

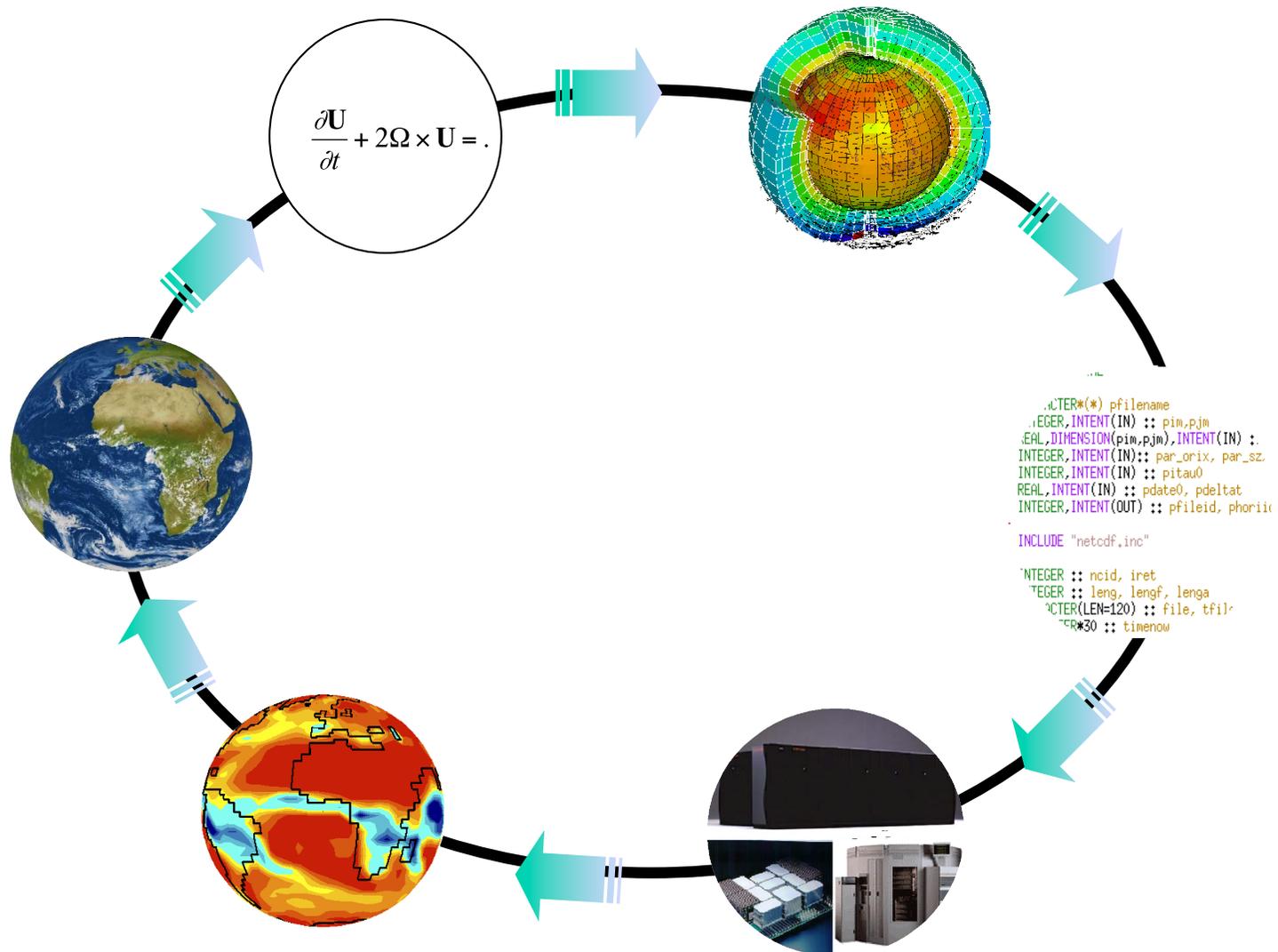
# Modélisation du climat global et régional: progrès et limites

- Principes de base et méthodes
- Défis et pistes de progrès

# Modélisation du climat global et régional: progrès et limites

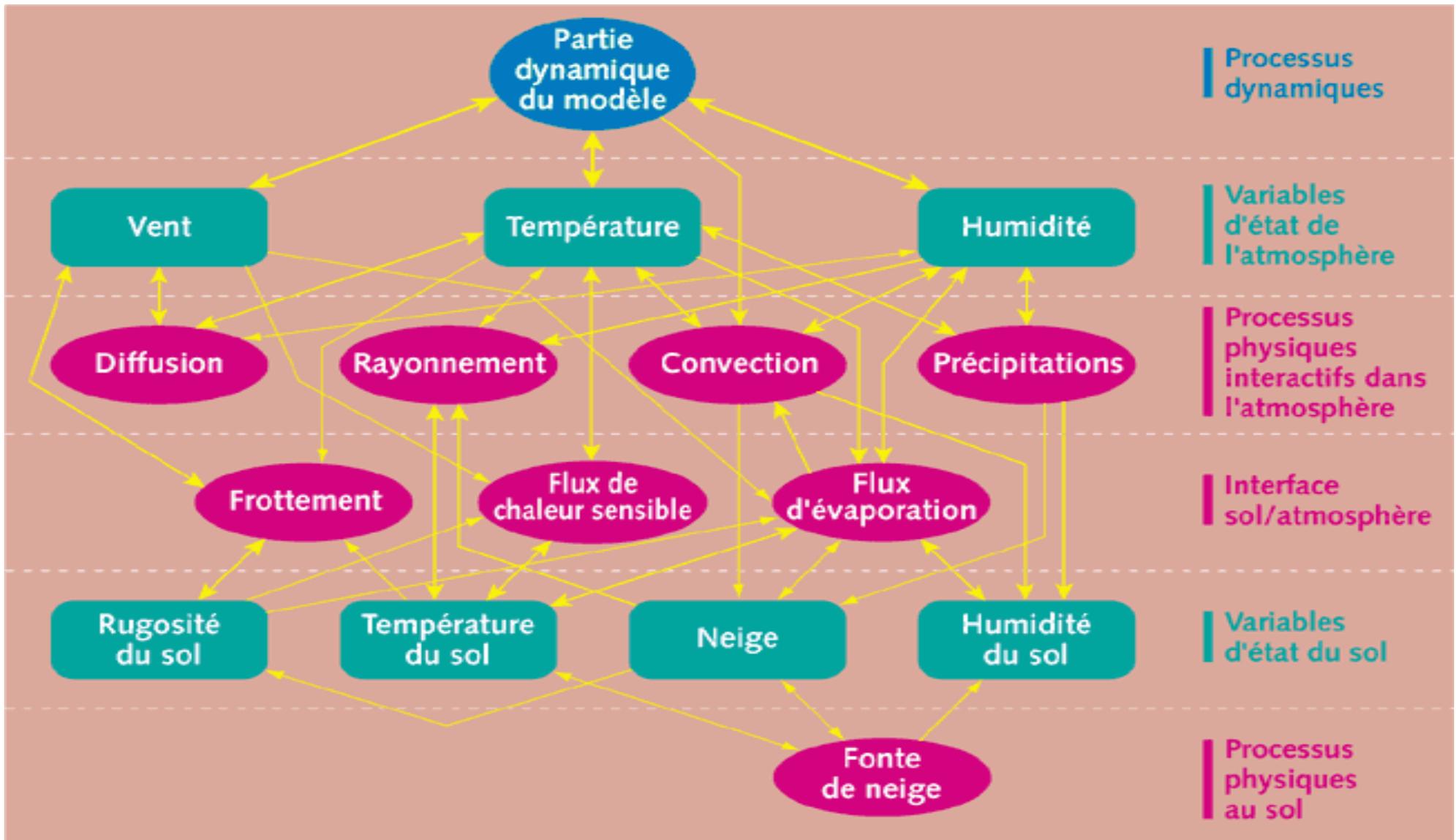
- Principes de base et méthodes
- Défis et pistes de progrès

# Les principes de la modélisation: le cas de l'atmosphère

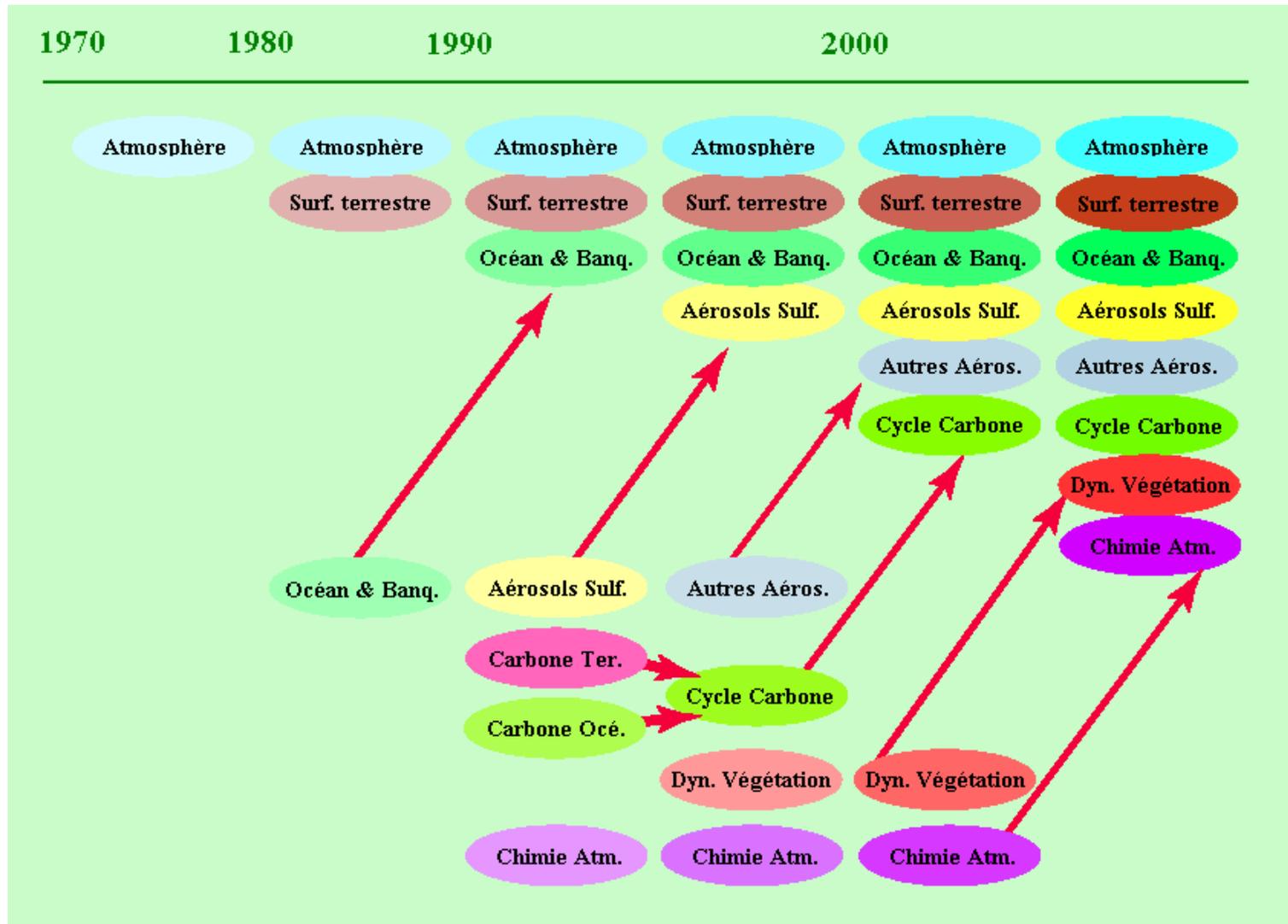


Source: IPSL

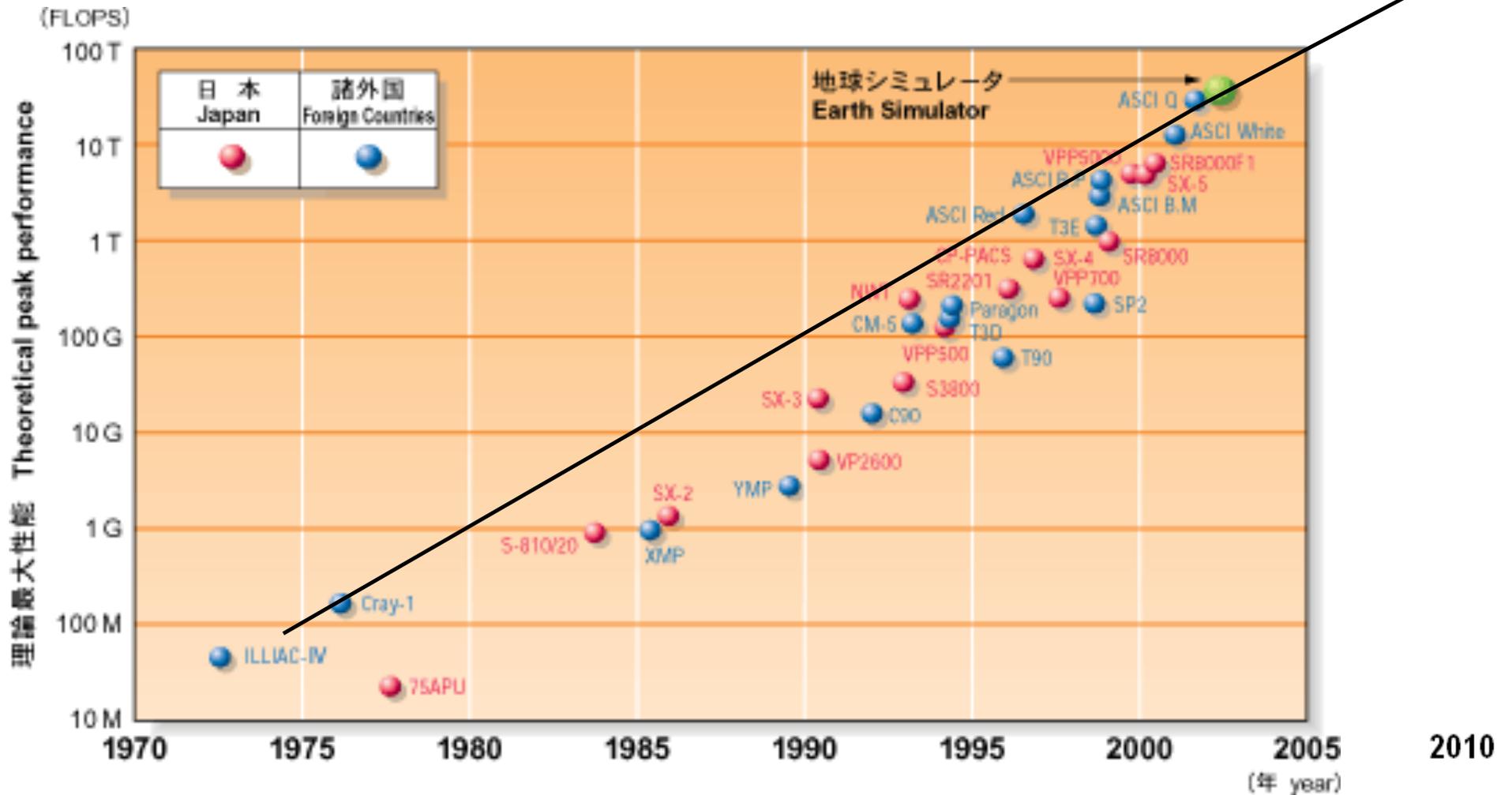
# Complexification : les processus atmosphérique et de surface continentale



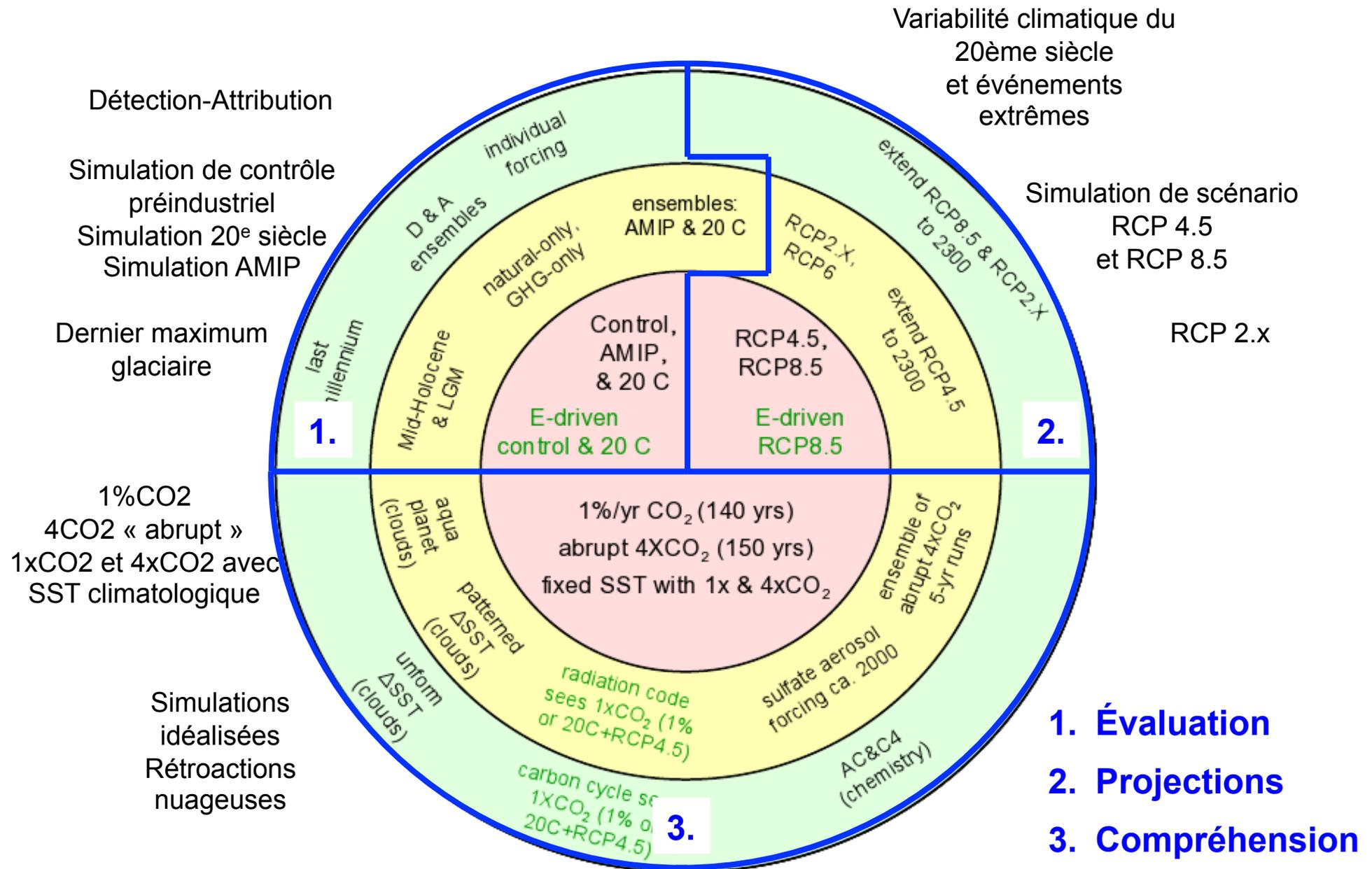
# Complexification: le couplage des composantes du système climatique



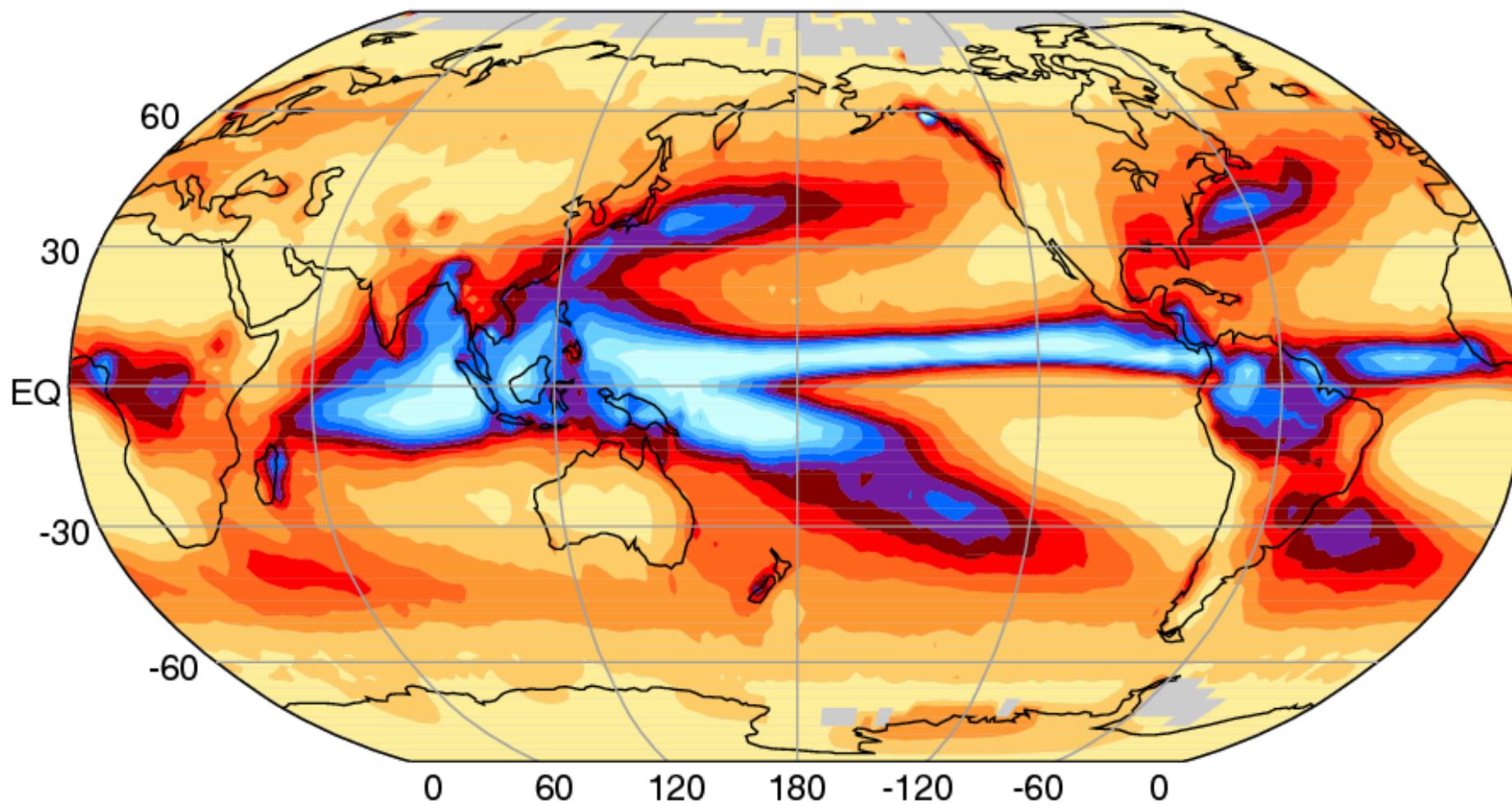
# Calcul: évolution des pics de performances



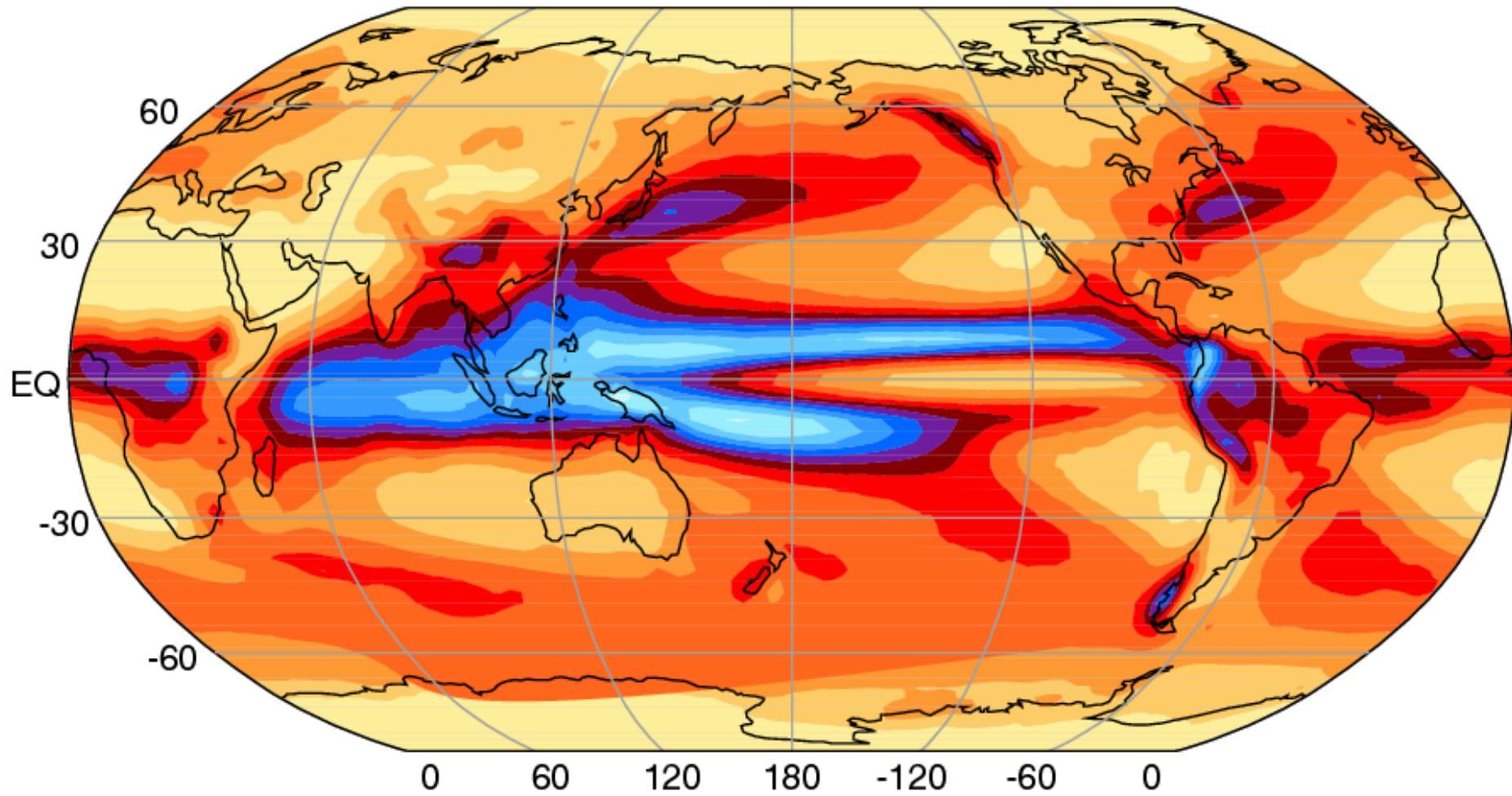
# Évaluation : ensembles de simulations CMIP5 centennales



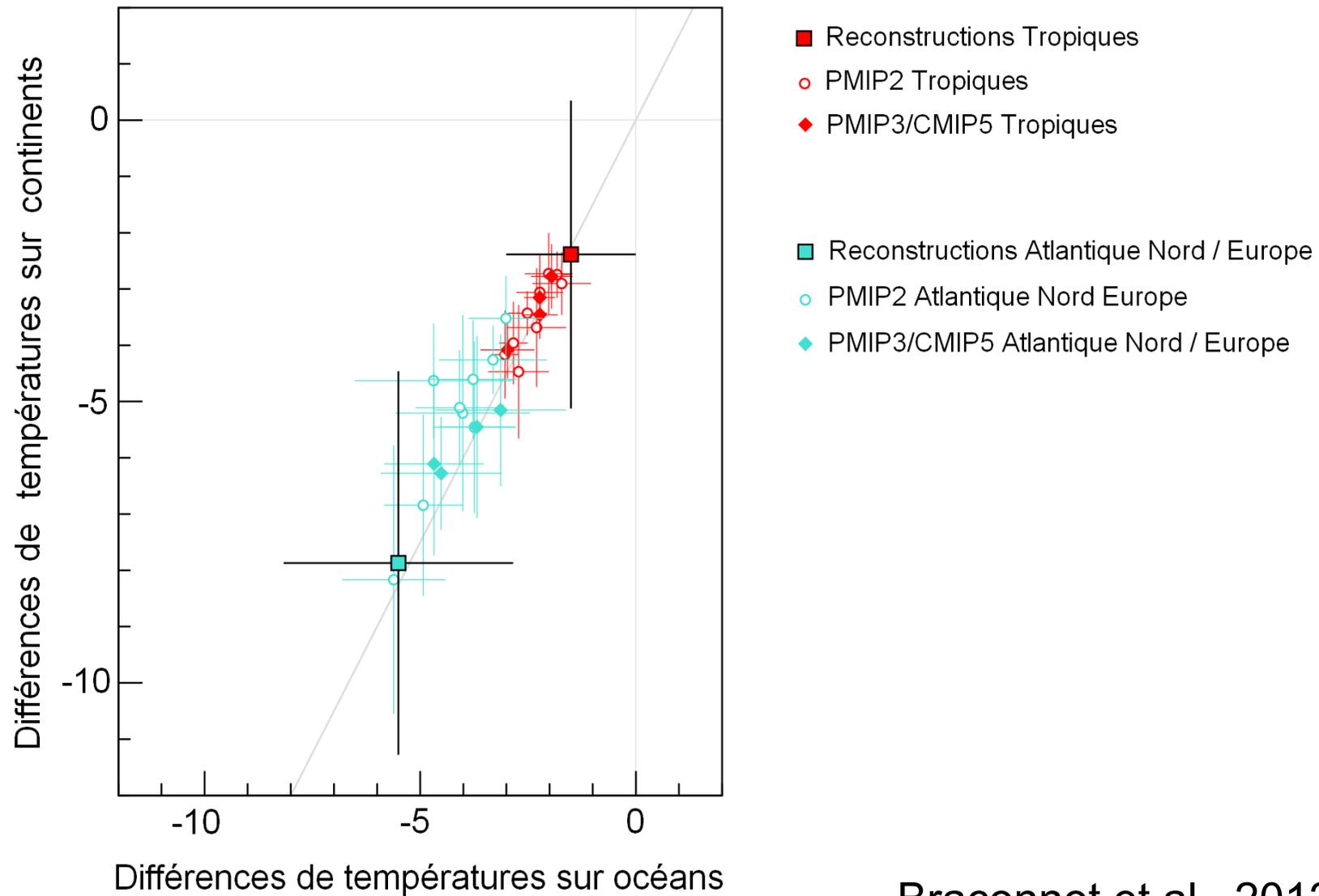
# Précipitations observées (Xie et Arkin, 1980-1999)



# Précipitations simulées (moyenne CMIP3, 1980-1999)



# Simulation du dernier maximum glaciaire comparé à des observations paléoclimatiques



# Évaluation des modèles climatiques

- Les différentes études d'évaluation des modèles climatiques mettent en évidence des erreurs systématiques fréquentes: sous-estimation de l'absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère, basse atmosphère tropicale trop sèche, cycle diurne de la convection, double zone de convergence intertropicale....
- Les sources principales d'erreurs sont dans l'ordre: les « paramétrisations » des processus sous-maille (en particulier physiques), la représentation du relief, la résolution, le traitement numérique des équations.
- La combinaison d'un ensemble de plusieurs modèles permet de produire un meilleur climat moyen et une évaluation de l'incertitude due à la représentation des processus sous-maille. Mais, pour une variable donnée ou dans une région donnée, la combinaison de modèles « choisis » peut être meilleure que la moyenne d'un ensemble plus large.

# Modélisation du climat global et régional: progrès et limites

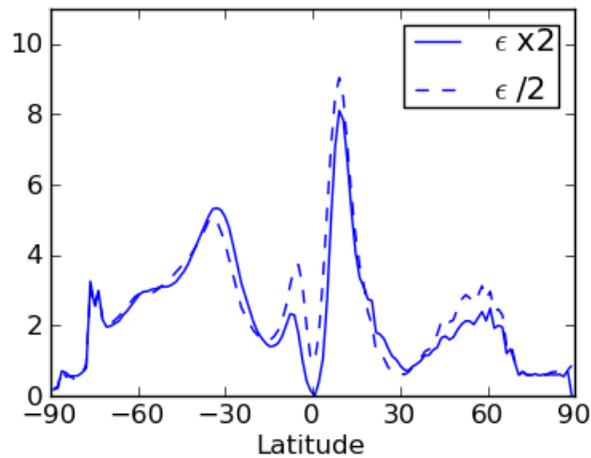
- Principes de base et méthodes
- Défis et pistes de progrès

## Défis et pistes de progrès

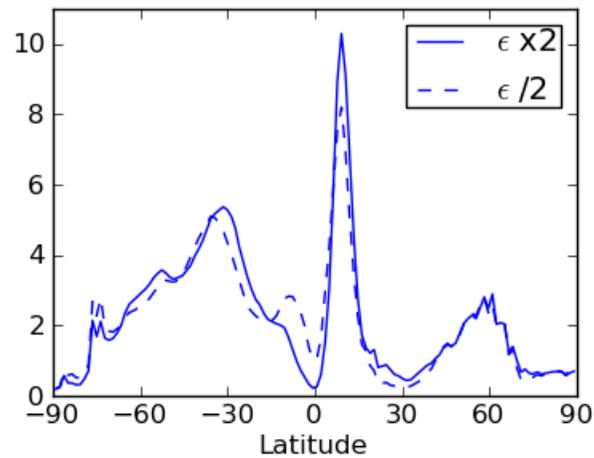
- Complexification :
  - **Défis**: description du fonctionnement du système climatique dans son ensemble, contrôle des rétroactions
  - **Pistes de progrès**: inclusion de nouvelles composantes et de nouveaux processus, hiérarchie de modèles comme outil d'aide à l'interprétation

# Précipitations moyennes zonales simulées par CNRM-CM: sensibilité à l'entraînement d'air dans les nuages convectifs

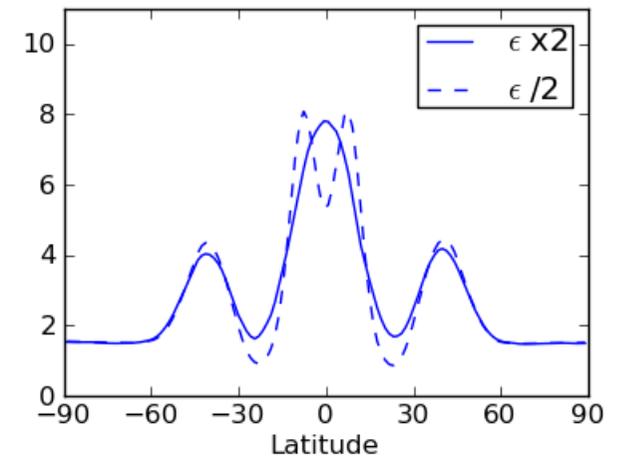
mm/jour



mode couplé CMIP



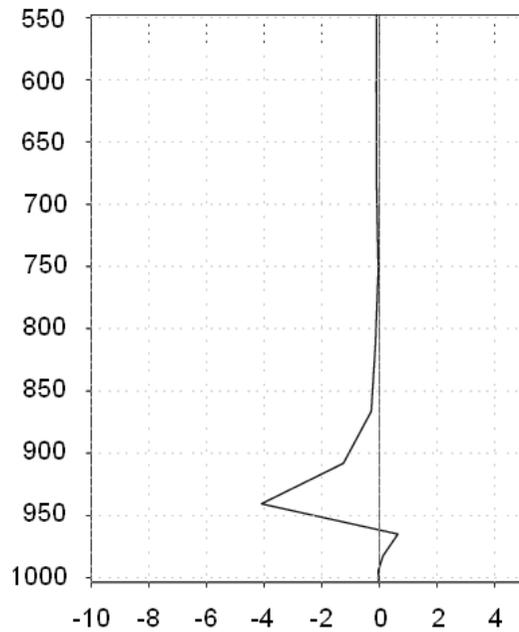
mode non couplé AMIP



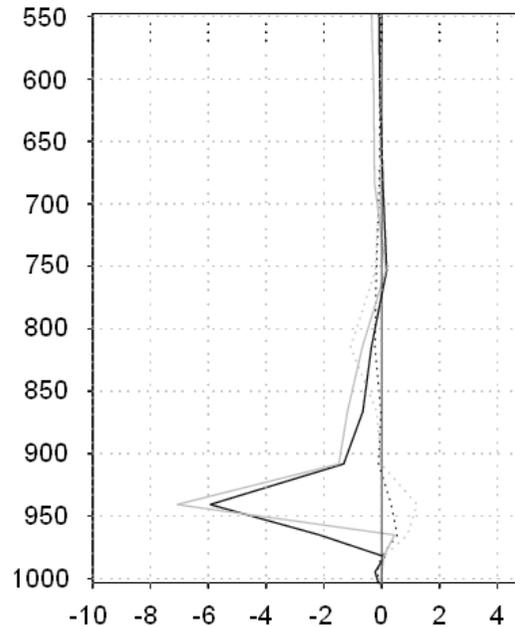
mode aqua-planète

# Changement de fraction nuageuse dans les régions de faible subsidence simulées par IPSL-CM: sensibilité au réchauffement climatique

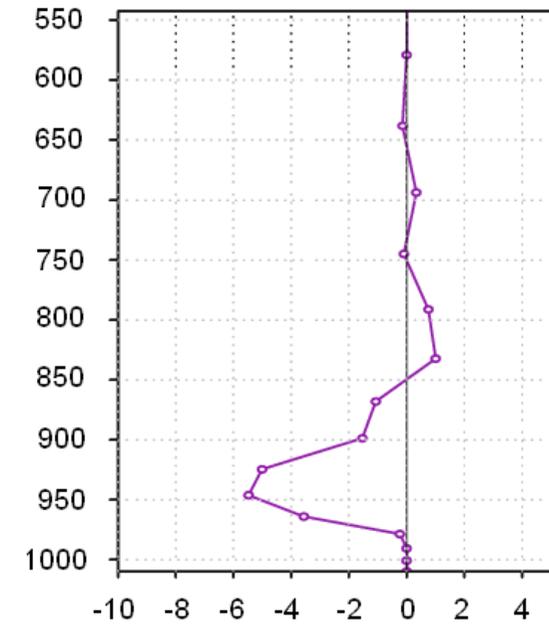
hPa



mode couplé CMIP



mode non couplé AMIP  
mode aqua-planète



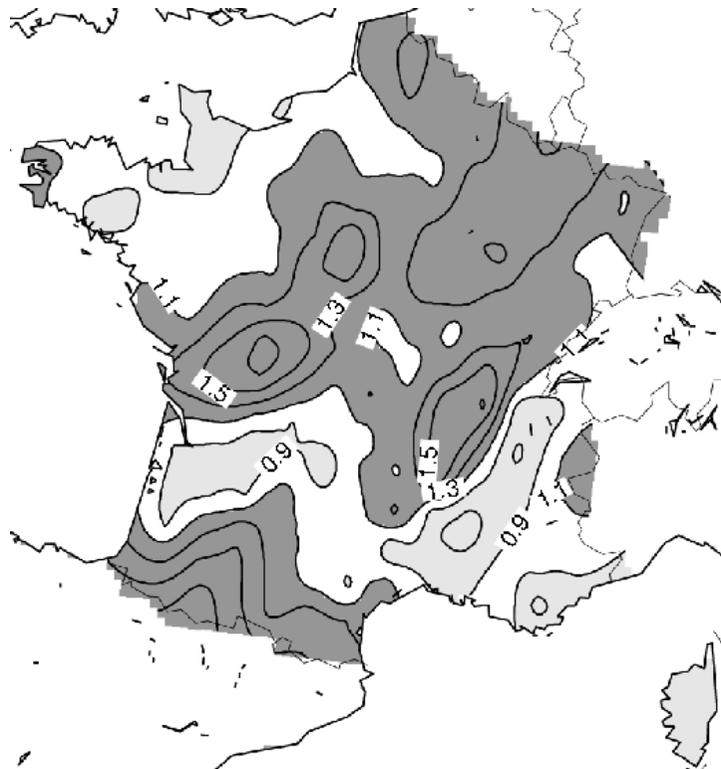
mode 1D

## Défis et pistes de progrès

- Complexification :
  - **Défis**: description du fonctionnement du système climatique dans son ensemble, contrôle des rétroactions
  - **Pistes de progrès**: inclusion de nouvelles composantes et de nouveaux processus, hiérarchie de modèles comme outil d'aide à l'interprétation
- Amélioration de la résolution :
  - **Défis**: simulation des extrêmes climatiques, partie « physique » adaptée à la résolution
  - **Pistes de progrès**: intercomparaison à l'échelle régionale (CORDEX), modèles « imbriqués » (du couplé global jusqu'au non hydrostatique)

# Quantile 99,9 de la pluie d'été: rapport entre la simulation et l'observation

ALADIN-climat 56km



ALADIN-climat 12km

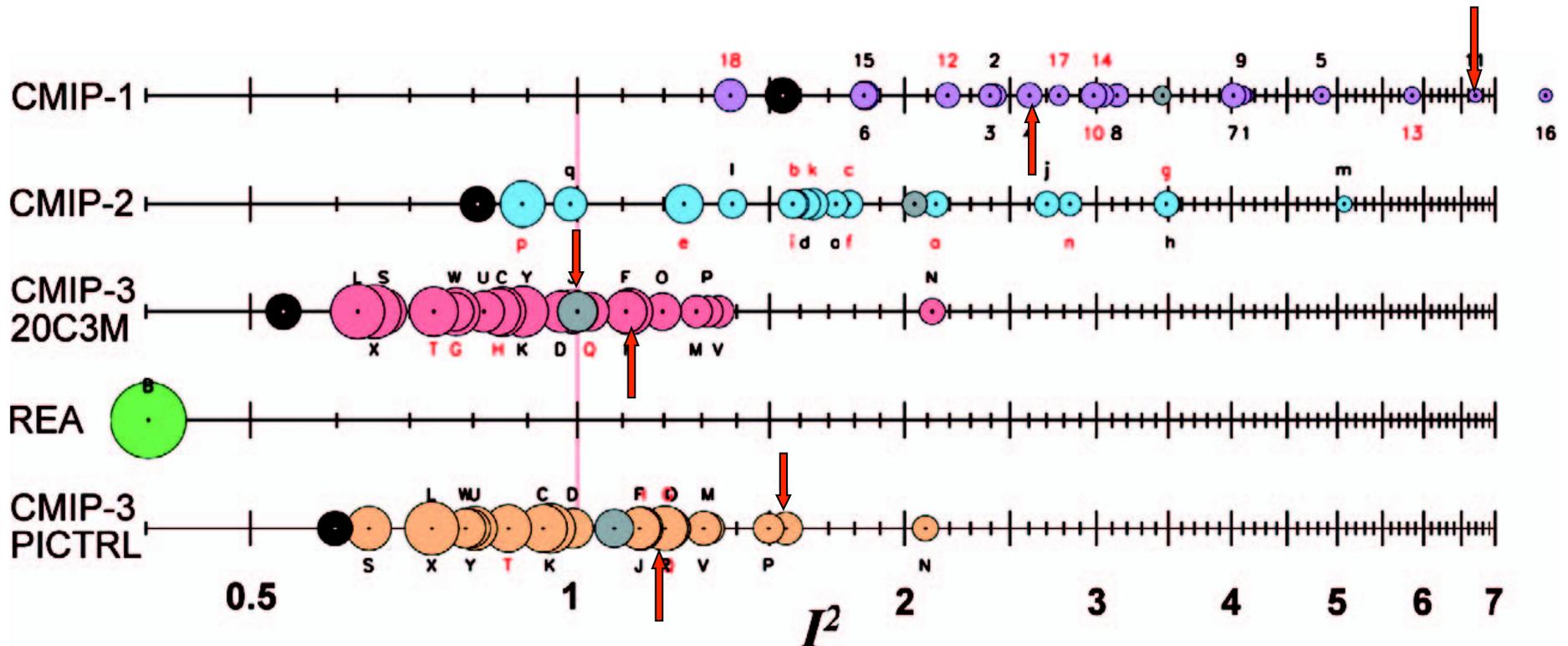


## Défis et pistes de progrès

- Calcul:
  - **Défis**: adaptation des codes aux machines massivement parallèles
  - **Piste de progrès**: accès à de nouveaux calculateurs (PRACE), réécriture des « cœurs dynamiques »
- Évaluation et incertitudes:
  - **Défis**: réduction des erreurs systématiques, construction de métriques pertinentes, évaluation des incertitudes à toutes les échelles
  - **Piste de progrès**: nouveaux ensembles de données (campagnes de mesure, traitement de données d'archives, réanalyses sur des périodes plus longues et à des échelles plus fines, ...), nouveaux ensembles multimodèles, prise en compte de la variabilité stochastique, ...

## Métriques d'ensembles de simulations

Indice de performance sur des variables atmosphériques continentales et océaniques simulées par les modèles des ensembles CMIP1-3 comparés à une référence



# Scores de prévisions probabilistes mensuelles et saisonnières d'évènements climatiques globaux: comparaison de différentes méthodes de génération d'ensembles

Mensuelles	T2m				Precipitation			
	May		Nov		May		Nov	
	Cold	Warm	Cold	Warm	Dry	Wet	Dry	Wet
Lead time: 1 month								
CTRL	0.147	0.148	0.126	0.148	0.044	0.061	0.058	0.075
MME	0.178	<b>0.195</b>	0.141	0.159	0.085	0.079	0.080	0.099
PPE	0.059	0.054	-0.012	0.033	0.031	0.009	0.031	0.000
SPE	<b>0.194</b>	0.192	<b>0.149</b>	<b>0.172</b>	<b>0.104</b>	<b>0.118</b>	<b>0.095</b>	<b>0.114</b>

Saisonnieres	T2m				Precipitation			
	JJA		DJF		JJA		DJF	
	Cold	Warm	Cold	Warm	Dry	Wet	Dry	Wet
Lead time: 2–4 months								
CTRL	-0.024	-0.002	-0.011	0.063	-0.032	-0.020	0.037	0.042
MME	<b>0.084</b>	<b>0.082</b>	<b>0.037</b>	<b>0.090</b>	0.023	0.030	0.041	0.039
PPE	0.004	0.046	-0.001	0.064	0.013	0.006	<b>0.046</b>	0.035
SPE	0.059	0.054	0.019	0.076	<b>0.037</b>	<b>0.037</b>	0.040	<b>0.062</b>

CTL: un seul modèle  
MME: multi-modèles  
PPE: multi-physiques  
SPE: stochastique

# Conclusion

- Des approches communes avec d'autres domaines ?
  - **Traitement de la complexité**: représentation des interactions entre les processus et entre les composantes, hiérarchie de modèles de différents niveaux de complexité, ...
  - **Traitement d'un système**: études de sensibilité à des perturbations, construction de scénarios d'évolution, ...
  - **Traitement des interactions d'échelle (spatiales)**: du local au global (paramétrisations, cartographie des paramètres, ...) et du global au local (régionalisation, descente d'échelle, ...)
  - **Traitement des incertitudes**: ensembles de simulations, inclusion de composantes « stochastique » dans les modèles, ...

# Conclusion

- Une approche singulière dans le domaine du climat ?
  - **L'évaluation**: utilisation d'un large spectre d'observations (in-situ, satellites), multi-échelles spatiales (du local au global), multi-échelles temporelles (de l'intra-saisonnier au paléo-climat), aux différents étage de l'assemblage du système (du processus à l'ensemble couplé), ...
- ... même si cette évaluation demeure insuffisante sur de nombreux aspects (sous-emploi de certaines observations, découplage entre l'évaluation et le contexte d'application, ...)