

# Tuning et History Matching avec l'outil HighTune explorer

*Maëlle Coulon--Decorzens – Frédéric Hourdin  
ANR HighTune – DEPHY – LMDZ  
Pedalon Tuning 29 janvier 2024*

**1. Définition de l'exercice de tuning**

**2. Présentation de l'outil HighTune explorer**

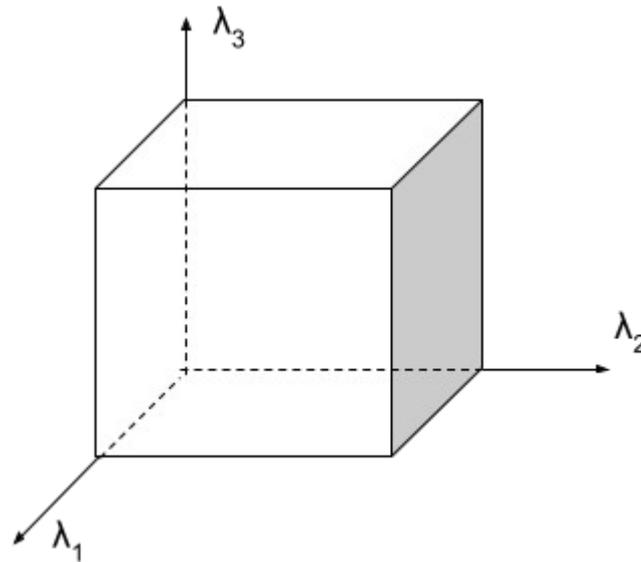
# 1. Définition de l'exercice de tuning

Objectif : Trouver les **vecteurs de paramètres libres  $\lambda$**  pour que le **modèle “marche bien”**

## 1.1 Les paramètres libres

Choisir les paramètres libres que l'on souhaite tuner **N**  
+ leur valeur minimal et maximale

Espace des paramètres libres = hypercube de dimension **N =  $\Lambda$**



$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{pmatrix}$$

Historiquement on faisait varier les valeurs des paramètres un à un et de proche en proche

+ On va vouloir explorer cet espace efficacement !

# 1. Définition de l'exercice de tuning

Objectif : Trouver les **vecteurs de paramètres libres  $\lambda$**  pour que le modèle "marche bien"

## 1.2 Définition de ce qu'est un modèle « qui marche bien »

= **Question de l'évaluation des modèles**

Traditionnellement : Cartes, coupes et courbes en moyenne zonale, scalaires etc

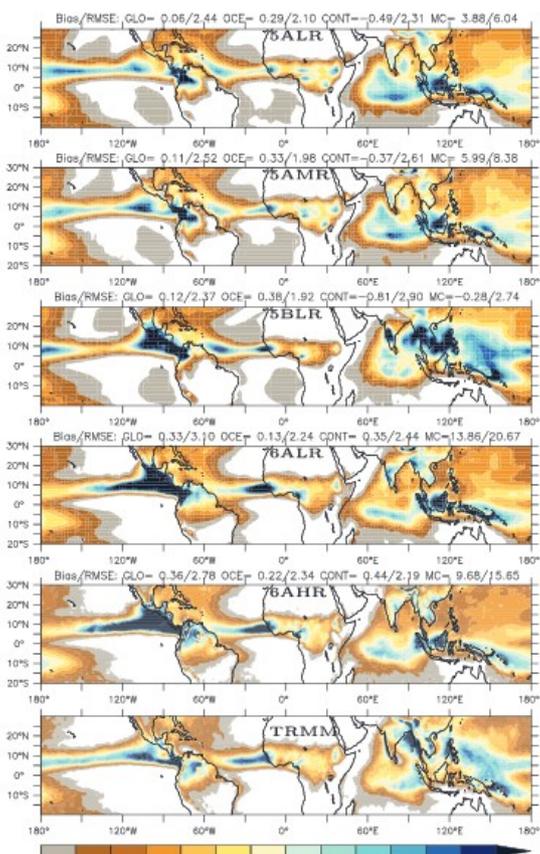


Figure 10. Average rainfall over the period June-July-August-September (mm/day, white if below 1 mm/day) for TRMM observations (top) and successive configurations of the model. The mean bias and root-mean-square errors (in mm/day) are shown on the top of each graph, considering either the full region (GLO), the Oceans only (OCE) or the continents, separating the Maritime continent (MC, defined by a box in longitude [90°E,180°E] and latitude [10°S,10°N]) from the other continents (CONT). Fields were interpolated on the LR<sup>6</sup> grid before computing the bias and root-mean-square error.

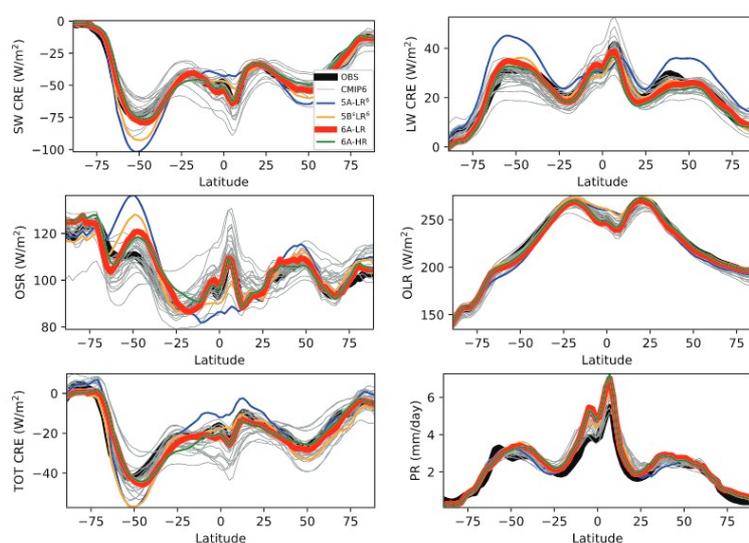


Figure 5. Zonal and annual averages of the longwave (LW CRE), shortwave (SW CRE), and total (TOT CRE) cloud radiative effect, of the top of the atmosphere outgoing shortwave (OSR) and longwave (OLR) radiation (all fluxes in  $W m^{-2}$ ), and surface precipitation rate (PR, mm/day) for the "clim" simulations 5A-LR<sup>6</sup> (blue), 5B-LR<sup>6</sup> (orange, see Table 2 for details), and CMIP6 "amip" simulations: IPSL-CM6A (red) and other models participating to CMIP6 (gray curves). The black curve corresponds to CERES-EBAF observations for radiative fluxes and to the Global Precipitation Climatology Dataset for the last panel (GPCP, Huffman et al., 2001).

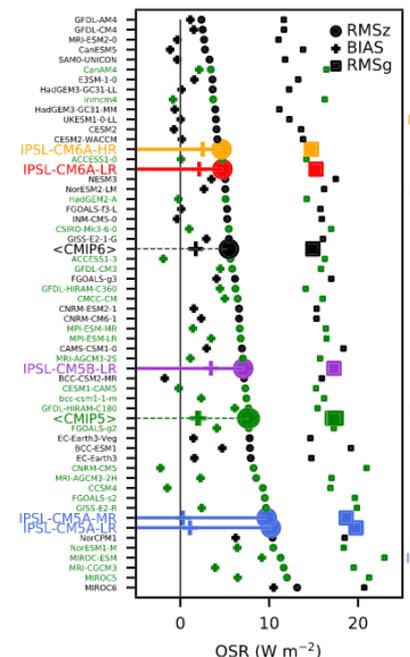


Figure 6. Root-mean-square error computed on the ann computed on the mean seasonal cycle of the longitude-la CRE) cloud radiative effect, outgoing shortwave (OSR), at CMIP6 models. Models are ranked according to RMSz. Tl CMIP6 models are given in Table A1 for CMIP5 and Table

## LMDZ6A: The Atmospheric Component of the IPSL Climate Model With Improved and Better Tuned Physics

Frédéric Hourdin<sup>1</sup>, Catherine Rio<sup>2</sup>, Jean-Yves Grandpeix<sup>1</sup>, Jean-Baptiste Madeleine<sup>1</sup>,  
Frédérique Cheruy<sup>1</sup>, Nicolas Rochetin<sup>1</sup>, Arnaud Jam<sup>1</sup>, Ionela Musat<sup>1</sup>,  
Abderrahmane Idelkadi<sup>1</sup>, Laurent Fairhead<sup>1</sup>, Marie-Alice Foujols<sup>1</sup>, Lidia Mellou<sup>1</sup>,  
Abdoul-Khadre Traore<sup>1</sup>, Jean-Louis Dufresne<sup>1</sup>, Olivier Boucher<sup>3</sup>, Marie-Pierre Lefebvre<sup>2</sup>,  
Ehouarn Millour<sup>1</sup>, Etienne Vignon<sup>1</sup>, Jean Jouhaud<sup>1</sup>, F. Bint Diallo<sup>1</sup>, François Lott<sup>1</sup>,  
Guillaume Gastineau<sup>5</sup>, Arnaud Caubel<sup>6</sup>, Yann Meurdesoif<sup>6</sup>, and Josefine Ghattas<sup>2</sup>

# 1. Définition de l'exercice de tuning

Objectif : Trouver les **vecteurs de paramètres libres  $\lambda$**  pour que le **modèle “marche bien”**

**1.2 Définition de ce qu'est un modèle « qui marche bien »**  
**= Question de l'évaluation des modèles**

**Métriques scalaires : permet d'objectiver / quantifier la qualité du modèle**

→ **Métriques + cibles / références**

(observations, simulations de référence comme des LES)

**Question des incertitudes :**

En dessous d'une certaine incertitude, on ne peut pas privilégier une version du modèle plutôt qu'une autre !!!

**Sources d'incertitudes : (Vernon et al 2010)**

- incertitude de la cible
- incertitude liées aux conditions initiales (variabilité interne) et limites du modèle
- incertitude paramétrique
- incertitude structurelle du modèle :  
liée au fait que le modèle n'est pas parfait  
(limite de la connaissance + hypothèses de modélisations + schémas numériques ...)

**Mal définie et souvent inconnue !!!**

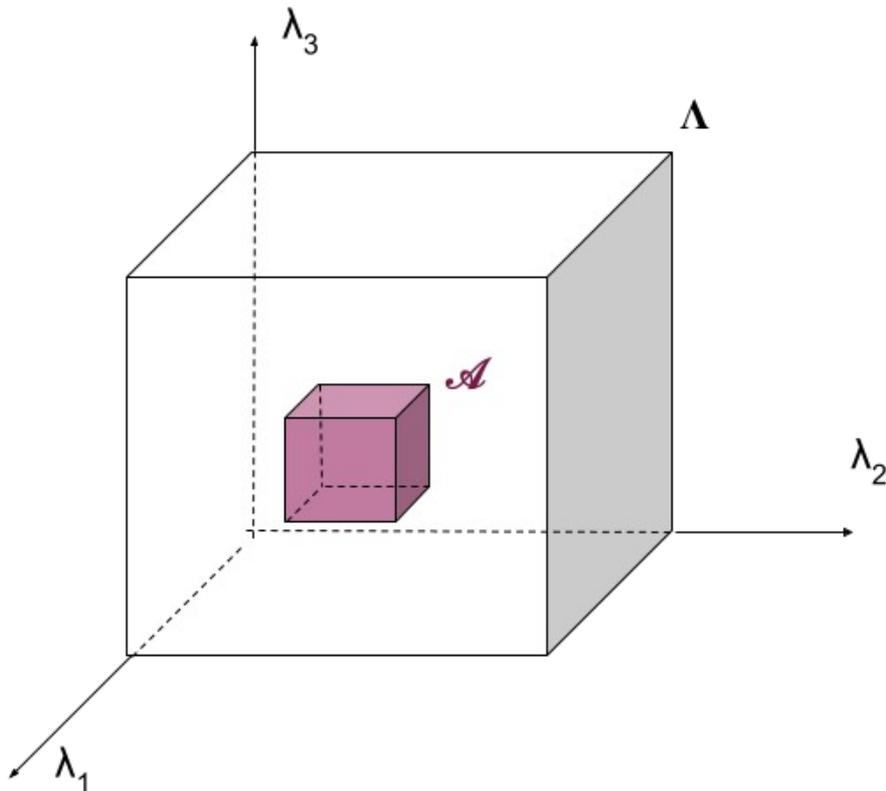
# 1. Définition de l'exercice de tuning

Objectif : Trouver les **vecteurs de paramètres libres  $\lambda$**  pour que le **modèle “marche bien”**

## 1.3 Choix de définition du tuning

Objectif : Chercher le **sous-espace des paramètres libres acceptables  $\mathcal{A}$**  tel que l'erreur sur **chacunes des  $M$  métriques  $f$**  soient inférieure à une **tolérance à l'erreur  $T_i$**  de la référence  $ref_i$

Objectif : Chercher  $\mathcal{A} \subset \Lambda$  tel que  $\forall \lambda \in \mathcal{A}$  et  $\forall i \in [1 ; M] : |f_i(\lambda) - ref_i| < 3 T_i$



# 1. Définition de l'exercice de tuning

Objectif : Trouver les **vecteurs de paramètres libres**  $\lambda$  pour que le **modèle "marche bien"**

## 1.3 Choix de définition du tuning

Objectif : Chercher le **sous-espace des paramètres libres acceptables**  $\mathcal{A}$  tel que l'erreur sur **chacunes des M métriques**  $f$  soient inférieure à une **tolérance à l'erreur**  $T_i$  de la référence  $ref_i$

Objectif : Chercher  $\mathcal{A} \subset \Lambda$  tel que  $\forall \lambda \in \mathcal{A}$  et  $\forall i \in [1; M] : |f_i(\lambda) - ref_i| < 3 T_i$

Différence avec les méthode d'optimisation classique :

→ Le meilleur vecteur de paramètre (vs le sous espace des paramètres acceptables)

→ tel que la fonction de coût =  $\sum_{i=1}^M \frac{|f_i - ref_i|}{\sigma_i}$  soit minimale

= compensation d'erreur possible entre les métriques

Pas de compensation d'erreur entre les métriques

**History Matching = Caller un modèle sur des données historique**

# 1. Définition de l'exercice de tuning

Objectif : Trouver les **vecteurs de paramètres libres**  $\lambda$  pour que le **modèle “marche bien”**

## 1.3 Choix de définition du tuning

Objectif : Chercher  $\mathcal{A} \subset \Lambda$  tel que  $\forall \lambda \in \mathcal{A}$  et  $\forall i \in [1 ; M] : |f_i(\lambda) - \text{ref}_i| < 3 T_i$

**Tolérance à l'erreur :**

$$\text{Incertitude } \sigma^2 = \sigma^2_{\text{cible}} + \sigma^2_{\text{CI,CL}} + \sigma^2_{\text{modèle}}$$

En pratique : on ne connaît pas complètement  $\sigma^2_{\text{modèle}}$

On évalue  $\sigma^2_{\text{min}} = \sigma^2_{\text{cible}} + \sigma^2_{\text{CI,CL}}$  pour chacune des métriques

Et on choisi une tolérance à l'erreur  $T_i > \sigma'_{i \text{ min}}$

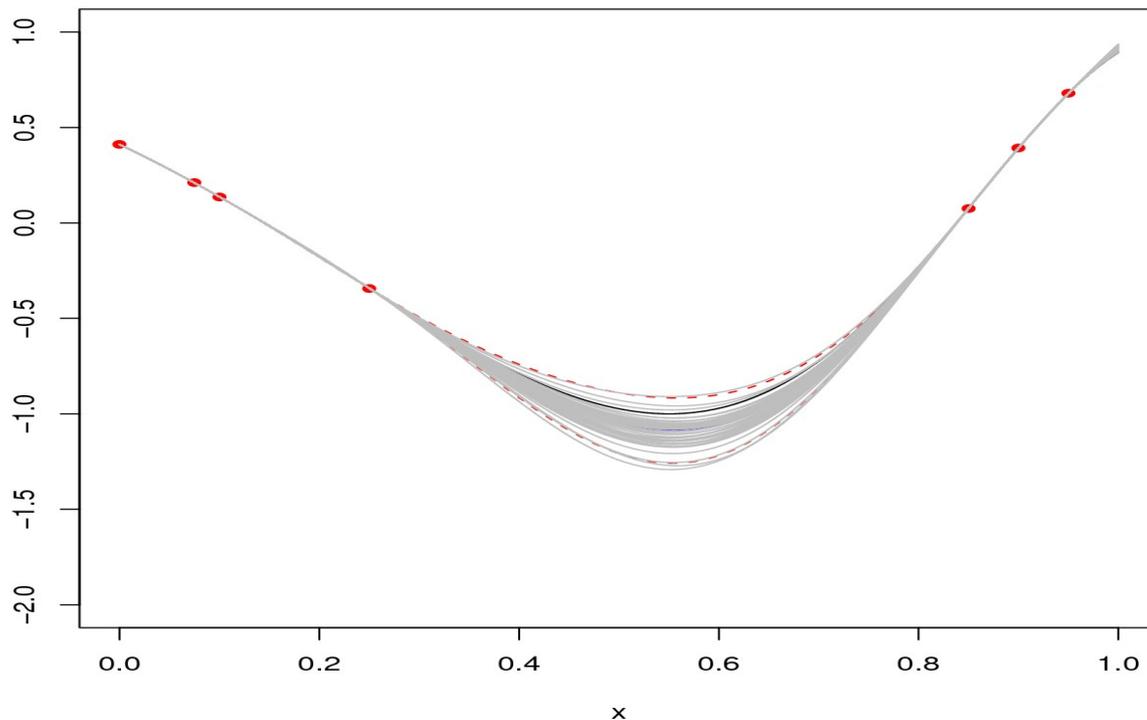
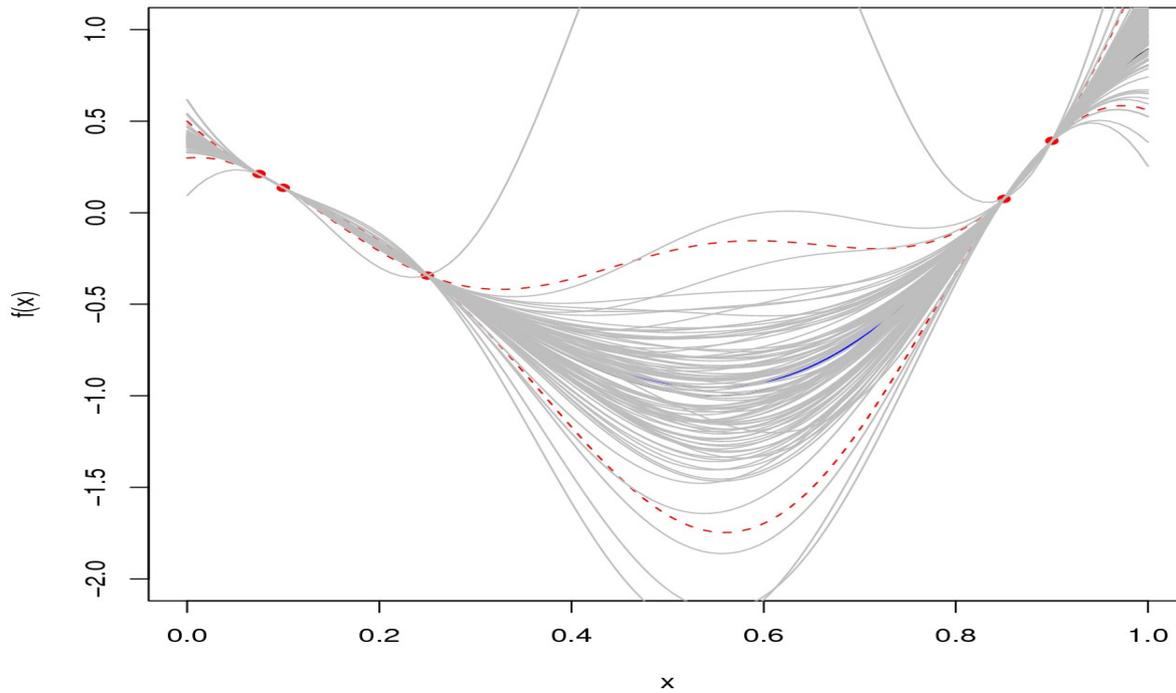
On fait le tuning :

- Si  $\mathcal{A}$  est vide on recommence le tuning avec une tolérance à l'erreur plus grande
- Si  $\mathcal{A} = \Lambda$  on recommence avec une tolérance plus petite

Ca peut nous donner une idée de l'incertitude structurelle du modèle

## 2. L'outil HighTune explorer

## 2. L'outil HighTune explorer : les émulateurs



### Construction d'un meta-modèle :

Modèle statistique ultra-rapide donnant la valeur d'une des métriques en tout point de l'espace des paramètres comme l'espérance d'une variable aléatoire, dont les paramètres sont appris sur les  $10N$  expériences réalisées.

### Ici, meta-modèle=

Somme de fonctions polynomiales + sinusoidales + **processus gaussien**

Le processus gaussien est basé sur une idée de longueur de corrélation. *Expert : on suppose ce processus stationnaire dans l'espace des paramètres, c'est à dire que les propriétés statistiques sont les mêmes partout.*

### Propriétés :

Plus on est loin des point sondés par les expériences, plus on est incertains. Plus on ajoute d'expériences, plus l'incertitude décroît.

## 2. L'outil HighTune explorer : convergence

Exemple : (Hourdin et al, 2020)

3 paramètres : DZ, EVAP, CLC

5 métriques :

**Table 2**  
Metrics Retained for the SCM/LES Tuning

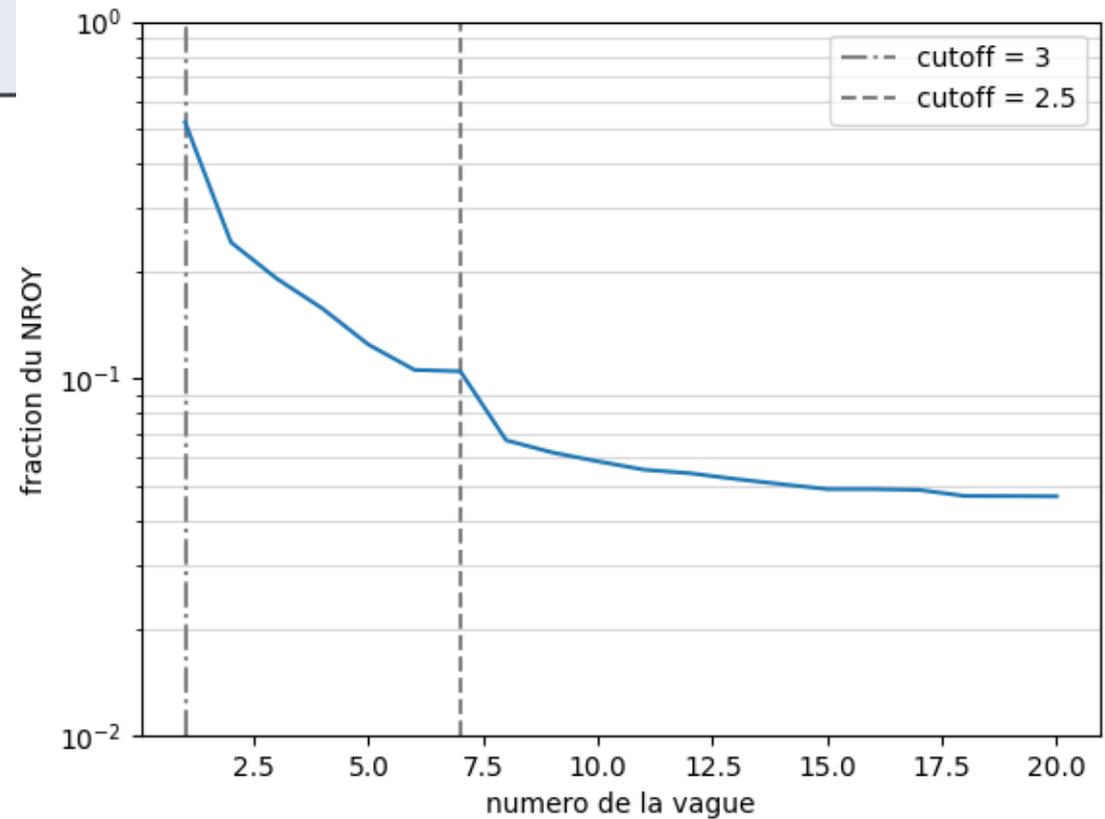
Case	ARMCU	RICO	SANDU
Subcase	REF	REF	REF
Time	7-9	19-25	50-60
$\theta_{400-600\text{ m}}$	X	-	-
$q_{v,400-600\text{ m}}$	X	-	-
$\alpha_{cld,max}$	X	X	-
$z_{cld,ave}$	X	-	X
$z_{cld,max}$	X	-	X

20 vagues de tuning

**Table 1**  
Parameters Involved in the Iterative Refocusing

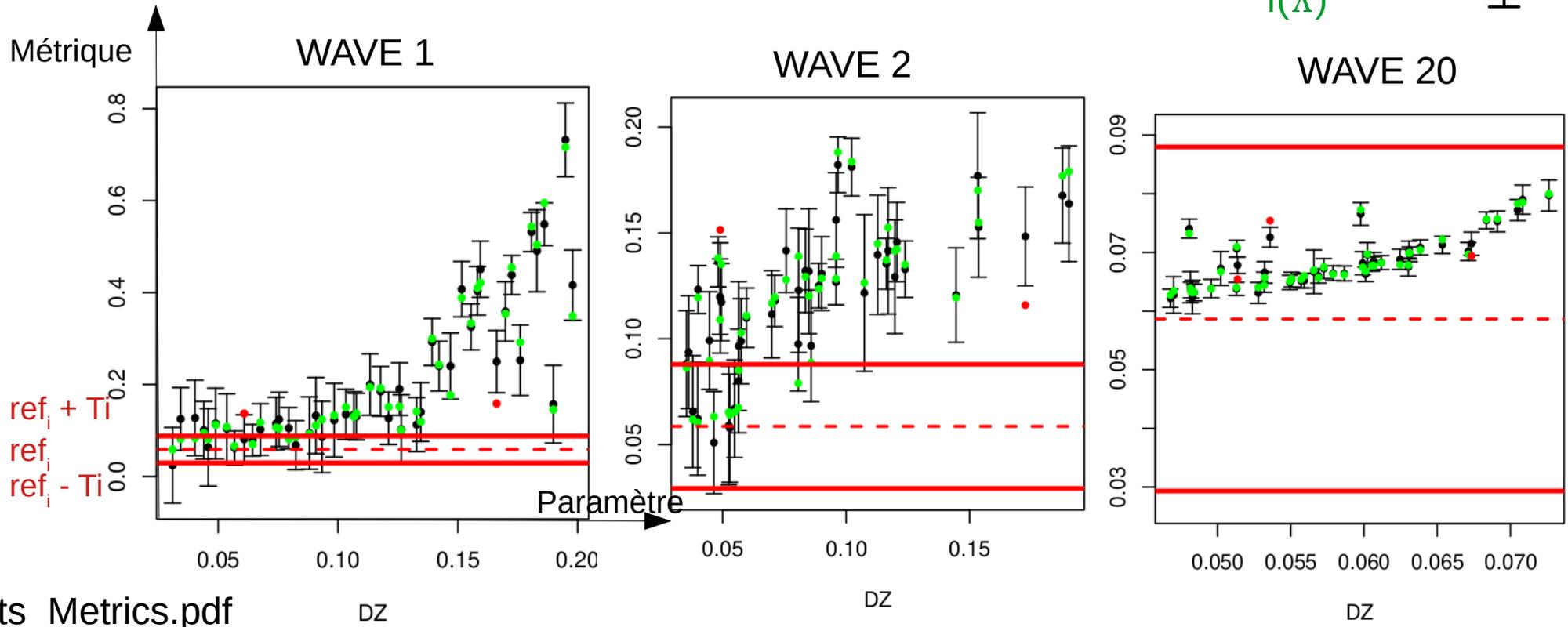
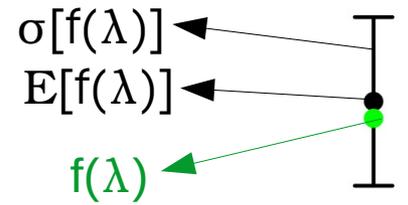
Name	Min	Max	Ref	Sampling	Controls
DZ	0.05	0.2	0.07	Linear	Environmental air altitude shift for buoyancy computation
EVAP	5e-5	5e-4	1e-4	Log	Reevaporation of rainfall
CLC	1e-4	1e-3	6.5e-4	Linear	Autoconversion of cloud liquid water to rainfall

Diminution du NROY :

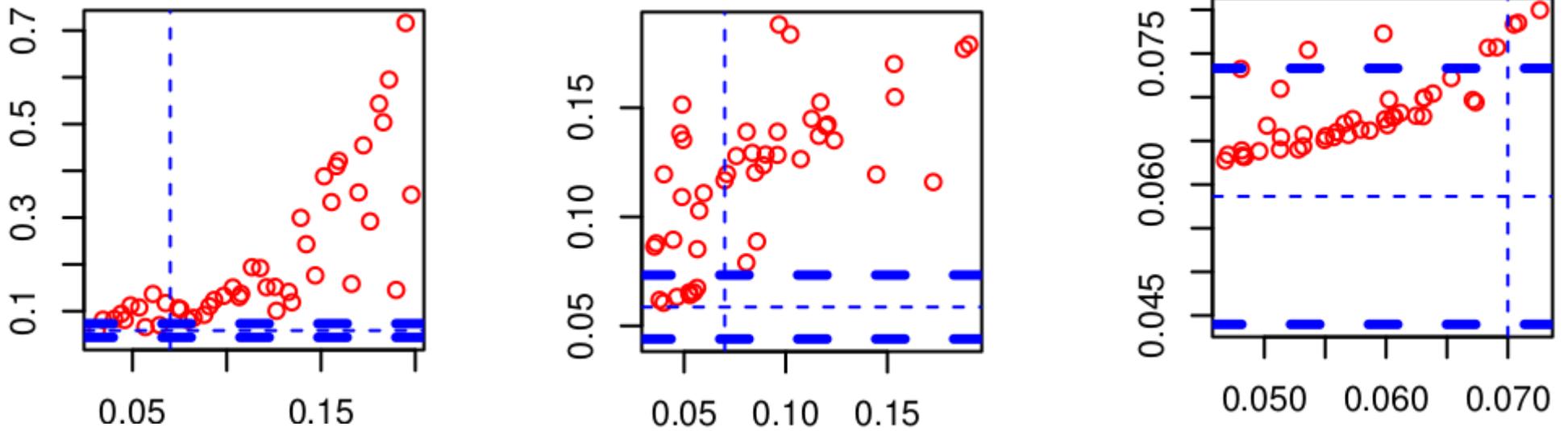


## 2. L'outil HighTune explorer : convergence

Plots\_LOO.pdf « Leave One Out »



Plots\_Metrics.pdf

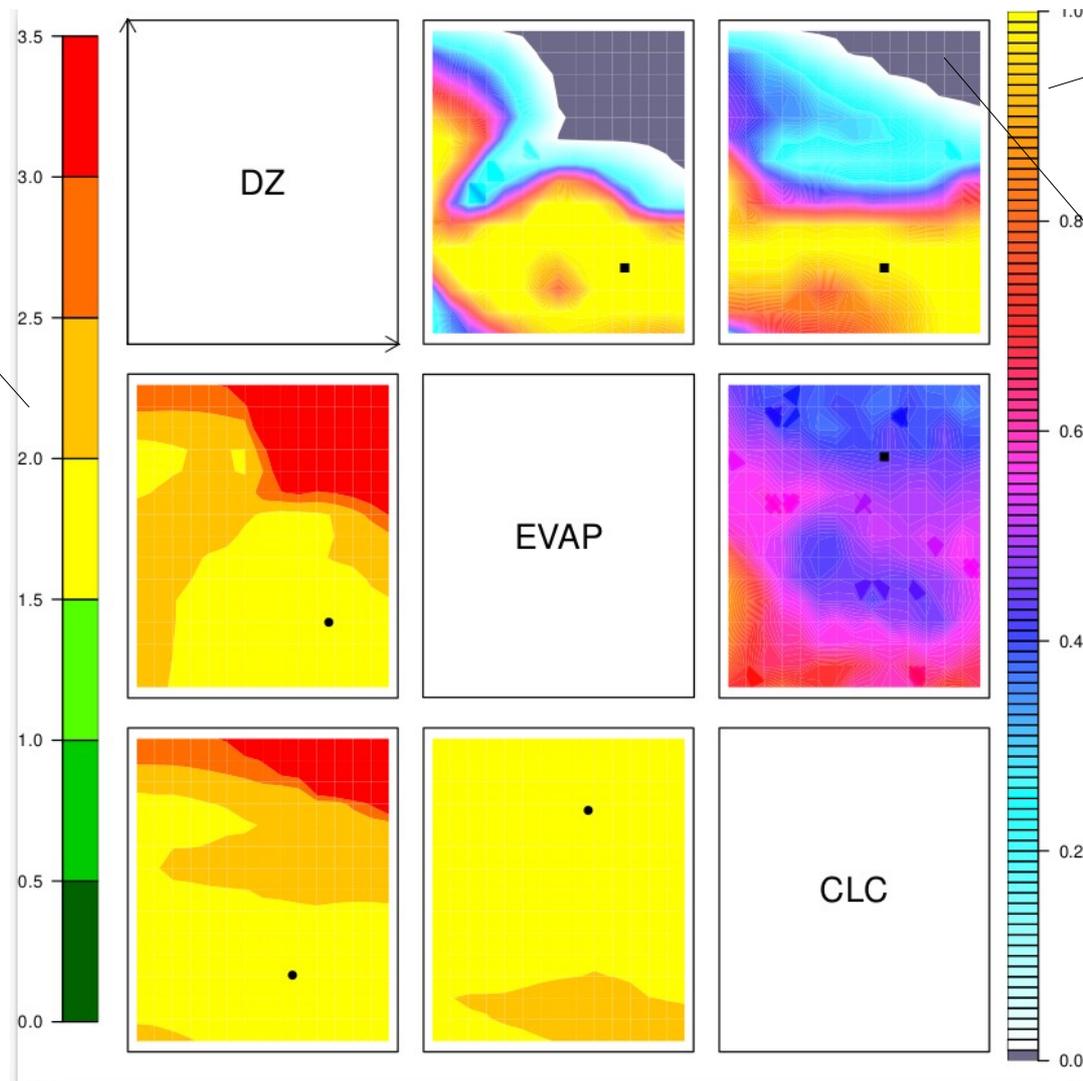


## 2. L'outil HighTune explorer : Visualisation du NROY avec les matrices d'improbabilité

Découpage de chaque paramètre en 30 bins : 30x30 pixels

$$I = \frac{|E[f(\lambda)]_i - \text{ref}_i|}{\sqrt{T_i^2 + \sigma^2[f(\lambda)]}}$$

Valeur minimale de I dans chaque bin

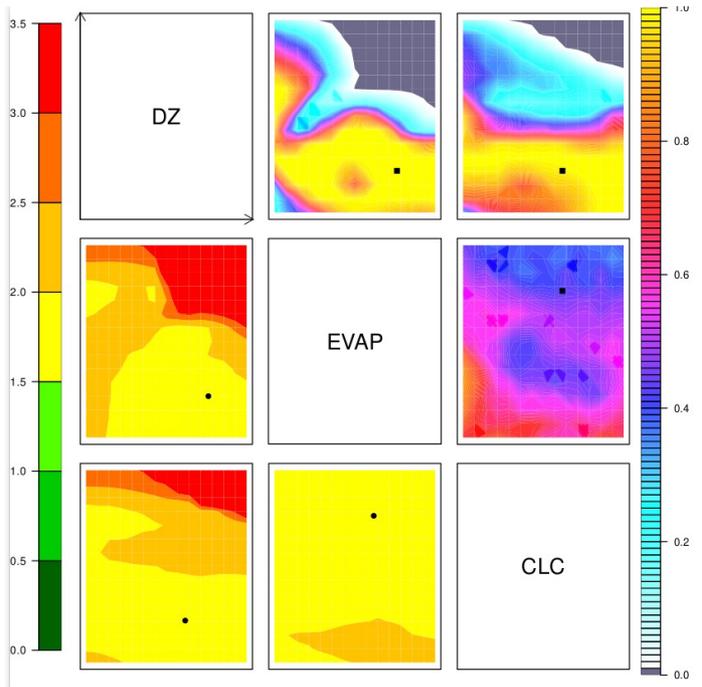


Fraction de points ayant une  $I < 3$  = points retenus

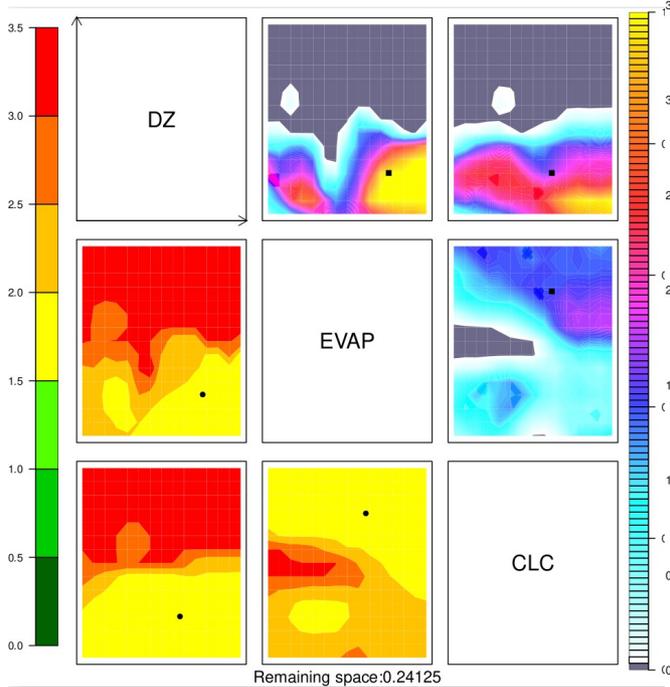
Zone grise = aucun bon paramètre dans cette zone (fraction = 0)

# 2. L'outil HighTune explorer : Visualisation du NROY avec les matrices d'implausibilité

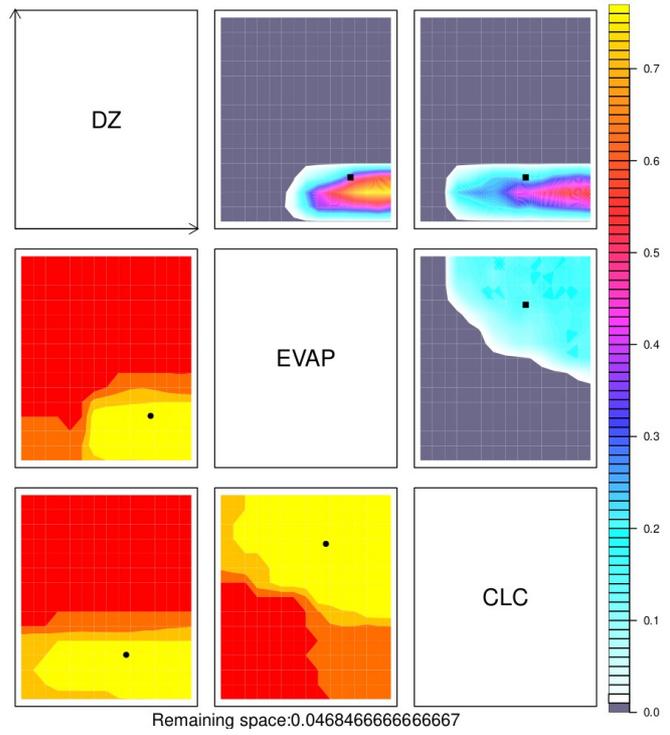
WAVE 1



WAVE 2



WAVE 20



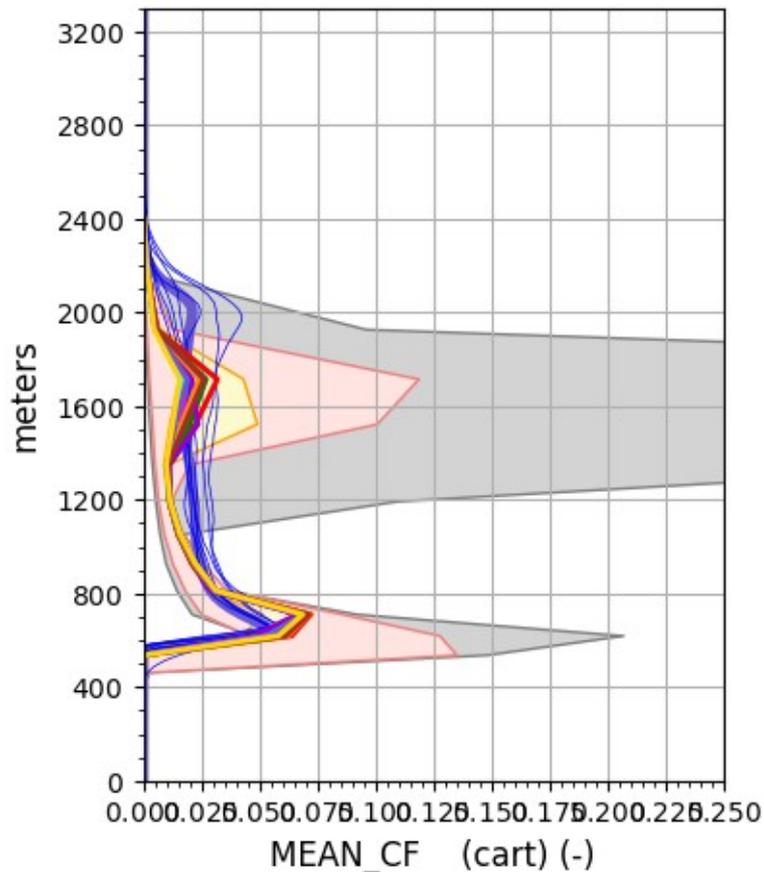
## 2. L'outil HighTune explorer : regarder les simulations

Un certain nombre de simulation tournent pendant une expérience de tuning :  
Ici  $20 \times 30 = 600$  simulations pour chaque cas 1D !

On peut les trier en fonction de leur score et étudier le comportement des meilleurs

$$\text{score} = \max \left\{ \frac{|f_1 - \text{ref}_1|}{T_1}, \frac{|f_2 - \text{ref}_2|}{T_2}, \dots, \frac{|f_M - \text{ref}_M|}{T_M} \right\}$$

Calculer les enveloppe des simulations pour chaque vague



*Profil de fraction nuageuse du cas RICO  
(cumulus océanique) à 21h*

- |              |            |
|--------------|------------|
| LES0         | SCM-17-011 |
| LES ensemble | SCM-20-004 |
| SCM-3-041    | SCM-20-021 |
| SCM-12-009   | SCM-16-036 |
| SCM-7-008    | WAVE1      |
| SCM-17-009   | WAVE3      |
| SCM-5-023    | WAVE20     |
| SCM-13-039   |            |

## 2. L'outil HighTune explorer : regarder les métriques pour les simulations qui ont effectivement tournées

