

Génération de scénarios météorologiques par descente d'échelle statistique pour les études d'impact du changement climatique

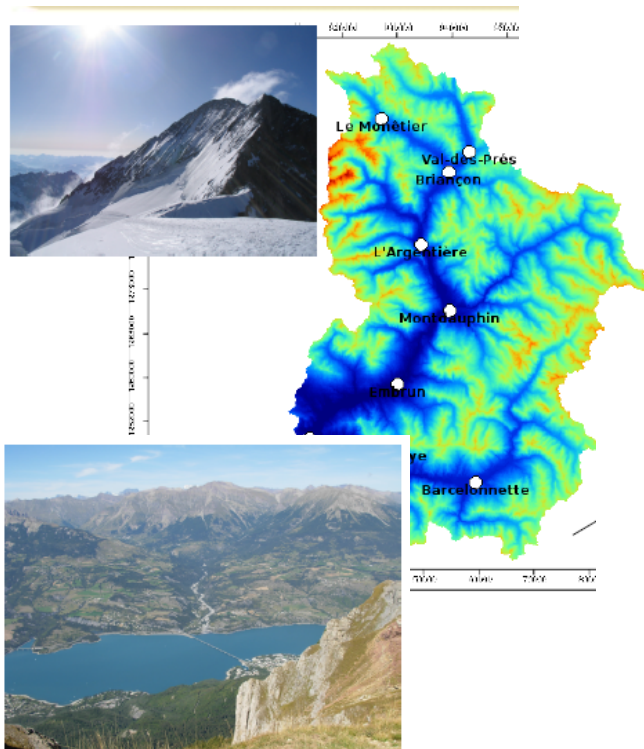
Benoît Hingray, LTHE

Abdelkader Mezghani, Matthieu Lafaysse, Sandrine Anquetin, LTHE

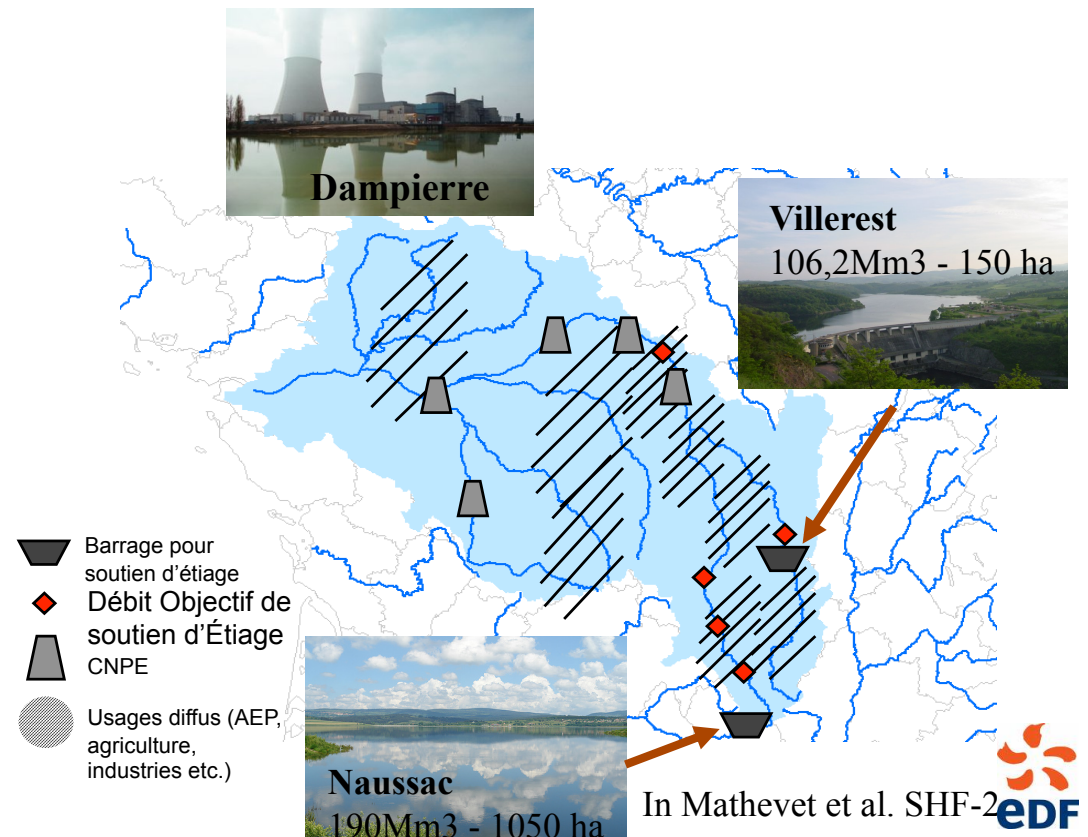
Climats Régionaux et Impacts

Quels scénarios météorologiques pour les études d'impact ?

Partenariat LTHE / EDF (DTG+LNHE)



Durance à Serre Ponçon - 3 500 km²
Hydroélectricité, Tourisme, Ressource en eau



Loire à Giens – 35 000 km²
Soutien d'étéages, Environnement
Refroidissement des Centrales Nucléaires

② Les hydrosystèmes :

1/ des fonctionnements à seuil >> très fortes non linéarités

2/ des compartiments/processus avec temps caractéristiques très différents

Donc très forte sensibilité de la réponse hydrologique à

1- variabilité spatiale des caractéristiques du milieu (e.g. sols)

2- variabilité spatiale et temporelle fine échelle des sollicitations météo. (e.g. P,T)

3- état initial du système (e.g. saturation, neige)

4- variabilité haute et basse fréquence des var. météo. (e.g. historique météo.)

Contraintes sur les scénarios météorologiques pour études d'impact

a/ résolutions spatiales et temporelles adaptées

au système (bv urbain ou fluvial) et à l'objet d'étude (ressource ou crue)

b/ séquences temporelles pertinentes (sèches / étiages + humides / crues + mixtes)

c/ saisonnalité / hétérogénéité spatiales pertinentes

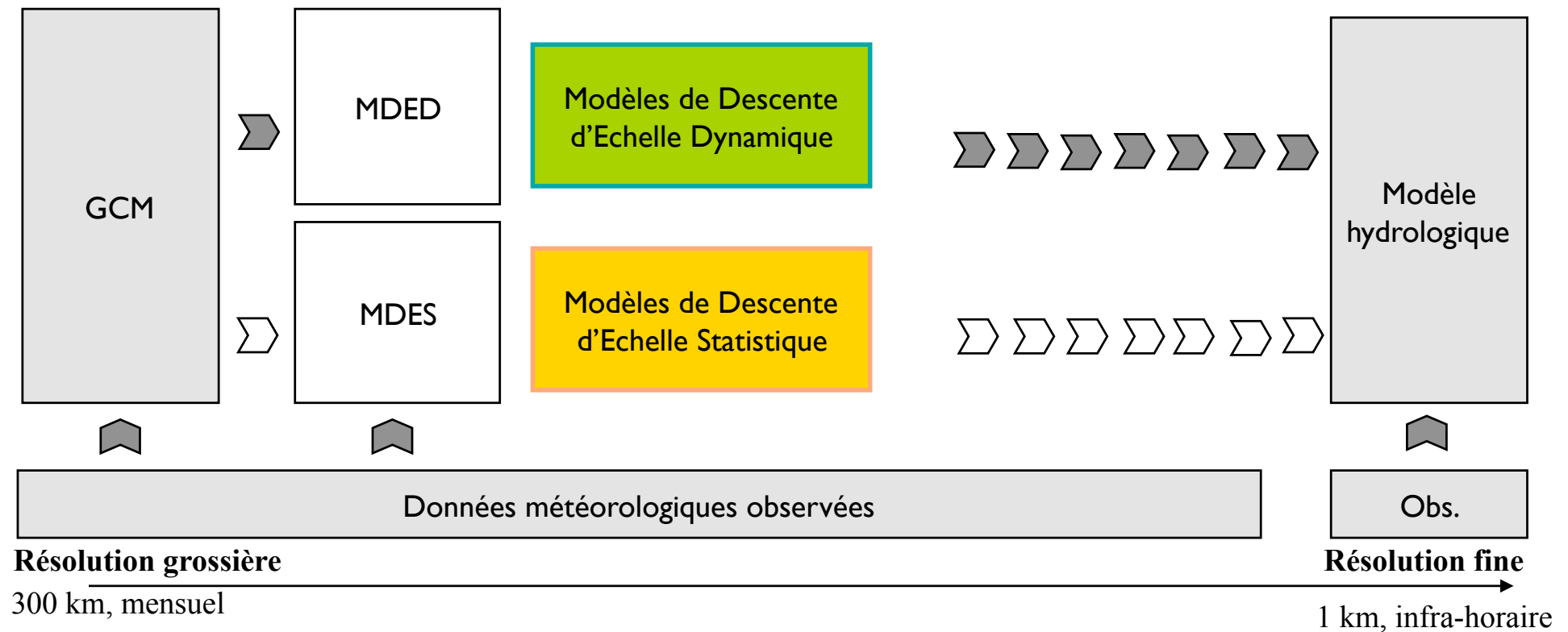
d/ variabilité interannuelle pertinente (barrages à gestion pluriannuelle)

>> Apport limité des GCMs ou RCMs

- échelles spatiales grossières

- biais importants sur Precip.

Développement de scénarios aux échelles régionales



Hypothèses principales

- 1- circulation atmosphérique à grande échelle (CAGE) mieux simulée que les météo. locale
- 2- situation météorologique régionale / locale = $f(\text{condit de surface} + \text{CAGE})$ (lien d'échelle)

$$M(t) = f [CS(x,y,z) + CAGE(t)] + \varepsilon(t)$$

- 3- liens d'échelle pour climat actuel non modifiés pour climat futur (stationnarité)

MDE-D

MDE-S

Modèles

- modèles à aire limitée (régionaux)
- modèle à résolution variable

- Méthodes Analogiques (analog; edf/dtg)
- Fonctions de Transfert (ddwgen; lthe)
- Types de temps et WGEN (nsrpm; unew)
- Mixtes (dsclim; cerfacs)

Développement / mise en oeuvre

- **Pas de calage**
- Modèles régionaux: paramétrisations adaptées
 - au maillage fin (convection, ...)
 - à la région (manteau neigeux, ...)

- **apprentissage** sur CTRL
 - +/-25 ans (>1980) utilisées pour calibration
 - projection sur Fut

Variables d'entrée

Atmosphère: toutes les variables d'état
à tous les niveaux

Océan: Températures en surface et fraction
couverte par la glace de mer

Continent: type de sol et de végétation

Sélections / transformations de variables

- champs de var. atm.
- indices de circulation et d'état de l'atm.
- types de temps

Var. : gph, U, V, Z, b, Tair, rhum, ...
aux niveaux 1000, 750, 500 hPa,

Données utilisées

pour l'apprentissage
du modèle

1/ Réanalyses météorologiques

NCEP :
1948 –
dernier mois courant

ERA40 :
période 1957-2001

Emulate :
Mslp : 1850-2005

+ 2/ Var. Mét. Locale
Obs ou réanalyses (eg
SAFRAN)

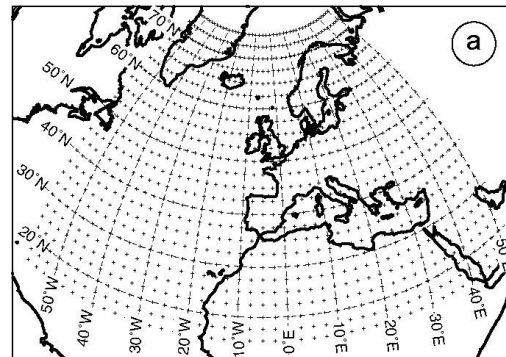
pour applications :

climat futur ou passé : projections sur sorties de GCM ou RCM

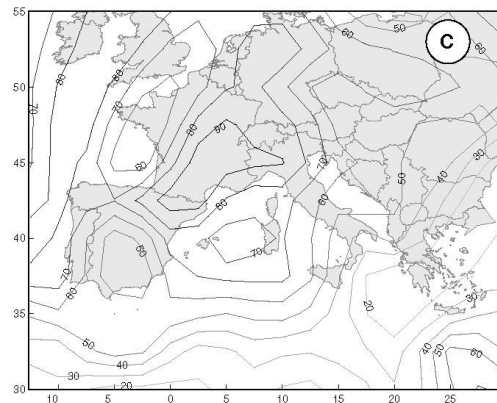
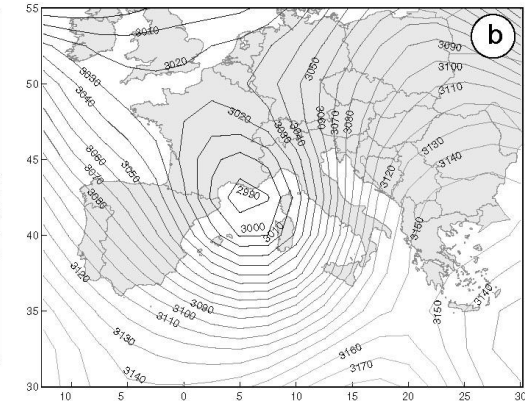
climat présent : scénarios météo possibles sur réanalyses

temps réel : prévision sur sorties modèles météo.

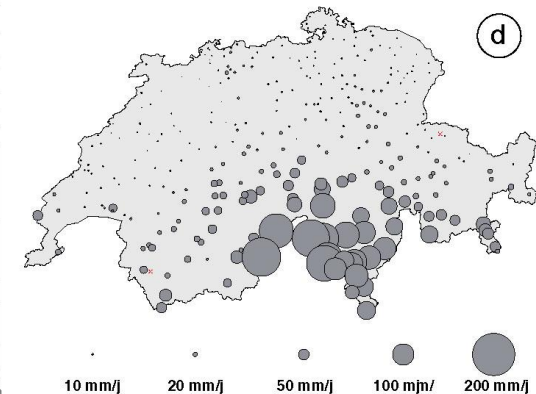
grille de stockage



Altitude du champ
géopotential 700hPa



champs de humidité relative
pour le géopotential 850hPa

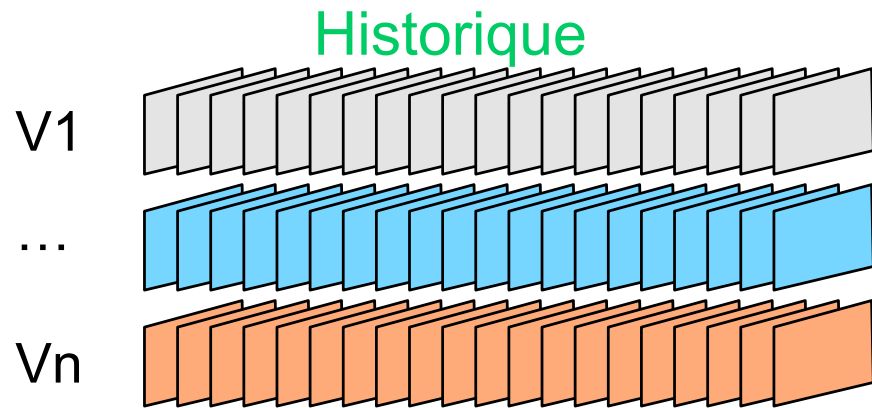


Pobservées

NCEP / Journée du 24.09.1993

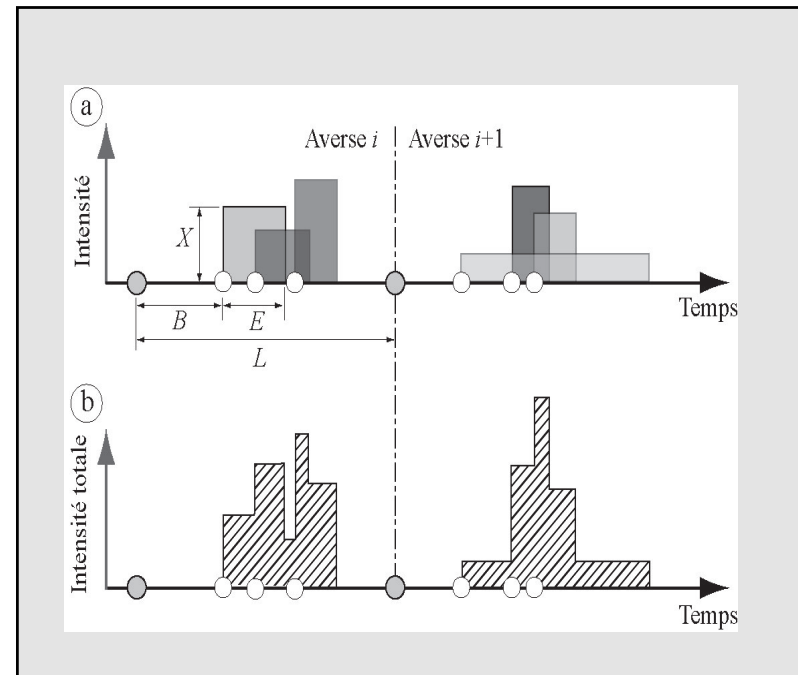
MDES utilisés pour génération scénarios futurs

- Générateurs stochastiques de temps conditionnés au type de temps



Série temporelle de type de temps

3 1 1 6 6 6 6 3 4 1 2 2 7 6 6 7 1 1 2 2 2 3 4 4
 →



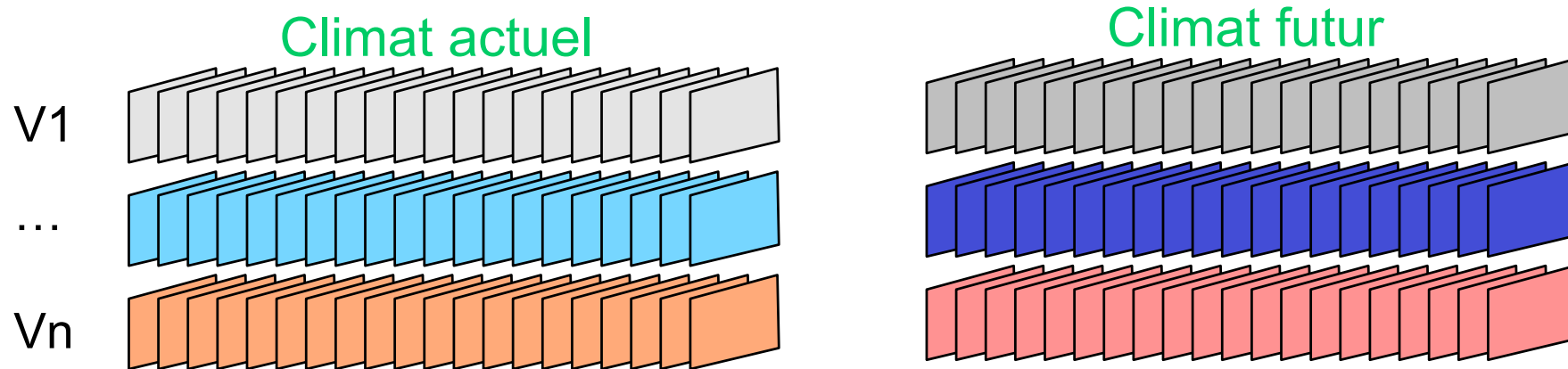
Pour chaque type de temps :

le scénario = la climatologie du TT

ou... = généré par un WGEN (e.g. Bardossy and Plate, 1992)

MDES utilisés pour génération scénarios futurs

- Générateurs stochastiques de temps conditionnés au type de temps



Série temporelle de type de temps

3 1 1 6 6 6 6 3 4 1 2 2 7 6 6 7 1 1 2 2 2 3 4 4

3 1 1 6 4 6 2 7 1 7 2 2 4 4 5 6 6 4 3 6 2 2 6

Pour chaque type de temps :

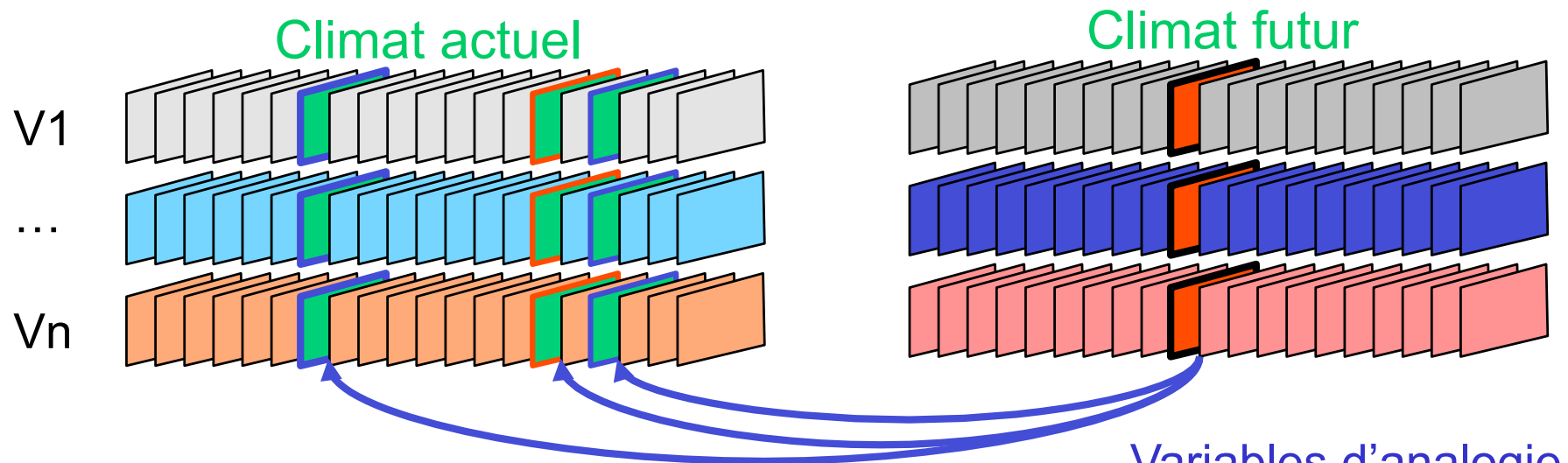
le scénario = la climatologie du TT

ou... = généré par un WGEN (e.g. Bardossy and Plate, 1992)

Changements météorologiques = f(changement fréquence, durée et ⁸ succession des types de temps)

MDES utilisés pour génération scénarios futurs

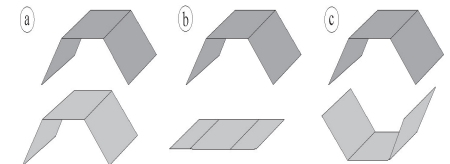
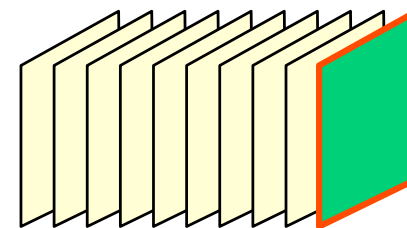
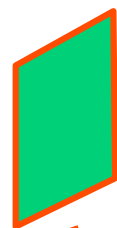
- Méthodes analogiques



1. Tirage d'un analogue parmi k-PPV
2. Utilisation de toute la BD météo du jour tiré

Variables d'analogie
+ Critère d'analogie

variables
météo. locales

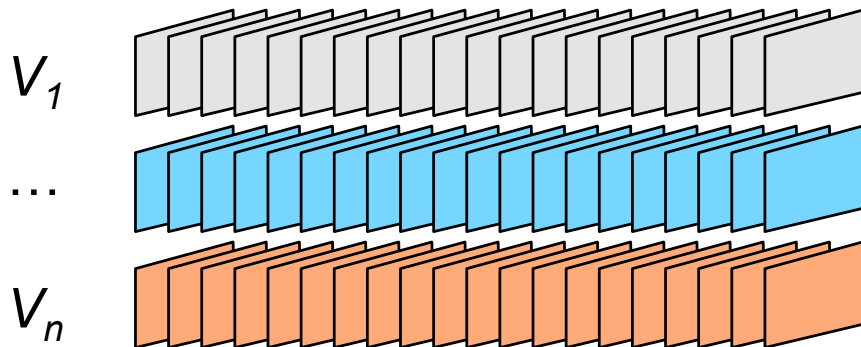


Changements météorologiques = $f(\text{changement champs } V1, \dots, Vn)$

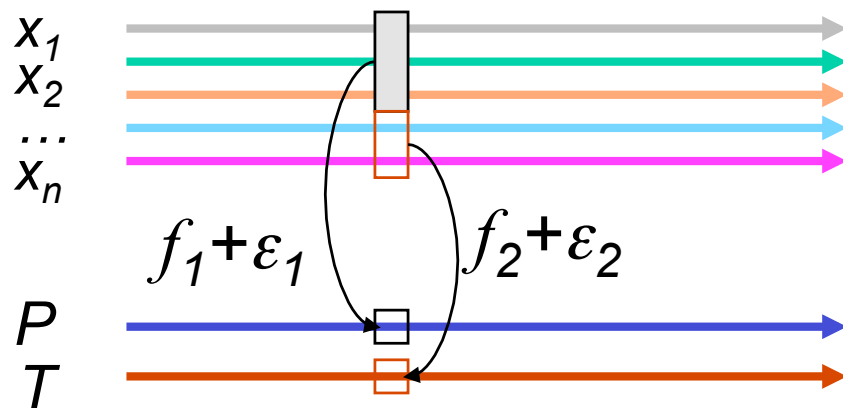
MDES utilisés pour génération scénarios futurs

- Fonctions de transfert

Historique des circulations atm.

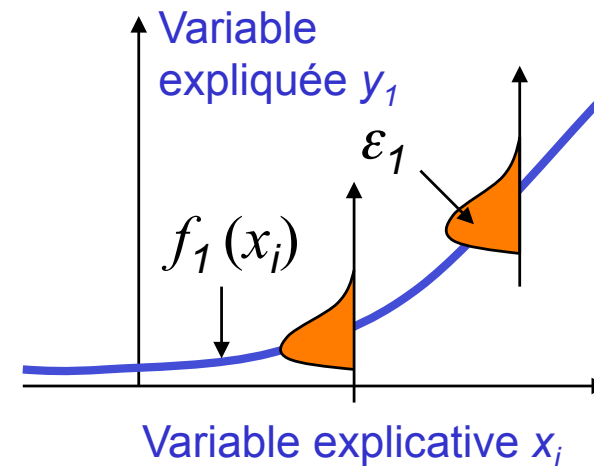


Indices de circulation



Variables météo. locales

Modèles statistiques :
modèles linéaires généralisés

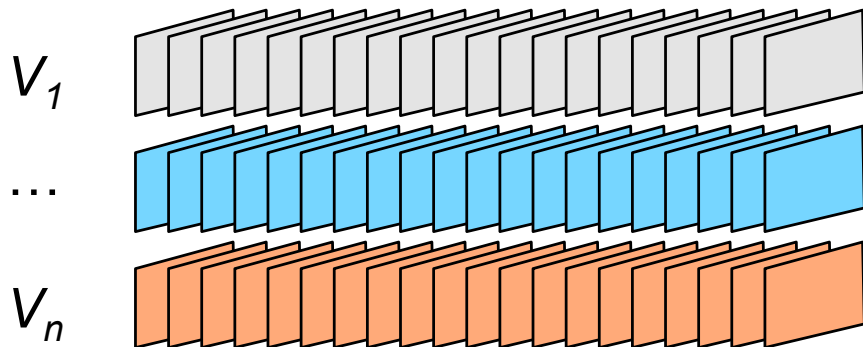


- Variables synoptiques explicatives
 - Variables brutes (gph_{700} , $rhum_{700}$, ...)
 - Variables élaborées (z_{700} , b_{700} , pwa)
- Variables “locales” explicables
 - Variables simulées (P, T, V)
 - Variables non simulées (Nébul., Ensoleill.)

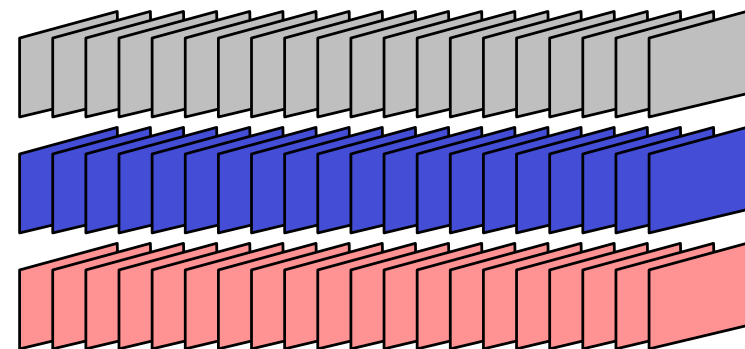
MDES utilisés pour génération scénarios futurs

- Fonctions de transfert

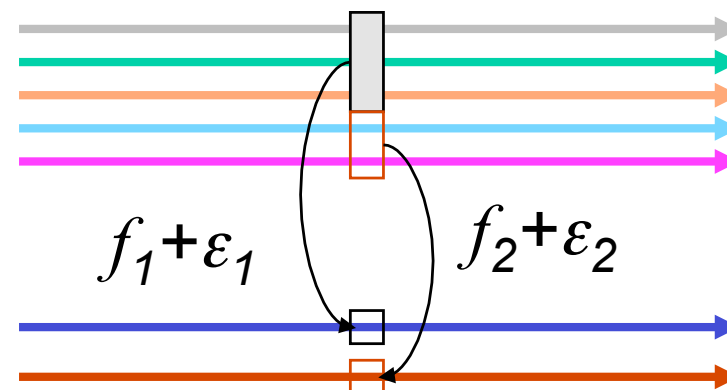
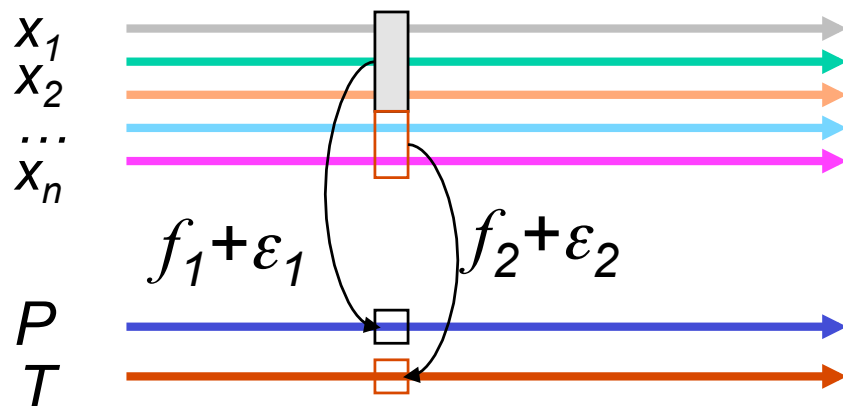
Historique des circulations atm.



Climat futur



Indices de circulation



Variables météo. locales

Changements météorologiques = $f(\text{changement indices } x_1, \dots, x_n)$

Limites / difficultés actuelles

1/ données disponibles pour identifier les relations d'échelle

Contraintes : nécessité :

- séries longues
- concomitance mét. surf / var. atm.

Limite des données utilisées :

- réanalyses atm. non homogènes 1960-2010
- var. de surface : homogénéité incertaine
(e.g. SAFRAN / densité réseau obs. variable)

Limites / difficultés actuelles

2/ - lien d'échelle suffisamment fort pour scénarios générés pertinents ?

Variations expliquées sur séries 20 ans :

Préc. journalière locale (ou 8*8km)

Occurrence : 30% - Hauteur : 20%

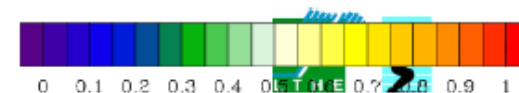
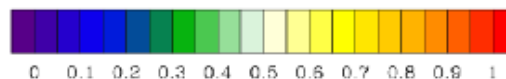
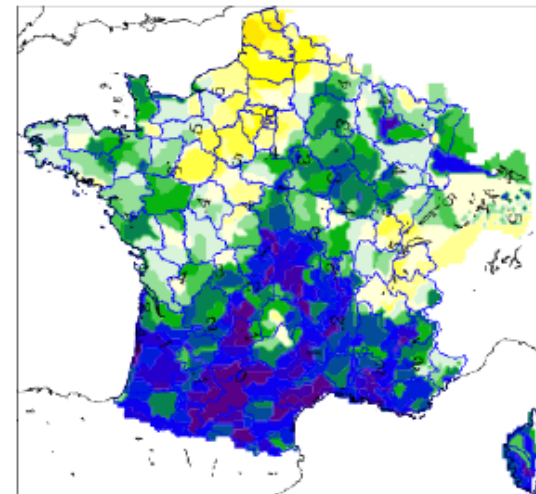
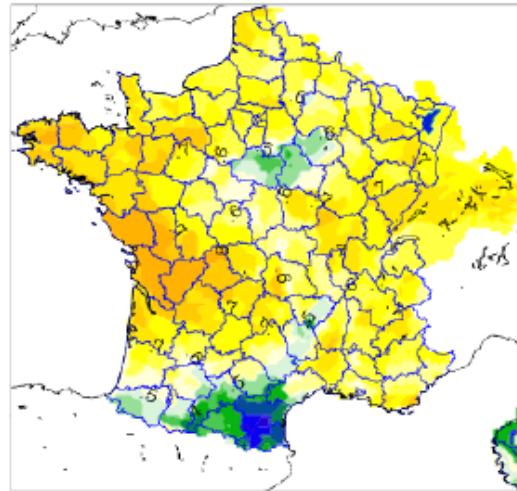
Préc. saisonnière régionale

De 20 à 70 % selon région / saison

Temp. régionale : > 80%

Ex : Corrélacion Prcp Obs/
sim I seul scénario (MDES :
dsclim)

HIVER (DJF) Correlation between rebuilt and observed precipitation djf mean
ETE (JJA) Correlation between rebuilt and observed precipitation jja mean



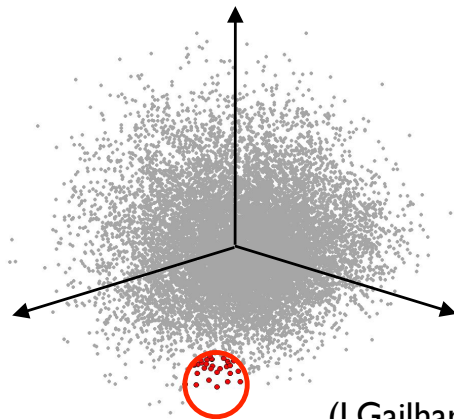
Limites / difficultés actuelles

$$M(t) = f[CS(x,y,z) + CAGE(t)] + \varepsilon(t)$$

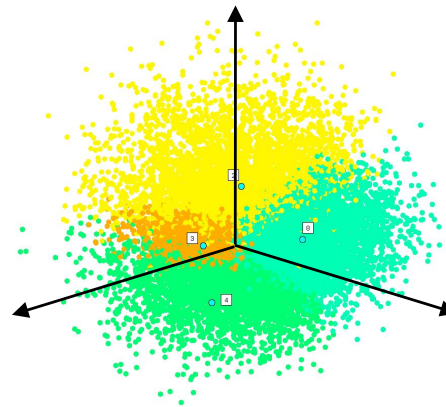
>> **Nécessité d'un générateur stochastique de scénario adjoint**

e.g : MDES = FT (ddwgen) : **bruitage stochastique** de l'espérance des variables expliquées obtenues par régression statistique (utilisation pdf choisie)

e.g2 : MDES = analogue (dtg / dsclim) : **tirage aléatoire** d'un scénario **parmi k situations analogues** à la CAGE du jour courant

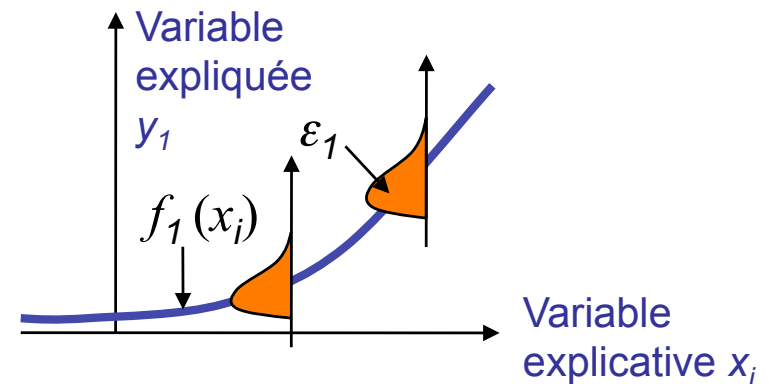


(J.Gailhard, RIVER2030)



e.g3 : MDES = type de temps **tirage aléatoire** d'un scénario **parmi les n situations contenues** dans la classe correspondant au type de temps du jour courant

Modélisation de l'erreur



Limites / difficultés actuelles

$$M(t) = f[CS(x,y,z) + CAGE(t)] + \varepsilon(t)$$

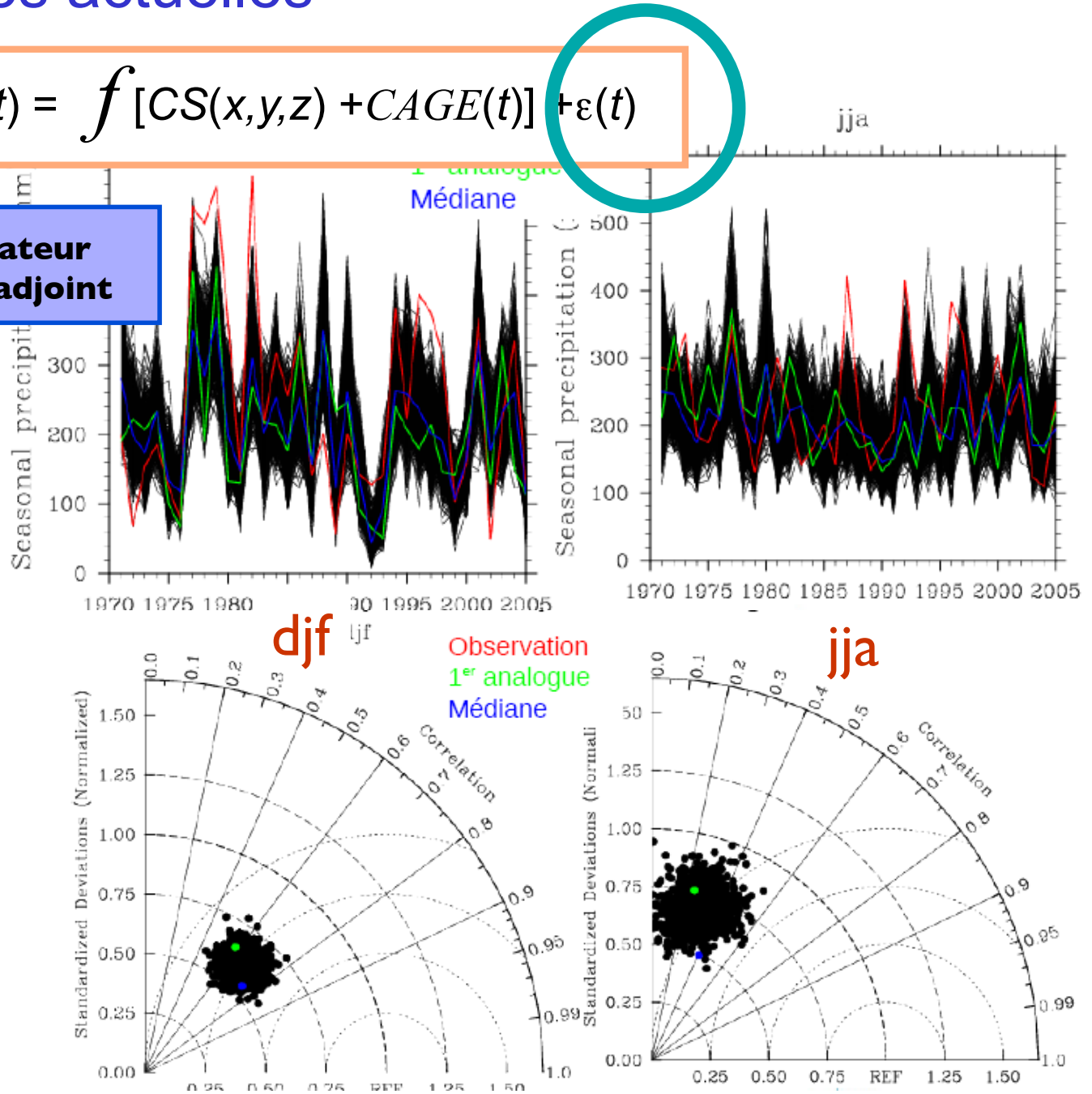
>> **Nécessité d'un générateur stochastique de scénario adjoint**

Conséquence :

- 1/ un MDES permet de générer N scénarios pour une sortie de RCM donnée
- 2/ la variabilité interscénarios est importante même si réduite pour variables agrégées

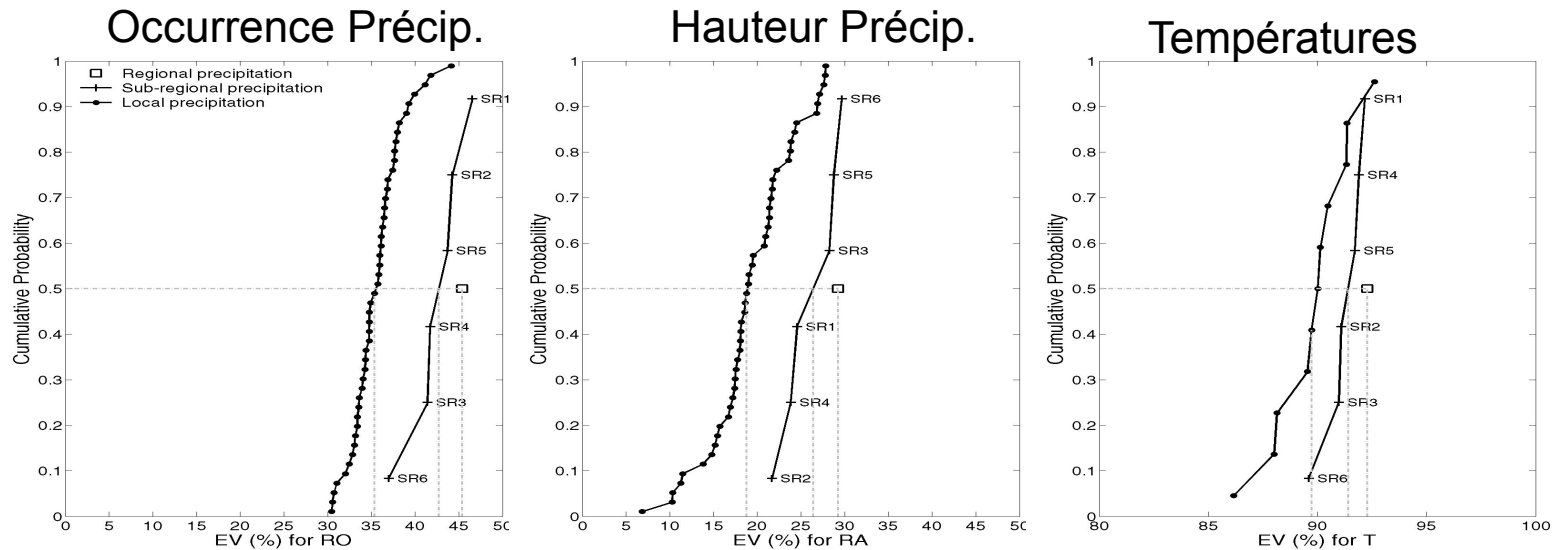
Exple : prcp saisonnières Durance supérieure

1000 scénarios avec tirage parmi 10 1ers analogues



Limites / difficultés actuelles

3/ - une MDES optimale peut-elle atteindre les échelles hydrologiques ?



CDFs des variances expliquées

Var. régionales (Pte du Scex), sous-régionales (6 SR), et locales (41 stat°)

Echelle optimale = échelle régionale ...

>> Nécessité d'une désagrégation adjointe

- ré-échantillonnage non paramétrique
- désagrégation stochastique

Limites / difficultés actuelles

4/ - Applicabilité en climat modifié

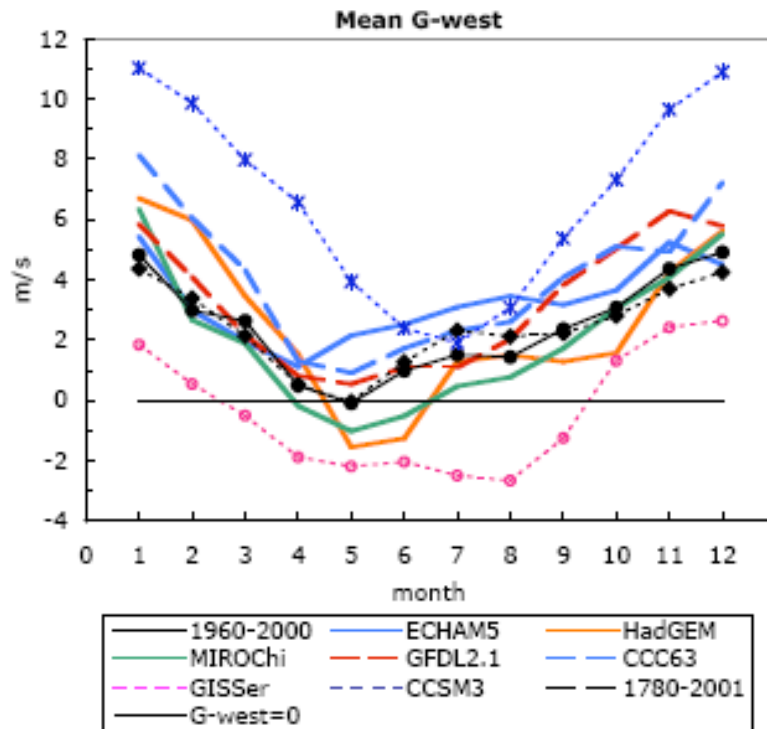
stationnarité du lien d'échelle ? : Quelle identification des structures de MDES peu transposables ??

pertinence des variables explicatives : var. bien simulées par GCMs ?

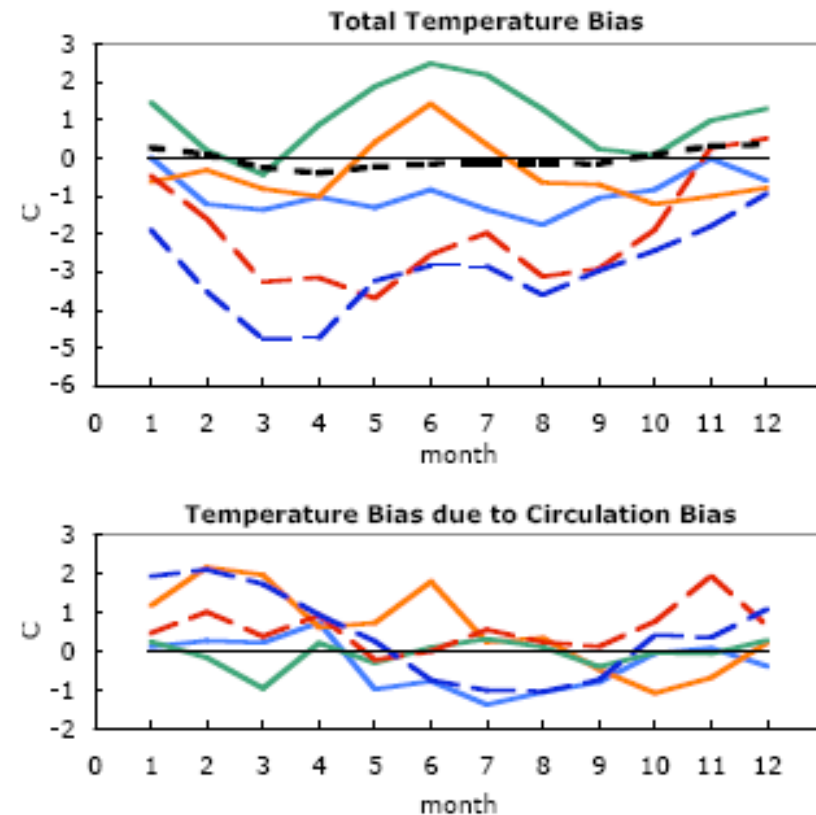
Var porteuses de l'info. climat modifié ?

Vent zonal – Moy. Europe [m/s]

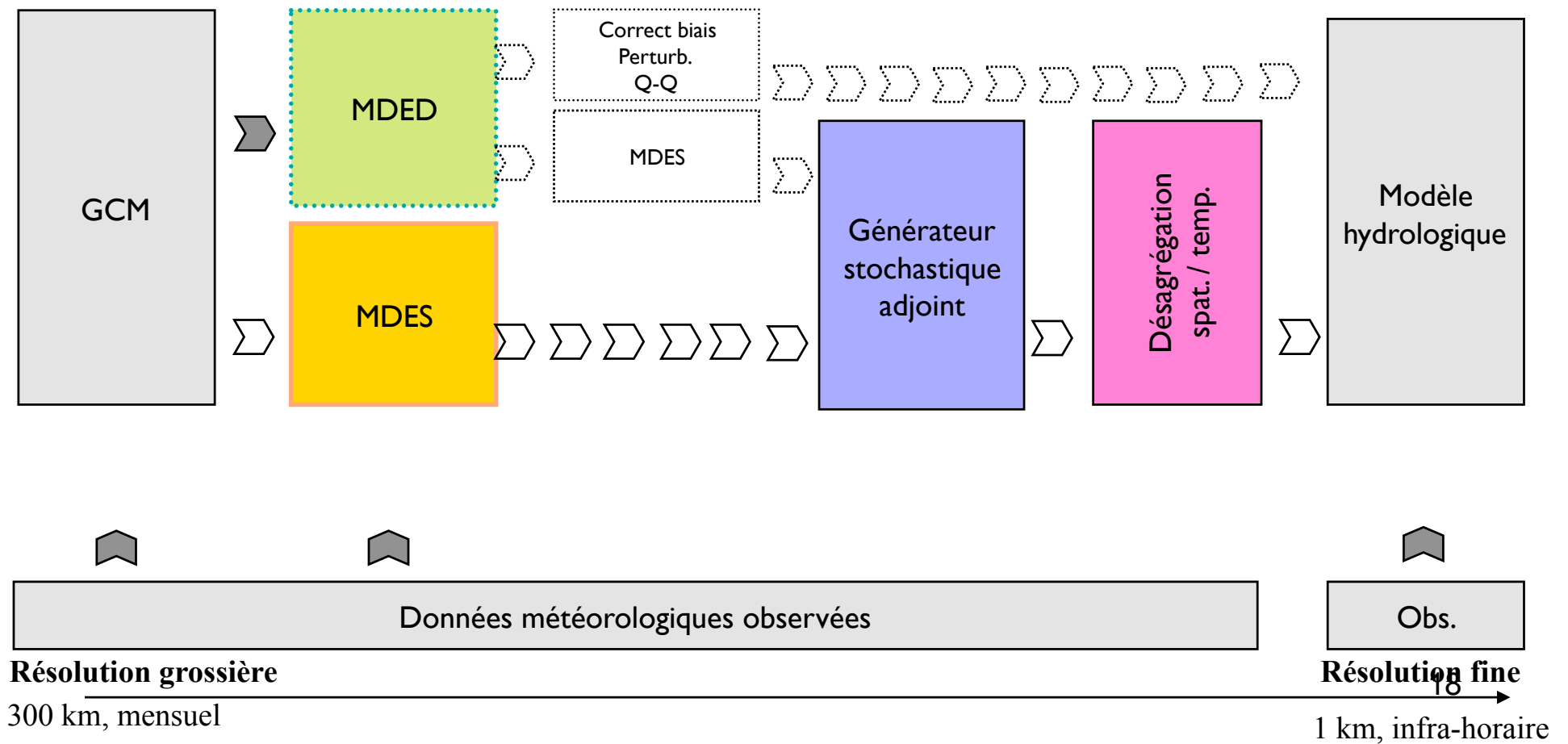
Van Ulden & Van Oldenborgh (ACP, 2006)



Biais / Temp. Moy. [°C]



Perspectives



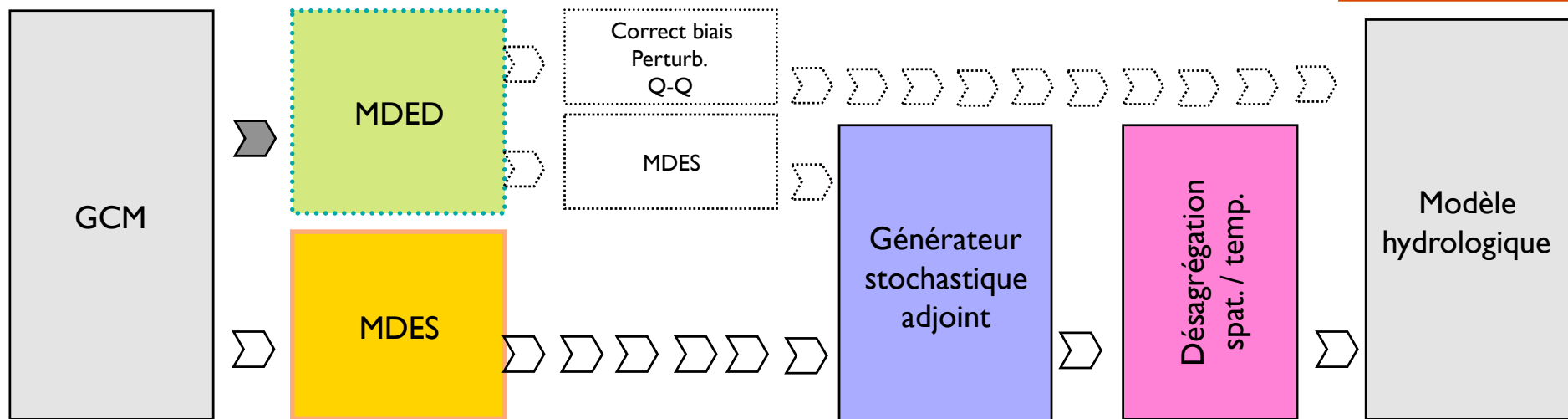
Perspectives

1/ Incertitudes :

- méthodo pour caractérisation / combinaison / propagation ?
- significativité des changements estimés ?

2/ Approches multimodèles Multiscénarios

5/ Cadre d'évaluation hydrologique



3/ Stratégie pour robustesse / stationnarité

4/ Générateurs + désagrégateurs adjoints

Données météorologiques observées

Obs.

Résolution grossière

300 km, mensuel

Résolution fine

1 km, infra-horaire