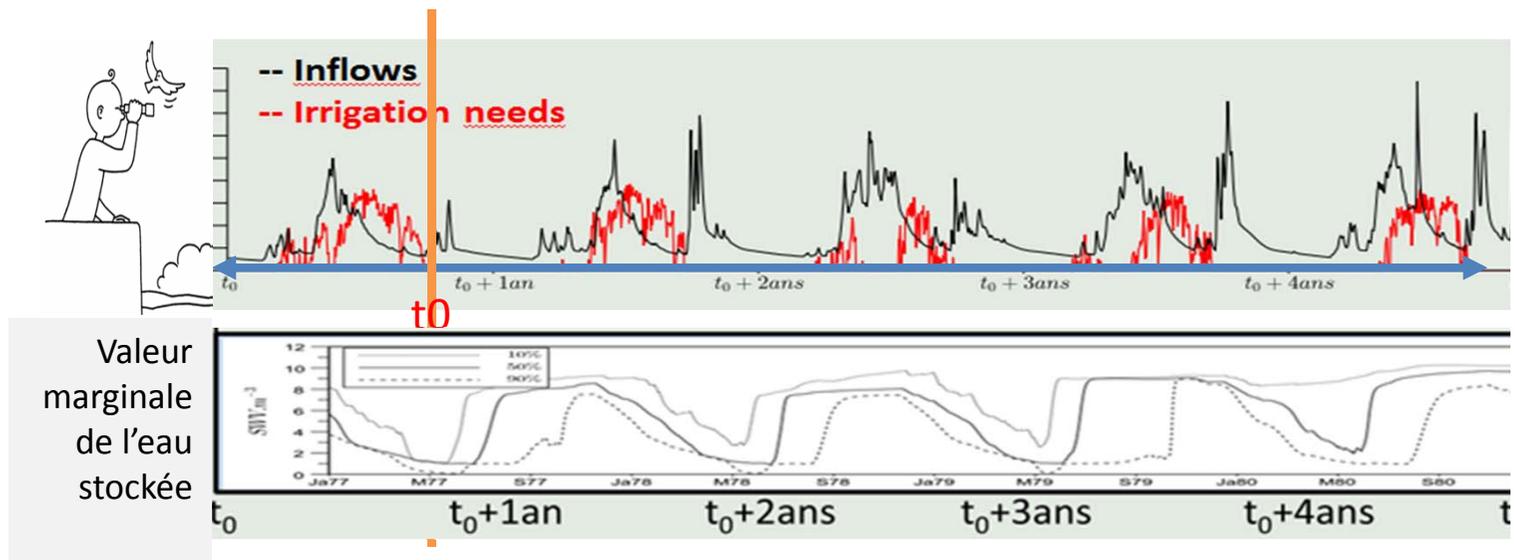
Propagation / combinaison : la cascade



# Représentation de la gestion



- **Différentes représentations possibles de la gestion**
  - Quels effets sur l'étude d'impact ?
- **Elaboration de la stratégie de gestion**
  - Cas 1 (idéal) : gestionnaire médium (connaissance parfaite du futur)

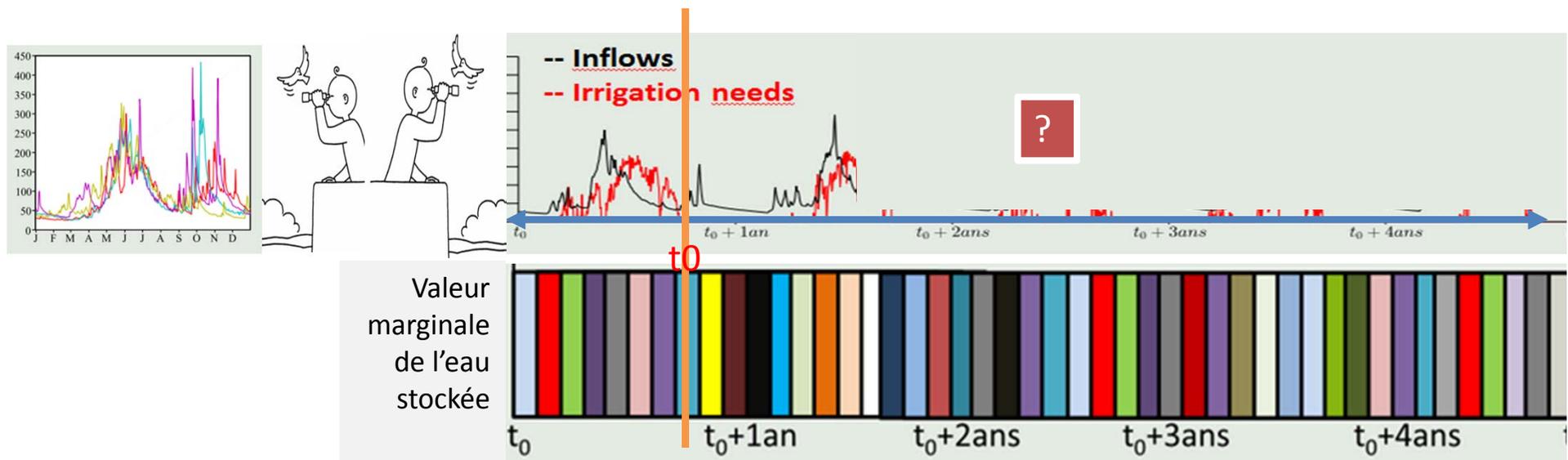


# Représentation de la gestion



- **Différentes représentations possibles de la gestion**
  - Quels effets sur l'étude d'impact ?
- **Elaboration de la stratégie de gestion**
  - Cas 1 (idéal) : gestionnaire médium (connaissance parfaite du futur)
  - Cas 2 (opérationnelle) : gestionnaire avec bon service de **prévisions** hydro-météo.

>> Programmation Dynamique Stochastique

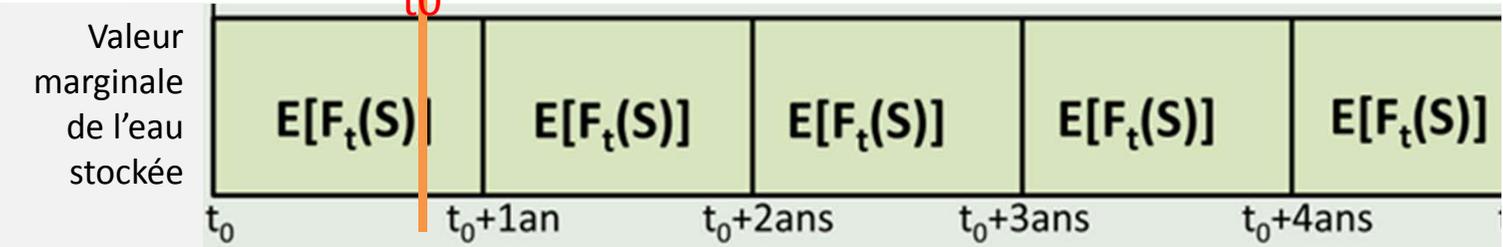
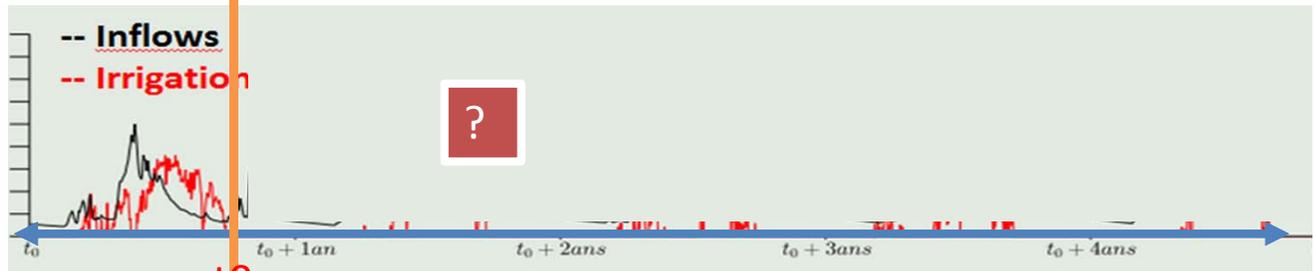
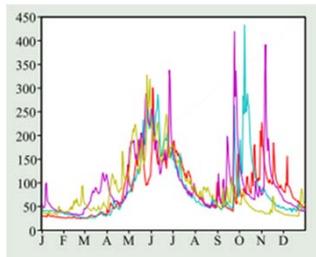


# Représentation de la gestion



- **Différentes représentations possibles de la gestion**
  - Quels effets sur l'étude d'impact ?
- **Elaboration de la stratégie de gestion**
  - Cas 1 (idéal) : gestionnaire médium (connaissance parfaite du futur)
  - Cas 2 (opérationnelle) : gestionnaire avec bon service de **prévision** hydro-météo.
  - Cas 3 (pessimiste) : gestionnaire sans vision (connaissance historique seule)

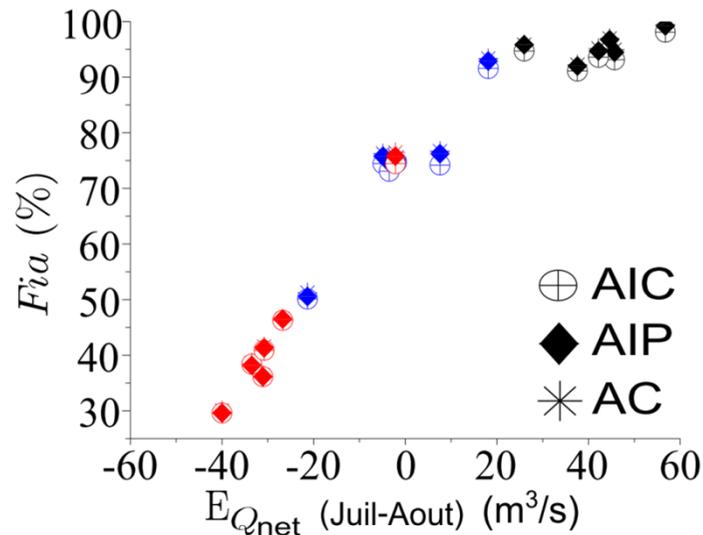
>> Programmation Dynamique Stochastique



# Représentation de la gestion



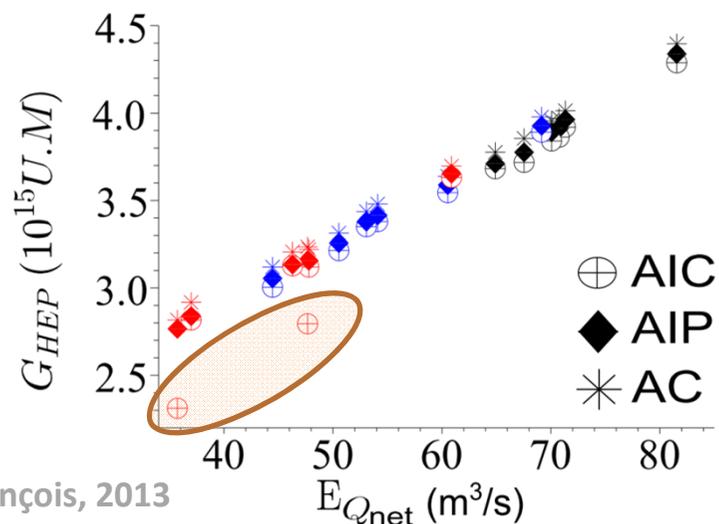
- **Fiabilité Cote touristique**



1970-1999 2036-2065 2070-299

- Forte relation entre fiabilité touristique et **apports nets estivaux** (juillet/Aout)
- Différence négligeable entre les représentations de stratégie

- **Production hydroélectrique**



- Relation forte entre production et **apports nets annuels**
- Différence négligeable
- Sauf pour gestionnaire sans vision avec runs 1 et 2 de DMIEH5C

# Incertitudes /

## GCM

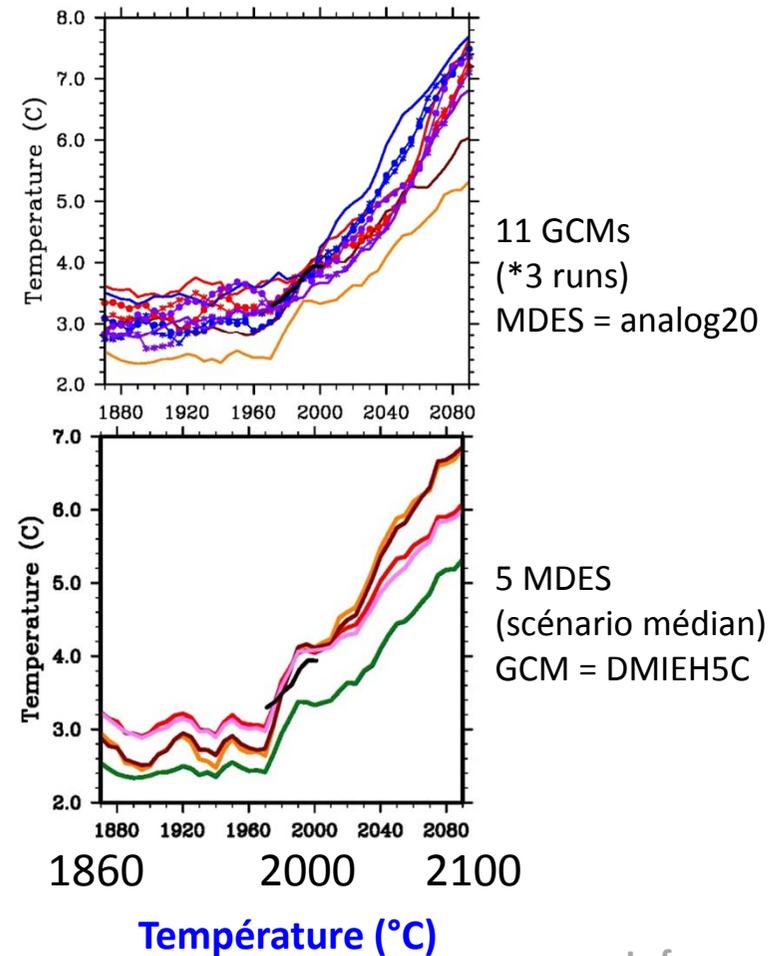
## MDES

## Variabilité Interne



- CNCM33 1
- DMIEH5C 1
- DMIEH5C 2
- EGMA2 3
- IPCM4 1
- IPCM4 2
- IPCM4 3
- MPEH5C 1
- MPEH5C 2
- MPEH5C 3
- SAFRAN

Chroniques  
1860-2099  
des variables  
interannuelles  
moyennes  
(20 ans)



Lafaysse, 2013

# Incertitudes /

# GCM

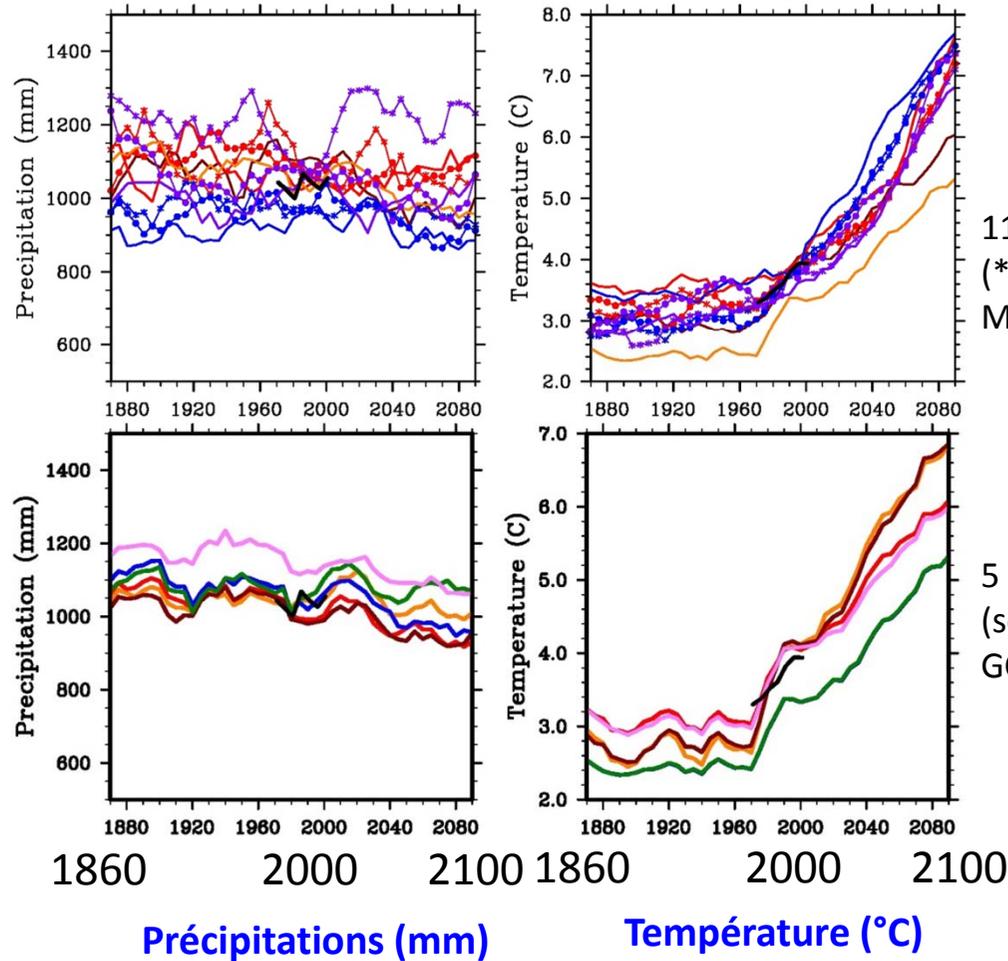
# MDES

# Variabilité Interne



- CNCM33 1
- DMIEH5C 1
- DMIEH5C 2
- DMIEH5C 3
- EGMAM2 3
- IPCM4 1
- IPCM4 2
- IPCM4 3
- MPEH5C 1
- MPEH5C 2
- MPEH5C 3
- SAFRAN

Chroniques  
1860-2099  
des variables  
interannuelles  
moyennes  
(20 ans)



Lafaysse, 2013

# Incertitudes /

# GCM

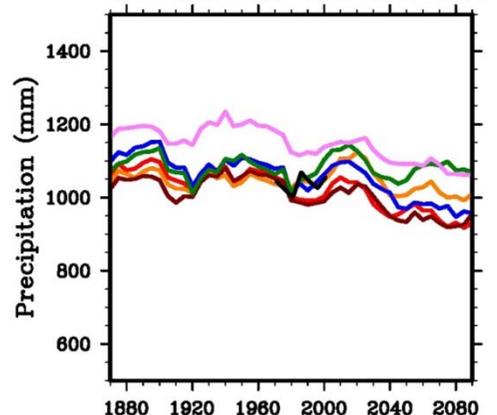
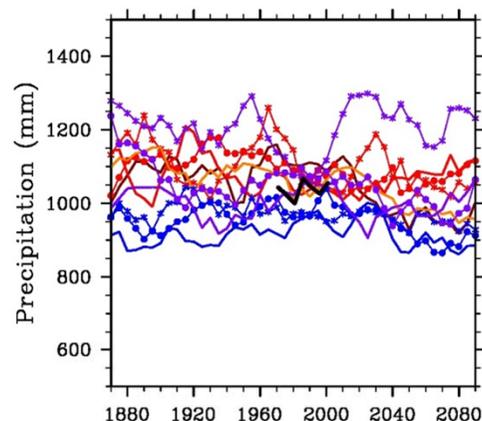
# MDES

# Variabilité Interne

Chroniques  
1860-2099  
des variables  
interannuelles  
moyennes  
(20 ans)



- CNCM33 1
- DMIEH5C 1
- DMIEH5C 2
- DMIEH5C 3
- EGMAM2 3
- IPCM4 1
- IPCM4 3
- IPCM4 2
- MPEH5C 1
- MPEH5C 2
- MPEH5C 3
- SAFRAN



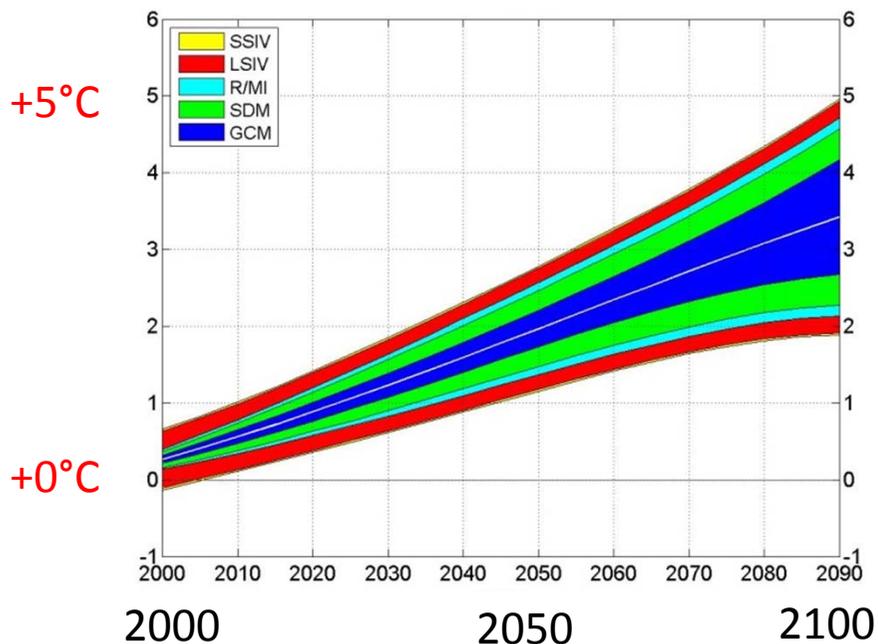
Précipitations (mm)

Les différences entre les projections obtenues pour **3 différents runs d'une même chaîne GCM/MDES** sont potentiellement importantes

La variabilité interne peut **temporairement amplifier ou atténuer** la tendance long terme du changement climatique

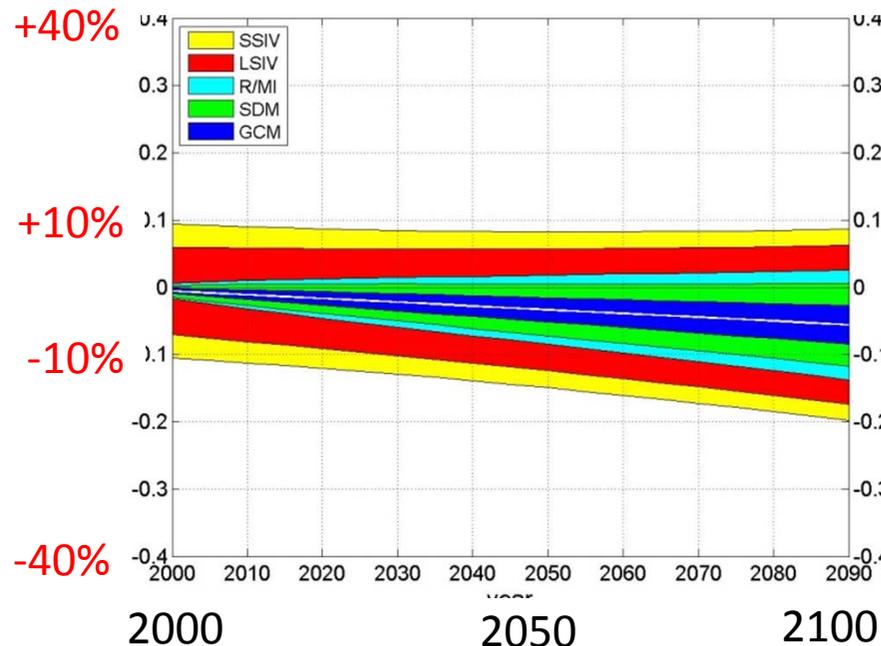
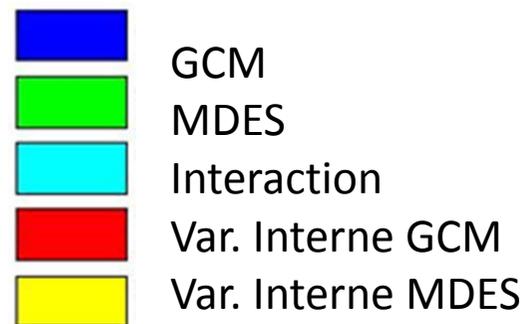


# Signal et incertitudes



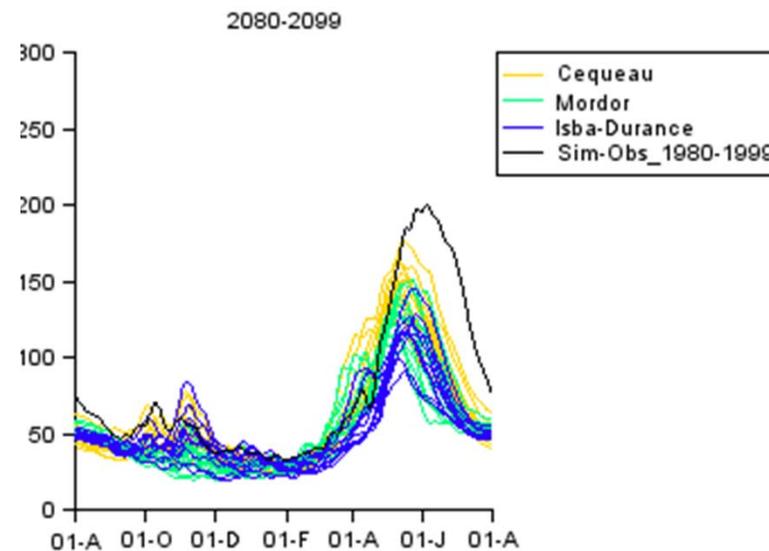
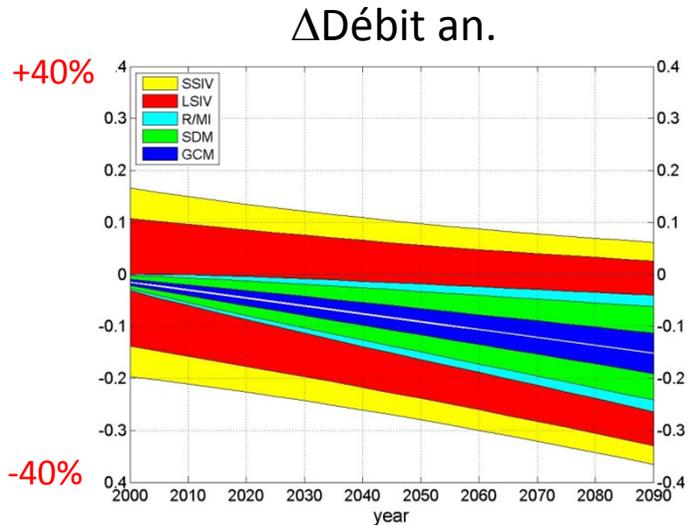
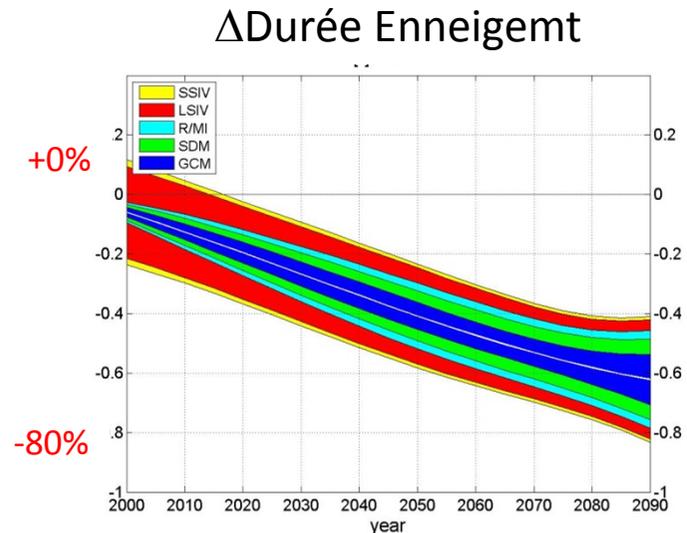
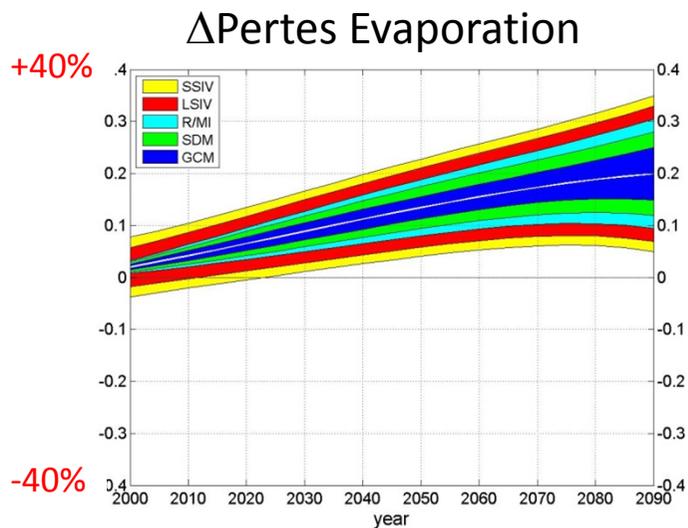
ΔTempérature

ΔPrécipitation



Hingray and Said, 2013

# Signal et incertitudes



Lafayesse et al., 2013; Hingray et al. 2013

# Conclusions et perspectives



- **RIWER2030 > Baisse de la performance du système de gestion**
  - Cote estivale / production hydroélectricité
  - Changement important de la stratégie de stockage
- **Des incertitudes importantes**
  - liées aux GCM > connues
  - liées aux MDES > rarement considérées
  - Le problème de la variabilité interne
    - >> importance d'une approche multimodèle / multiréalisations
  - Le problème de la représentation de la gestion opérationnelle :
    - >> ? Quelles représentations adéquates
  - La représentation de la demande / de la chaîne complète Durance / Verdon...
    - Projet R2D2-2050
  - L'intégration des énergies renouvelables intermittentes
    - Projet EU-FP7 COMPLEX



# Merci de votre attention

<http://www.lthe.fr/RIWER2030/>

<https://r2d2-2050.cemagref.fr/>

<http://www.complex.ac.uk/>

**RIVER  
2030**

<http://www.lthe.fr/RIWER2030/>





**RIVER  
2030**

<http://www.lthe.fr/RIWER2030/>

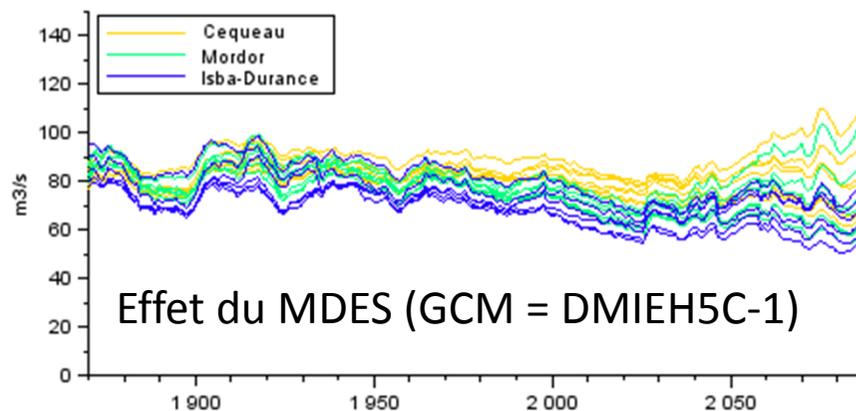
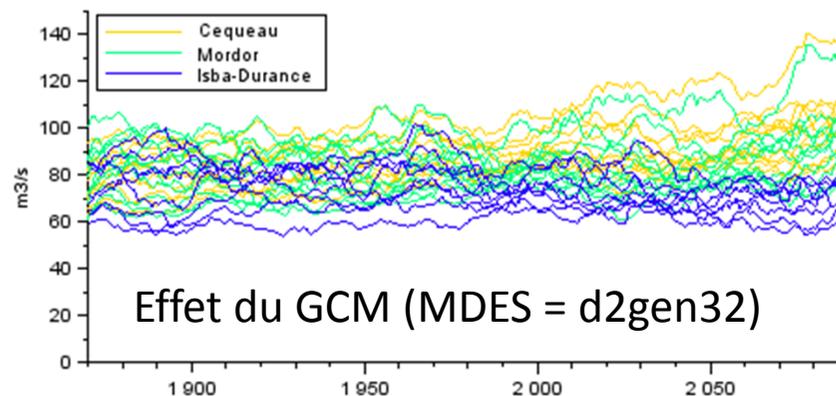


# Incertitudes / Modèles Hydrologiques

3 modèles hydrologiques  
Calibrés / évalués sur 1960/2010



Isba-Durance / MORDOR / Cequeau



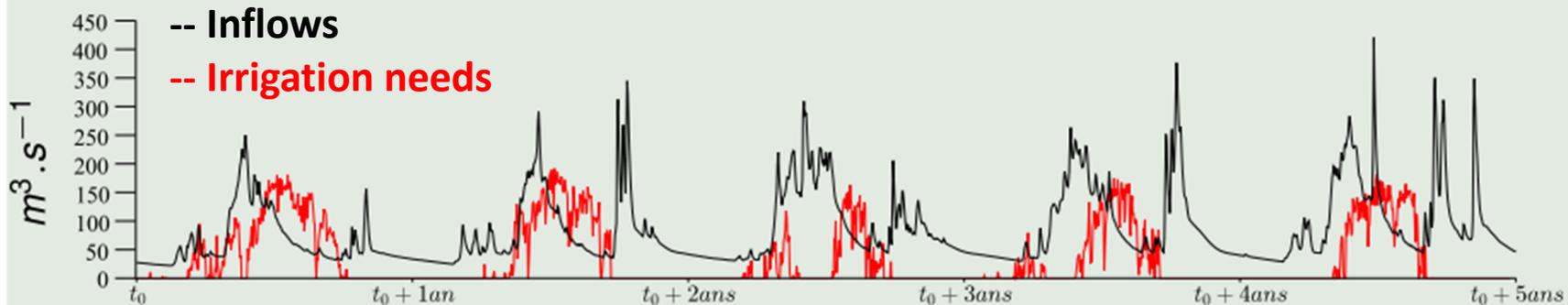
# Approaches used (1/3): AC



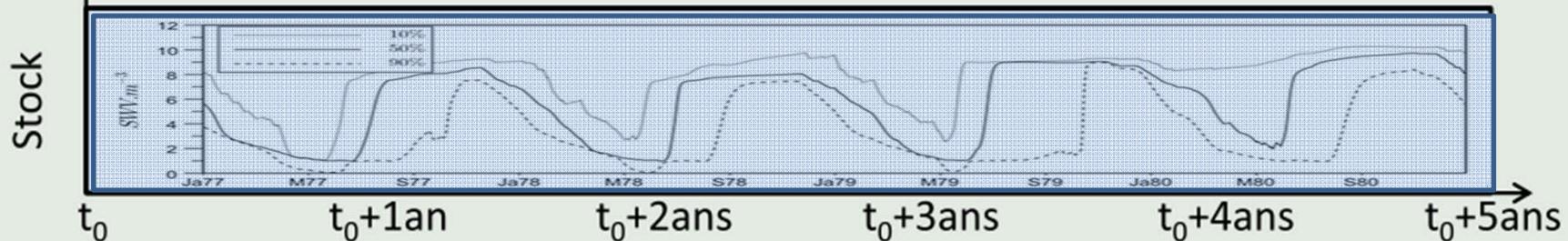
## A clairvoyant manager : perfect forecasts (AC)

- Optimization realized on the simulated scenario

>> Deterministic Dynamic Programming (DDP)



### Stratégie AC

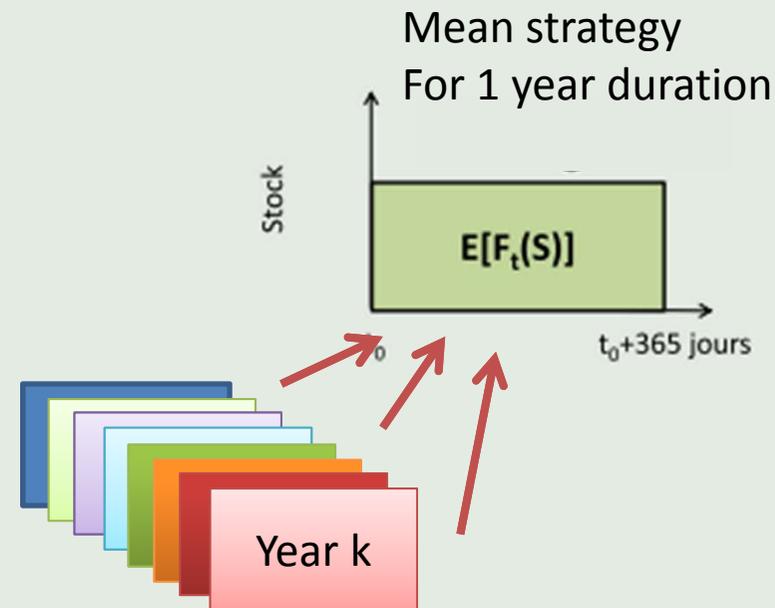
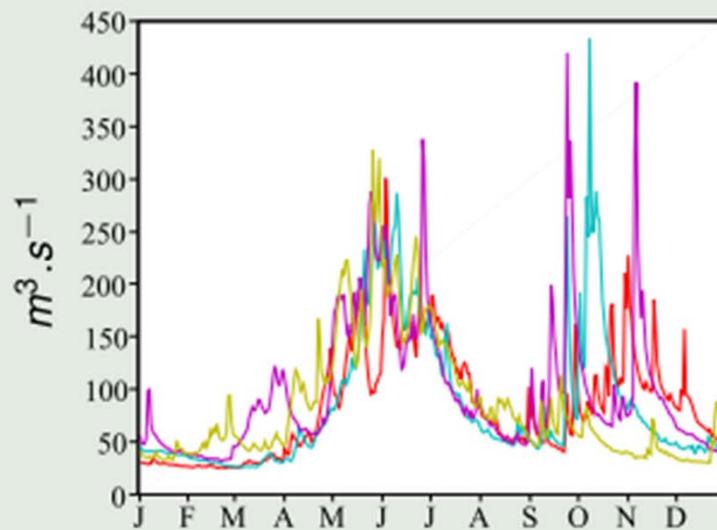


# Approaches used (2/3): AIC



A manager without clairvoyance : No anticipation on the future (AIC)

- Using historical data set (hydrology + uses)
- One individual strategy for each historical year from DDP
- Calculation of a mean strategy  $E[F_t(S)]$



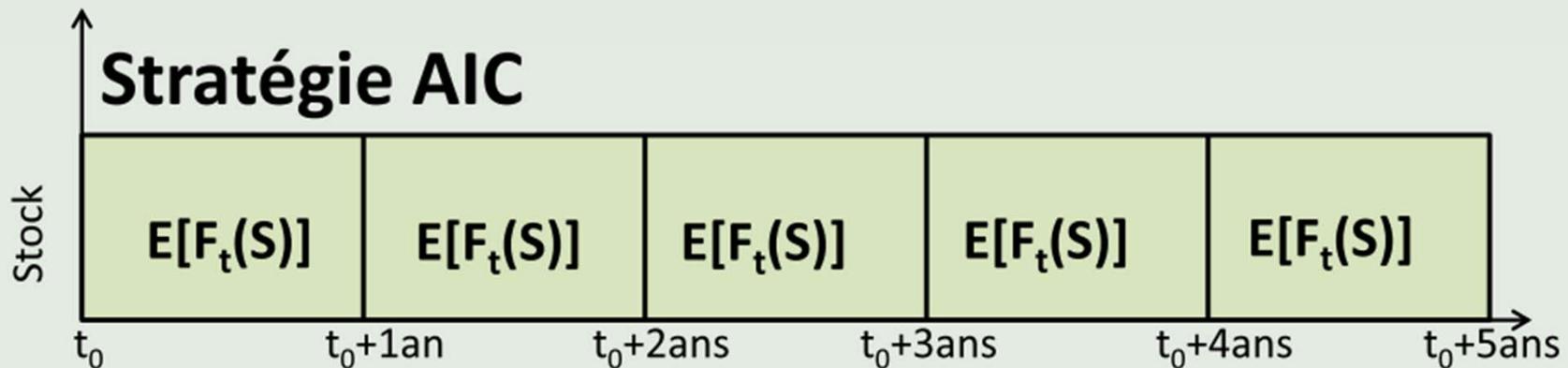
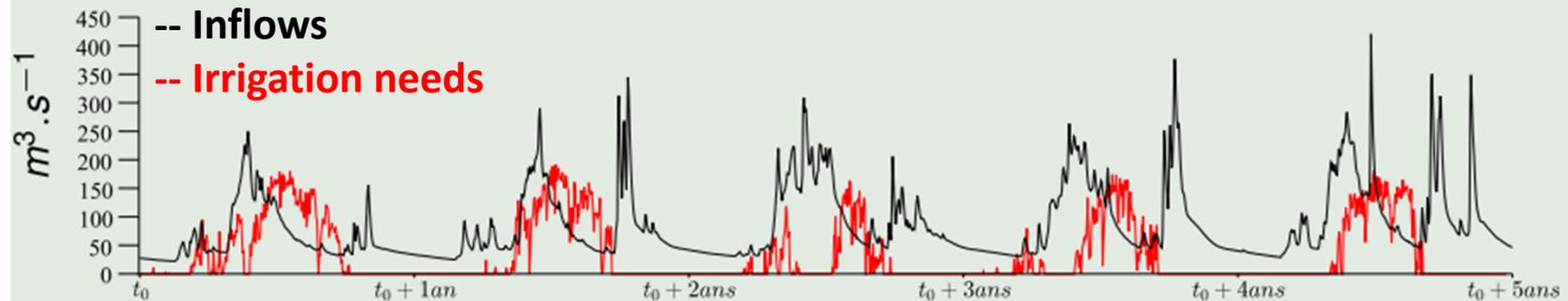
Goussebaille et al. (1986): Sample optimization keeps coherence of hydrological series

# Approaches used (2/3): AIC



A manager without clairvoyance : No anticipation on the future (AIC)

- Using historical data set (hydrology + uses)
- One individual strategy for each historical year from DDP
- Calculation of a mean strategy  $E[F_t(S)]$

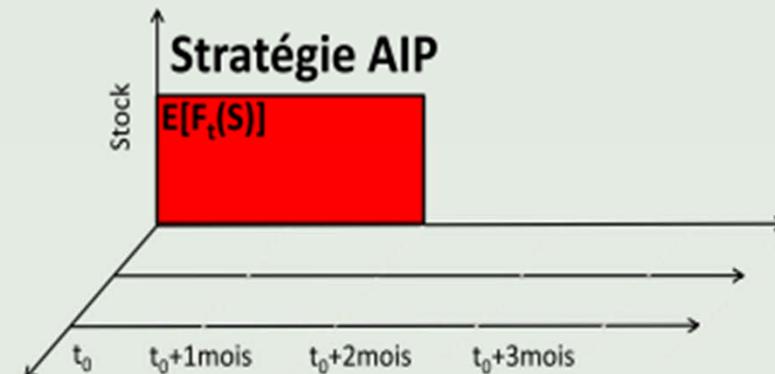
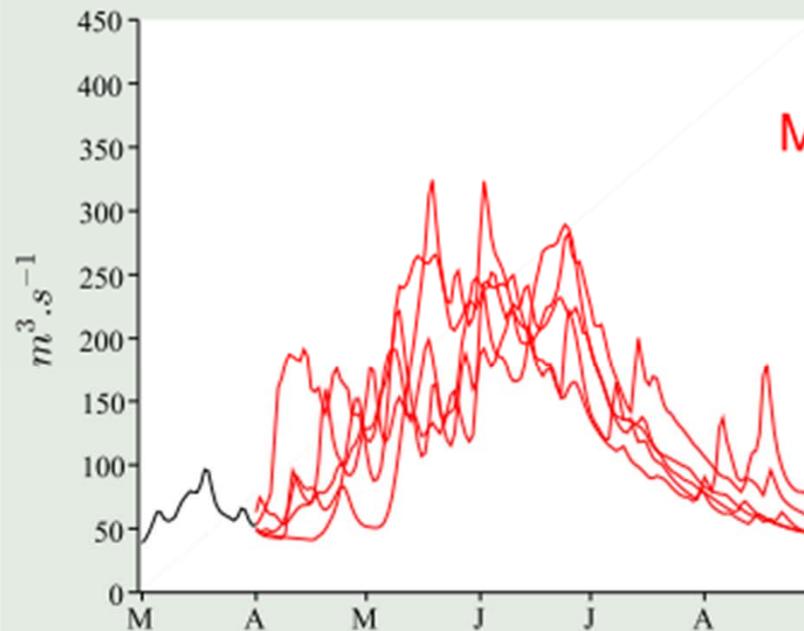


# Approaches used (3/3): AIP



## A far-sighted manager : With hydrological forecasts (AIP)

- ☞ This method is closed to the one used by the manager of SP ...
  - Yearly Hydrological forecasts from historical Met. Scenarios
  - Natural stock on the watershed (snow, ground-water ...)

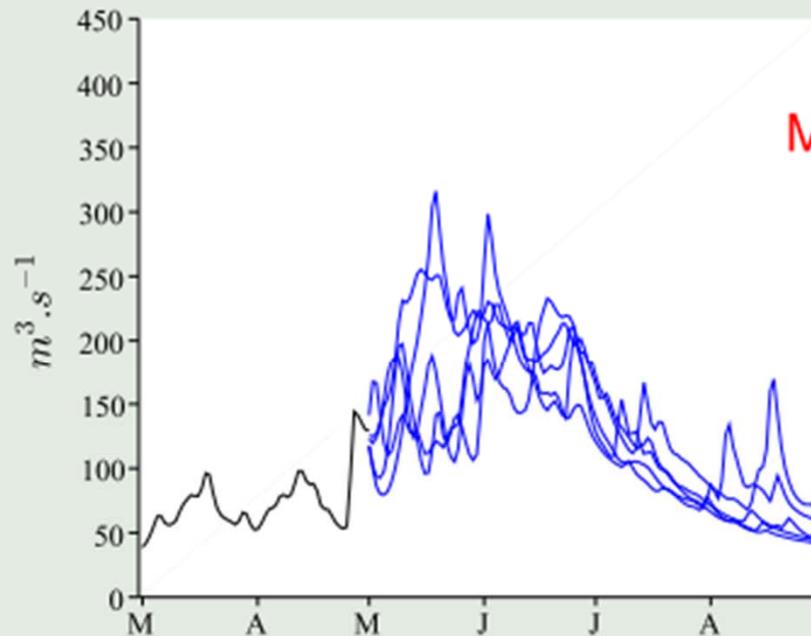


# Approaches used (3/3): AIP

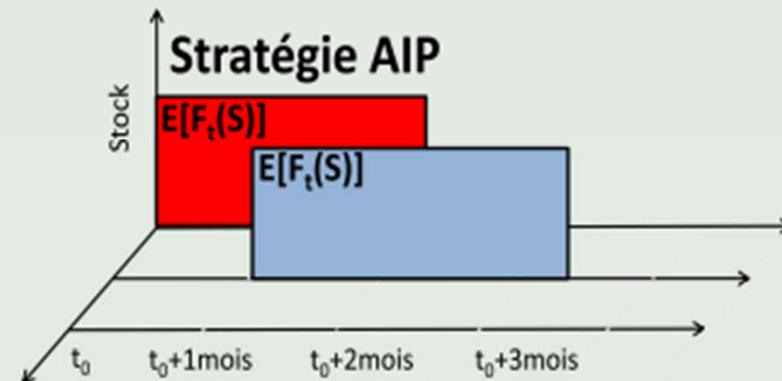


## A far-sighted manager : With hydrological forecasts (AIP)

- ☞ This method is closed to the one used by the manager of SP ...
  - Yearly Hydrological forecasts from historical Met. Scenarios
  - Natural stock on the watershed (snow, ground-water ...)



Mid-term hydrological forecasts

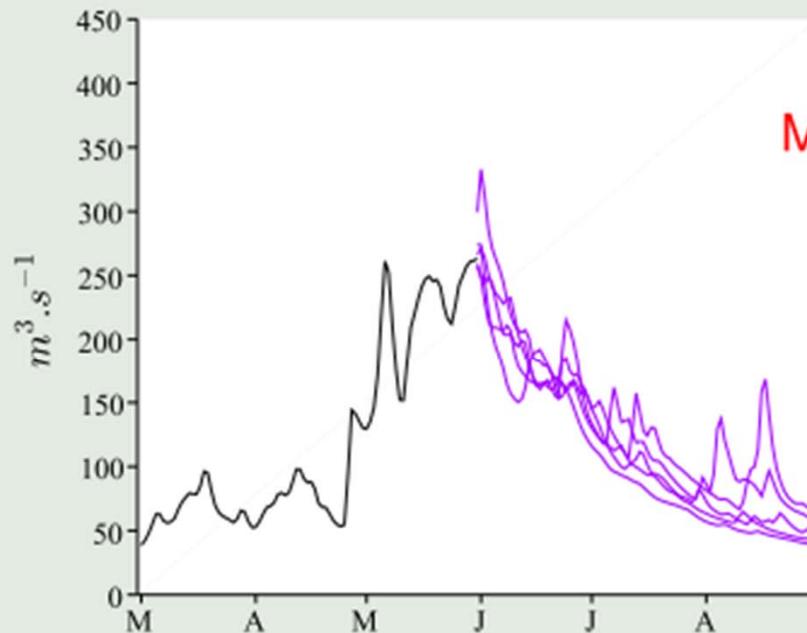


# Approaches used (3/3): AIP

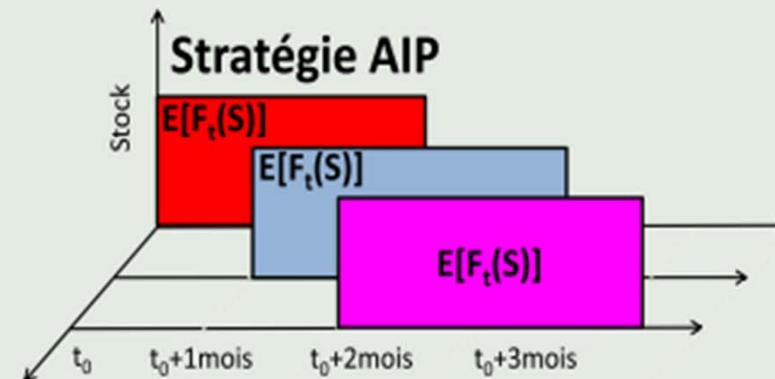


## A far-sighted manager : With hydrological forecasts (AIP)

- ☞ This method is closed to the one used by the manager of SP ...
  - Yearly Hydrological forecasts from historical Met. Scenarios
  - Natural stock on the watershed (snow, ground-water ...)



Mid-term hydrological forecasts

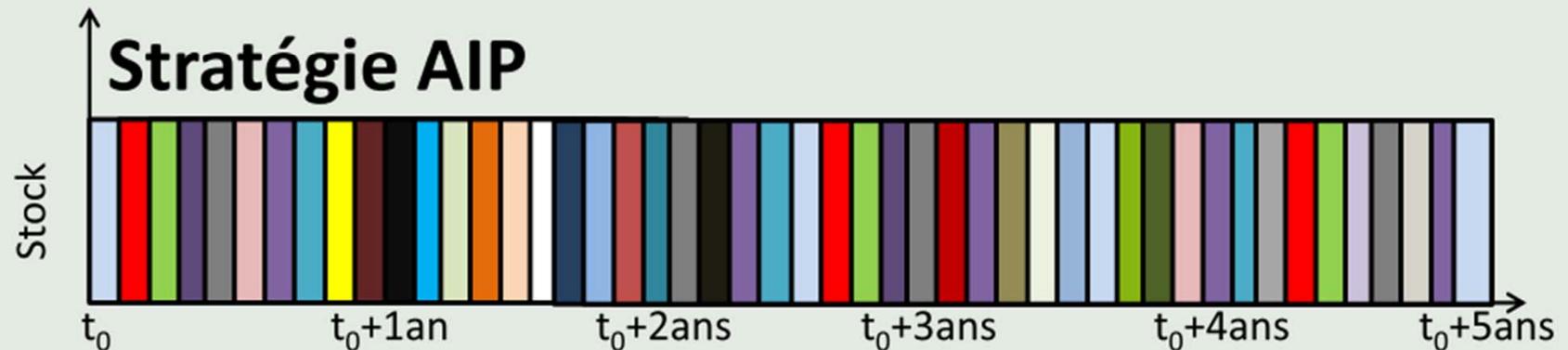
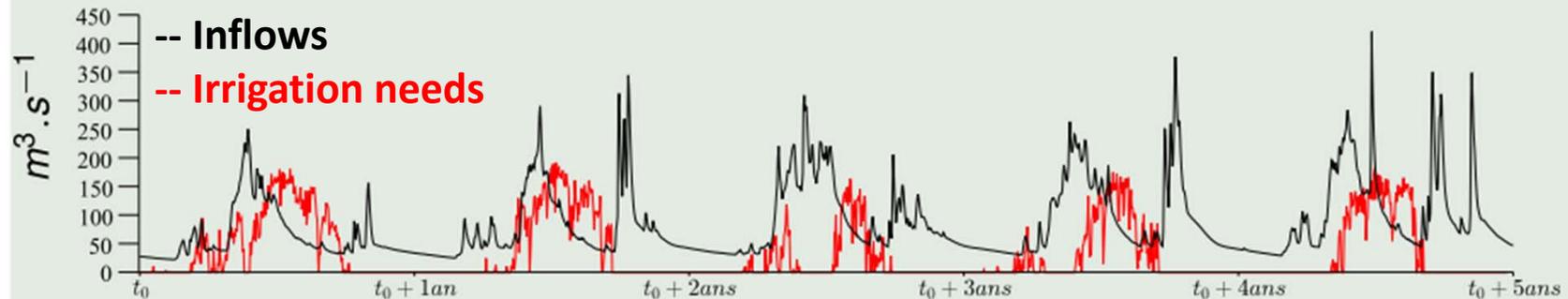


# Approaches used (3/3): AIP



## A far-sighted manager : with hydrological forecasts (AIP)

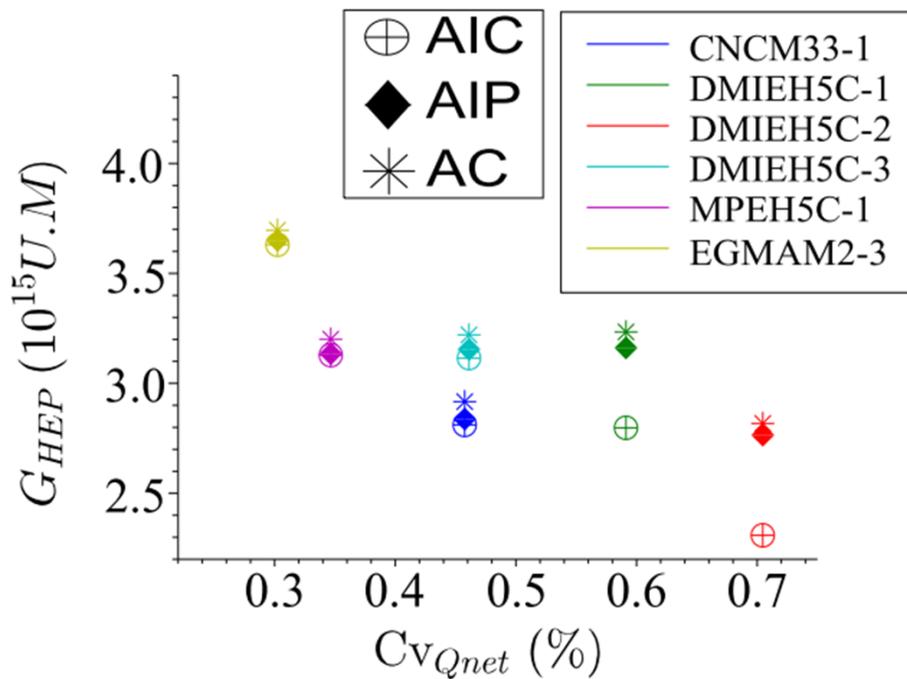
- ☞ This method is closed to the one used by the manager of SP ...
  - Yearly Hydrological forecasts from historical Met. Scenarios
  - Natural stock on the watershed (snow, ground-water ...)



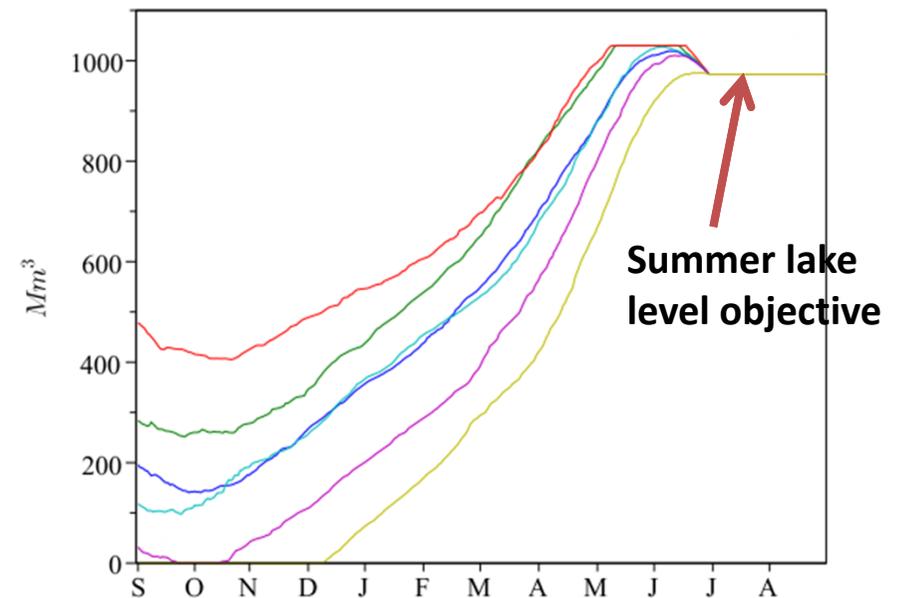
# Performance and uncertainties linked with management



GCM DMIEH5C-1 & DMIEH5C-2: What are the reasons of under-estimations of hydropower incomes  $G_{HEP}$  ?



## Guideline curves



- Under-estimations of  $G_{HEP}$  using AIC approach = more severe guideline curves
- Un-valORIZED spills → Not realistic with respect to operational management



# Des scénarios et des modèles

