



Etude des processus en jeu Mécanisme de formation des cyclones

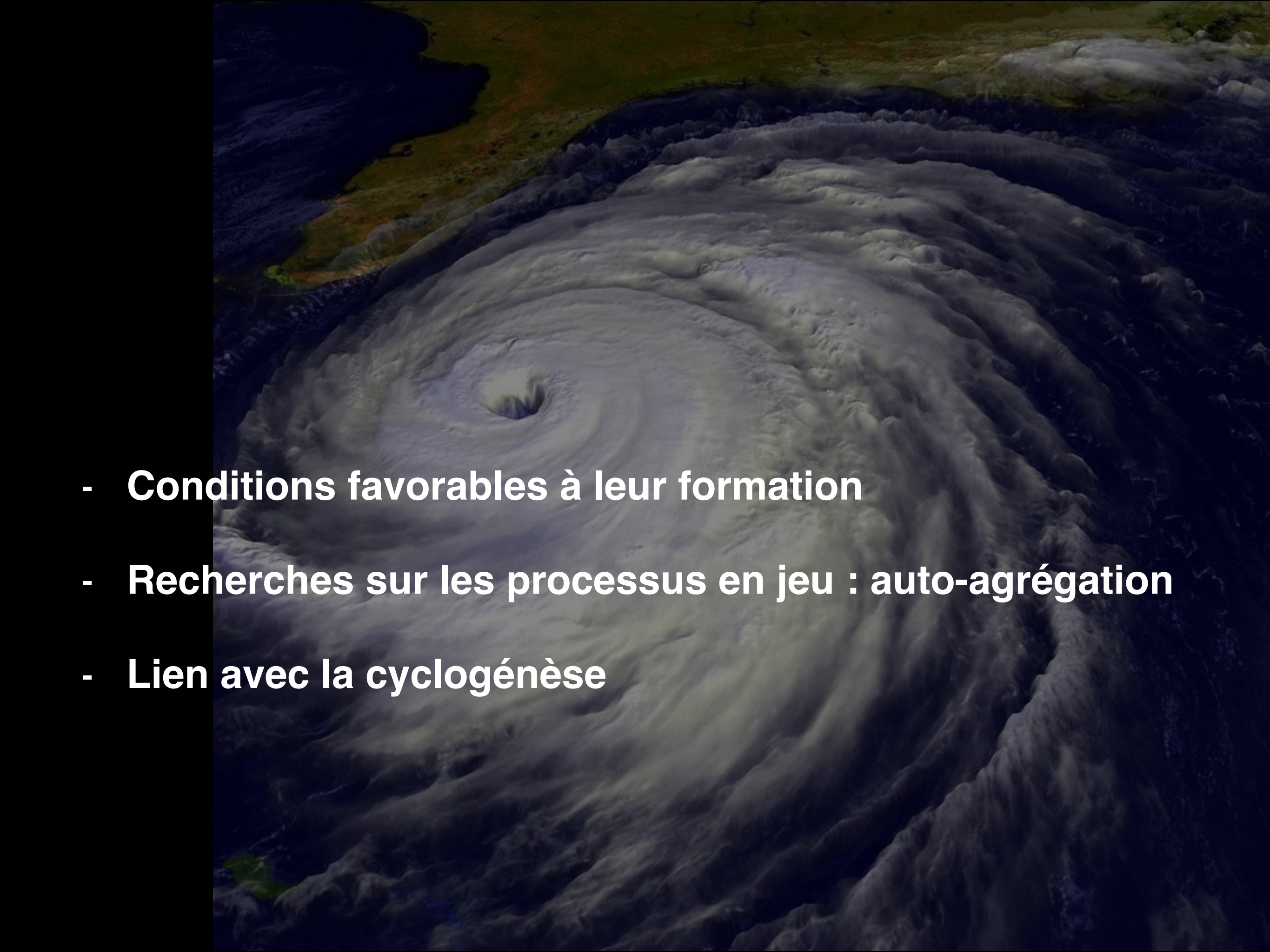
Caroline Muller

Laboratoire de Météorologie Dynamique / IPSL

Chargée de recherche au CNRS

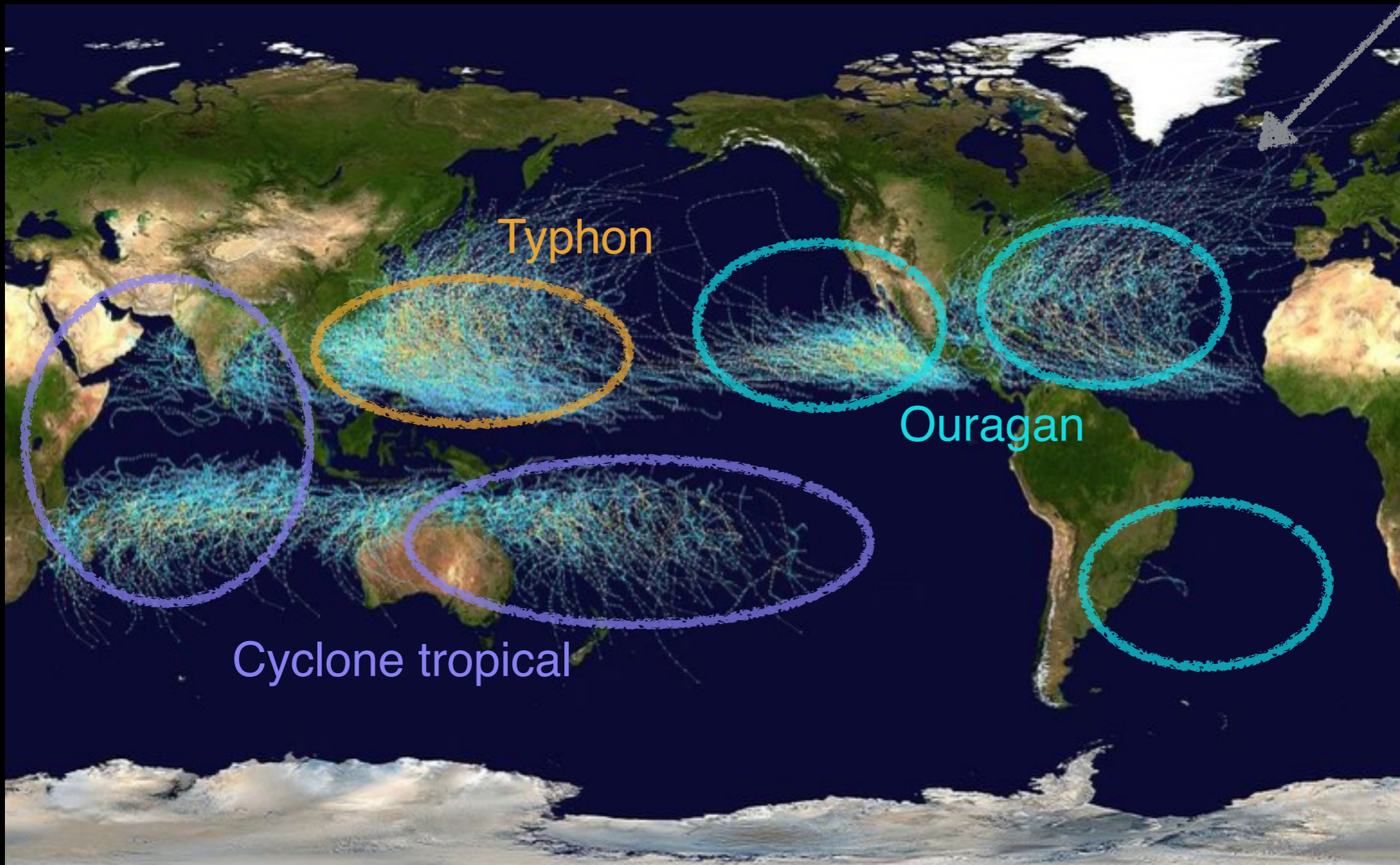
&

Maître de conférences attachée à l'École Normale Supérieure Paris

- 
- **Conditions favorables à leur formation**
 - **Recherches sur les processus en jeu : auto-agrégation**
 - **Lien avec la cyclogénèse**

Conditions favorables

Trajectoires des cyclones tropicaux entre 1985 et 2005



peuvent finir leur vie chez nous dans les extra-tropiques

bande tropicale (proche de l'équateur) ou les cyclones tropicaux se forment

NASA

Ouragan Typhon Cyclone tropical : le nom dépend du bassin

Conditions favorables

Conditions environnementales favorables à la cyclogénèse:

- des **eaux océaniques** plus **chaudes** que 26,5 degrés Celsius;
En fait des eaux anormalement chaudes par rapport à la haute troposphère
- **Faible cisaillement vertical de vent**
- Force de Coriolis suffisamment forte c'est à dire **latitude supérieure à 5 degrés**
- **Forte humidité** en moyenne troposphère « Marsupial pouch »
[Dunkerton et al 2009]

Conditions favorables

Malgré un bonne compréhension des conditions environnementales favorables à la cyclogénèse, il reste des difficultés :

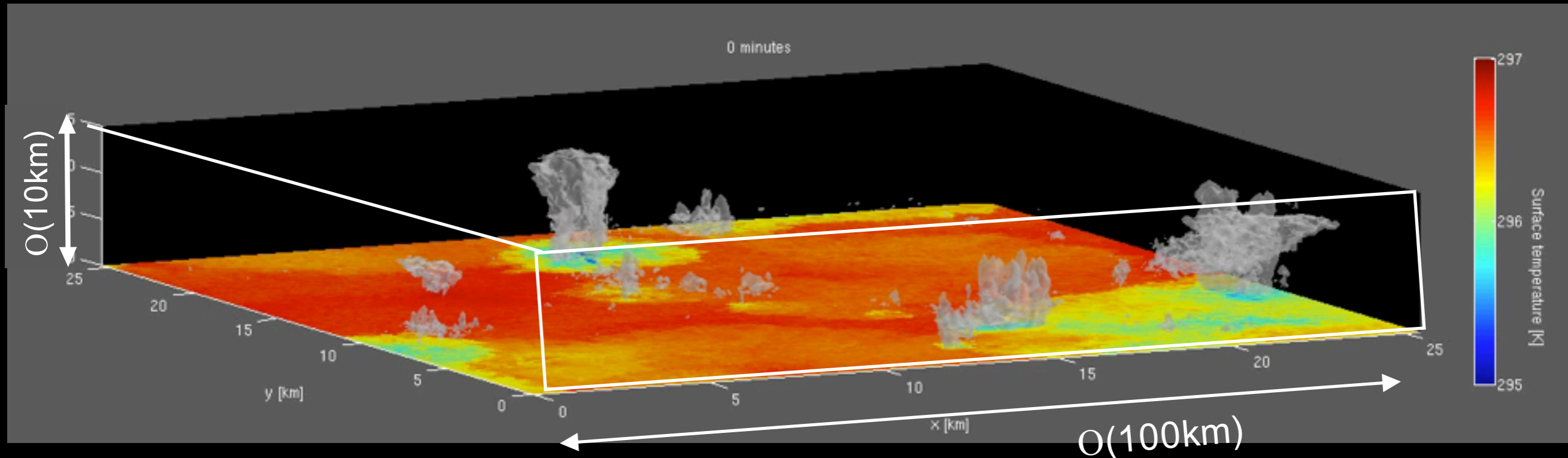
- (1) La **variabilité naturelle du climat**, dont El Nino, joue un rôle via l'effet sur ces conditions (en particulier le cisaillement vertical de vent)
- (2) A ces conditions environnementales s'ajoute le **cycle de vie interne** du cyclone, qui s'intensifie et s'affaiblit naturellement même **à conditions environnementales constantes** (cycle de remplacement du mur de l'oeil)

- 
- Conditions favorables à leur formation
 - **Recherches sur les processus en jeu : auto-agrégation**
 - Lien avec la cyclogénèse

Recherches : auto-agrégation

Théorie & modèles fins => meilleure compréhension de la convection nuageuse

Nuages (surfaces grises) et température près du sol (couleurs)



modèle : Khairoutdinov and Randall 2003

Conditions environnementales constantes :

- température océanique uniforme,
- géométrie carrée doublement périodique,
- pas d'effet Coriolis

Emergence spontanée de l'organisation spatiale de la convection nuageuse

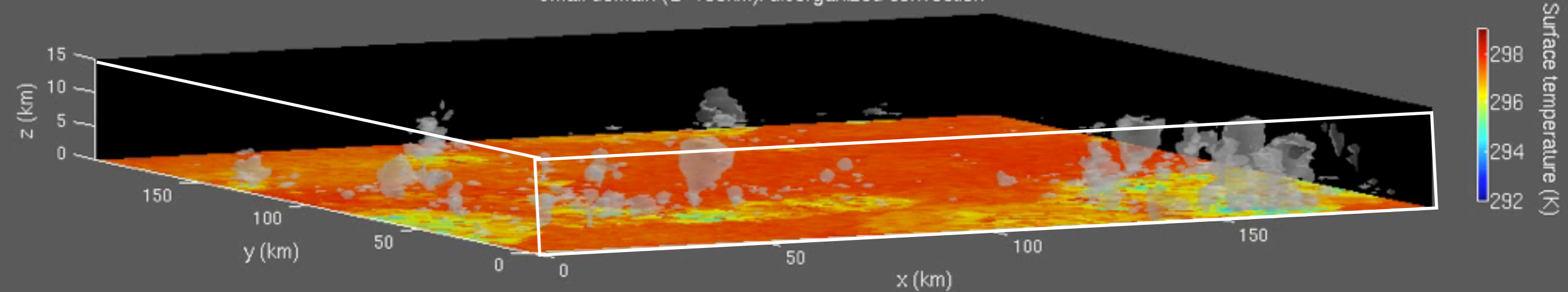
Découverte récente de l'auto-agrégation

Recherches : auto-agrégation

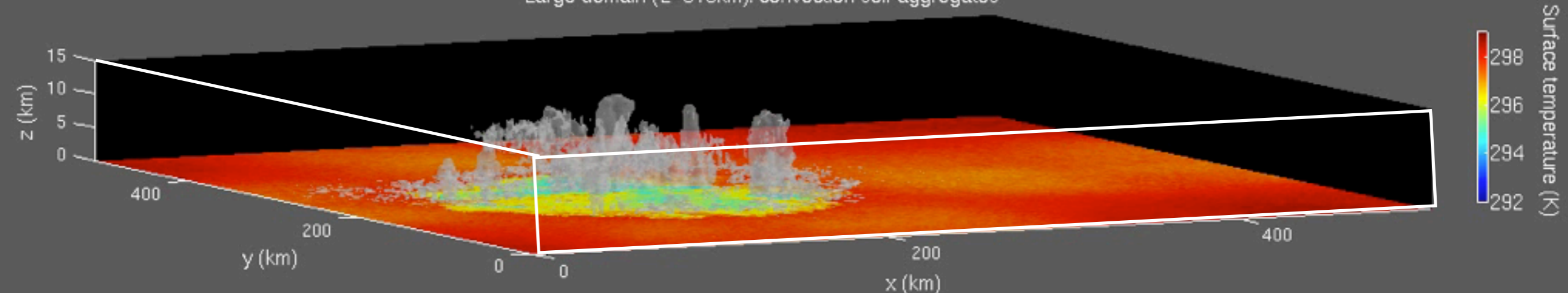
Découverte récente de l'auto-agrégation de la convection nuageuse

Nuages (surfaces grises) et température près du sol (couleurs)

Small domain (L=198km): disorganized convection



Large domain (L=510km): convection self-aggregates



[Held Hemler Ramaswamy 92; Raymond Zeng 2000; Bretherton Blossey Khairoutdinov, 2005; Sobel Bellon Bacmeister 2007; Muller Held 2012; Tobin Bony Roca 2012; Emanuel Wing Vincent 2013; Craig Mack 2013; Khairoutdinov Emanuel 2013; Wing Emanuel 2013; Jeevanjee Romps 2013; Khairoutdinov Emanuel, 2013; Tobin et al, 2013; Shi Bretherton 2014; Wing Cronin 2015; Holloway Woolnough 2015; Muller Bony 2015; Mapes 2016; Holloway Woolnough 2016; Beucler Cronin 2016; Holloway et al 2017; Wing Holloway Emanuel Muller 2017]

Recherches : auto-agrégation

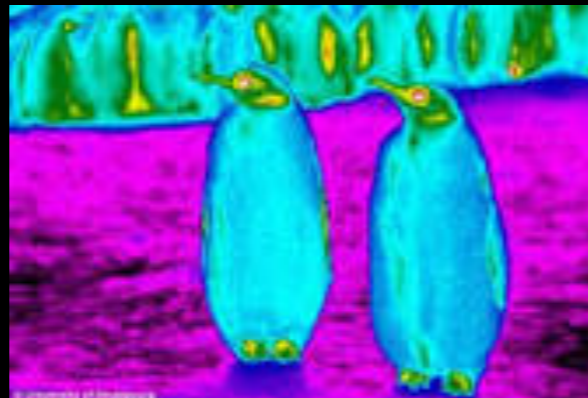
Quels sont les processus physiques responsables ?

Les rétroactions liées :
aux flux de surface (\sim évaporation),
au rayonnement SW (\sim visible),
et au rayonnement LW (\sim thermique)

*SW \sim visible (émissions auxquelles
sont sensibles nos yeux)*



*LW \sim thermique (dépend
de la température)*



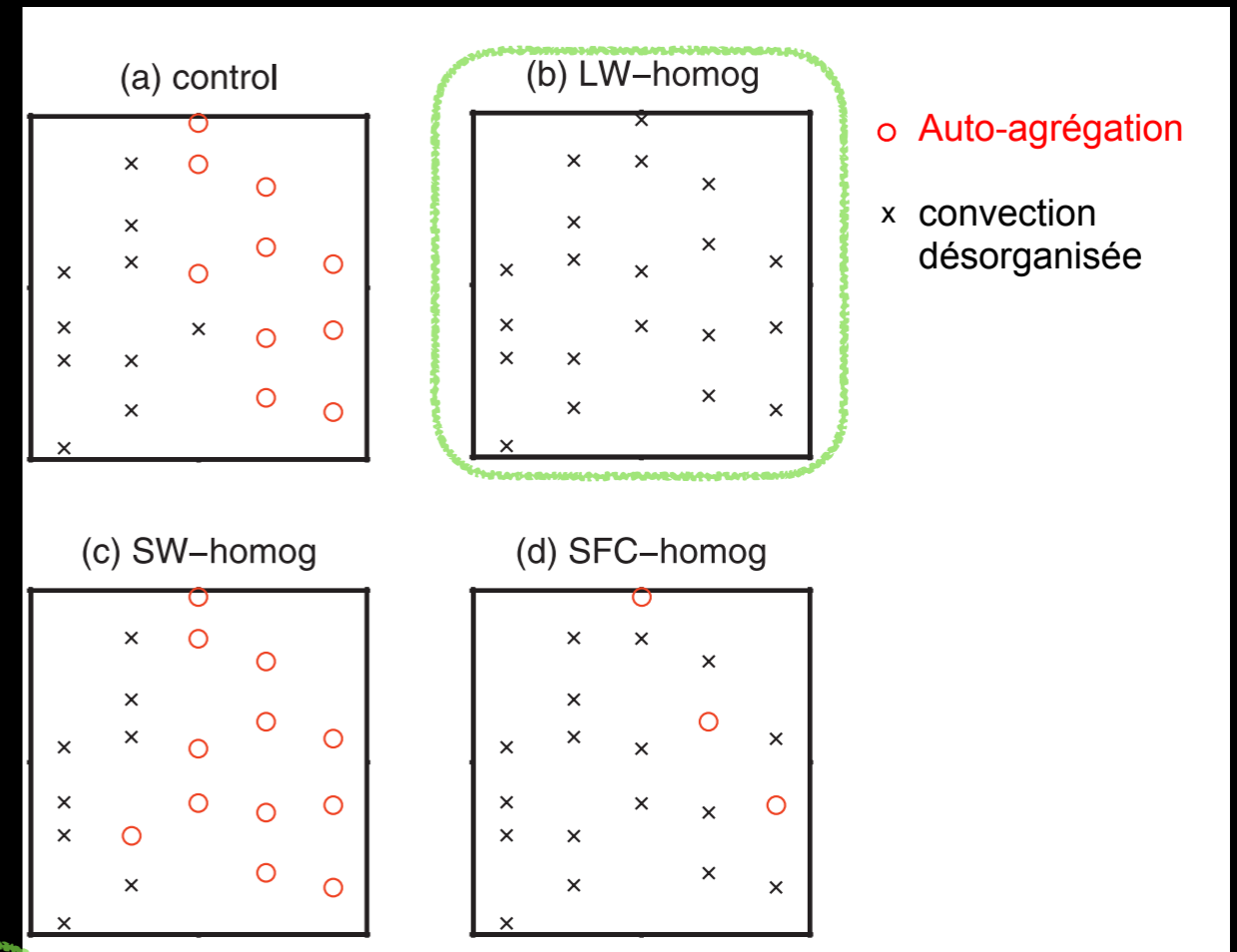
Recherches : auto-agrégation

Quels sont les processus physiques responsables ?

Simulations dans lesquelles différentes rétroactions sont enlevées

Les rétroactions liées :
aux flux de surface (~ évaporation),
au rayonnement SW (~ visible),
et au rayonnement LW (~ thermique)
ont tous un impact sur l'auto- agrégation.

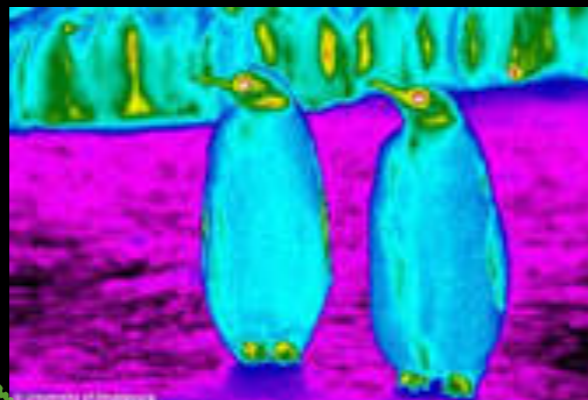
MAIS
seul le rayonnement LW est crucial



SW ~ visible (émissions auxquelles sont sensibles nos yeux)



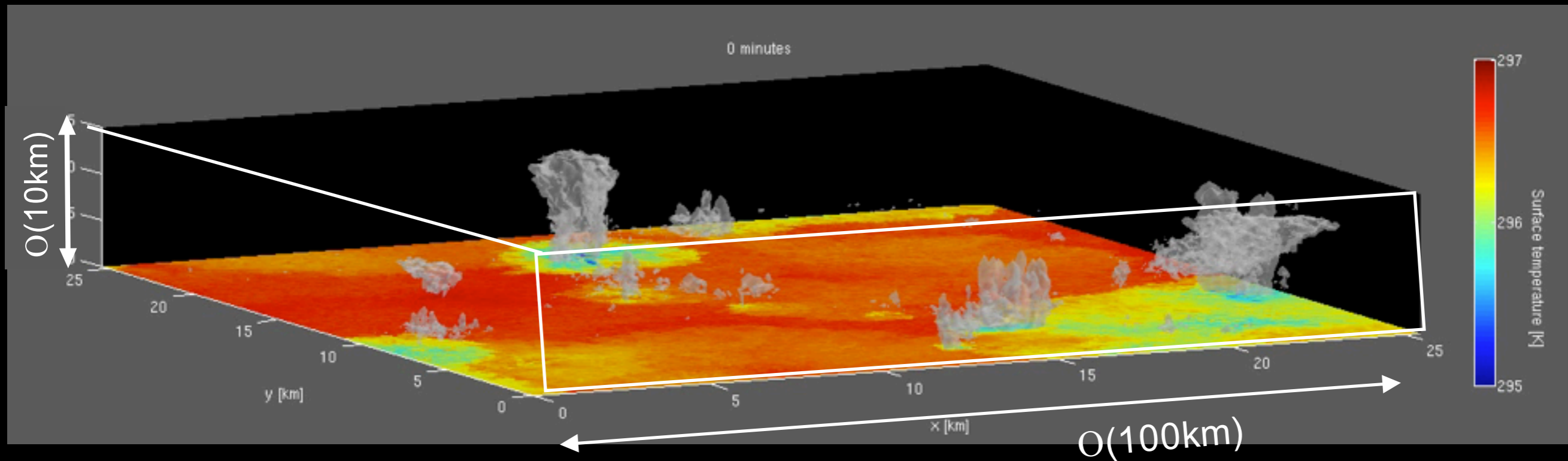
LW ~ thermique (dépend de la température)



[Muller & Held 2012]

- 
- **Conditions favorables à leur formation**
 - **Recherches sur les processus en jeu : auto-agrégation**
 - **Lien avec la cyclogénèse**

Lien avec la cyclogénèse



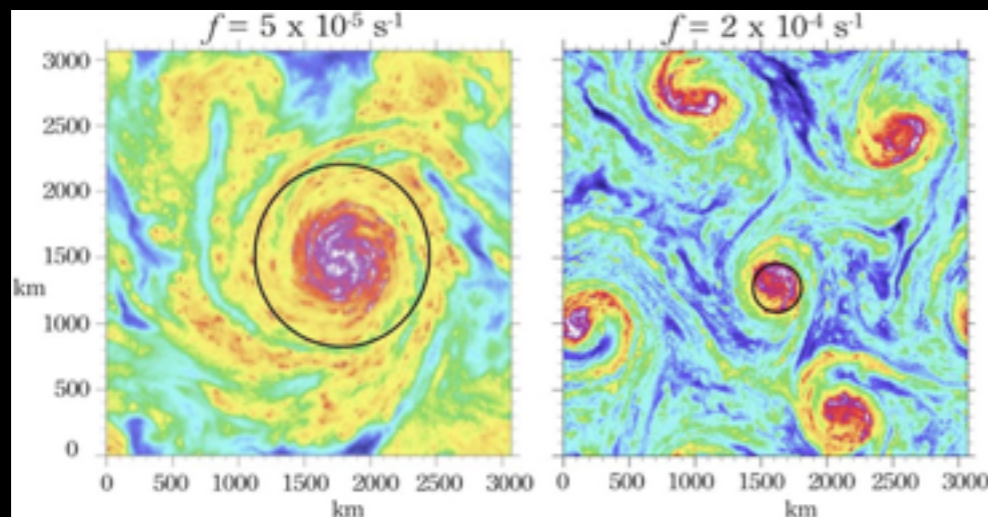
Conditions environnementales constantes :

- température océanique uniforme,
- géométrie carrée doublement périodique,
- ~~pas d'effet Coriolis~~

Lien avec la cyclogénèse

On sait maintenant que si l'on ajoute Coriolis, on obtient ce qui a été appelé « Tropical Cyclone World »

« Tropical Cyclone World »
Humidité atmosphérique vue du dessus



[Bretherton, Blossey, Khairoutdinov, 2005
Khairoutdinov, Emanuel, 2013
Zhou et al 2014
Davis 2015
Wing, Camargo, Sobel 2016
Shi, Bretherton, 2014]

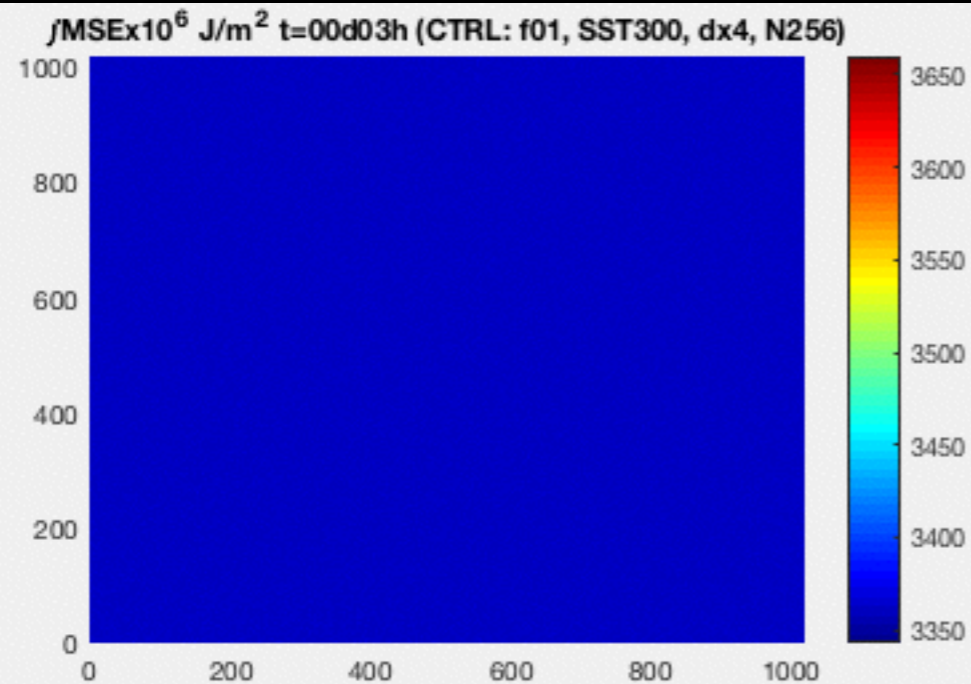
Les rétroactions identifiées dans les simulations idéalisées sont elles pertinentes pour la cyclogénèse ?

Question importante car l'auto-agrégation est favorisée aux températures chaudes

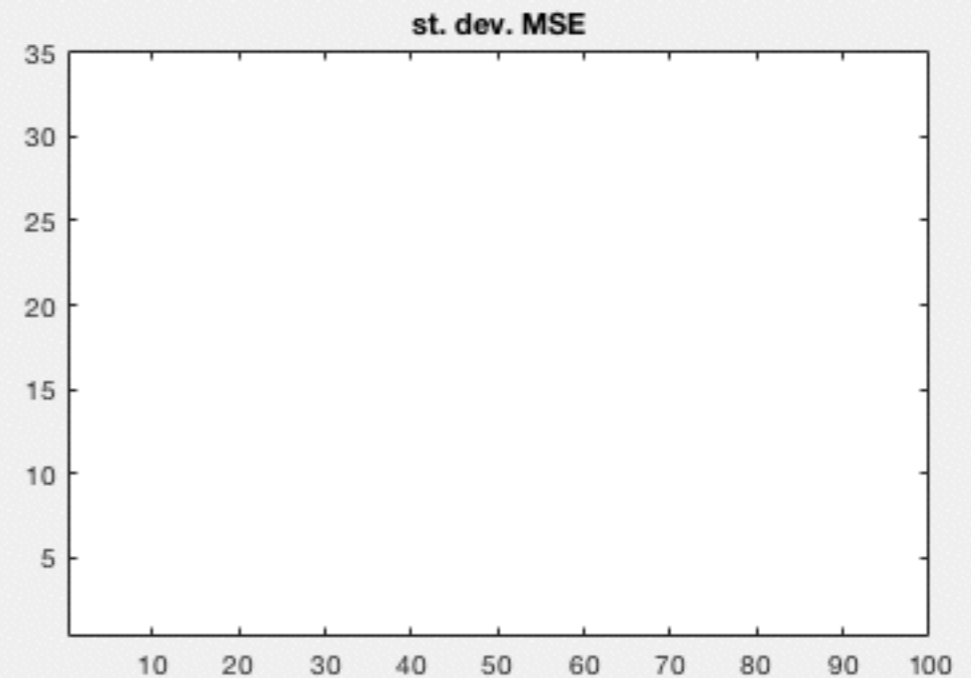
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



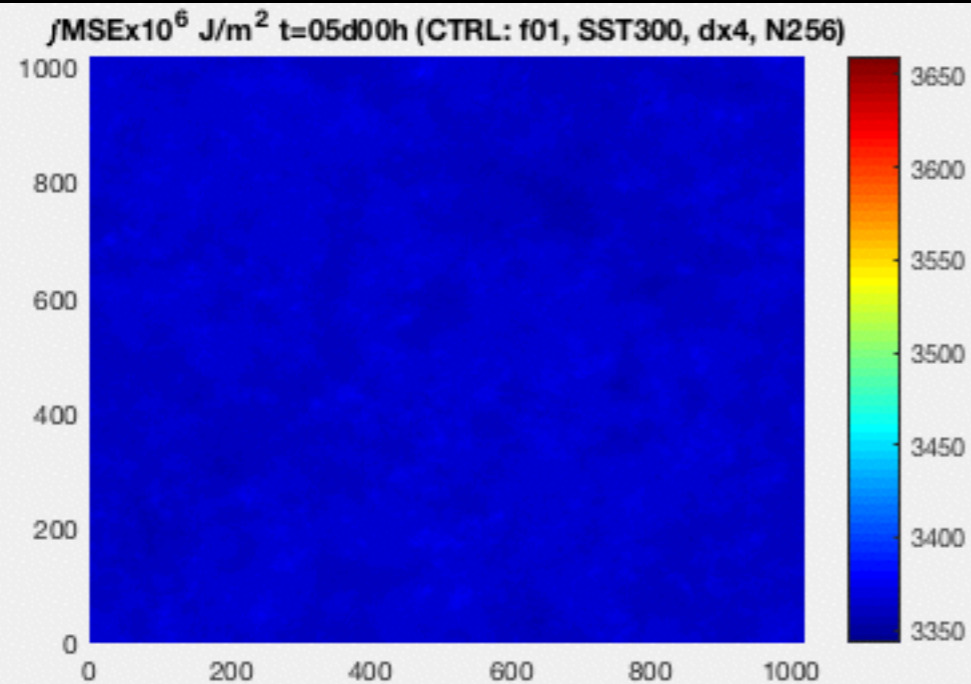
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



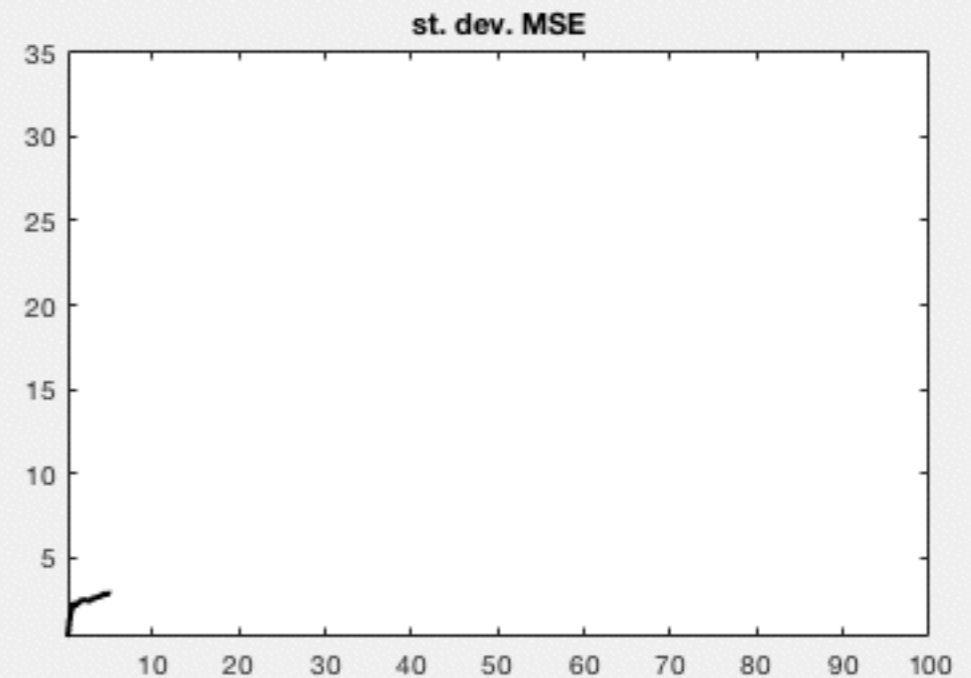
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



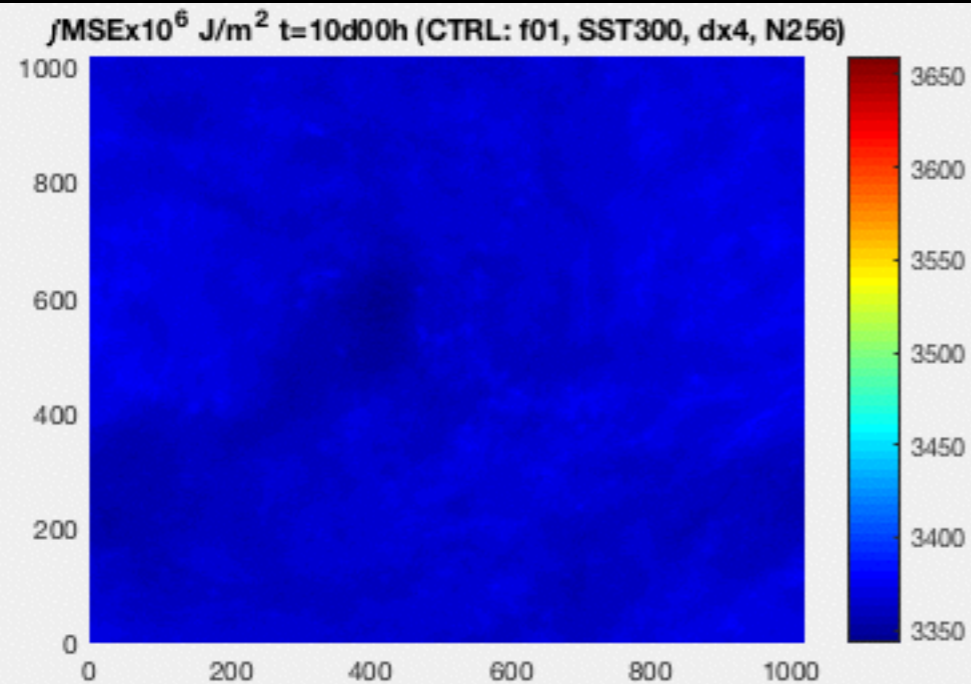
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



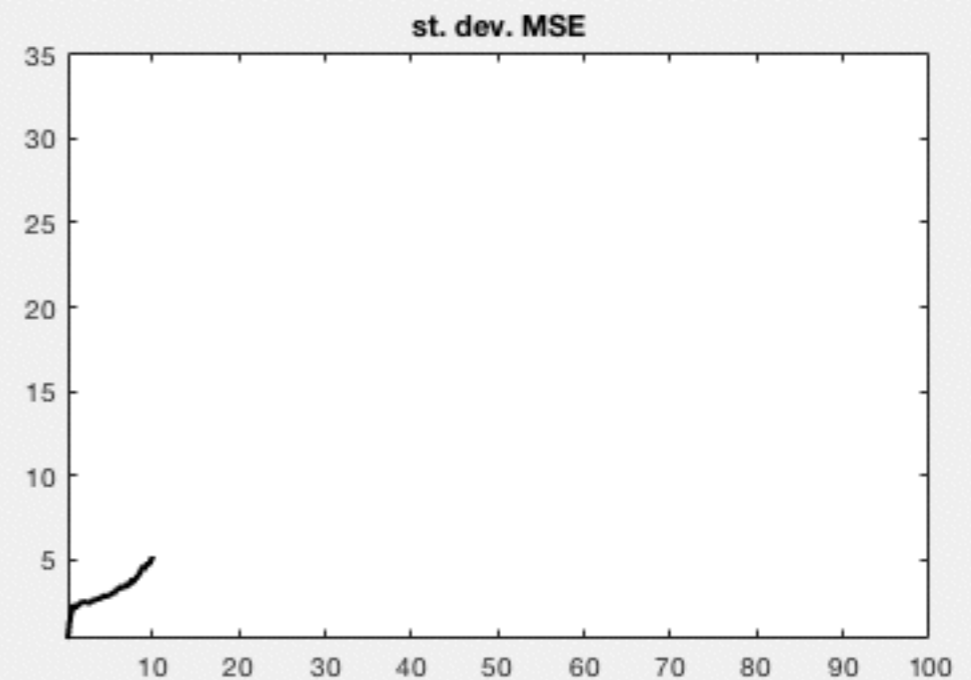
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



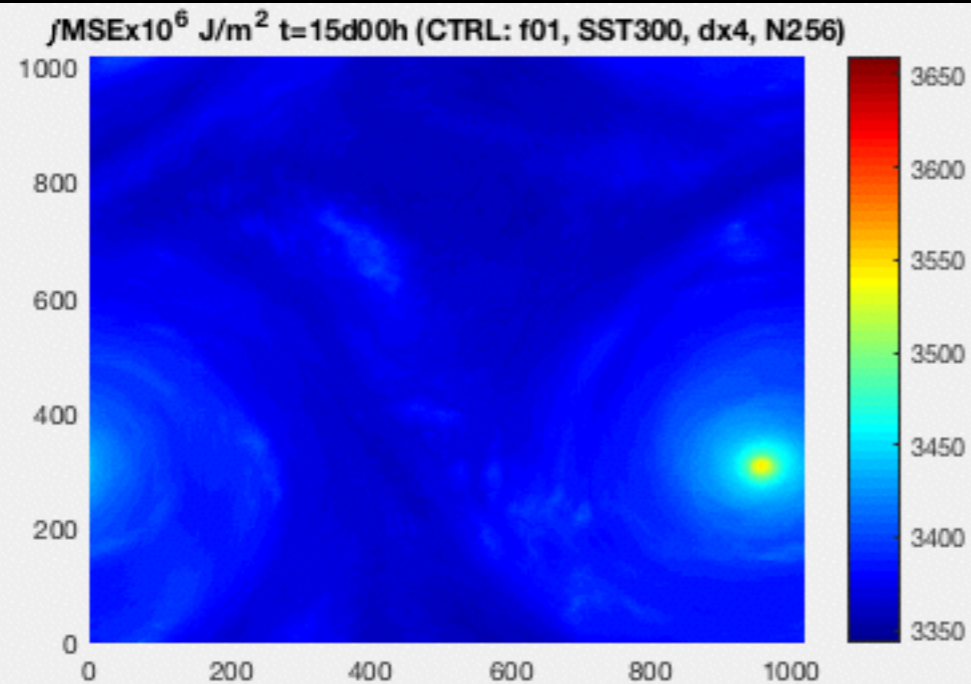
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



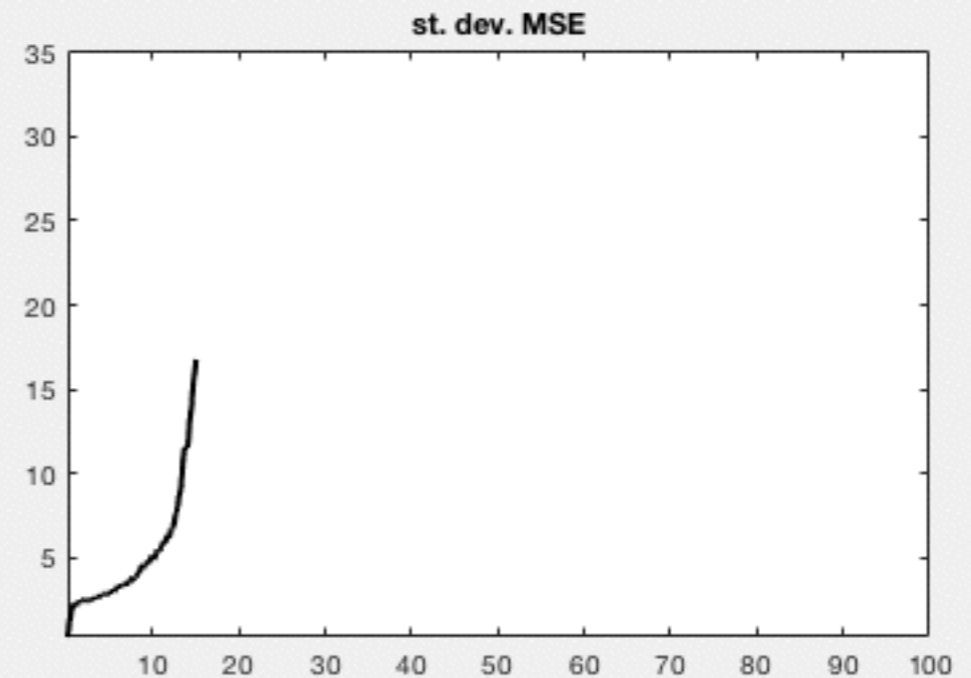
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



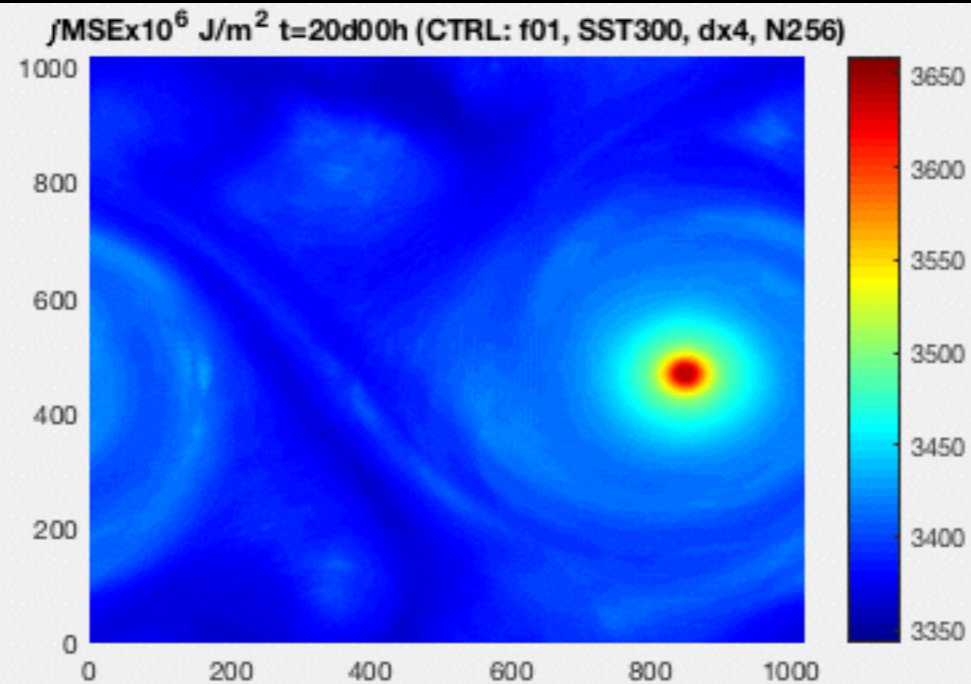
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



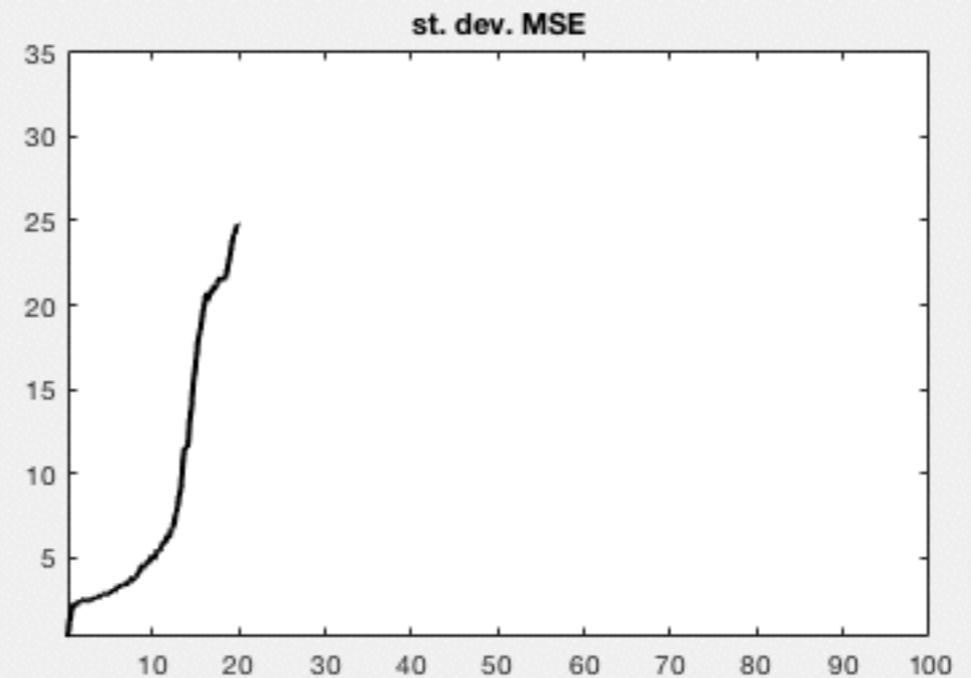
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



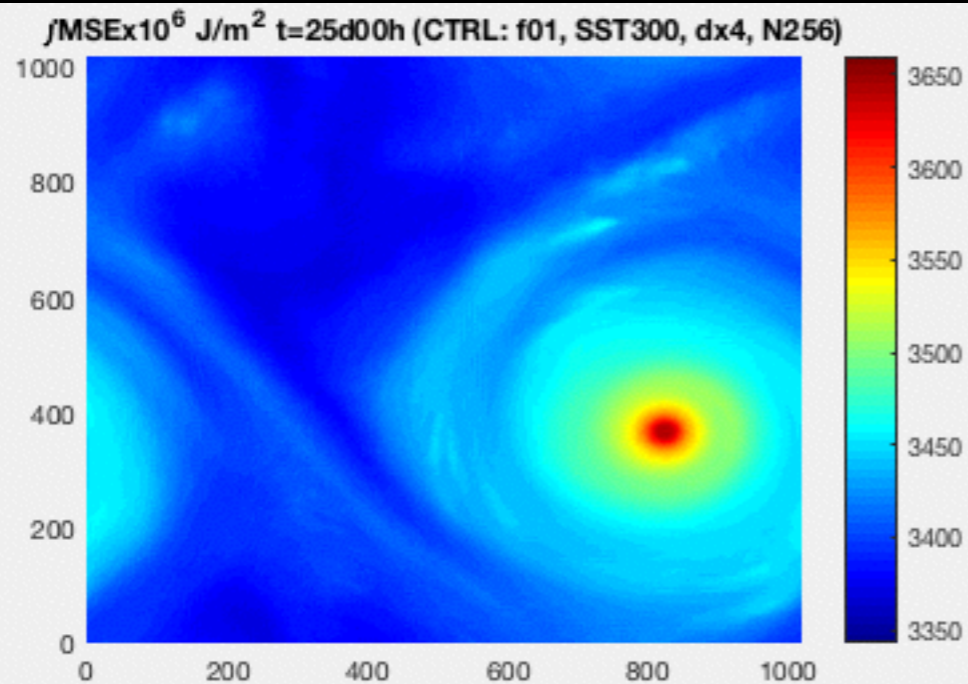
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



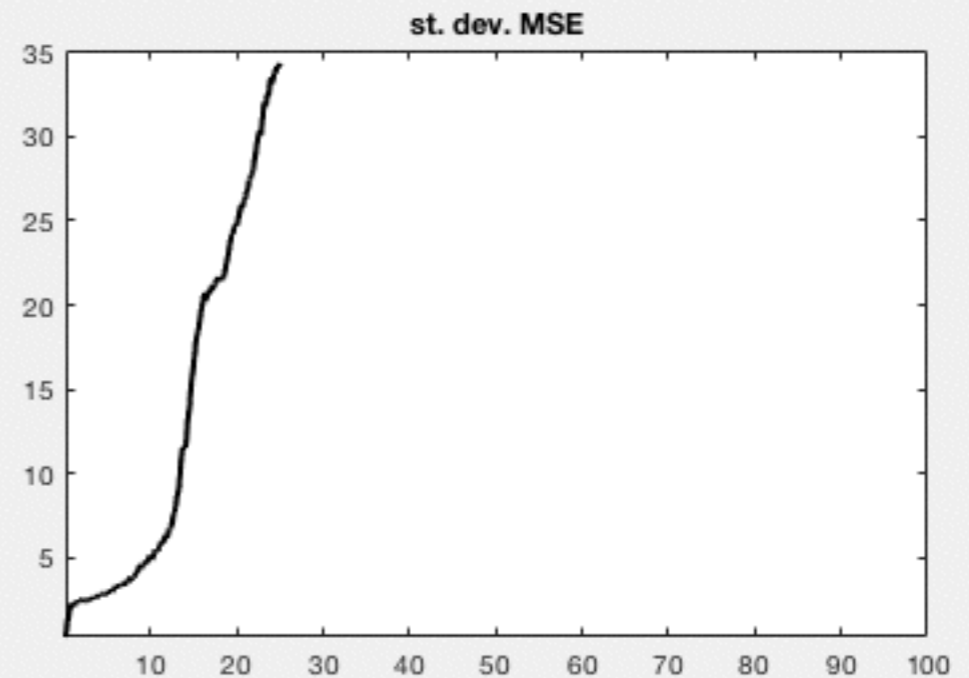
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



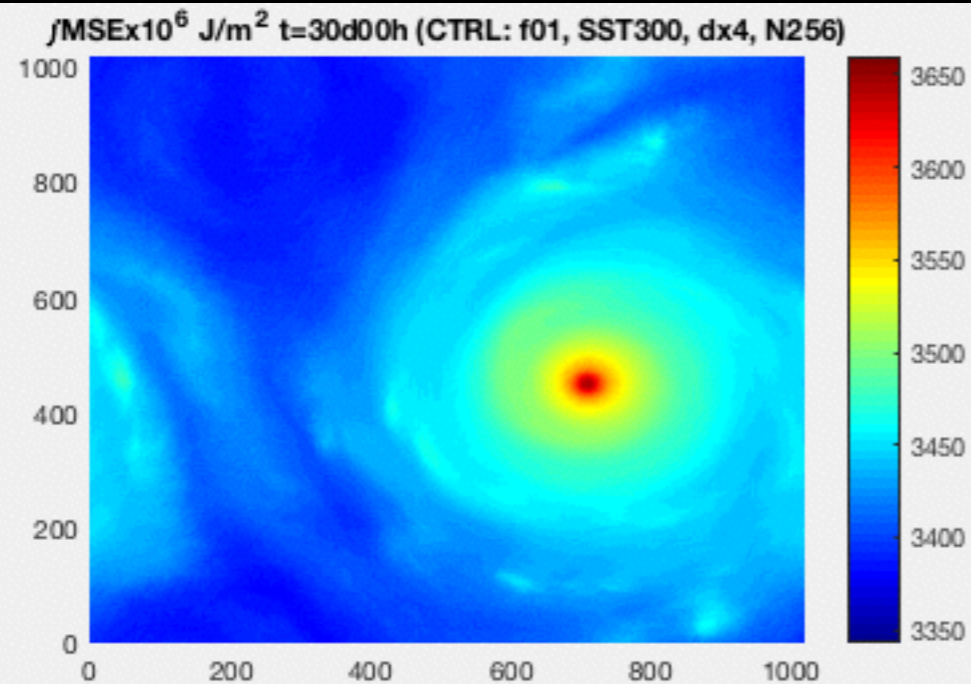
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



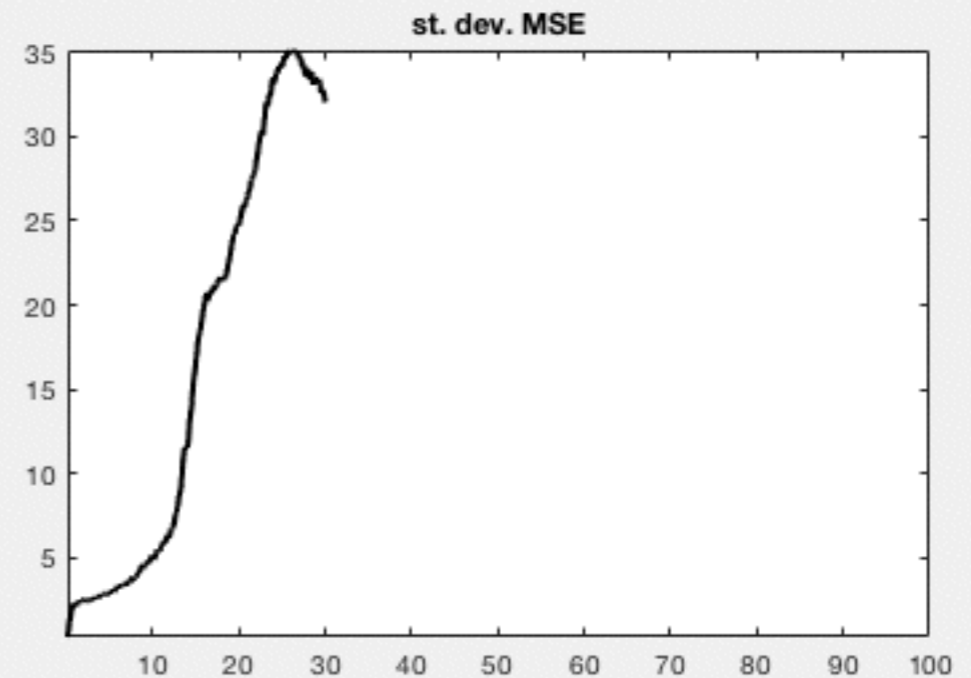
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



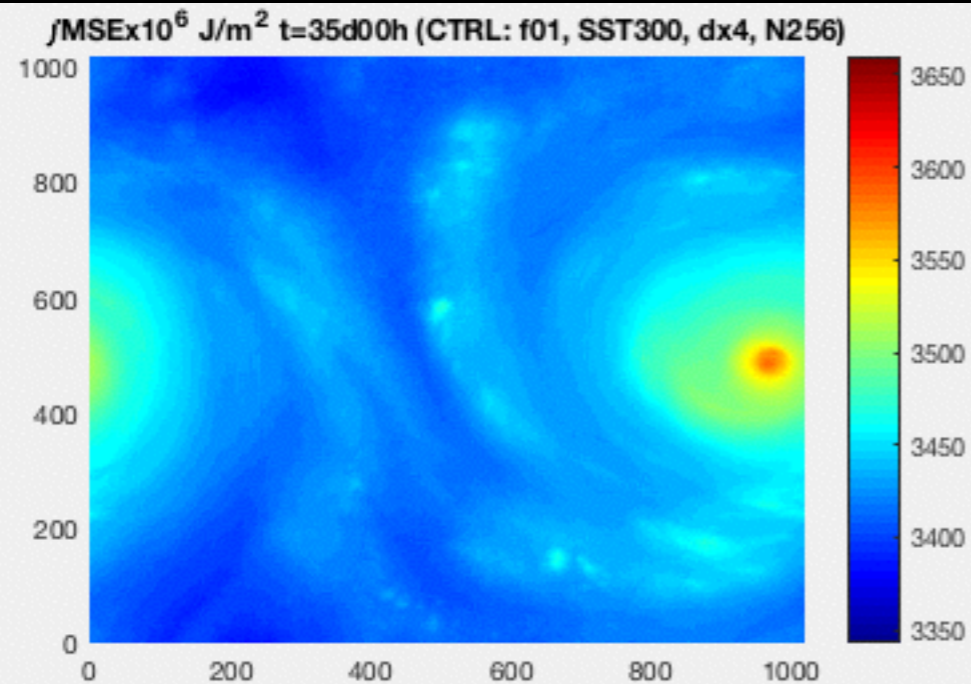
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



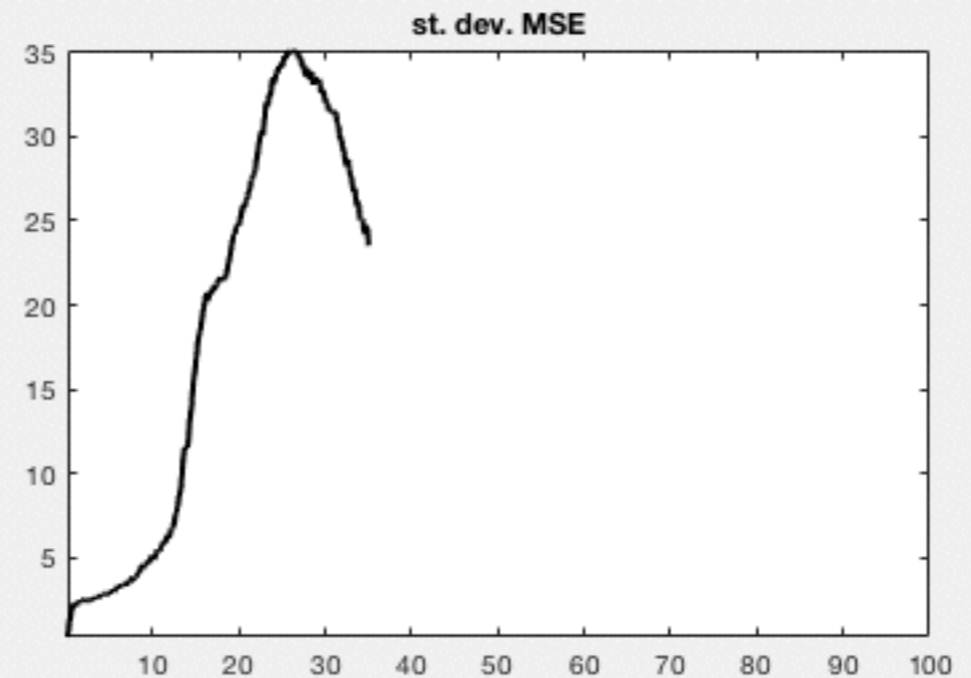
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



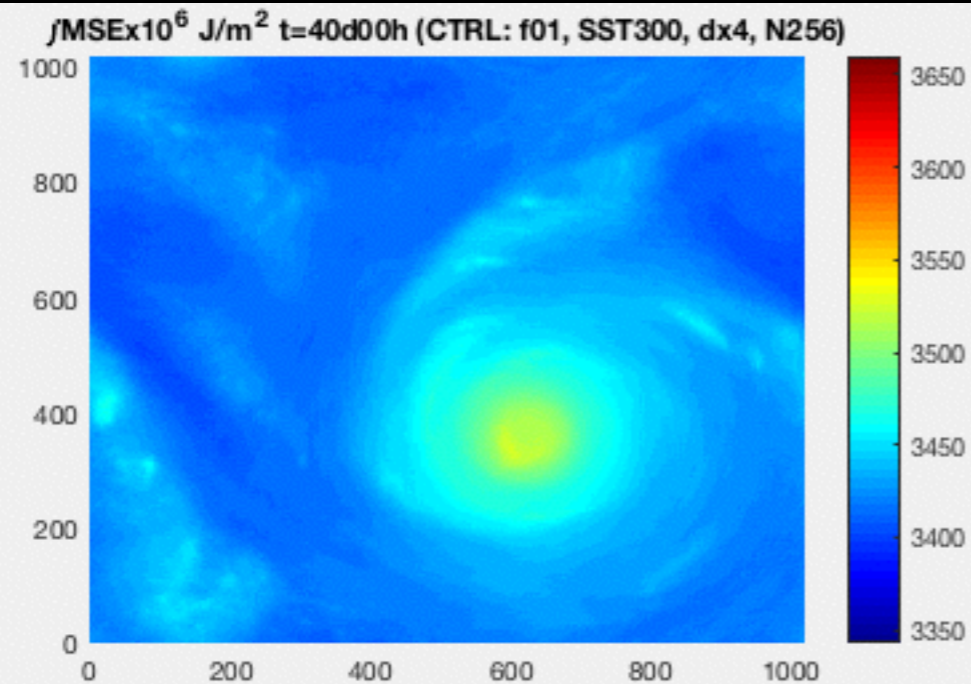
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



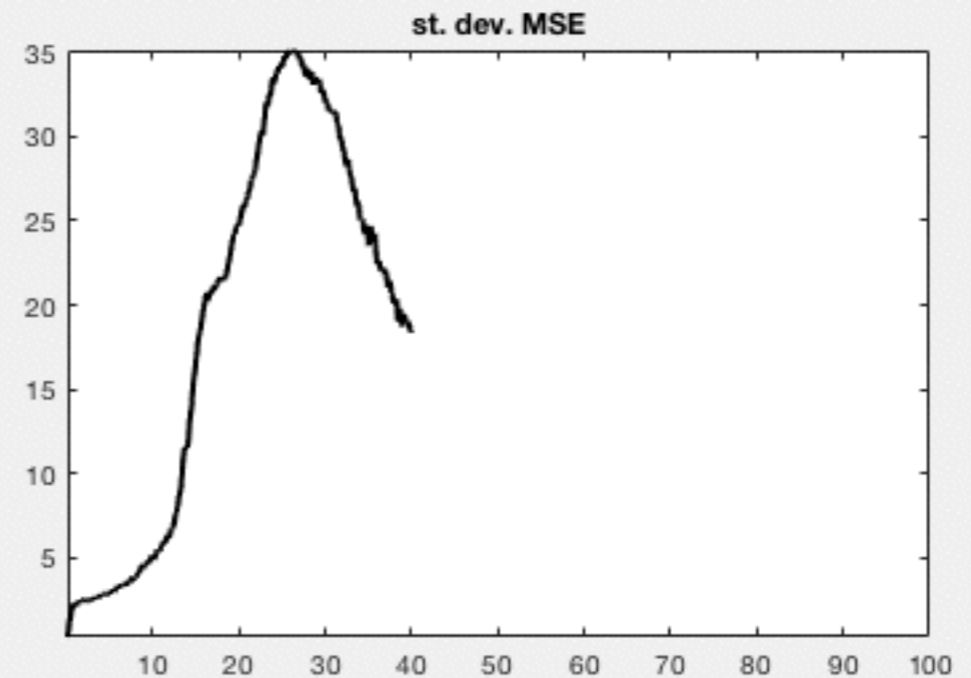
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



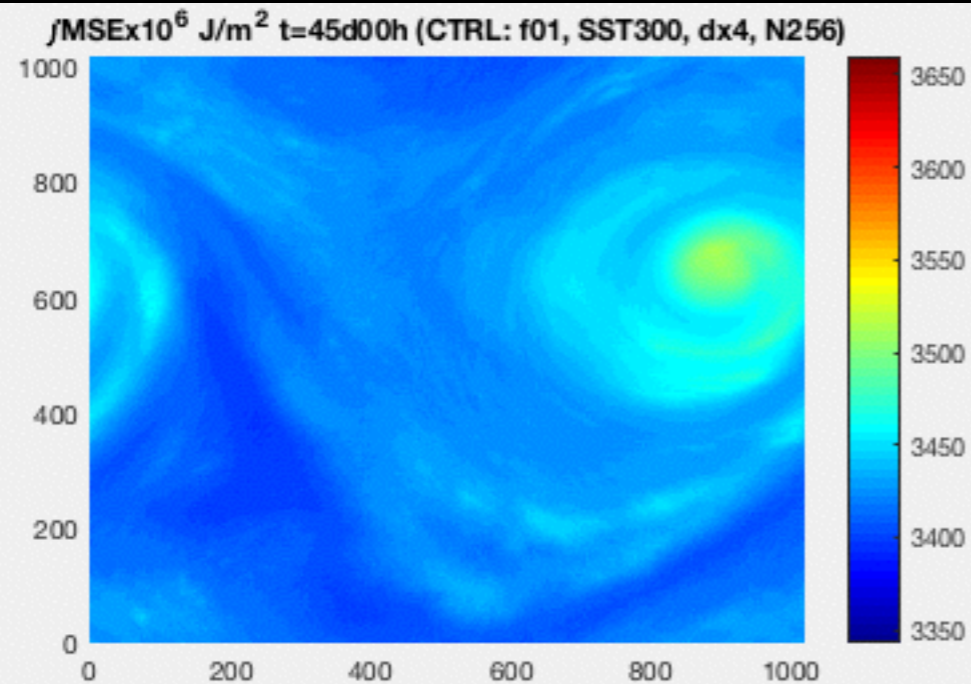
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



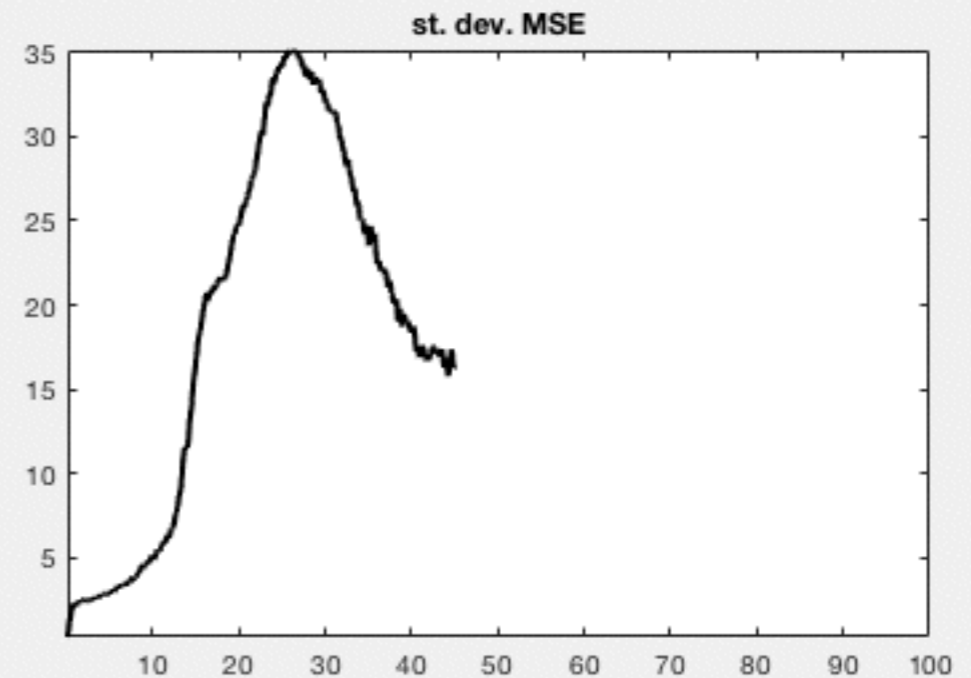
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



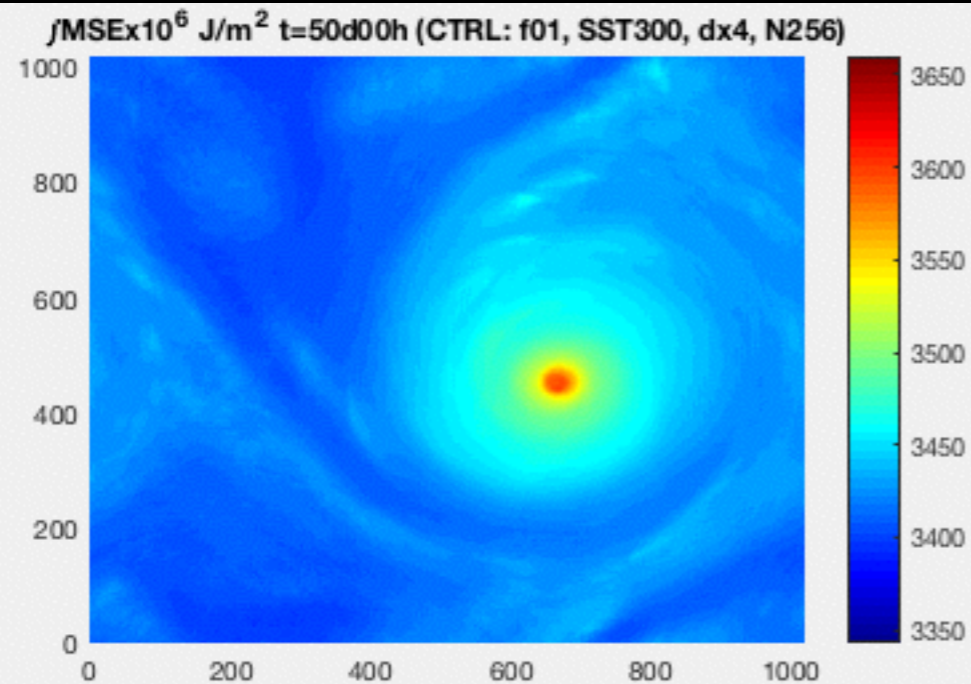
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



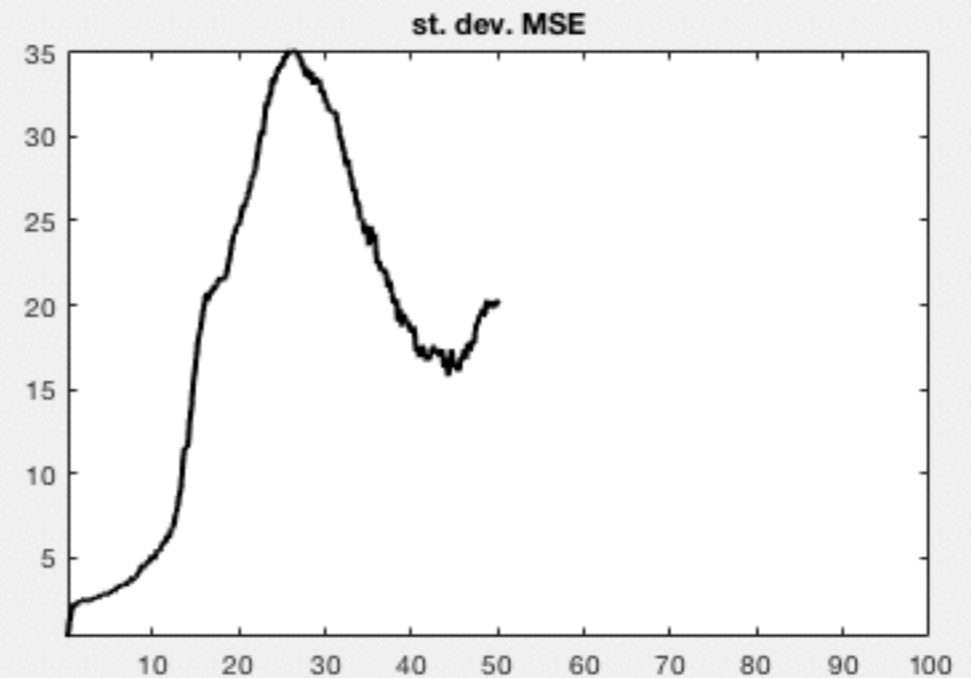
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



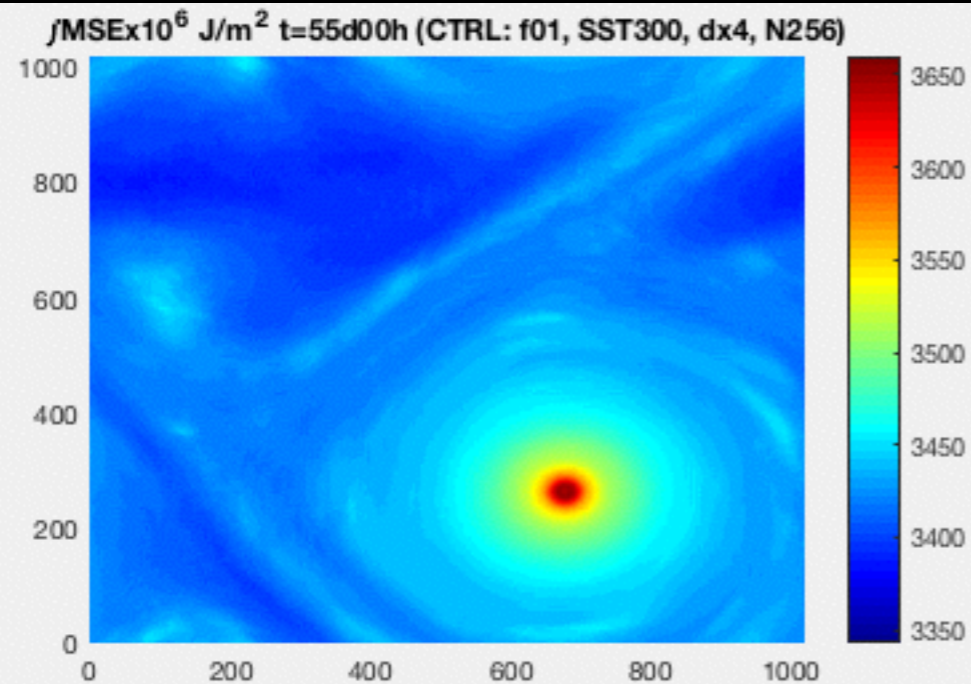
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



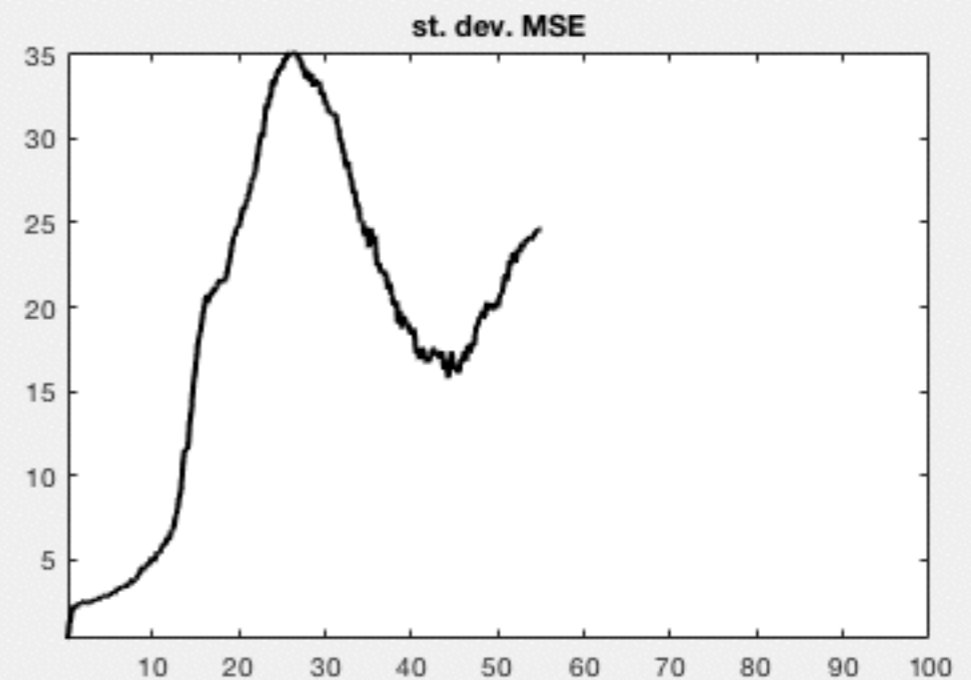
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



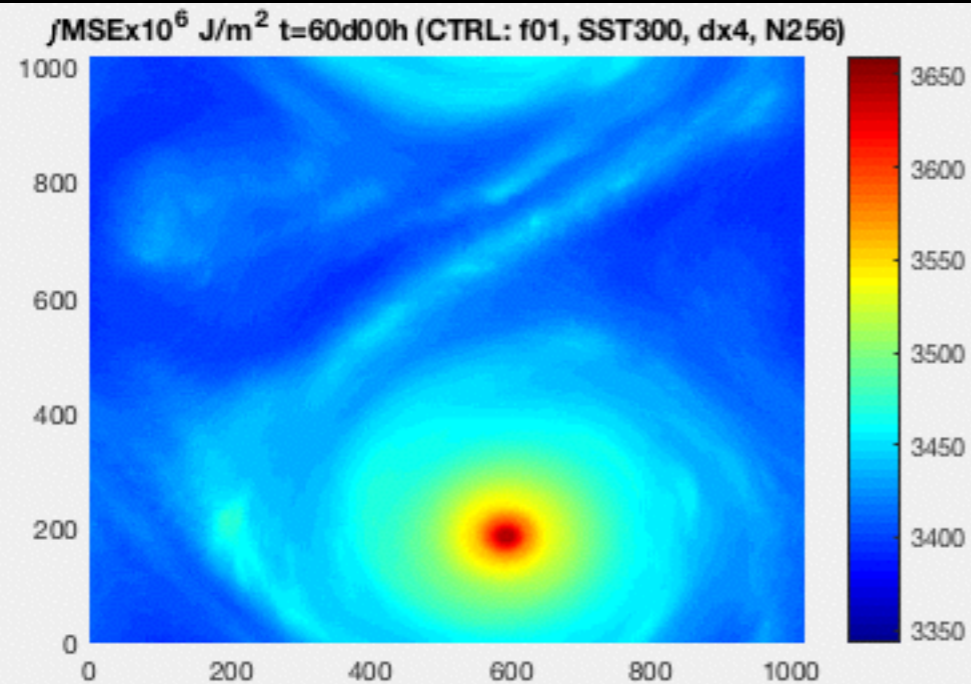
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



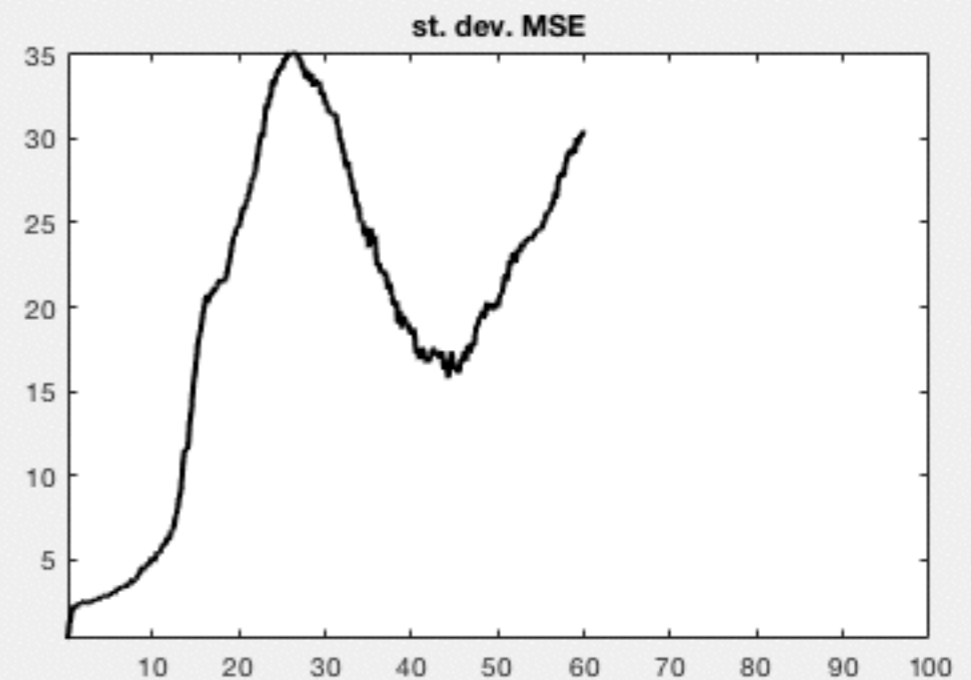
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



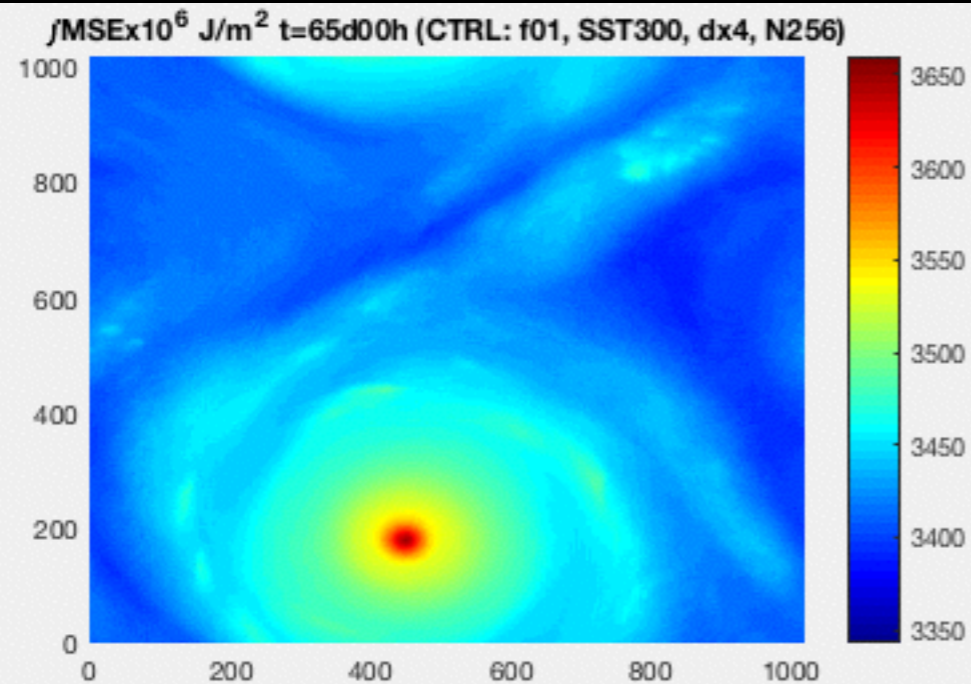
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



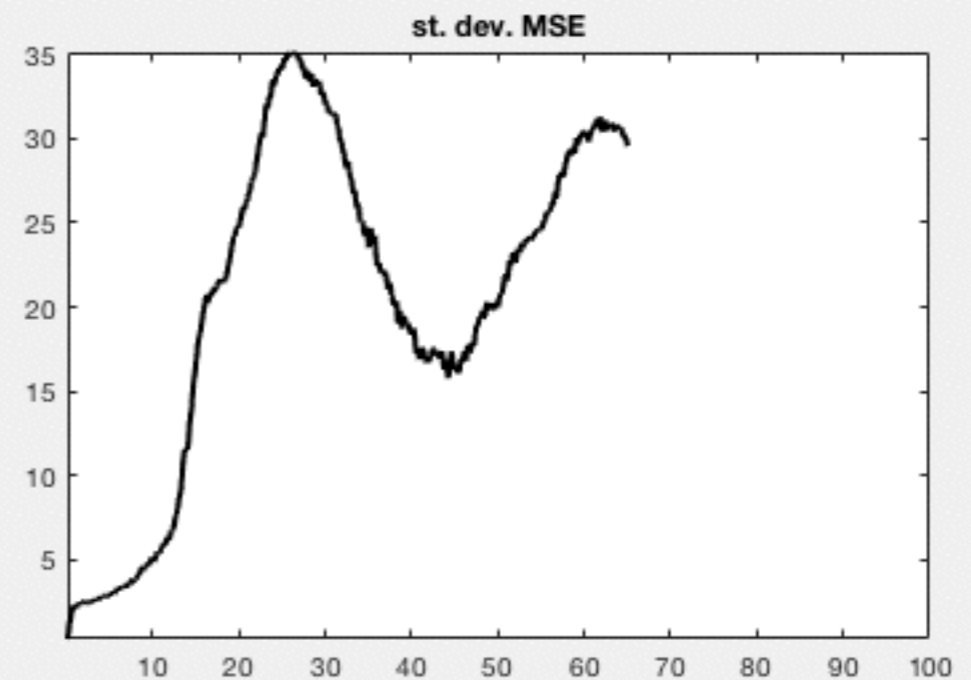
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



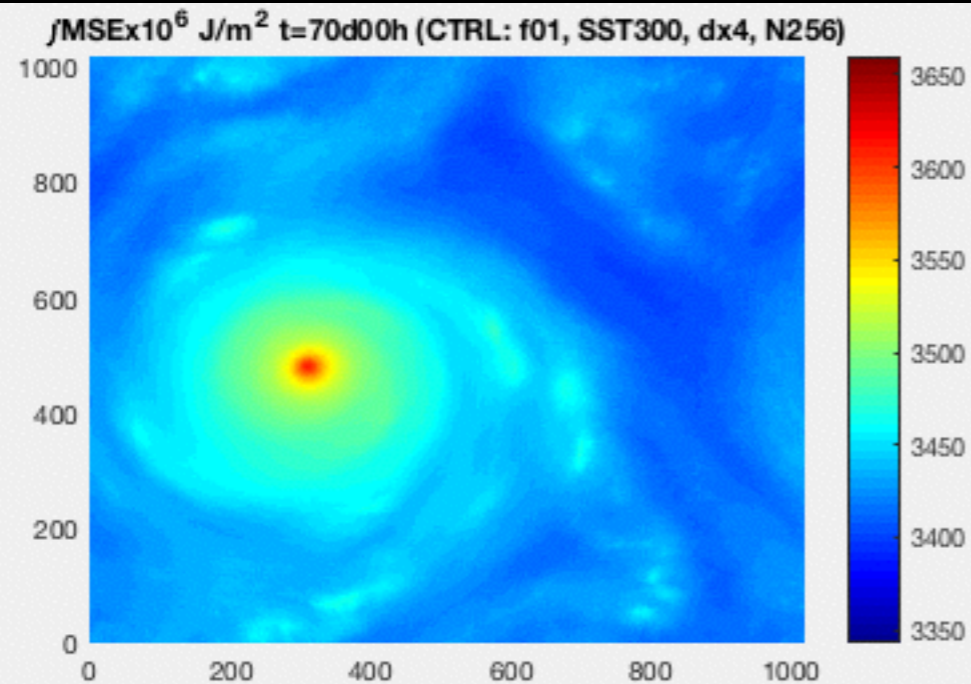
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



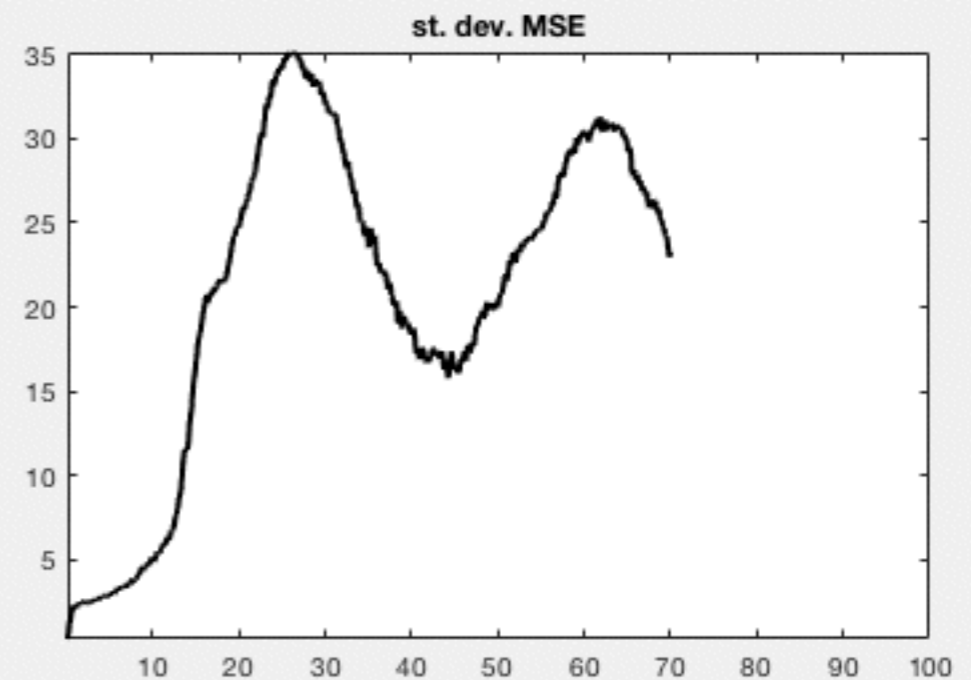
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



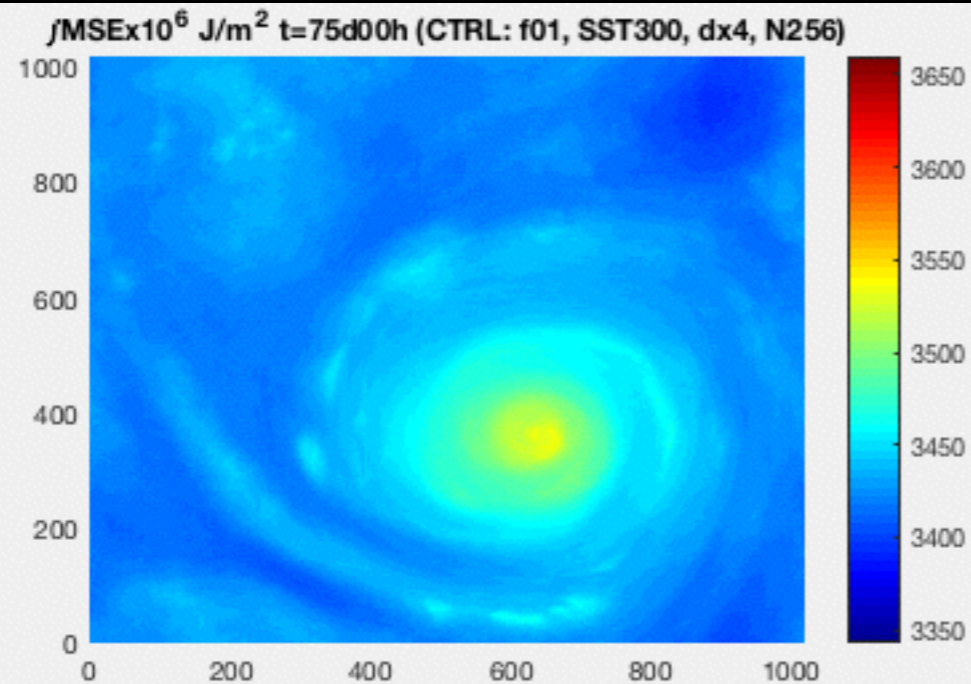
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



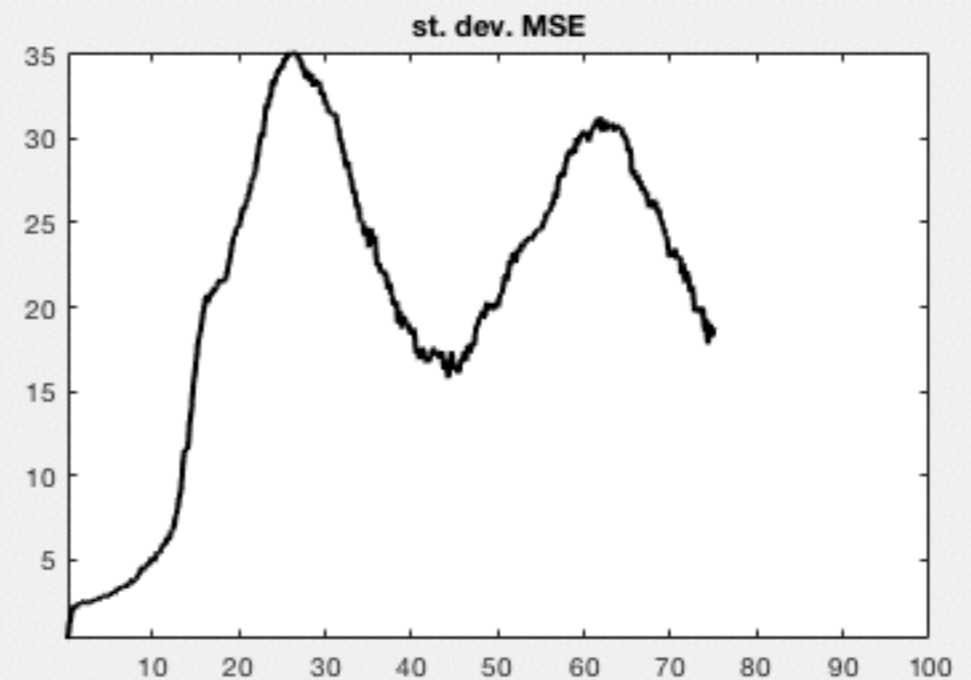
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



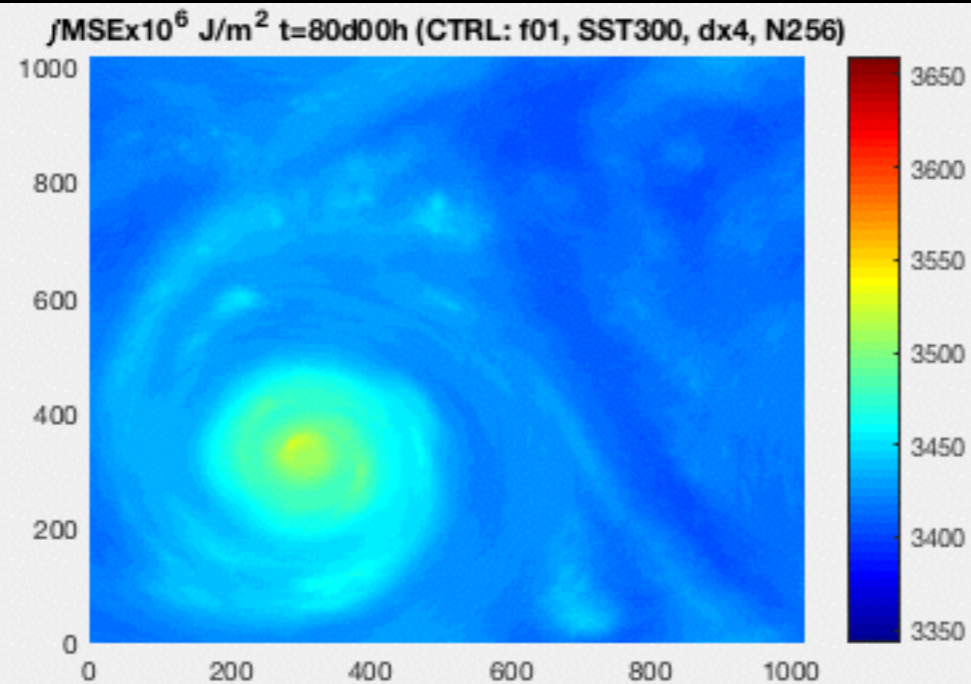
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



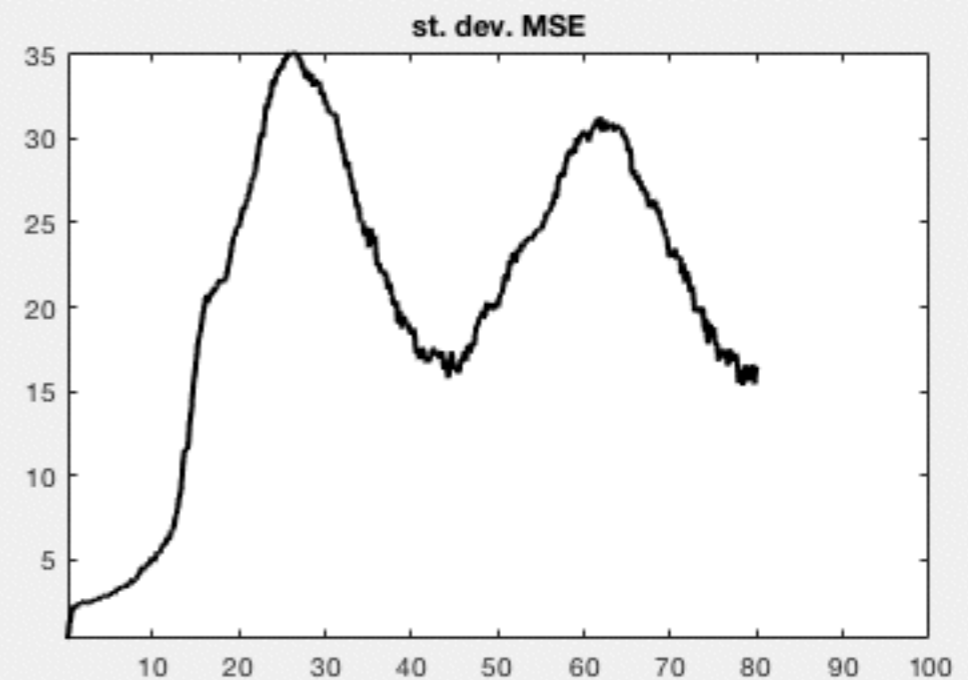
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



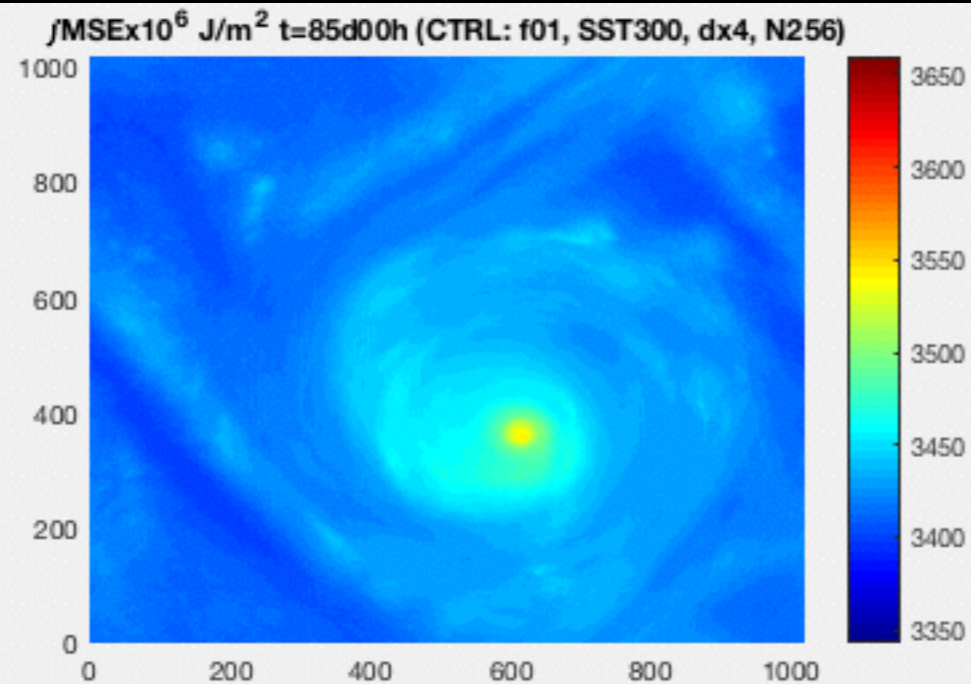
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



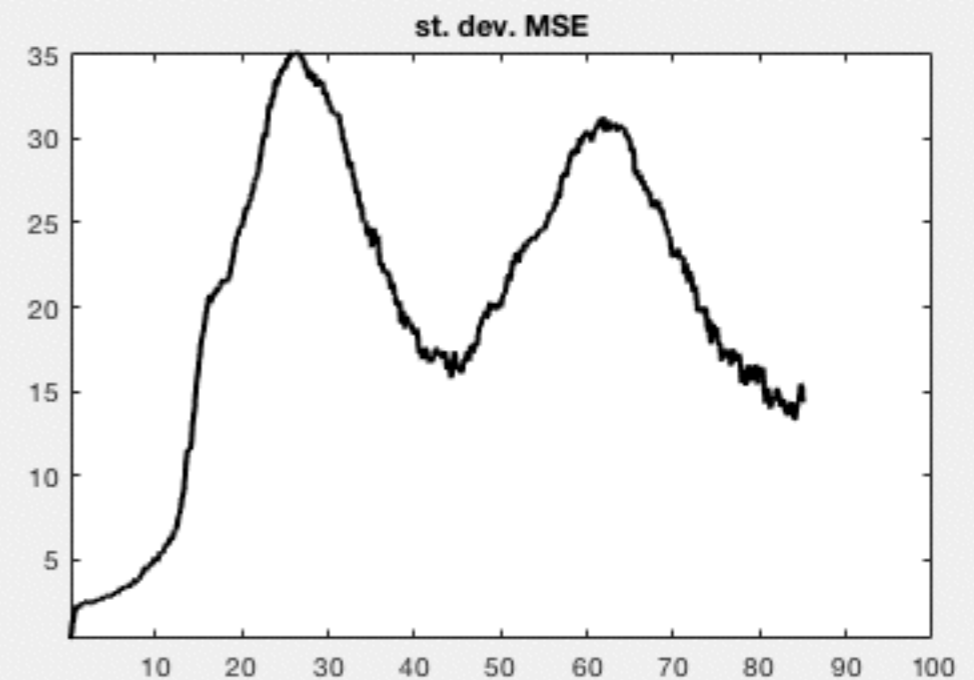
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



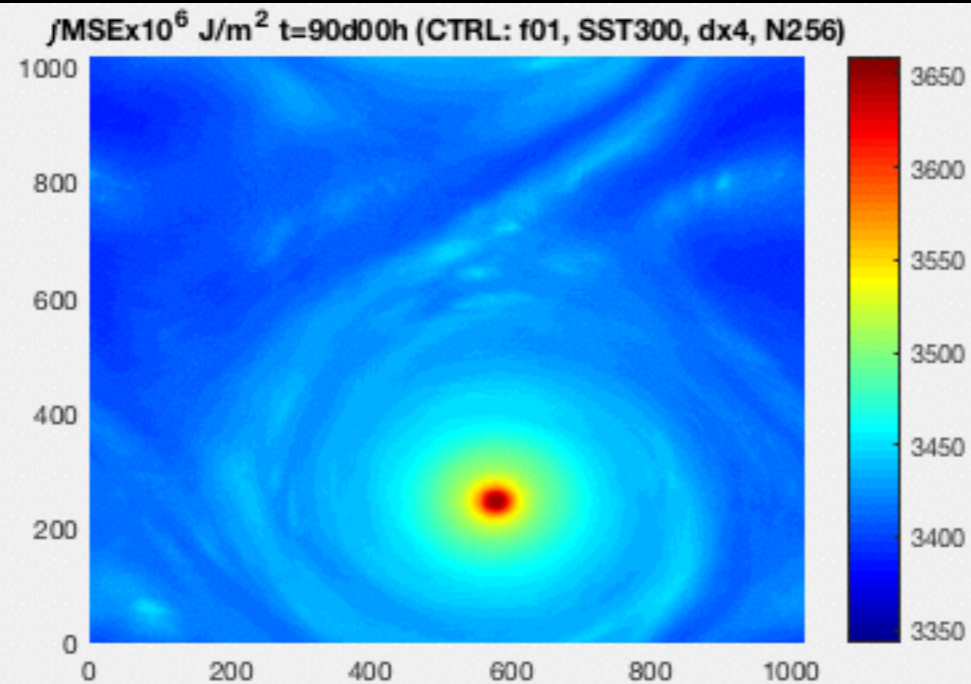
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



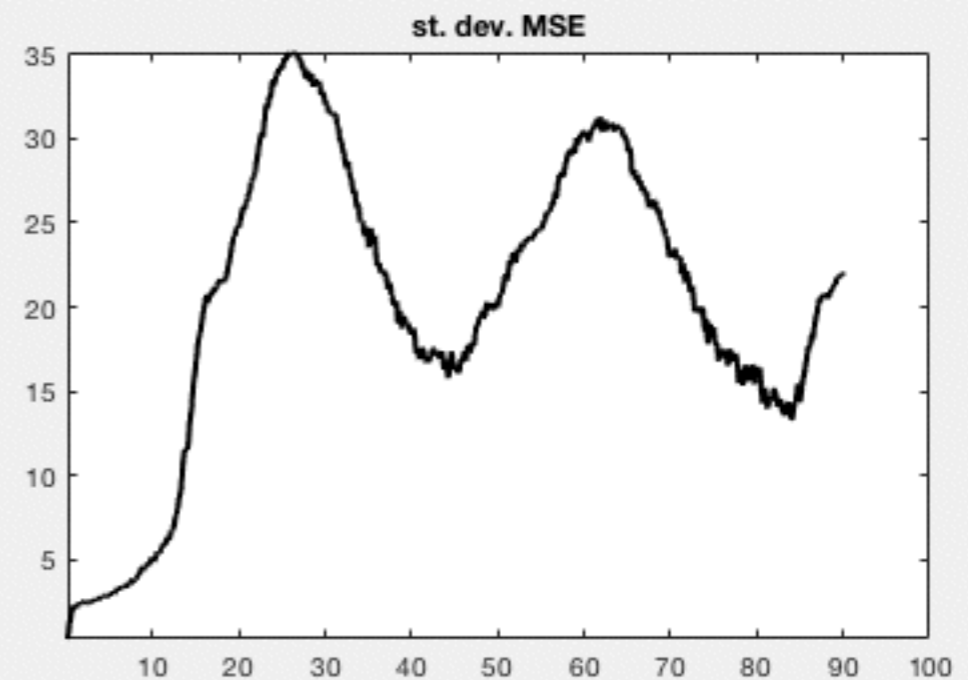
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



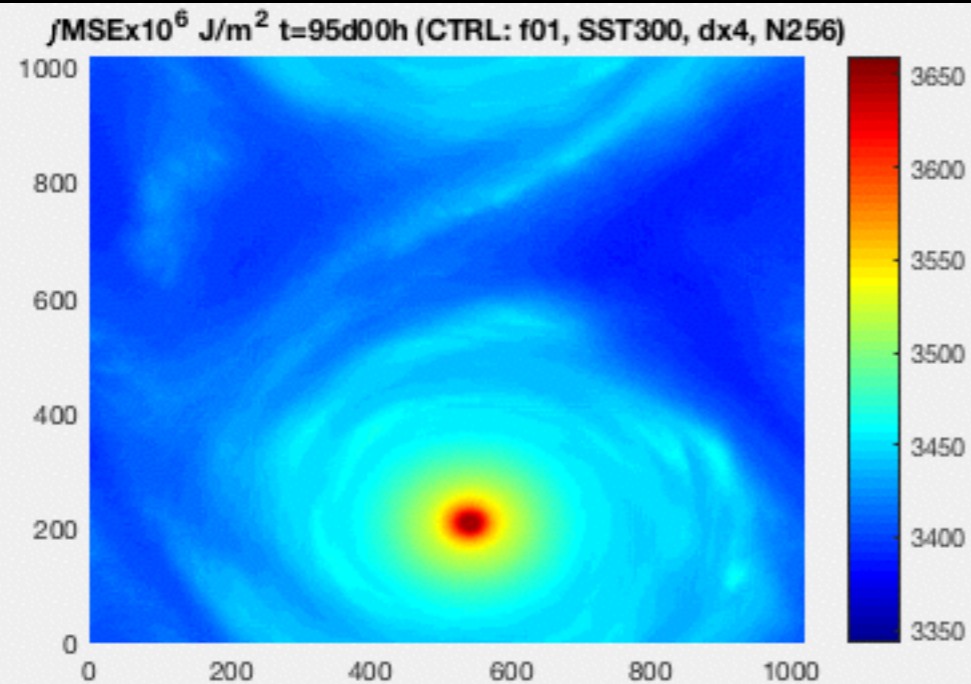
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



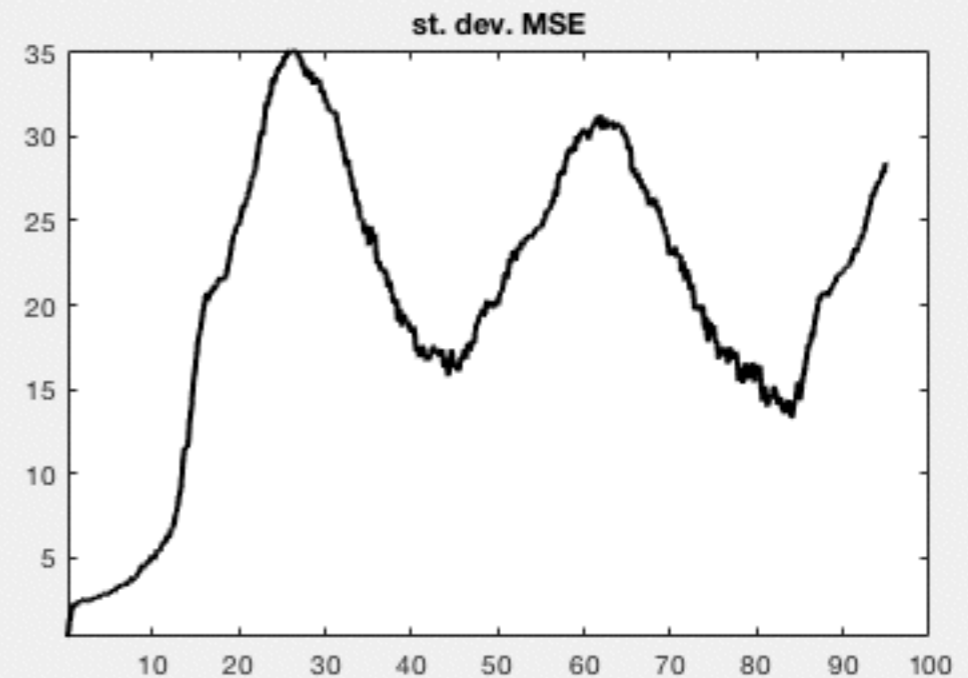
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



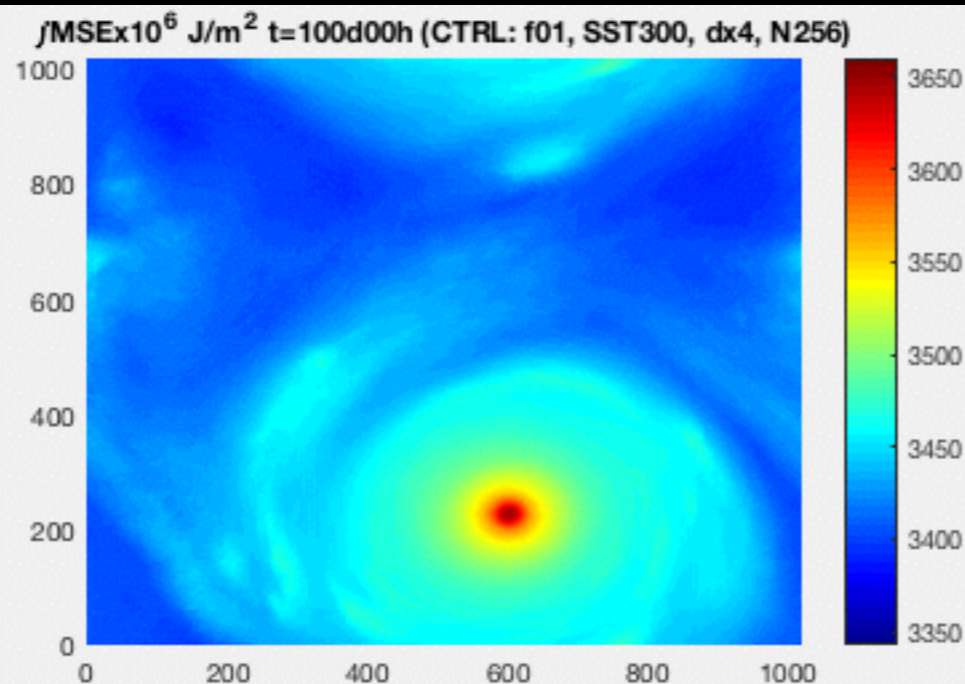
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



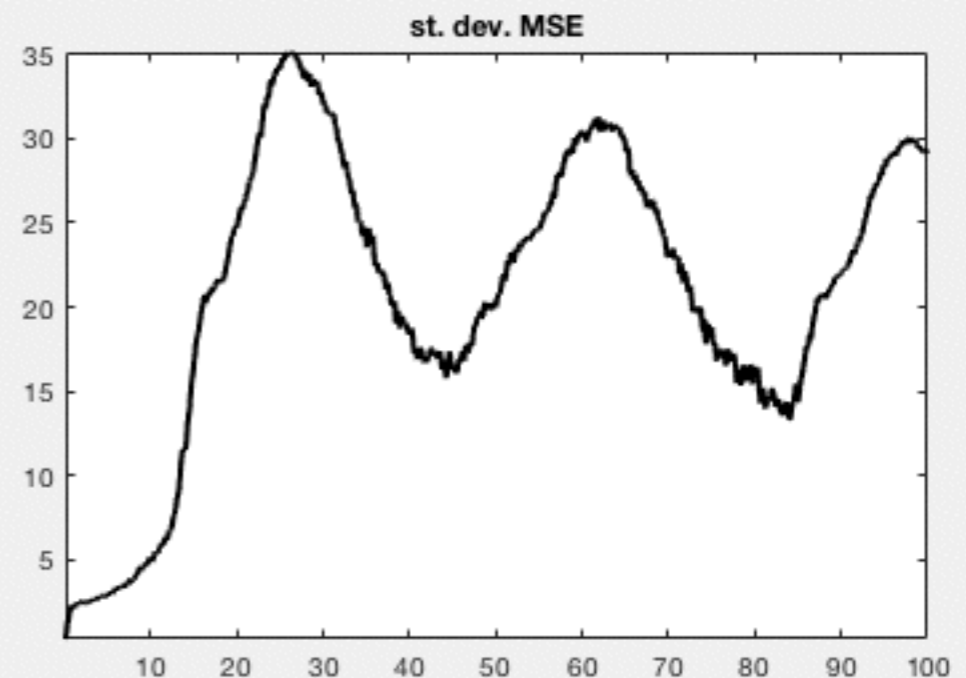
Lien avec la cyclogénèse

Simulation de contrôle

Energie statique humide (vue du dessus)



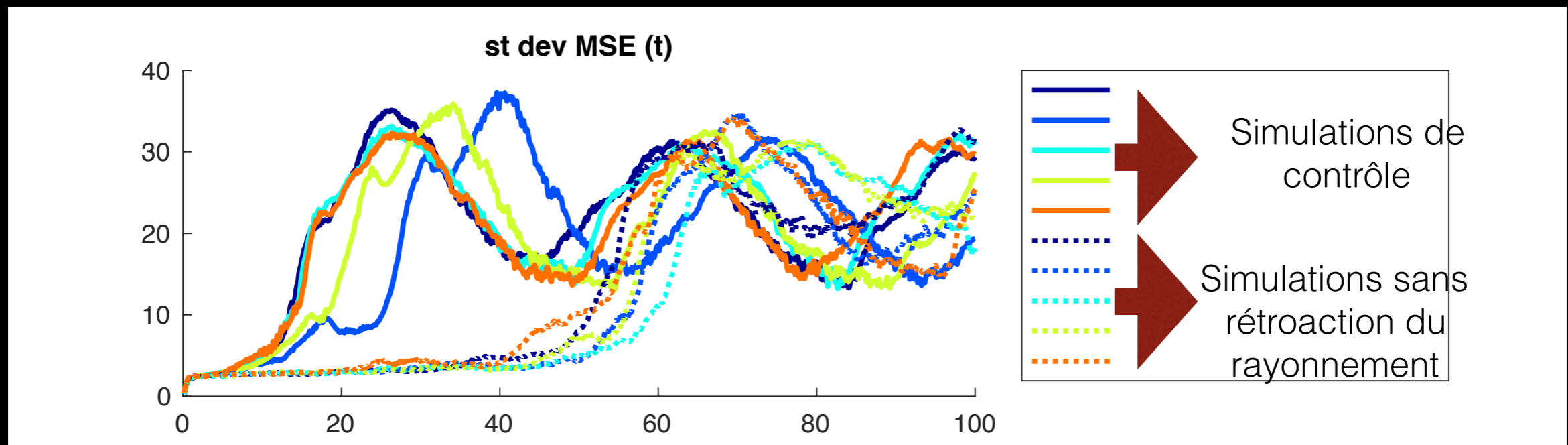
Variabilité de l'énergie (liée au développement du cyclone)



=> cyclone en 20-25 jours

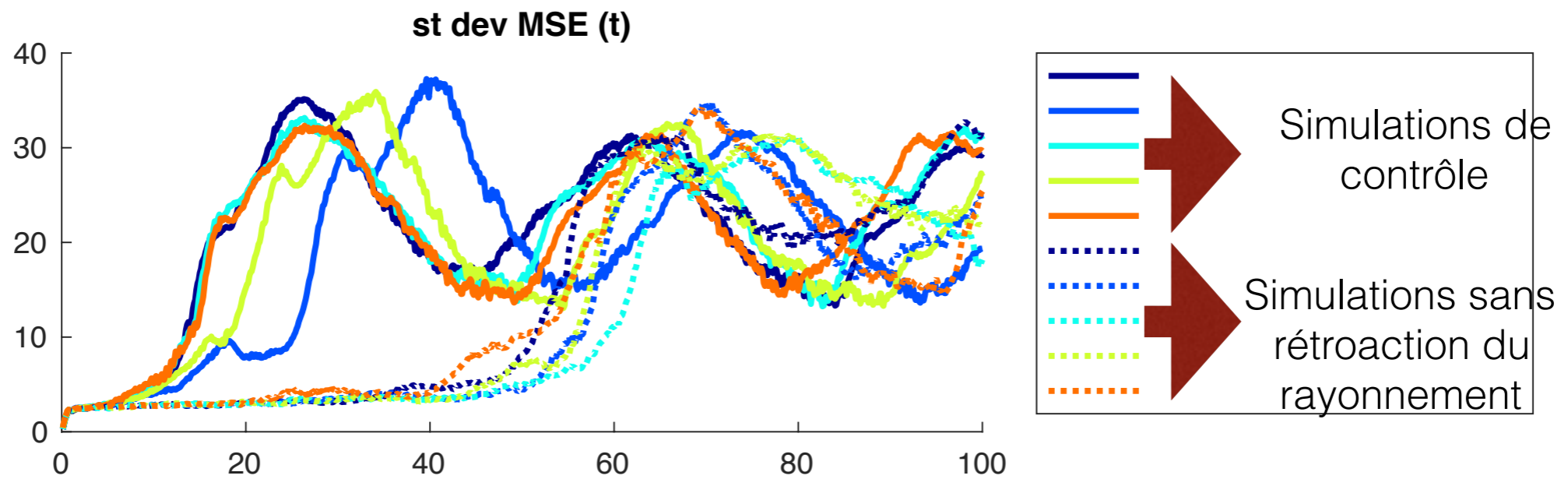
Que se passe t'il si l'on enlève la rétroaction du rayonnement ?

Lien avec la cyclogénèse

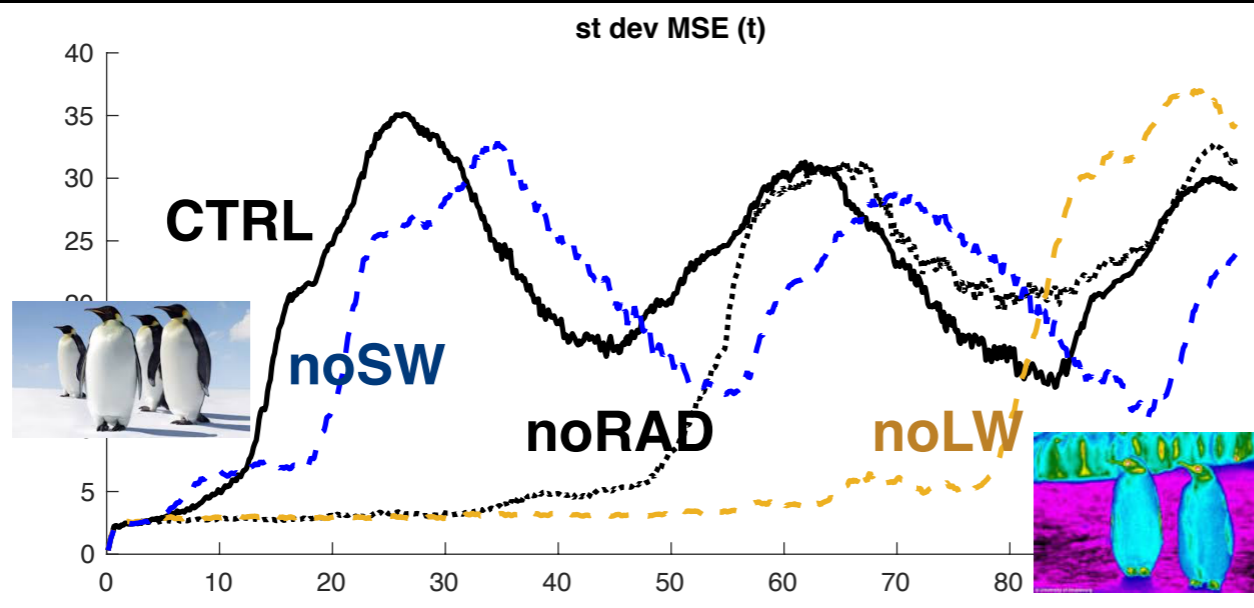


Cyclone en 60 jours : la cyclogénèse a ralenti d'un facteur 2 - 3 !

Lien avec la cyclogénèse



Cyclone en 60 jours : la cyclogénèse a ralenti d'un facteur 2 - 3 !



Le ralentissement de la cyclogénèse est essentiellement lié au rayonnement LW (~ thermique)

[Muller & Romps 2018]

Discussion

Les simulations idéalisées ont leurs limites

Dans les tropiques, la naissance d'un cyclone tropical peut être très différente, et est influencée par les conditions environnementales

Par exemple le passage d'une onde équatoriale et des conditions humides en moyenne troposphère (« marsupial pouch »)

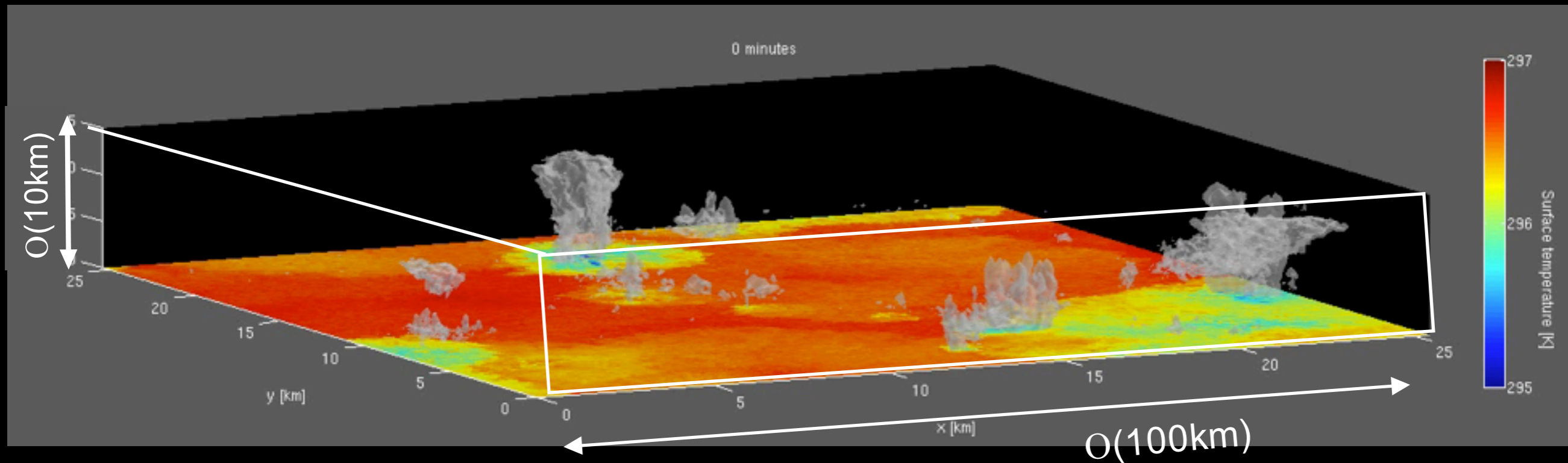
Mais le développement de modèles fins et l'augmentation des puissances de calcul permettent l'étude de processus physiques précis (tel que l'auto-agrégation)

Pourrait permettre d'identifier de nouvelles pistes dans l'étude de la cyclogénèse et de l'intensification des cyclones tropicaux, qui restent des défis scientifiques majeurs

Discussion

- Théorie & modèles fins

Nuages (surfaces grises) et température au sol (couleurs)



- Observations satellite et in - situ

drones et avions (B. Legras)

satellites



ballons aeroclippers (J.P. Duvel)

