

# Quantifier les erreurs systématiques d'ARPEGE-Climat grâce à la modélisation à résolution kilométrique

Wahiba Lfarh<sup>1</sup>, Romain Roehrig<sup>1</sup>, Hannah Christensen<sup>2</sup>

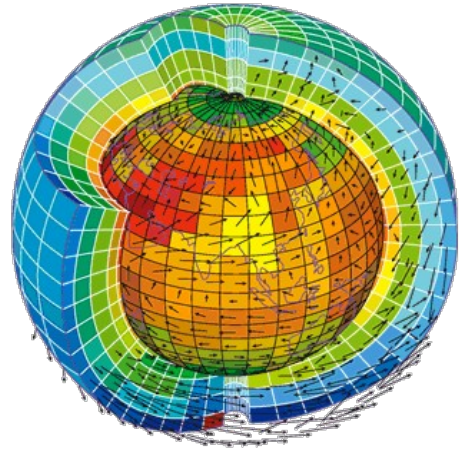
<sup>1</sup>CNRM, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, Toulouse, France

<sup>2</sup>Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, University of Oxford, UK

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère

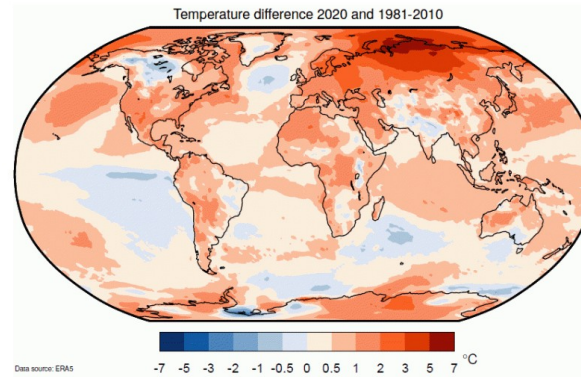
Vendredi 21 mars 2025

## Modèle de Circulation Générale

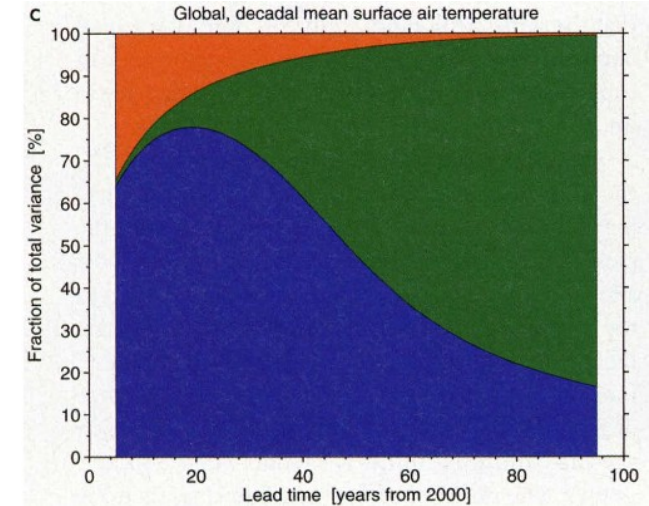


- Conditions initiales
- Résolution
- Paramétrisations

## Projection climatique



## Erreurs / Incertitudes



*Hawkins & Sutton 2009*

### Sources d'erreurs/incertitudes dans les modèles de prévision de temps et climat :

- Approximations/simplification dans la conception des modèles (*Hawkins & Sutton 2009*)
- Représentation des processus non résolus (paramétrisations) (*Christensen 2019*)
- Conditions initiales / limites

### Quantification des erreurs :

- Simulations 3D  
→ Caractérisation/analyse des biais régionaux
- SCM/LES  
→ Analyse des erreurs à l'échelle des processus physiques (*Couvreux et al., 2020*)



## MUMIP : Model Uncertainty - Model Intercomparison Project

<https://mumip.web.ox.ac.uk/>

**MU-MIP** : Un projet international pour étudier les erreurs des modèles atmosphériques à l'échelle des paramétrisations physiques

### ♦ Pourquoi ?

Quantifier et analyser les erreurs systématiques et aléatoires dans les modèles à l'échelle des processus physiques, afin d'améliorer leur représentation et leur prise en compte dans les systèmes de modélisation

### ♦ Comment ?

Exploiter des simulations à résolution kilométrique pour forcer des versions uni-colonnes des modèles à convection paramétrée, via des approches de coarse-graining

5 modèles atmosphériques : ARPEGE-Climat, IFS, MetUM, GFS et RAP

### ♦ Qui ?

Soutenu par le WCRP et WWRP-PDEF

projet regroupe plusieurs universités/instituts : Oxford, Exeter, MetOffice, CEPMMT, Météo-France,...



## Protocole du MUMIP

### 1 : Simulation à haute résolution

Modèle : Icon ( $dx=2.5$  km)

Domaine : océan indien

Conditions initiales : CEPMMT

### 2 : Coarse-graining

Réduire la résolution en effectuant des moyennes spatio-temporelles sur les données à haute résolution, pour être adaptées à la grille du modèle à basse résolution (20 km)

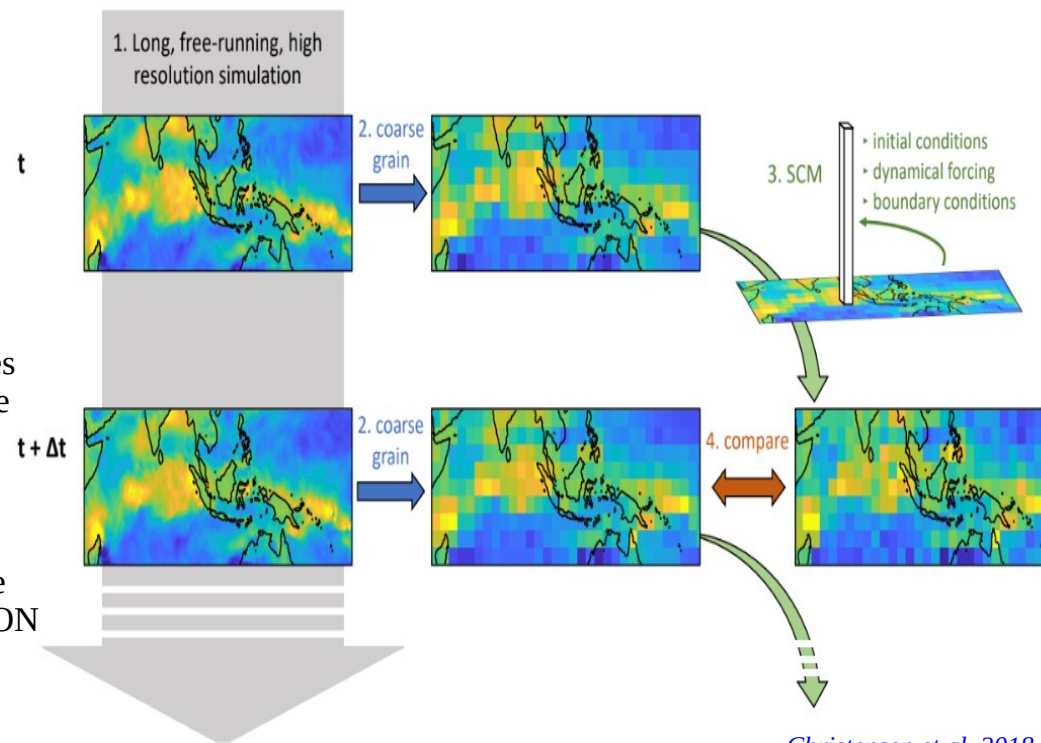
### 3 : Modèle uni-colonne (SCM)

Le SCM est initialisé et forcé par les champs issus de la simulation à haute résolution (coarse-grained). Le SCM reçoit les forçages dynamiques d'ICON qui permettent de cibler l'incertitude dans les paramétrisations

### 4 : Comparaison des résultats

Le SCM est comparé avec la simulation haute résolution

- Identifier des erreurs liées aux paramétrisations physiques
- Améliorer les paramétrisations



*Christensen et al. 2018*

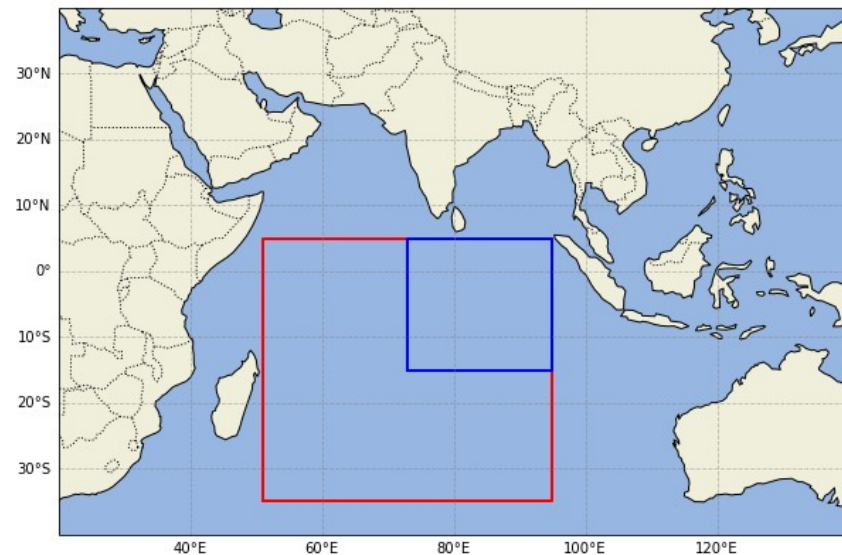
ARPEGE-Climat (6.3) dans MU-MIP :

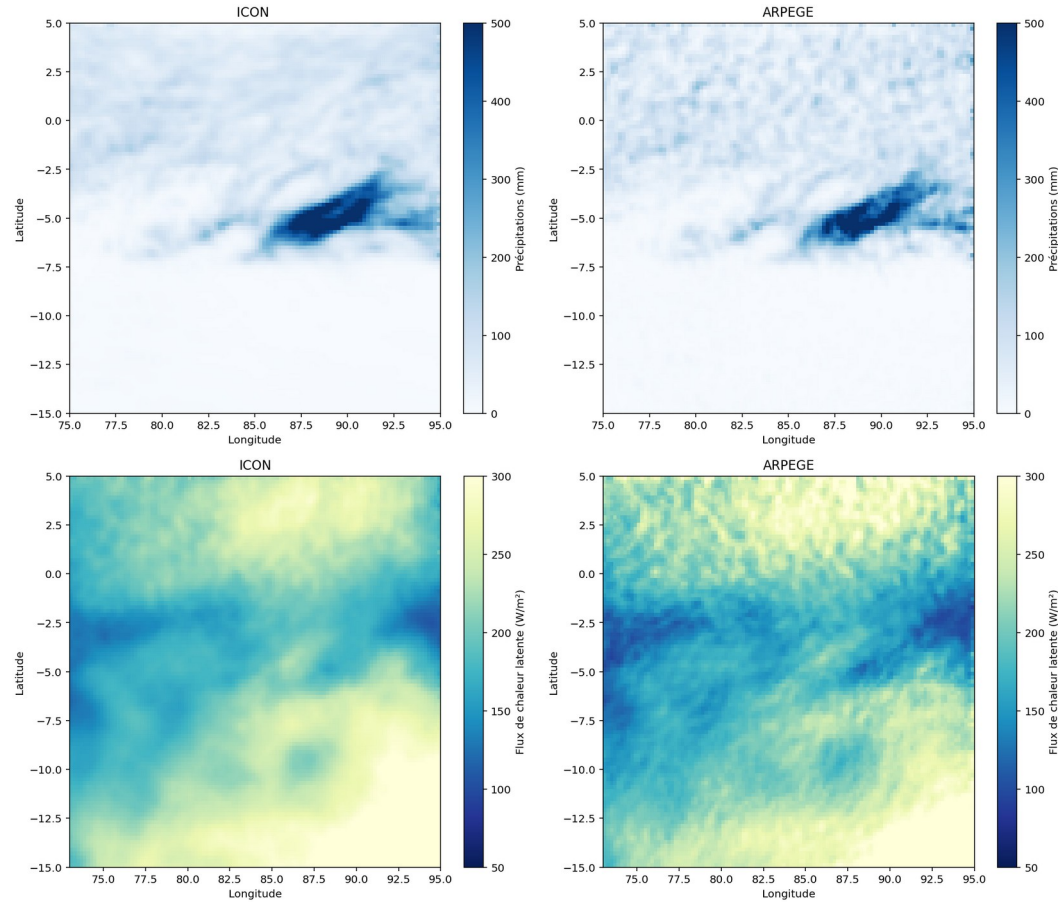
**Objectif** : Quantifier les différences systématiques liées à la convection dans les tropiques

### Configuration SCM :

- **Résolution** :  $dx = 20 \text{ km}$ ,  $dt = 300s$
- **Domaine** : océan indien (200 x 220)
- **Période** : 11/08/2016 – 10/09/2016
- **Conditions initiales** : pression, vent, température, humidité
- **Conditions aux bords** : température de surface
- **Forçage** : pression, vent géostrophique, vitesse verticale, advections
- **Simulations** :
  - Une simulation est initialisée en chaque point toutes les 3h
  - Chaque simulation dure 6h → 44 000 simulations 1D → assemblage

*Préparation des fichiers selon le format DEPHY*





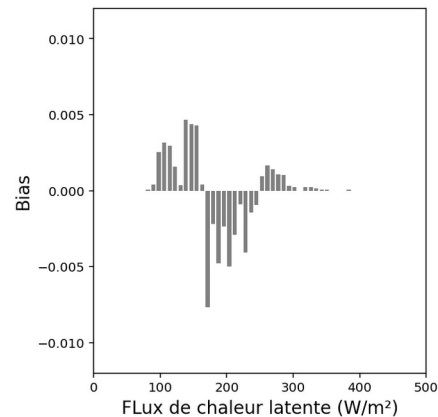
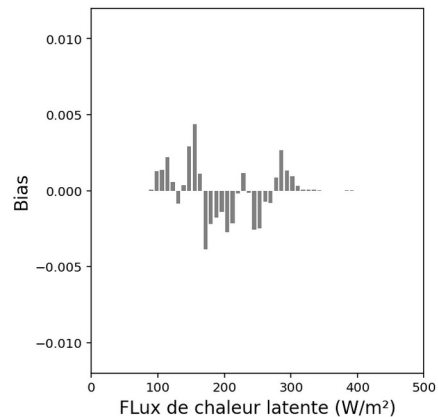
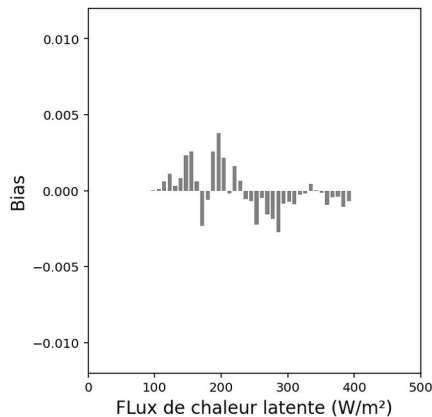
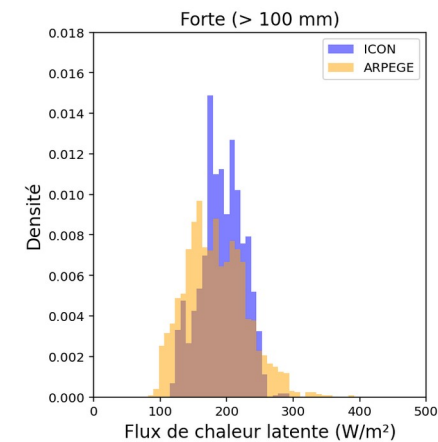
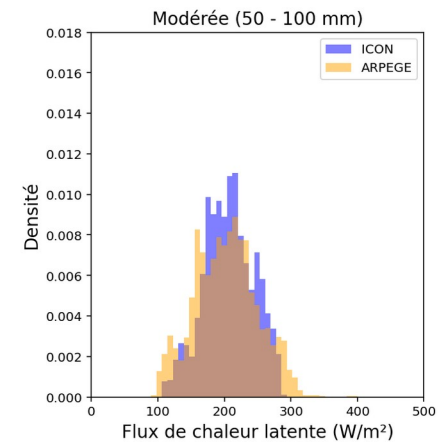
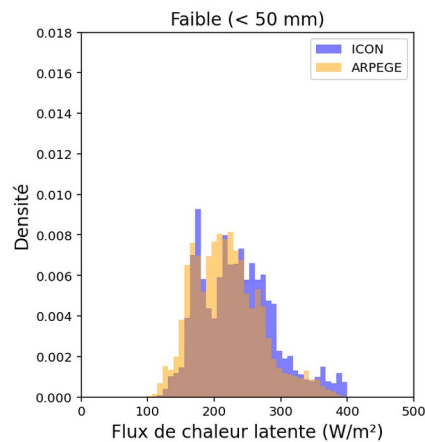
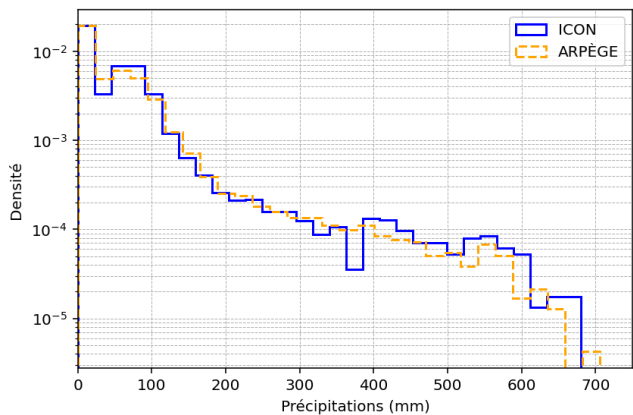
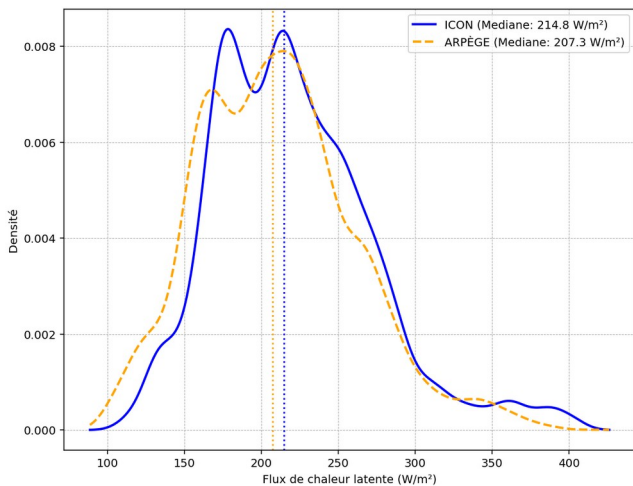
ARPEGE reproduit globalement bien les champs d'ICON

ICON : distribution plus lisse, avec des valeurs maximales plus marquées

ARPEGE : distribution plus fragmentée et plus contrastée

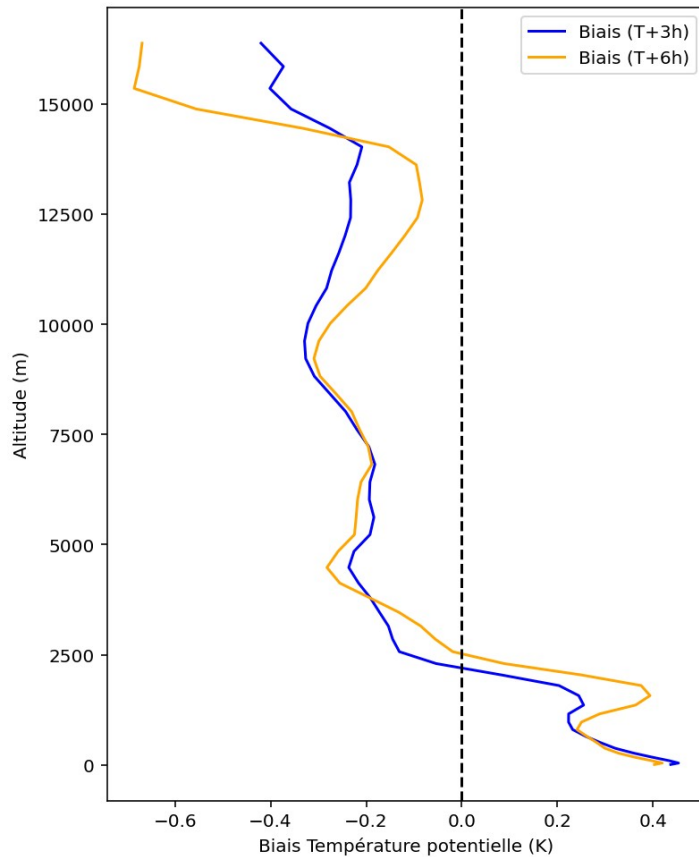
→ colonnes indépendantes

→ Les deux modèles simulent des structures similaires, mais avec des différences notables en intensité et en variabilité spatiale

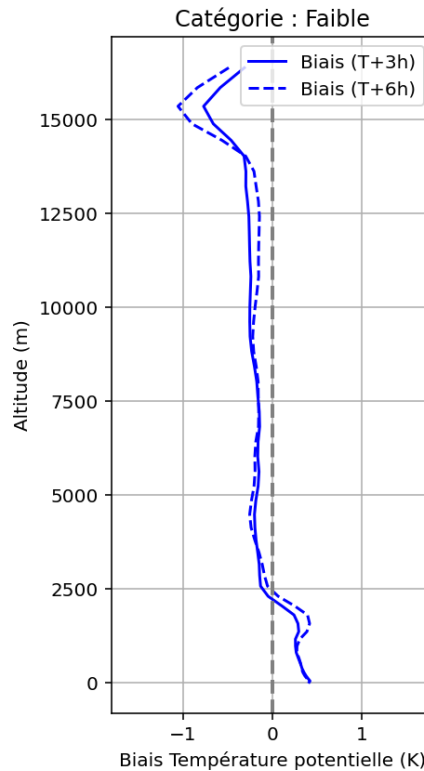


- Les différences entre **ARPEGE** et **ICON** augmentent avec l'intensité des précipitations
- **ARPEGE** sous-estime les valeurs élevées du flux de chaleur latente, en particulier lors de fortes précipitations

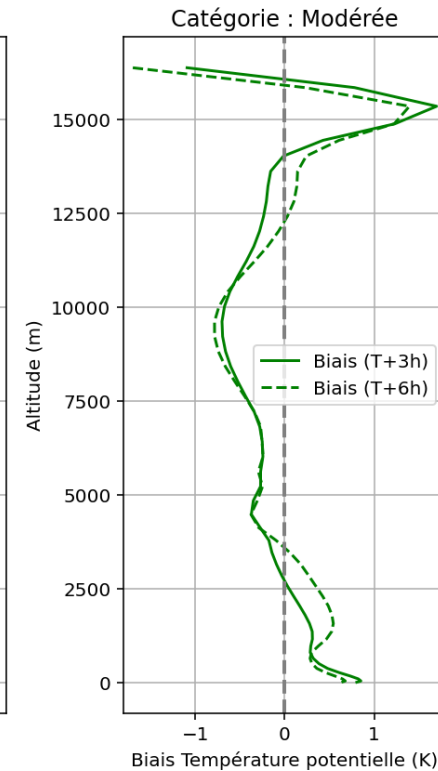
## Biais moyen de température potentielle



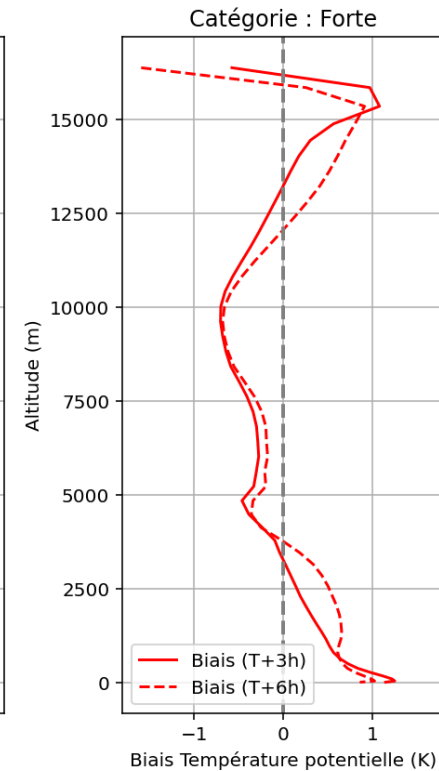
## La température $\theta$ conditionnée aux précipitations



Biais faible et stable



Biais tend à se renforcer

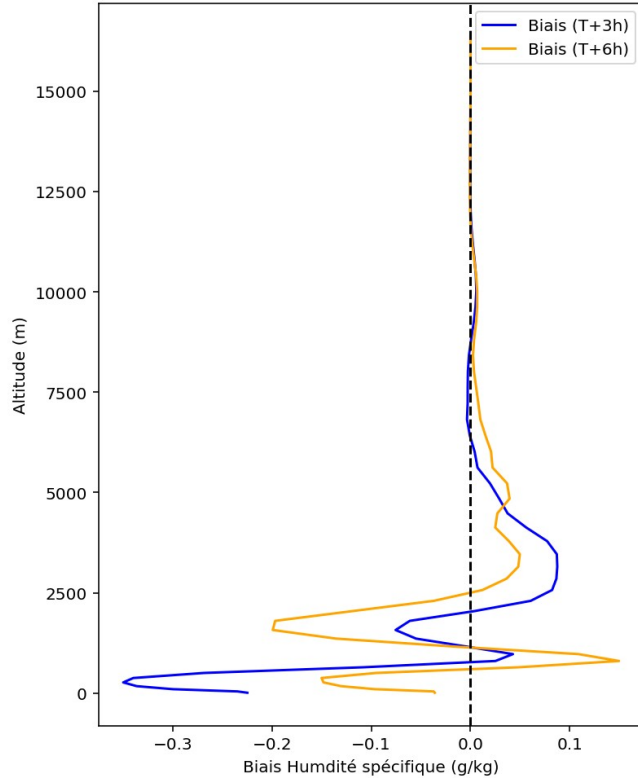


Biais plus marqué après 6h  
   effet spin-up marqué

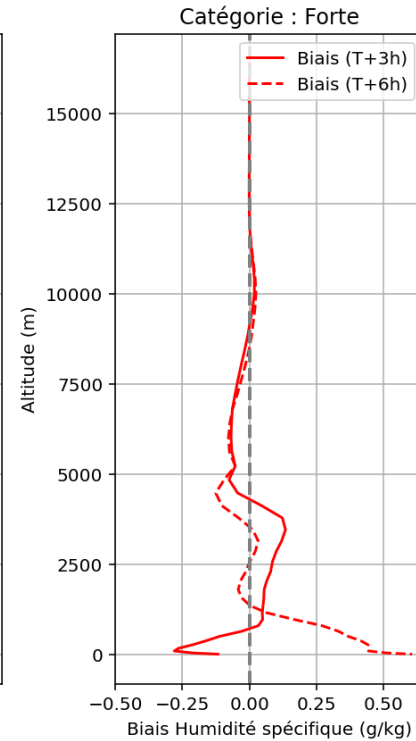
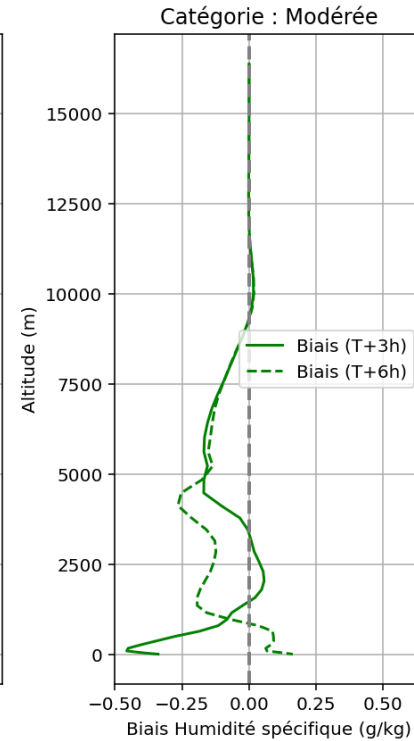
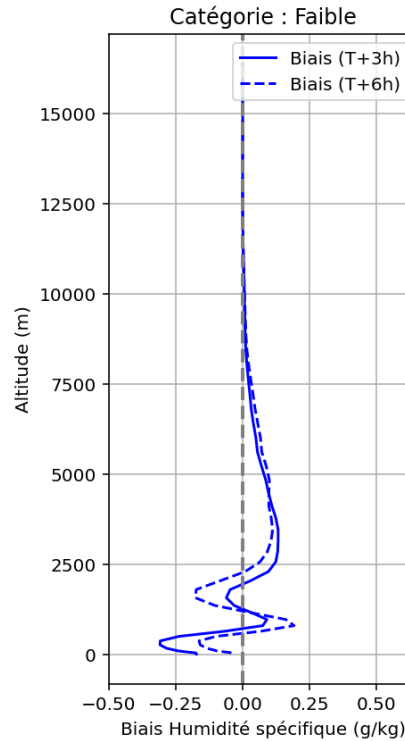
ARPEGE est plus chaud qu'ICON en basses couches, avec un biais stable entre 3h 6h

- Au-dessous de 10 km : les différences restent faibles à stabilisation rapide
- Au-dessus de 10 km : le biais évolue encore à ajustement progressif du modèle

## Biais moyen d'humidité

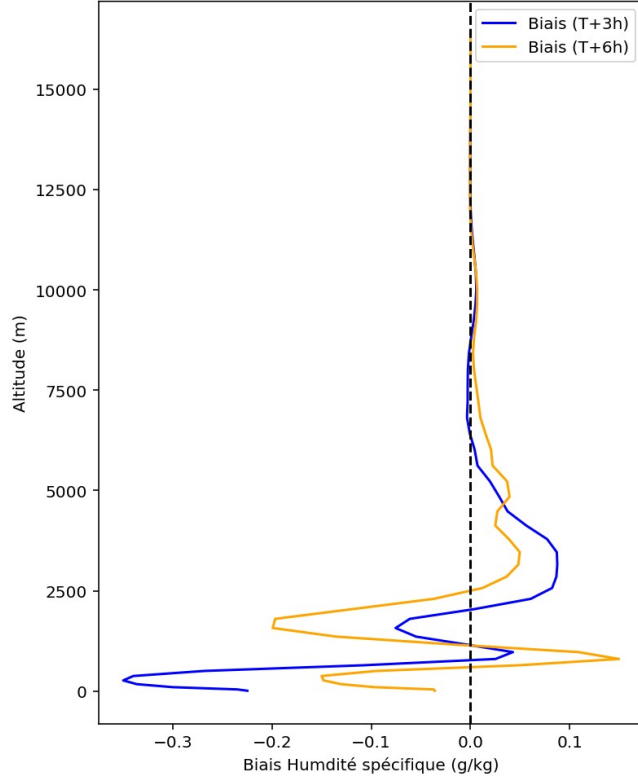


## L'humidité conditionnée aux précipitations



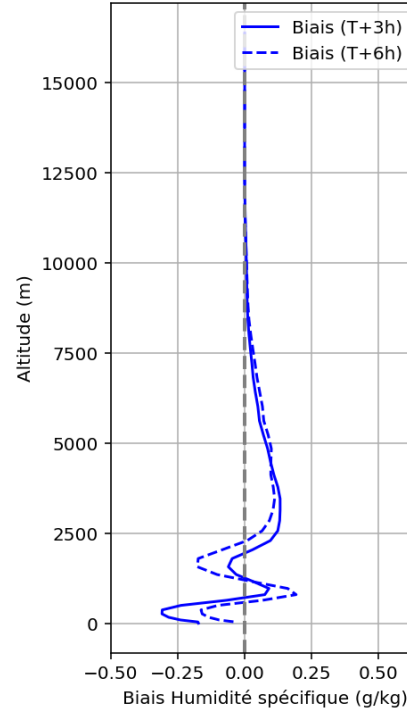
- Les 3 premières heures sont marquées par un fort spin-up → fort assèchement de la couche limite par ARPEGE
- Au bout de 6h, ARPEGE s'ajuste rapidement en évacuant l'humidité excédentaire pour retrouver son équilibre
- Au-dessus de 5 km, l'humidité évolue peu, suggérant que les ajustements se concentrent sur les basses couches

## Biais moyen d'humidité

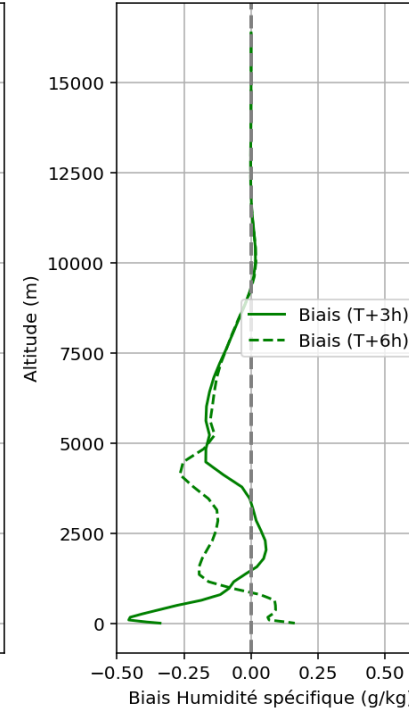


## L'humidité conditionnée aux précipitations

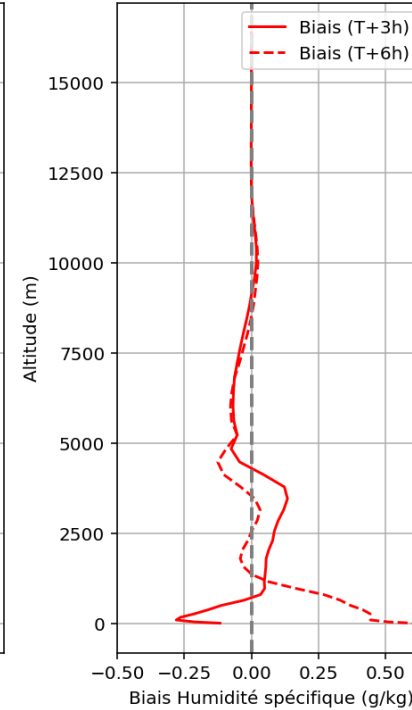
Catégorie : Faible



Catégorie : Modérée



Catégorie : Forte



- ARPEGE tend à stabiliser rapidement son biais après le spin-up initial, et l'humidité reste sous-estimée en basses couches
- Le spin-up initial provoque une forte évacuation de l'humidité, suivie d'une ré-humidification des basses couches après 6h
- ARPEGE passe par une phase d'assèchement rapide suivie d'une forte ré-humidification

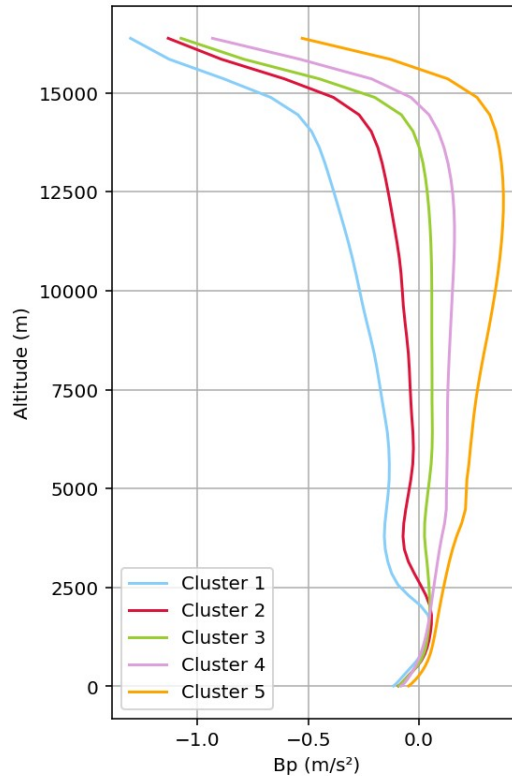
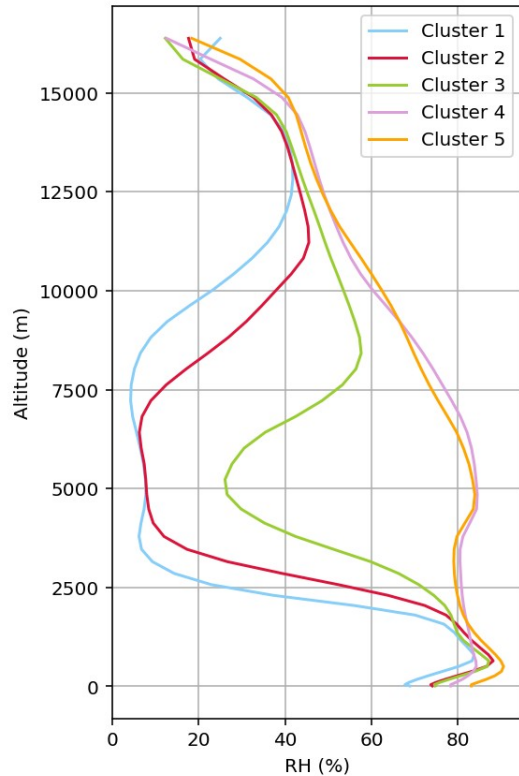
**Effet systématique du spin-up :** dans toutes les catégories, ARPEGE commence par évacuer l'excès d'humidité dans la couche limite  
**Ré-humidification :** plus les précipitations sont intenses, plus l'humidité revient dans les basses couches après 3h (évaporation des précipitations)

**Comment ces biais varient-ils en fonction des régimes atmosphériques ?**

Identification des régimes atmosphériques avec K-means, en utilisant :

Humidité relative (RH)

Flottabilité (Bp)



Régimes secs et stables (clusters 1 & 2)

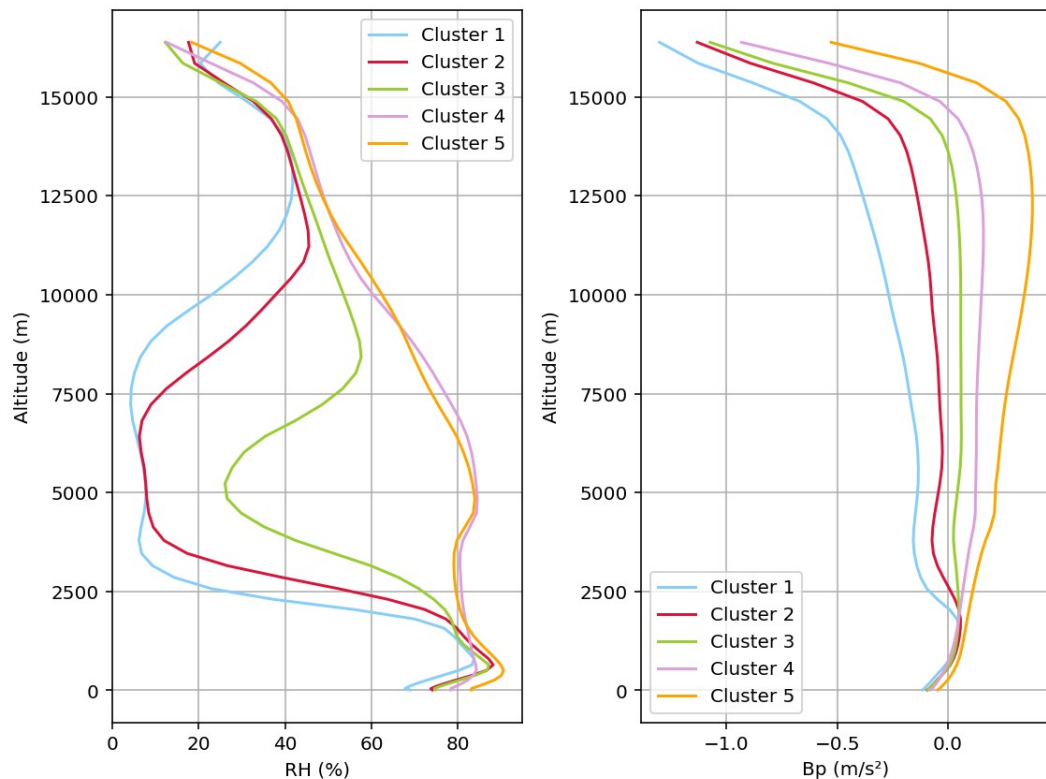
Régime neutre (cluster 3)

Régimes humides et instables (clusters 4 & 5)

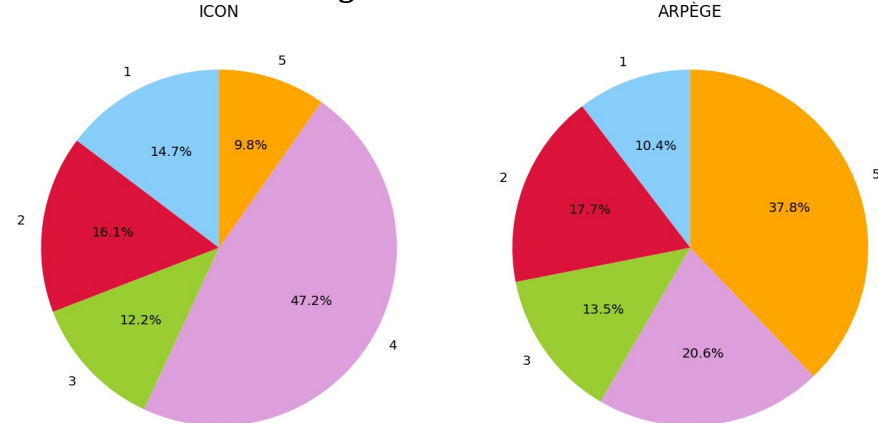
Identification des régimes atmosphériques avec K-means, en utilisant :

Humidité relative (RH)

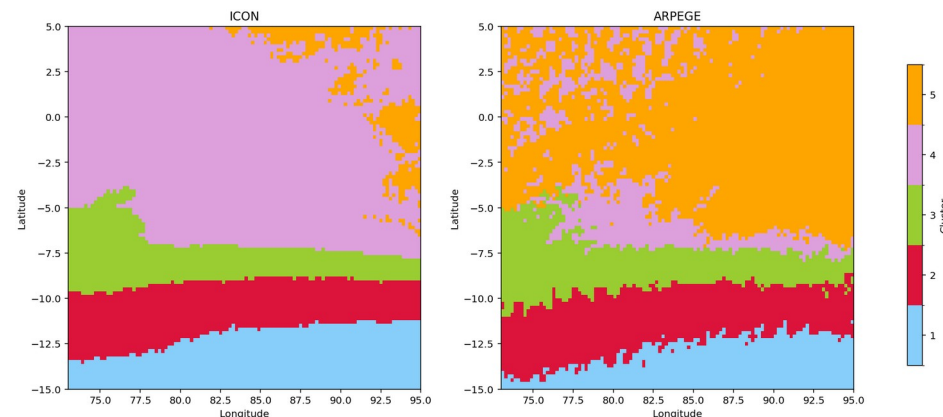
Flottabilité (Bp)



## Occurrence des régimes dans ICON et ARPEGE

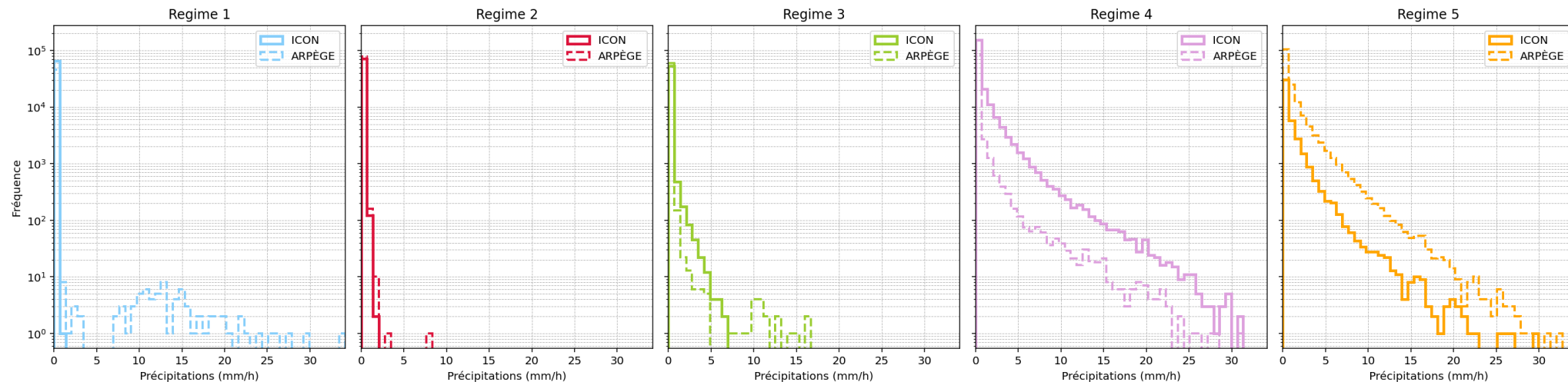


## Distribution spatiale des régimes atmosphériques



Régimes secs et stables (1 & 2) → fréquence similaire des occurrences  
Régimes humides et instables (4 & 5) → différences marquées

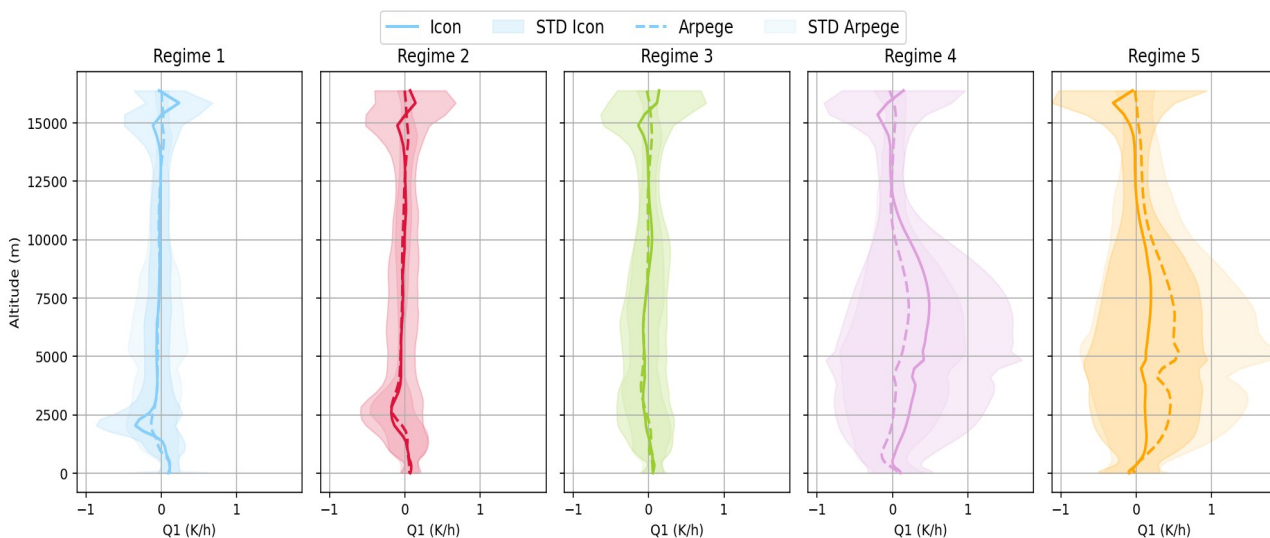
## Distribution des taux de précipitations par régime atmosphérique



Différences significatives entre les régimes 1-4-5 :

- Quelques taux de précipitations élevés dans ARPEGE, non observés dans ICON
- Presque pas de précipitations
- Distribution similaire : régime plus stable ou faiblement convectif
- ICON a des taux de précipitations élevés plus fréquents
- ARPEGE présente des taux de précipitations élevés plus fréquents

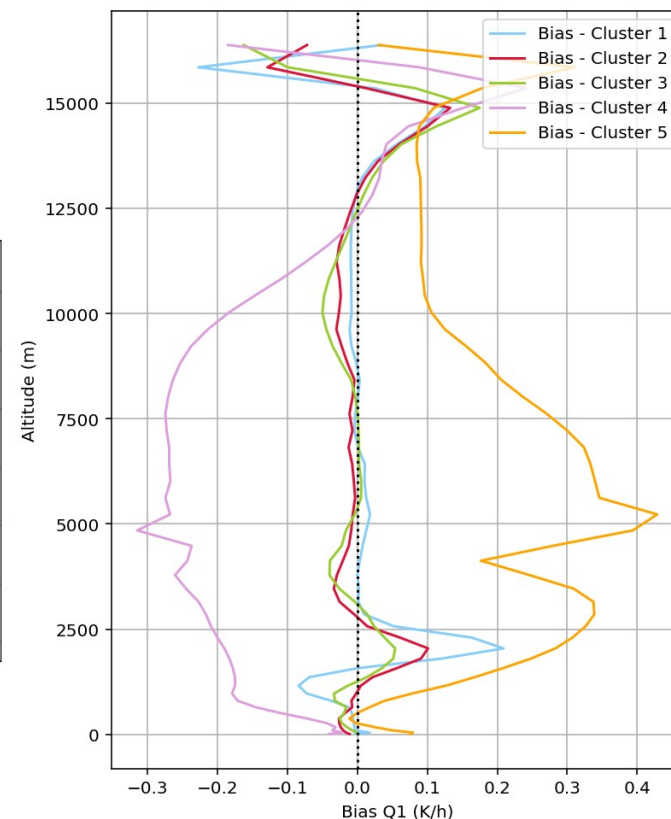
## Composite du taux de chauffage Q1 par régime atmosphérique



Régimes 1-2-3 : Cohérence entre les modèles

Différence dans la manière de représenter la couche limite

Régimes 4-5 : Forte variabilité dans la basse et moyenne troposphère  
Divergence marquée entre les modèles



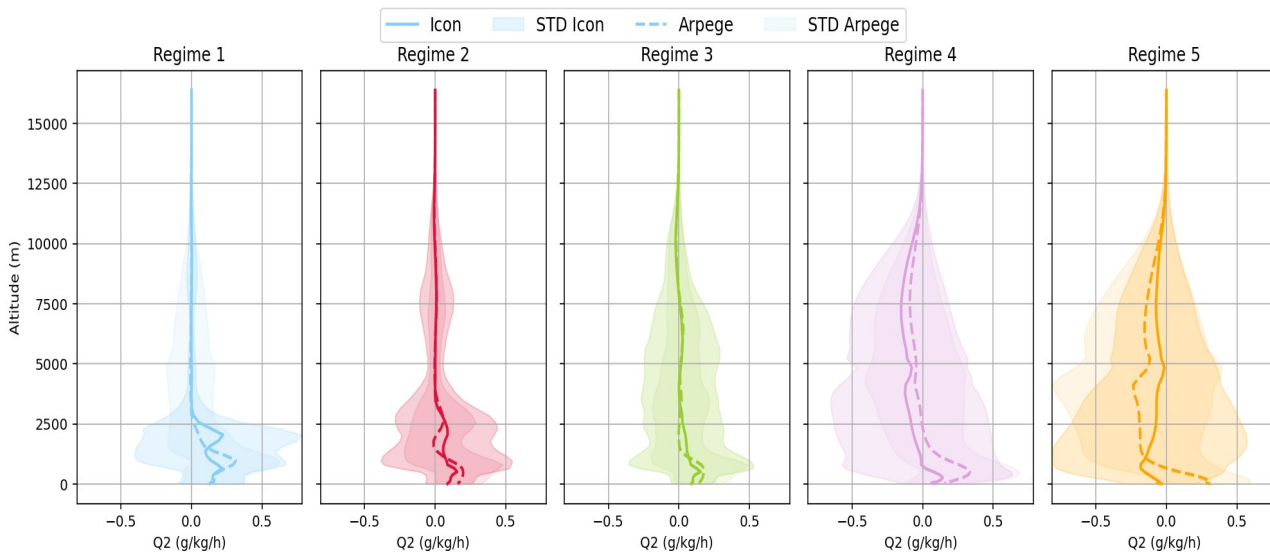
- Faible biais entre 3 et 10 km pour les régimes stables

→ Bon accord entre ICON et ARPEGE

- Biais important dans les régimes instables

→ Compensation entre le régime modérément et fortement instable

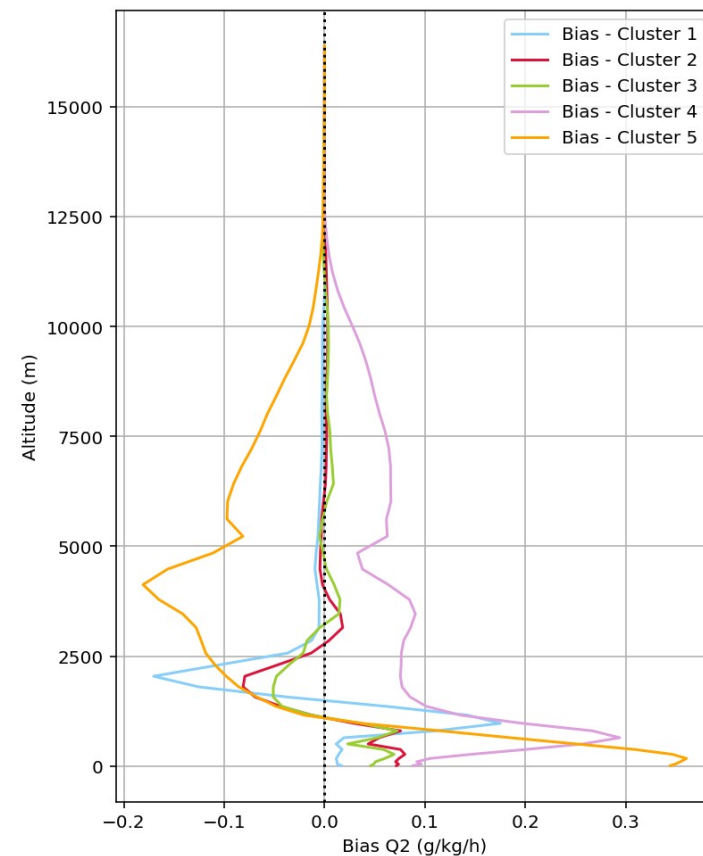
## Composite des puits d'humidité Q2 par régime atmosphérique



Les régimes 1, 2 et 3 sont moins différents, sauf dans la couche limite

ARPEGE sèche moins qu'ICON dans la troposphère libre

ARPEGE sèche plus que ICON dans la troposphère libre



## Conclusions

1 Globalement ARPEGE parvient à reproduire la simulation coarse-grained de référence

Les différences observées peuvent s'expliquer par :

- La différence de dimensionnalité (ARPEGE en 1D et ICON en 3D)
- Les différences de paramétrisations physiques entre les deux modèles

2 L'influence du spin-up sur les différences entre les modèles

- Les différences entre ARPEGE et ICON sont particulièrement visibles en début de simulation
- ARPEGE a peut-être besoin d'un temps d'ajustement pour trouver son équilibre

3 La sensibilité des différences aux conditions atmosphériques

- Les différences entre les modèles varient en fonction du régime atmosphérique
- Plus l'environnement est instable et convectif, plus les différences entre ARPEGE et ICON sont marquées

## Perspectives

**Pouvons-nous calibrer ARPEGE pour imiter ICON ?**

Sous-échantillonner un nombre représentatif de cas pour chaque régime

→ Quantifier les différences paramétriques et structurelles d'ARPEGE par rapport à ICON

**Possibilité de dériver un nouvel ensemble de données de forçage avec la simulation AROME-Global DYAMOND2**