



A l'origine ... une présentation à l'attention du groupe convection du LMD
suite à des discussions entamées aux AMAs avec Nicolas Rochetin

Effets radiatifs des cumulus et organisation

Najda Villefranque, Catherine Rio, Fleur Couvreur, Dephy team

28 avril 2025 — Réunion convection du Lundi au LMD – en visio



Simulated cloud field (ARM-Cumulus at 8 m resolution) rendered using a Monte Carlo path-tracing model (htrdr, Villefranque et al. 2019)

Impact radiatif de l'organisation à méso-échelle des nuages bas

08/09/2025

Présentation
de travaux
de stage

Guillaume Staub

Puis, un travail de trois mois réalisé par Guillaume Staub (stage INSA 4A) qu'il a présenté en réunion d'équipe (GMME/TROPICS) en septembre

Tutrice: Najda Villefranque

Introduction

Les nuages et leur agencement ont un impact fort sur le climat. Cette organisation peut être sensible au réchauffement climatique. (Janssens et al. 2021)

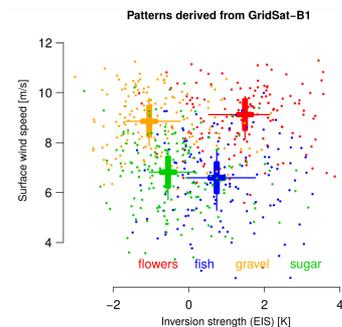
Leur rôle important nécessite de connaître finement leur impact radiatif.

L'organisation est étudiée dans de multiples études, mais l'effet radiatif est délaissé. **ou moins exploré que le reste... :)**
(Mandorli et al. 2024, Jansson et al. 2023, Bony et al. 2020...)

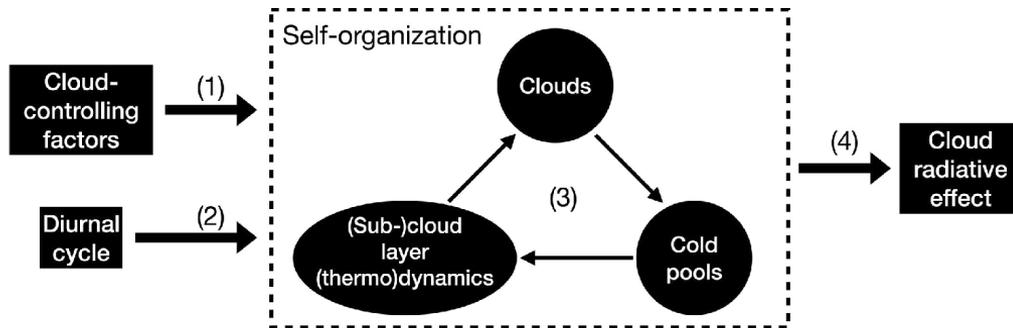
Contexte de l'étude

- Organisation des nuages bas

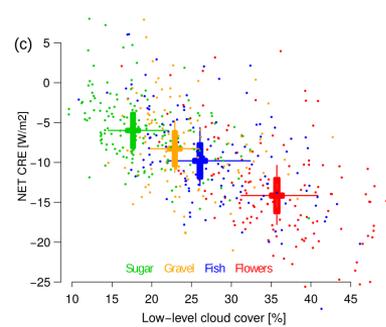
Conditionnée par la grande échelle ? Par quels mécanismes ? Effet radiatif des nuages résultant ?



from Bony et al. 2020



from Alinaghi et al. 2024



from Bony et al. 2020

- Dans les modèles de climat :

(1-2) → paramétrisations couche limite (3) → profils thermo et nuageux (*)

(*) → paramétrisation rayonnement (4) → effet radiatif des nuages

~~I. Comment réagissent les paramétrisations de couche limite à ces différentes conditions de grande échelle ?~~

II. Que prédit la paramétrisation de rayonnement pour des profils nuageux parfaits ?

Introduction

(LES, 100m, 150 km)

Base de données Cloud Botany: des simulations de cumulus d'alizés au-dessus de l'océan Atlantique tropical. (Jansson et al. 2023)

=> Explore la variabilité des conditions de grande échelle rencontrées dans la région

On étudie ainsi 19 simulations différentes (conditions initiales, SST et subsidence) sur 37 heures consécutives.

=> Pour chacune de ces scènes (19 simul x 37 h), on réalise des calculs radiatifs par Monte Carlo et des diagnostics de géométrie et organisation nuageuse, sur les champs 3D LES

De nombreuses variables nuageuses et de flux, telles que l'overlap, l'hétérogénéité en eau au sein des nuages, le flux ~~émis~~ ou réfléchi à différentes couches de l'atmosphère...



Search Ctrl + K

Introduction

How-To

HALO

NOAA P3 "Miss Piggy"

Meteor

Merian

BCO

Multi-platform datasets

Simulations

EUREC⁴A-MIP

ICON-LES

Cloud Botany with DALES



Cloud Botany with DALES

Setup

Cloud Botany is a library of idealised large-eddy simulations forced by and initialised with combinations of simplified vertical profiles. Each profile is parameterised by variables which aim to make the ensemble span a range of conditions corresponding to the variability observed over the EUREC⁴A region during the boreal winter of 2019/2020. The following table lists these varied parameters and their ranges:

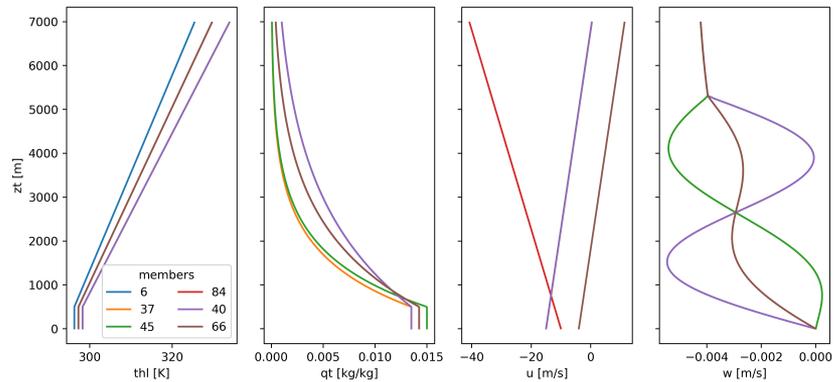
Table 1 Variables governing Cloud Botany simulations

variable	min	max	unit	description
<code>th1s</code>	297.5	299.5	K	sea surface potential temperature
<code>u0</code>	-5	-15	m/s	surface wind
<code>qt0</code>	0.0135	0.015	kg/kg	mixed-layer total specific humidity
<code>qt_lambda</code>	1200	2500	m	humidity scale height
<code>th1_Gamma</code>	4.5	5.5	K/km	lapse rate of <code>th1</code>
<code>wpamp</code>	-0.35	0.18	cm/s	Amplitude of subsidence first mode
<code>dudz</code>	-0.0044	0.0044	1/s	Wind shear [1]

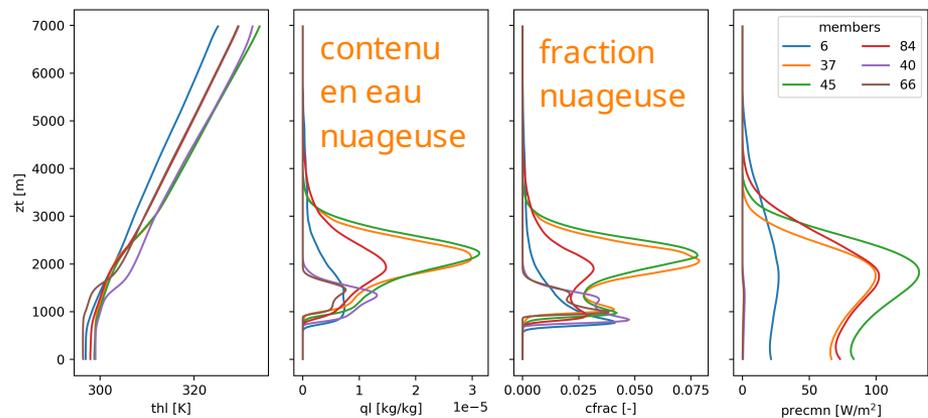
Outils et méthode 3 : Choix des cas

(6 des 19 cas de Guillaume)

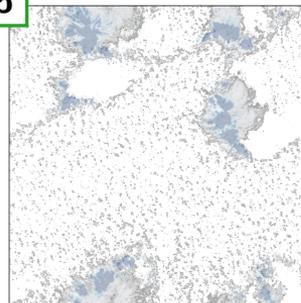
Initial profiles and large scale subsidence



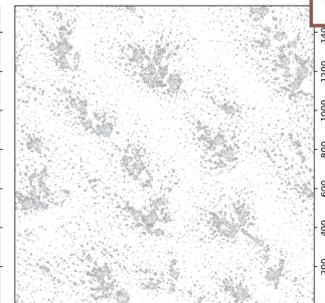
Profiles at selected hours



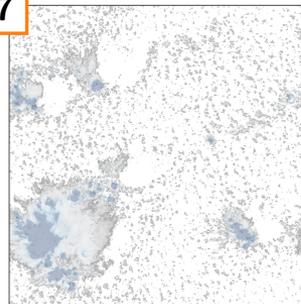
045



066



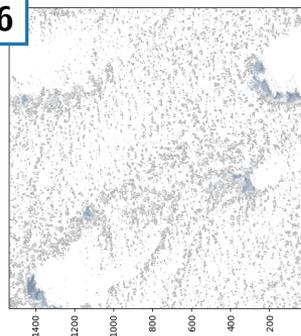
037



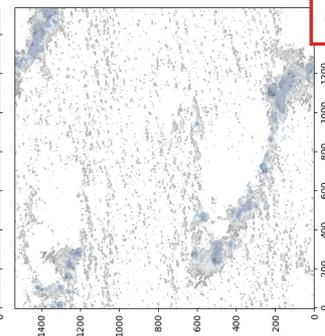
040



006



084



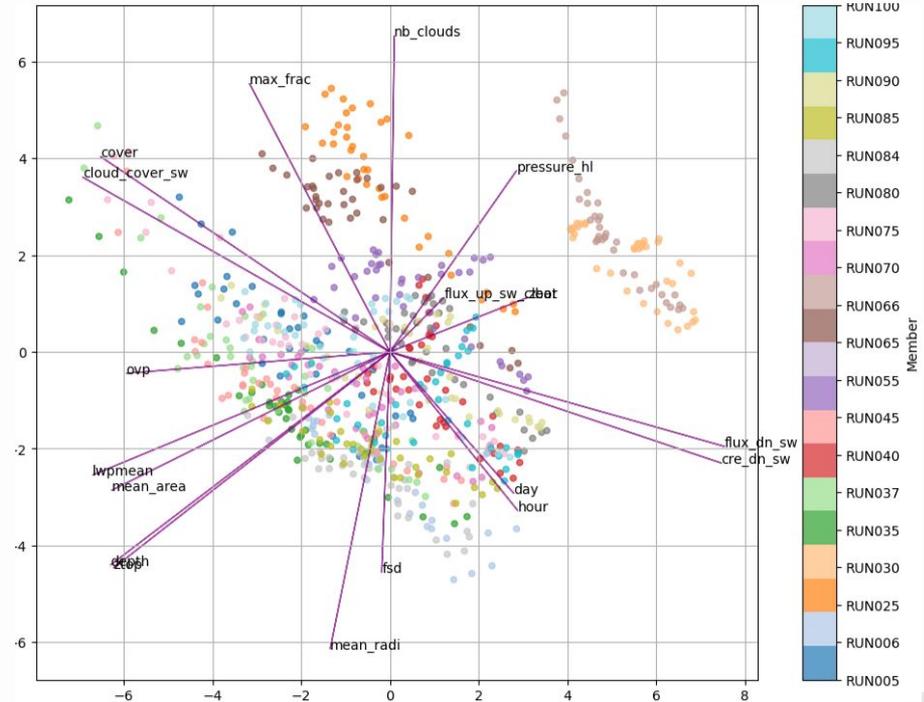
(couverture = profil de fraction + hypothèse overlap)

Quantification de l'impact des variables

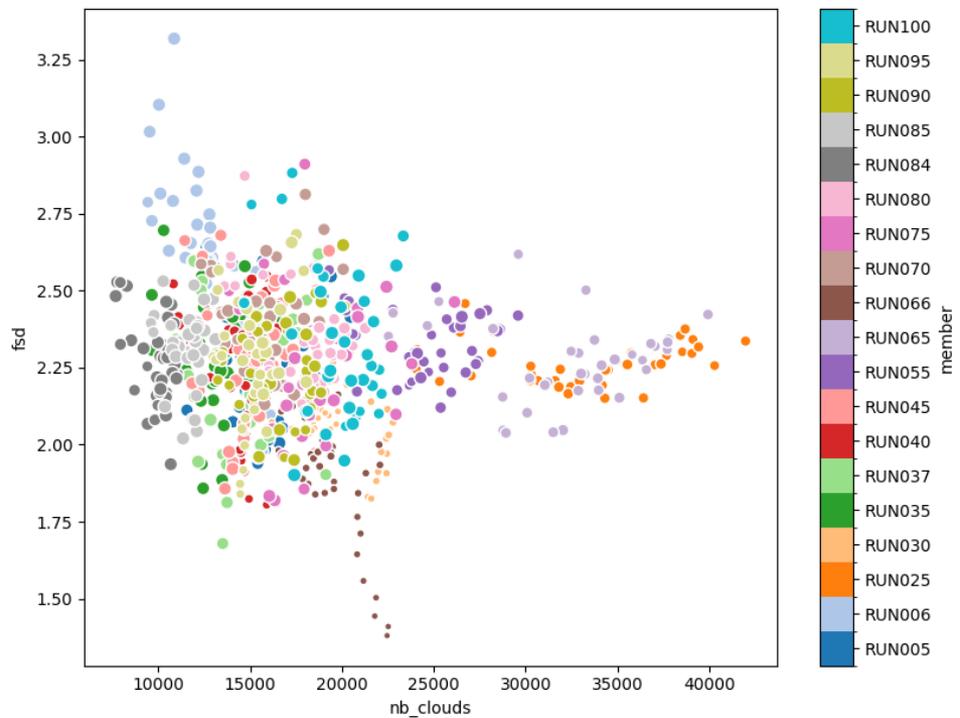
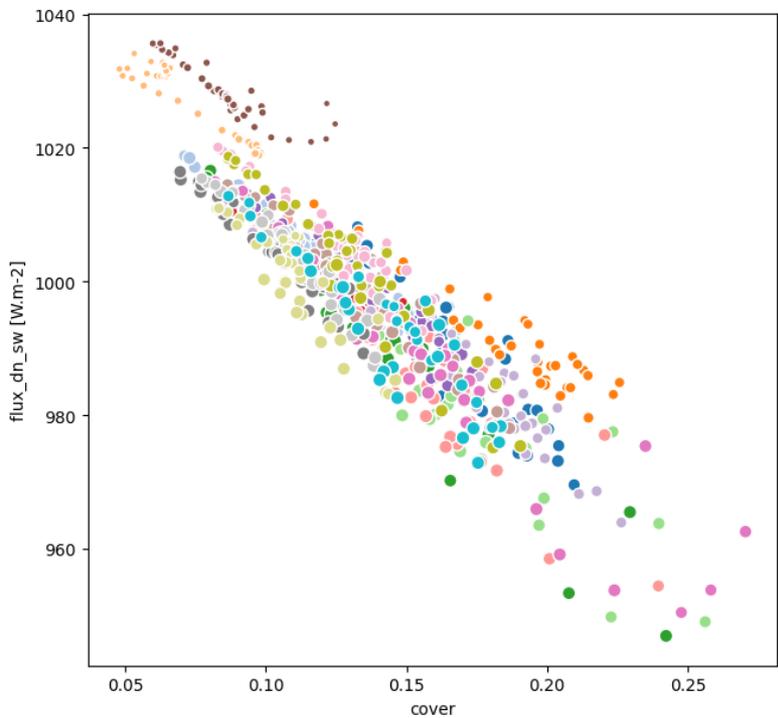
Exploration par ACP de la base de données

- L'Analyse par Composantes Principales permet de représenter au mieux dans un espace minimal les individus ou les variables quantitatives du dataset étudié
- Le nombre élevé de variables rend des conclusions subjectives compliquées

++ de couvert \Leftrightarrow -- de flux en surface
++ de nuages \Leftrightarrow -- ils sont gros ; et -- hétérogènes ?



ACP sur les variables et les individus



Introduction

On cherche à comprendre comment l'organisation / la morphologie des nuages bas impacte leurs effets radiatifs

Juger de l'importance d'une variable en général est ardu.

On sait déjà que la structure verticale (overlap) et l'hétérogénéité interne de l'eau nuageuse vont compter => ces effets sont déjà pris en compte dans les params de rayonnement comme Tripleclouds ou MCICA ; comment aller plus loin, détecter de nouveaux effets, sans doute de 2nd ordre ?

On souhaiterait avoir une méthode rapide et peu coûteuse pour nous guider dans notre recherche.

On propose donc ici une méthode via machine learning pour répondre à ce besoin.

Quantification de l'impact des variables

On se tourne alors vers la régression: prédire le flux avec différentes variables.

On définit deux groupes de variables:

- Celles qui seront tout le temps utilisées lors des régressions
 - *max_frac, lwpmean, zbot* et *depth*
= des scalaires issus des profils nuageux "de base", déjà prédits par les params nuageuses
- Celles que l'on rajoute afin de mesurer leur impact

Quantification de l'impact des variables

Choix d'une technique d'apprentissage:

- Avec un nombre d'individus relativement faible (700), une méthode complexe peut être permise
- Après comparaison de différentes techniques, le *Gradient Boosting* est jugée la plus performante (R2 score, MSE).

Quantification de l'impact des variables

Le Gradient Boosting:

- Méthode de régression / classification qui combine de multiples arbres simplistes de régression pour donner un modèle fort via descente de gradient.
- Obtient des MSE plus faibles avec un score R^2 plus haut que les autres méthodes, sans complexité temporelle ajoutée.

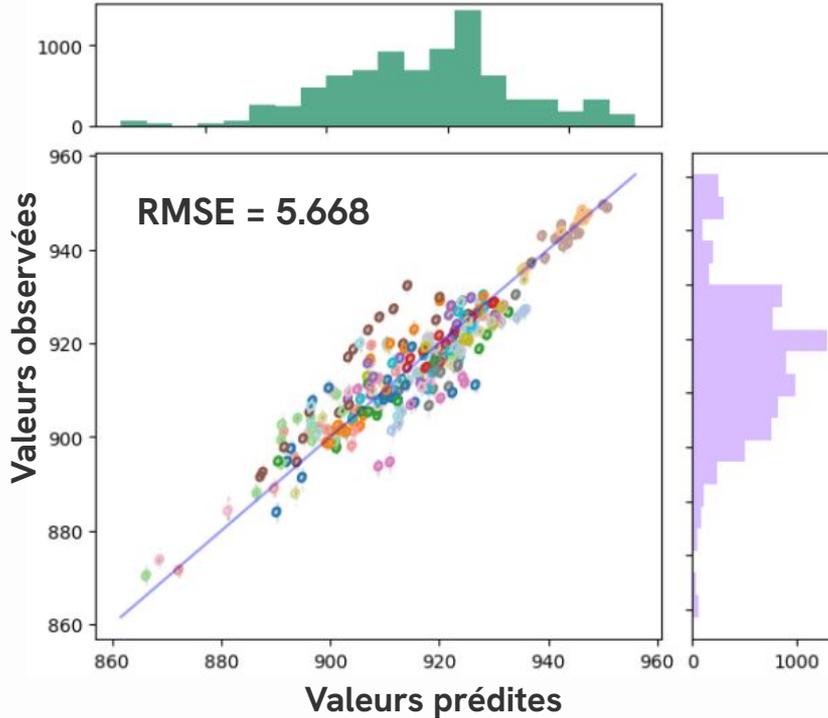
Quantification de l'impact des variables

La régression par Gradient Boosting n'est pas déterministe, donc on doit créer de multiples régresseurs. **pour estimer leur fiabilité**

On optimise sur un régresseur et pour un jeu de variables les hyperparamètres.

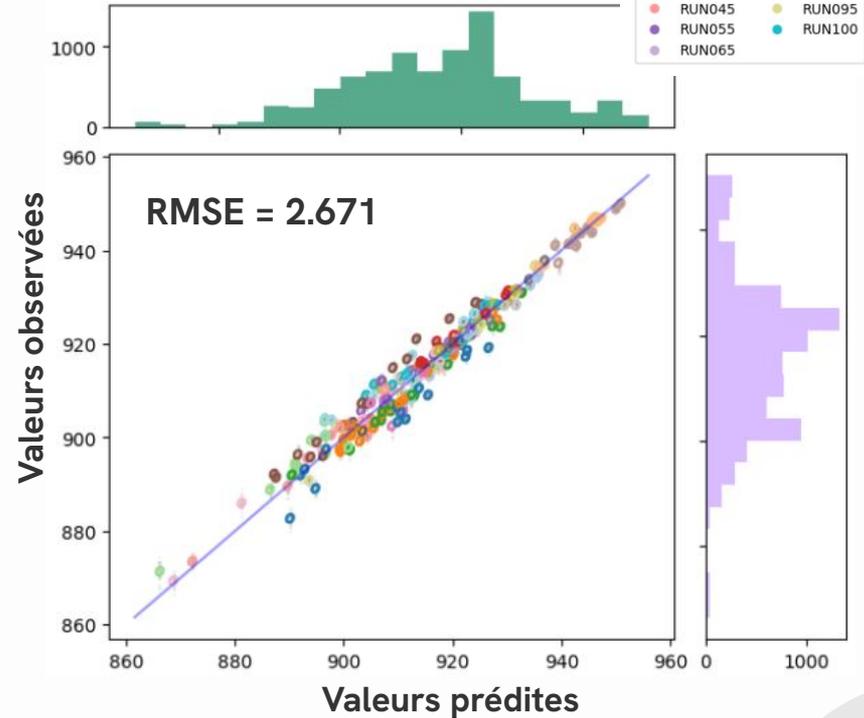
On utilise ces hyperparamètres pour créer de nombreux régresseurs par jeu de variables.

Quantification de l'impact des variables



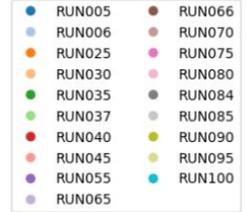
Valeurs prédites vs. Valeurs observées

Jeu de variables minimal (max frac, lwp, zbot, depth)

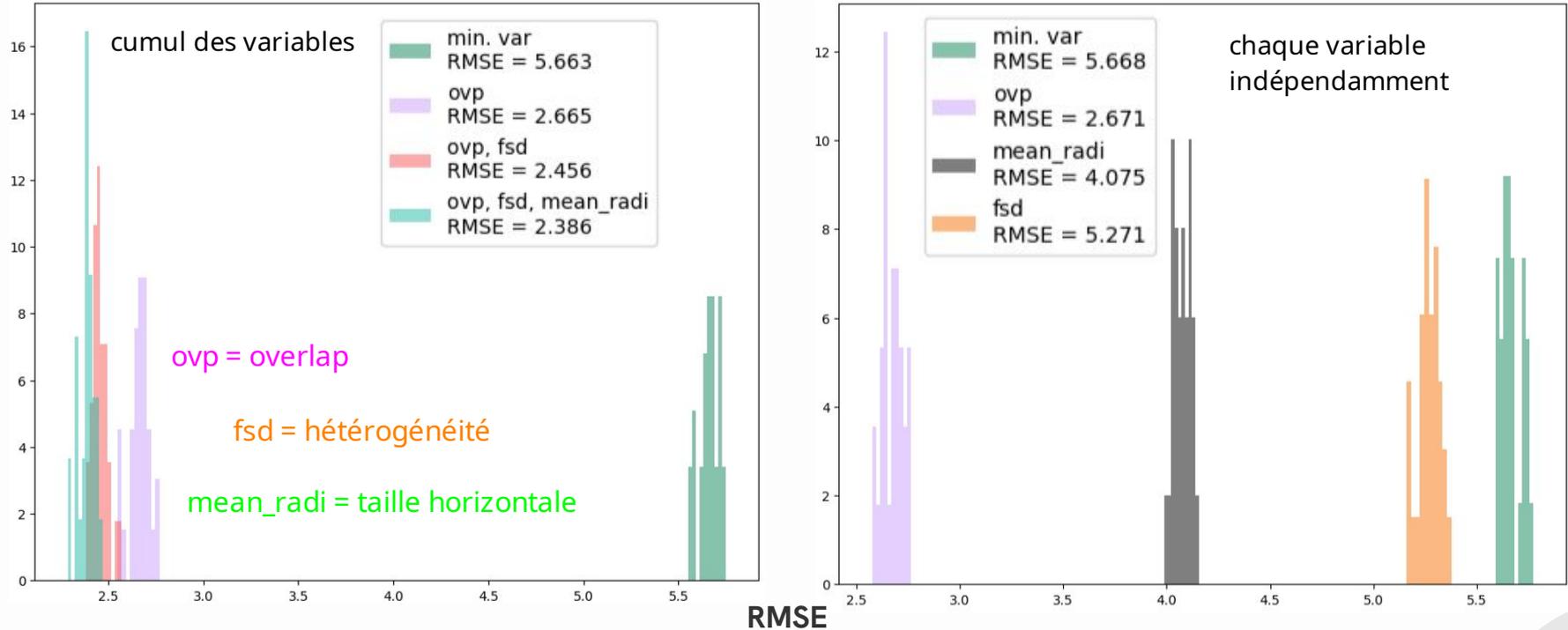


Valeurs prédites vs. Valeurs observées

Jeu contenant overlap



Quantification de l'impact des variables



Comparaison de différents jeux de variables

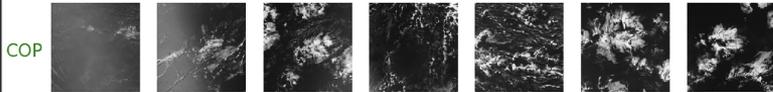
Quantification de l'impact des variables

Janssens et al. 2021

Ajout d'indices d'organisation: (Mandorli et al. 2024)

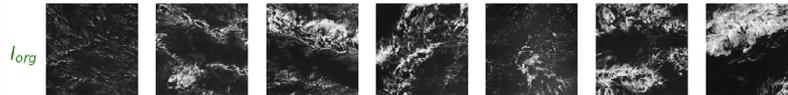
- Convective Potential Organization (COP):

Reproduit la force gravitationnelle dans les systèmes nuageux



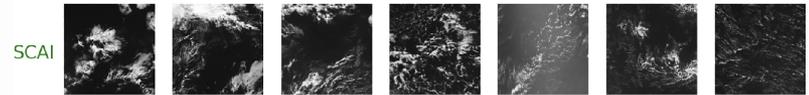
- Organization Index (I_{org}):

Basé sur deux distributions de distance au plus proche voisin



- Simple Convective Aggregation Index (SCAI):

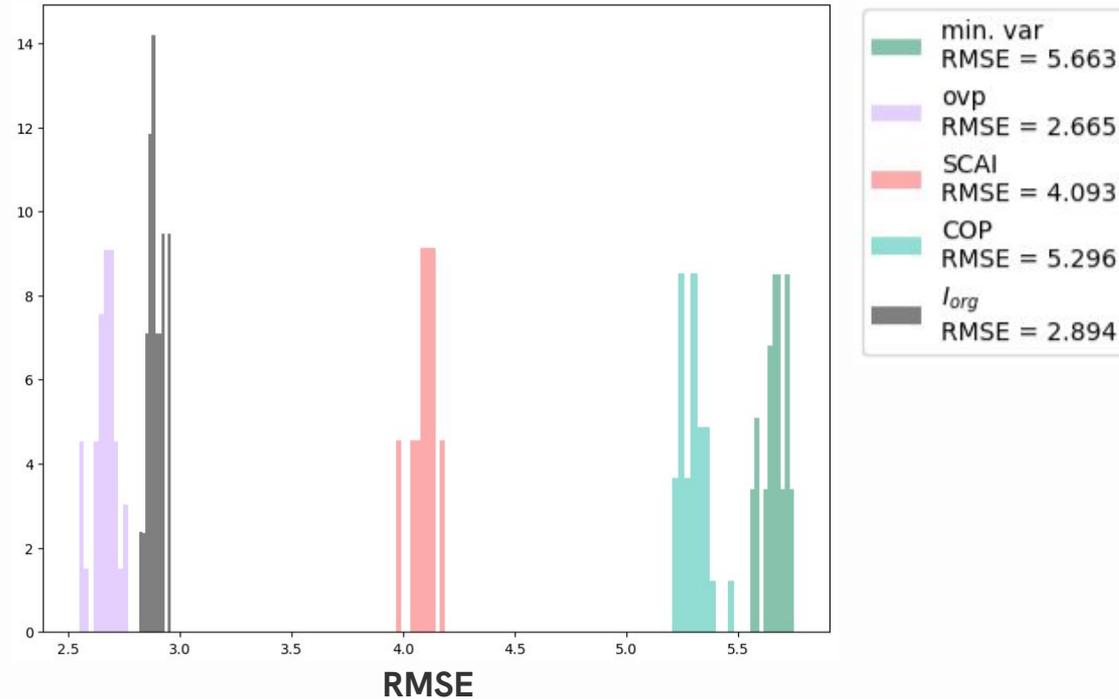
Basé sur le nombre d'objets et la distance entre chacun



Quantification de l'impact des variables

effet des variables d'orga
en les ajoutant aux
4 variables "de base"

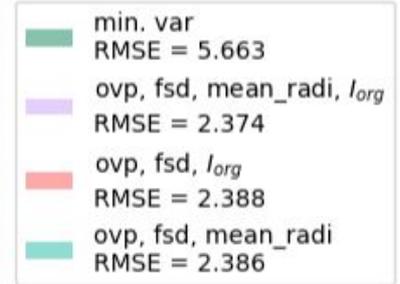
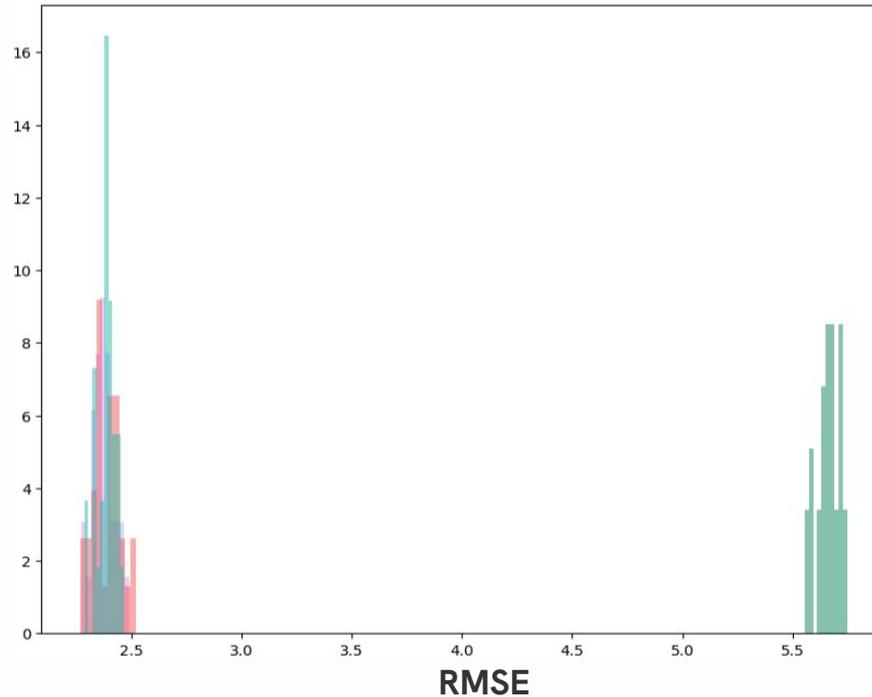
par rapport à l'effet de
la variable "overlap"



Comparaison de différents jeux de variables

Quantification de l'impact des variables

Iorg en plus des variables géométriques déjà prises en compte



Comparaison de différents jeux de variables

Quantification de l'impact des variables

Conclusion:

Les métriques d'organisation ne semblent pas ajouter d'information par rapport aux effets déjà modélisés dans les paramétrisations radiatives les + sophistiquées (SPARTACUS avec effets 3D)
=> redondant ? ou faible impact sur les flux ?

- La méthode développée donne des résultats cohérents sur les variables dont on connaît déjà l'impact (overlap, hétérogénéité).
- On est ainsi capable d'isoler une variable ou un groupe en particulier pour juger de leur importance et guider notre recherche.

donc si l'essentiel de l'effet de l'orga des nuages passe par overlap, hétérogénéité, taille... il reste à faire dépendre ces paramètres des profils thermo dyn et nuageux moyens
=> même méthodo pour "déblayer" et choisir les bonnes variables ?

autre partie du stage de Guillaume non présentée ici : utilisation de l'outil de calibration automatique (htexplo, aussi basé ML) pour déterminer ce qu'on gagne à choisir des valeurs de paramètres de géométrie nuageuse dépendantes des sous-population de cumulus ?