



Effets du changement climatique sur les cyclones tropicaux

Fabrice Chauvin

CNRM - Groupe de Modélisation Grande Echelle et Climat

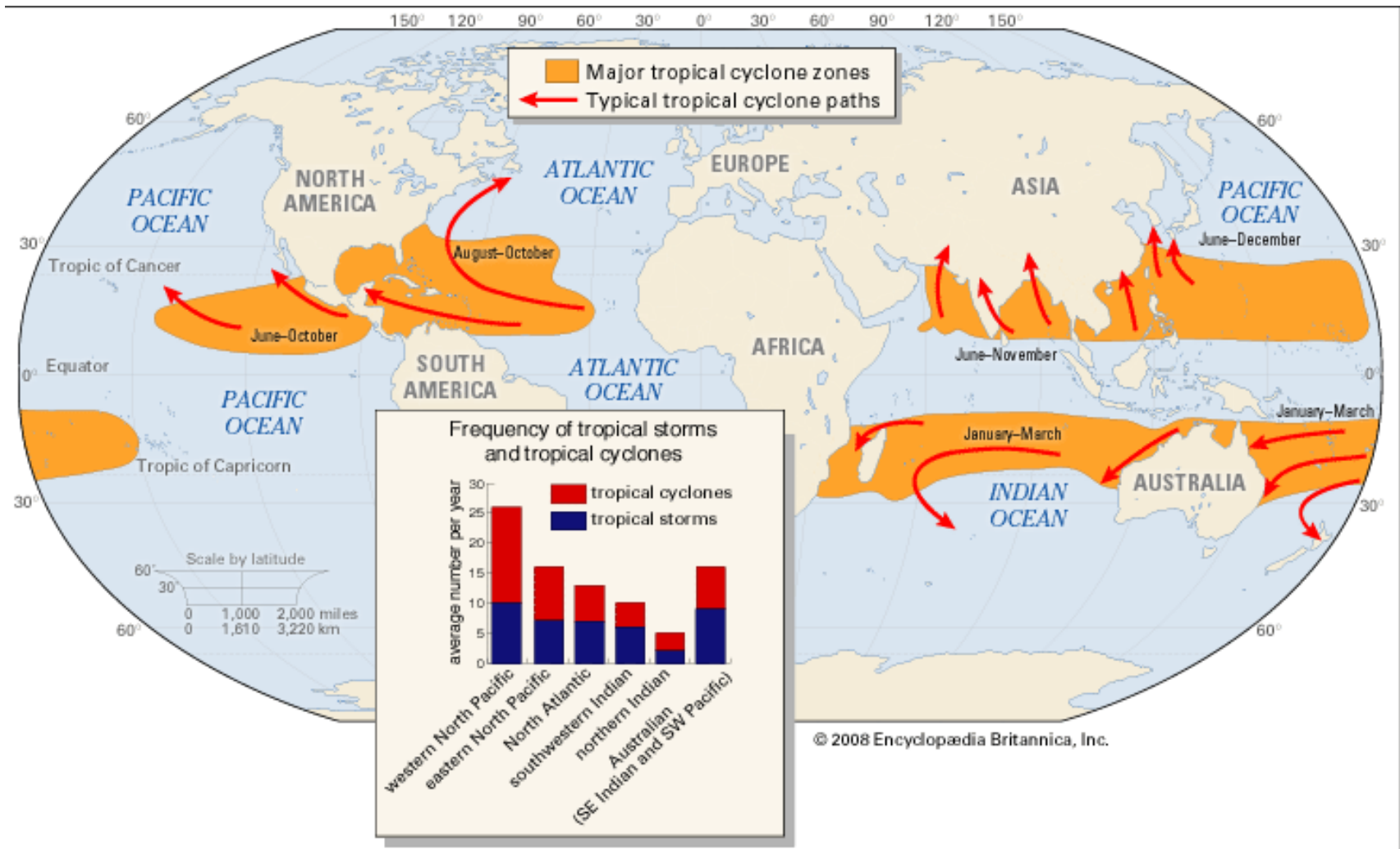
06.02.2018

Jussieu

Sommaire

- 1. Quelques éléments de climatologie**
- 2. Les résultats du GIEC**
- 3. Travaux récents ou en cours**
- 4. Un point sur les transitions extra-tropicales**

Observations

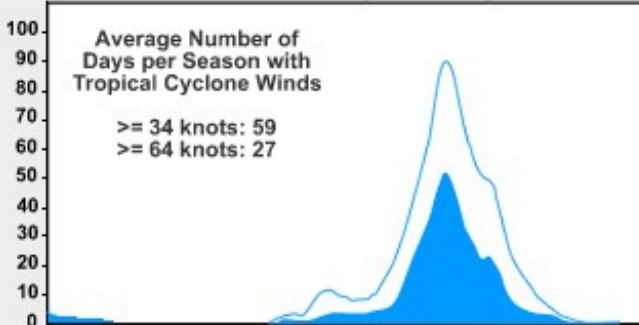


Moyenne globale : 84 systèmes tropicaux/an dont 44 cyclones tropicaux.
 Variabilité interannuelle globale : +/- 10%.

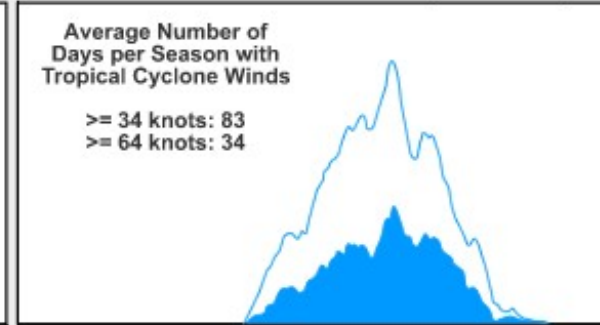
Observations : cycle annuel

Tropical Cyclone Average Seasonal Cycles

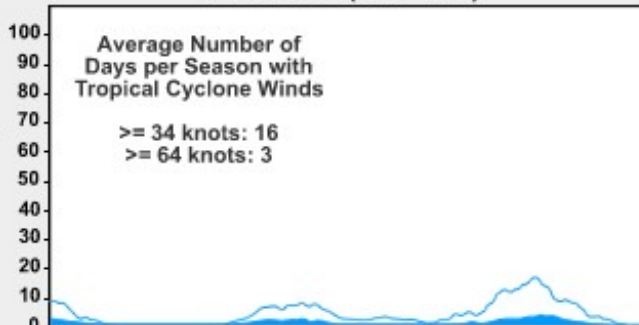
North Atlantic (1886-1989)



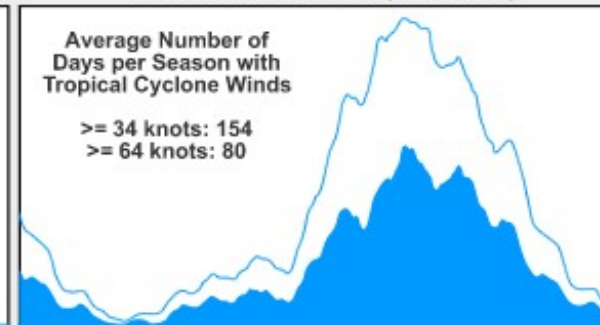
Eastern & Central North Pacific (1966-1989)



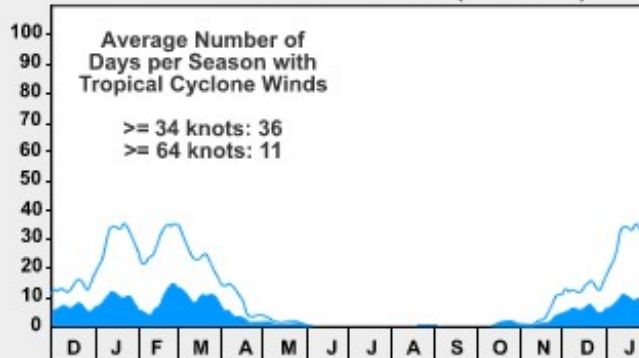
North Indian (1891-1989)



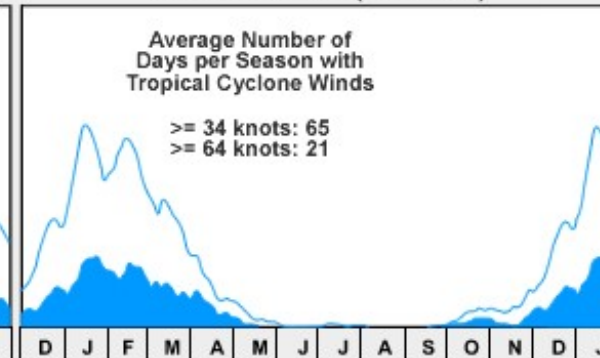
Western North Pacific (1945-1988)



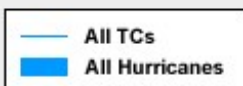
Australia/S. Pacific/SE Indian (1958-1988)



Southwest Indian (1947-1988)

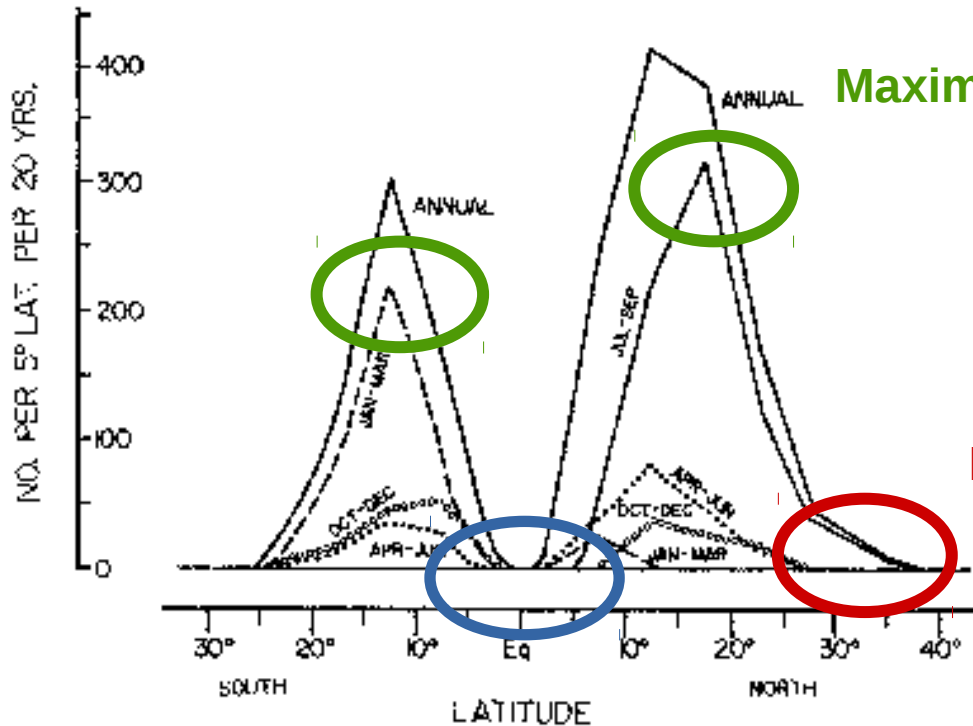


Atlantique Nord
27 jours de cyclones
($V > 33\text{m/s}$)
Pacifique Nord Ouest
80 jours de cyclones



Months

Observations : Répartition en latitude

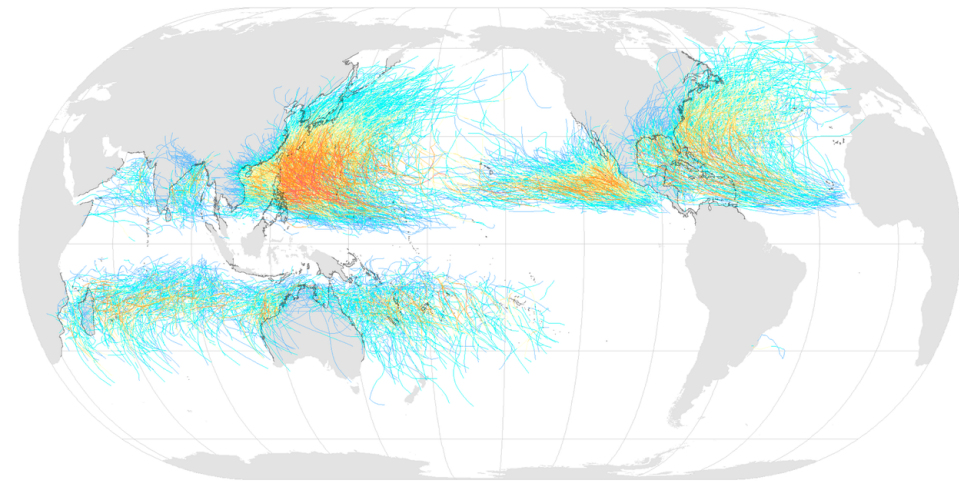


Maximum en été de chaque hémisphère

Extension plus large dans l'HN

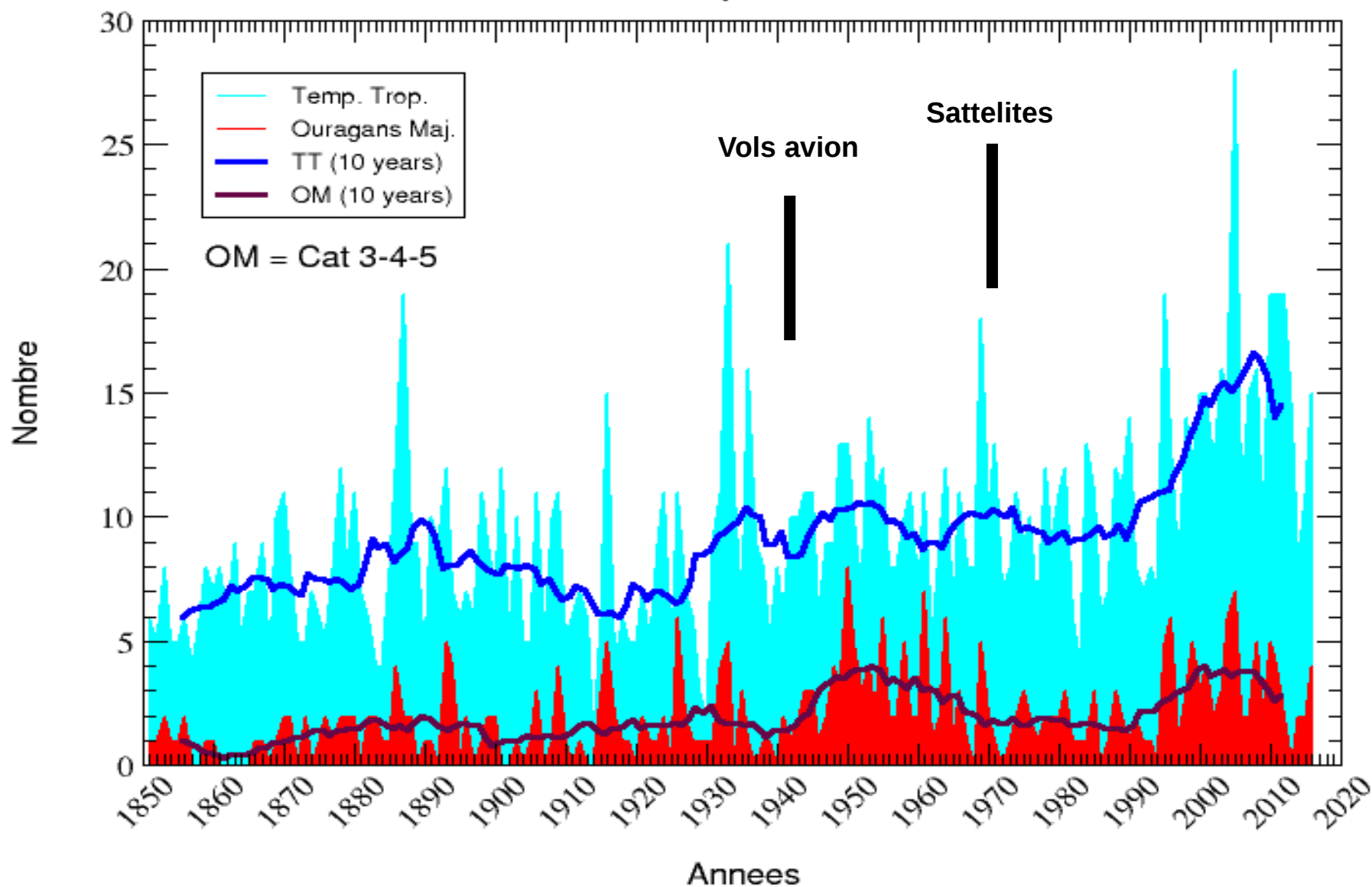
Pas de formation à l'équateur

Tropical Cyclones, 1945–2006



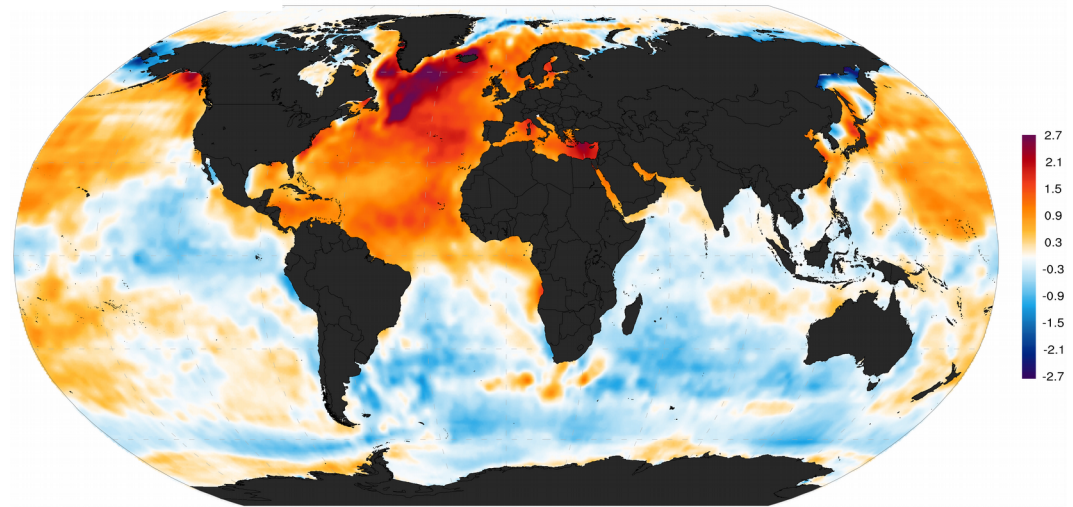
Observations : Evolution temporelle des ouragans

Tempetes Tropicales et Ouragans Majeurs dans le bassin Atlantique Nord (1851-2016)
(nombre annuel et moyenne mobile sur 10 ans)

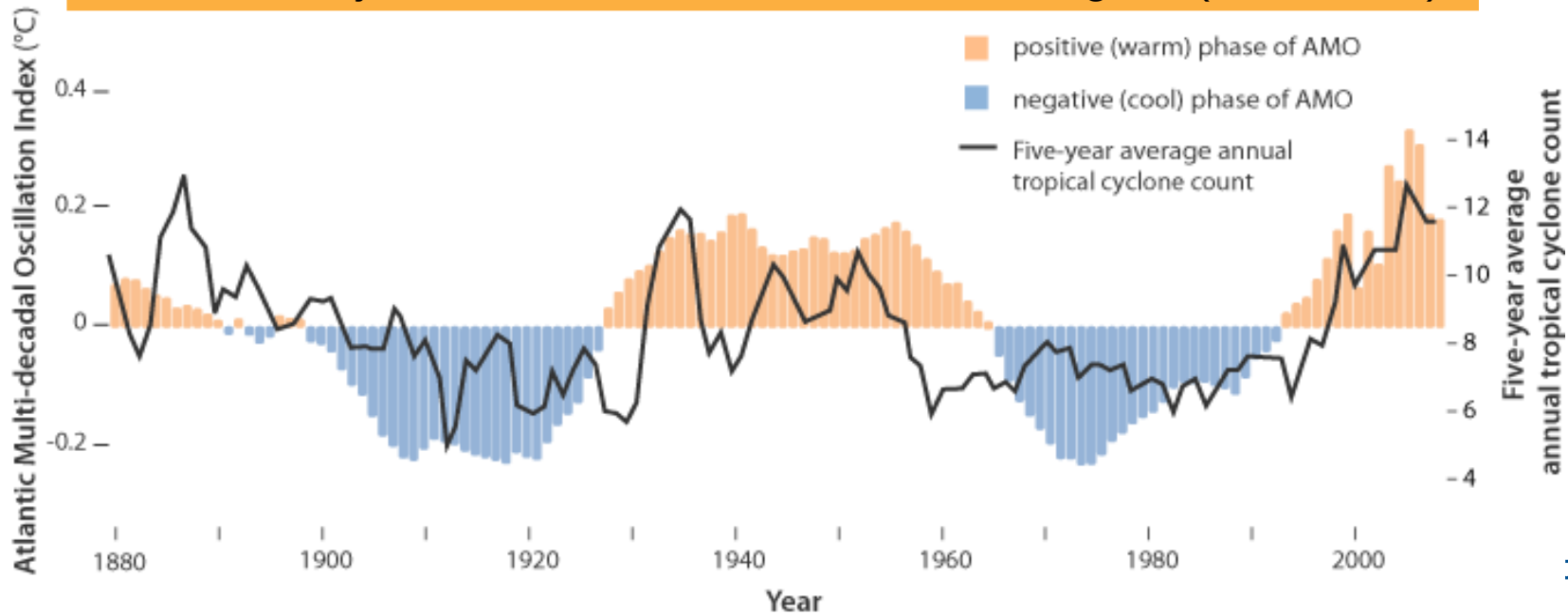


Atlantic Multi-decadal Oscillation

Anomalies de SST lors d'une phase chaude de l'AMO



Evolution conjointe de l'AMO et du nombre d'ouragans (1880-2010)



Journée Cyclones

Synthèse du GIEC

Synthèse AR5

Que disent les observations ?

Faible confiance dans une éventuelle tendance sur l'activité cyclonique

Il se pourrait que la diminution des forçages en aérosols ait eu un impact sur l'activité cyclonique depuis les années 1970

La relation entre l'activité cyclonique et les SST est mal connue

Idem pour la relation entre cyclones et aérosols

Et les projections ?

Diminution du nombre total de systèmes (de -6 à -34%)

Causes possibles :

 cisaillement vertical du vent horizontal

 transport de masse associé à la convection

 déficit de saturation dans la troposphère moyenne

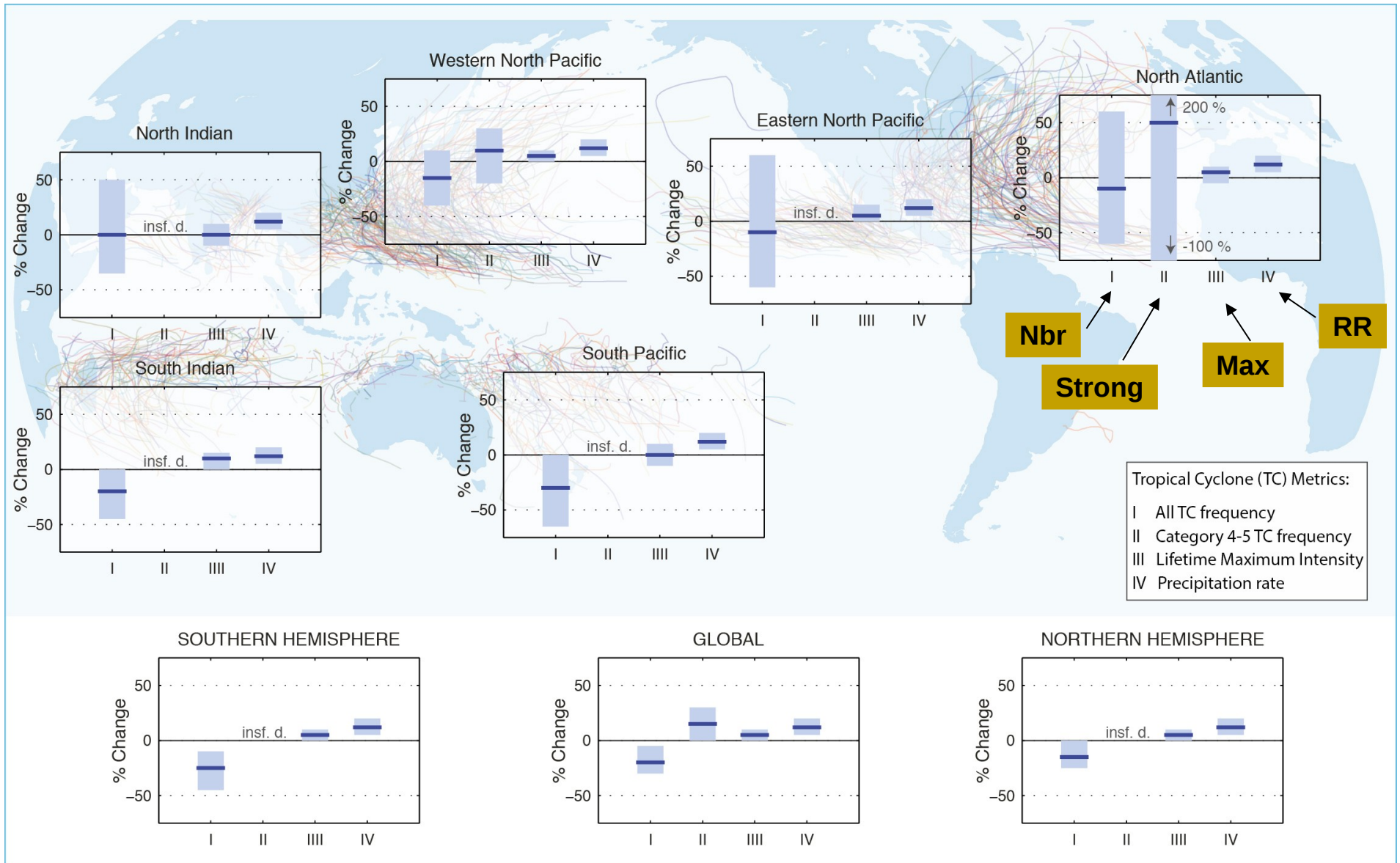
Augmentation du nombre de TC de catégorie 4 et 5 (0 à +30%)

Augmentation de l'intensité moyenne (de +2 à +11 %)

Augmentation des pluies associée (+3 à +37%)

 ~20 % dans un rayon de 100 kms

AR5 : Figure 14.17



A surveiller

Evolution des trajectoires : risques d'exposition de régions actuellement protégées

Global : Kossin et al. (2014), Knutson et al. (2015)

Atlantique : Haarsma et al. (2013), Murakami and Wang (2010), Chauvin et al. (2006)

Lien Cyclones/SST : relatives ou absolues.

Emanuel (2007), Vecchi and Soden (2007), Sugi et al. (2009), Chauvin and Royer (2010)

Ramsay and Sobel (2011), Murakami et al. (2012)

Effets des aérosols : radiatif et noyau de condensation ; Saharian Air layer

Khain et al (2008), Rosenfeld et al. (2011)

Dunion and Velden (2004)

Modes de variabilité océan-atmosphère

AMO : Zhang and Delworth (2009)

AMM : Kossin and Vimont (2007)

ENSO : Bell and Chelliah (2006), Camargo et al. (2007)

Autres sujets

Liens entre les ouragans et le climat de l'Afrique

Ondes d'Est Africaines : Thorncroft and Hodges (2001), Hopsch et al. (2007)

Pluies au Sahel : Landsea et al. (1992)

Intensification rapide

Emanuel (2017)

Indices de cyclogénèse

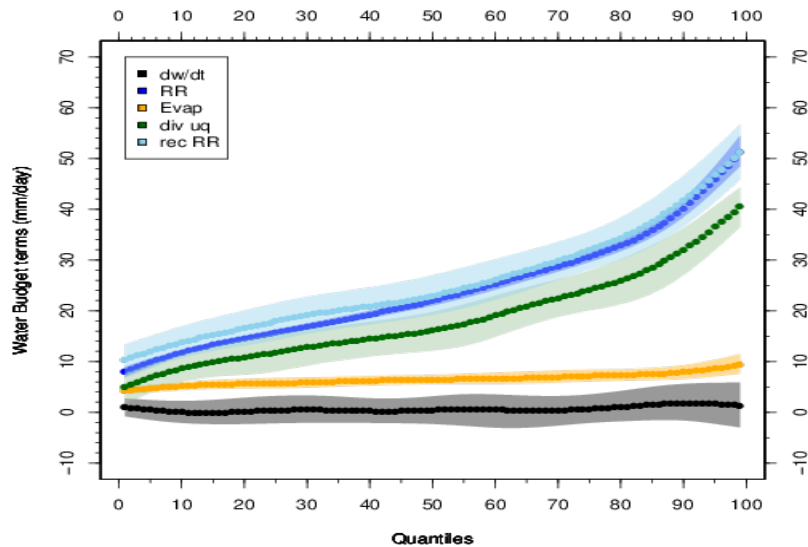
Royer et al. (1998), Emanuel and Nolan (2004), Camargo et al. (2007), Tippet et al. (2011),

Menkes et al. (2012)

Etudes récentes

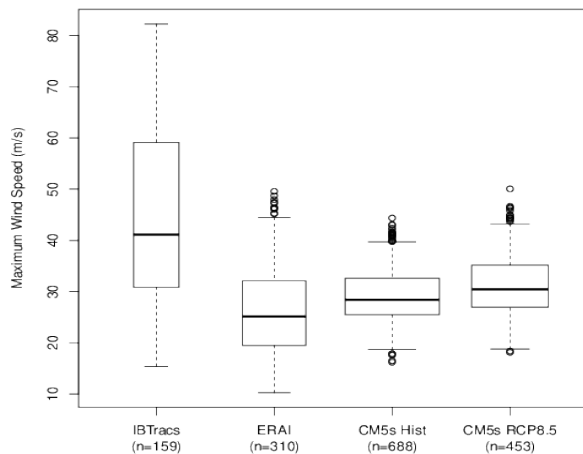
Etude du bilan d'eau dans les ouragans

Répartition par quantile des termes du bilan d'eau

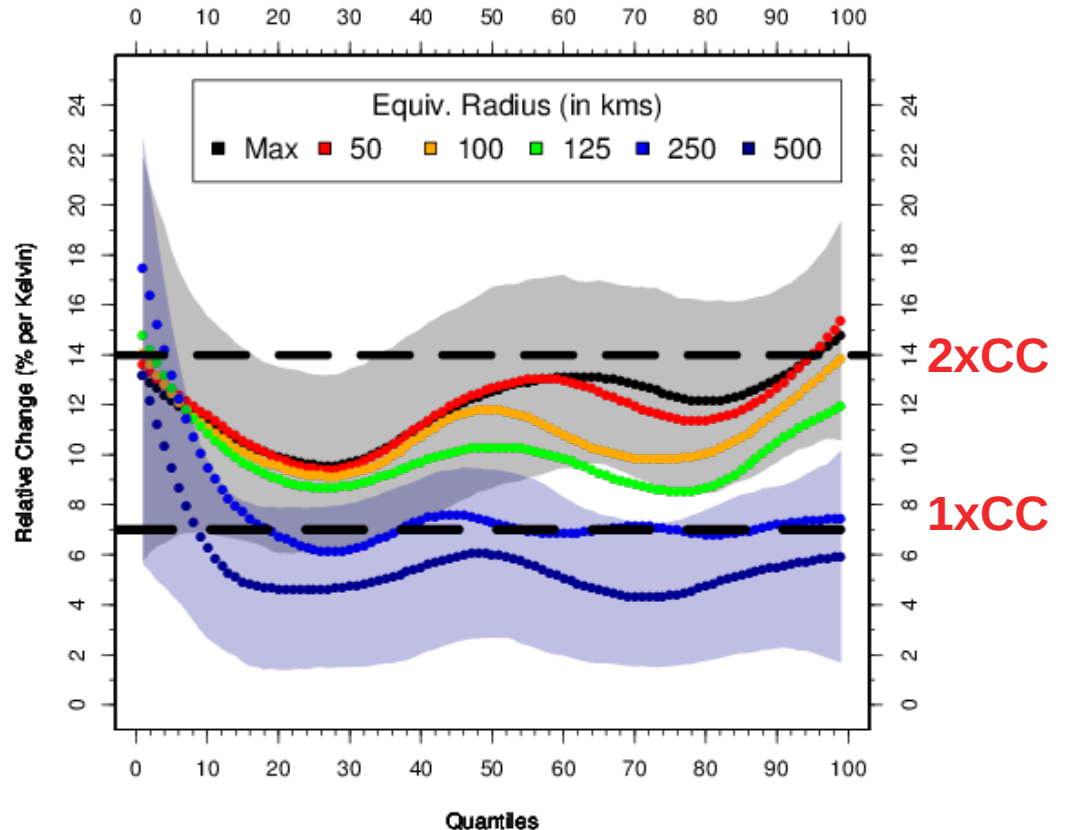


Le changement est piloté par la convergence d'humidité dans le modèle

Distribution des vents max dans IBTracs, ERAI et le modèle



Changements de pluies relativement à la formule de Clausius-Clapeyron



Nouveaux scénarios « Cyclones » du CNRM

Projet FEDER C3AF

ARPEGE version6 (proche de la version CMIP)

T359 basculée étirée avec pôle sur l'Atlantique

Résolution maximale 12.5 km

3 jeux de simulations avec 5 membres chacune :

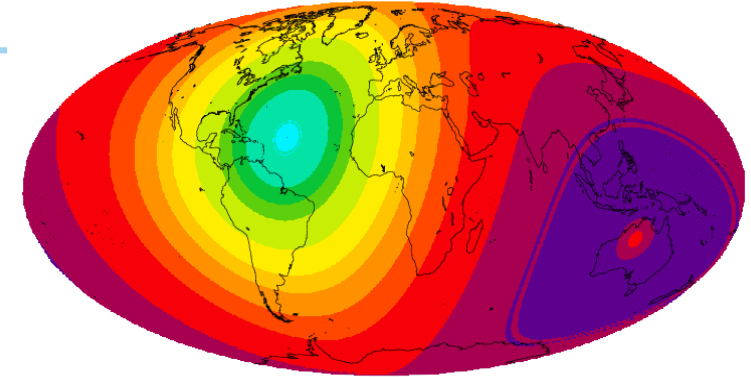
Climat présent (1965-2014) avec SST observées

Climat présent (1965-2014) avec SST modèle

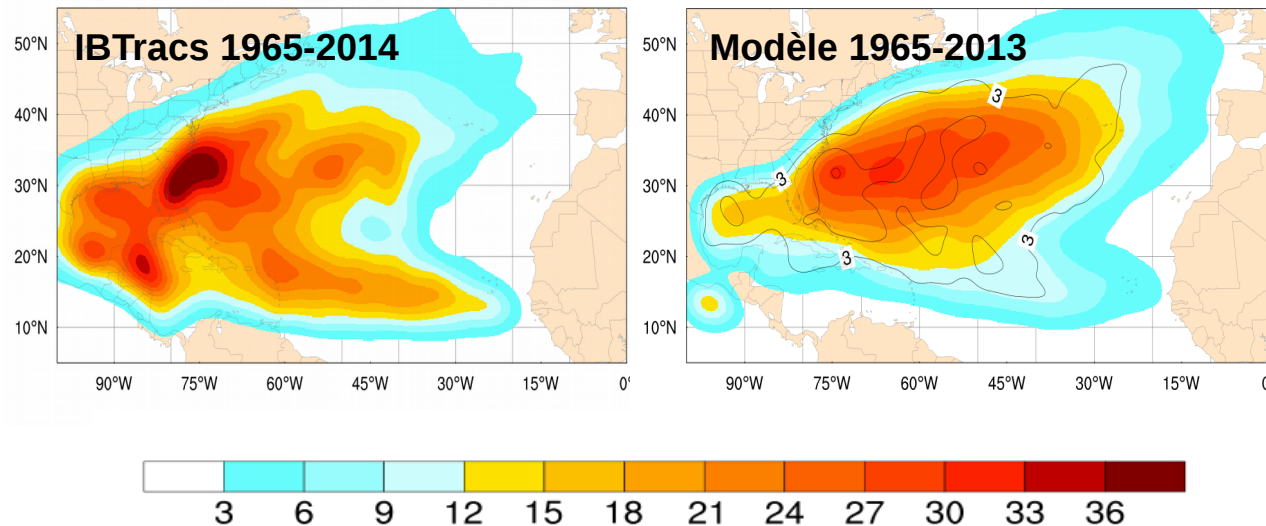
Climat futur (2020-2080) avec SST modèle

} issues de CMIP5

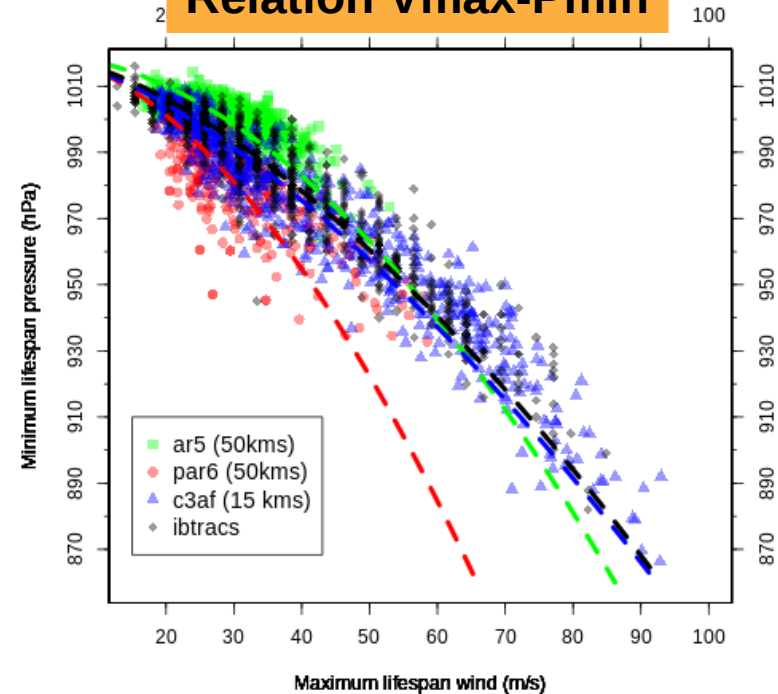
Resolution locale (en kms)



Densité de trajectoire : nombre de jours par 0.15° par 20 ans



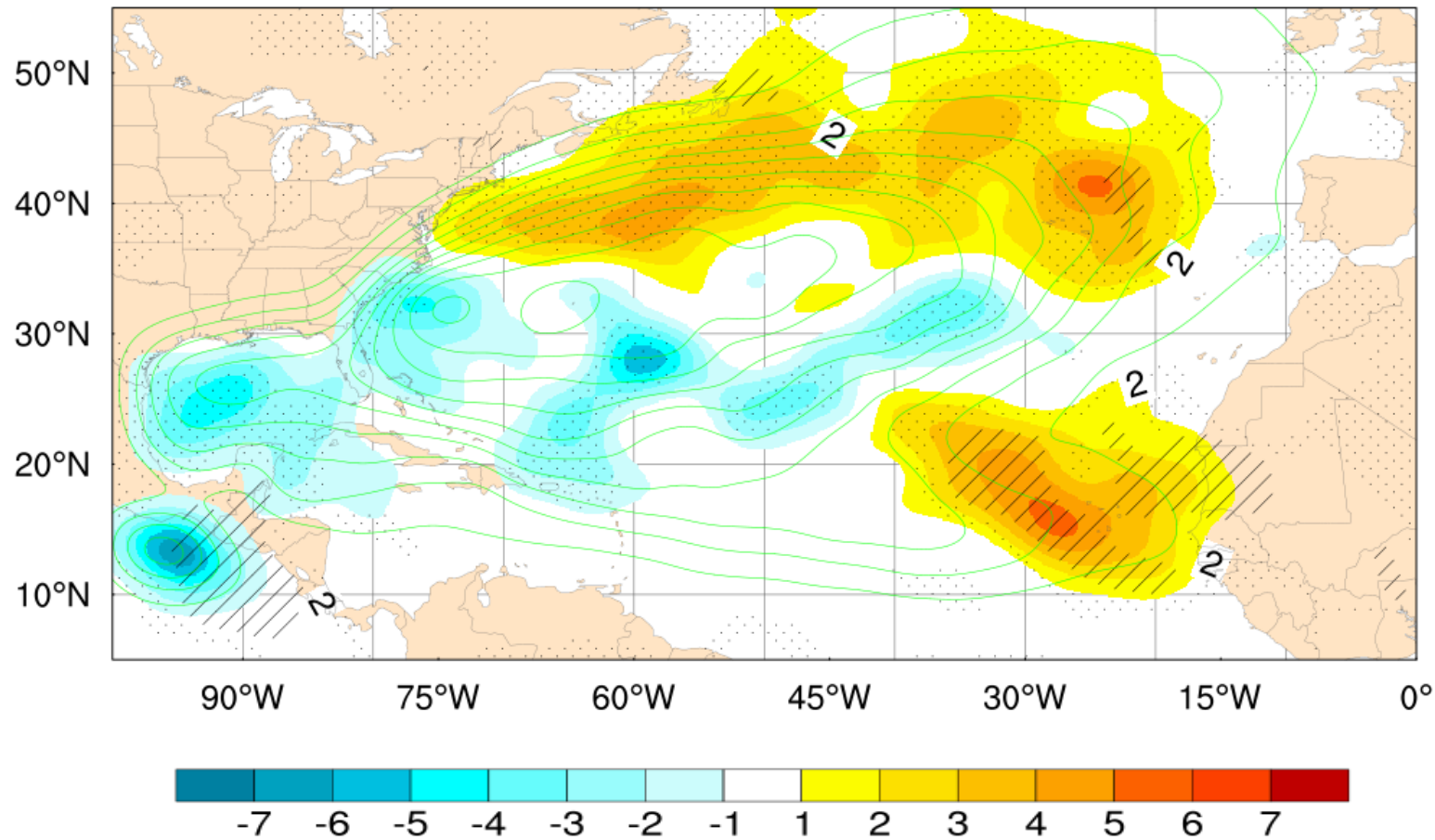
Relation Vmax-Pmin



Nouveaux scénarios « Cyclones » du CNRM

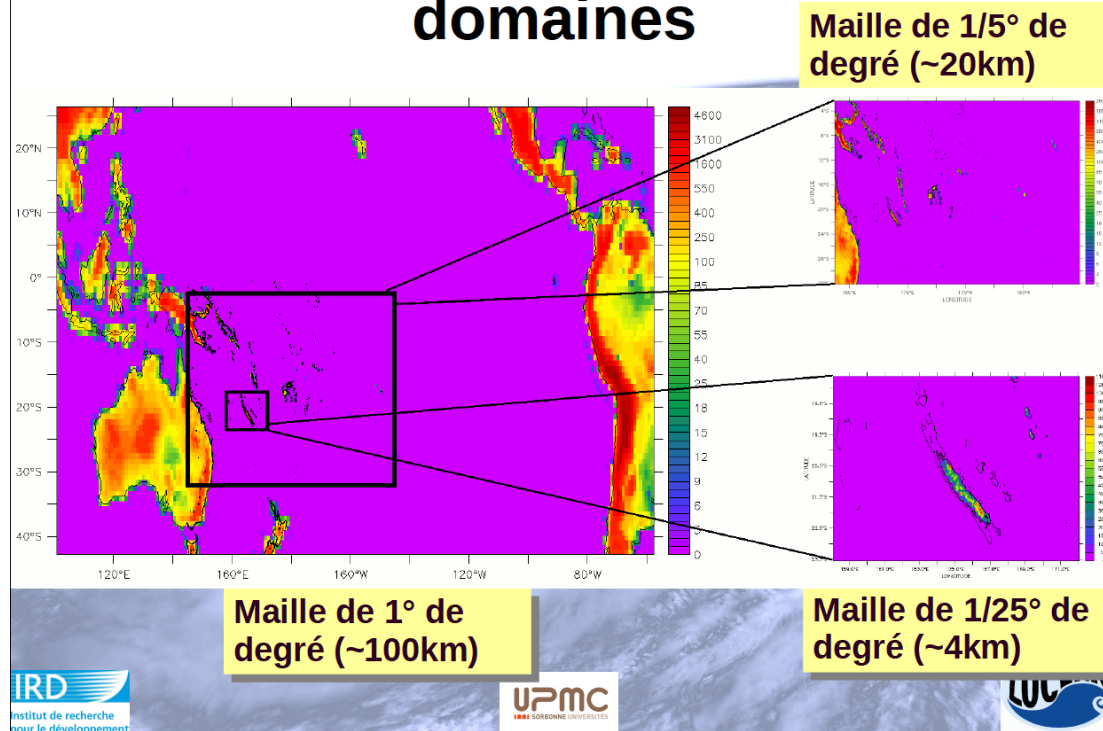
Projet FEDER C3AF

Réponse moyenne futur (2031-2064) – présent (1965-2013)



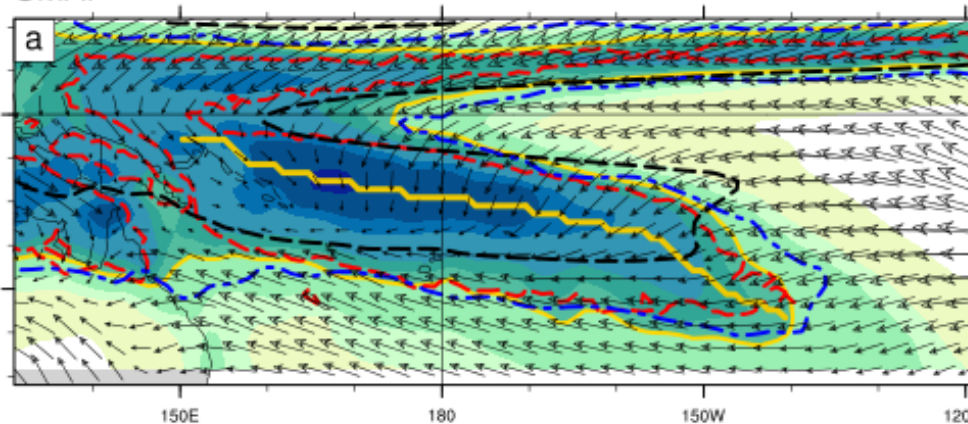
Evolution des cyclones dans le Pacifique Sud

Illustration des différents domaines

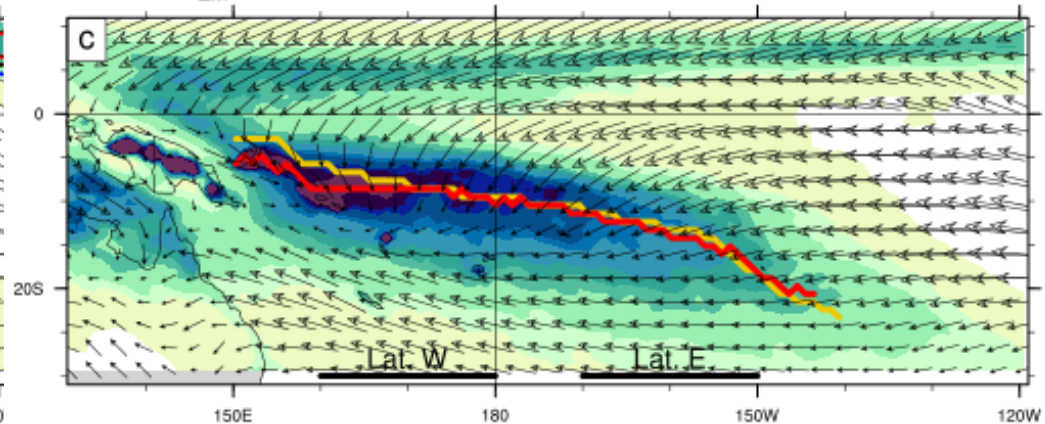


- Modèle : WRF
- 37 ans de simulation sur le présent (1980-2016) + 37 ans de simulation scénario RCP8.5 (2072-2108)
- Résolution : 1/5°
- Futur : NCEP2 + anomalie CMIP5 = (2080-2100) - (1989-2009)
- (Li et al. 2016)

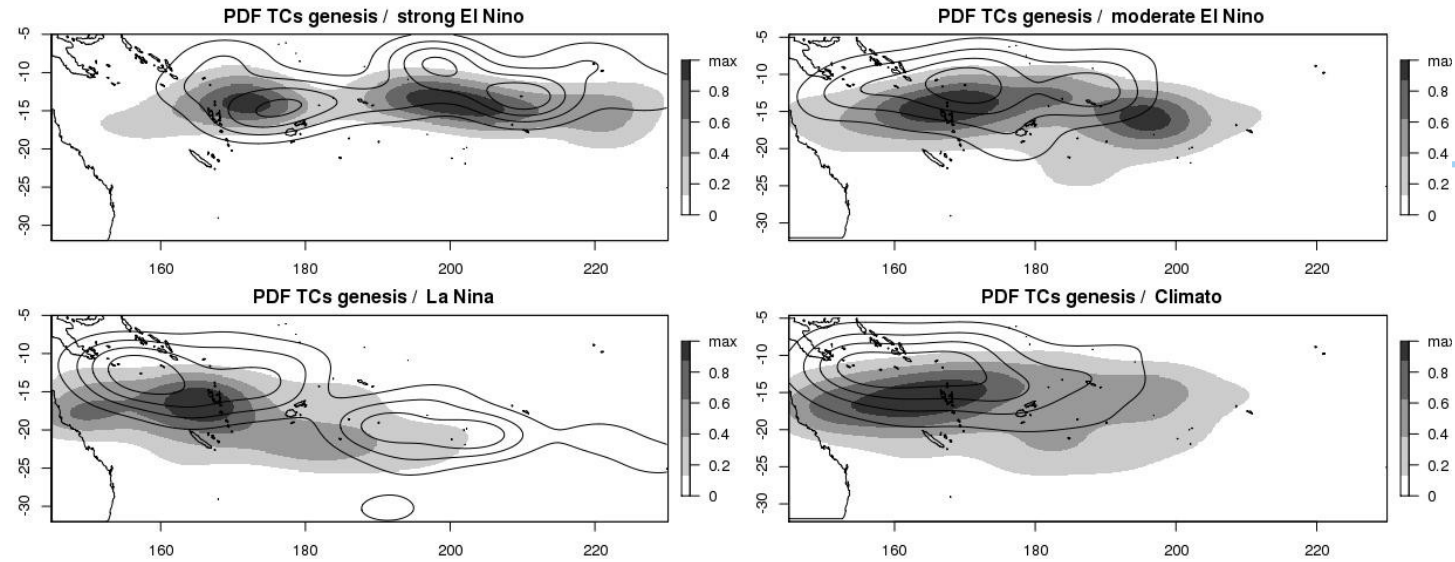
CMAP



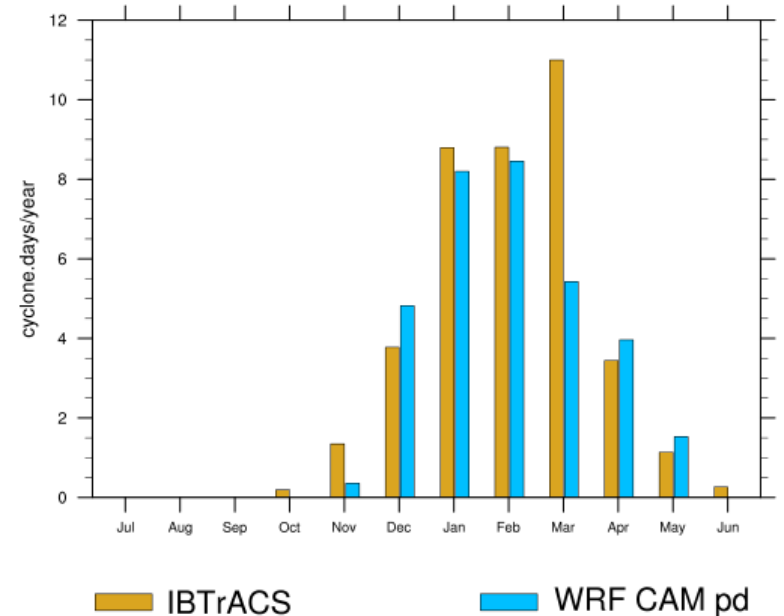
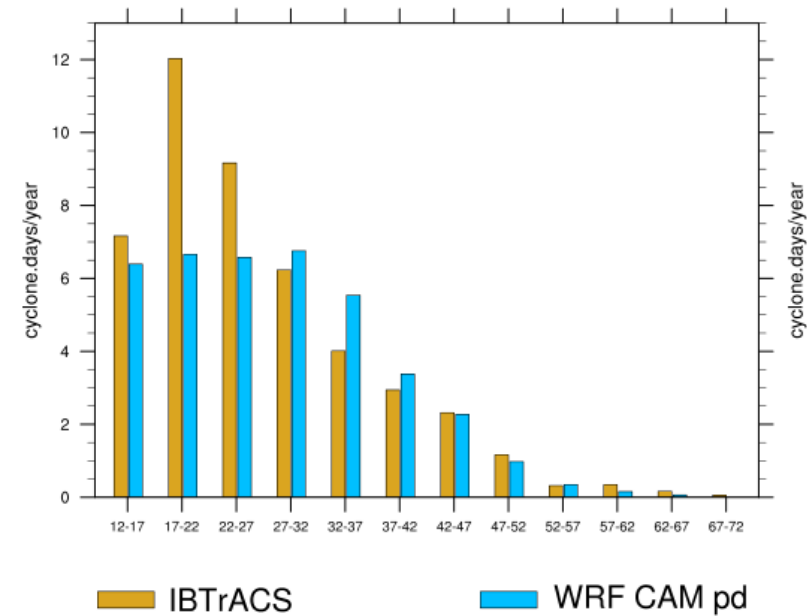
PD_OBS_ZM



Validation du modèle



- Variabilité ENSO bien représentée : déplacement vers l'Est des TCs durant les strong El Niño
- Zone de génèse trop au Nord ($\sim +4^\circ$)



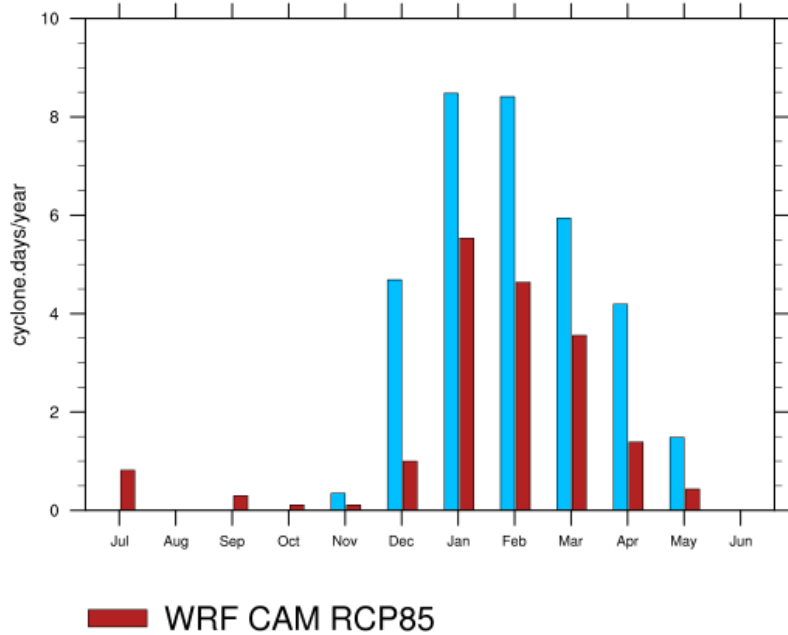
TCs cat 4 et 5 simulés
~4.5 TCs/an

Distribution saisonnière bien représentée : aucun Tcs entre Juil. et Sept.

Scénario RCP8.5 ; période 2072-2108

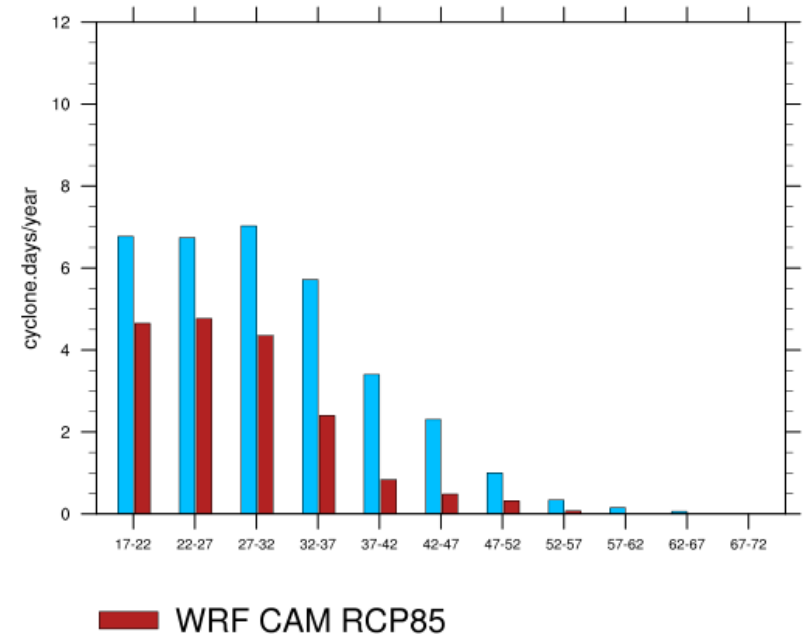
Diminution d'environ ~55 % du nombre de Tcs

Pas de déplacement de la zone de cyclogénèse



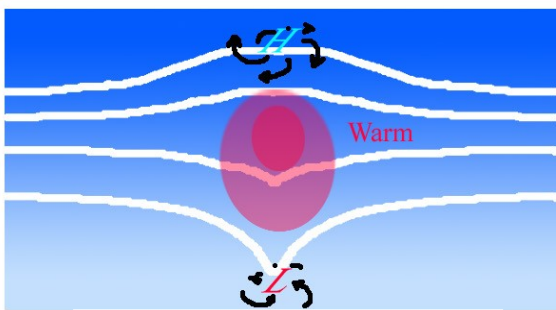
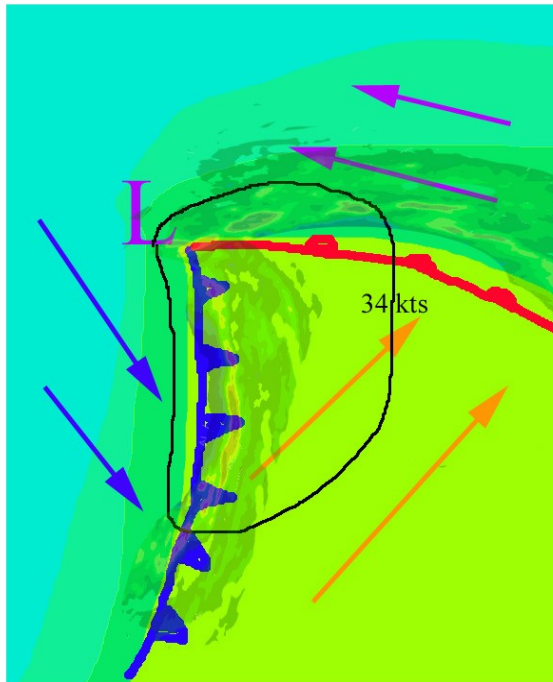
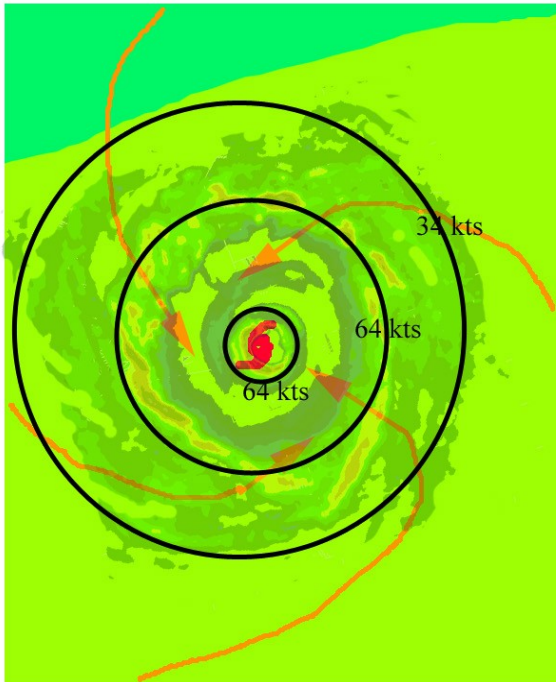
- Allongement de la saison cyclonique : TCs en Juil. et Sept.

- Diminution de l'intensité des TCs.

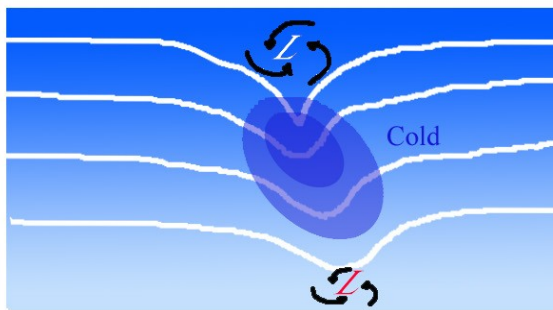


Transitions extra-tropicales

Contexte



cyclone tropical



dépression extratropicale

Cyclone tropical

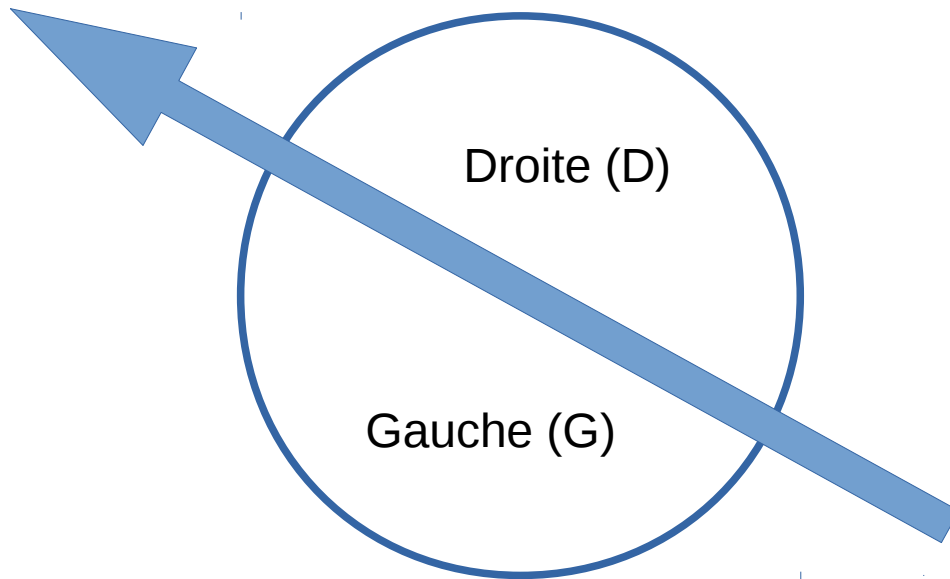
Symétrique
Coeur chaud

Systeme extra-tropical

Non symétrique
Coeur froid

Diagrammes de Hart (2003)

Sens de déplacement du système



Asymétrie

$$B = h(\overline{Z_{600} - Z_{900}}|_D - \overline{Z_{600} - Z_{900}}|_G)$$

Nature du coeur

$$\frac{\partial \Delta Z}{\partial \ln p} \Big|_{900}^{600} = -V_T^L \quad \text{Basses couches}$$

$$\frac{\partial \Delta Z}{\partial \ln p} \Big|_{600}^{300} = -V_T^U \quad \text{Couches supérieures}$$

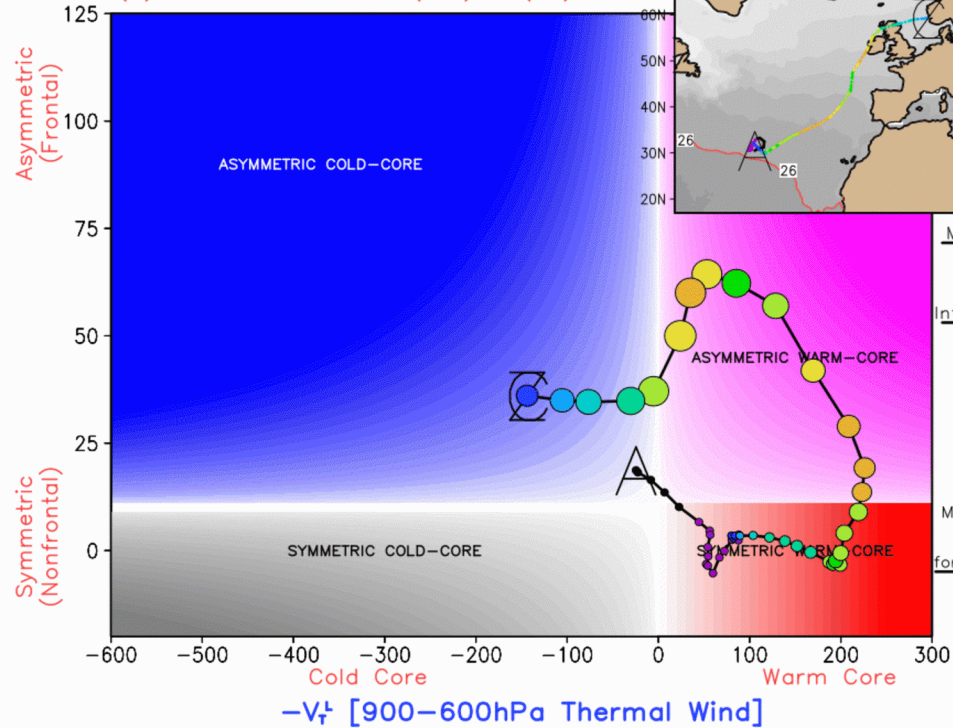
$$\Delta Z = Z_{MAX} - Z_{MIN}$$

Diagrammes de Hart (suite)

0.25° NCEP GFS (18Z17OCT2017 run) Cyclone #1 (Existing cyclone)

Start (A): 00Z06OCT2017 (Fri) (-282h)
 Current (C): 18Z17OCT2017 (Tue) (0h)
 End (Z): 18Z17OCT2017 (Tue) (0h)

B [900-600hPa Storm-Relative Thickness Symmetry]



Marker Style:
 Analysis: ●
 Forecast: ⊗
 Intensity (hPa):
 1015 980
 1010 970
 1000 960
 990 950

NOTE: A 24hr running mean smoother is applied to the CPS trajectory.

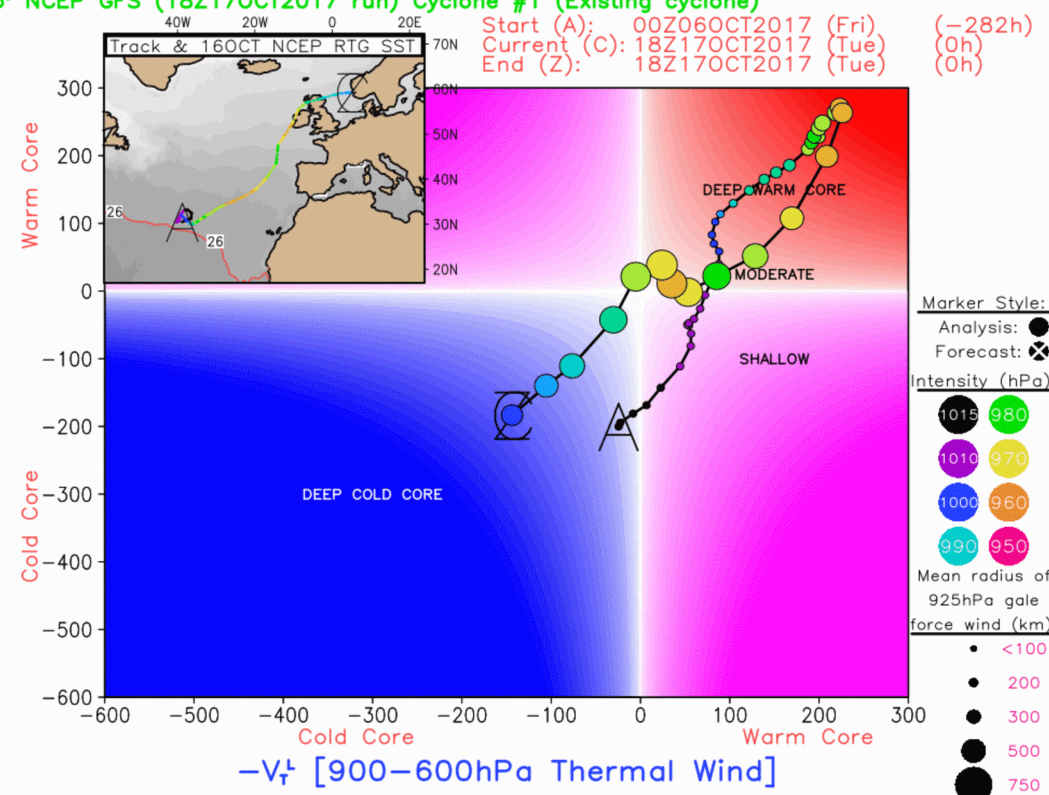
NOTE: A 24hr running mean smoother is applied to the CPS trajectory.

Cycle de vie du système
 Ophélie (6-17 oct 2017)

Météo-France

Ophélie
 prémisce du futur ?

B [600-300hPa Thermal Wind]

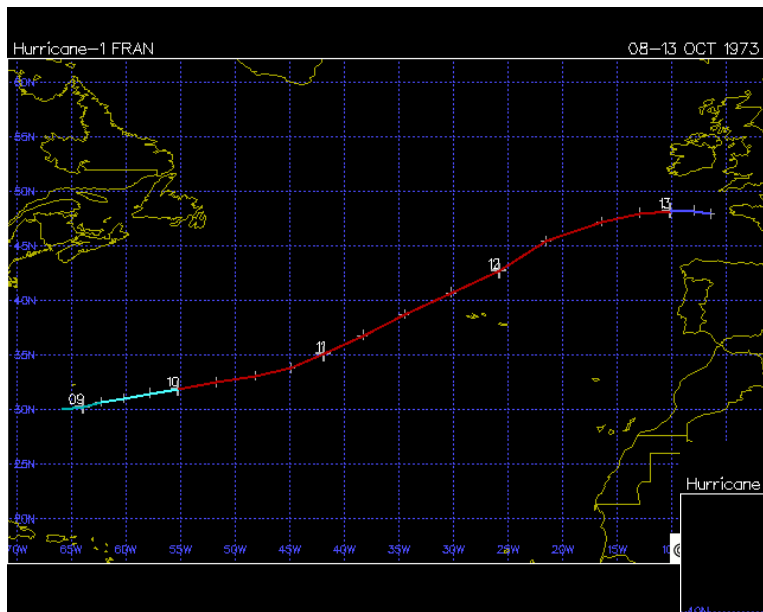


Marker Style:
 Analysis: ●
 Forecast: ⊗
 Intensity (hPa):
 1015 980
 1010 970
 1000 960
 990 950

Mean radius of 925hPa gale force wind (km):
 ● <100
 ● 200
 ● 300
 ● 500
 ● 750

NOTE: A 24hr running mean smoother is applied to the CPS trajectory.

Quelques ancêtres

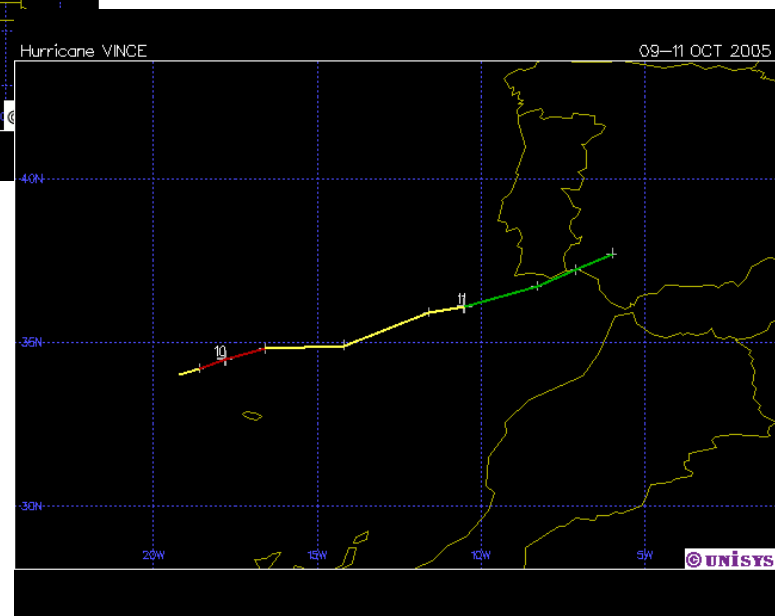


Fran 8-13 octobre 1973

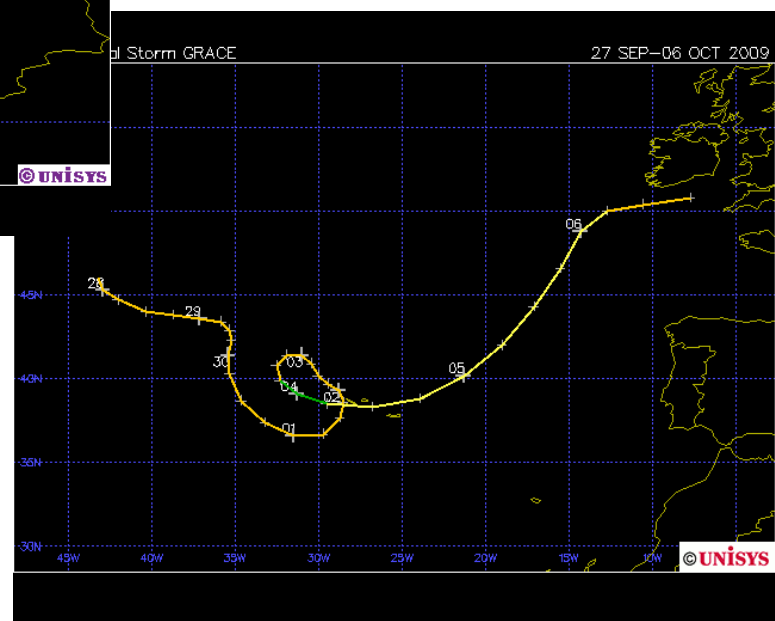
Dernière position comme cyclone tropical de catégorie 1 (65 kt) :

48°N 13°W
à la latitude de la Bretagne

Vince 9-11 octobre 2005
Dernière position comme tempête tropicale :
36°N 12°W



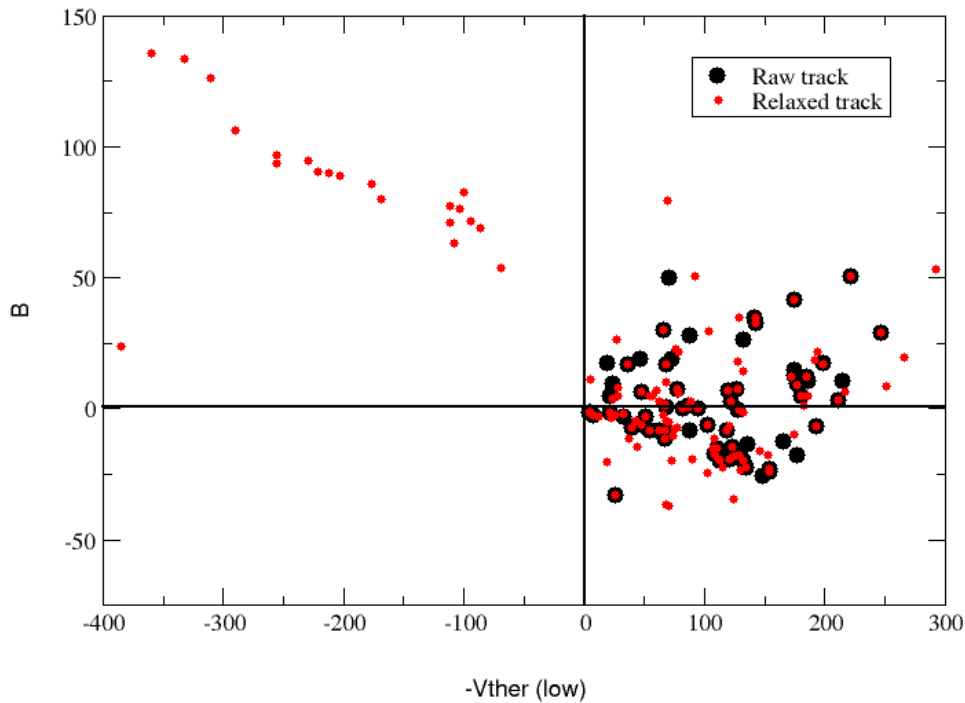
Grace 27 sep-6 oct 2009
Tempête tropicale entre 38°30' N 29°30' W et 48°N 14°W



Un exemple d'application

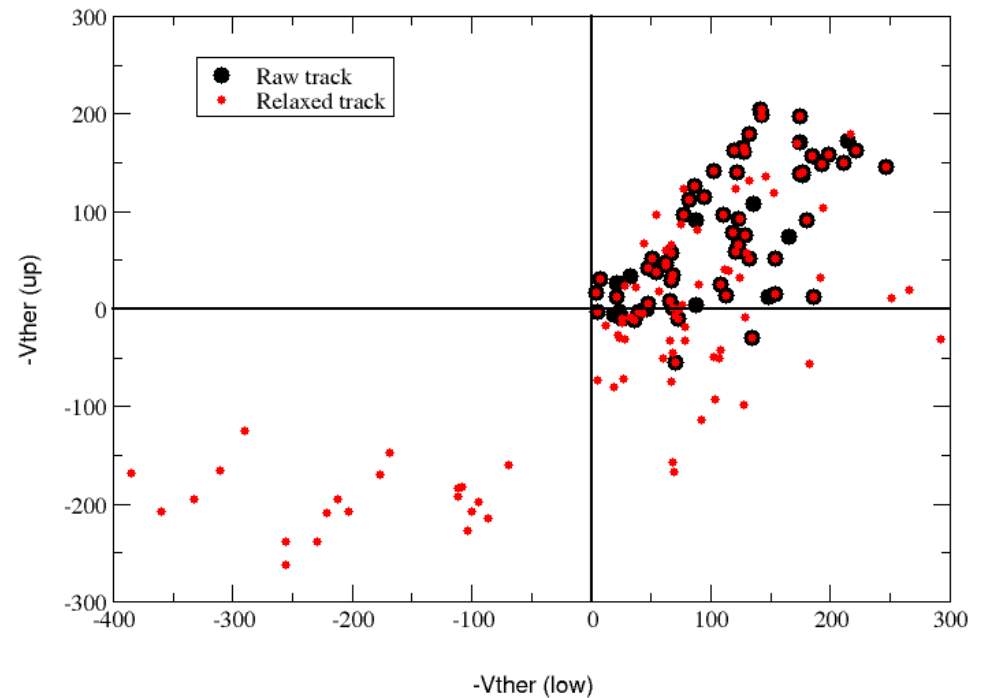
Runs C3AF

Symmetric and warm core diagnostics



Une année du run 1 pour le climat présent

Warm core diagnostics



En bref ...

Les observations sont pauvres pour détecter des tendances

Les cyclones sont des phénomènes à échelles multiples (1 à 1000 kms)

Résolution nécessaire pour la représentation des cyclones < 50 kms

⇒ peu de simulations pour l'étude des cyclones

⇒ Les conclusions de l'AR5 sont prudentes

De nombreux mécanismes restent à prendre en compte dans les modèles de climat

Impact des aérosols

Intéactions océan-atmosphère (paramétrisation des flux)

Mécanismes de petite échelle : remplacement du mur de l'oeil, intensification rapide, convection explicite ...

References

- Bell GD, Chelliah M (2006) Leading tropical modes associated with interannual and multidecadal fluctuations in north atlantic hurricane activity. *Journal of Climate* 19(4):590–612
- Bender MA, Ginis I, Tuleya R, Thomas B, Marchok T (2007) The operational gfdl coupled hurricane-ocean prediction system and a summary of its performance. *Monthly Weather Review* 135(12):3965–3989
- Camargo SJ, Emanuel KA, Sobel AH (2007a) Use of a genesis potential index to diagnose enso effects on tropical cyclone genesis. *Journal of Climate* 20(19):4819–4834
- Camargo SJ, Sobel AH, Barnston AG, Emanuel KA (2007b) Tropical cyclone genesis potential index in climate models. *Tellus A* 59(4):428–443
- Chauvin F, Royer JF (2010) Role of the sst anomaly structures in response of cyclogenesis to global warming. In: *Hurricanes and climate change*, Springer, pp 39–56
- Chauvin F, Royer JF, Déqué M (2006) Response of hurricane-type vortices to global warming as simulated by ARPEGE-Climat at high resolution. *Climate Dynamics* 27:377–399, DOI 10.1007/s00382-006-0135-7
- Dunion JP, Velden CS (2004) The impact of the saharan air layer on atlantic tropical cyclone activity. *Bulletin of the American Meteorological Society* 85(3):353–365
- Emanuel K (2007) Environmental factors affecting tropical cyclone power dissipation. *Journal of Climate* 20(22):5497–5509
- Emanuel K (2017) Will global warming make hurricane forecasting more difficult? *Bulletin of the American Meteorological Society* 98(3):495–501
- Emanuel K, Nolan DS (2004) Tropical cyclone activity and the global climate system. In: *26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*
- Haarsma RJ, Hazeleger W, Severijns C, Vries H, Sterl A, Bintanja R, Oldenborgh GJ, Brink HW (2013) More hurricanes to hit western europe due to global warming. *Geophysical Research Letters* 40(9):1783–1788
- Hopsch SB, Thorncroft CD, Hodges K, Aiyyer A (2007) West african storm tracks and their relationship to atlantic tropical cyclones. *Journal of climate* 20(11):2468–2483
- Khain A, Cohen N, Lynn B, Pokrovsky A (2008) Possible aerosol effects on lightning activity and structure of hurricanes. *Journal of the Atmospheric Sciences* 65(12):3652–3677
- Knutson TR, Sirutis JJ, Zhao M, Tuleya RE, Bender M, Vecchi GA, Villarini G, Chavas D (2015) Global projections of intense tropical cyclone activity for the late twenty-first century from dynamical downscaling of cmip5/rcp4.5 scenarios. *Journal of Climate* 28:7203–7224
- Kossin JP, Vimont DJ (2007) A more general framework for understanding atlantic hurricane variability and trends. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88(11):1767–1781
- Kossin JP, Emanuel KA, Vecchi GA (2014) The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity. *Nature* 509(17):349–352
- Landsea CW, Gray WM (1992) The strong association between western sahelian monsoon rainfall and intense atlantic hurricanes. *Journal of Climate* 5(5):435–453
- Menkes CE, Lengaigne M, Marchesio P, Jourdain NC, Vincent EM, Lefevre J, Chauvin F, Royer JF (2012) Comparison of tropical cyclogenesis indices on seasonal to interannual timescales. *Climate dynamics* 38(1-2):301–321
- Murakami H, Mizuta R, Shindo E (2012) Future changes in tropical cyclone activity projected by multi-physics and multi-sst ensemble experiments using the 60-km-mesh mri-agcm. *Climate dynamics* 39(9-10):2569–2584
- Ramsay HA, Sobel AH (2011) Effects of relative and absolute sea surface temperature on tropical cyclone potential intensity using a single-column model. *Journal of Climate* 24(1):183–193
- Rosenfeld D, Clavner M, Nirel R (2011) Pollution and dust aerosols modulating tropical cyclones intensities. *Atmospheric Research* 102(1-2):66–76
- Royer JF, Chauvin F, Timbal B, Araspin P, Grimal D (1998) A gcm study of the impact of greenhouse gas increase on the frequency of occurrence of tropical cyclones. *Climatic Change* 38(3):307–343
- Sugi M, Murakami H, Yoshimura J (2009) A reduction in global tropical cyclone frequency due to global warming. *Sola* 5:164–167
- Thorncroft C, Hodges K (2001) African easterly wave variability and its relationship to atlantic tropical cyclone activity. *Journal of Climate* 14(6):1166–1179
- Tippett MK, Camargo SJ, Sobel AH (2011) A poisson regression index for tropical cyclone genesis and the role of large-scale vorticity in genesis. *Journal of Climate* 24(9):2335–2357
- Vecchi GA, Soden BJ (2007) Effect of remote sea surface temperature change on tropical cyclone potential intensity. *Nature* 450(7172):1066
- Zhang R, Delworth TL (2009) A new method for attributing climate variations over the atlantic hurricane basin's main development region. *Geophysical Research Letters* 36(6)