

Un outil de tuning orienté processus développé dans le projet High-Tune

F Couvreur, F Hourdin, R Roehrig, D Williamson, N
Villefranque, C Rio et le groupe High-Tune

La calibration d'un modèle atmosphérique

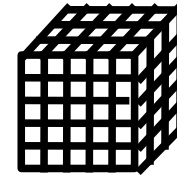
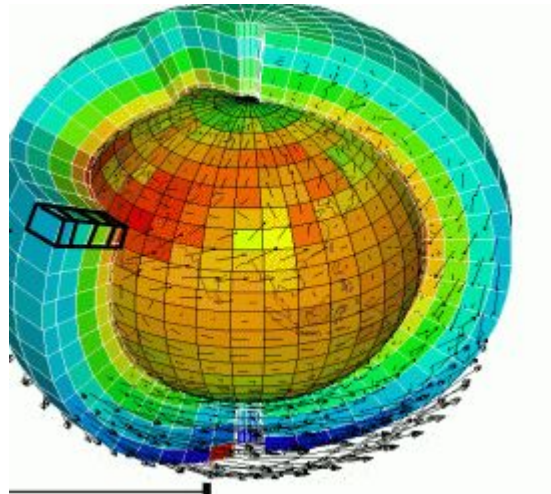
Un modèle atmosphérique

Coeur dynamique

$$\frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = \mathcal{D}(\mathbf{x}) + \sum_p \mathcal{P}_p(\mathbf{x}(\lambda_p))$$

paramétrisations

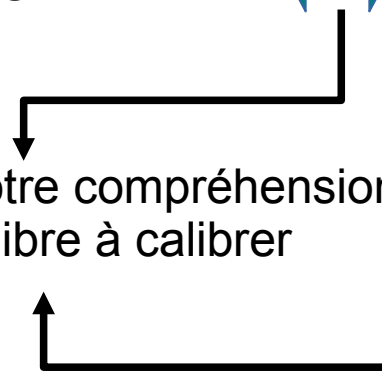
\mathcal{P}_p : reflet de notre compréhension des processus
 λ_p = paramètre libre à calibrer



LES



SCM



La calibration d'un modèle atmosphérique

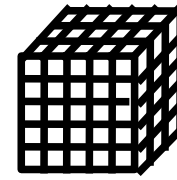
Un modèle atmosphérique

Coeur dynamique

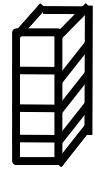
$$\frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = \mathcal{D}(\mathbf{x}) + \sum_p \mathcal{P}_p(\mathbf{x}(\lambda_p))$$

paramétrisations

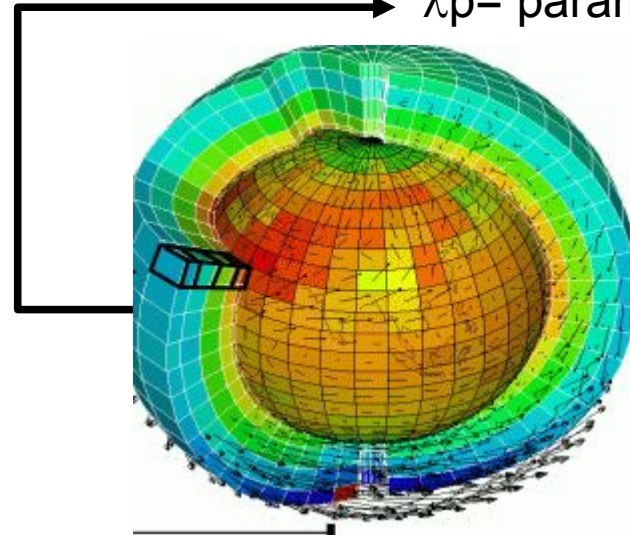
\mathcal{P}_p : reflet de notre compréhension des processus
 λ_p = paramètre libre à calibrer



LES



SCM



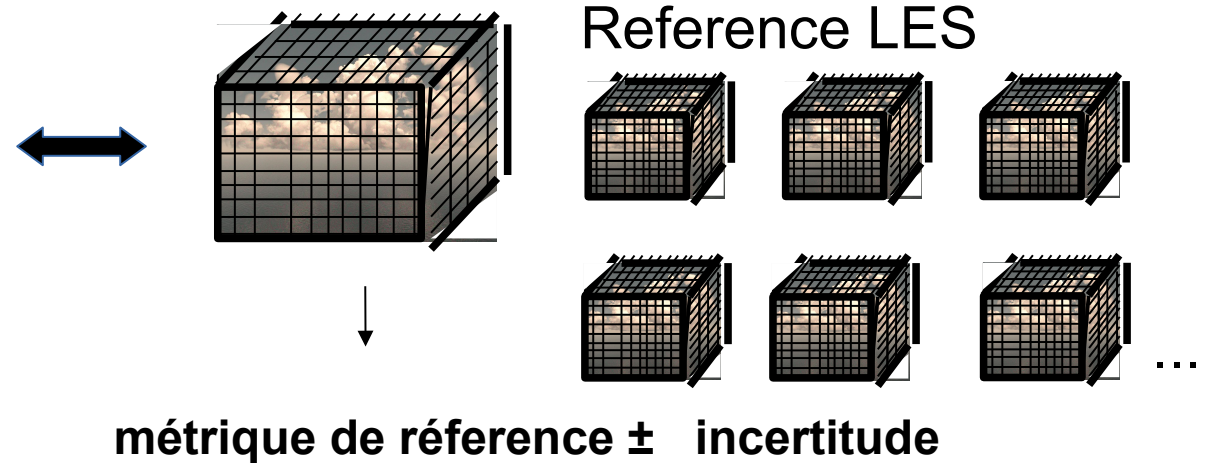
Calibration globale :
- métriques radiatives
- étape clé peu documentée (Hourdin et al 2017)
- processus d'optimisation

Approche

Construire un outil de calibration utile pour le développement de paramétrisation s'appuyant sur la Comparaison 1D/LES => orienté processus
Exploiter les méthodes de la communauté de la Quantification des Incertitudes (History Matching)
Attaquer conjointement calibration & développement de paramétrisation

Un outil de calibration orienté processus

Selection des **métriques** [combinaison de différents cas et métriques]

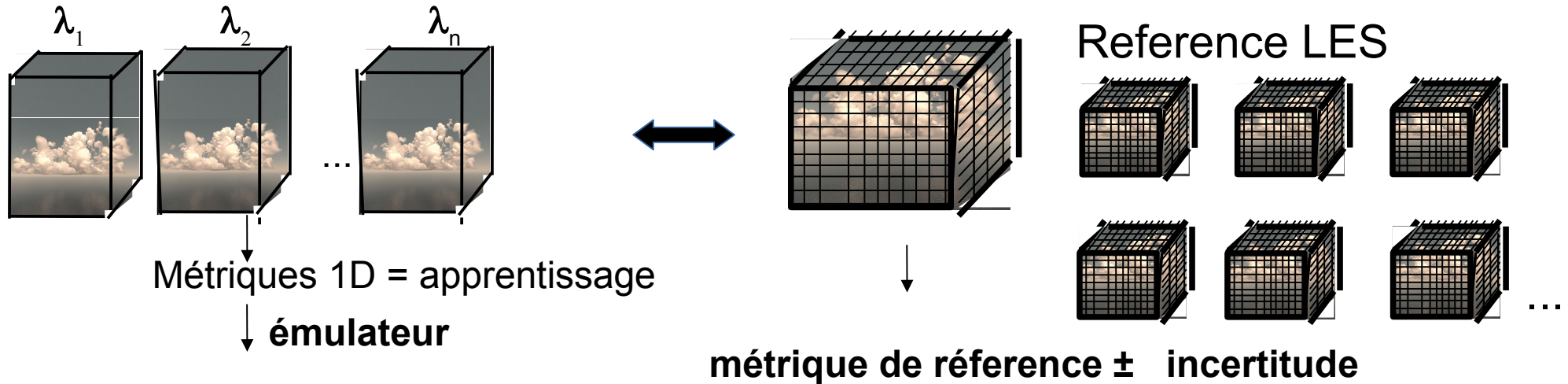


Définir le sous-espace des valeurs de paramètres pour lesquelles les simulations 1D s'accordent aux LES pour une sélection de métriques sur un ensemble de cas et pour les incertitudes présentes

Un outil de calibration orienté processus

Selection des **métriques** [combinaison de différents cas et métriques]

Identification des **paramètres libres** et de leur gamme de variation a-priori

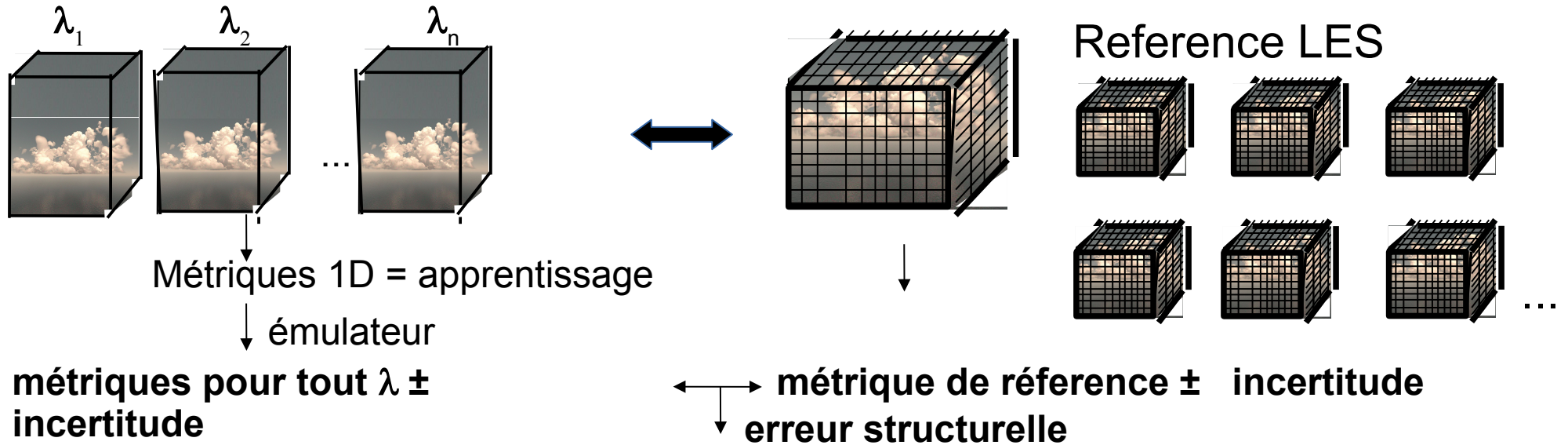


Définir le sous-espace des valeurs de paramètres pour lesquelles les simulations 1D s'accordent aux LES pour une sélection de métriques sur un ensemble de cas et pour les incertitudes présentes

Un outil de calibration orienté processus

Selection des **métriques** [combinaison de différents cas et métriques]

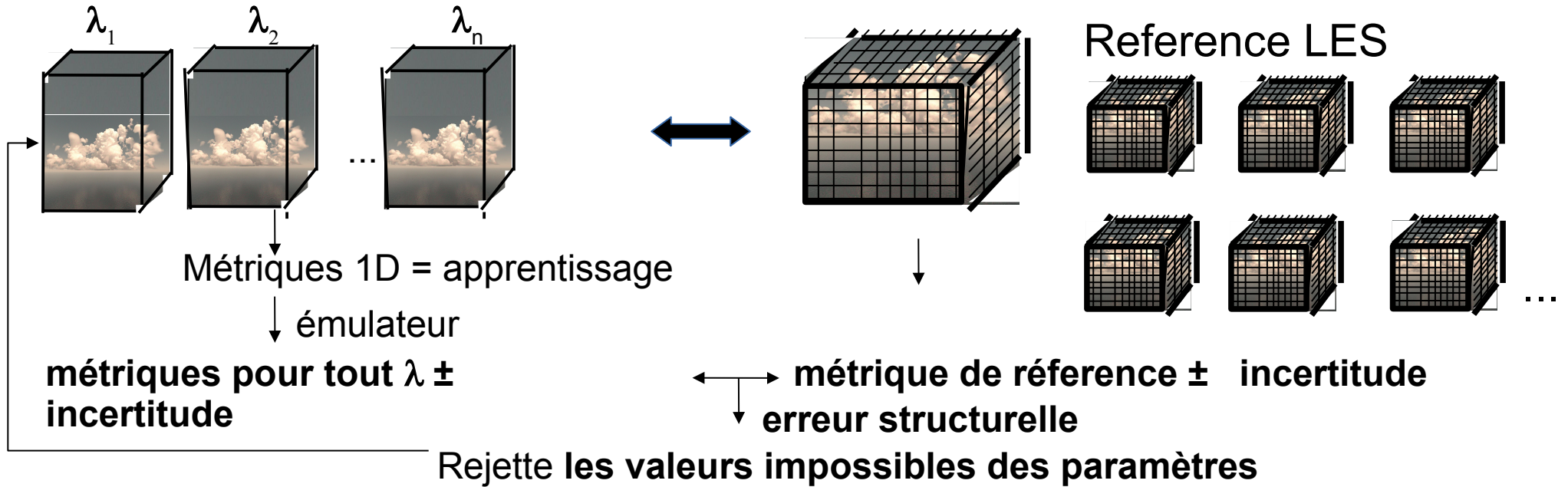
Identification des **paramètres libres** et de leur gamme de variation a-priori



Un outil de calibration orienté processus

Selection des **métriques** [combinaison de différents cas et métriques]

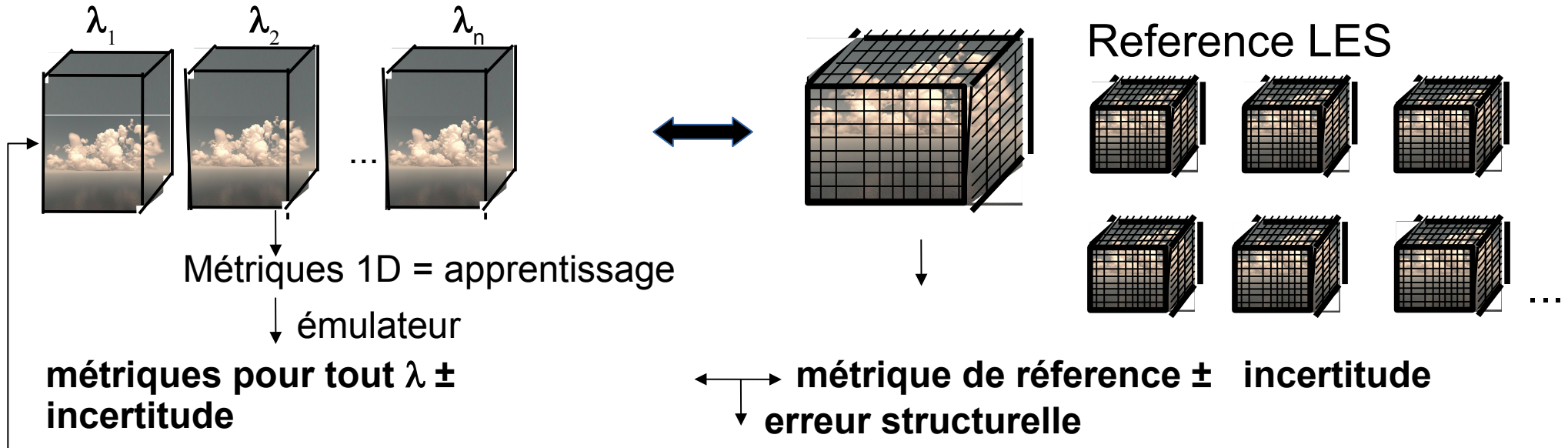
Identification des **paramètres libres** et de leur gamme de variation a-priori



Un outil de calibration orienté processus

Selection des **métriques** [combinaison de différents cas et métriques]

Identification des **paramètres libres** et de leur gamme de variation a-priori



Rejette les valeurs impossibles des paramètres

History matching with iterative refocusing (Williamson et al 2013)

- Exploration extensive de l'espace des paramètres avec l'émulateur
- Prise en compte des différentes sources d'incertitudes: erreur d'observation, erreur de l'émulateur et l'erreur structurelle
- Méthode itérative : rejette progressivement les valeurs impossibles (possibilité d'ajout de cas, variation de l'erreur structurelle)
- Un cadre qui peut être exploiter pour d'autres configurations (Hourdin et al 2021)

Distinguer erreur de calibration et erreur structurelle (CNRM)

ARPEGE-Climat (Roehrig et al 2020) – SCM-HR-SHF [Dz=2m ->400m]

GABLS4 [only turbulence and surface scheme]

Metrics: θ_{2m} θ_{8m} ws_{max} ws_{55m}

7 Parameters : C_m , C_e , L_{min} , α_{eps} , α_T , $Kozmin$, $Kozmax$

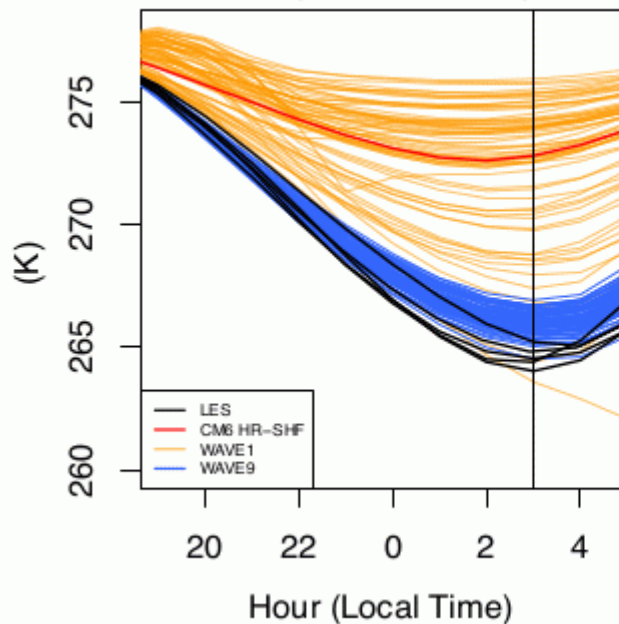
$$K_\psi = \alpha_\psi \mathbf{CML}_m \sqrt{\bar{e}} \phi_\psi$$

$$L_\epsilon = \mathbf{CEL}_m$$

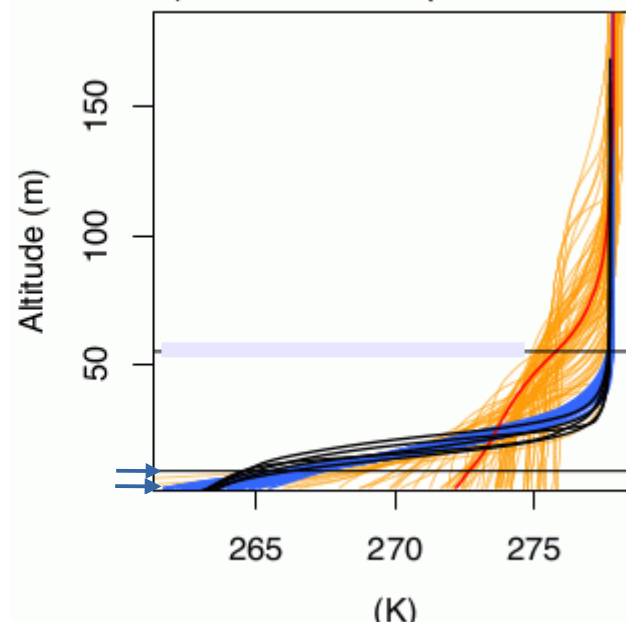
$$L_m = \max [L_m^{BLS9}, \min(L_{MIN}, \kappa z)]$$

LES – GABLS4
 ARPEGE-Climat-CM6
 Wave 1
 Wave 9

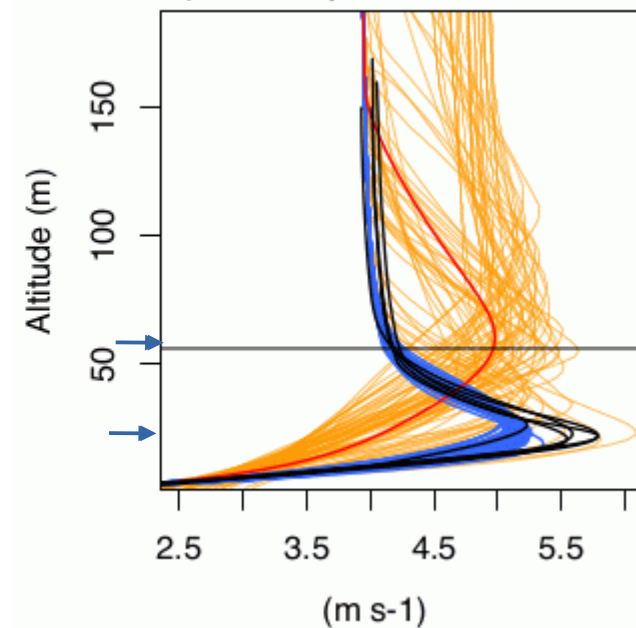
a) 8.5-m potential temperature ,



b) Potential temperature 0300



e) Wind speed 0100 LT



- 4 métriques à des instants donnés permettent de contraindre le comportement de la CL stable

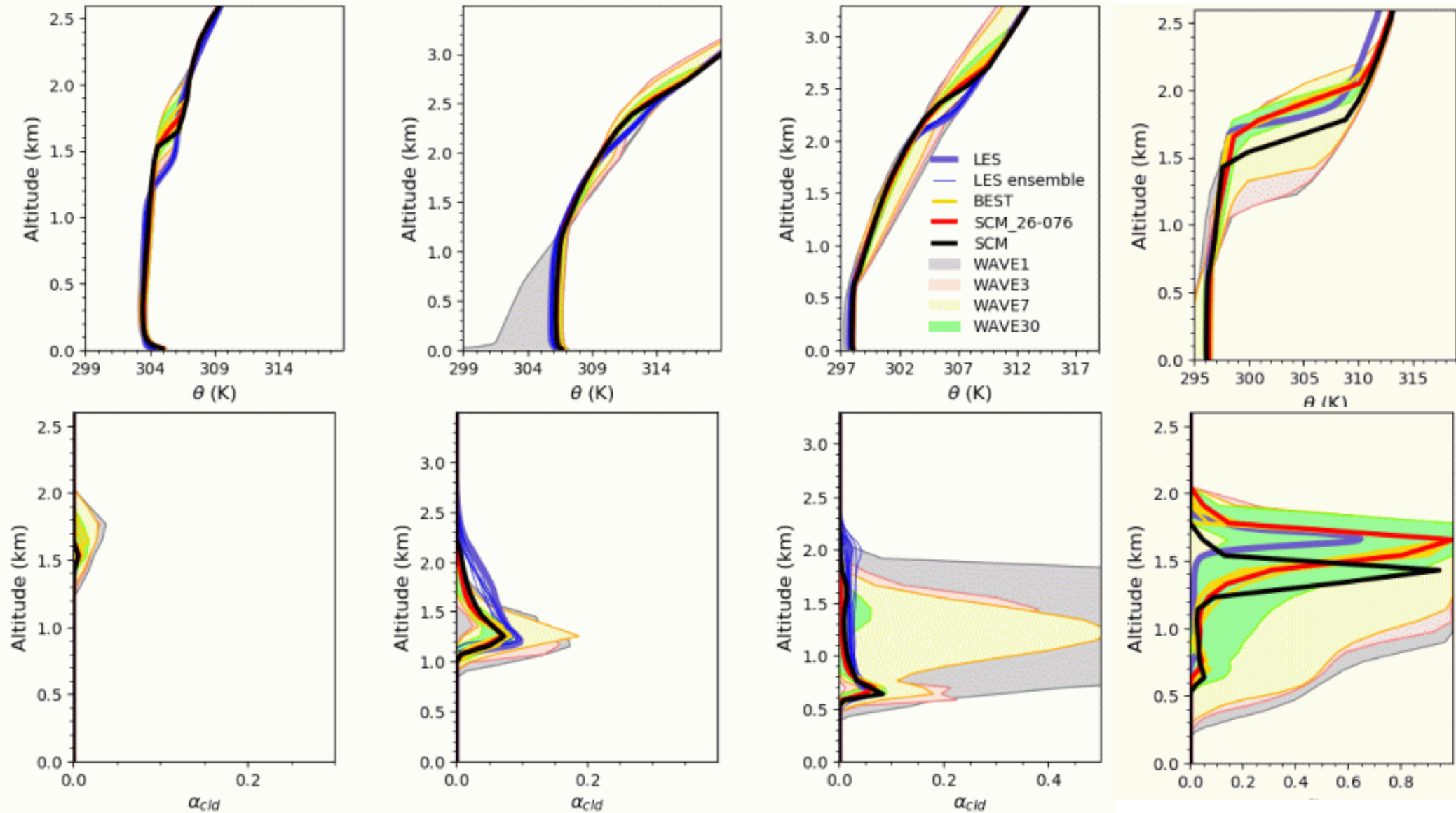
De la calibration 1D à la calibration 3D

Dry convective BL
IHOP

Continental shallow cu
ARMCU

Oceanic shallow cu
RICO

Transition Stocu to Cu
SANDU

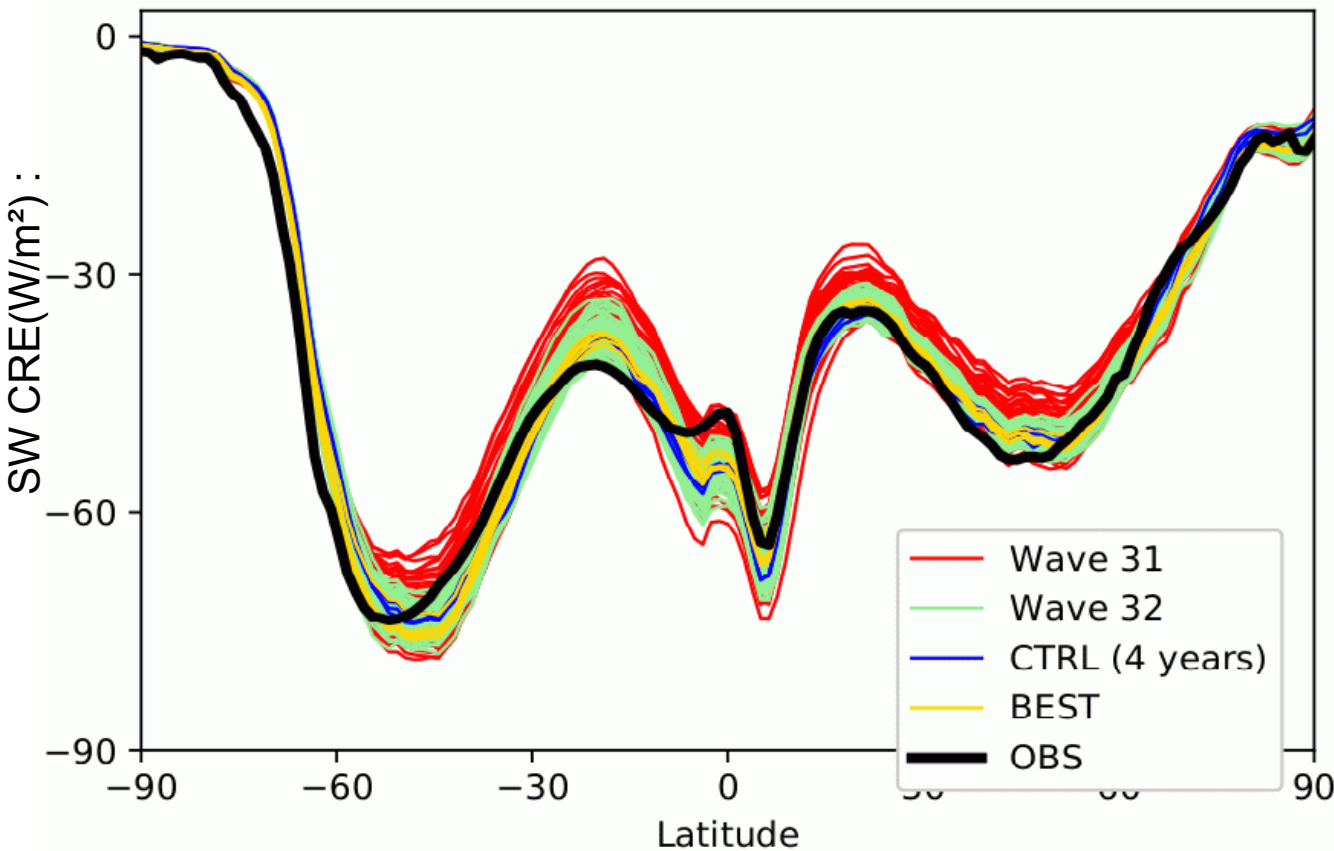


LMDZ
 Metrics := $\int \theta(z) dz$ $\bar{q} v = \int qv(z) dz$ $\bar{q} v = \int qv(z) dz$ $z_{cld,ave} = \frac{\int cf(z) dz}{\int cf(z) dz}$ $cld_{max} = \max(cf(z))$
 9 Parameters : Mass-flux scheme+ Cloud scheme +autoconversion+ reevaporation of rain

Hourdin et al, 2021

De la calibration 1D à la calibration 3D

Zonal mean



After 30 1D waves :
combining 1D and 3D metrics

3D radiative metrics :
Global or masked regions TOA upfluxes
[9 parameters]

- Bon pré-conditionnement du modèle 3D après la 1ere calibration 1D
- Suite de réduction des incertitudes via la calibration 3D

LMDZ
IHOP/ARMCU/RICO/SANDU

Metrics : $\theta(z)$, $\bar{q}v = \int qv(z) dz$, $\bar{q}v = \int qv(z) dz$, $z_{cld,ave} = \frac{\int cf(z) dz}{\int cf(z) dz}$, $cld_{max} = \max(cf(z))$
 9 Parameters : Mass-flux scheme+ Cloud scheme +autoconversion+ reevaporation of rain
 + 3D GCM tuning with **radiative metrics**

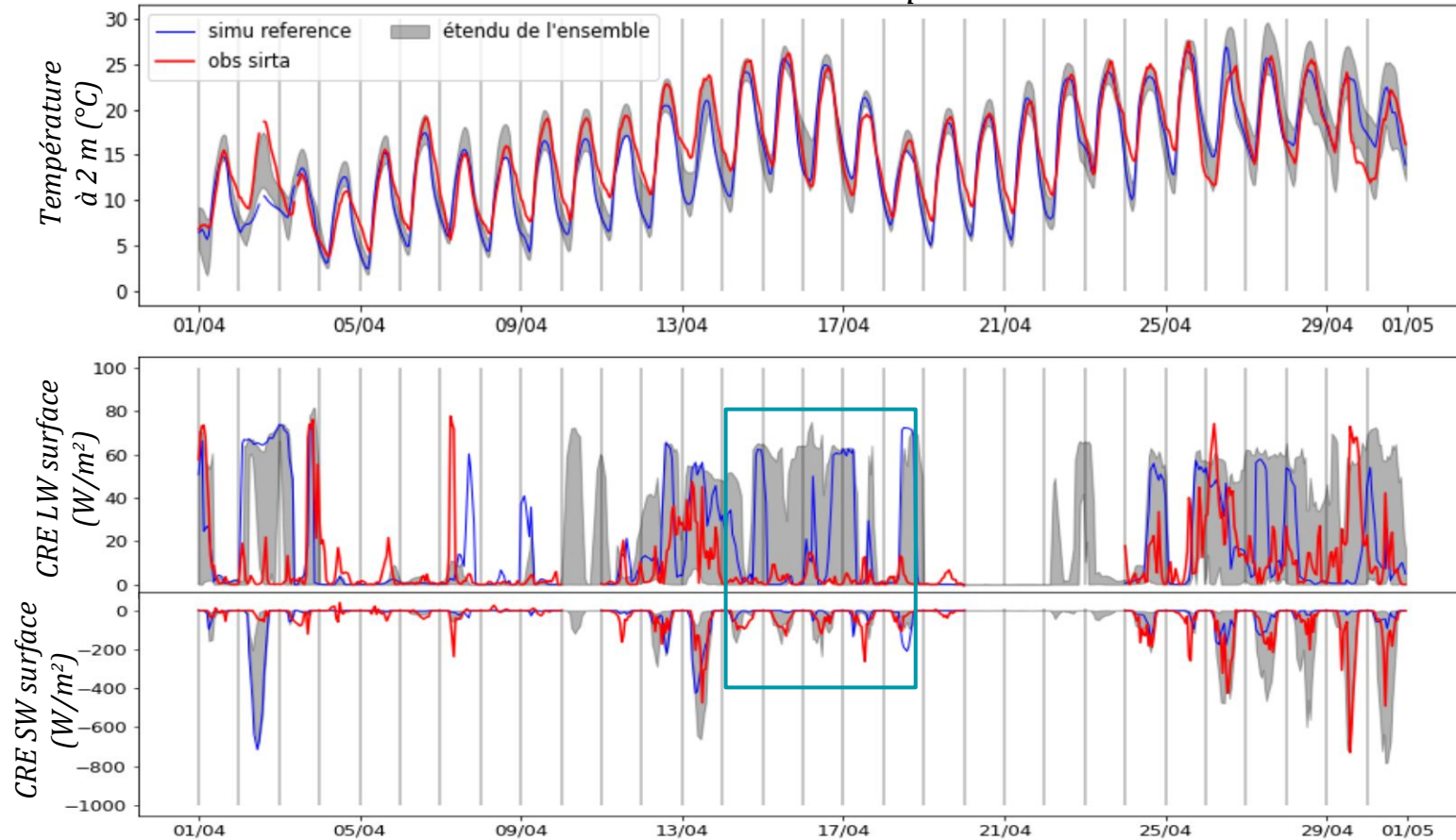
Vers la calibration couplée

Métriques: variables surface continents (CRE-LW, CRE-SW Sface, précipitation) + métriques 1D
Configuration : LMDZ-ORCHIDEE zoomé-guidé sur le SIRTA (version intermédiaire entre 1D & 3D)

2 itérations en zoomé-guidé

NROY_1D=0.018
NROY_3D=0.00035

Étendue d'un ensemble de 180 simulations en sortie du tuning 1D et comparaison aux observations du SIRTA pour avril 2007



- Ajout de métriques orientée surface => réduction des paramètres
- Prochaine étape : inclure des paramètres libres d'ORCHIDEE

Apport de cet outil

Une nouvelle stratégie de calibration:

...reposant sur des bases solides physiques (orienté processus) et statistiques =>
formaliser la prise en compte des différentes incertitudes
Attaquer de front développement de modèle et calibration

Calibration 1D fournit un guide pour la calibration du modèle global=> Gain de temps
Moins de risque de sur-ajustement et donc de compensations d'erreurs

Outil qui peut être adapté à tout un ensemble de configurations (il suffit de savoir définir des métriques) : zoomé-guidé, modèles régionaux,...

Méthodes d'apprentissage machine au service du développement des modèles

Une meilleure connaissance de nos modèles:

Quantifie la sensibilité paramétrique du modèle : ex identifier un paramètre qui limite la performance du modèle

Permet d'appréhender l'erreur structurelle du modèle : sensibilité aux résultats selon l'erreur structurelle qu'on se donne

Donne confiance dans la physique des modèles : un scalaire à un instant donné permet de contraindre le comportement du modèle sur plusieurs heures et sur la verticale

Attente de la communauté CLIMERI

- Prise en main de l'outil:

- Formation possible, outil disponible (tutorial + bibliothèque en ligne)
- Aide à son développement : visualisation, réflexion sur les itérations...

Réflexion sur le choix métrique

Mise en commun des métriques (lien fort avec l'activité ATLAS)

- Point de discussion:

Comment cet outil peut aider à exploiter au mieux une hiérarchie de configurations ?

Comment exploiter l'information de l'incertitude paramétrique pour les études climatiques ?

Que nous apprend cet outil sur l'incertitude structurelle de nos modèles ?

Comment appliquer un tel outil à la calibration d'un modèle couplé ?