

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. Hingray¹, Chargé de recherche, CNRS, LTHE, Grenoble

M. Bourqui², J.- D. Creutin¹, B. François^{1,2}, F. Hendrickx²,
J. Gailhard², M. Lafaysse^{1,Cerfacs}, N. Le Moine² T. Mathevet²,
A. Mezghani¹, C. Monteil², étudiants masters



1



GRENOBLE
UNIVERSITÉS



2

edf

FINANÇÉ PAR
ANR



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



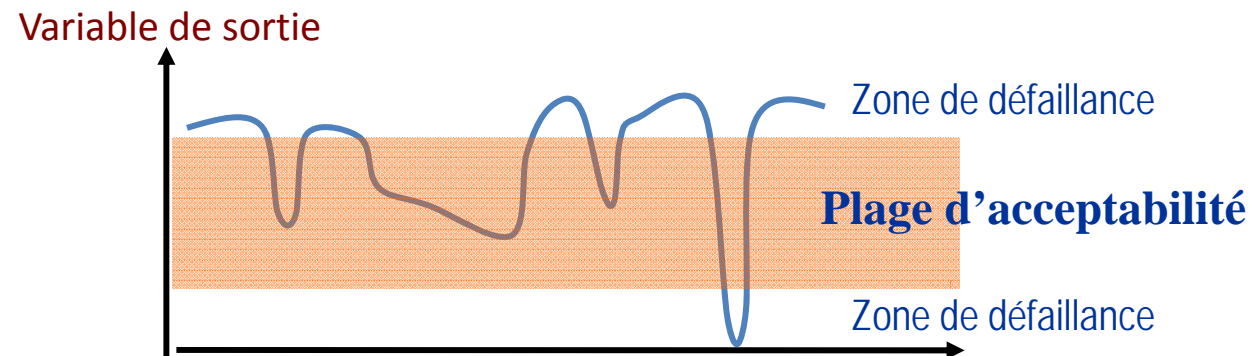
- Systèmes actuels de gestion de la ressource en eau
 - Potentiellement mal adaptés avec des règles de gestion sous optimales pour contexte futur



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_{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 (12'000km²)



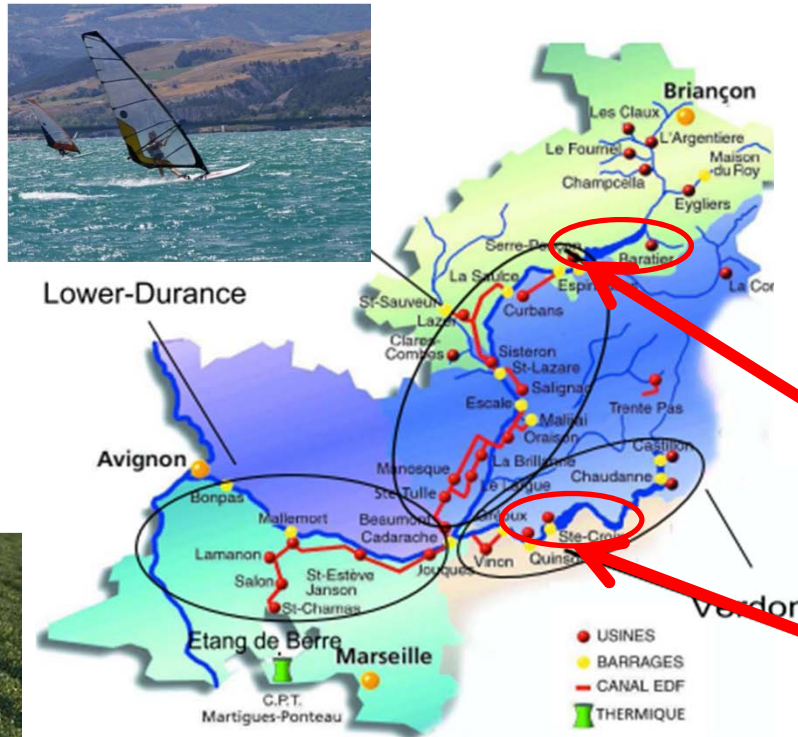
Deux principaux réservoirs + système de collecteurs
+ usines au fil de l'eau en cascade

Tourisme estival

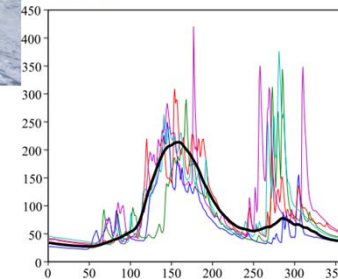


Contraintes environnementales (débits réservés)

Eau potable
Irrigation



Régimes pluvio-nival



Serre-Ponçon

Built : 1960

1270 Mm³

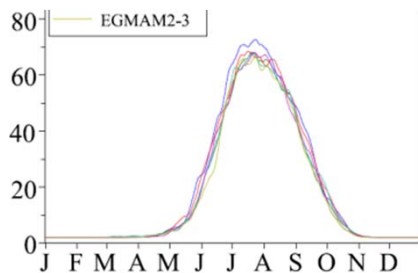
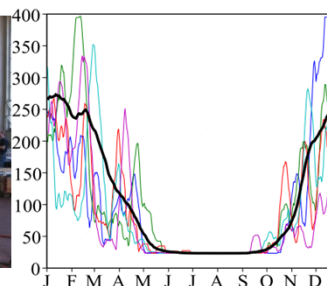


Sainte-Croix

Built : 1975

760 Mm³

Hydroélectricité



RIVER 2030

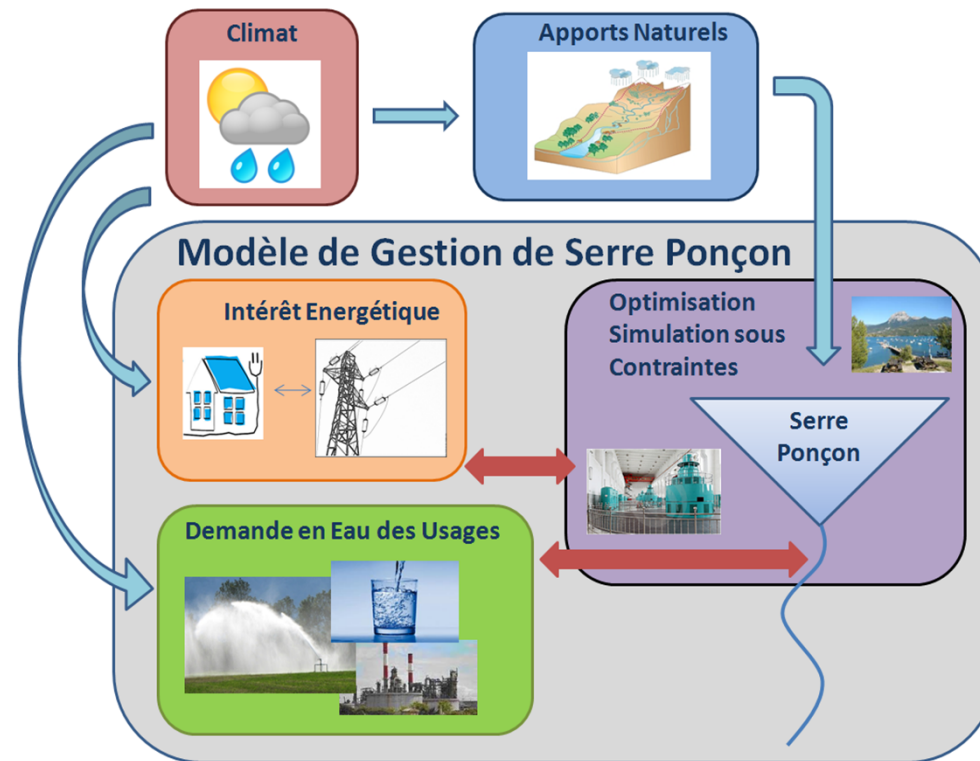
<http://www.lthe.fr/RIWER2030/>



Le système Durance-Verdon



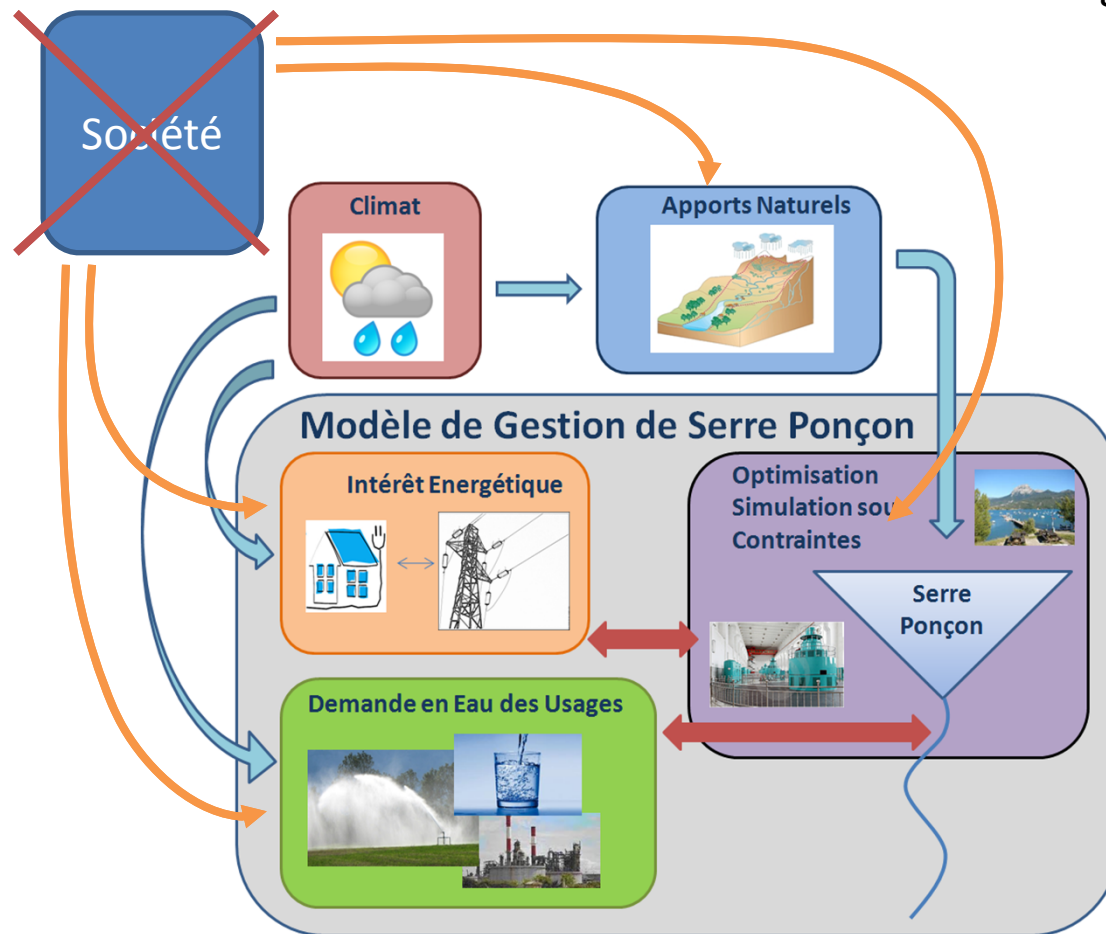
- Simplifications nécessaires :
 - le système : seulement la retenue principale de Serre-Ponçon (1200Mm3)



Le système Durance-Verdon



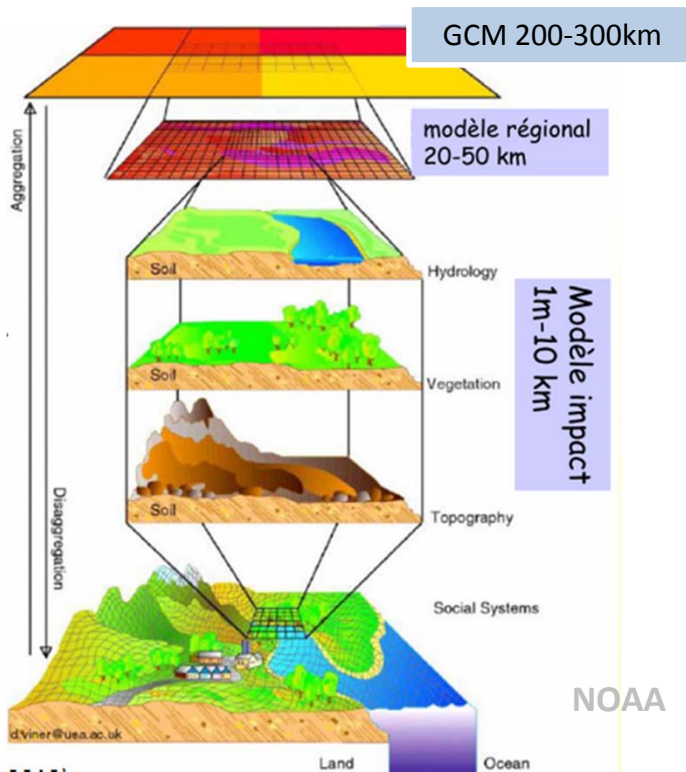
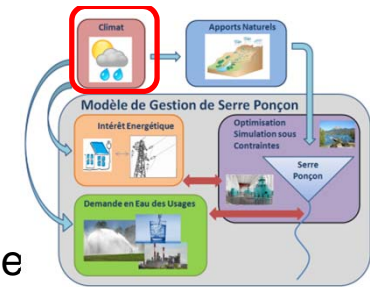
- Simplifications nécessaires :
 - le système : seulement la retenue principale de Serre-Ponçon (1200Mm3)
 - les scénarios : seulement les modifications de la ressource et de la demande liées à la modifications du climat régional



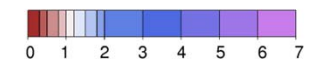
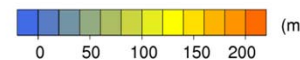
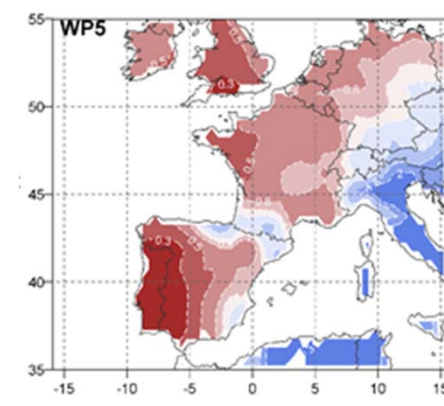
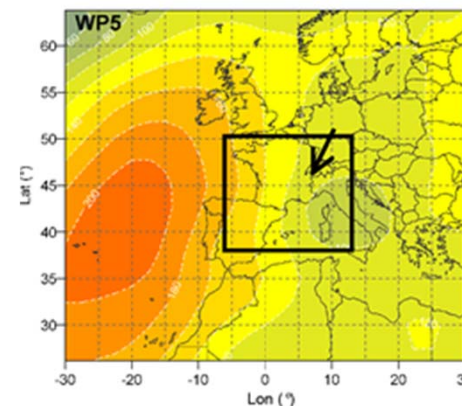
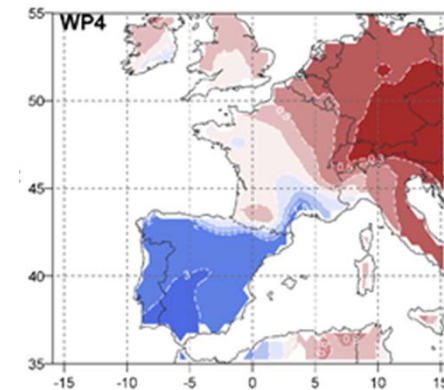
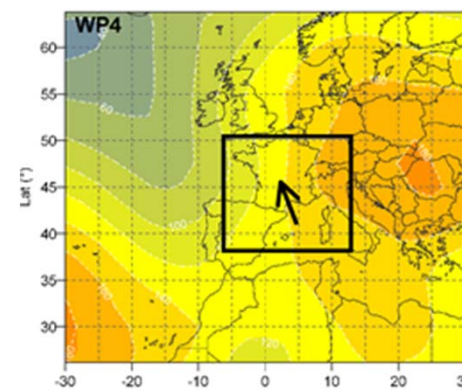
Scénarios météorologiques locaux

- 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



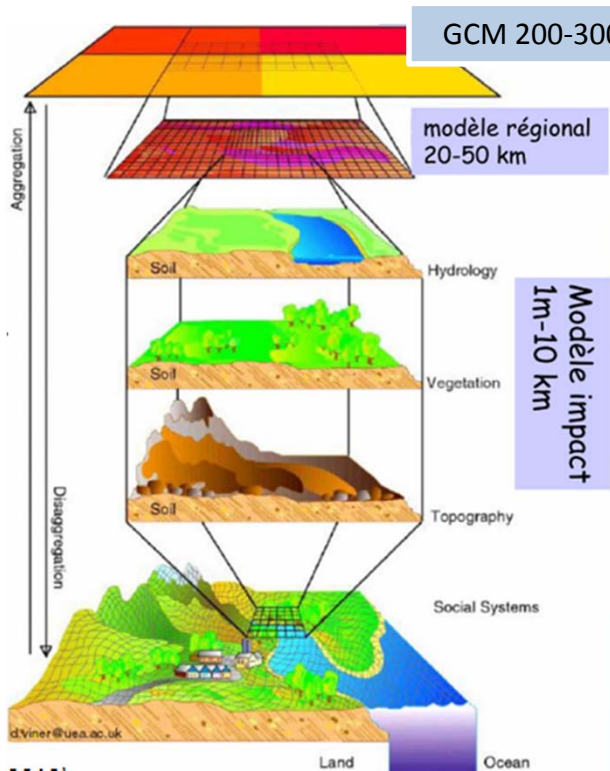
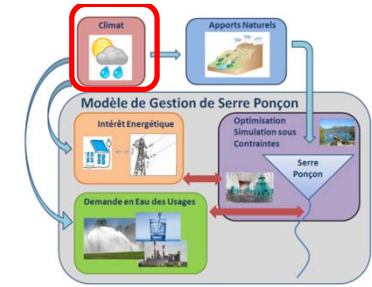
Inadéquation d'échelle
Biais sur Précip., Temp., ...



Gailhard, EDF, 2009

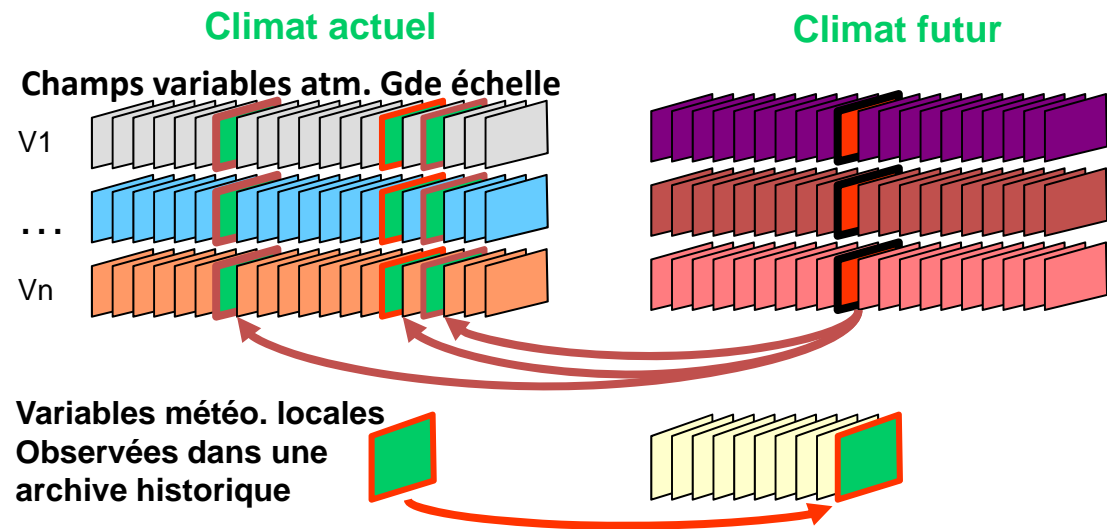
Scénarios météorologiques locaux

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



les Modèles de Descente d'Echelle Statistique

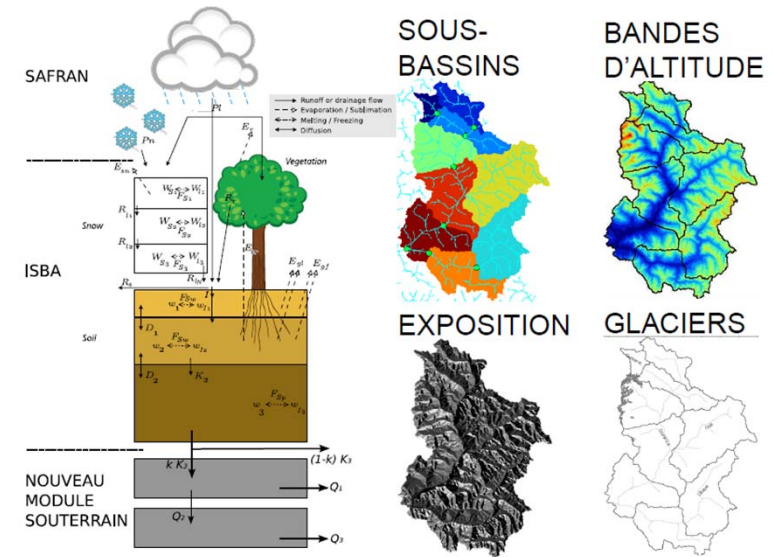
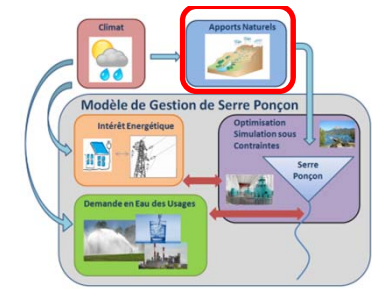
Exple : les analogues (cf. Obled et al. 2002, Gailhard, 2013)



Scénarios apports / demande

> des modèles de simulation continue

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

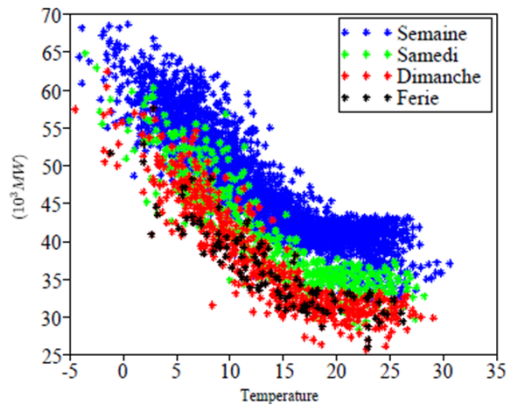
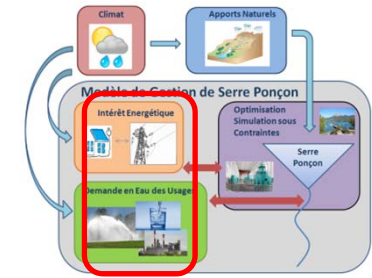


Lafayssse, 2011

Scénarios apports / demande

> des modèles de simulation continue

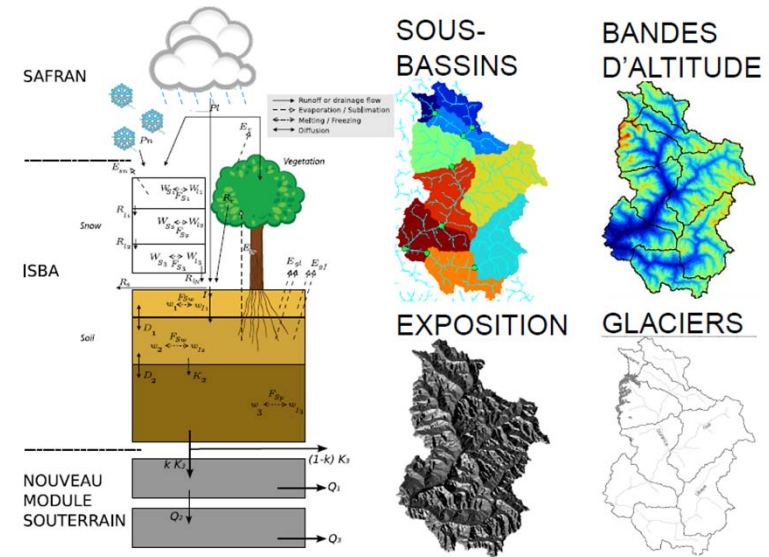
- Débits d'apports à la réserve
 - Modèles hydrologiques : Cequeau / MORDOR / Isba-Durance
 - Précip, Températures, autres (journalier)



François, 2013

• Demande agricole

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

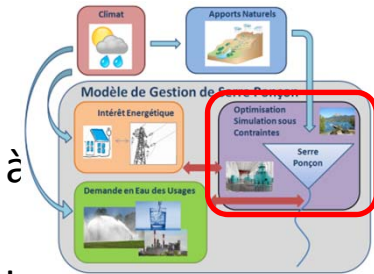


Lafaysse, 2011

• « Demande » en hydroélectricité

- Mix énergétique / grille européenne
- Intérêt à turbiner = $f(Tre \text{ régionale})$

Représentation de la gestion



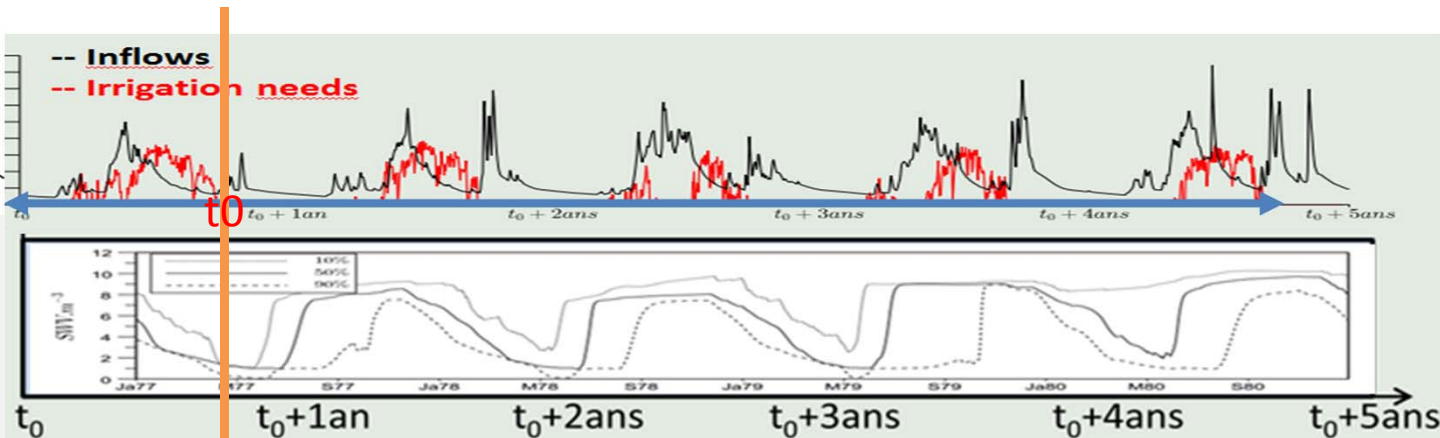
- **Objectifs** : Optimiser la gestion à chaque instant présent t_0 de façon à maximiser sur le long terme le bénéfice total / production hydroélect. sous les contraintes contractuelles (irrigation / Qréservé / tourisme estival)
- **Optimisation sur la base d'une stratégie de gestion** : valeur marginale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

Configuration idéale : cas d'un gestionnaire médium

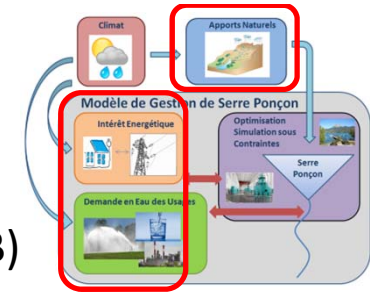
- >> connaissance parfaite du futur – des apports, de la demande sur toute la période de simulation
- >> **Programmation Dynamique déterministe**



Valeur marginale de l'eau stockée

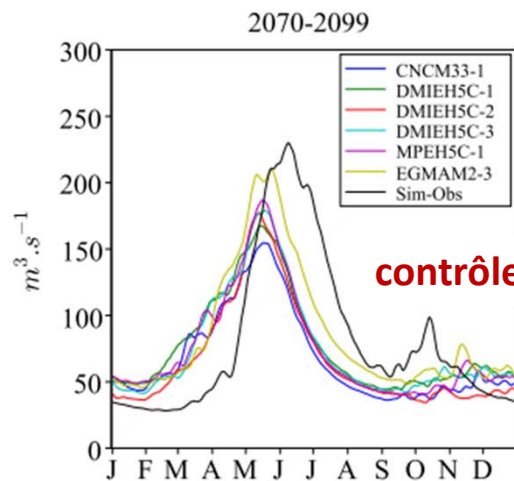


Résultats : Scénarios apports / demande



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

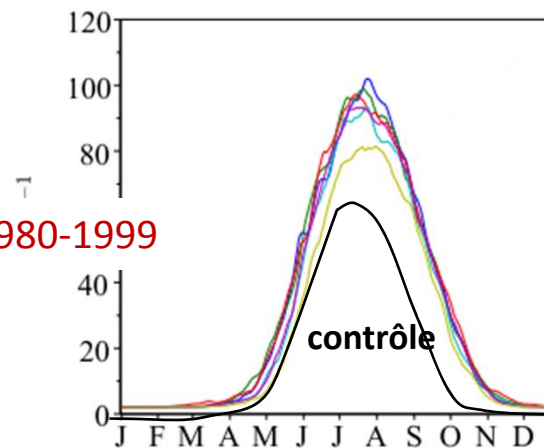
Apports



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

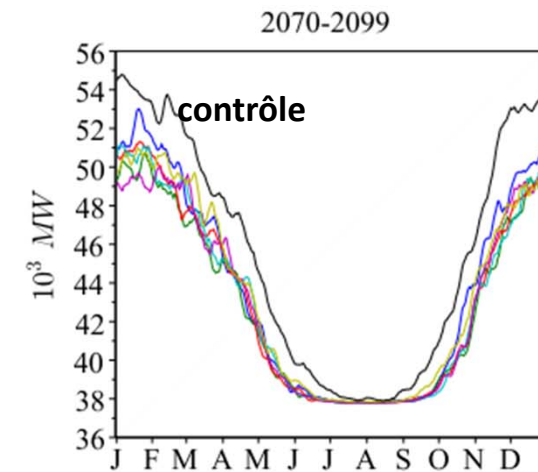
Besoin en irrigation

futur 2080-2099



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

Demande hydroélectricité



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

François, 2013



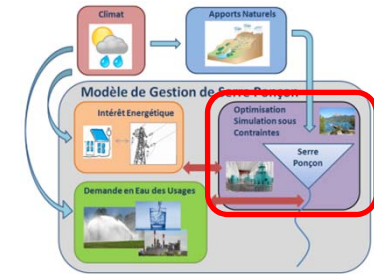
Résultats : Gestion

- Performance estimée

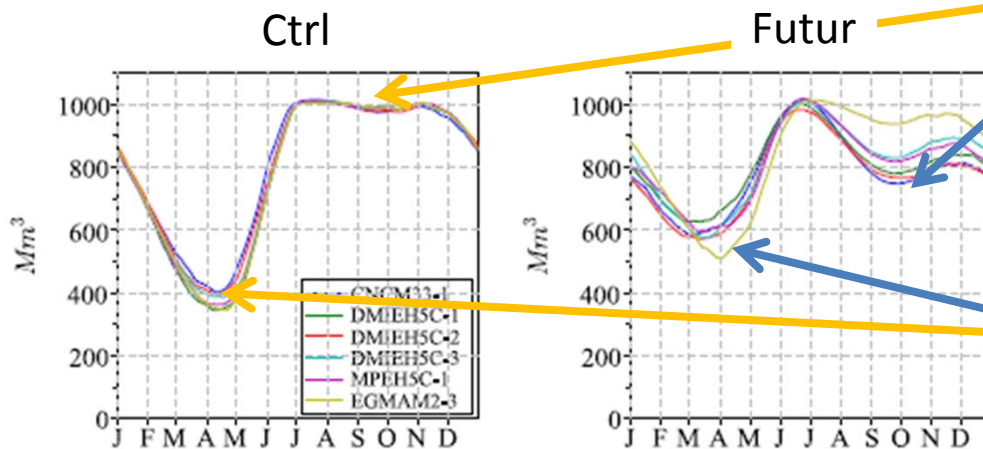
GCM	Fia (%)		G_{HEP} (U.M)	
	Ctrl	Futur	Ctrl	Futur
DMIEH5C-1	97	36	4	3.2
DMIEH5C-2	92	39	3.9	2.9
DMIEH5C-3	95	47	4	3.2
CNCM33-1	96	30	3.8	2.9
MPEH5C-1	95	41	4	3.4
EGMAM2-3	99	76	4.4	3.7

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

Revenus hydroélectricité
Diminution significative (G_{HEP})



- Trajectoires moyennes de stock simulées



Augmentation des déstockages estivaux

Diminution des déstockages hivernaux

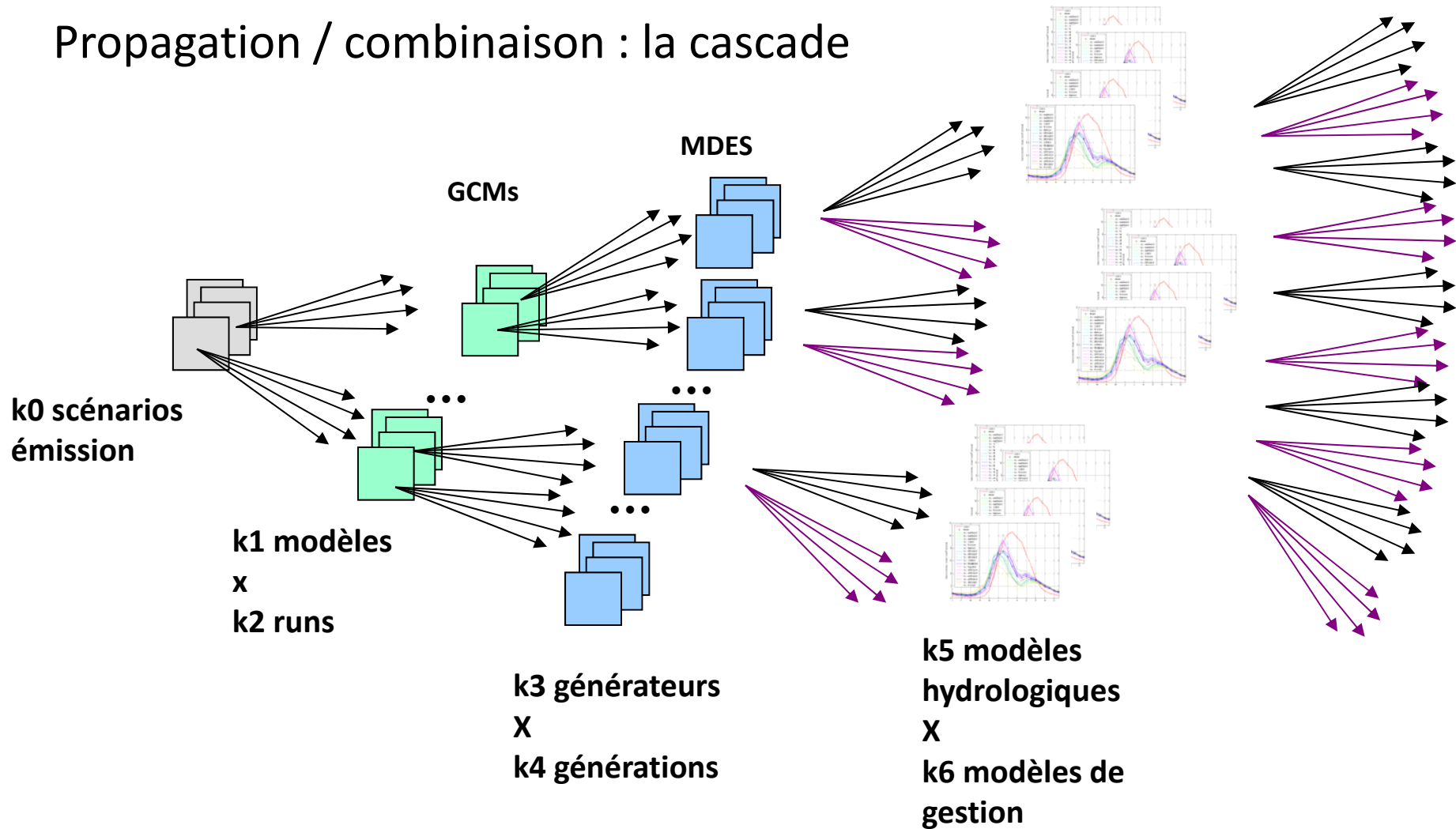
François, 2013



Incertitudes : sources / quantification



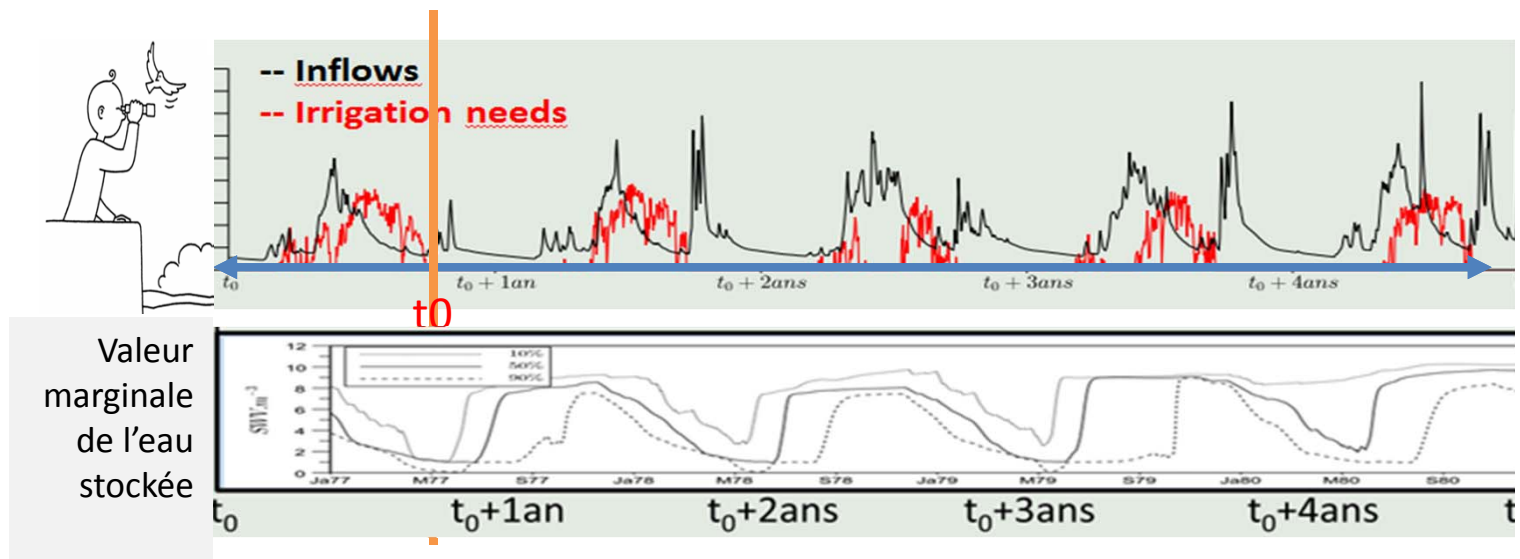
Propagation / combinaison : la cascade



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)

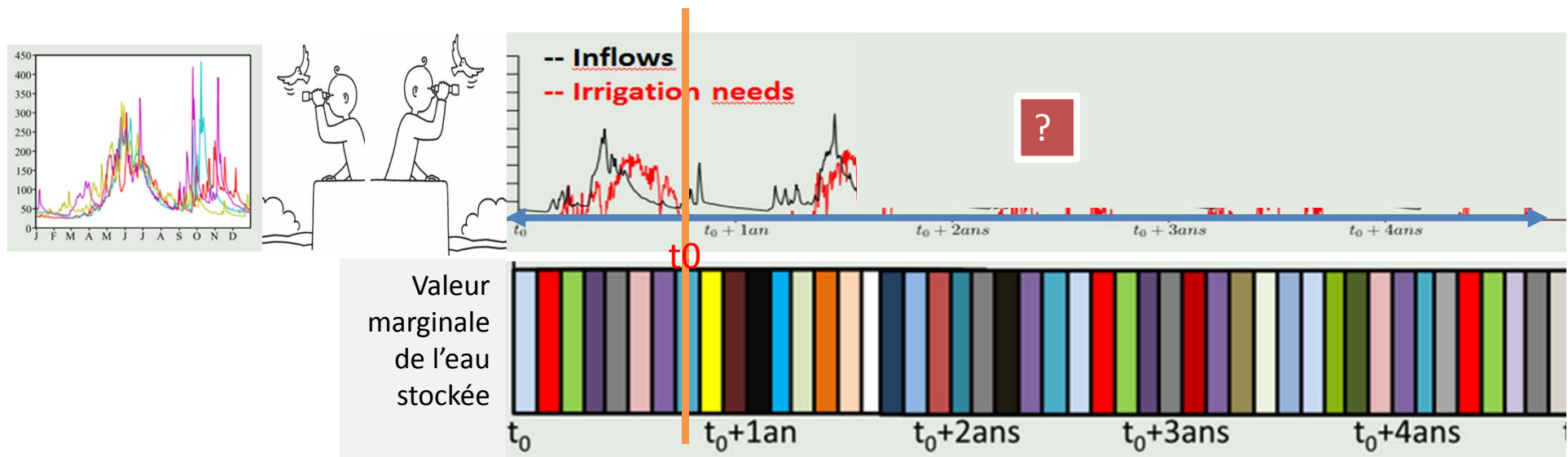


Représentation de la gestion



- **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

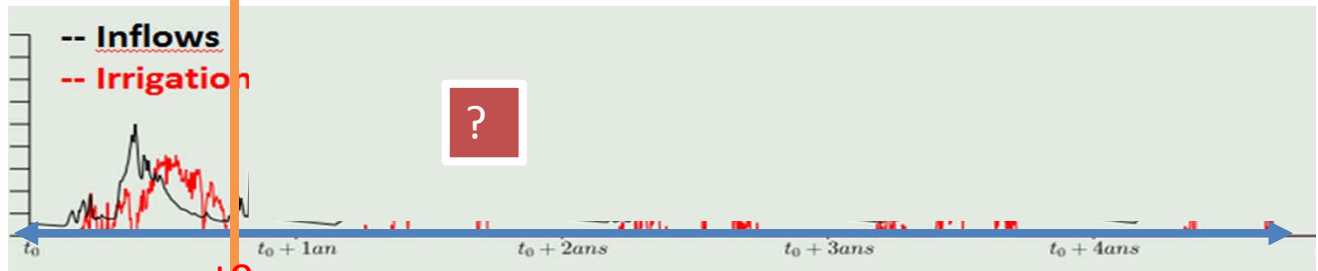
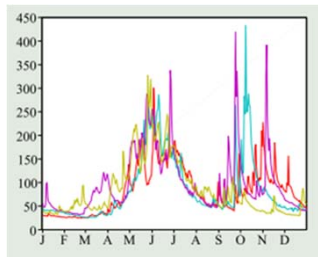


Représentation de la gestion



- **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)

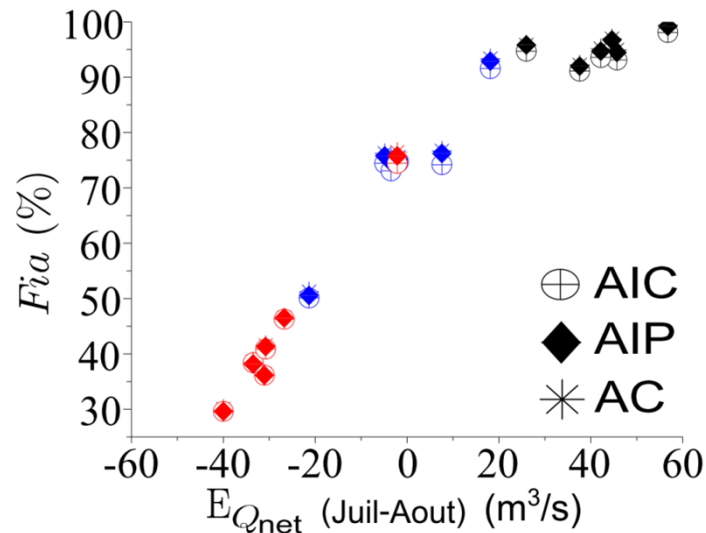
>> Programmation Dynamique Stochastique



Représentation de la gestion



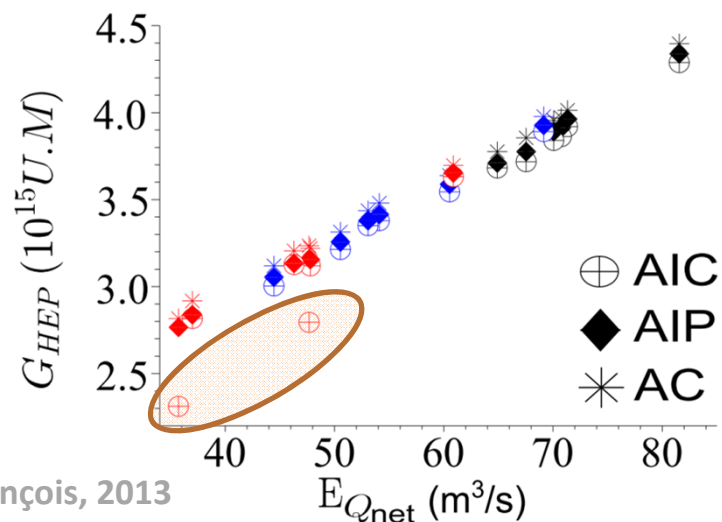
- **Fiabilité Cote touristique**



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

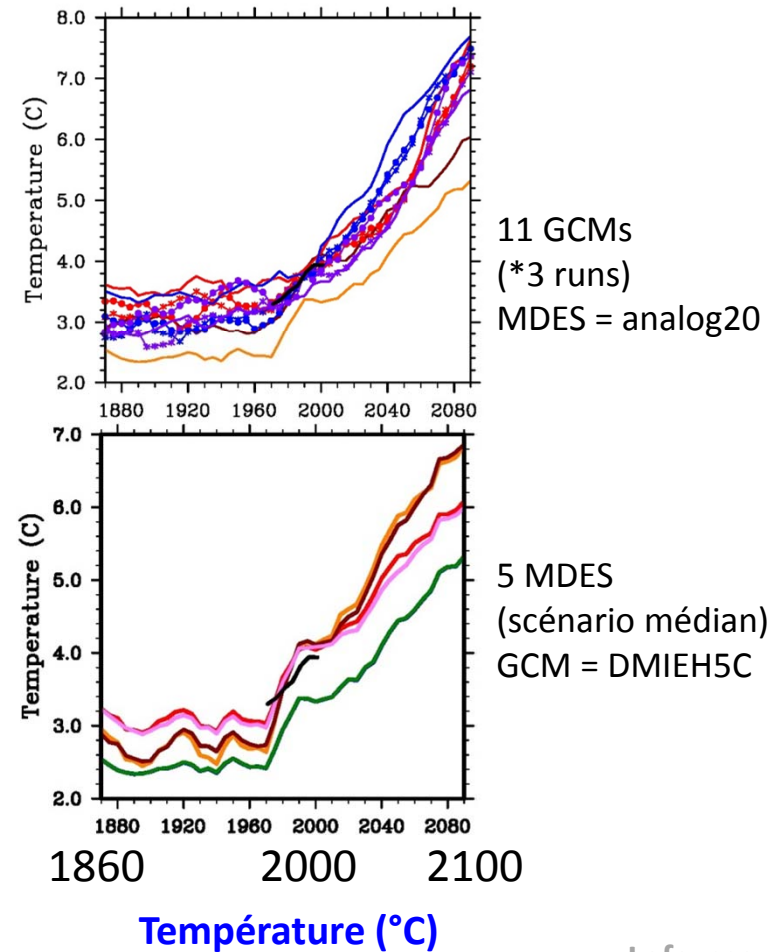
MDES

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

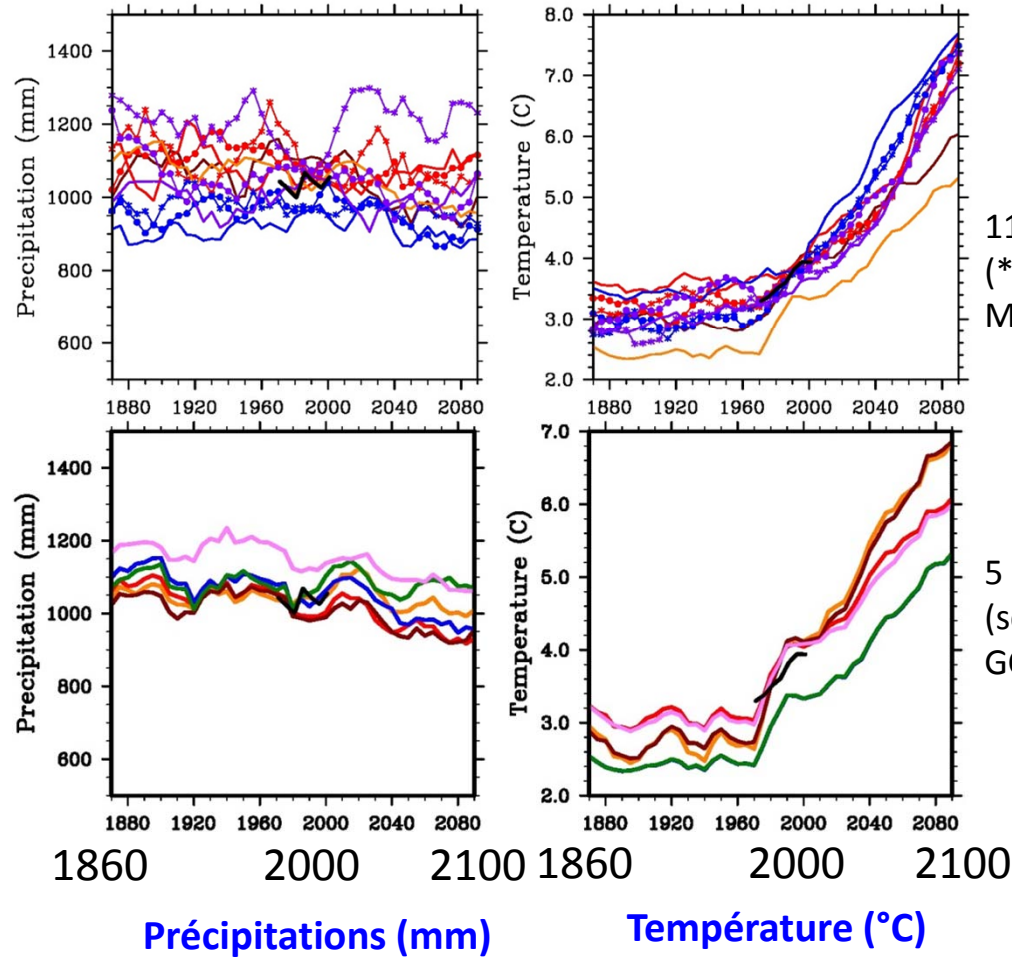
MDES

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

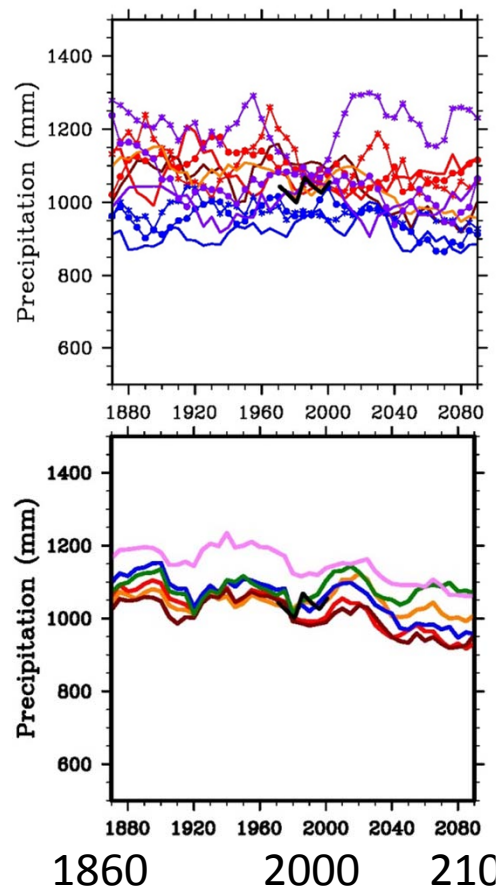
MDES

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



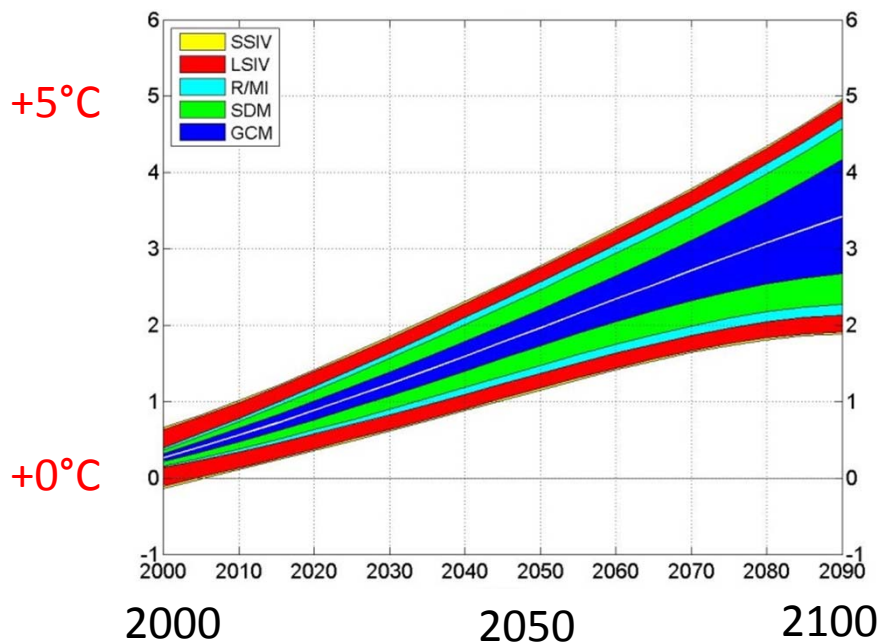
Précipitations (mm)

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

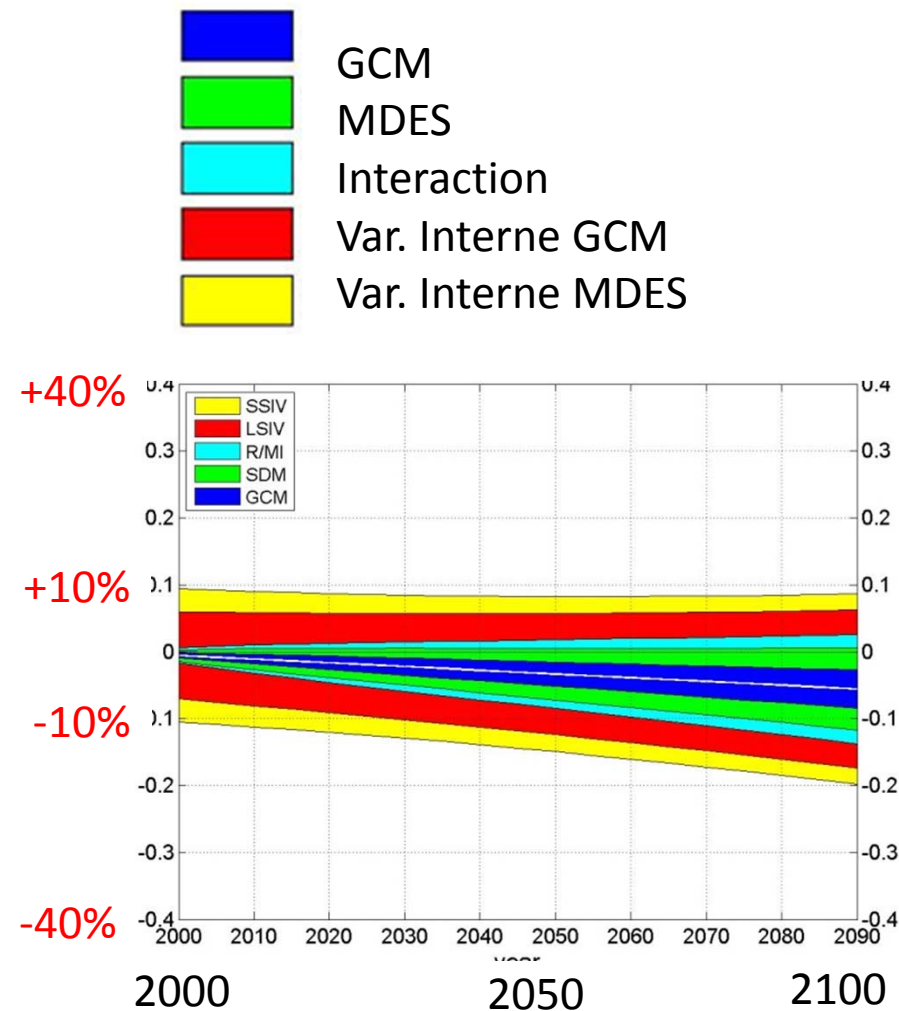


Signal et incertitudes



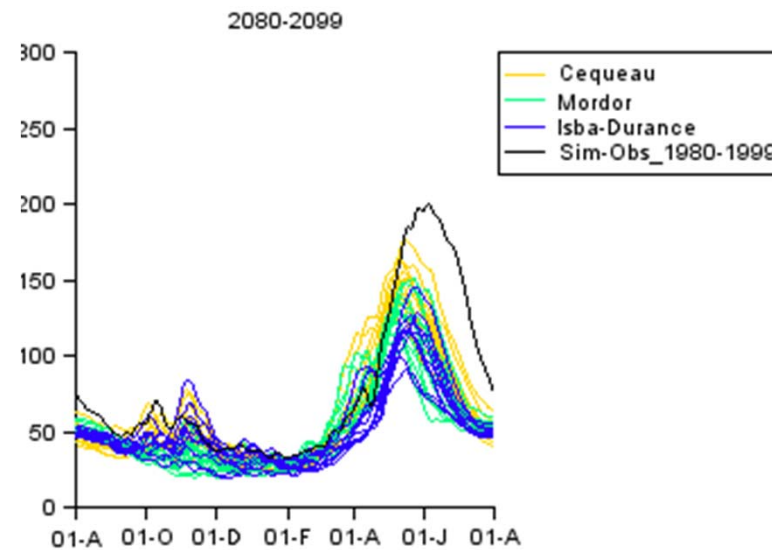
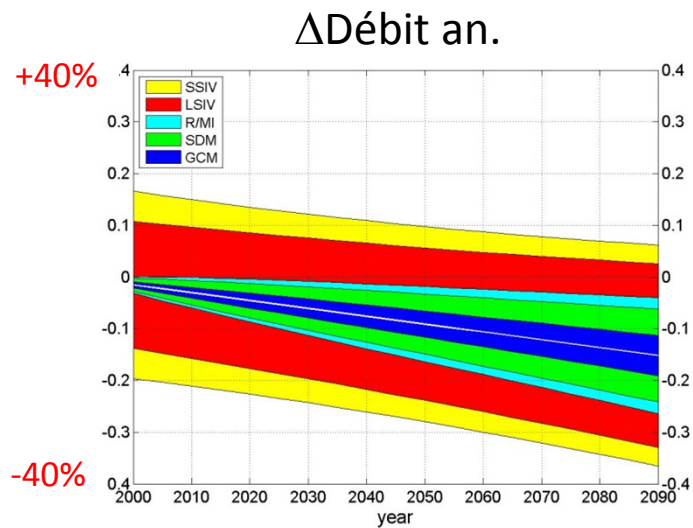
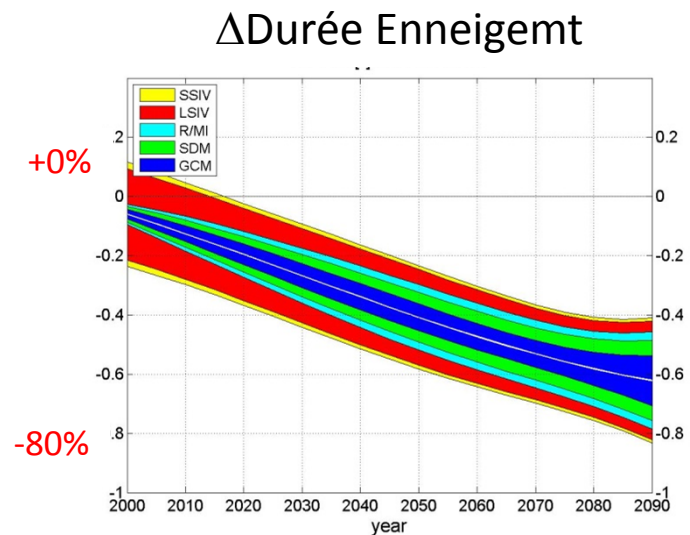
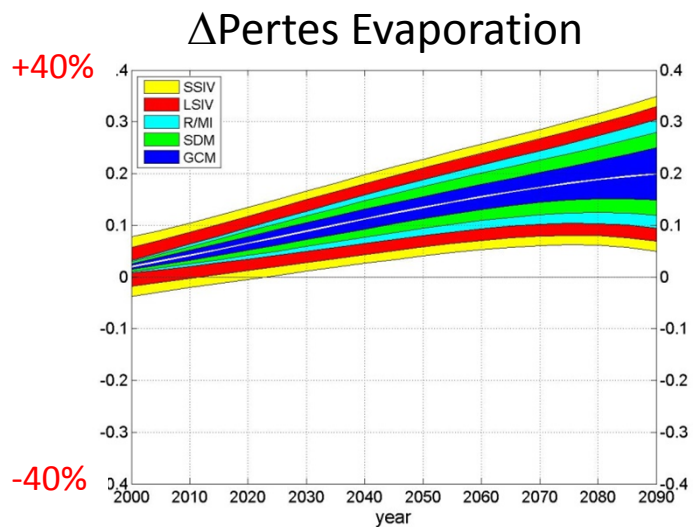
ΔTempérature

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/>

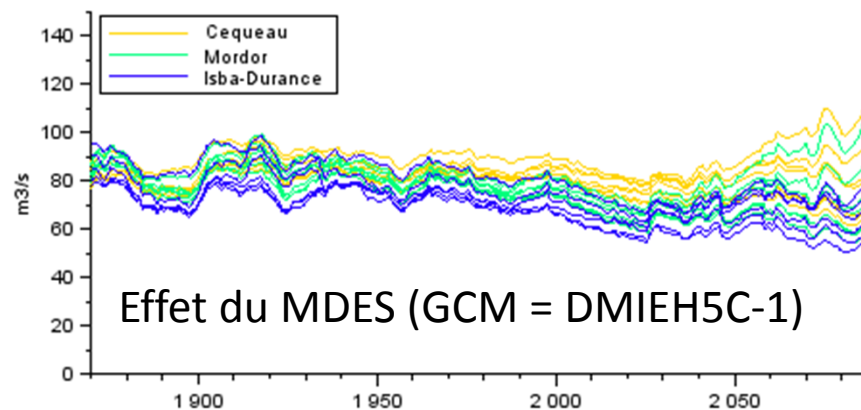
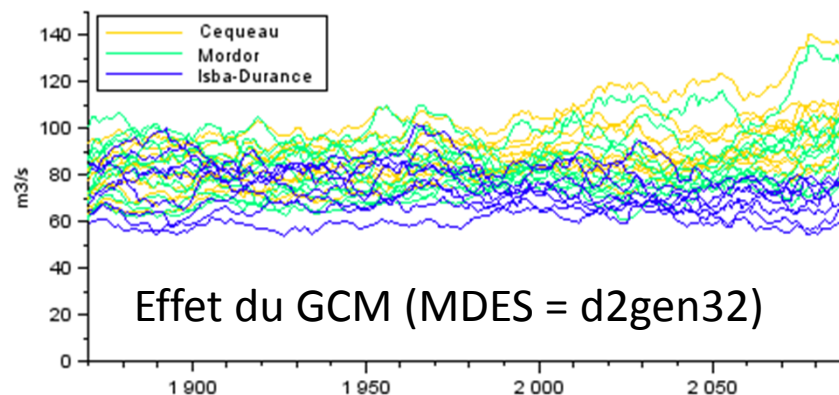


Incertitudes / Modèles Hydrologiques

3 modèles hydrologiques
Calibrés / évalués sur 1960/2010



Isba-Durance / MORDOR / Cequeau



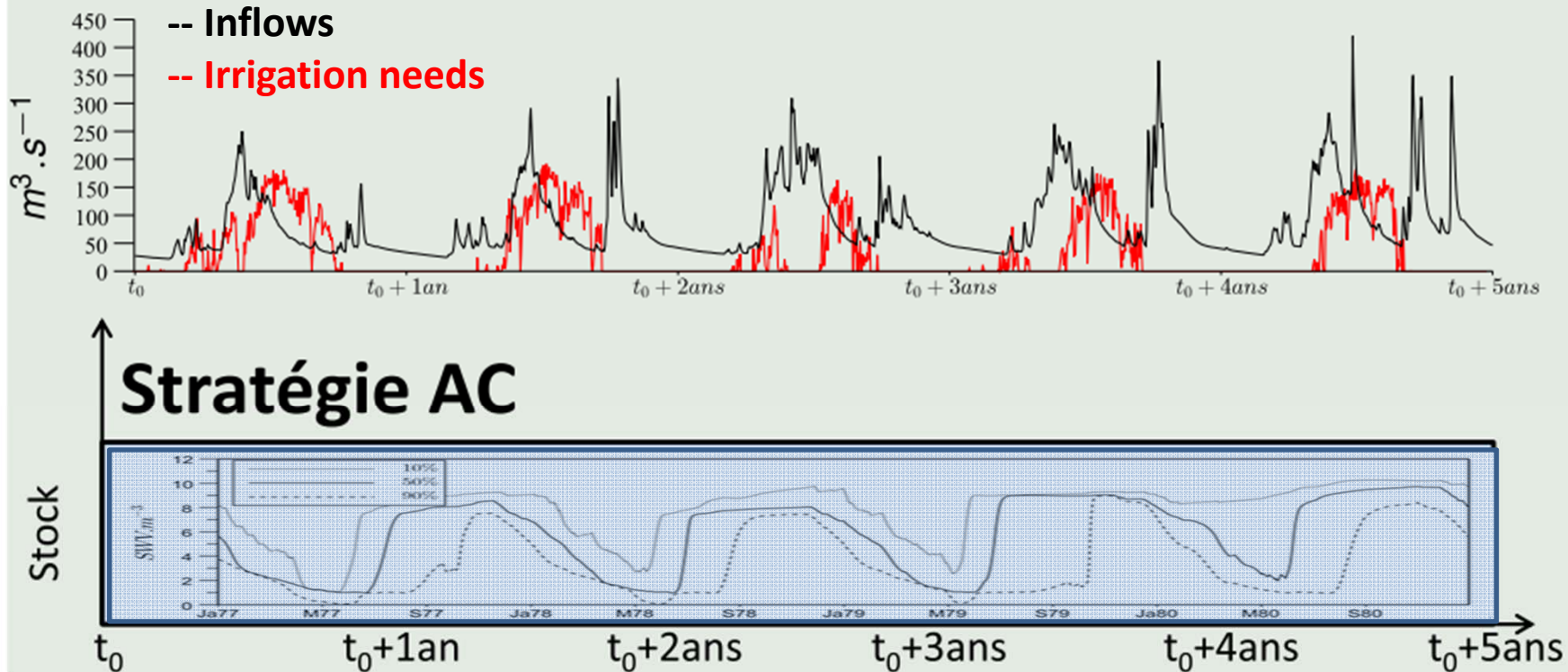
Approaches used (1/3): AC



A clairvoyant manager : perfect forecasts (AC)

- Optimization realized on the simulated scenario

>> Deterministic Dynamic Programming (DDP)

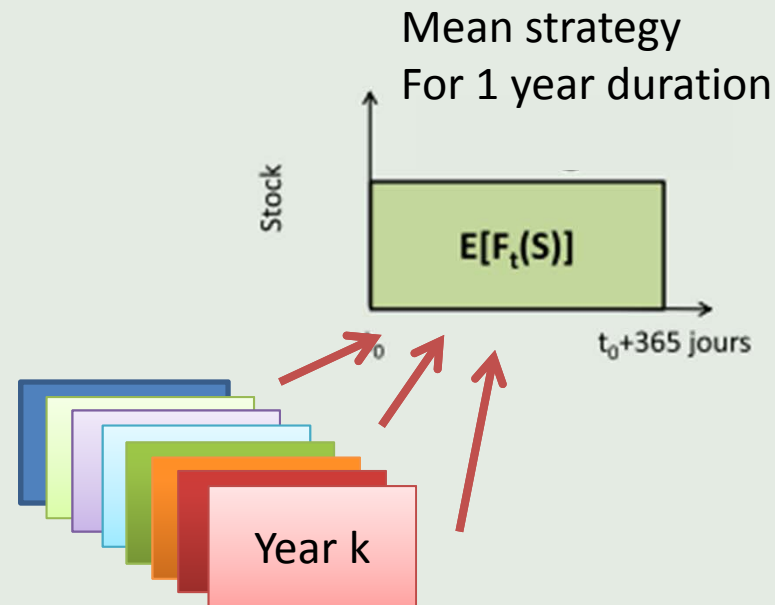
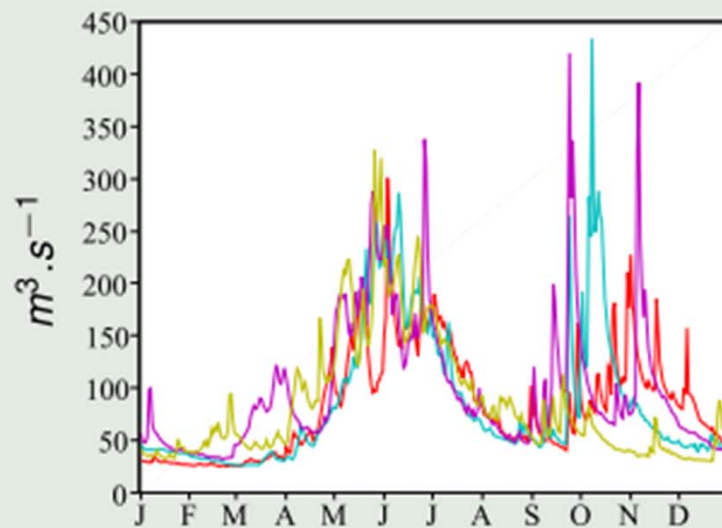


Approaches used (2/3): AIC



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

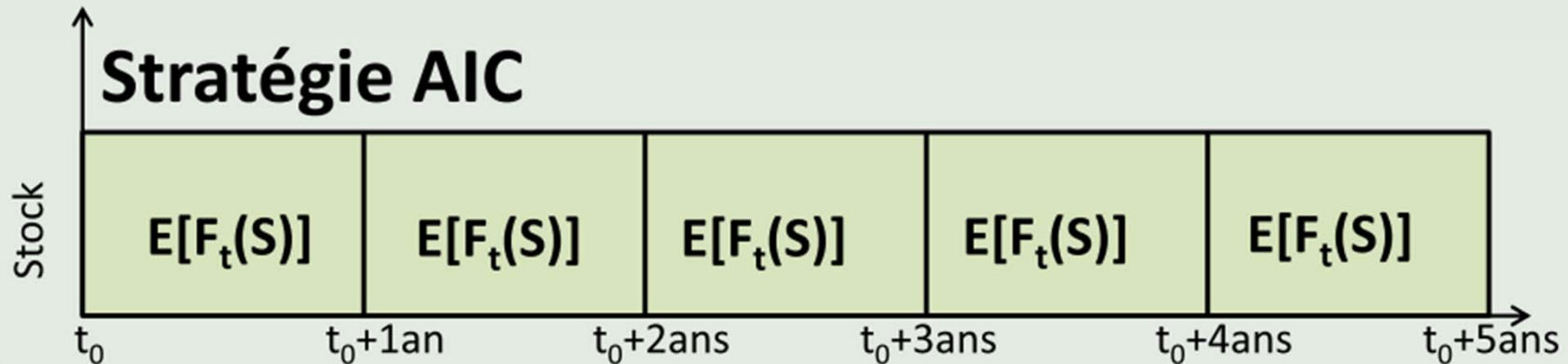
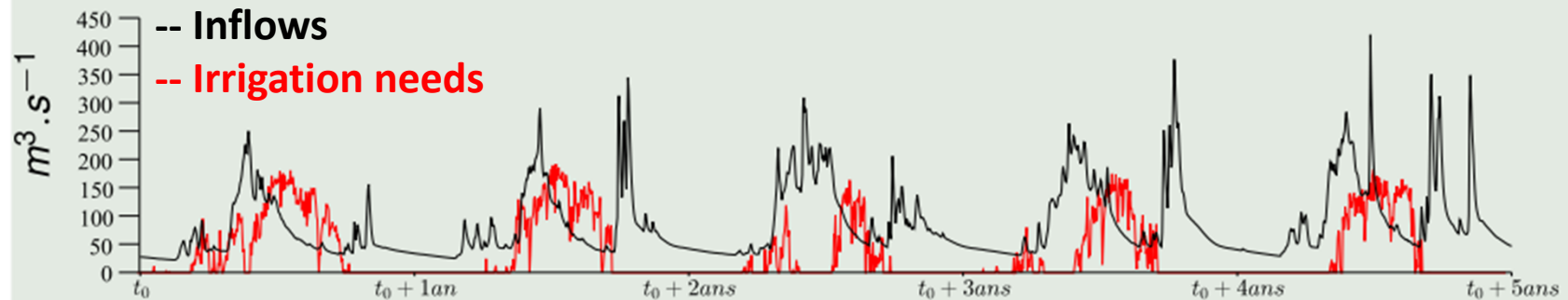


Approaches used (2/3): AIC



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 $E[F_t(S)]$

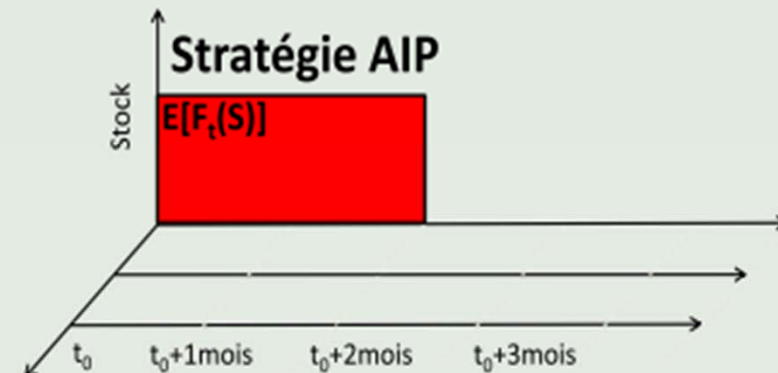
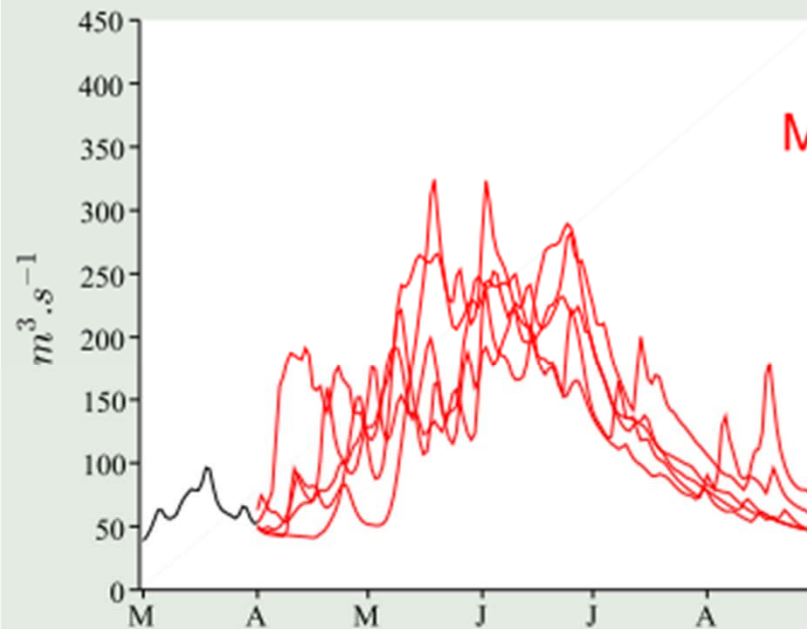


Approaches used (3/3): AIP



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 ...)

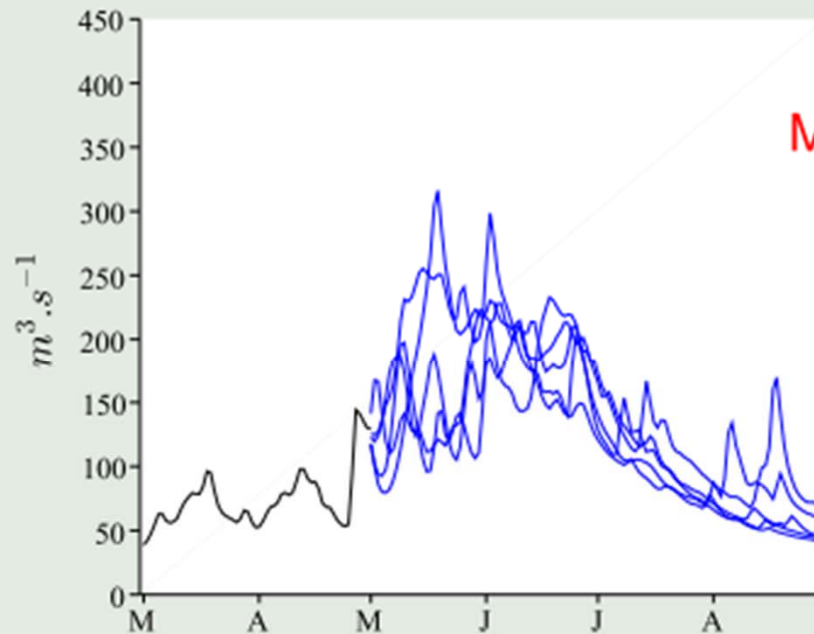


Approaches used (3/3): AIP

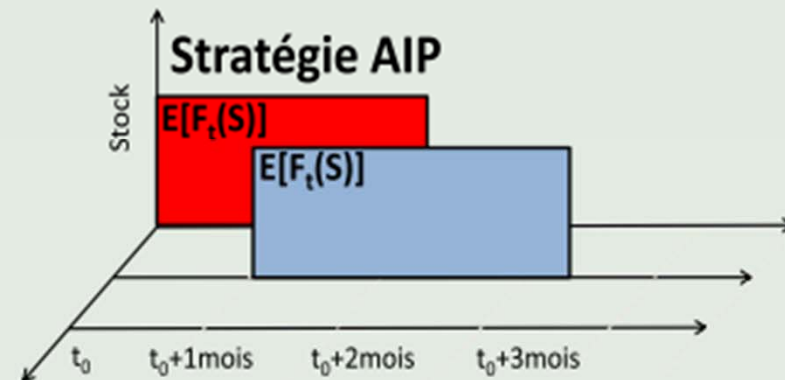


A far-sighted manager : With hydrological forecasts (AIP)

- ☞ 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

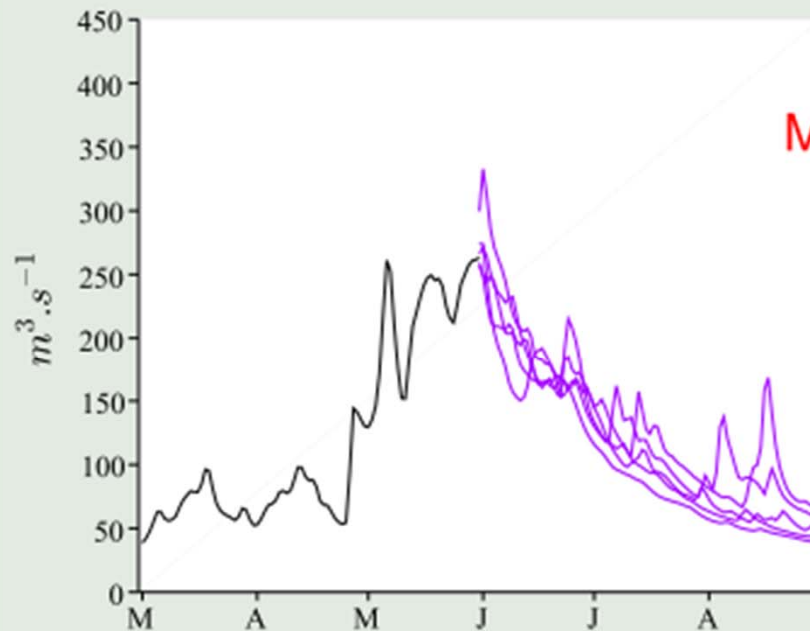


Approaches used (3/3): AIP

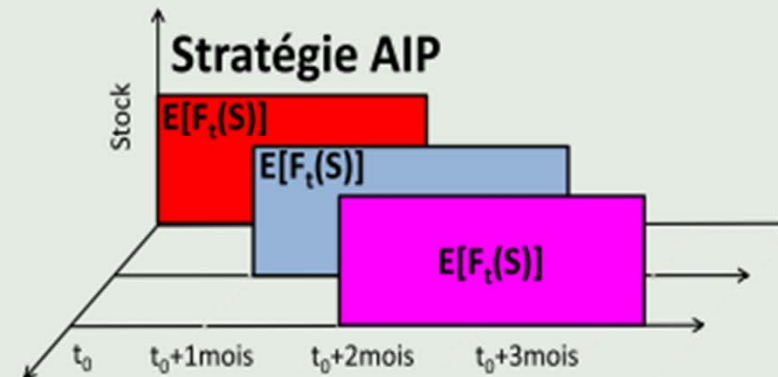


A far-sighted manager : With hydrological forecasts (AIP)

- ☞ 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

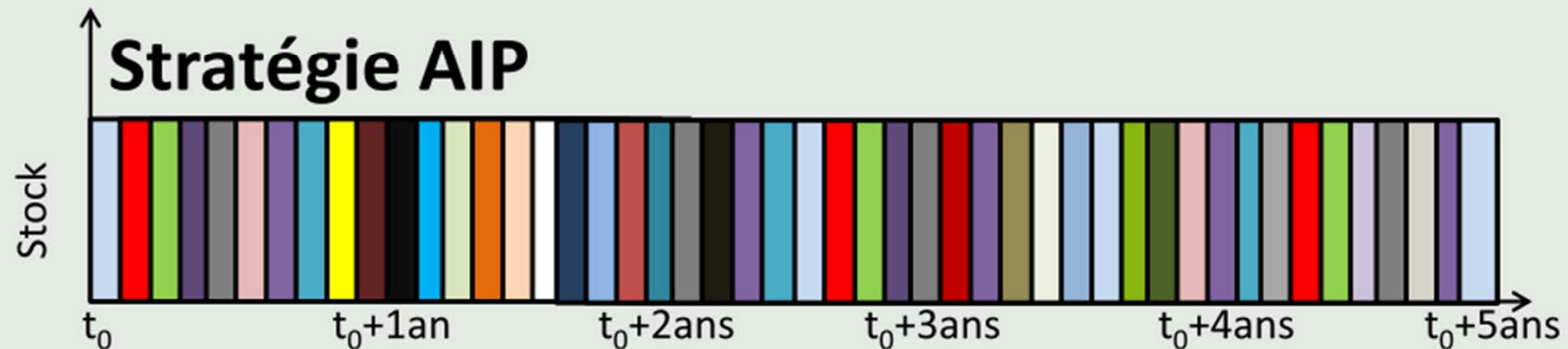
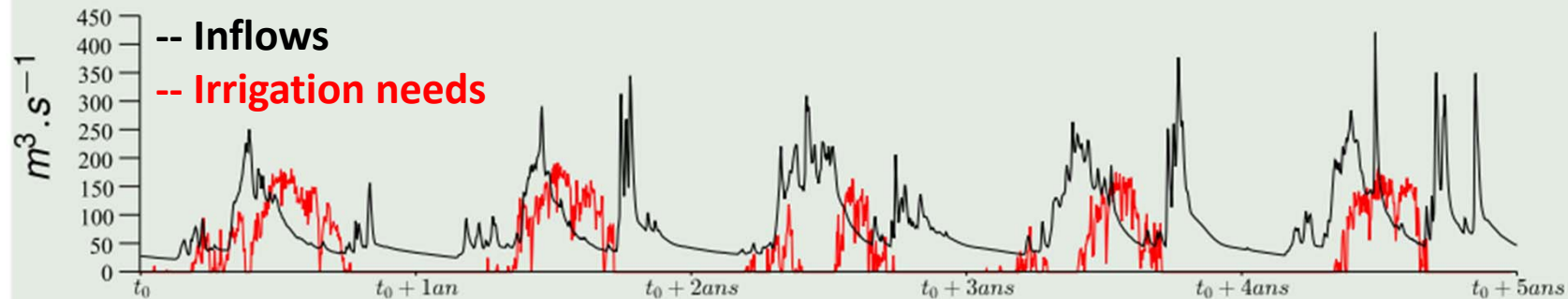


Approaches used (3/3): AIP



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

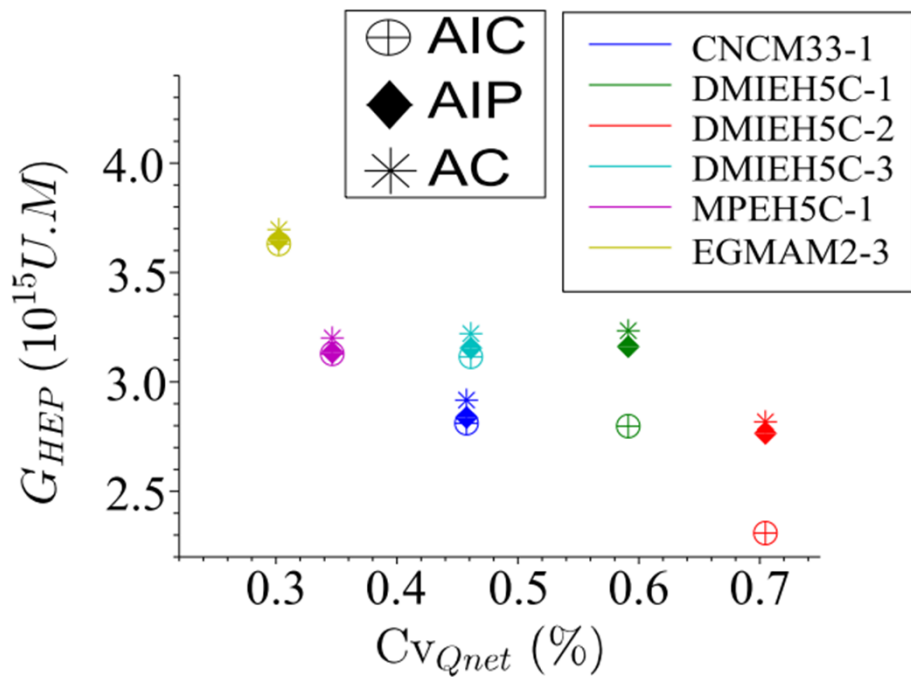
- ☞ This method is closed to the one used by the manager of SP ...
 - Yearly Hydrological forecasts from historical Met. Scenarios
 - Natural stock on the watershed (snow, ground-water ...)



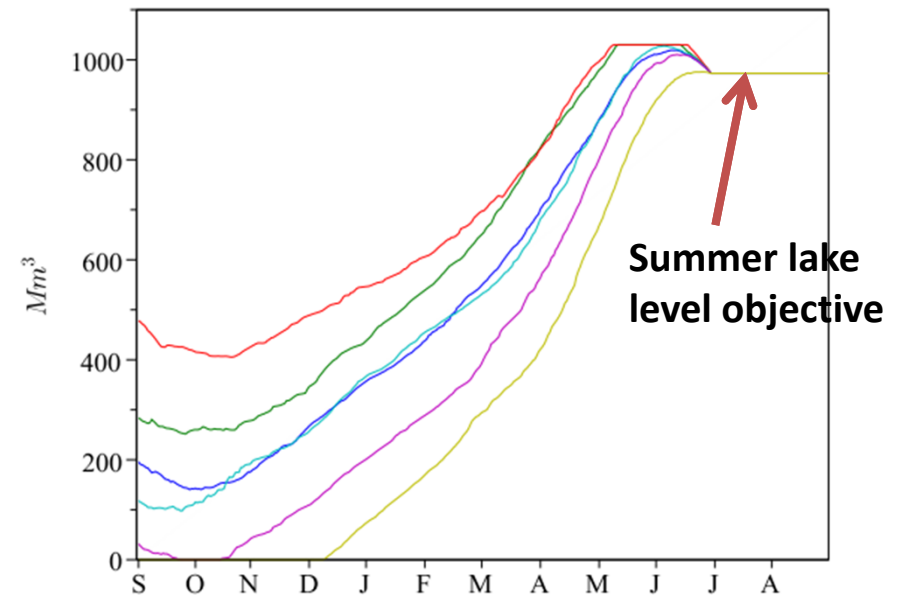
Performance and uncertainties linked with management



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

