



Action  
de recherche  
sur **Aviation** et **Climat**

# Climaviation

Développement, tuning et évaluation d'une paramétrisation  
de la sursaturation par rapport à la glace dans LMDZ

*Sidiki Sanogo (tuning et évaluation) et Audran Borella (développement)*



Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)  
Sciences du climat



Financé  
par

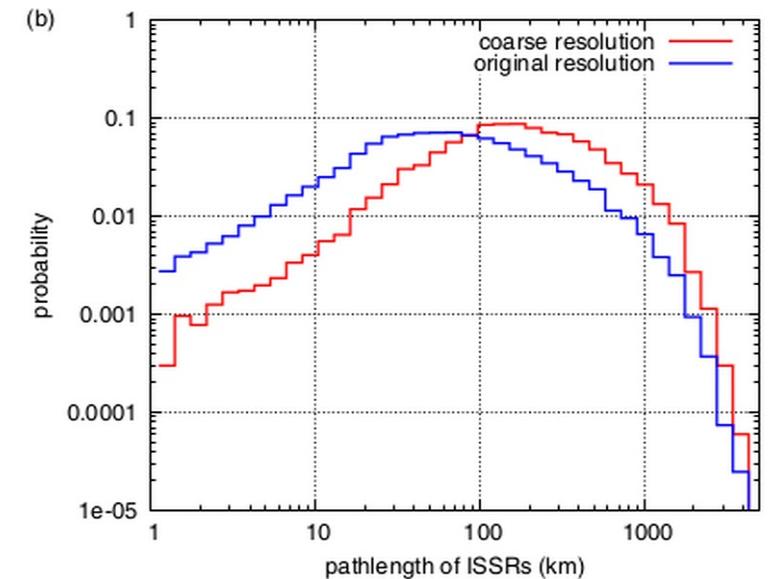
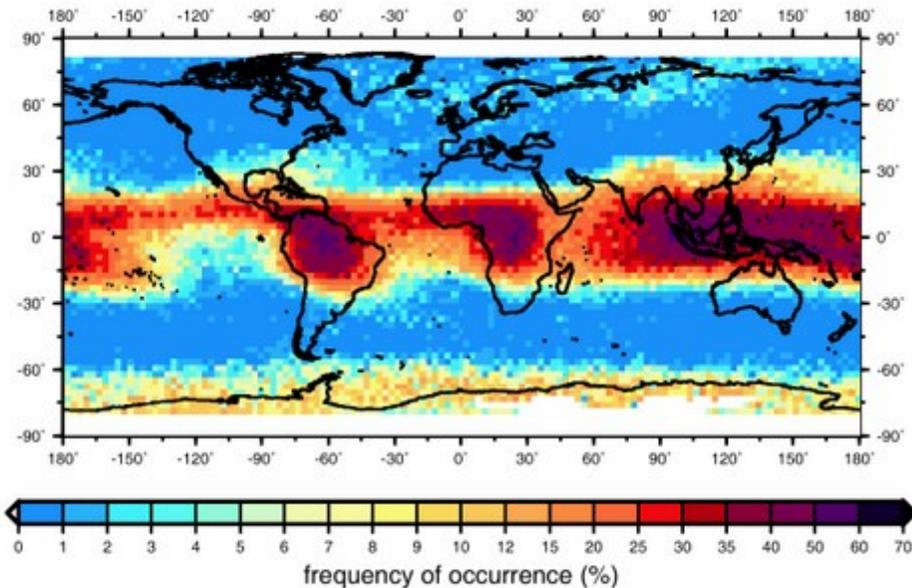


Financé par  
l'Union européenne  
NextGenerationEU

- La **sursaturation par rapport à la glace** est un état métastable de l'atmosphère : la vapeur y est saturée, mais **non condensée**.
- Ce phénomène est courant + les ISSR (Ice SuperSaturated Regions) ont un temps de vie long (en moyenne 6h, Irvine et al. 2014).

← Occurrence des ISSRs à 147 hPa (Spichtinger et al. 2003)

Échelle horizontale → des ISSRs (Spichtinger and Leschner 2016)



# Motivations

- Il joue un rôle important dans la formation et l'évolution des cirrus.
- Mais son rôle est primordial pour l'étude des *contrails* (traînées de condensation) : **sans ce phénomène, les contrails ne peuvent se former.**



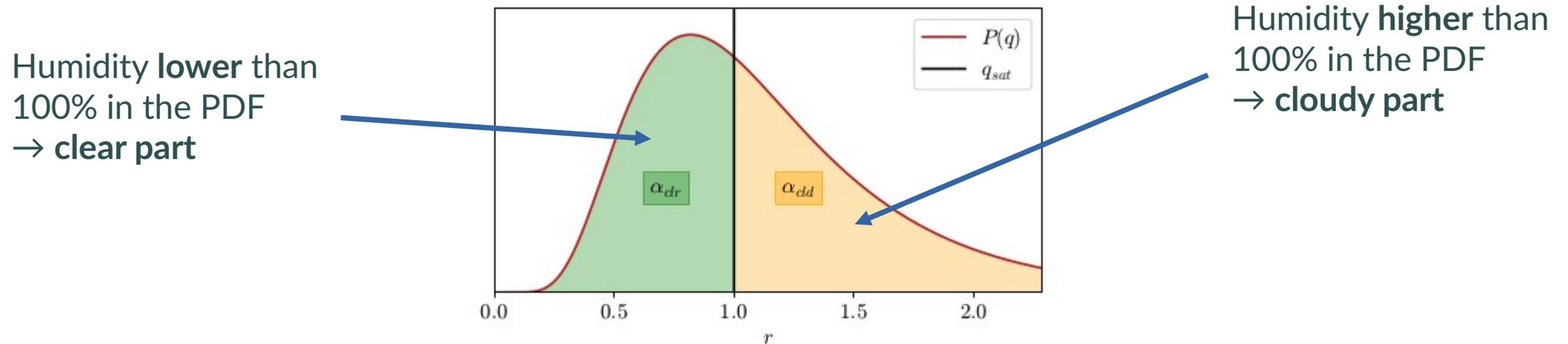
Aéroport le Bourget, date inconnue



Paris, 8h30 le 02/10/23

# Current parameterization in LMDZ

- LMDZ parameterizes clouds using a **distribution (PDF) of total water** inside a gridbox (Bony and Emanuel 2001)

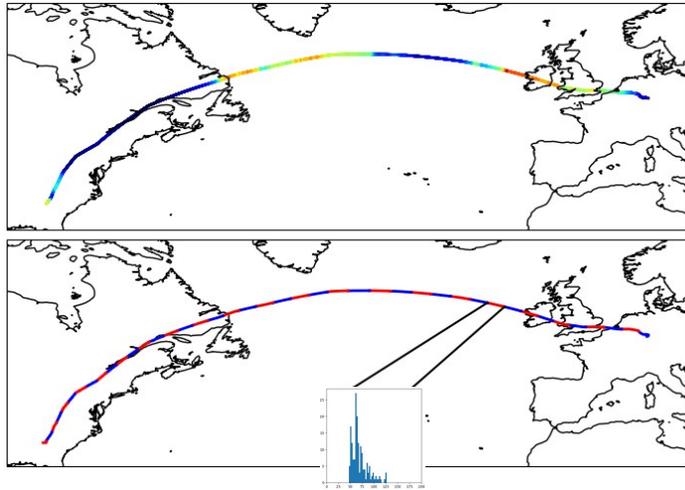


Mais dis-moi Jamy, comment condense-t-on un cirrus ?

- LMDZ parameterizes clouds using a **distribution (PDF) of total water** inside a gridbox (Bony and Emanuel 2001)
- The current distribution is **not fit for ISSRs** (it assumes thermodynamic equilibrium) → **need for a new PDF**
- LES are not wide enough → based on observations
- Dependent on the state variables of a model  $T, q$ 
  - need for a wide dataset of observations (not only campaigns)
  - **let's use IAGOS!** (*In-service Aircraft for a Global Observing System*)

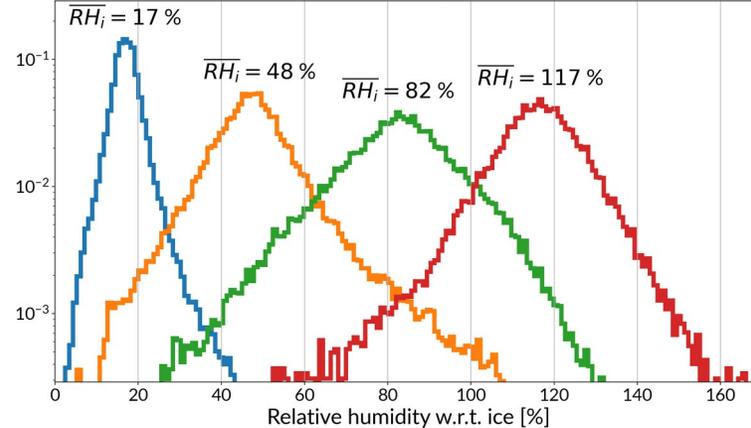
# From observations to statistics

Observations along a flight

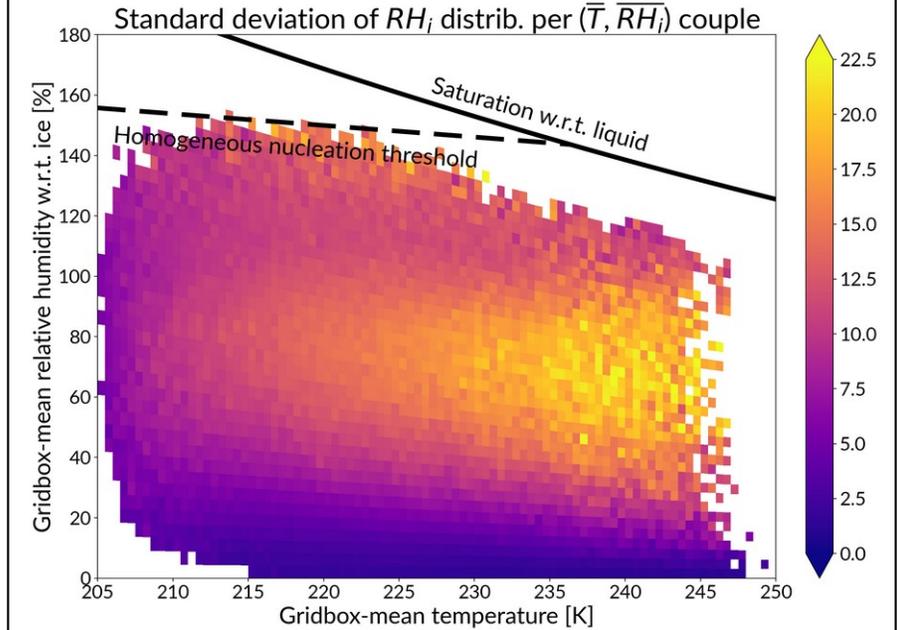


With batches the size of a gridbox, we can get properties as a function of different inputs, e.g. distribution of  $RH_i$  as a function of mean  $T$  and mean  $q$  in the batch.

(b) Distribution of  $RH_i$  for  $\bar{T} = 225$  K



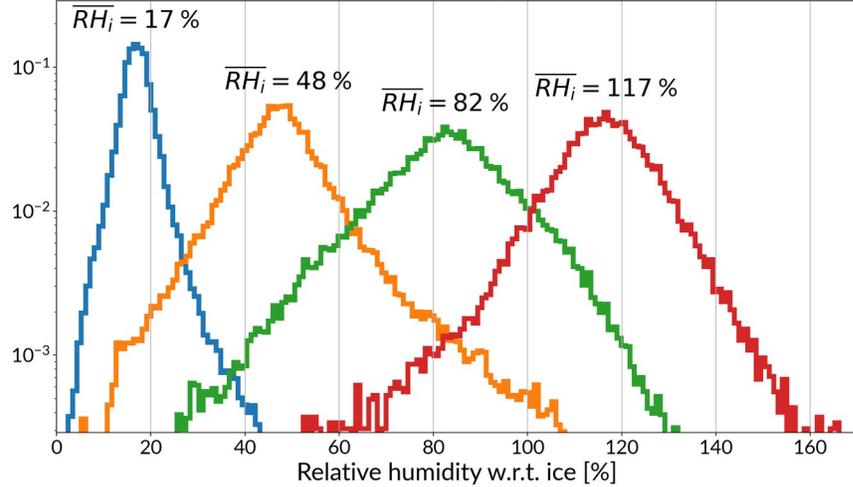
With enough batches of same mean  $T$  and mean  $q$ , the distributions of  $RH_i$  converge toward a limit one.



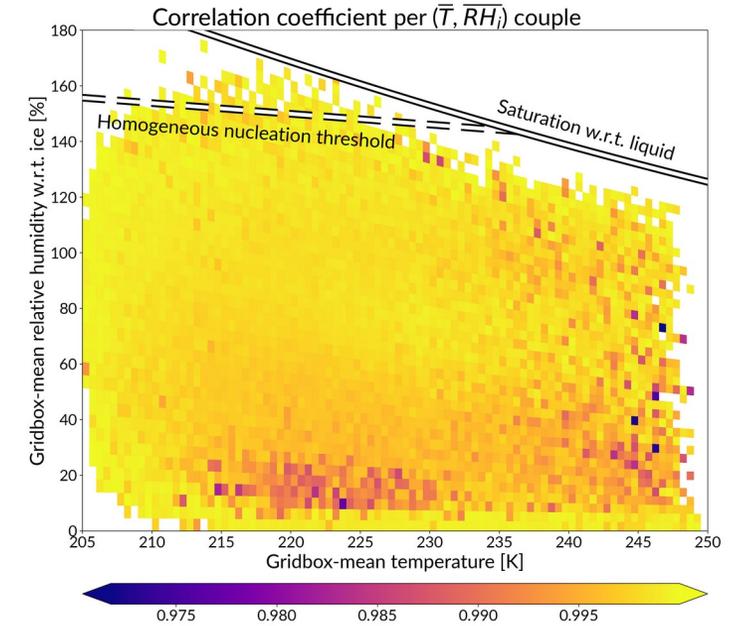
We can study the statistics of each of the distributions of  $RH_i$  in the (mean  $T$ , mean  $q$ ) plane.

# Fit of the distributions

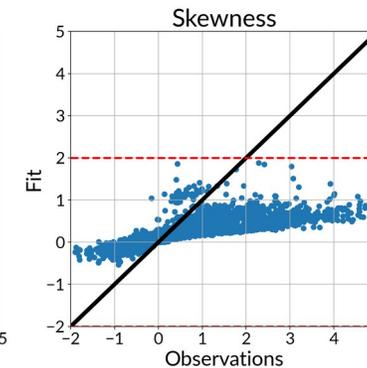
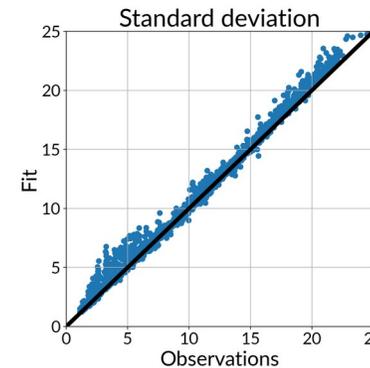
(b) Distribution of  $RH_i$  for  $\bar{T} = 225$  K



We fit each distribution with a beta law

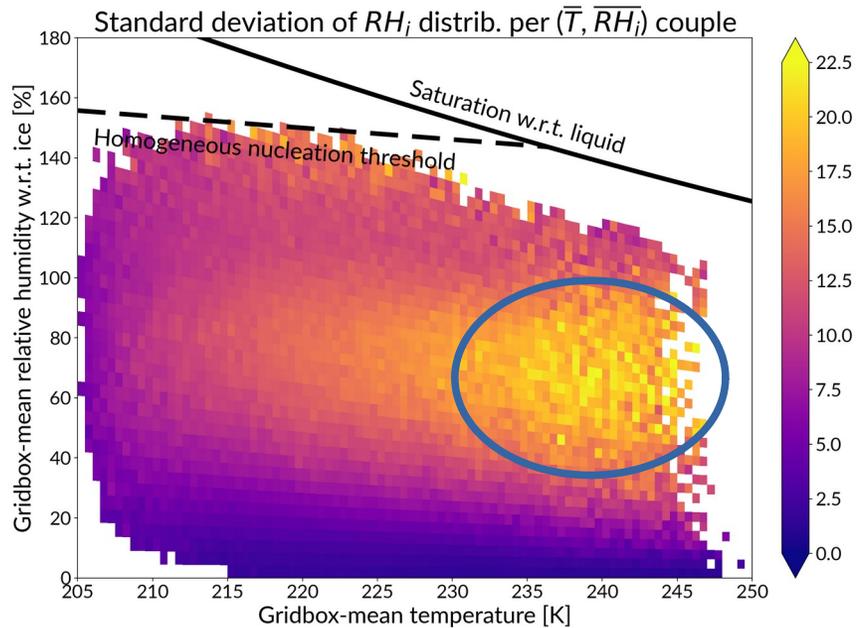


- Good fit (mean  $R^2 = 0,998$ )
- Robust to the size of the batches (= the size of the gridboxes)

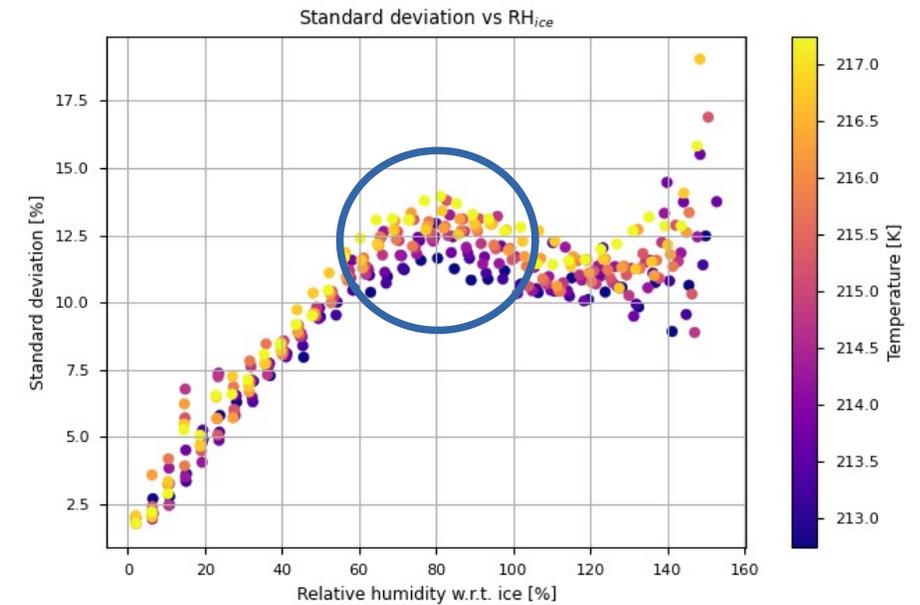


# Fit of the moments

- We have a beta law with 4 parameters for each  $(T, q)$
- Need for a simple law for all those 4 parameters as a function of  $(T, q)$   
→ we fit the moments (variance, skewness)

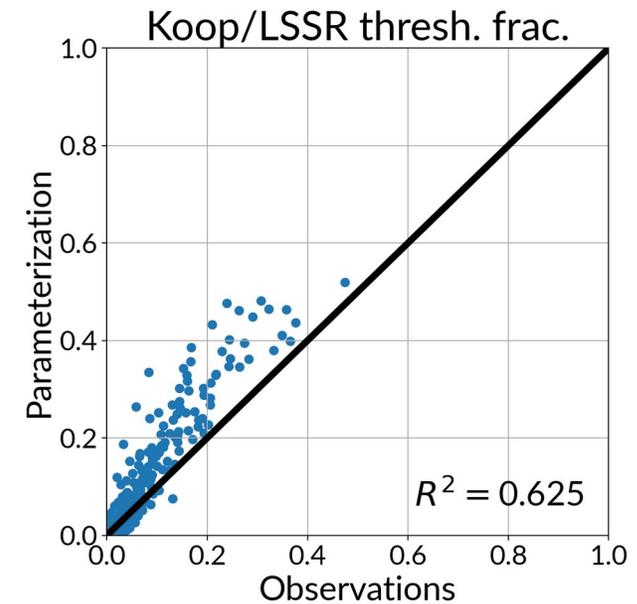
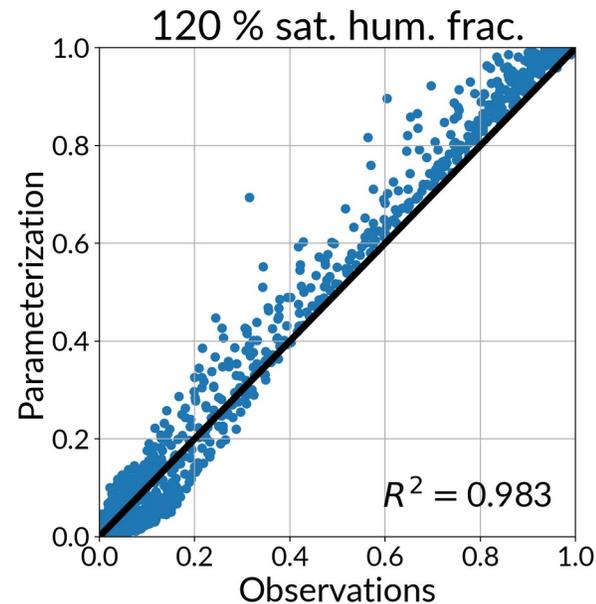
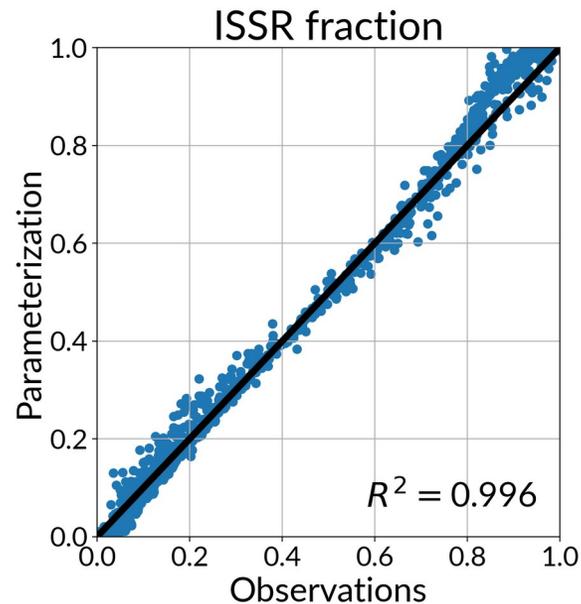


Same figure but for few values of temperature



# Final fit: evaluation

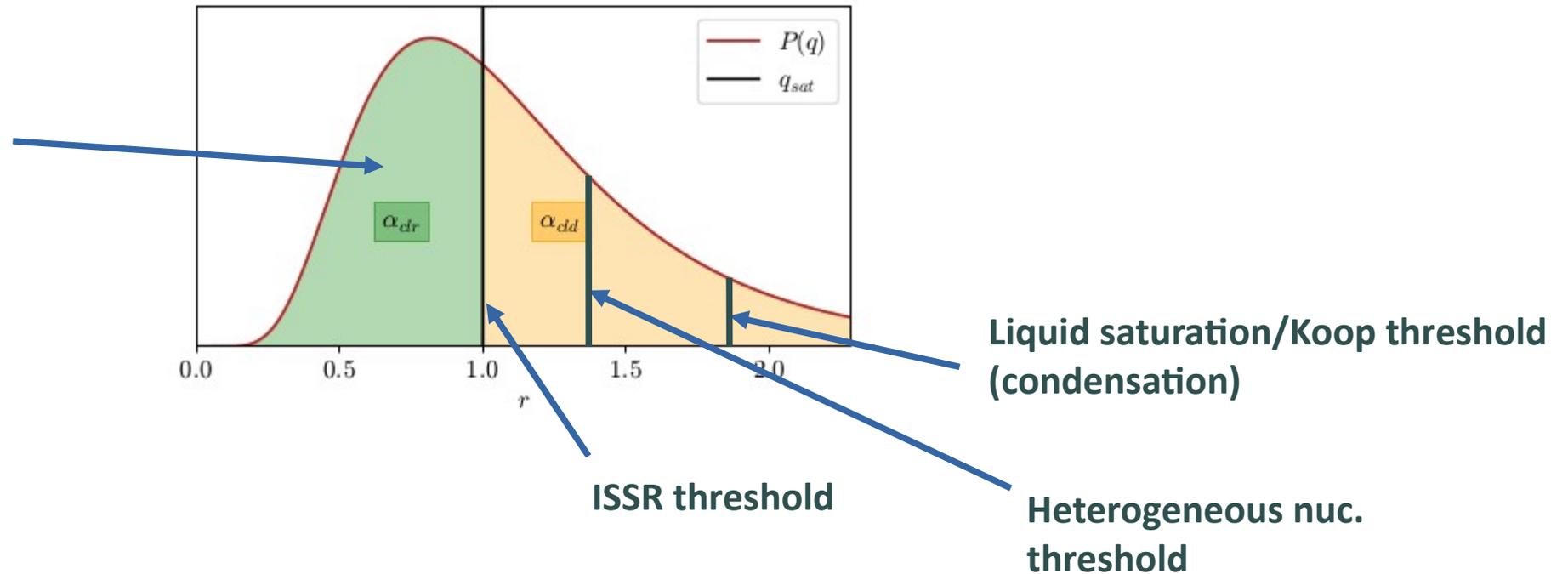
- Final product:  $\text{PDF}(\text{humidity}) = f(T, q)$
- Good behavior for high RH<sub>i</sub> values
- Small sensitivity to tropo/strato and tropics/mid lat



# Final product

- Final product:  $\text{PDF}(\text{humidity}) = f(T, q)$
- Good behavior for high RHi values
- Small sensitivity to tropo/strato and tropics/mid lat

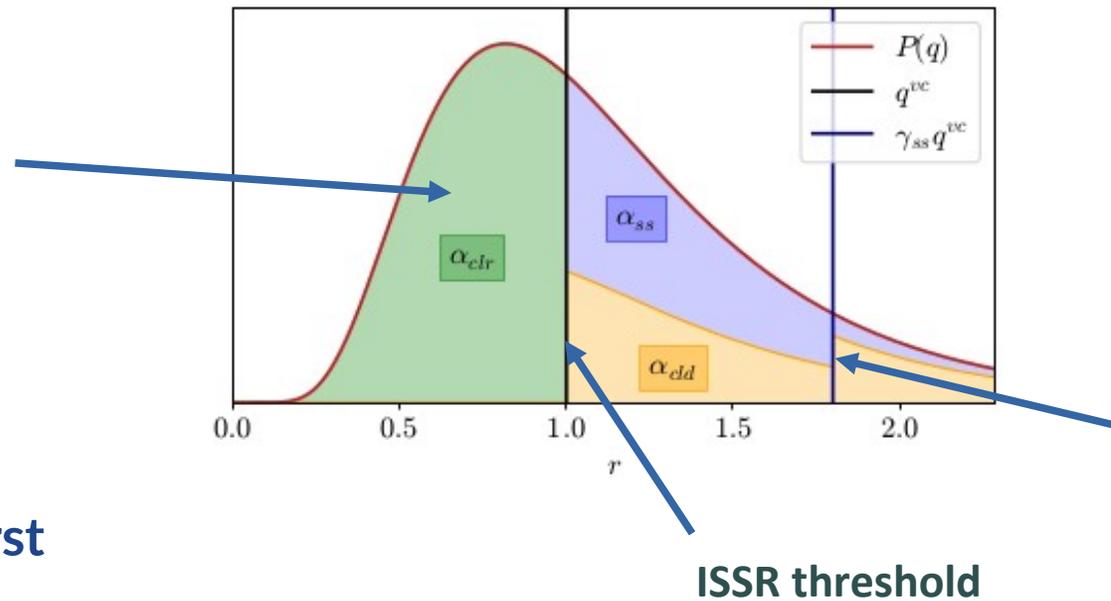
Humidity lower than 100% in the PDF  
→ clear part



# What is really in LMDZ...

- A first parameterization of ISSRs is already implemented
- It uses the lognormal PDF but separates « arbitrarily » the ISSR and the cloud

Humidity lower than 100% in the PDF  
→ clear part

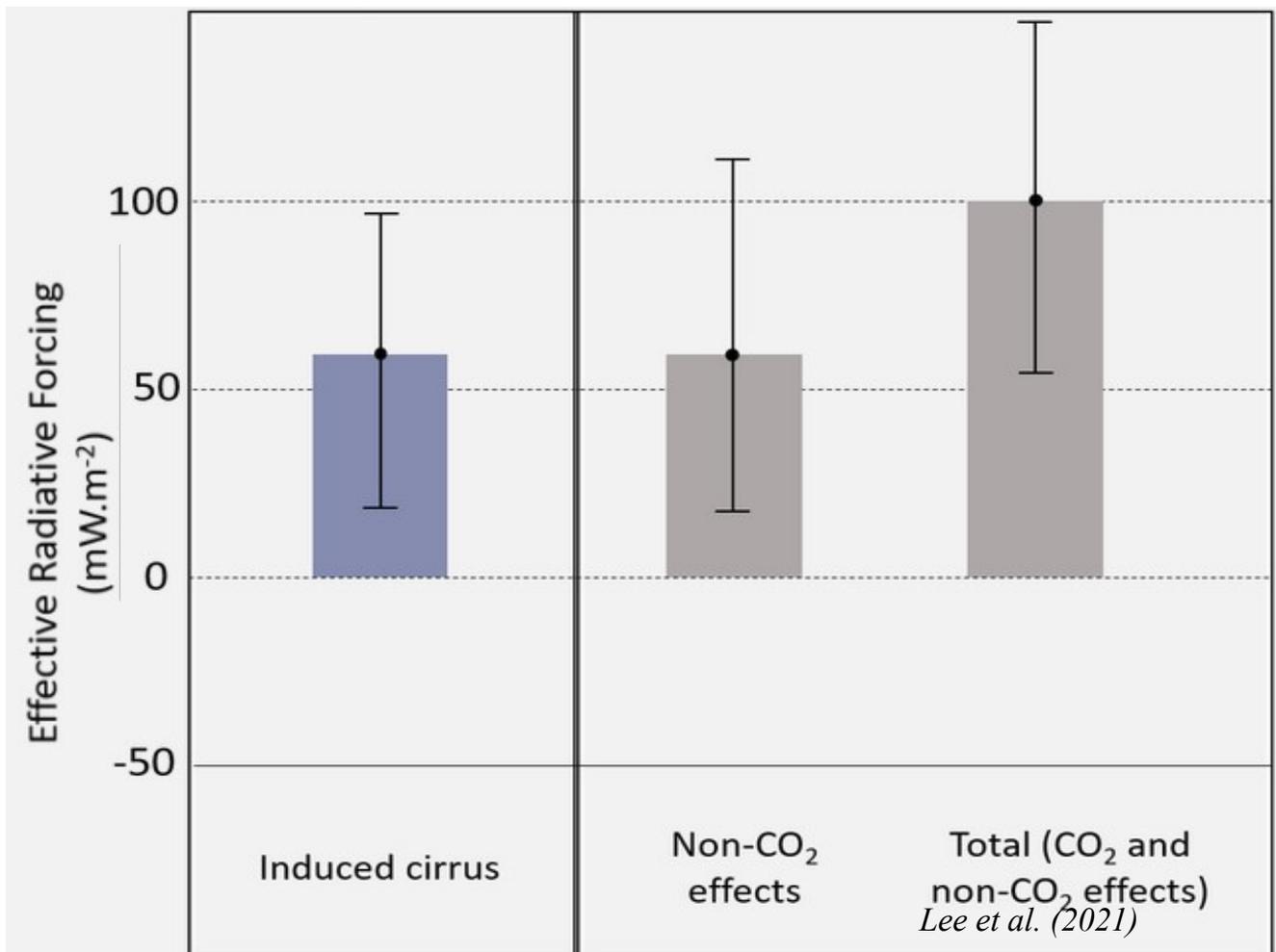


Let's see how this first version do!

# Évaluation & tuning de LMDZ pour l'étude des trainées d'avions

**Contexte:** effets radiatifs des cirrus-induits par l'aviation (AIC) encore incertains

## Forçage radiatif effectif (ERF) de l'aviation sur le climat



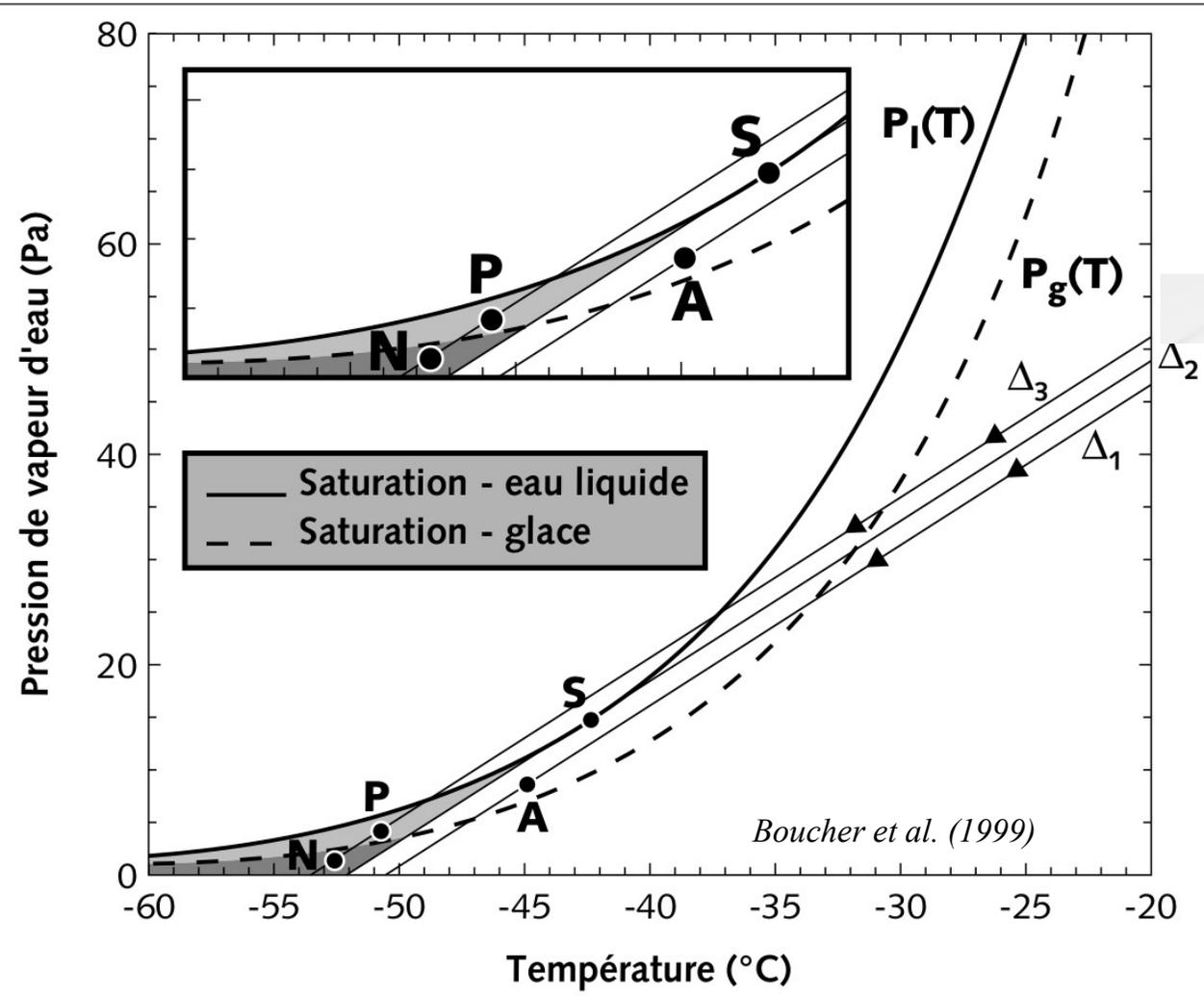
- ❑ ERF de l'aviation ( $\text{CO}_2 + \text{non-CO}_2$ ):
  - Celui des AIC est plus grand,
  - Taille dépend de la saison et de la zone
- ❑ L'essentiel de l'incertitude sur l'ERF de l'aviation provient des cirrus-induits, processus incertains:
  - dans les observations,
  - dans les modèles de climat

Besoin de mieux comprendre les processus et effets radiatifs des cirrus-induits

# Évaluation & tuning de LMDZ pour l'étude des traînées d'avions

## Quels facteurs précurseurs des traînées sur lesquels évaluer LMDZ ?

### Processus de formation d'une traînée d'avion



⇒ Les traînées d'avions se forment à:

- des températures avoisinant  $-40^\circ\text{C}$
- avec des humidité relative (RHi)  $\geq 100\%$

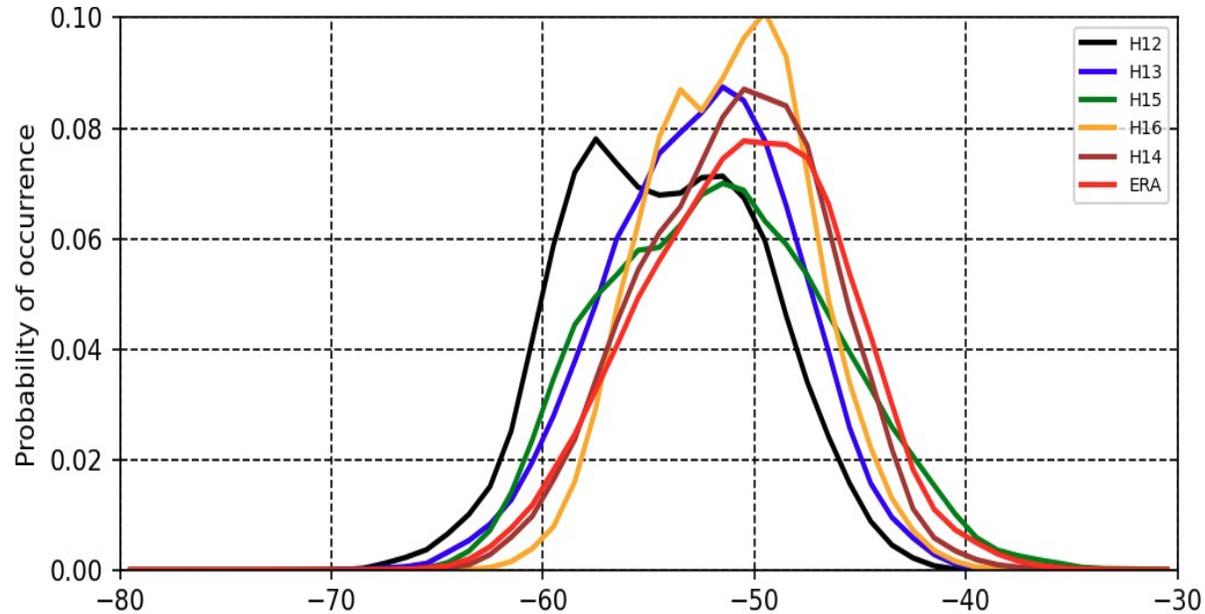
⇔ Critère de Schmidt-Appleman

### Quelle pertinence de LMDZ

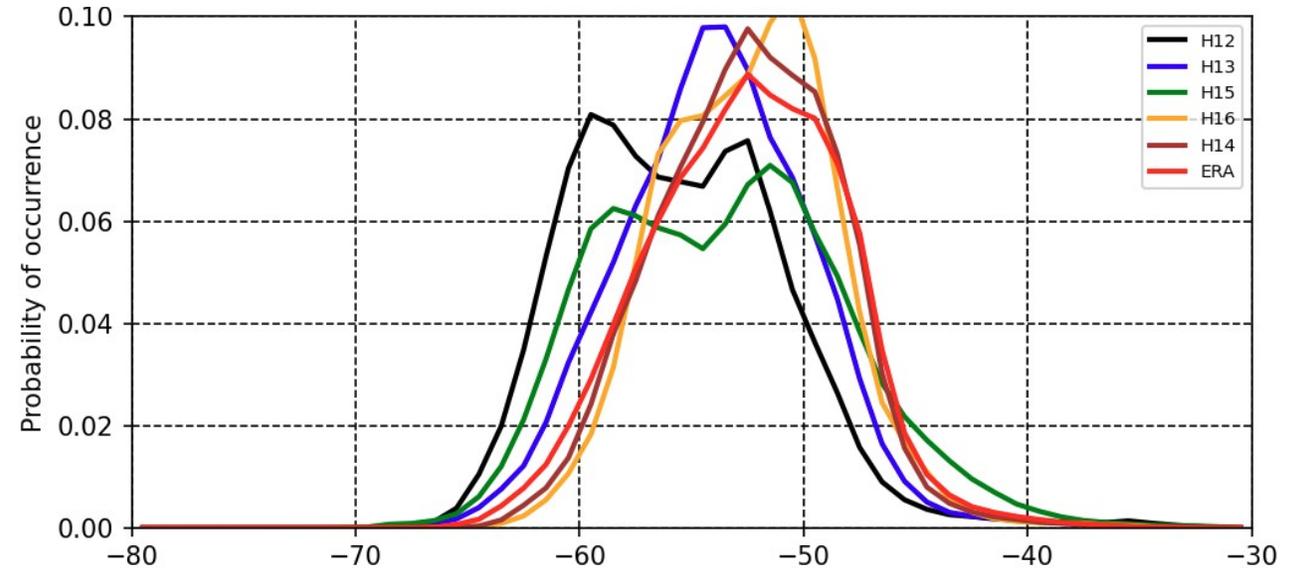
1. sur le critère de Schmidt-Appleman ?
2. globalement sur la statistique:
  - ⇒ de la température ?
  - ⇒ de RHi ?

# Température dans la haute troposphère: **LMDZ vs ERA5**

a) Atlantique [40°-60°N, -65°-5°W]: 200 hPa



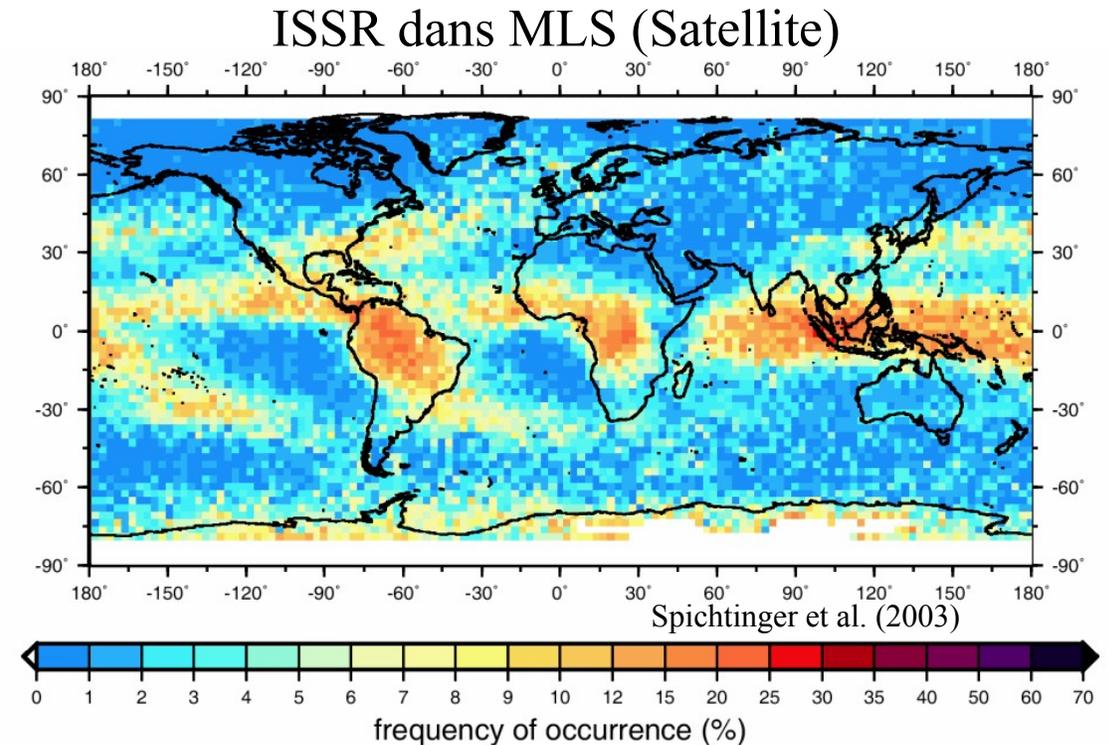
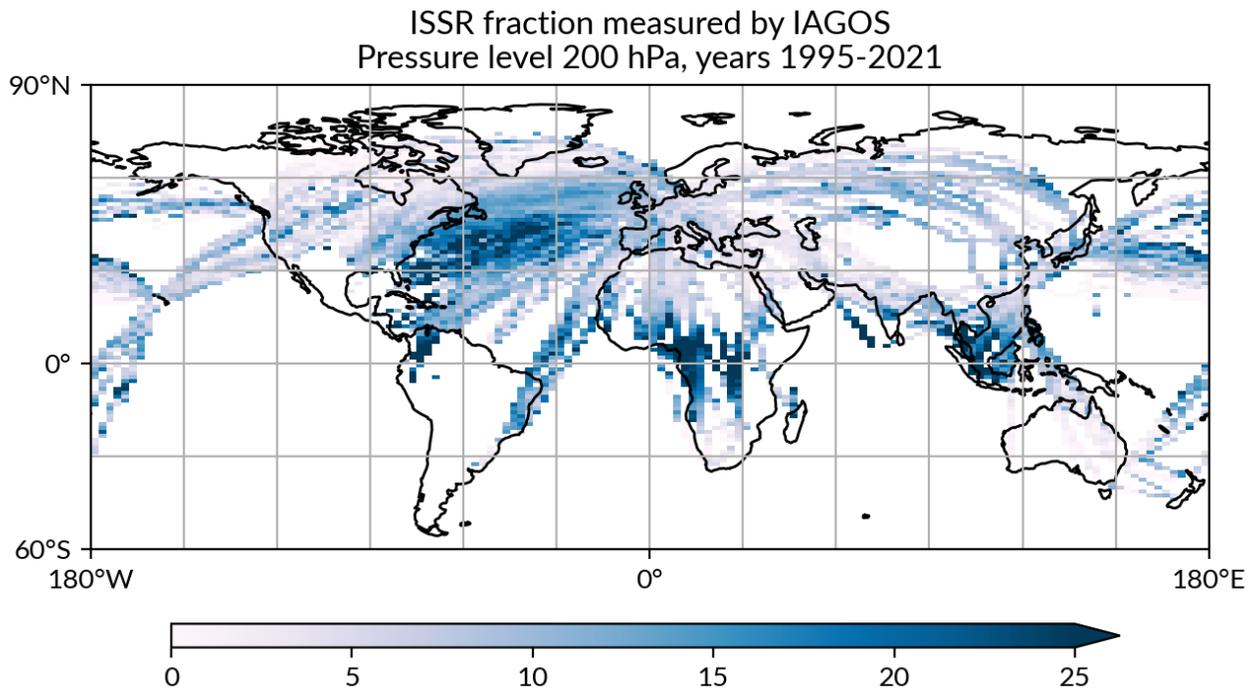
b) Europe [40°-60°N, -5°W,30°E ]: 200 hPa



- ❑ Biais froid de LMDZ (ref=ERA5, IAGOS) dans la haute troposphère/basse stratosphère à 200 hPa
  - idem à 250 hPa
  - pour les 4 saisons
- ❑ Une correction de biais par nudging en vent méridien et zonal marche

# RHi dans la haute troposphère

## La fréquence des ISSR dans les produits de référence

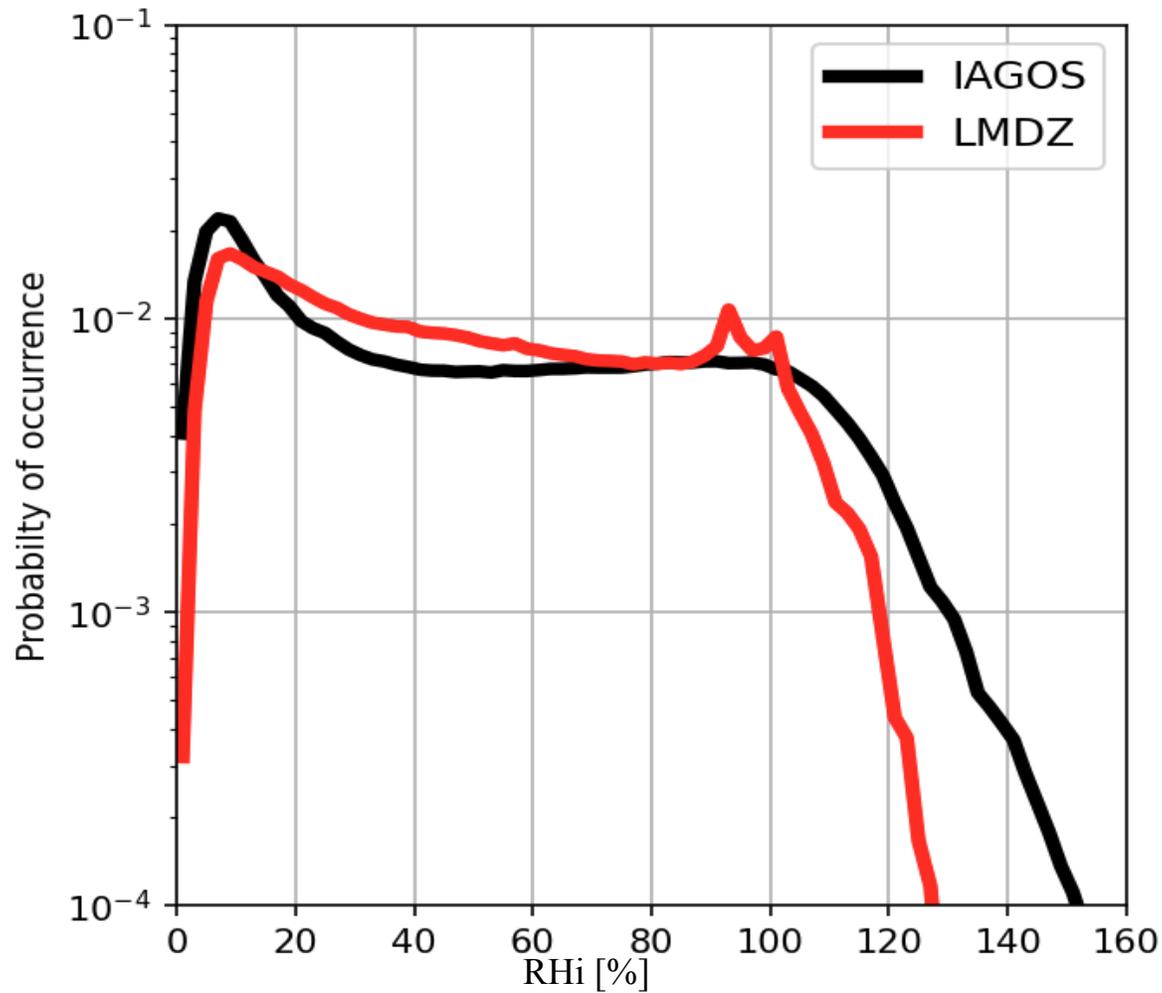


- ❑ A 200 hPa les ISSR se produisent plus fréquemment
  - dans les zones de convection profonde
  - dans l'Atlantique Nord
  - dans l'antarctique

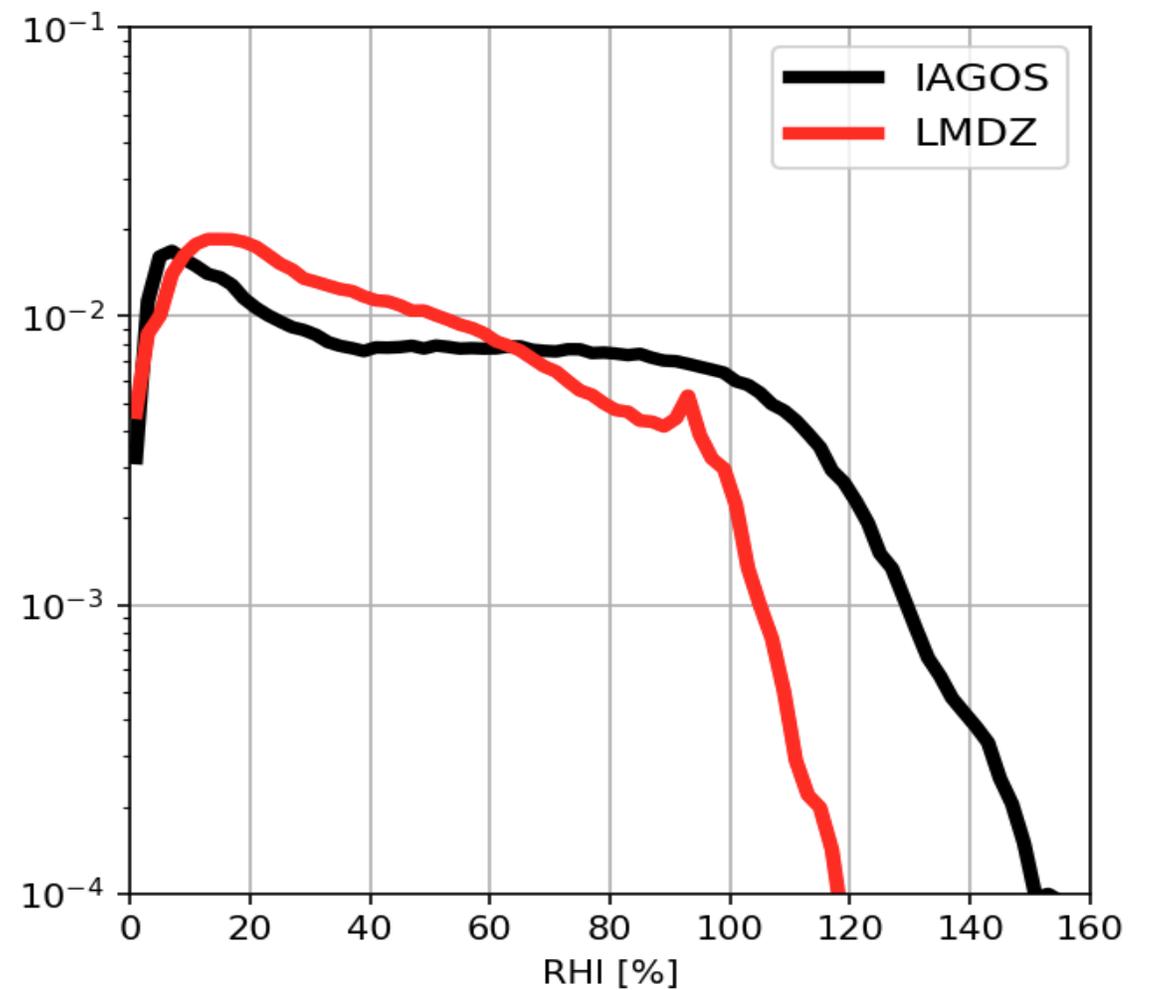
- ❑ PDF de RHi: IAGOS plus pertinente
- ❑ Distribution spatiale des ISSR: besoin d'une synergie de produits e.g., MLS et ERA5

# RHi dans la haute troposphère: LMDZ vs IAGOS

a) Atlantique [40°N-60°N, -65°W,-5°E ]: 200 hPa



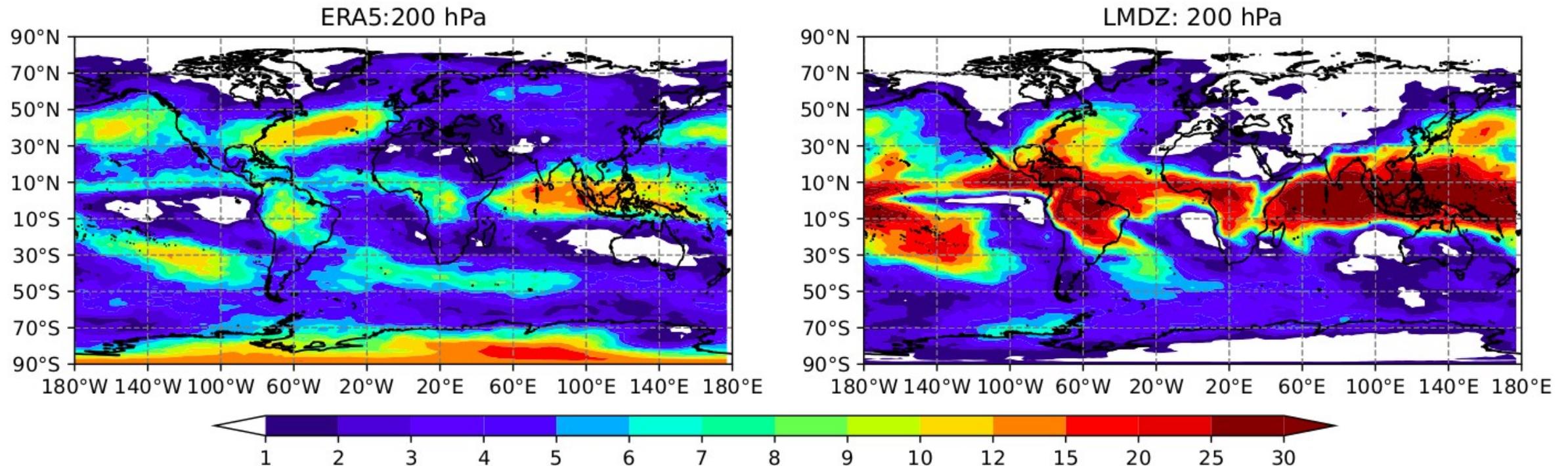
b) Europe [40°N-60°N, -5°W,30°E ]: 200 hPa



❑ Peut-il mieux faire sur la partie sursaturation (ISSR) de la pdf de RHi ?

# Fréquence des ISSR dans LMDZ

## Fréquences des ISSR à 200 hPa: **LMDZ vs ERA5**



- ❑ LMDZ reproduit les structures grandes échelles de la fréquence des ISSR mis à part l'Antarctique
- ❑ Des déficiences à noter, dont la correction du biais en température n'a pas résolu:
  - e.g., localisation de la zone de forte occurrence dans l'atlantique Nord
  - Le biais, etc.

Peut-il mieux faire sur la fréquence des ISSR ?

# Tuning de LMDZ sur la sursaturation par rapport à la glace

**Objectifs:** Identifier des configurations de LMDZ performantes sur les ISSR et les effets radiatifs des nuages dans l'hémisphère ayant un climat global satisfaisant

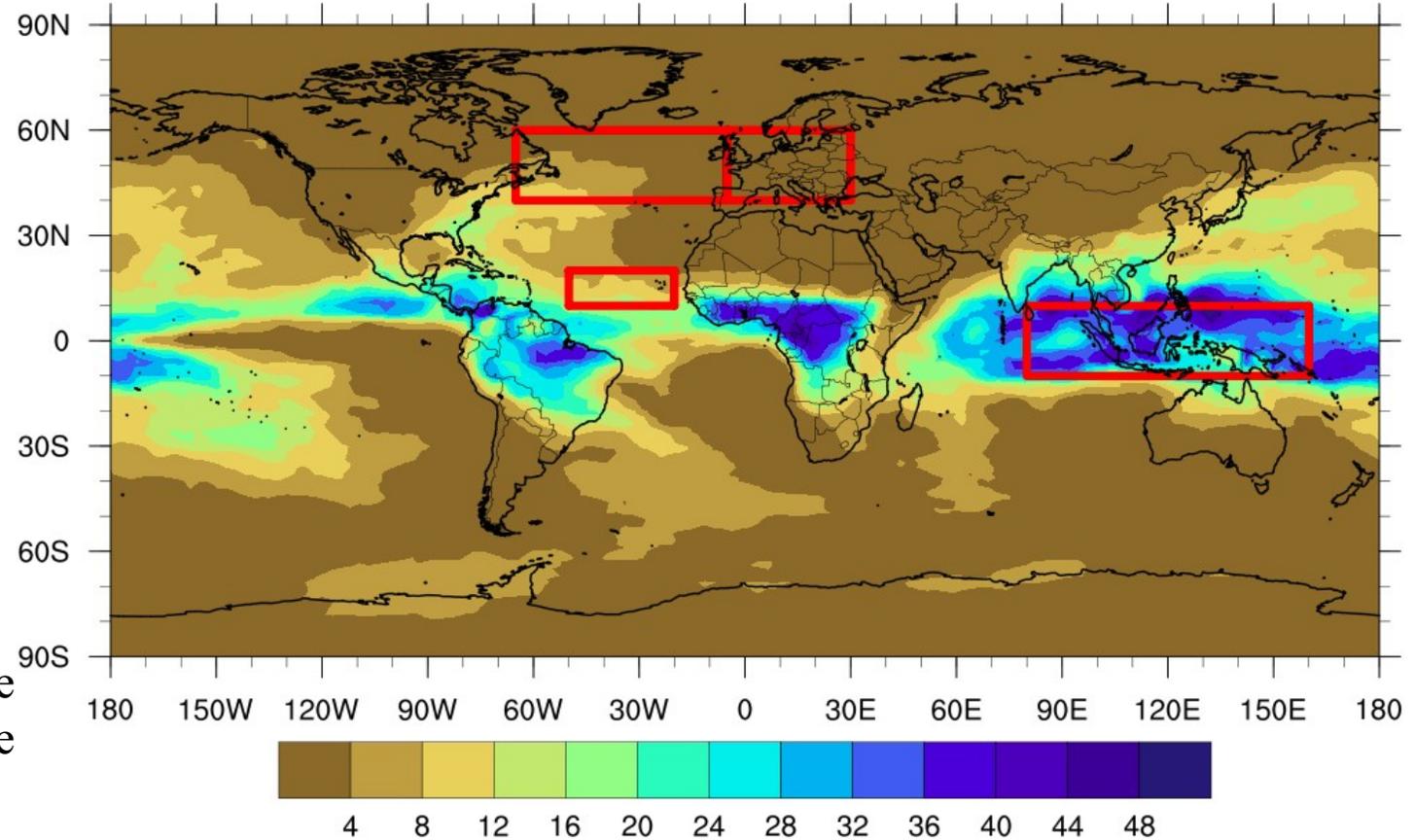
Métriques

→ Régionales:

	RHI	Cloud fraction	IPW
80th perc.	x		
95th perc.	x		
Mean		x	x

→ Autres métriques (e.g., flux radiatif au sommet de l'atmosphère) dont certaines sont globales, comme dans Hourdin et al. (2021)

15 paramètres libres

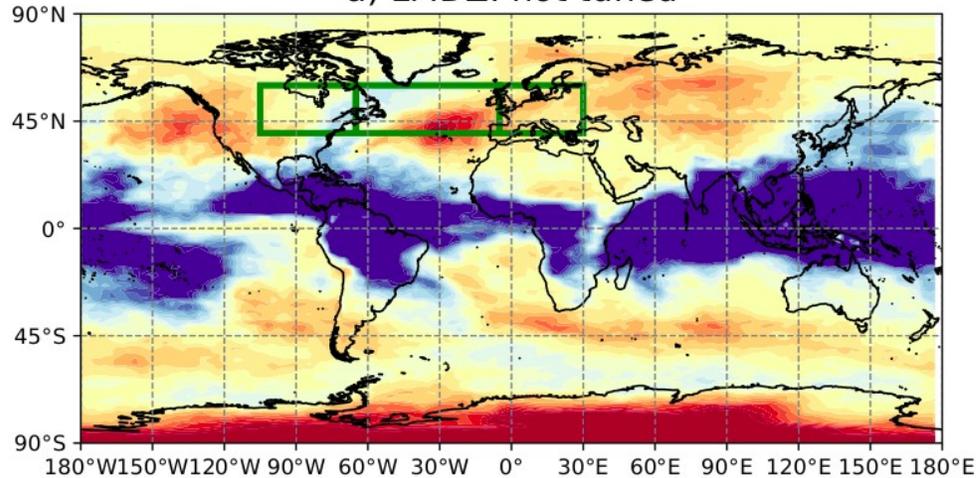


# Résultats préliminaires: tuning 1D

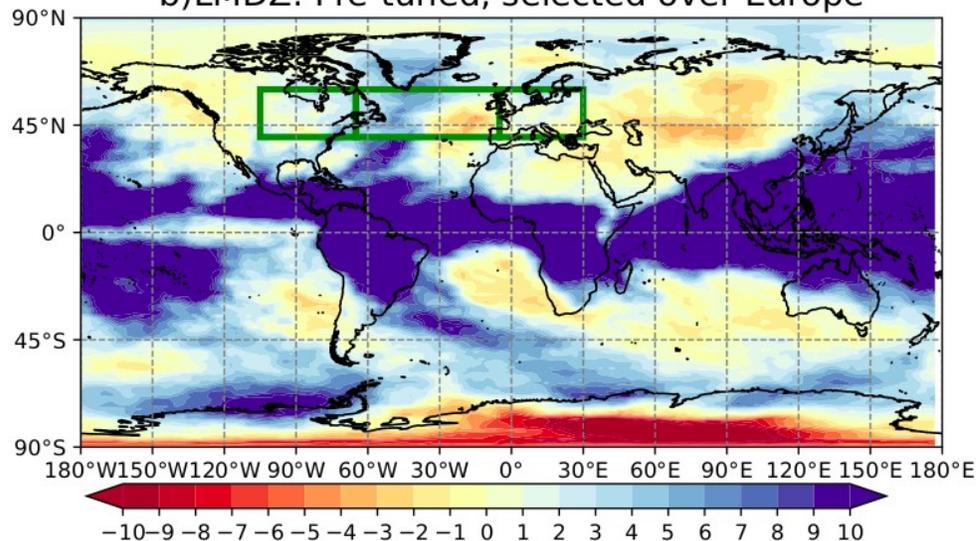
## Performance sur la fréquence des ISSR d'une configuration de LMDZ issue du tuning 1D

### LMDZ moins ERA5

a) LMDZ: not tuned



b) LMDZ: Pre-tuned, selected over Europe



### LMDZ moins IAGOS

Areas	LMDZ: Not Tuned	LMDZ: Pre-Tuned
Europe [105°W-65°W, 40°N-60°N]	-3.81 %	-1.53
North Atlantic [105°W-65°W, 40°N-60°N]	-2.97 %	-2.56 %
USA [105°W-65°W, 40°N-60°N]	-3.55 %	0.22 %

❑ Overall, the pre-tuned configuration of LMDZ performs better in the mid-latitudes of the Northern Hemisphere but:

❑ **3D tuning required to :**

- maintain the simulated global climate at a satisfactory level
  - Ensure good control of cloud radiative effects
- ⇒ Ongoing

# Conclusions

## **Évaluation et tuning de LMDZ6A (243x244x79):**

- ❑ Trop froid dans la haute troposphère et basse stratosphère
- ❑ Biais important sur la sursaturation par rapport à la glace.

## **Réduction des biais:**

- ❑ Du nudging en u et v permet de corriger le biais en température
- ❑ Il y a de l'espoir que le tuning va réduire celui sur la sursaturation

MERCI – THANK YOU

