

2025-2026

# Étude de l'activité cyclonique dans l'Atlantique Nord via Aladin-Climat

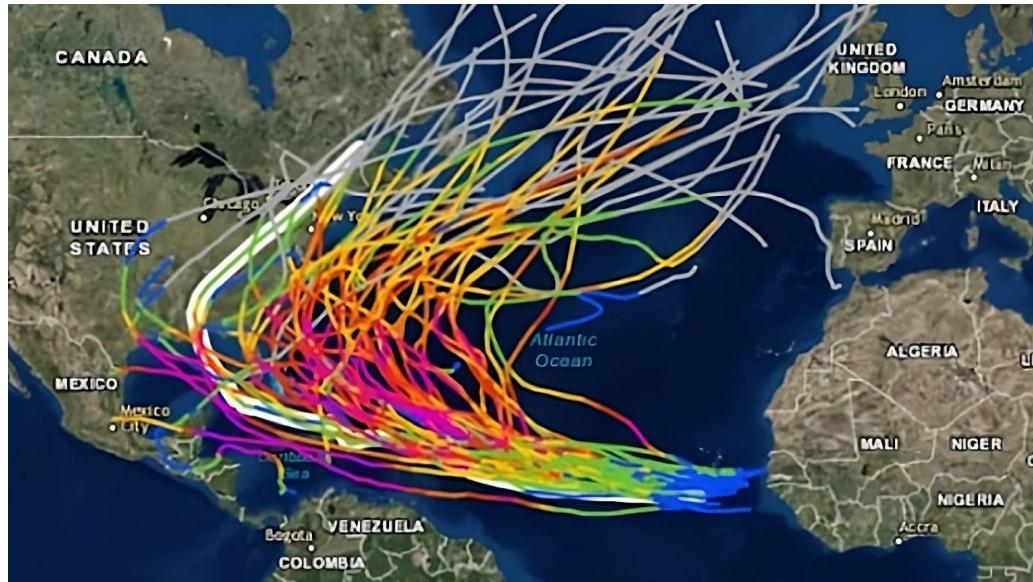
Florent Puy, IENM3



# Plan

1. Contexte et objectif
2. Simulation de référence : analyse et comparaison
3. Choix du test de sensibilité et résultats attendus
4. Comparaison simulation de sensibilité / simulation de référence
5. Conclusion

# Trajectoires de tous les cyclones et tempêtes tropicales de l'Atlantique Nord entre 1950 et 2016 (source NOAA)



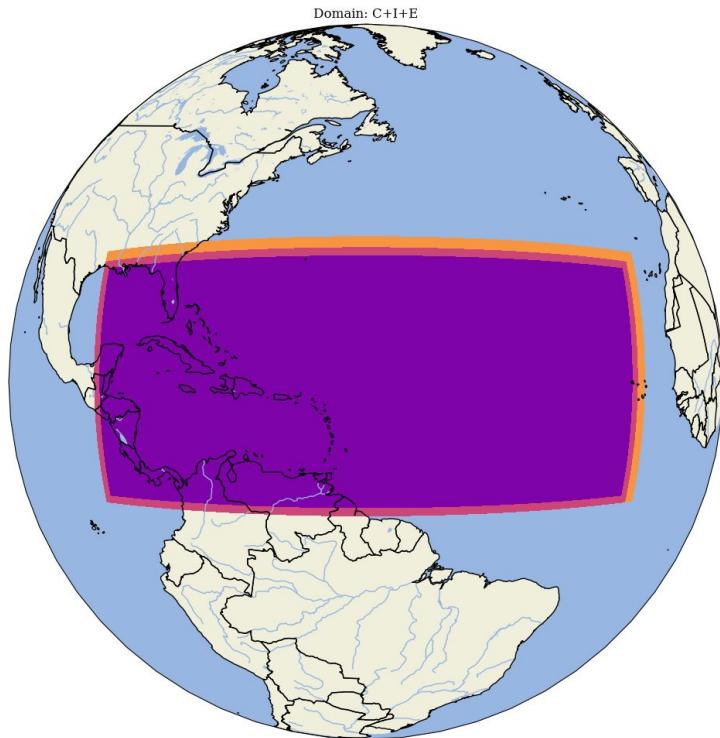
	Tempêtes tropicales nommées	Cyclones Catégories 1 à 5
<b>Moyenne (1981-2010)</b>	12,1	6,4
<b>Moyenne (1991-2020)</b>	14,4	7,2
<b>Record activité maximale</b>	30 (en 2020)	15 (en 2005)
<b>Record faible activité</b>	4 (en 1983)	2 (en 1982)

# Trajectoires du modèle forceur global CNRM-CM6-1-HR, 50 km 246 trajectoires, 4042 points entre 2001 et 2010



# Configuration spatio-temporelle de l'étude

## Domaine modélisé



Simulation ALADIN de 2001 à 2010 (12 km)  
forcée par CNRM-CM6 (50 km)  
pas de temps de 6 heures

## Principaux objectifs

Étudier les cyclones sur les Antilles avec le **modèle régional ALADIN-Climat (12km)**

Réaliser une **simulation de référence de 10 ans** (2001 à 2010) après un an de spin-up

Comparer le **modèle global forceur CNRM-CM6-1-HR (50 km)** et le modèle régional

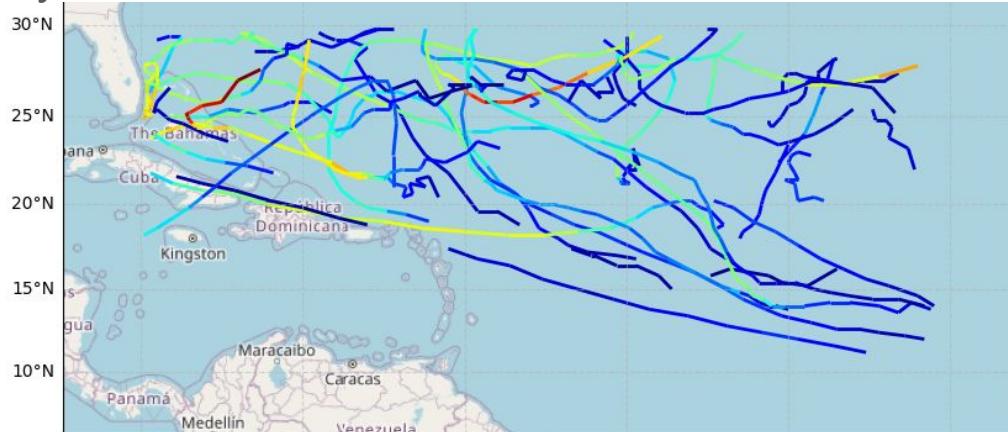
Réaliser une **simulation de sensibilité** et la comparer à la simulation de référence

# Plan

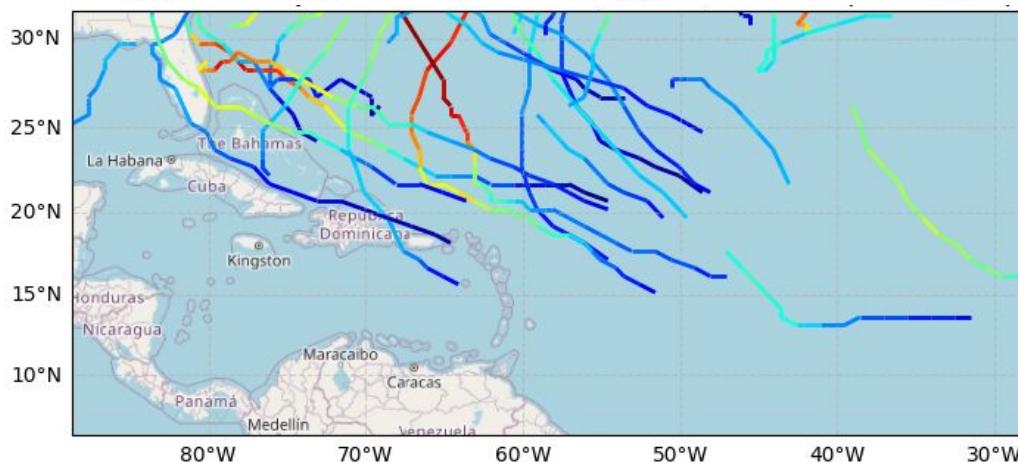
1. Contexte et objectif
2. Simulation de référence : analyse et comparaison
3. Choix du test de sensibilité et résultats attendus
4. Comparaison simulation de sensibilité / simulation de référence
5. Conclusion

# Trajectoires des cyclones simulés - Aladin-Climat et CNRM-CM6

Trajectoires du modèle régional  
**ALADIN-Climat**  
**41 trajectoires, 727 points**

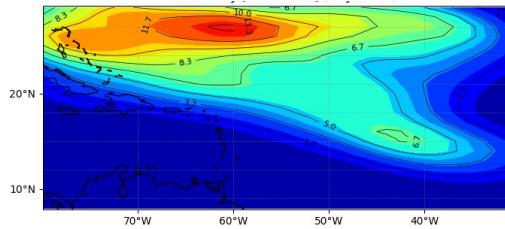


Trajectoires du modèle global  
**CNRM-CM6-1-HR**  
**21 trajectoires, 425 points**

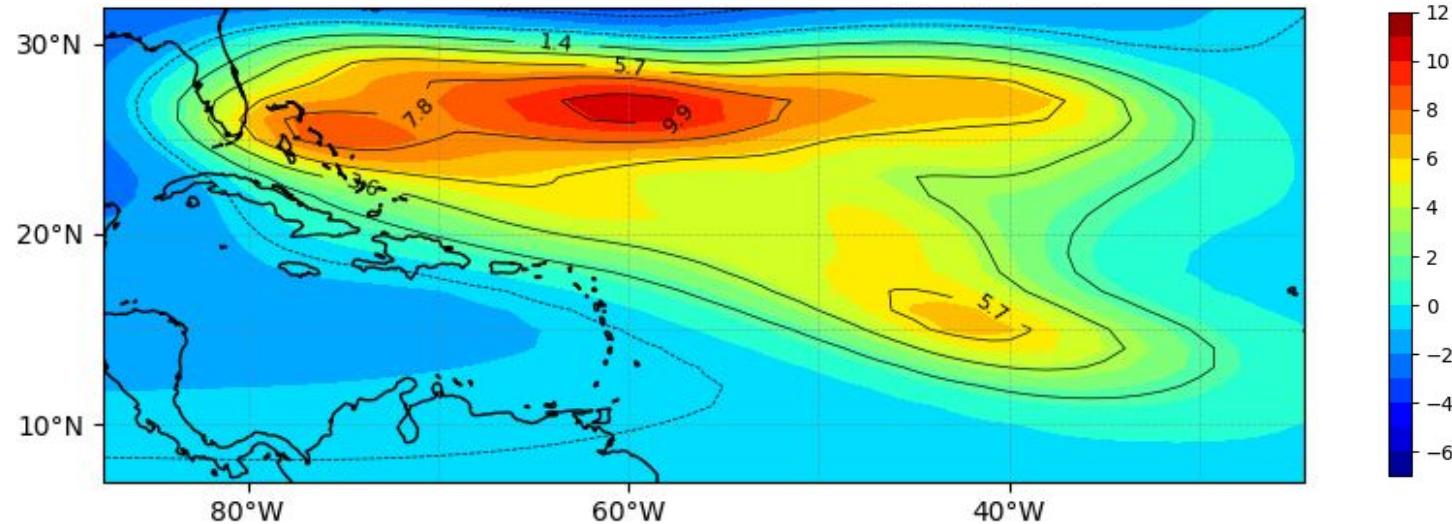
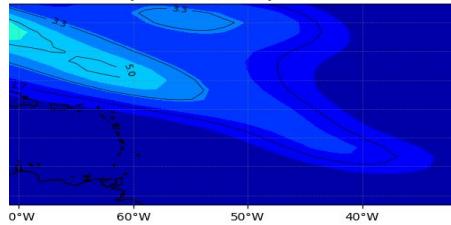


# Différence entre Aladin-Climat & CNRM-CM6-1-HR

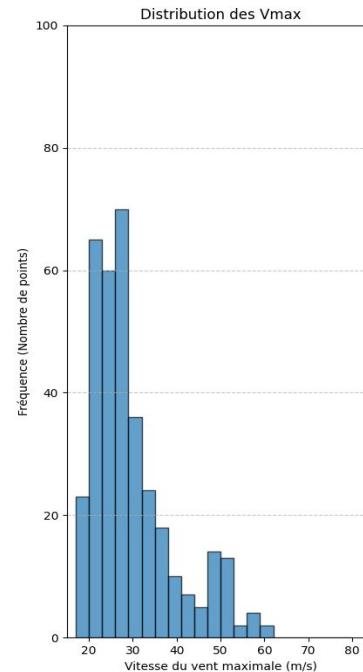
ALADIN-Climat régional



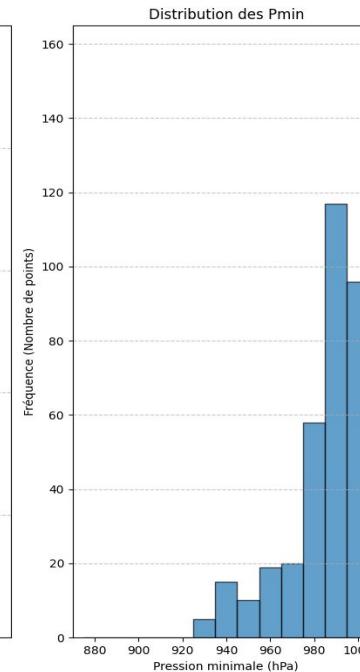
CNRM-CM6-1-HR global



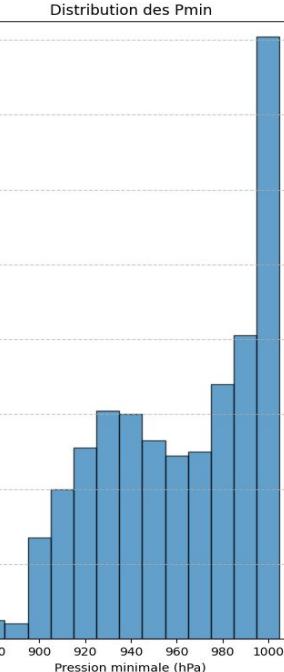
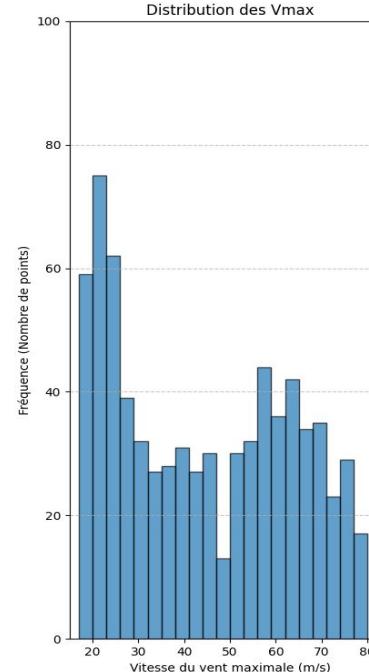
## Distribution des Vmax (m/s)



## Distribution des Pmin (hPa)



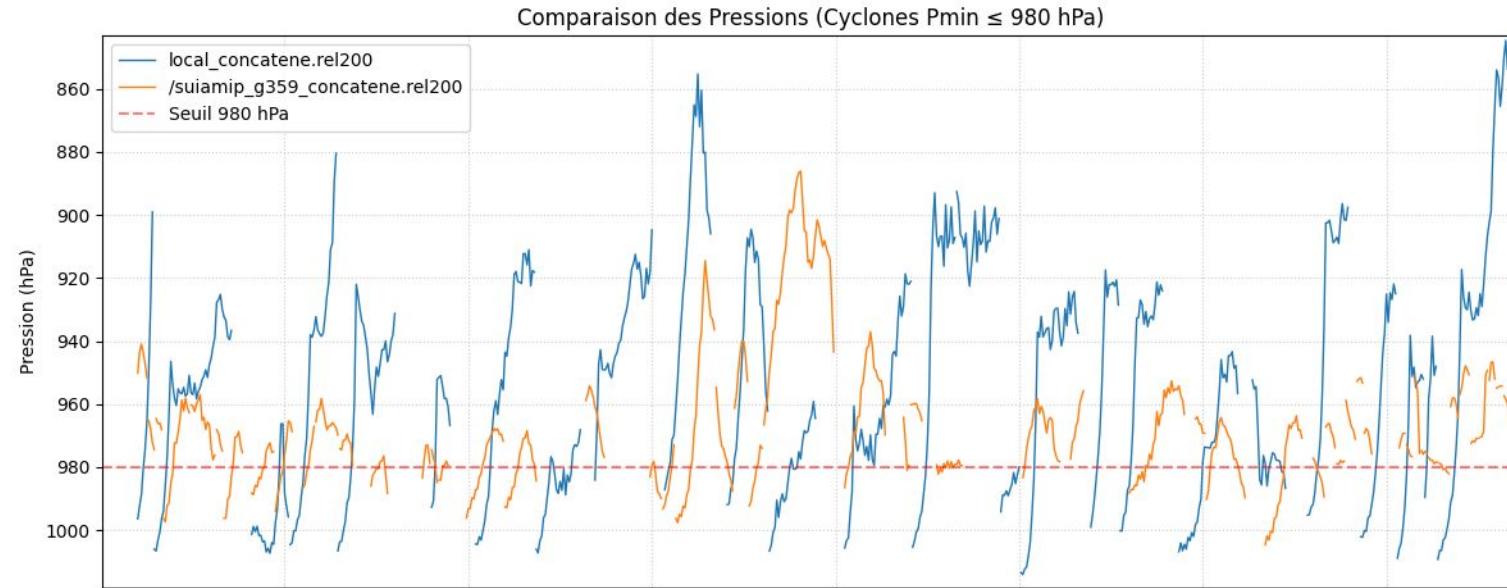
## Distribution des Vmax (m/s)



**CNRM-CM6-1-HR global forceur,  
trajectoires Atlantique Nord**

**ALADIN-Climat régional**

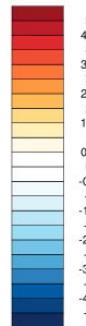
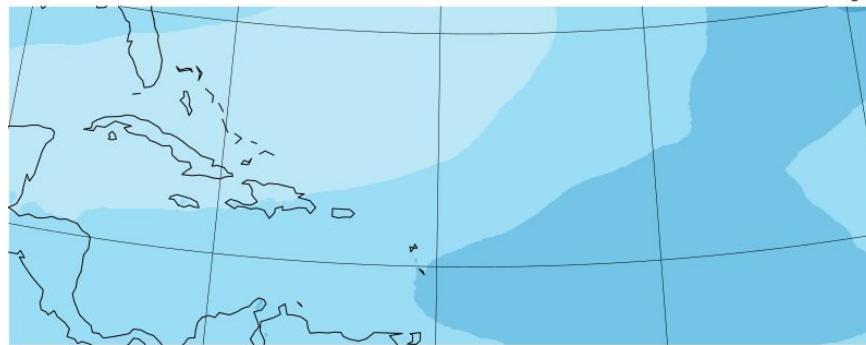
# Comparaison des Pmin & Vmax de 2002 entre ALADIN-Climat régional et CRNM-CM6-1-HR global forceur, trajectoires Atlantique Nord



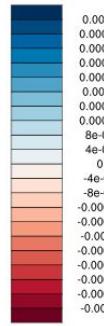
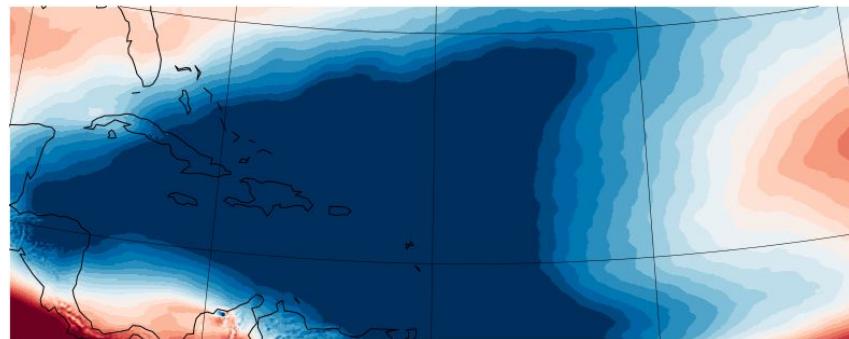
# Comparaison d'Aladin-Climat (2001-2010) avec la réanalyse ERA5 (1985-2014)

Différences entre Aladin et ERA5 sur le trimestre juin-juillet-août

Température à 500 hPa (en °C)



Humidité spécifique à 500 hPa (en kg/kg)



# Plan

1. Contexte et objectif
2. Simulation de référence : analyse et comparaison
3. Choix du test de sensibilité et résultats attendus
4. Comparaison simulation de sensibilité / simulation de référence
5. Conclusion

# Choix du test de sensibilité

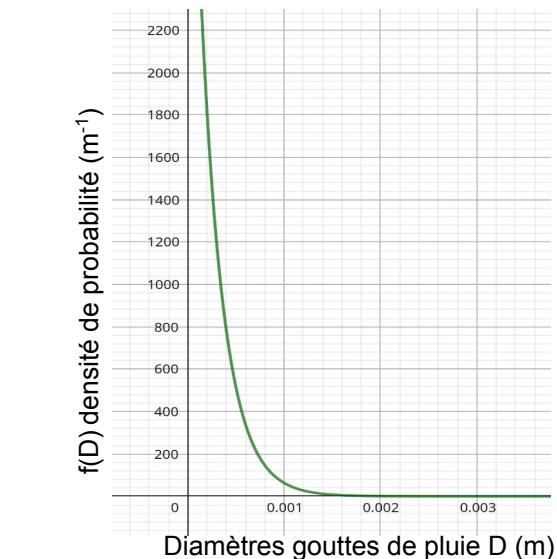
Choix de la **microphysique** comme paramétrisation

Paramètre choisi :  $N_{0r}$  en  $\text{m}^{-4}$  : **Ordonnée à l'origine de  $N_r$**

$N_r$  : distribution des diamètres des gouttes de pluie (en  $\text{m}^{-4}$ )

$$N_{0r} \sim 10^7 \text{ m}^{-4}$$

$$N_r(D) = N_{0r} \exp(-\lambda_r D) \text{ avec } \lambda_r = \left( \frac{\pi \rho_w N_{0r}}{\rho q_r} \right)^{1/4}$$



$D_{\max} \sim 8 \text{ mm dans les tropiques}$

## Proposition de 2 nouvelles simulations et résultats attendus

Formule de l'évaporation :

$$E_x = \frac{4(1 - RH)(1 - CF)N_{0x}}{\rho(\mathcal{K}_x + \mathcal{D}_x)} \times \left[ a_x \left( \frac{\rho q_x}{N_{0x}} \right)^{b_x} + c_x \left( \frac{\rho q_x}{N_{0x}} \right)^{d_x} \right]$$

**N<sub>0r</sub>** très grand => E<sub>r</sub> ~ K\*√N<sub>0r</sub>

**x = r (rain) ou s (snow)**

N<sub>0r</sub> ↑ => taille gouttes ↓ => nombre petites gouttes ↑ => surface totale gouttes ↑ => E<sub>r</sub> ↑

E<sub>r</sub> ↑ => pluies et température ↓ => activité du cyclone ↓      **mais RH ↑**

Proposition de 2 nouvelles simulations : multiplier N<sub>0r</sub> par 10 ou diviser N<sub>0r</sub> par 10

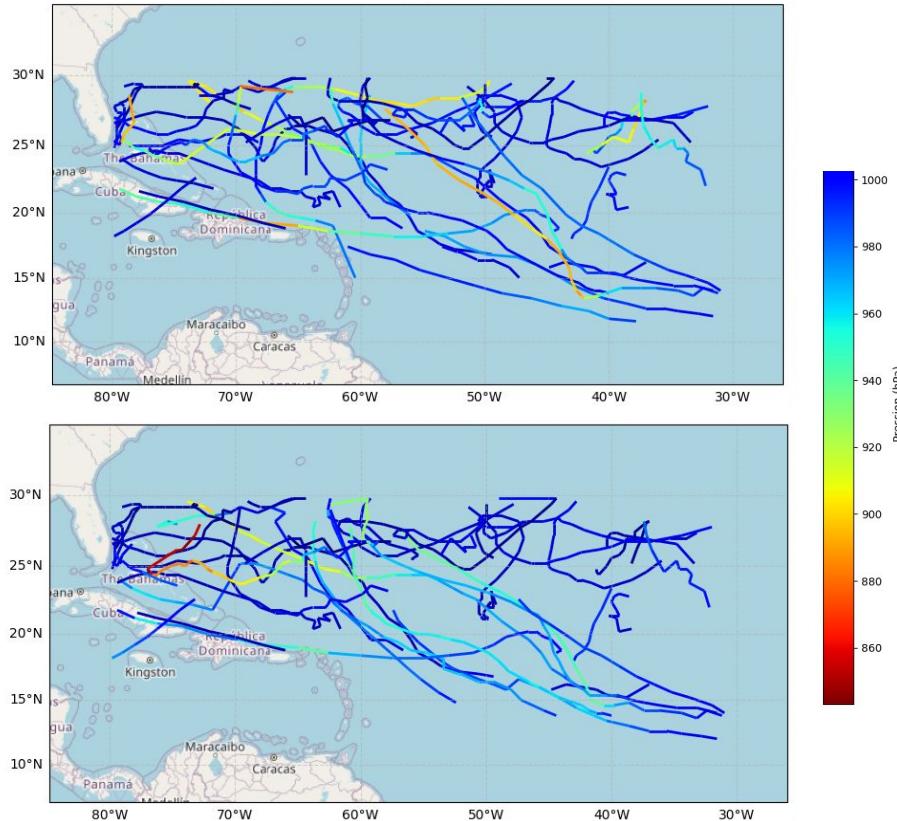
# Plan

1. Contexte et objectif
2. Simulation de référence : analyse et comparaison
3. Choix du test de sensibilité et résultats attendus
4. Comparaison simulation de sensibilité / simulation de référence
5. Conclusion

# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

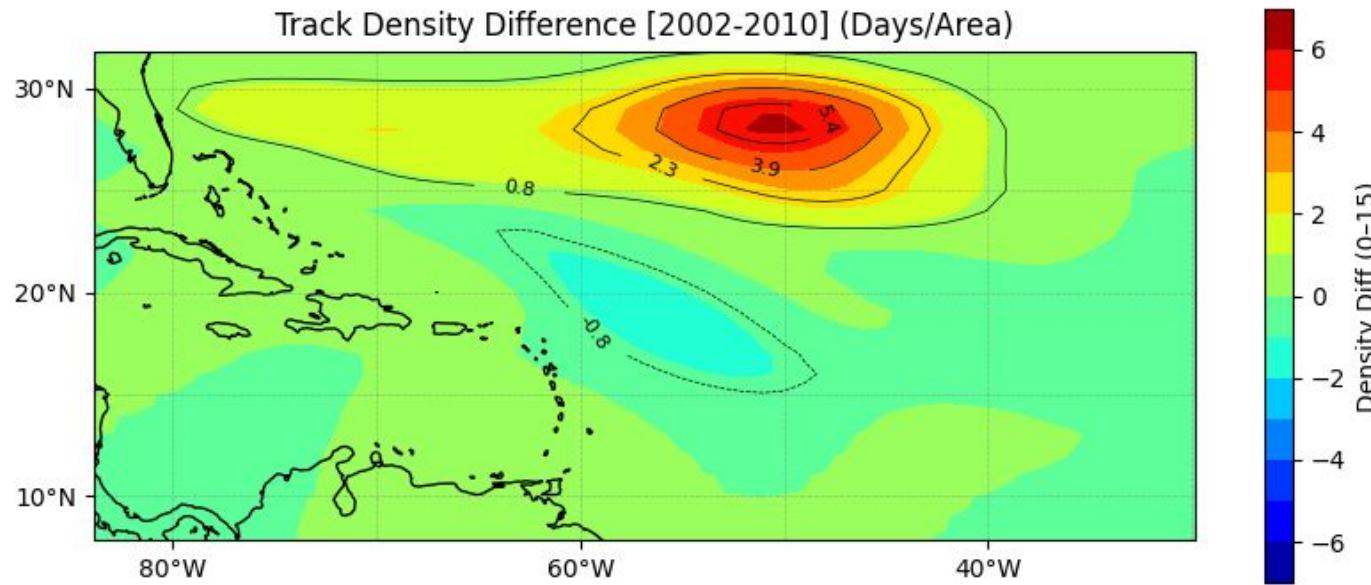
Simulation  $N_{0r} * 10$   
44 trajectoires, 736 segments

Simulation  $N_{0r} / 10$   
41 trajectoires, 719 segments



# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

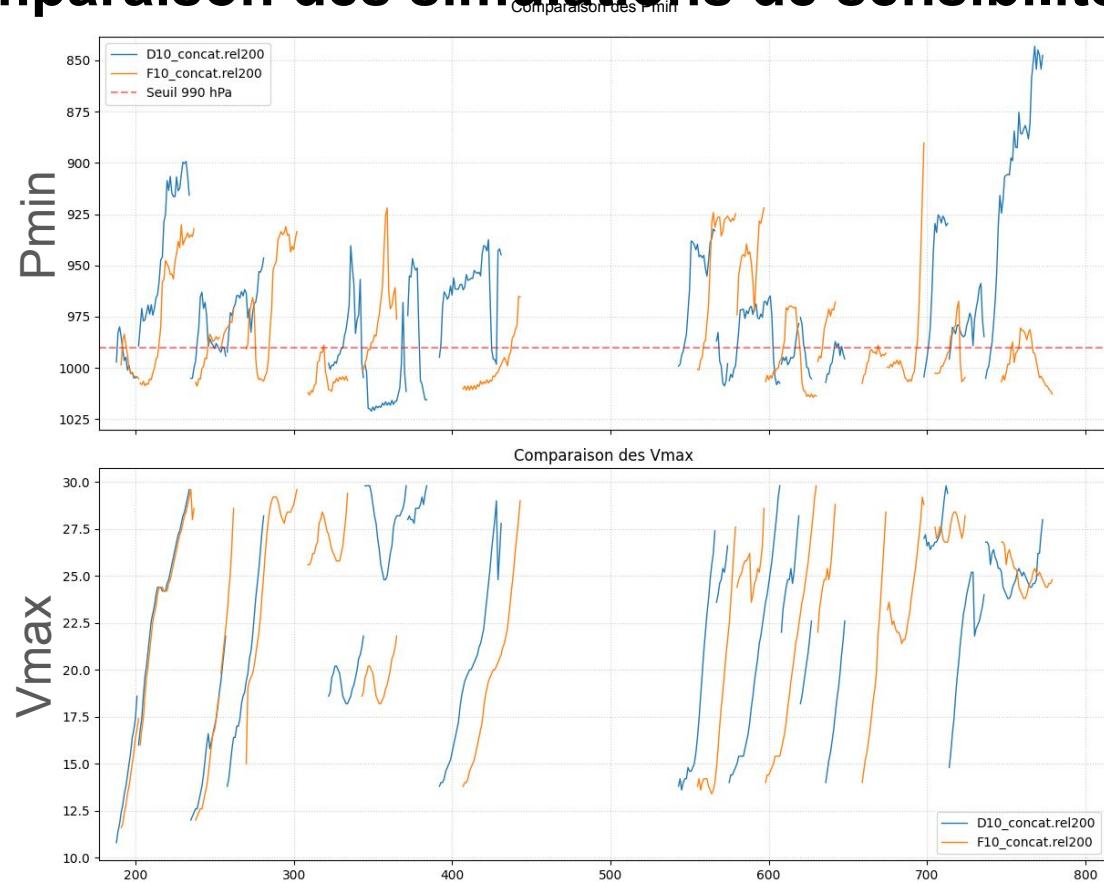
Densités de trajectoires  
 $10N_{0r} - N_{0r}/10$



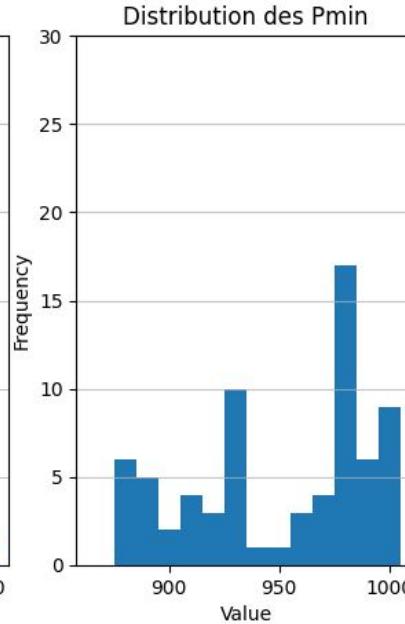
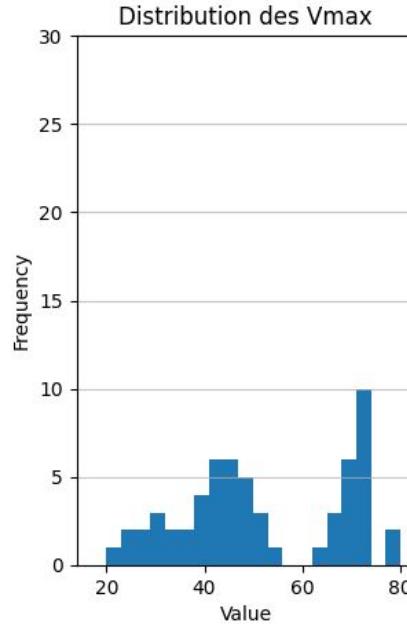
# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Pmin & Vmax de 2002 entre les simulations de sensibilité

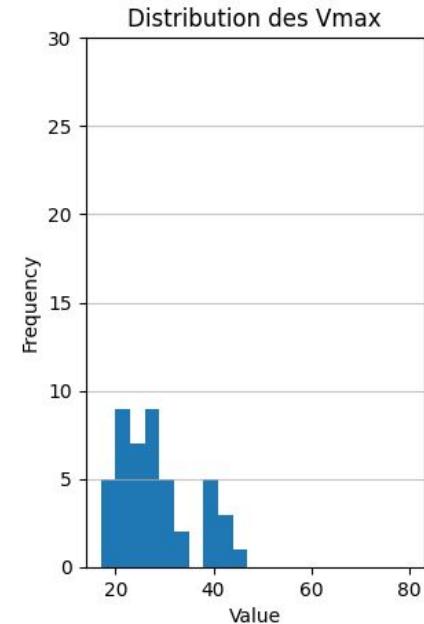
$N_{0r}/10$   
 $N_{0r} * 10$



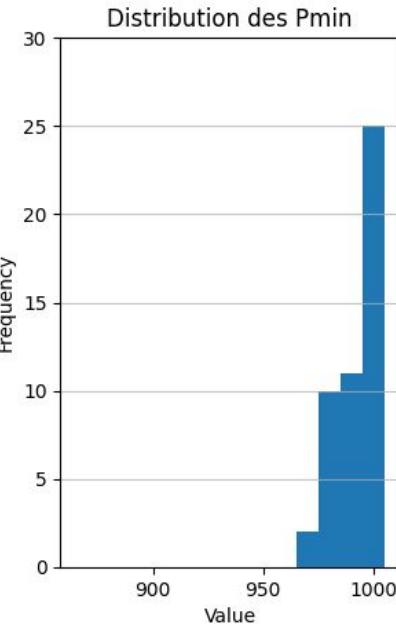
# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité



D10

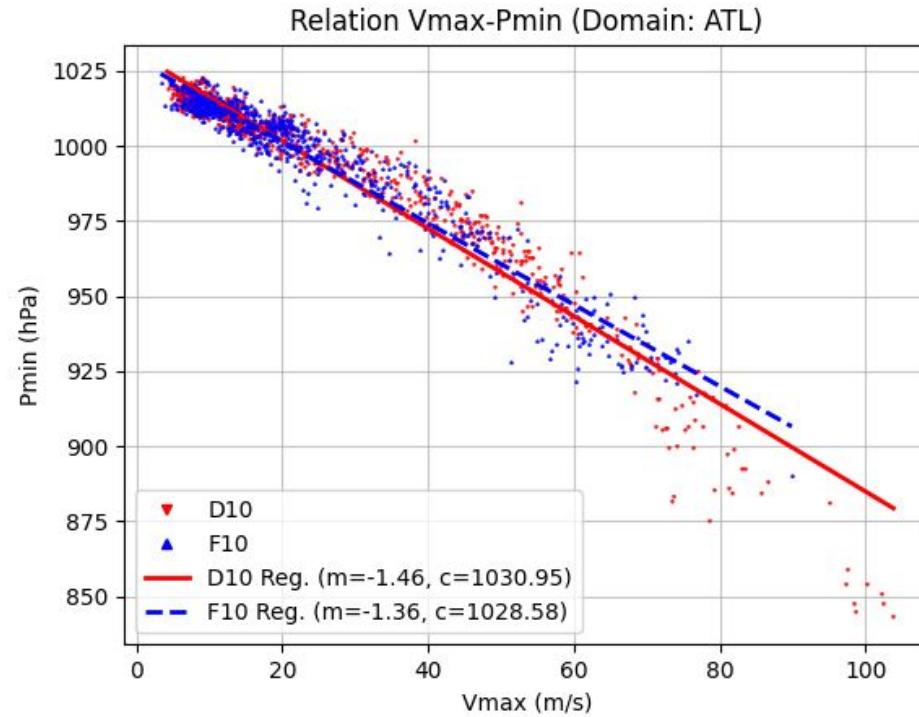


F10



# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

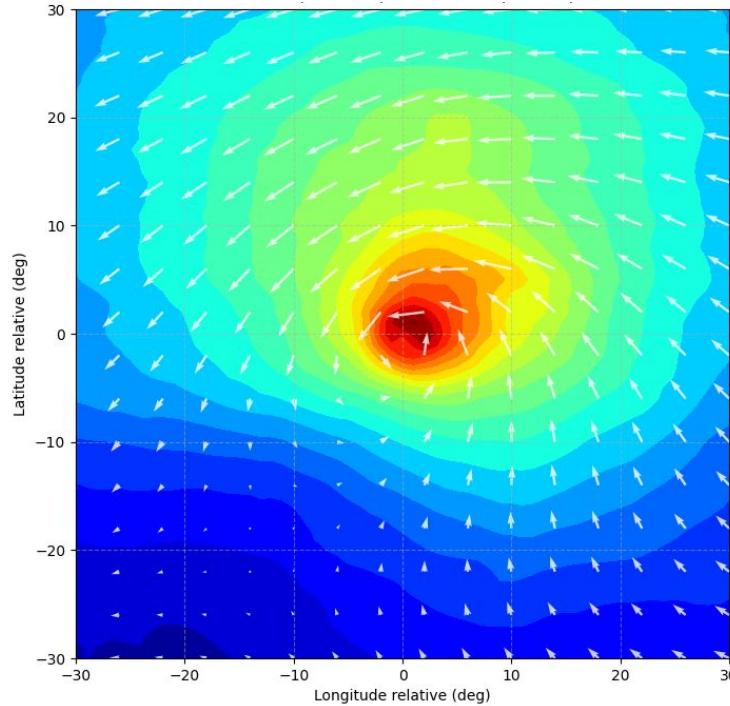
**Pmin (hPa) selon Vmax (m/s)**  
pour les 2 simus de sensibilité



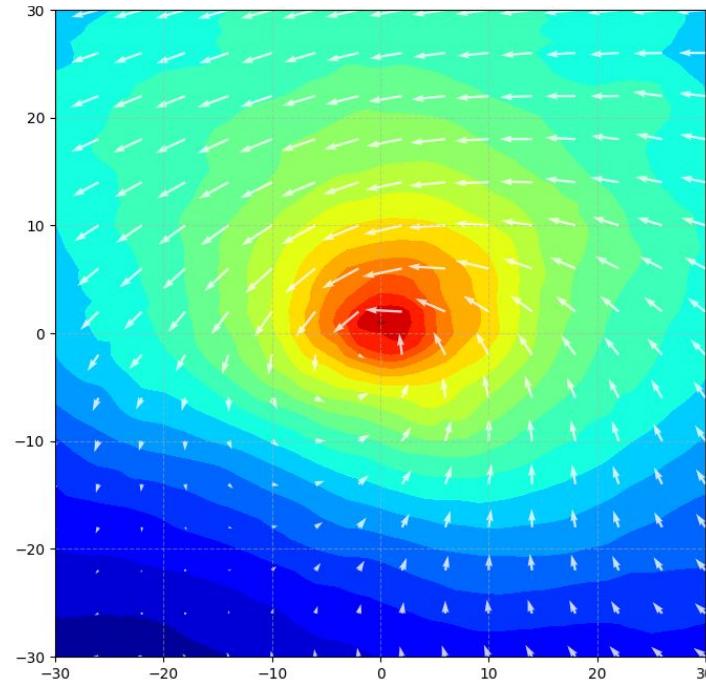
# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Vents de surface en m/s

D10



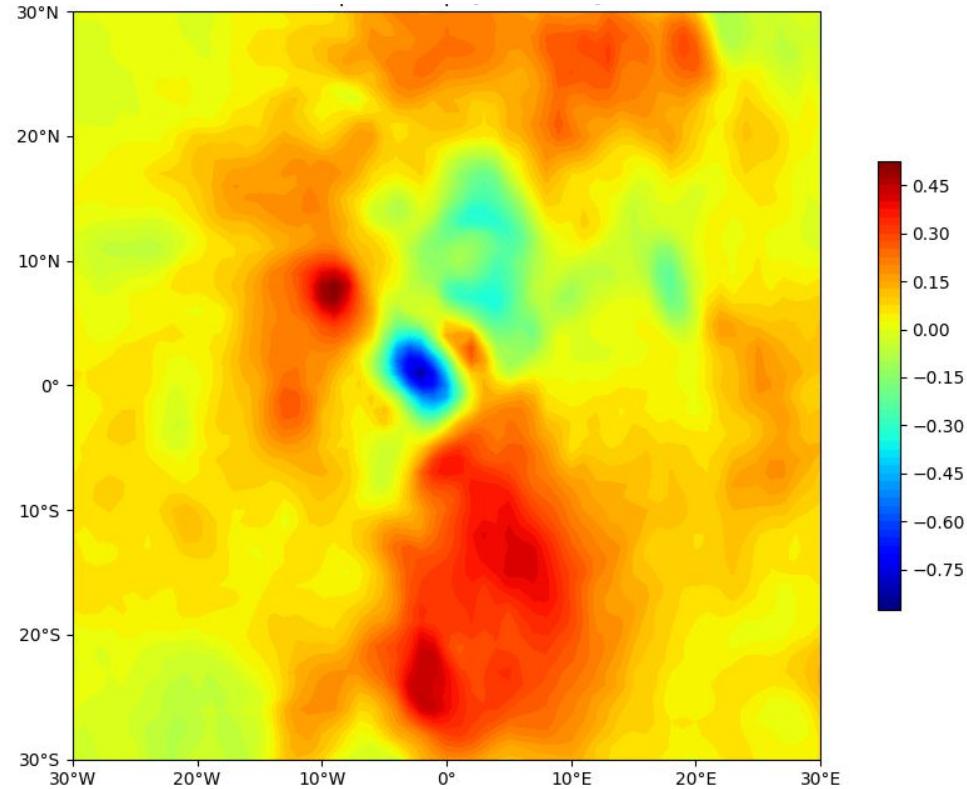
F10



# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Composite de  
différences :  
**F10 - D10**

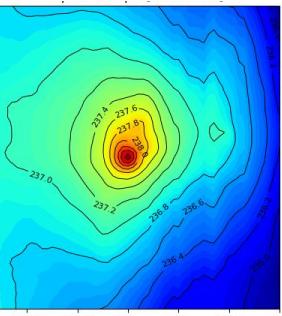
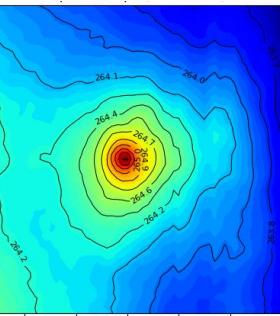
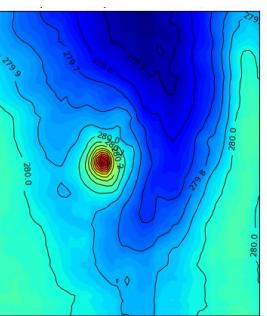
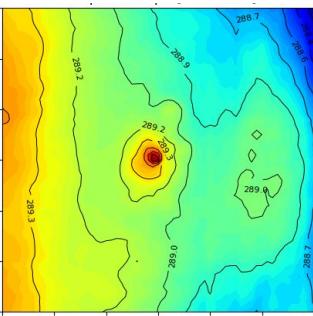
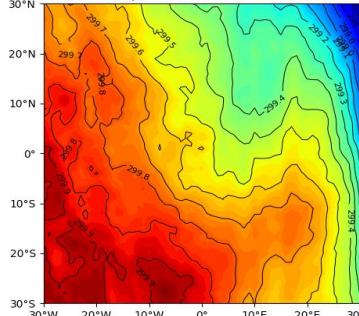
Précipitations de surface  
en mm/h



## Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

## Simulation de sensibilité, compo des tranches de T de la surface à 300hPa

## Surface



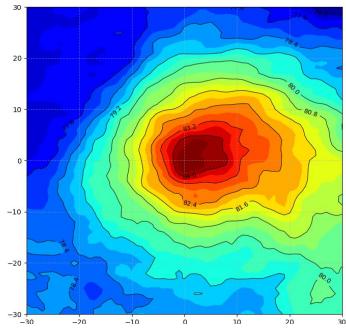
**D10**

échelles  
en  
annexe

# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

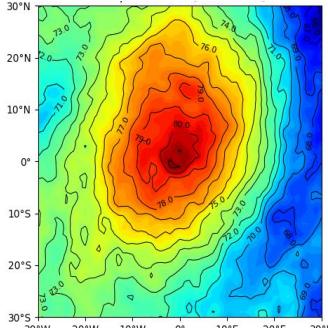
Simulation de sensibilité, compo des tranches de RH de la surface à 300hPa

Surface

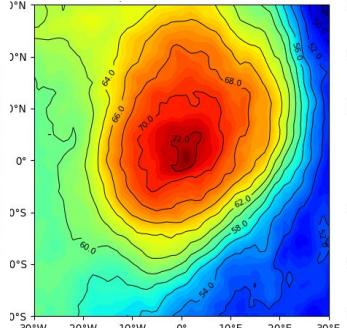


D10

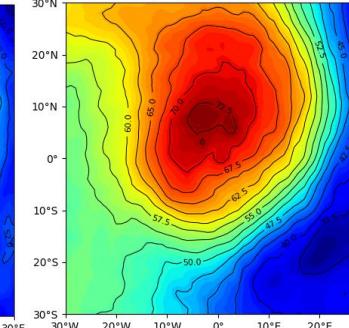
850hPa



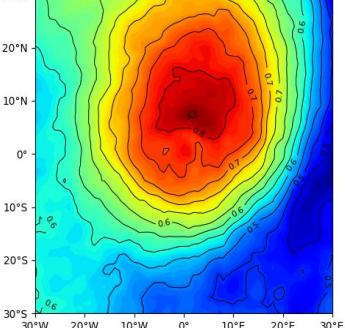
700hPa



500hPa

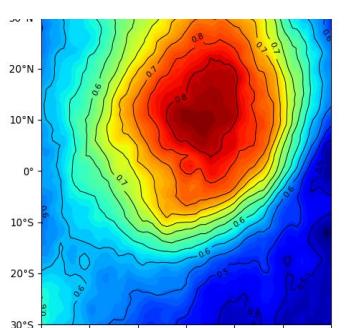
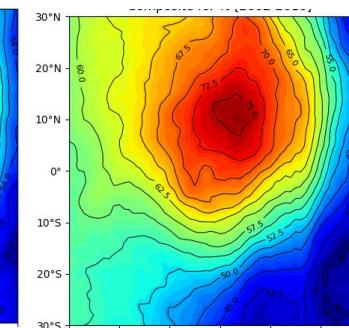
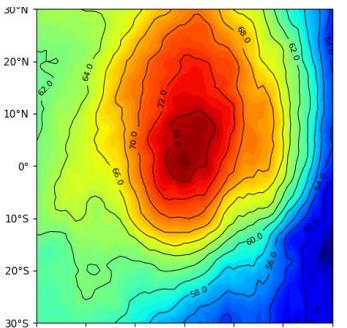
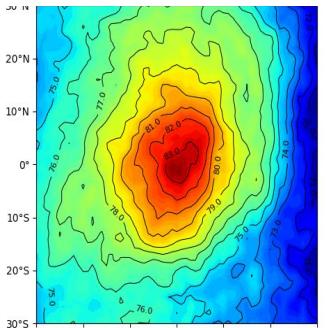
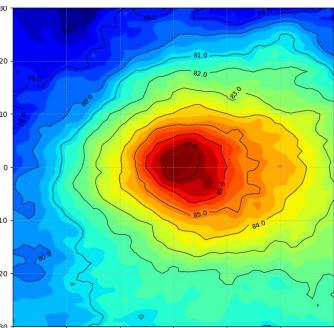


300hPa



F10

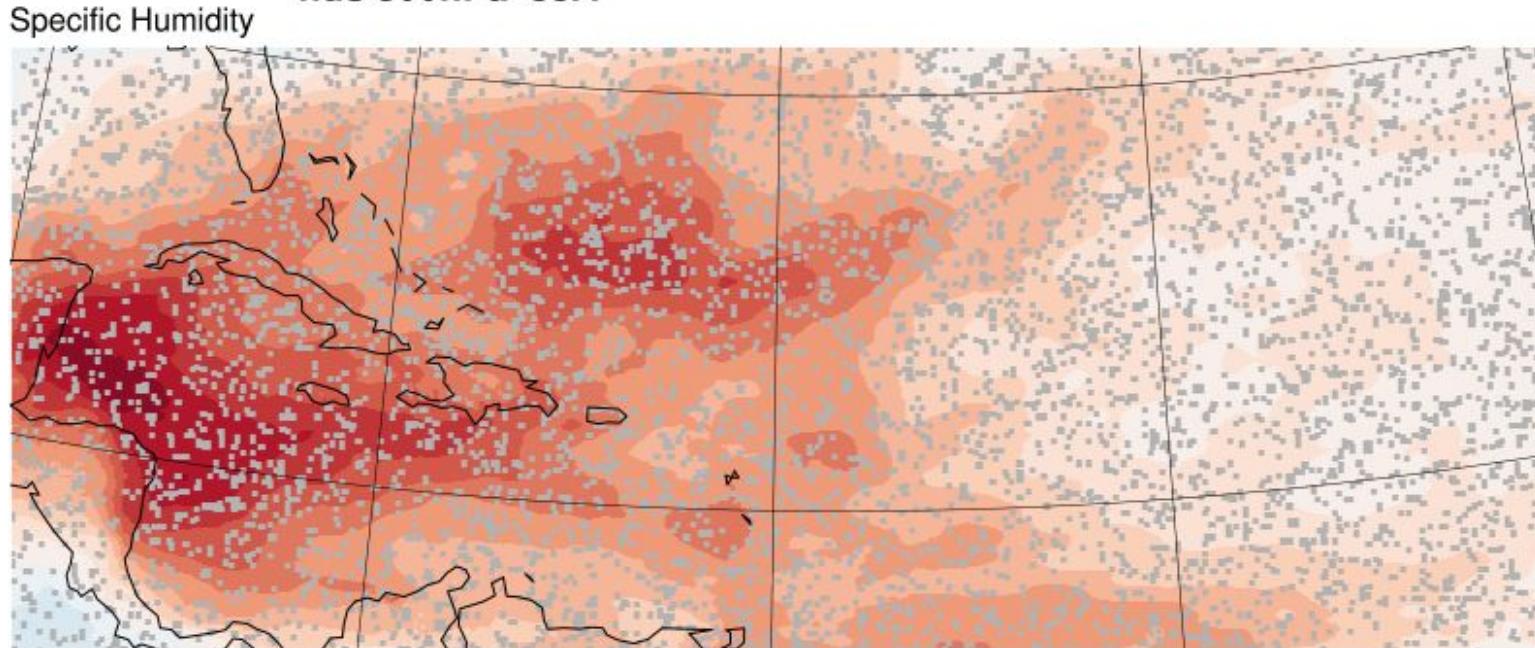
échelles  
en  
annexe



# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Différence d'humidité spécifique à 500 hPa (en kg/kg) entre D10 et F10 sur le trimestre juin-juillet-août

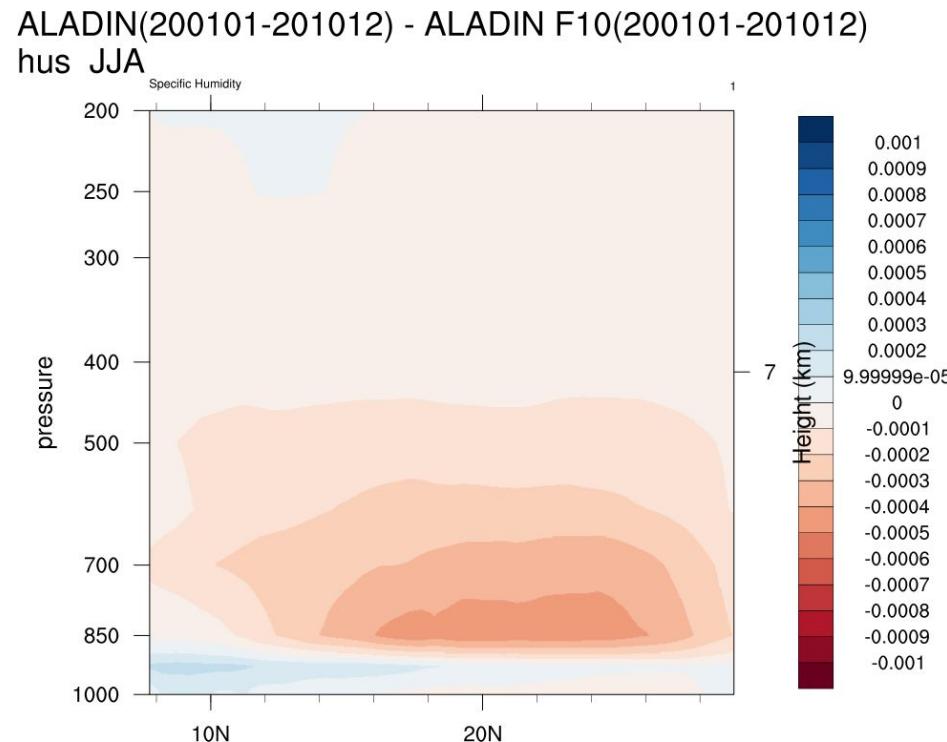
**ALADIN(200101-201012) - ALADIN F10(200101-201012)**  
**hus 500hPa JJA**



Etude de l'activité cyclonique dans l'Atlantique Nord via Aladin-Climat

# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Différence d'humidité spécifique sur la verticale (en kg/kg) entre D10 et F10 sur le trimestre juin-juillet-août



# Plan

1. Contexte et objectif
2. Simulation de référence : analyse et comparaison
3. Choix du test de sensibilité et résultats attendus
4. Comparaison simulation de sensibilité / simulation de référence
5. Conclusion

## Comparaison hypothèses de départ et résultats observés

Hypothèses de départ :  $N_{0r} \nearrow \Rightarrow E_r \nearrow \Rightarrow$  pluies et température  $\searrow \Rightarrow$  activité cyclonique  $\searrow$

Hypothèses de départ : simulation F10  $\Rightarrow$  activité cyclonique  $\searrow$

Résultats observés :

Plus de cyclones **en global** dans F10 que dans D10

mais cyclones plus intenses **en local** dans D10 que dans F10

Hypothèses de départ vérifiées en local mais pas en global

2025-2026

# Merci pour votre attention

Florent Puy, IENM3



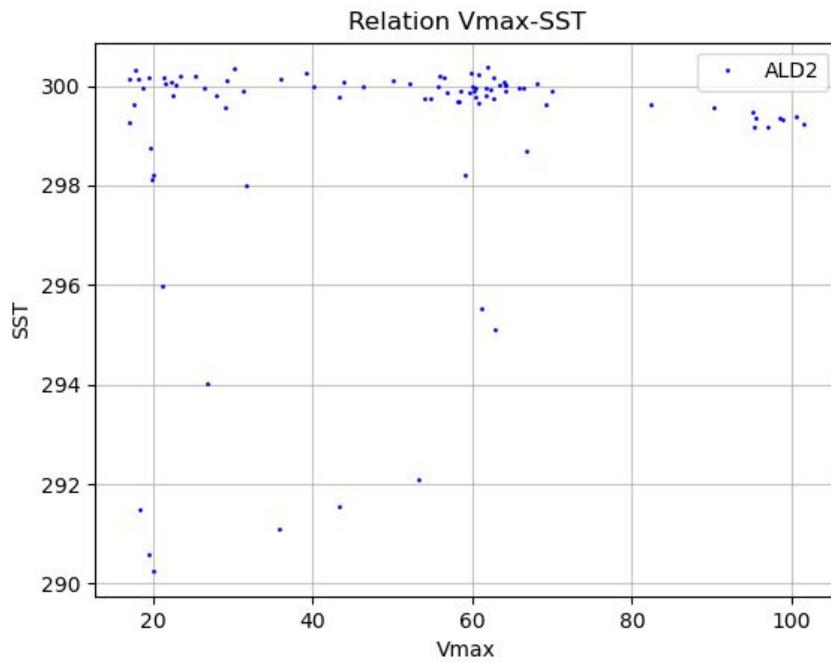
2025-2026

# Annexe

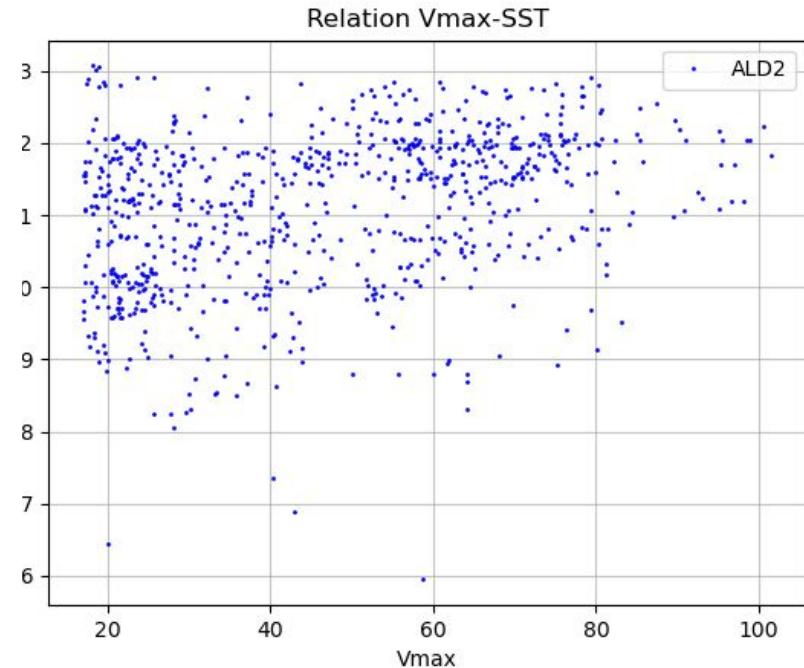
Florent Puy, IENM3

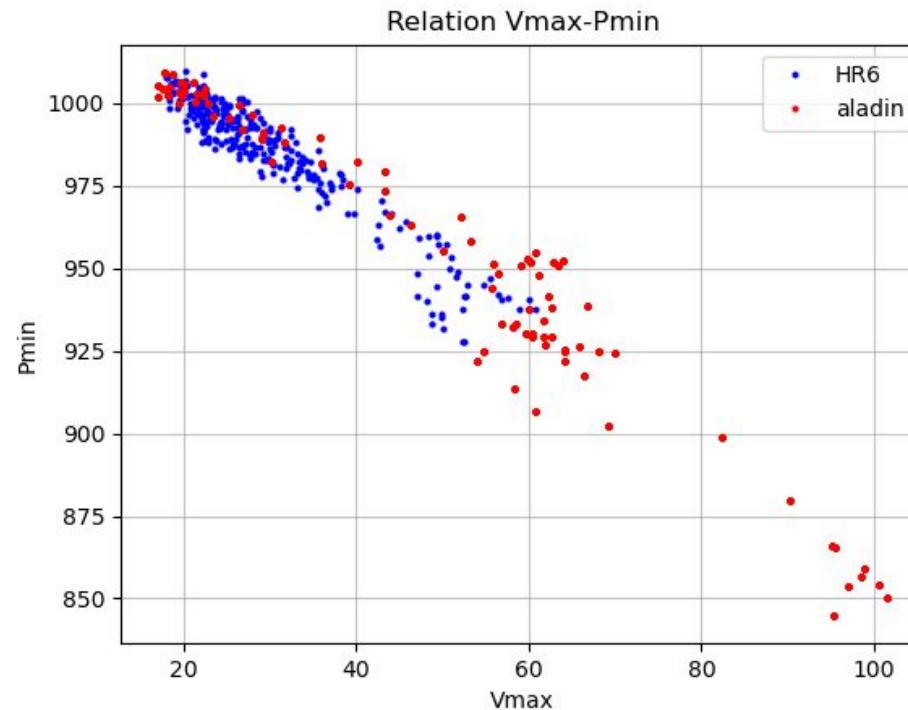


1 an

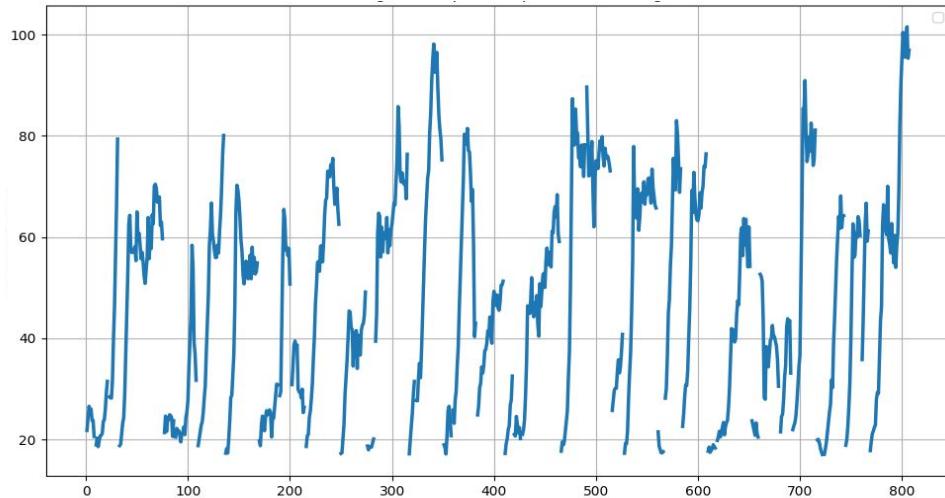


9 ans

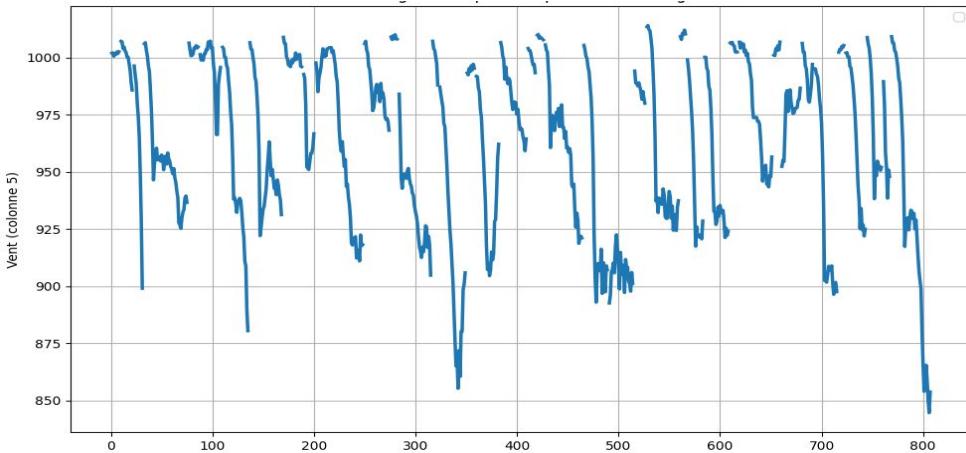




## Vents maximums des cyclones

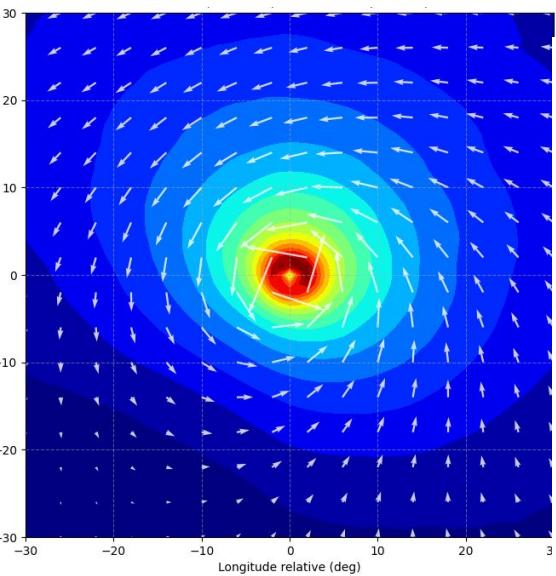


## Pression minimales des cyclones

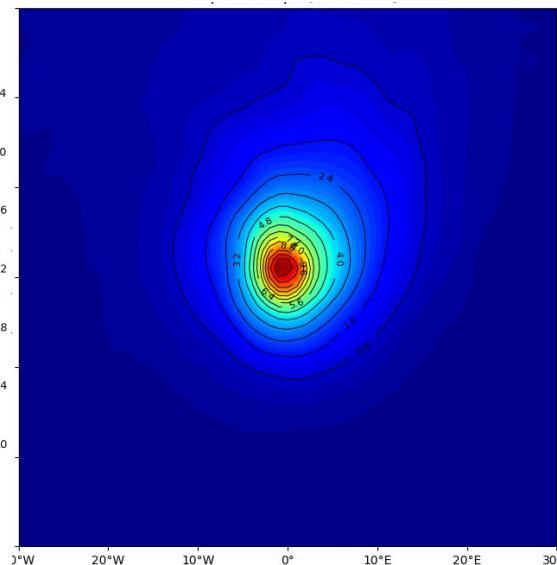


# Images composites de Aladin-Climat - référence :

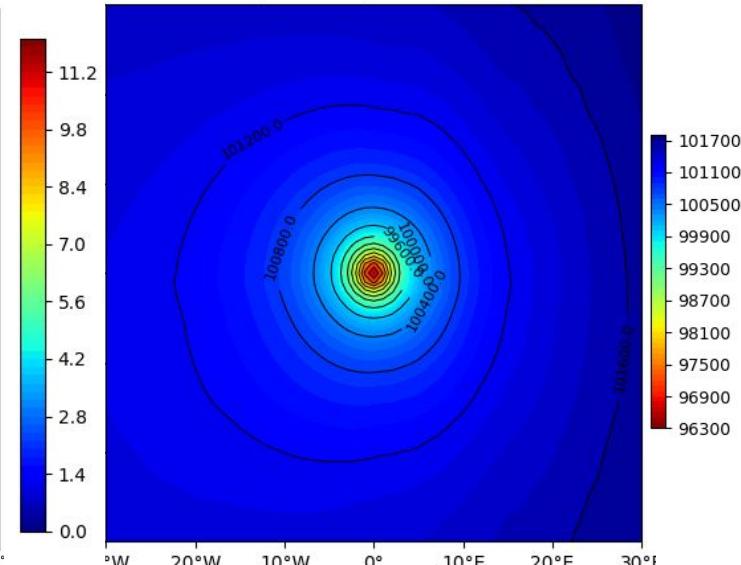
Vents de surface (m/s)



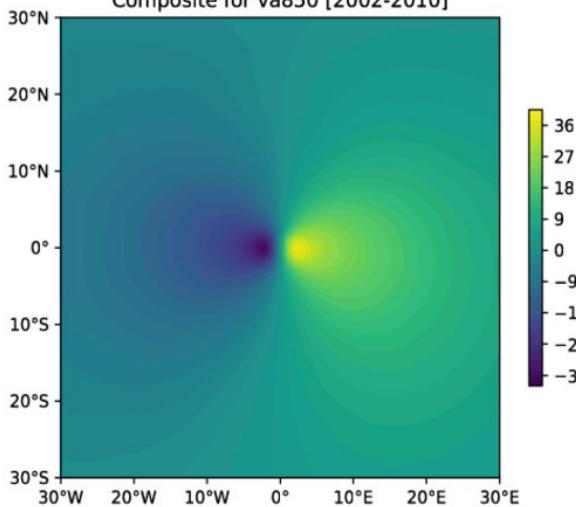
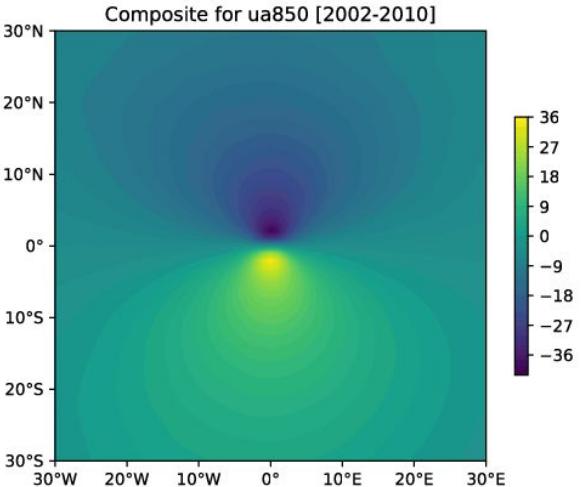
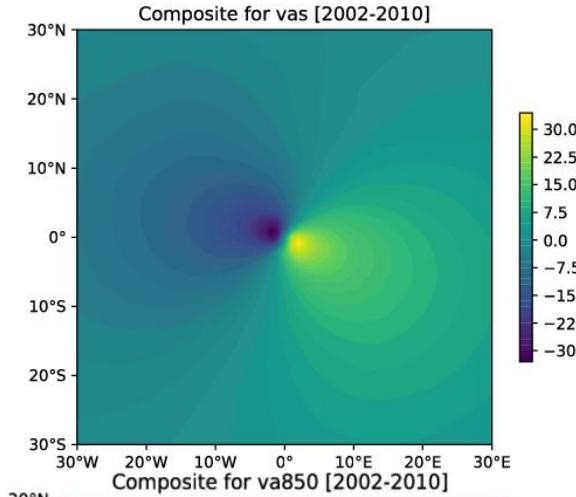
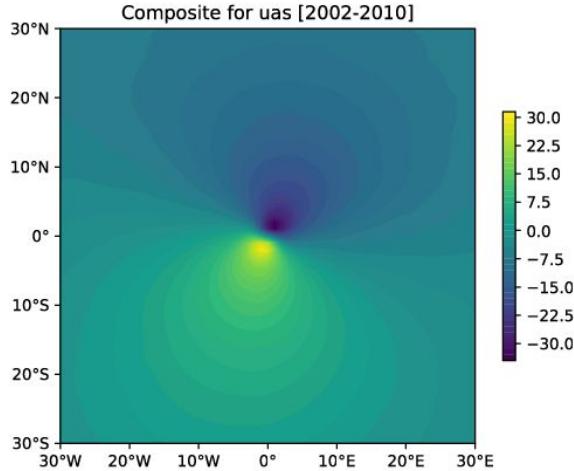
Précipitations (mm/h)

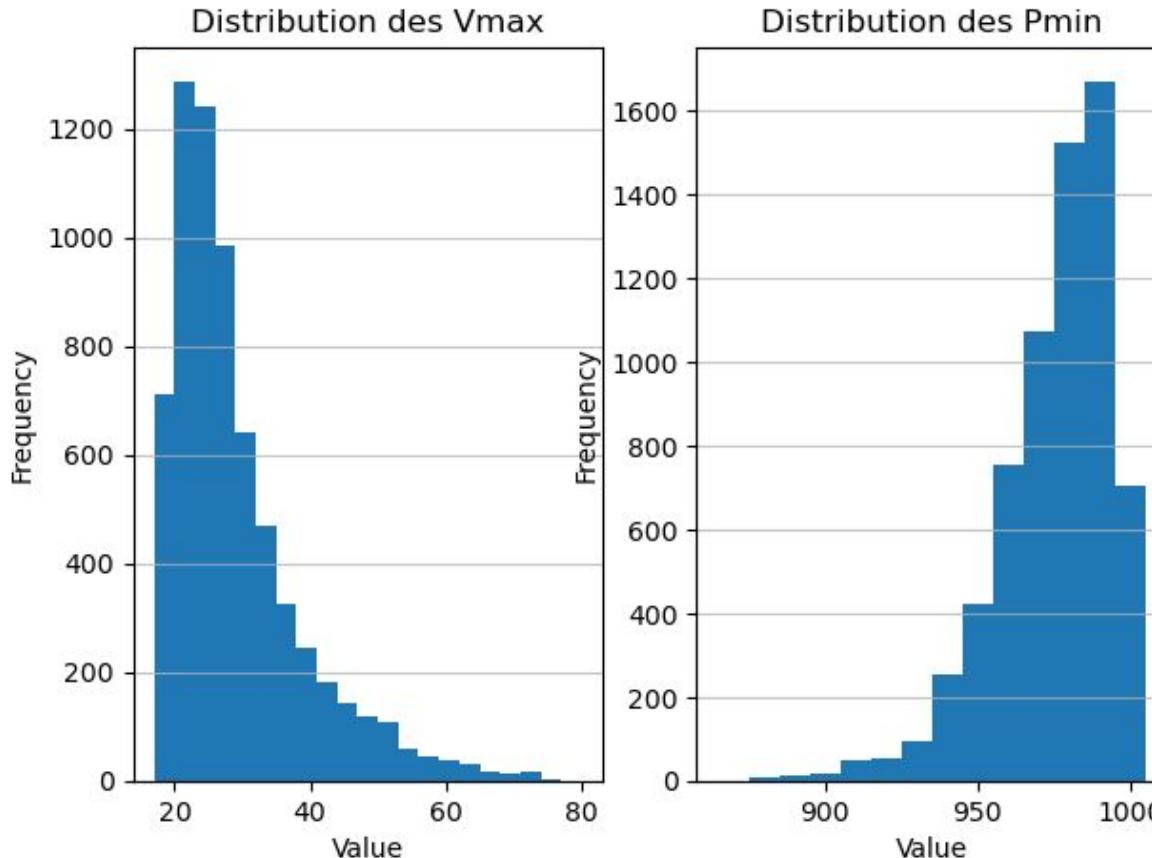


Pression de surface (Pa)



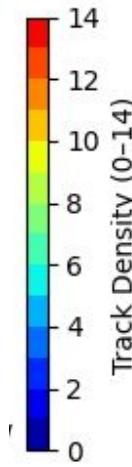
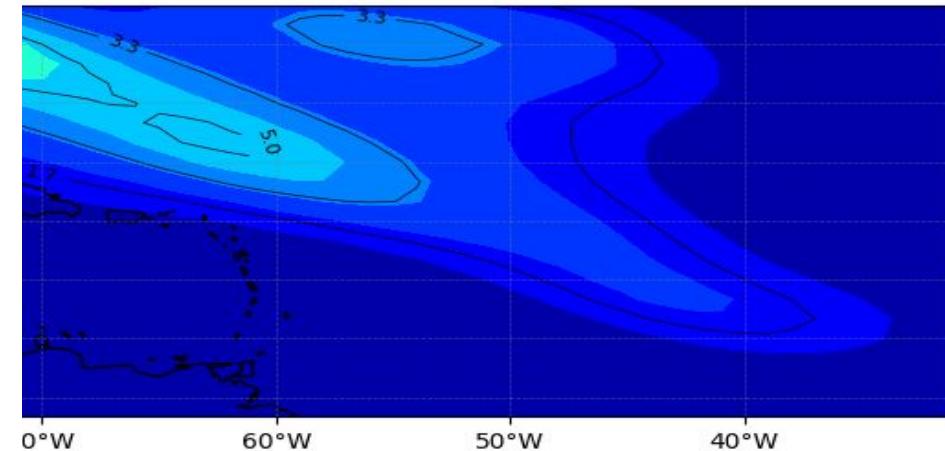
# Images composites de vent de surface et à 850hPa



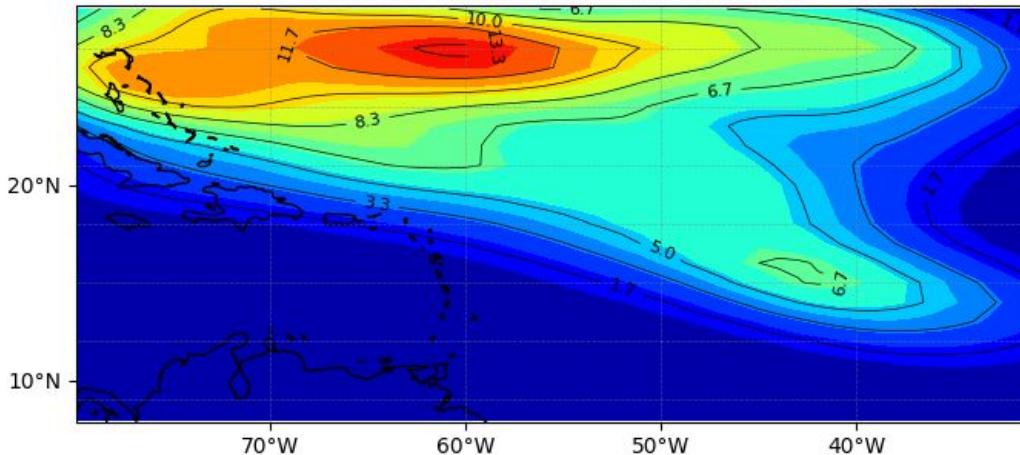


**CNRM-CM6-1-HR global forceur, monde entier**

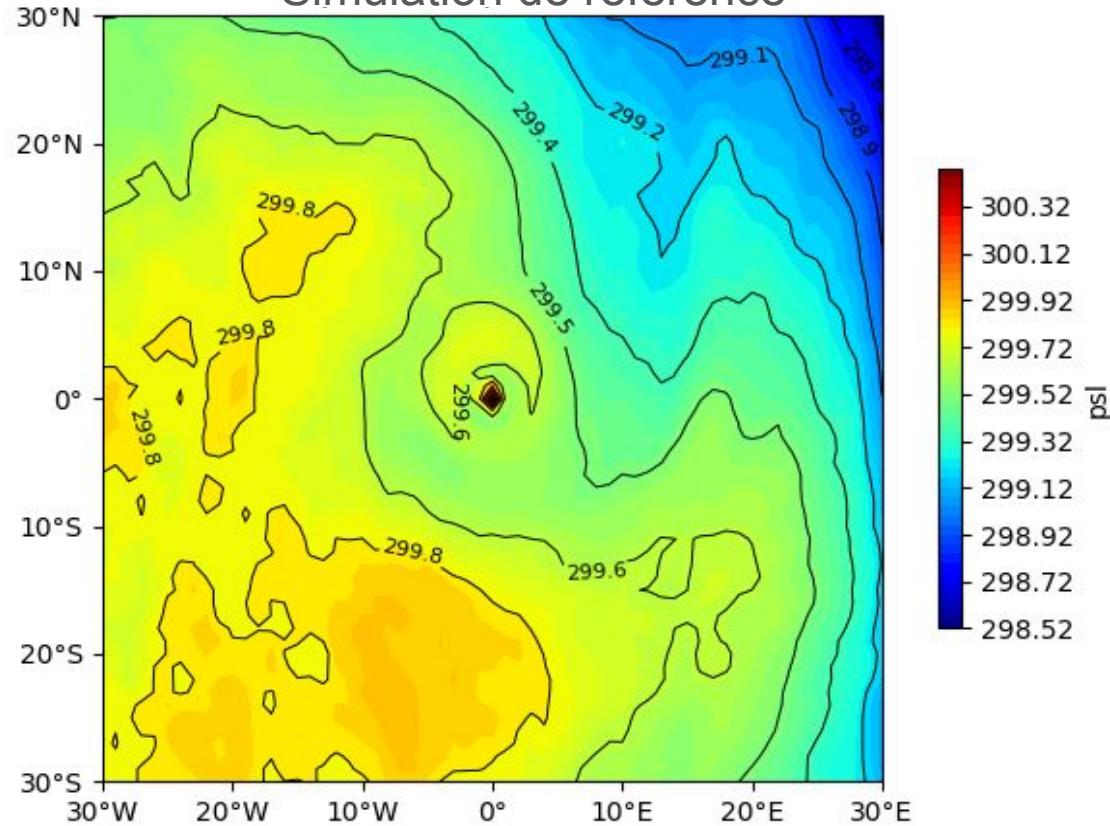
## modèle forceur global CNRM-CM6-1-HR



## modèle régional ALADIN-Climat

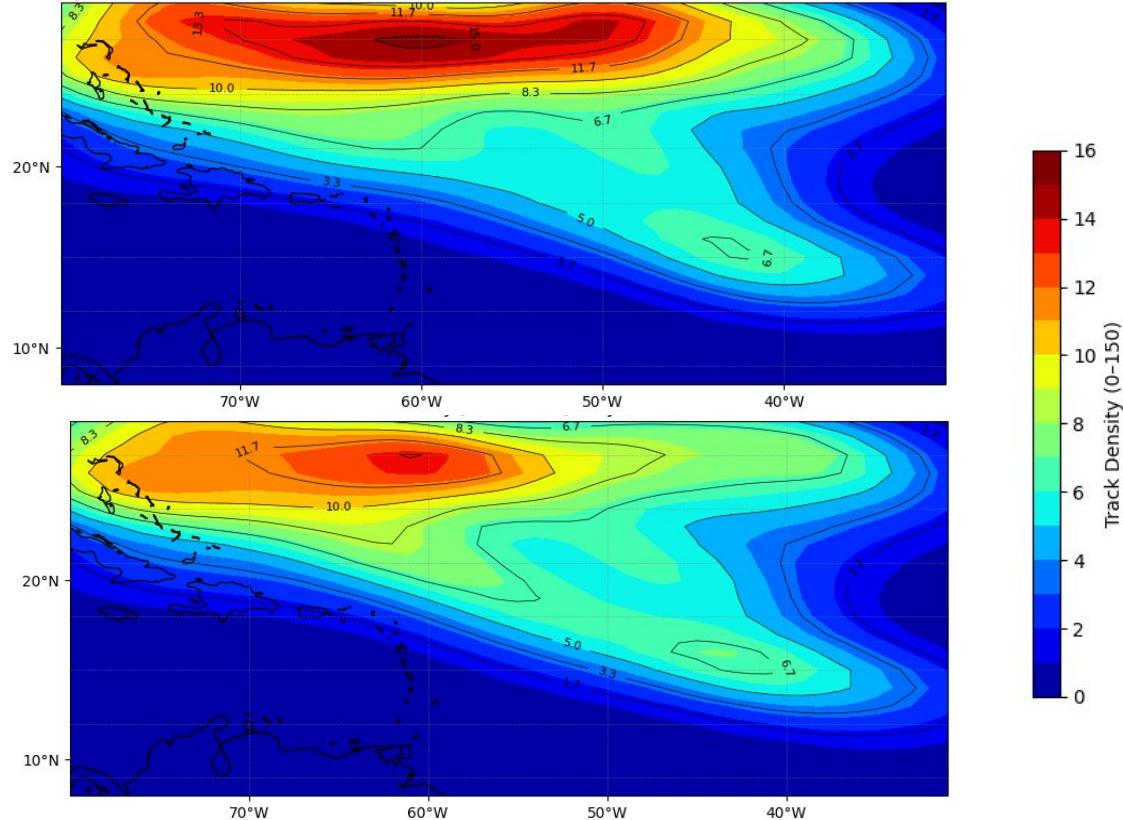


## Images composites de températures de surface Simulation de référence



# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Simulation  $N_{0r} * 10$

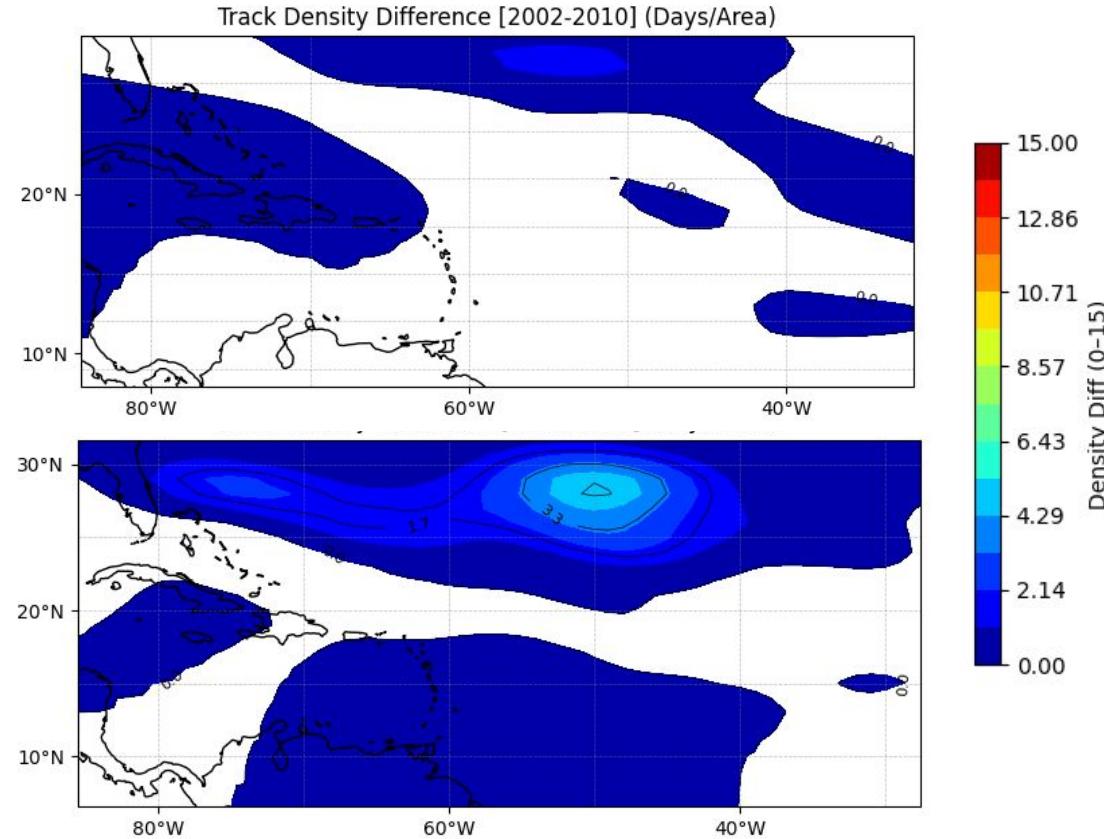


Simulation  $N_{0r} / 10$

# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Simulation  $N_{0r} * 10$  -  
ref

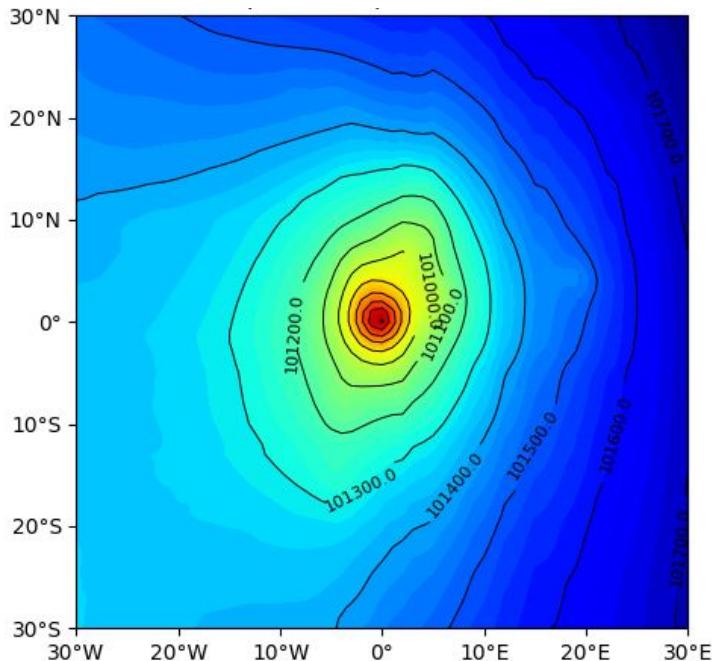
Simulation  $N_{0r} / 10$  - ref



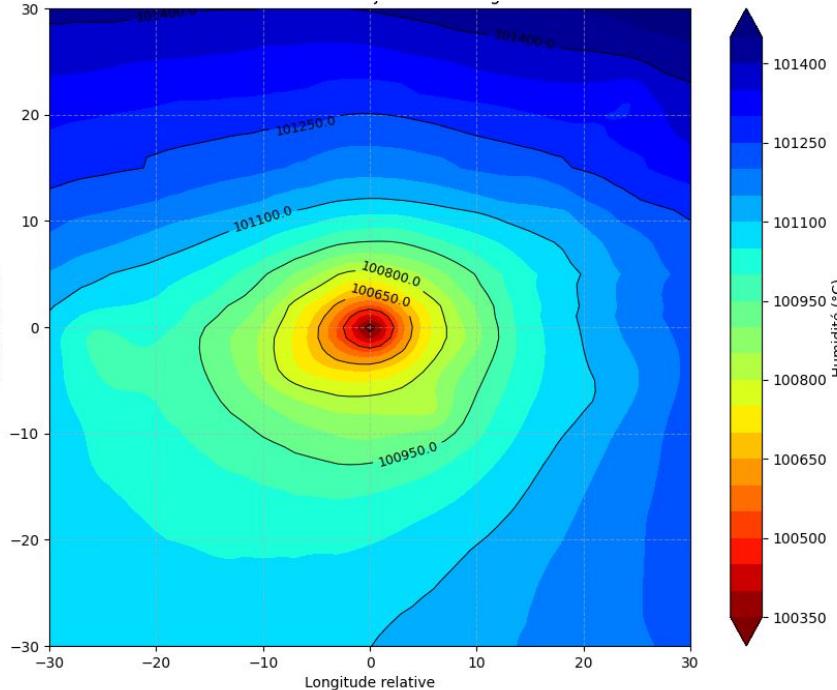
## Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

## Simulation de sensibilité $N_{0r} * 10$ :

## pression de surface en Pa



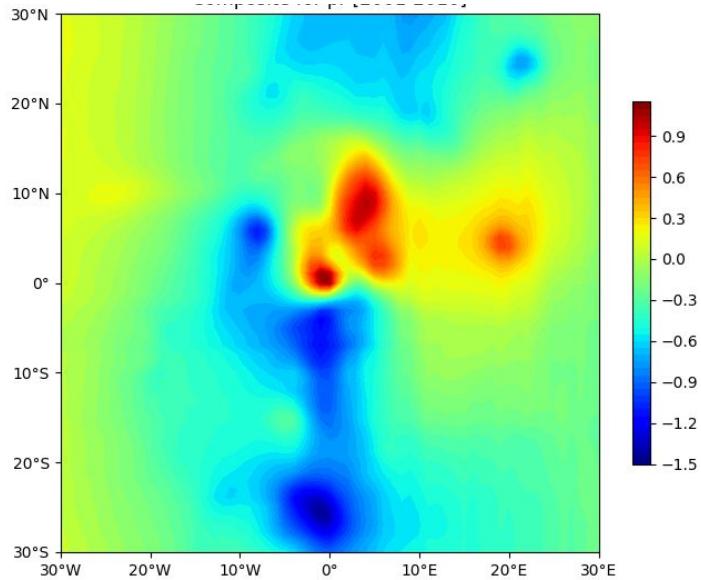
## Pression de surface en Pa



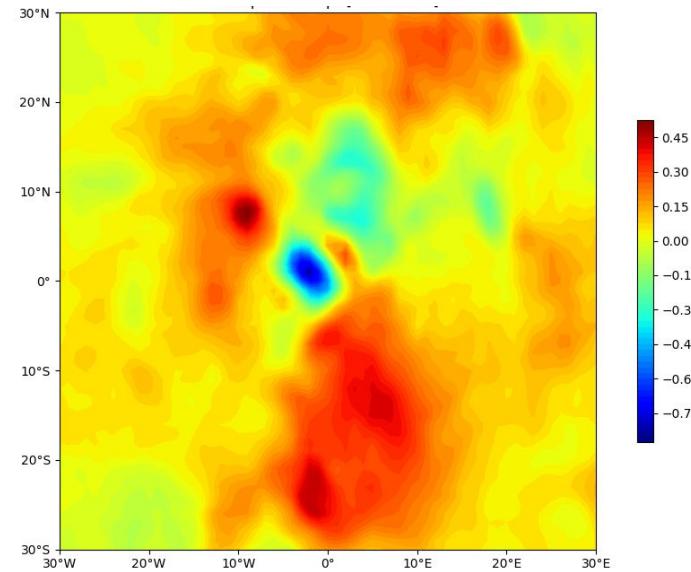
# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Simulation de sensibilité composites de différences F10 - D10 :

Pression de surface (hPa)



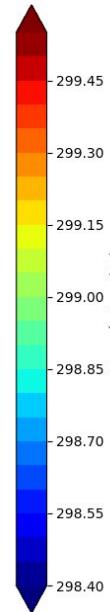
Précipitations de surface en mm/h



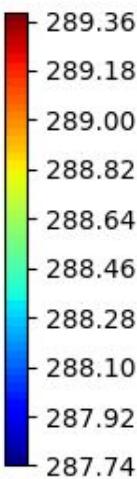
# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

## Échelles des figures composites de température

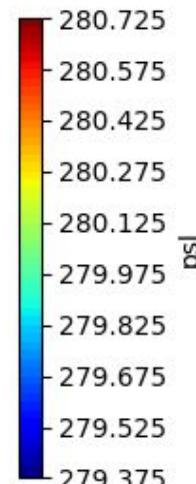
Surface



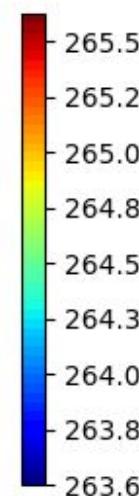
850hPa



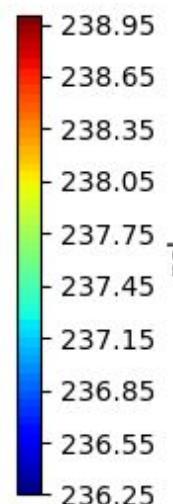
700hPa



500hPa



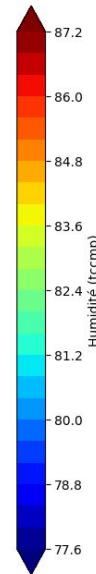
300hPa



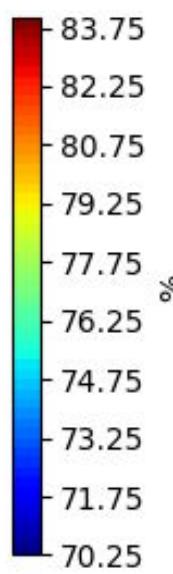
# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

## Échelles des figures composites d'humidité relative

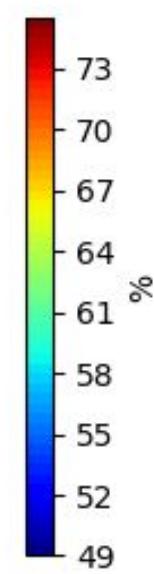
Surface



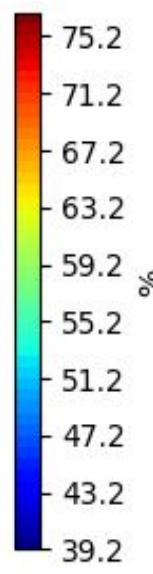
850hPa



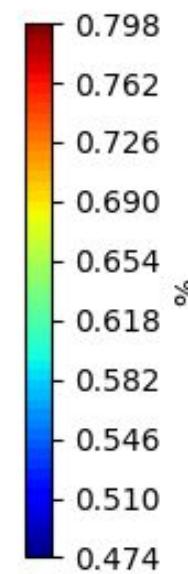
700hPa



500hPa



300hPa



# Nombre de tempêtes tropicales (relaxation 10) vues par Aladin-Climat entre 2001 et 2010 Simulation de référence

Années	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Nombre	0	8	8	2	5	7	2	4	2	8

*Soit une moyenne de 4,6 tempêtes tropicales par an*

## Un peu de théorie

$$N_r(D) = N_{0r} \exp(-\lambda_r D) \quad \text{avec} \quad \lambda_r = \left( \frac{\pi \rho_w N_{0r}}{\rho q_r} \right)^{1/4} \sim 4200 \text{ m}^{-1}$$

$\rho \sim 1 \text{ kg/m}^3$  : **masse volumique de l'air**

$\rho_w \sim 1000 \text{ kg/m}^3$  : **masse volumique de l'eau**

$q_r \sim 0,1 \text{ g/kg} = 10^{-4} \text{ kg/kg}$  : **contenu spécifique en pluie** : masse des gouttes d'eau précipitantes sur la masse d'air humide (air sec, vapeur d'eau, condensats liquides ou solides)

**$\int N_r(D) dD \sim 2380 \text{ m}^{-3}$  avec D variant de 0 à  $+\infty$**

## Lien entre $N_{0r}$ et l'évaporation des pluies $E_r$

$$E_x = \frac{4(1 - RH)(1 - CF)N_{0x}}{\rho(\mathcal{K}_x + \mathcal{D}_x)} \times \left[ a_x \left( \frac{\rho q_x}{N_{0x}} \right)^{b_x} + c_x \left( \frac{\rho q_x}{N_{0x}} \right)^{d_x} \right]$$

**x = r (rain)** ou s (snow) : dans notre cas c'est r

$N_{0r}$ ,  $q_r$  et  $\rho$  sont les mêmes grandeurs que précédemment

$a_r$ ,  $b_r$ ,  $c_r$  et  $d_r$  sont des constantes positives avec  $b_r = 1/2$  et  $d_r = 17/24$

**RH : humidité relative** (entre 0 et 1) et **CF : fraction nuageuse** (entre 0 et 1)

$\mathcal{K}_x$  : conduction thermique de l'air humide,  $\mathcal{D}_x$  : diffusion de la vapeur d'eau dans l'air

# Résultats & comparaison des simulations de sensibilité

Différence d'humidité relative en surface (en %) entre D10 et F10 sur le trimestre juin-juillet-août

**ALADIN(200101-201012) - ALADIN F10(200101-201012)**  
**hurs JJA**

Near-Surface Relative Humidity

