

# Développement et Evaluation des PHYsiques des modèles atmosphériques

Catherine Rio<sup>1</sup>, Frédéric Hourdin<sup>2</sup>, Fleur Couvreur<sup>1</sup>, Romain Roehrig<sup>1</sup>,  
Frédérique Cheruy<sup>2</sup>, Quentin Libois<sup>1</sup>, Yves Bouteloup<sup>1</sup>,  
Jean-Louis Dufresne<sup>2</sup>, Guylaine Canut<sup>1</sup>, Marie-Pierre Lefebvre<sup>1</sup>

pour

le Groupement De Recherche  
**DEPHY**

<sup>1</sup> *Centre National de Recherches Météorologiques, Toulouse, France*

<sup>2</sup> *Laboratoire de Météorologie Dynamique , Paris, France*

**Journées CLIMERI**

*3 février 2022 - Visio-conférence*



# DEPHY : Développement et Evaluation des PHYsiques des modèles atmosphériques

Près de **20 ans** de collaboration autour du développement des paramétrisations physiques

## Objectifs

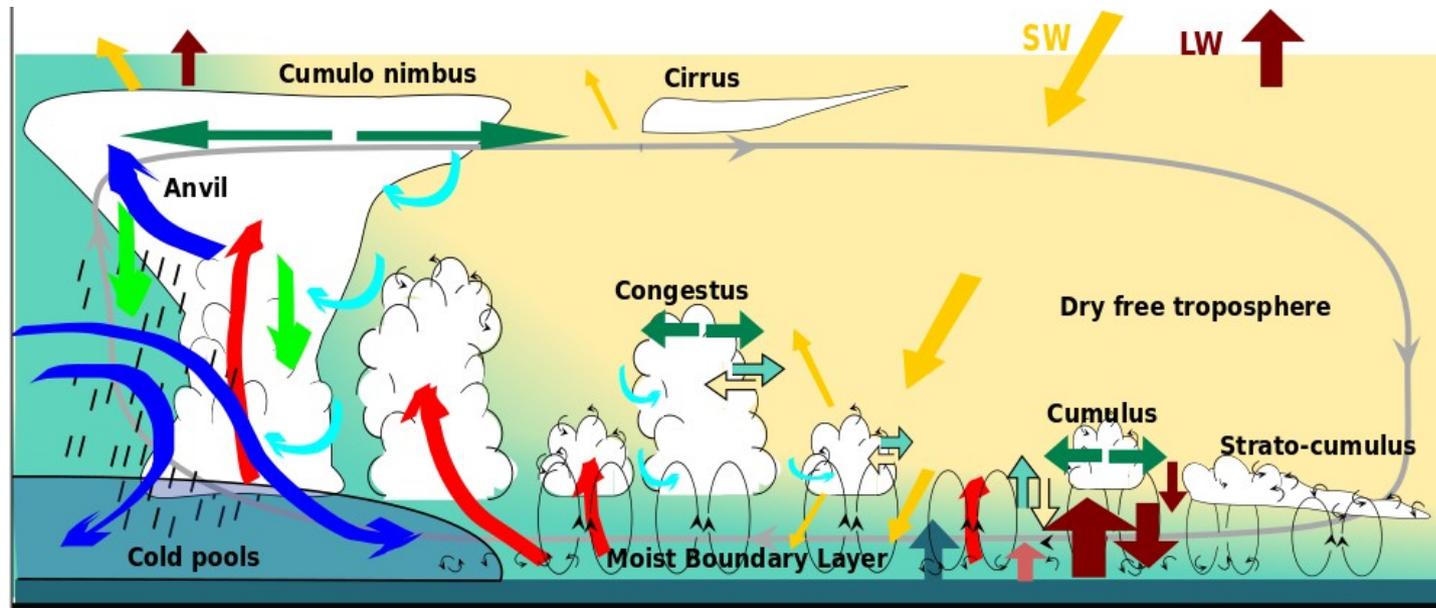
- Favoriser le **rapprochement** des communautés de l'observation, de la modélisation haute résolution, de la prévision du temps et du climat autour de l'amélioration des paramétrisations,
- Coordonner la **mutualisation** des codes, des outils, des méthodologies au sein de la communauté française de développement des modèles,
- Aboutir à des **améliorations** tangibles et significatives des systèmes de prévision du temps et de modélisation du climat.

Une soixantaine de personnes de 11 laboratoires différents :  
CNRM, LMD, LAERO, LOA, LaMP, Laplace, LSCE, IGE, LOPS, Metis, IPSL

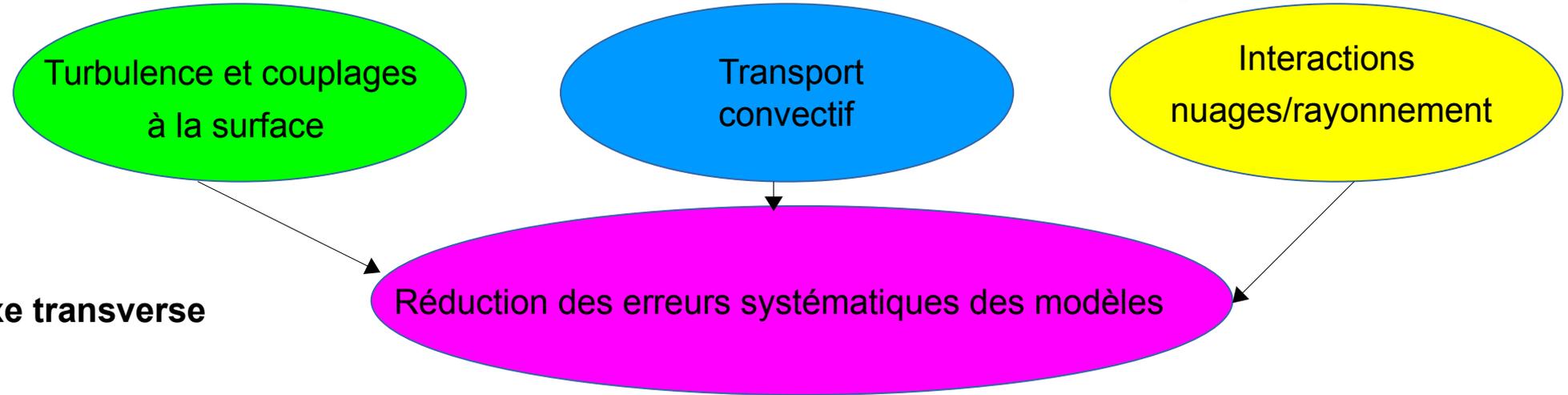
Une réunion annuelle aux Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère  
*Banyuls, 2014*                      Des ateliers de travail                      *Banyuls, 2017*



# Les processus à paramétriser dans les modèles de prévision et de climat



DEPHY  
3 thèmes

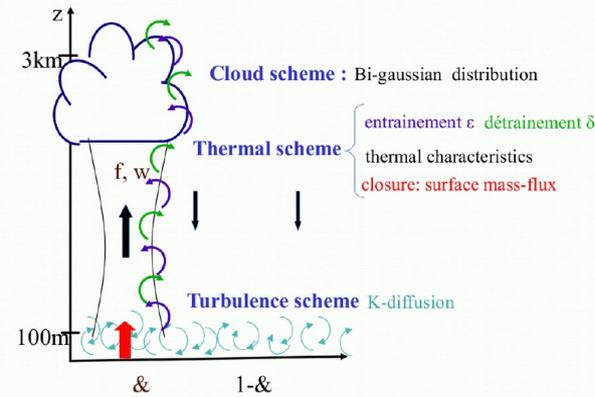


1 axe transverse

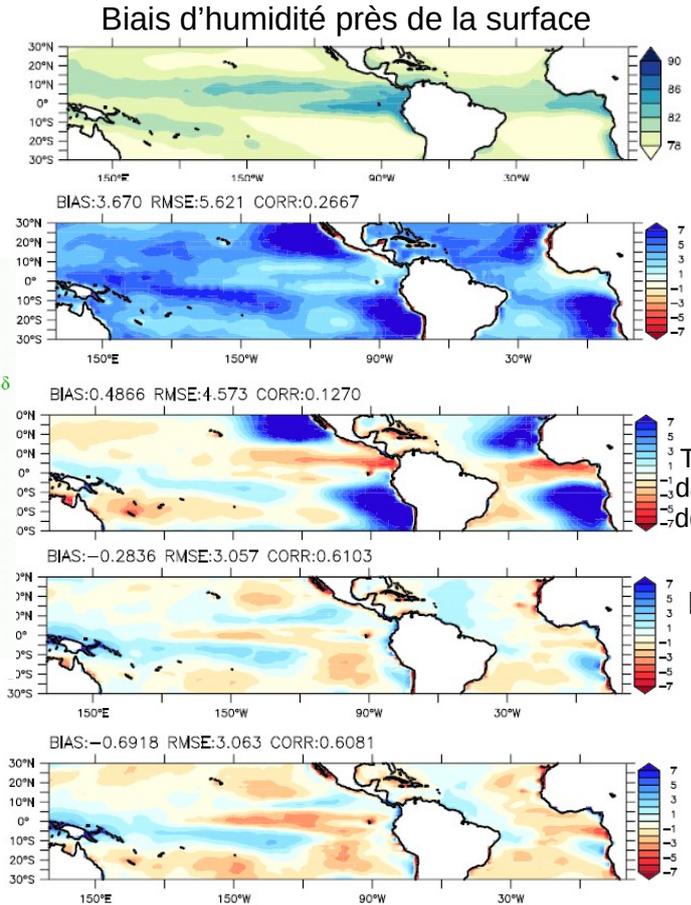
# La réduction des biais systématiques passe par l'amélioration des paramétrisations physiques

## Le modèle du thermique

Représentation du transport non local au sein de la couche limite convective et des cumulus associés



Rio et Hourdin, 2008  
 Rio et al., 2010  
 Hourdin et al., 2019



OBS

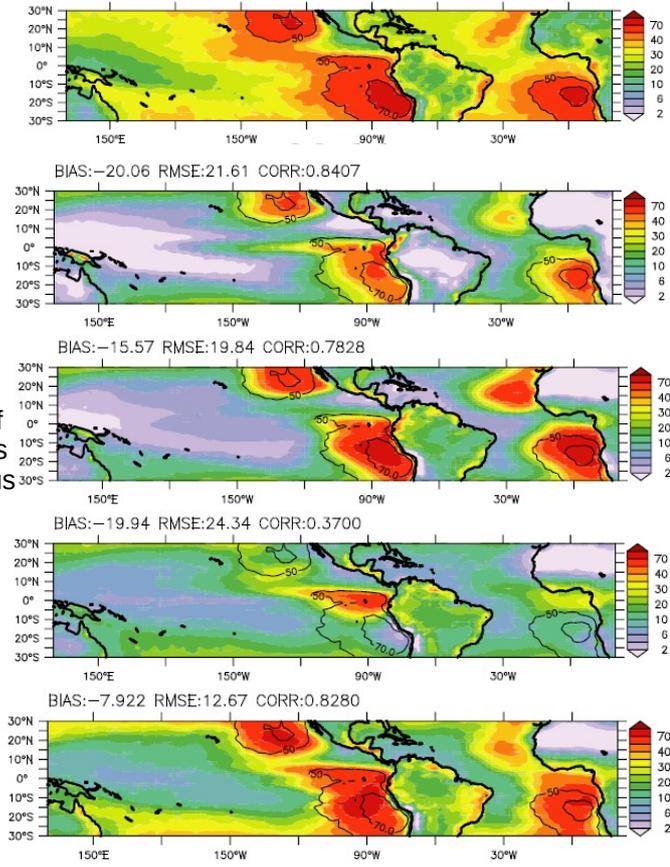
LMDZ5A  
 Sans  
 thermique

LMDZ5B  
 Thermique sauf  
 dans les régions  
 de stratocumulus

LMDZ6A.0  
 Thermique  
 partout

LMDZ6A  
 Thermique  
 + adaptation  
 stratocu

## Couverture nuageuse basse



Hourdin et al., JAMES, 2020

**Modèle du thermique** → Assèchement de la surface → Amélioration de la représentation du flux latent en forcé, notamment du contraste entre les zones de bord est et le reste des Tropiques → **diminution du biais de SST sur les bords est des océans en couplé**

Impact aussi important que l'effet radiatif des nuages bas

# Paramétrisations et biais systématiques des modèles de CMIP5 à CMIP6

Développement de paramétrisations	Améliorations dans les modèles
<b>Transport non-local</b> dans la couche limite convective	Echanges surface/troposphère libre et impact sur la distribution de vapeur d'eau, traceurs et de quantité de mouvement ; cycle diurne des vents en surface et soulèvement des poussières ; flux latent ; SST
Associé à une meilleure représentation de la <b>diffusion de l'eau dans la surface</b>	Humidité du sol/ évaporation/ précipitations sur continent
<b>Schéma de nuages</b> bas et hypothèses de <b>recouvrement</b>	Couverture nuageuse basse et effets radiatifs
<b>Turbulence en conditions stables</b>	Meilleures inversions de température en Antarctique
Améliorations du schéma de la <b>convection profonde</b>	Distribution des pluies journalières, phasage du cycle diurne des précipitations continentales
Meilleure <b>formalisation du tuning</b> des paramètres	Meilleures climatologies générales, notamment pour les flux radiatifs

## Les biais persistants :

- Moyenne et variabilité des pluies tropicales (moussons, MJO, contrastes océan/continent ...)
- Nuages hauts
- Compensations d'erreurs entre couverture nuageuse et rayonnement
- Biais froid en haute troposphère
- Climat polaire, flux de surface sur la banquise
- Rayonnement SW en ciel clair

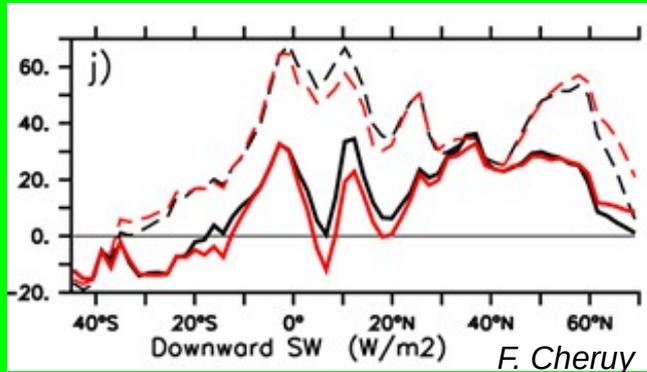
Convection profonde et précipitations  
Nuages détrainés de la convection  
Nuages de phase mixte  
Rayonnement  
Turbulence

# Thème 1 : Turbulence et couplages à la surface

## Bilan d'énergie à la surface et couplages

- Forte dépendance aux biais d'énergie à la surface

Biais de rayonnement SW descendant à la surface (moyenne zonale, continents, référence : CERES-EBAF)



ORC11  
ORC2

LMDZ5  
-----  
LMDZ6  
\_\_\_\_\_

- Albedo sur surface enneigée (montagnes, plaines, calottes)
- Neige soufflée (vents catabatiques)
- Prise en compte de nouvelles sources de tke (orographie, bosquets, ...)

## Prise en compte de l'effet des hétérogénéités sous-maille sur les flux de surface

- Effets des rafales sur les flux de surface (ANR COCOA)
- Hétérogénéités sur la banquise (mares de fonte)
- Effets des hétérogénéités de surface sur la mesure et l'évaluation des modèles

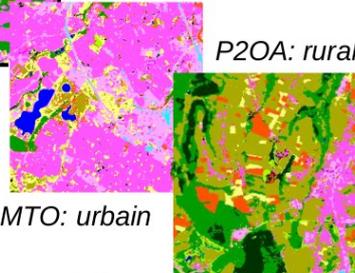
ANR MOSAI  
2021-2025

1 EOP par site ACTRIS-FR flux		
METEOPOLEFLUX	SIRTA	P2OA
2020-2021	2021-2022	2022-2023

SIRTA: péri-urbain



P2OA: rural



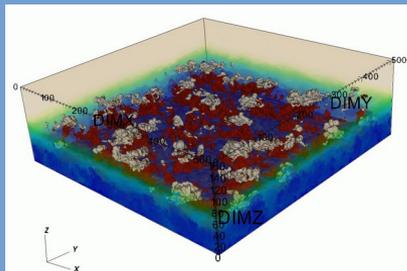
MTO: urbain



# Thème 2 : Transport convectif

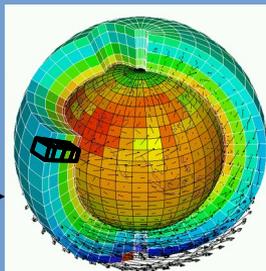
## Convection peu profonde et transitions

- Evaluation des modèles sur tous les cas 1D disponibles (format commun, atlas) à partir de simulations LES de référence (MESO-NH)
- Analyse orientée objet des simulations LES pour guider le développement de paramétrisation
- Transitions stratocumulus/cumulus, cumulus/cumulonimbus



Simulation LES  
MESO-NH

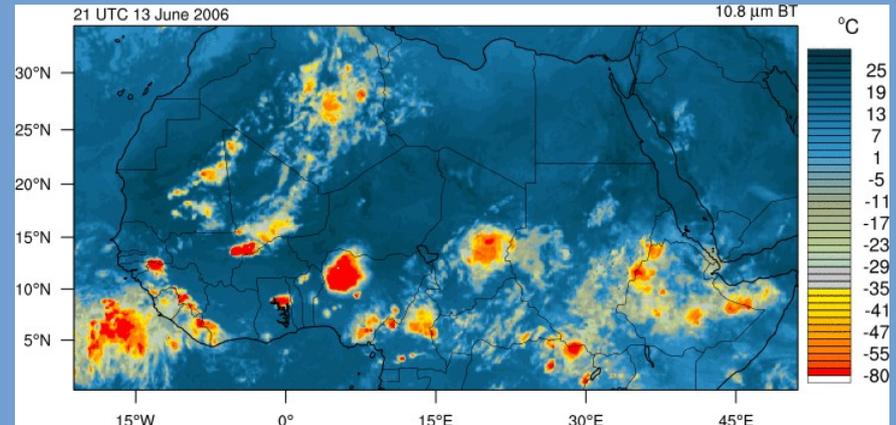
mêmes forçages  
Format commun  
DEPHY



GCM en mode  
unicolonne

## Systèmes convectifs organisés à Meso-échelle

- Paramétrisation des poches froides de Grandpeix et Lafore (2010)
- Propagation horizontale des systèmes
- Nuages détrainés de la convection et de leurs effets radiatifs
- Analyses CRM grands domaines
- Evaluation à partir de la caractérisation des systèmes par données satellite



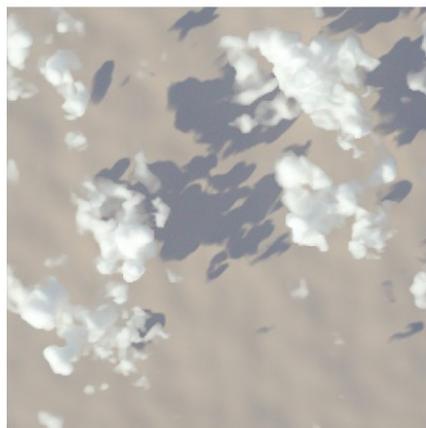
Simulation MESONH à 2.5km – J.-P. Chaboureau

# Thème 3 : Interactions nuages/rayonnement

## Modélisation du transfert radiatif en atmosphère nuageuse

- Réappropriation et évaluation des codes de rayonnement (ECRaD)
- Prise en compte des effets radiatifs 3D
- Réalisation de simulations radiatives de référence de scènes nuageuses 3D à partir de méthodes Monte-Carlo appliquées à des simulations LES

Visualisation type image satellite

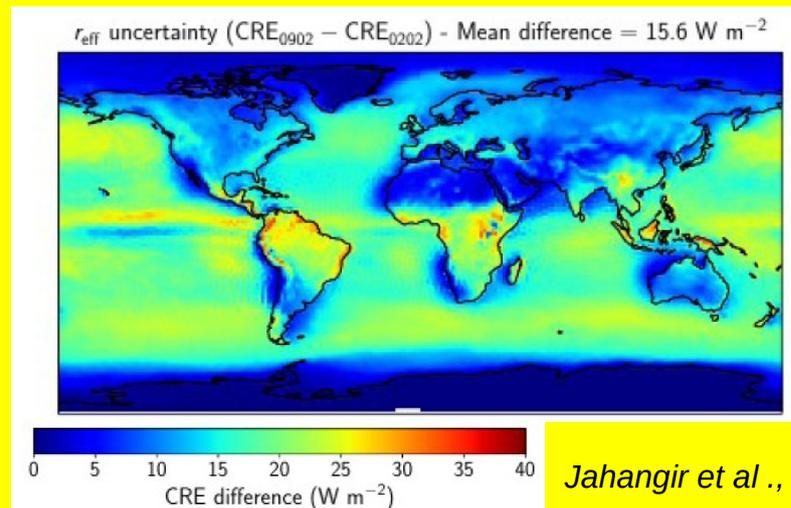


*htrdr, the Monte Carlo radiative transfer simulator  
Villefranque et al. (2019)-  
Mesostar*

## Propriétés macro- et microphysiques des nuages

- phases de l'eau, contenu en eau condensée, couverture nuageuse
- Propriétés de diffusion simple
- Hypothèses de recouvrement vertical, variabilité horizontale
- Taille des nuages, organisation spatiale

Impact de la distribution de tailles des gouttes sur le CRE dans CNRM-CM6



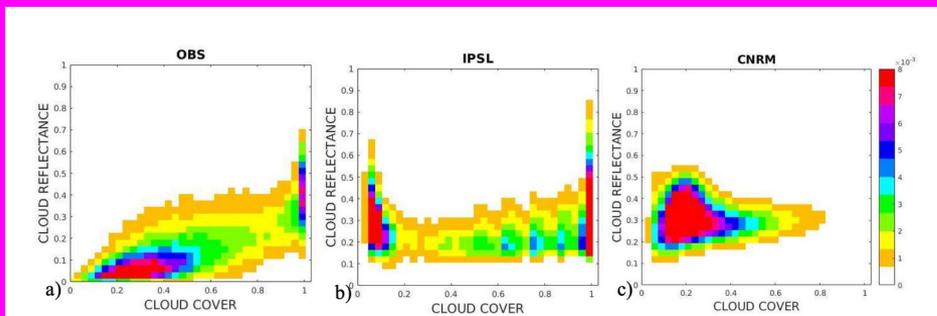
Jahangir et al., 2021

# Axe transverse : Réduction des erreurs systématiques des modèles

## Documenter les biais dans les versions successives des modèles

- Batterie de cas 1D
- Comparaisons des modèles aux données sur sites
- Climatologies, scores
- Diagnostics orientés processus

Biais too few/too bright des nuages bas

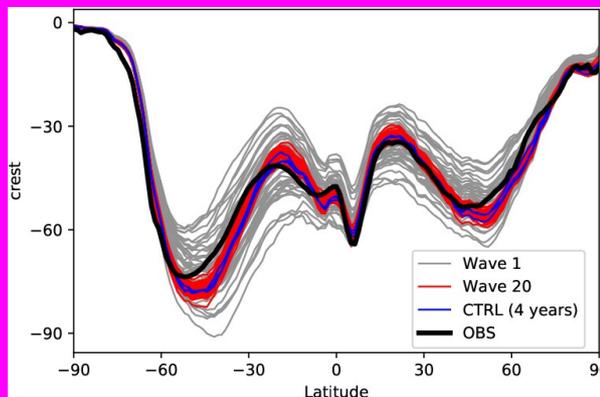


*Konsta et al., 2022*

## Comprendre l'origine des biais

- Hiérarchie de configurations
- Tests de sensibilité
- Distinguer le rôle des paramétrisations physiques et celui du tuning des paramètres
- Apport décisif des nouveaux outils de tuning automatique

Moyenne zonale annuelle de l'effet radiatif SW des nuages



*Hourdin et al., 2021*

Noir : observation EBAF  
Bleu : contrôle CMIP6  
10 années  
Gris : tirage aléatoire  
avant tuning  
Rouge : tirage aléatoire  
après tuning 1D  
Ensembles aléatoires  
de 45 simulations de 2  
ans.  
Moyennes sur l'année 2

## Liens DEPHY - CLIMERI

Autour des **outils** :

- Maintien et partage des outils

Format commun 1D/LES, simulations LES de référence, algorithme de détection d'objets 3D, outil de tuning automatique, ...

- Centralisation et partage des jeux de données observationnelles pour évaluations systématiques

Autour des **paramétrisations physiques** :

- Les paramétrisations physiques sont au coeur de toute analyse climatique : flux turbulents, convectifs, radiatifs, nuages, pluies, rafales, ...

- Articulation développements de paramétrisations et analyse des simulations climatiques

- Quelle stratégie autour de la réduction des biais des modèles ?

Liens biais/paramétrisations, Liens modèles forcés/modèles couplés

- Formation autour des paramétrisations physiques, organisation d'une école d'été ?

- La place des paramétrisations physiques dans la communauté

Face aux promesses de la haute résolution et l'apprentissage machine, le besoin de ré-affirmer le **rôle central des paramétrisations physiques dans la compréhension et la modélisation du climat**