

Journée thématique « *Cyclones et Changement Climatique* »  
Paris, 6 février 2018

## « **Changements d'Intensité** »

Frank ROUX ( Laboratoire d'Aérodynamique, Toulouse )

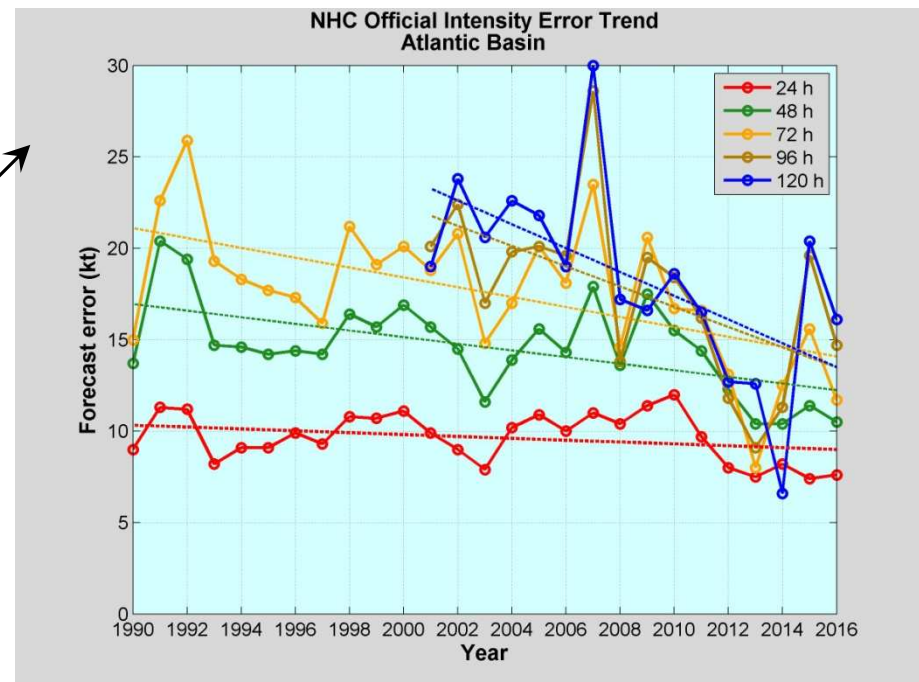
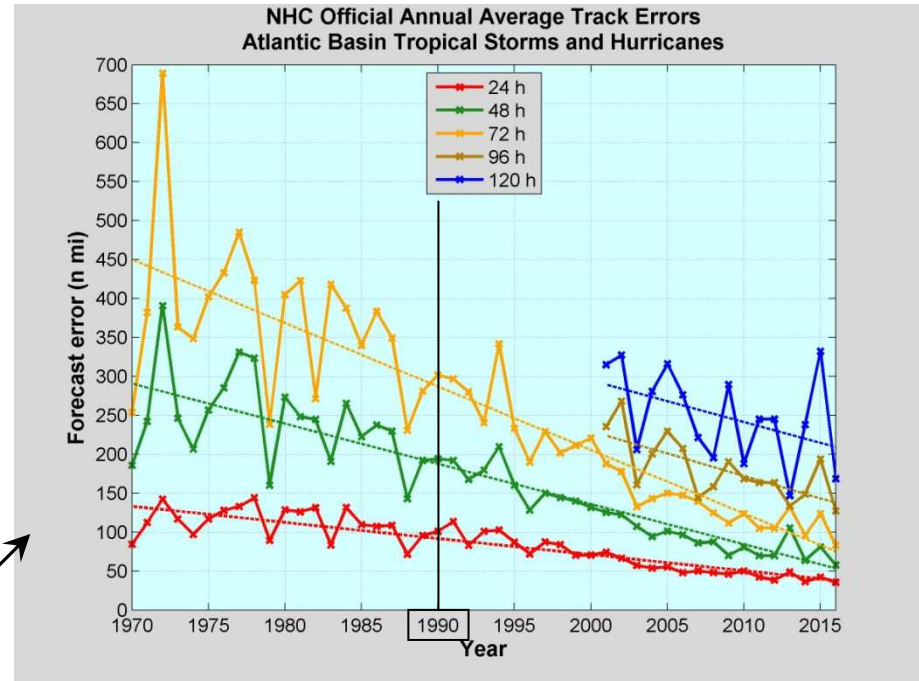
### **Plan :**

- **Équilibre d'un cyclone symétrique**
- **Perturbations environnementales**
- **Variabilité interne**
- **Conclusions**

La prévision d'intensité des cyclones tropicaux (ici  $V_{\max}$ ) n'a pas évolué aussi positivement que celle de leurs trajectoire !

**Tendances 1990-2016 :**

- Erreur Moyenne de Trajectoire :
  - à 24 h : 100 km → 50 km ( ÷2 )
  - à 72 h : 250 km → 80 km ( ÷3.5 )
- Erreur Moyenne d'Intensité :
  - à 24 h : 10 kts → 8 kts ( ÷1.25 )
  - à 72 h : 21 kts → 14 kts ( ÷1.5 )



# Équilibre d'un cyclone symétrique

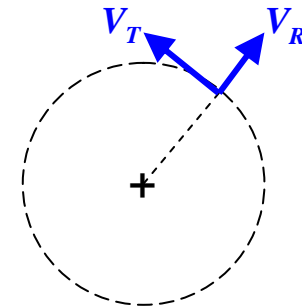
**Équilibre horizontal** : Forces de pression + centrifuge + Coriolis = 0

$$\frac{\partial P(r,z)}{\partial r} = C(r,z) \rho(r,z) \quad \text{avec} \quad C(r,z) = \frac{[V_T(r,z)]^2}{r} + f V_T(r,z)$$

$P$  = pression,  $\rho$  = masse volumique,  $V_T$  = vent tangentiel,  $f$  = paramètre de Coriolis

**Équilibre vertical** : Force de pression + poids = 0

$$\frac{\partial P(r,z)}{\partial z} = -g \rho(r,z) \quad g = \text{accélération de la pesanteur}$$



**Equation d'état** :  $P(r,z) = R_a \rho(r,z) T(r,z)$

$T$  = température,  $R_a = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

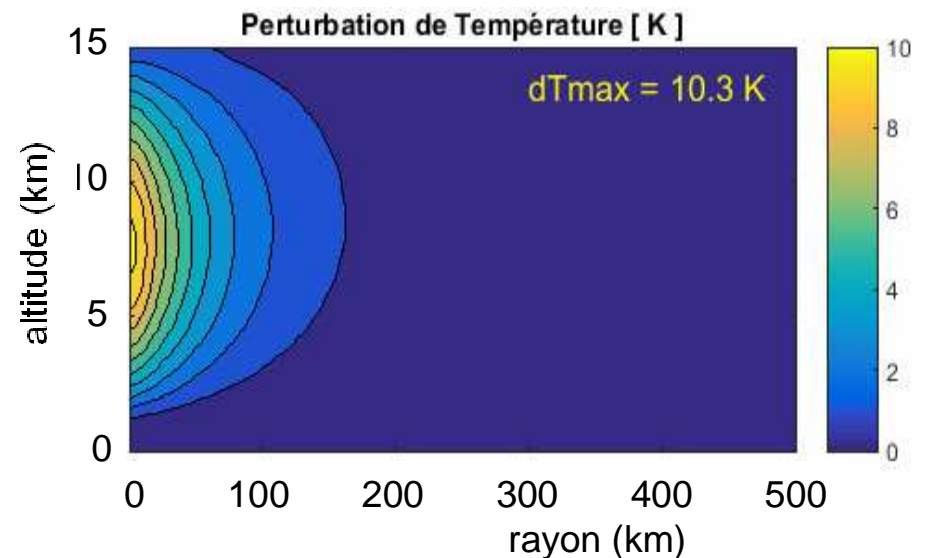
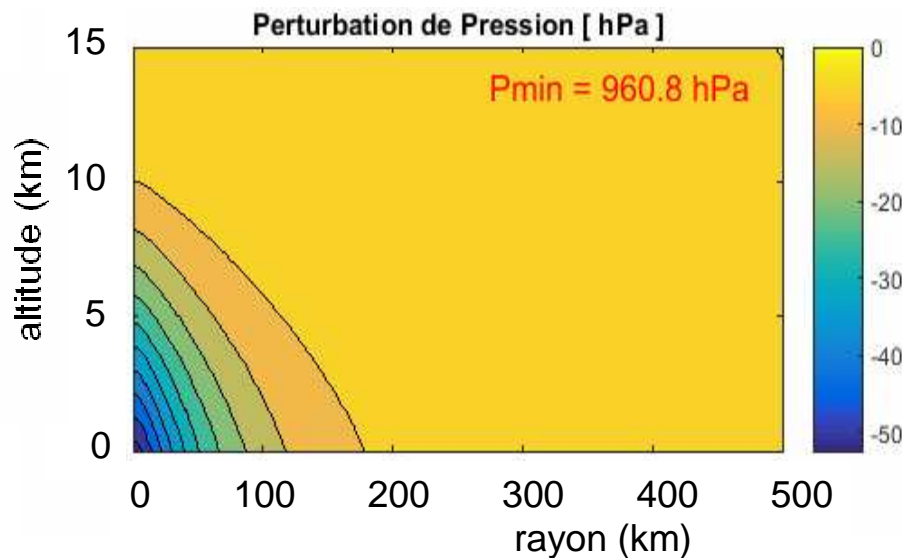
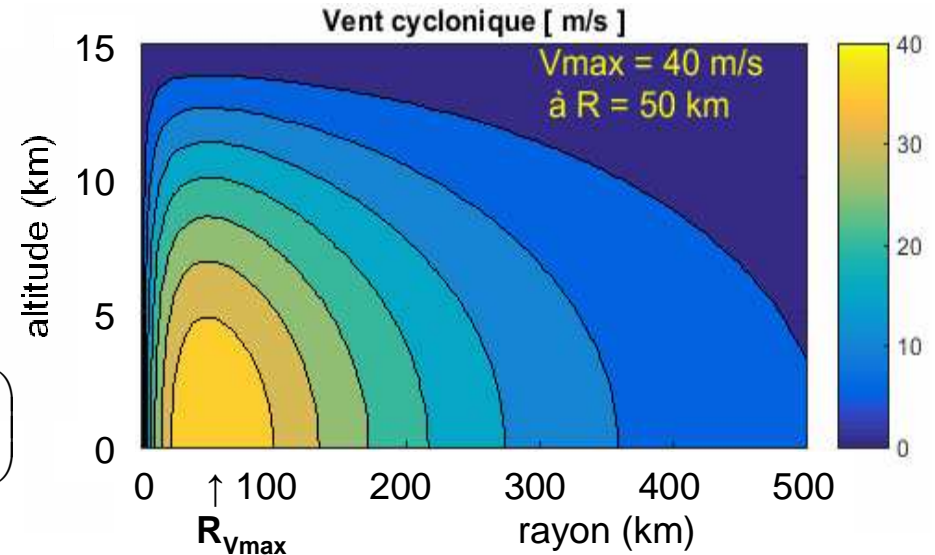
3 équations , 4 champs → « Équilibre du vent thermique »

# Équilibre d'un cyclone symétrique

## “CIRCULATION PRIMAIRE” ( tangentielle )

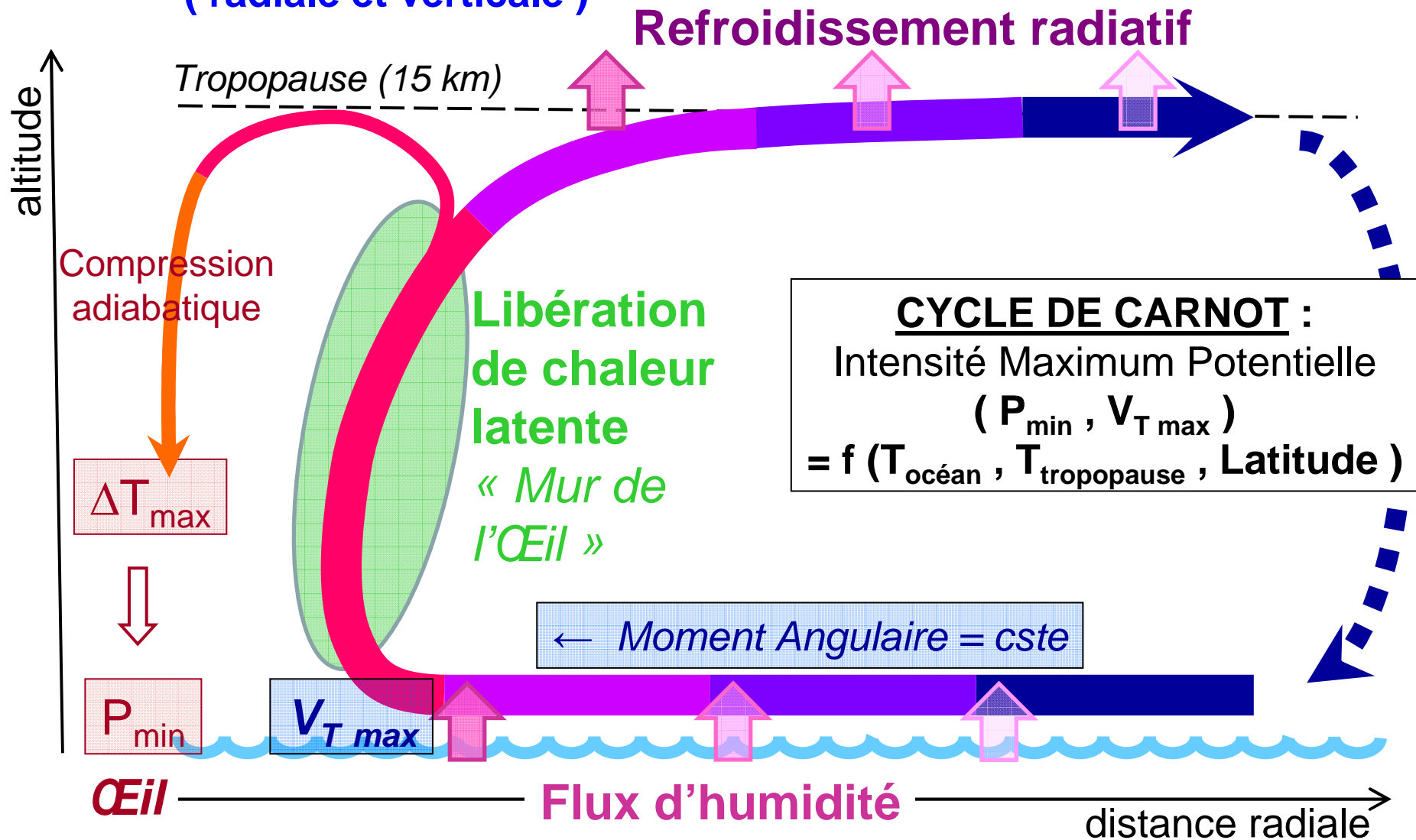
Chan & Williams (1987)  
*J. Atmos. Sci.*, 44, 1257-1265

$$V_T(r, z) = V_{\max} \left( \frac{r}{R_{V_{\max}}} \right) \exp \left[ 2 \left( 1 - \frac{r}{R_{V_{\max}}} \right)^{1/2} \right] \cos \left( \frac{\pi}{2} \frac{z}{z_{\max}} \right)$$

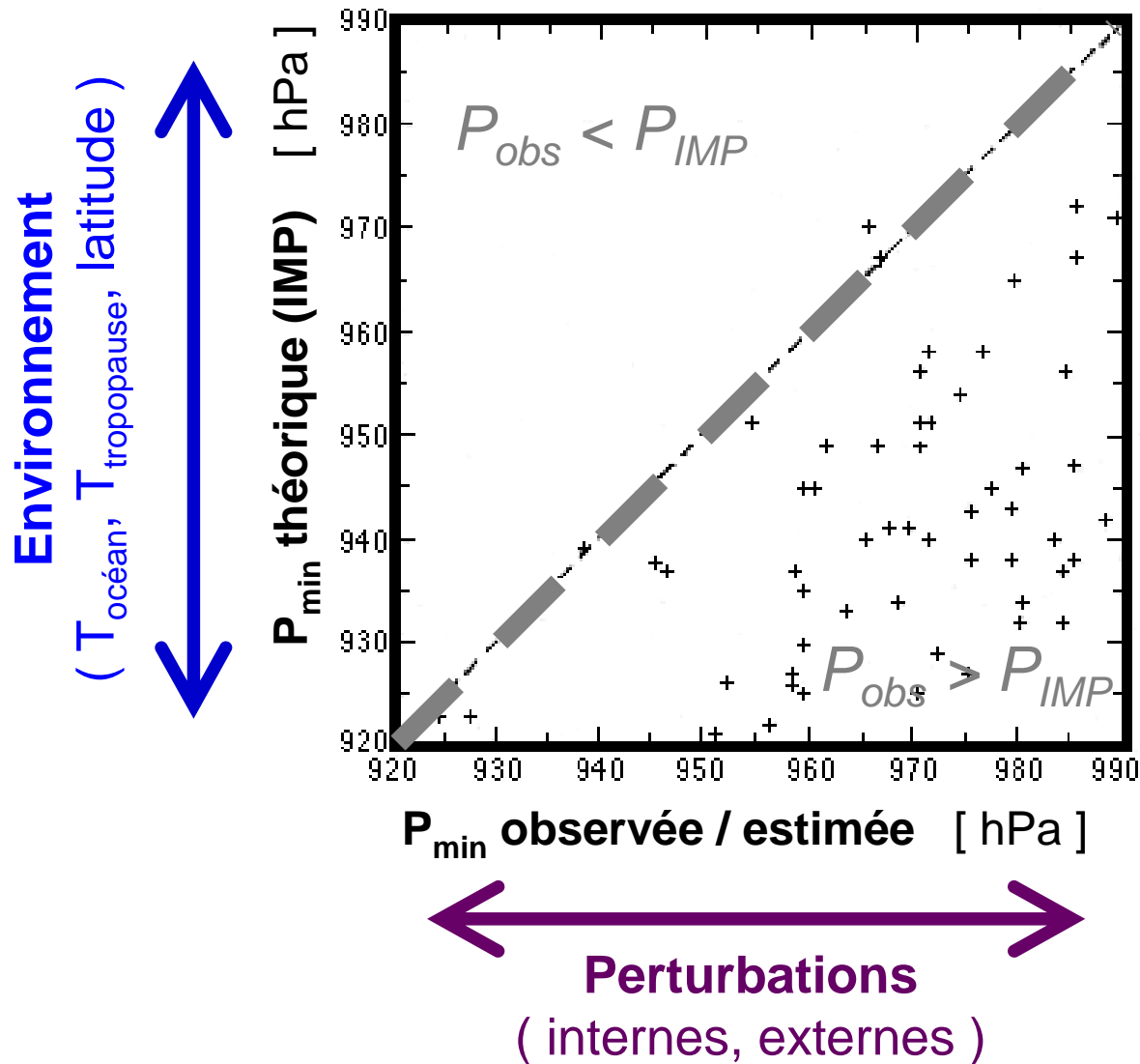


# Équilibre d'un cyclone symétrique

## “CIRCULATION SECONDAIRE” ( radiale et verticale )



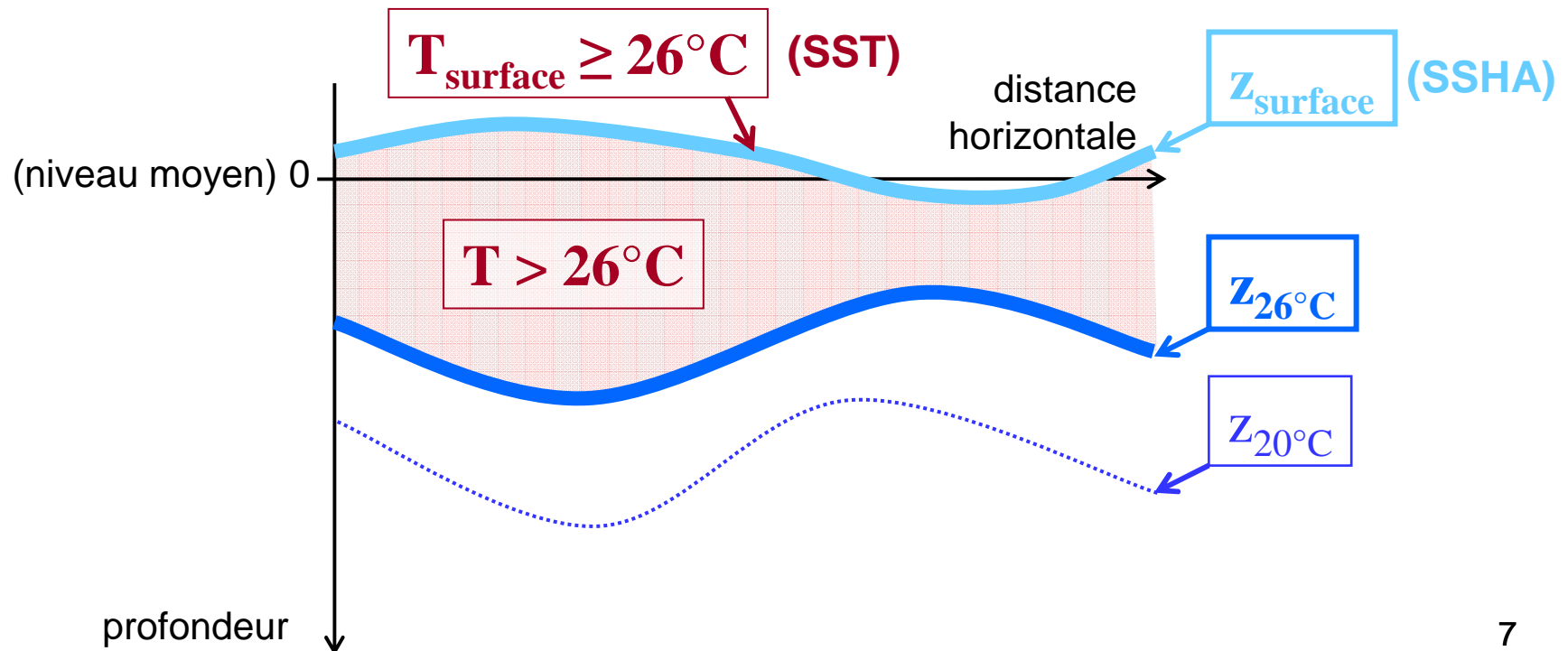
# Mais les cyclones sont rarement symétriques et équilibrés ...



# Perturbations environnementales : Variations de $T_{\text{océan}} / \text{TCHP}$

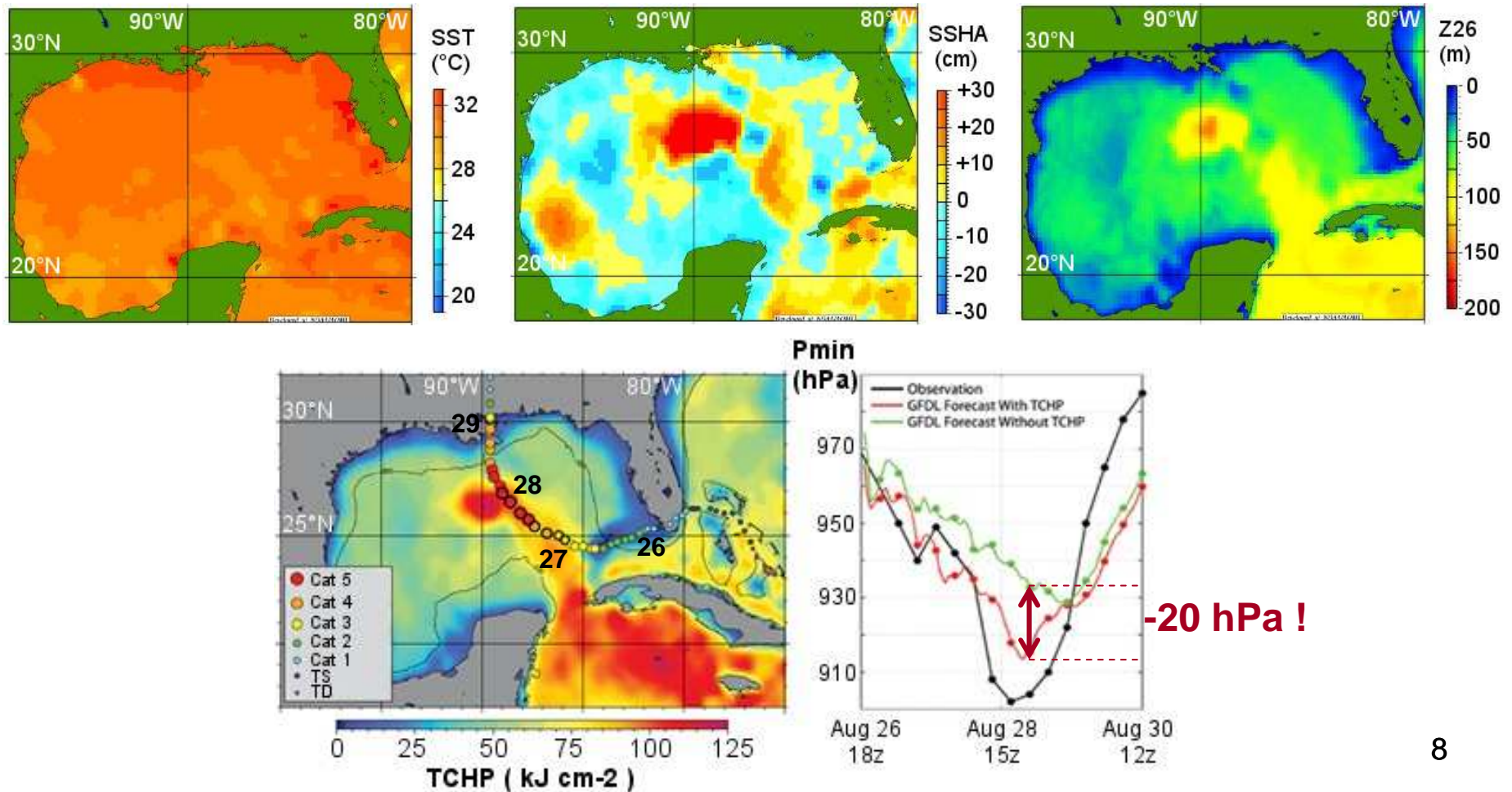
« Tropical Cyclone Heat Potential »

$$= C_p \int_{z_{26}}^{z_{\text{surf}}} \rho(z) [T(z) - 26^\circ\text{C}] dz$$



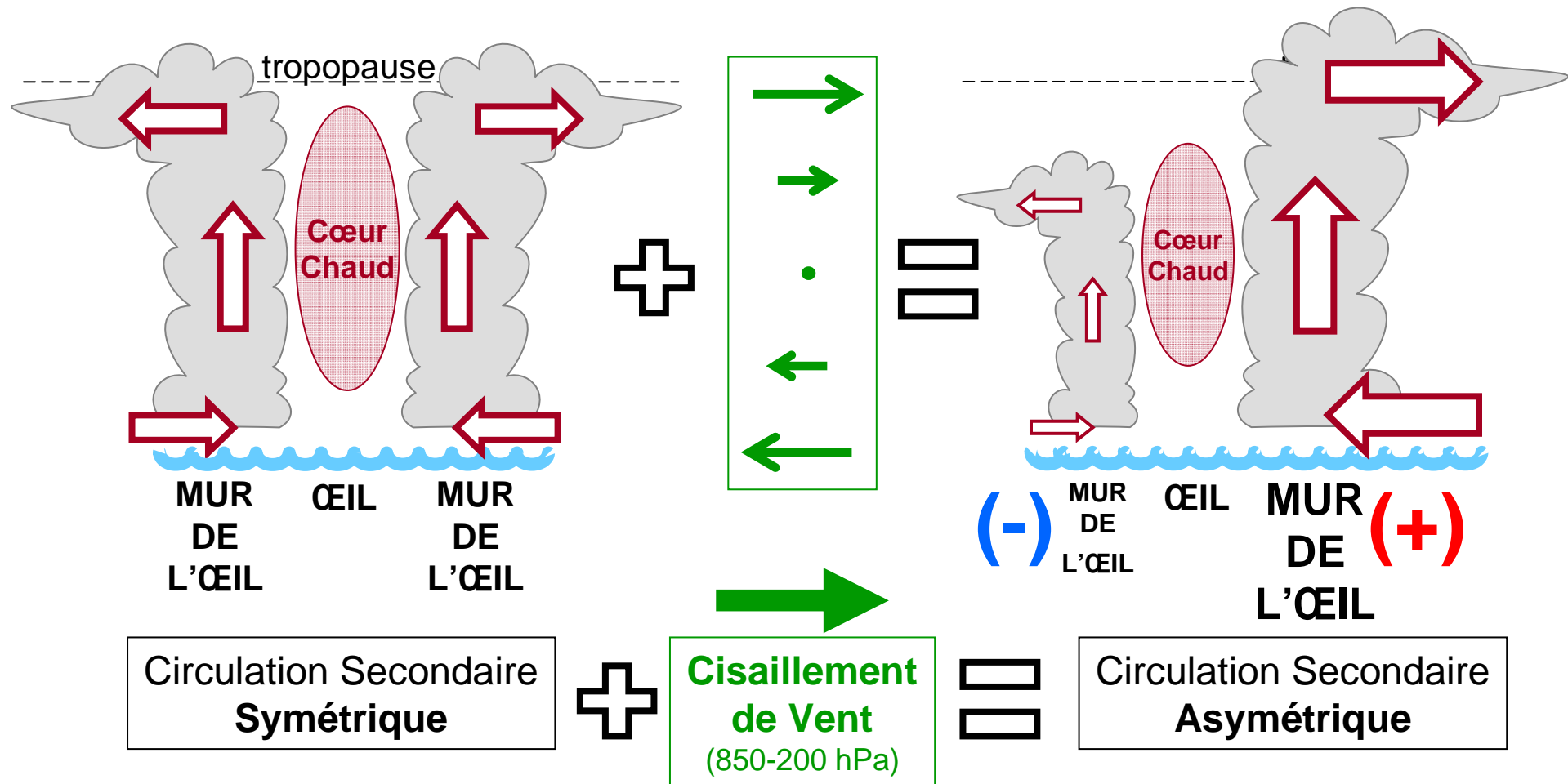
# Perturbations environnementales : Variations de SST / TCHP

Cyclone Katrina / 26 Août 2005





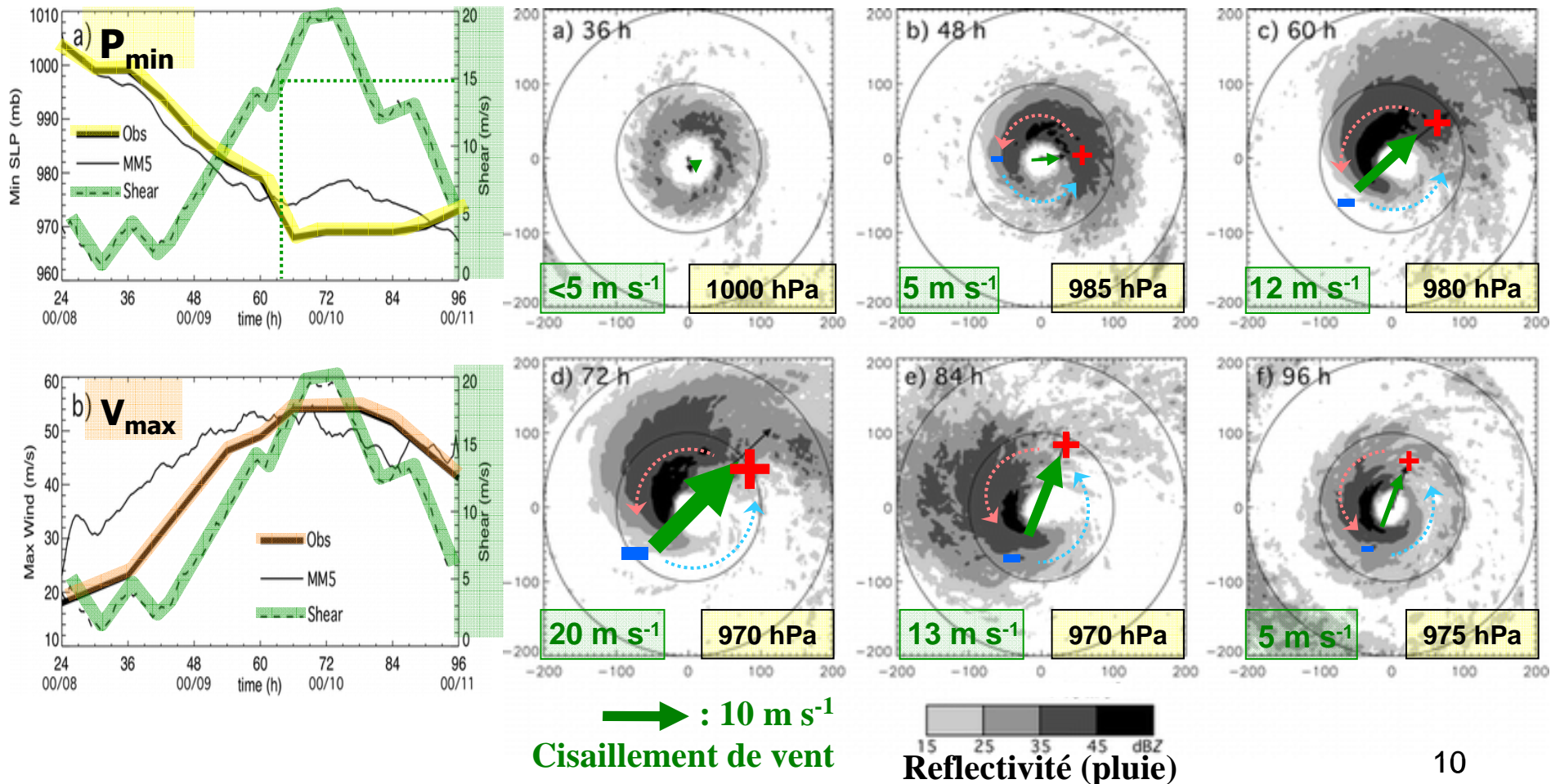
# Perturbations environnementales : Cisaillement (vertical) de vent



# Perturbations environnementales : Cisaillement (vertical) de vent

**Braun & Wu (2007)**  
*Mon. Wea. Rev.*, 135,  
1179-1194

## Cyclone Erin (2001)



# Perturbations environnementales :

- **Intrusion d'air sec**

  - Air Saharien sur l'Atlantique

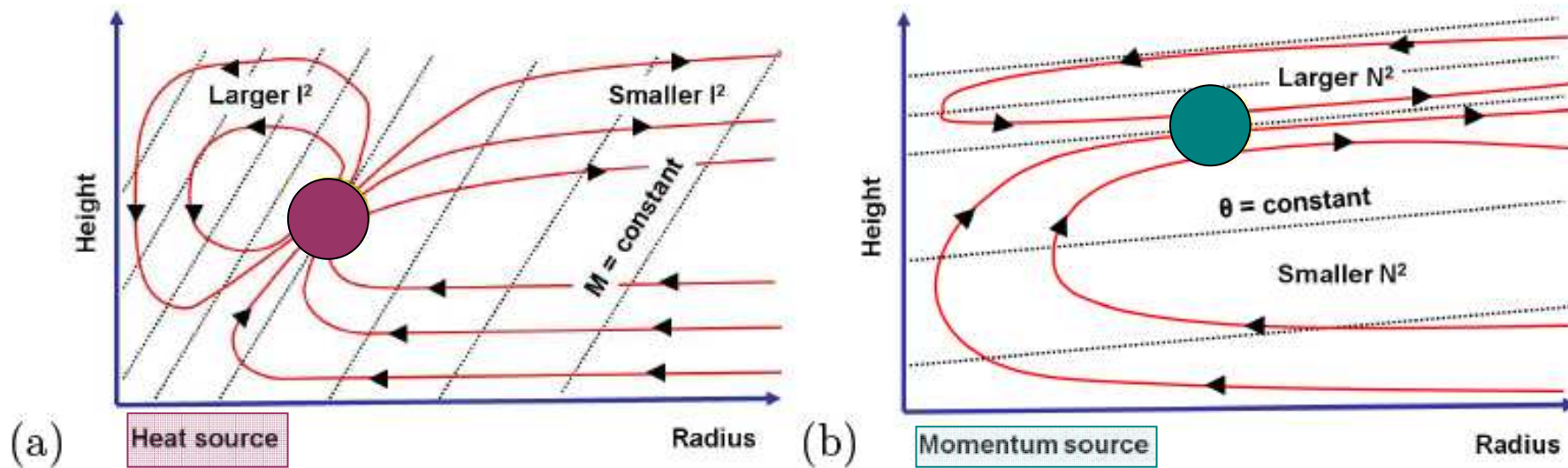
- **Phénomènes de haute troposphère**

  - Thalwegs de Haute Troposphère (TUTT)

**etc ...**

# Variabilité interne : Forçage de la circulation secondaire

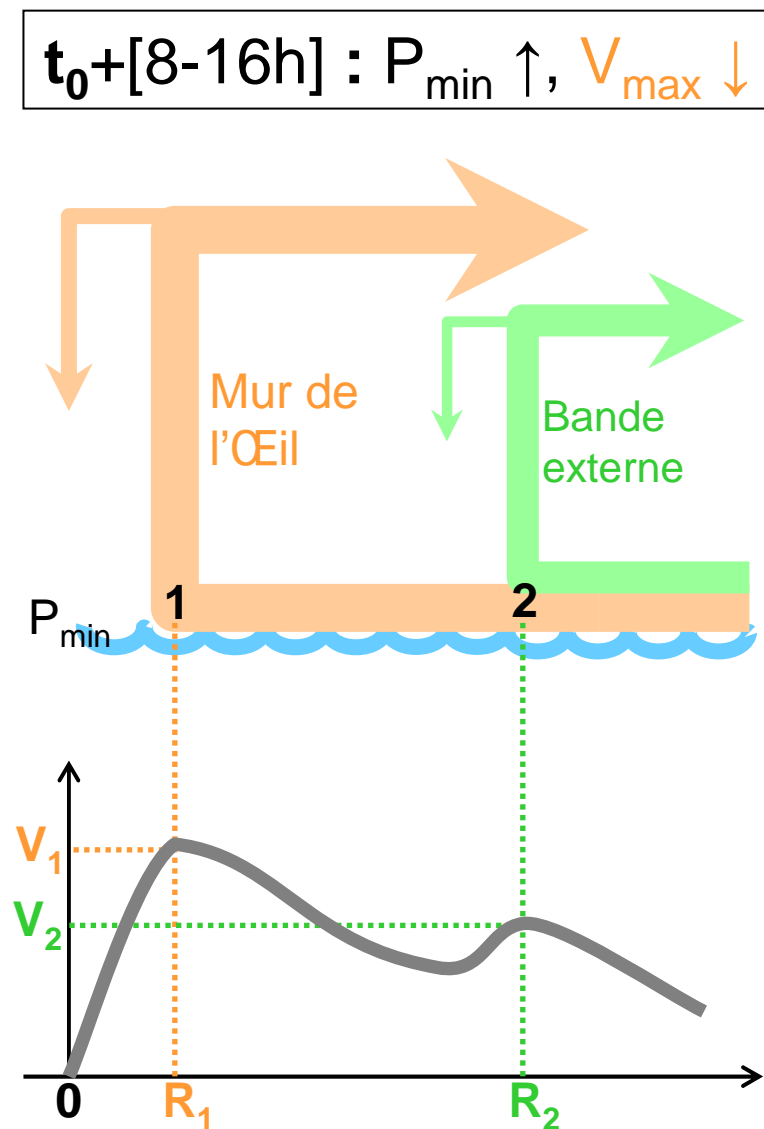
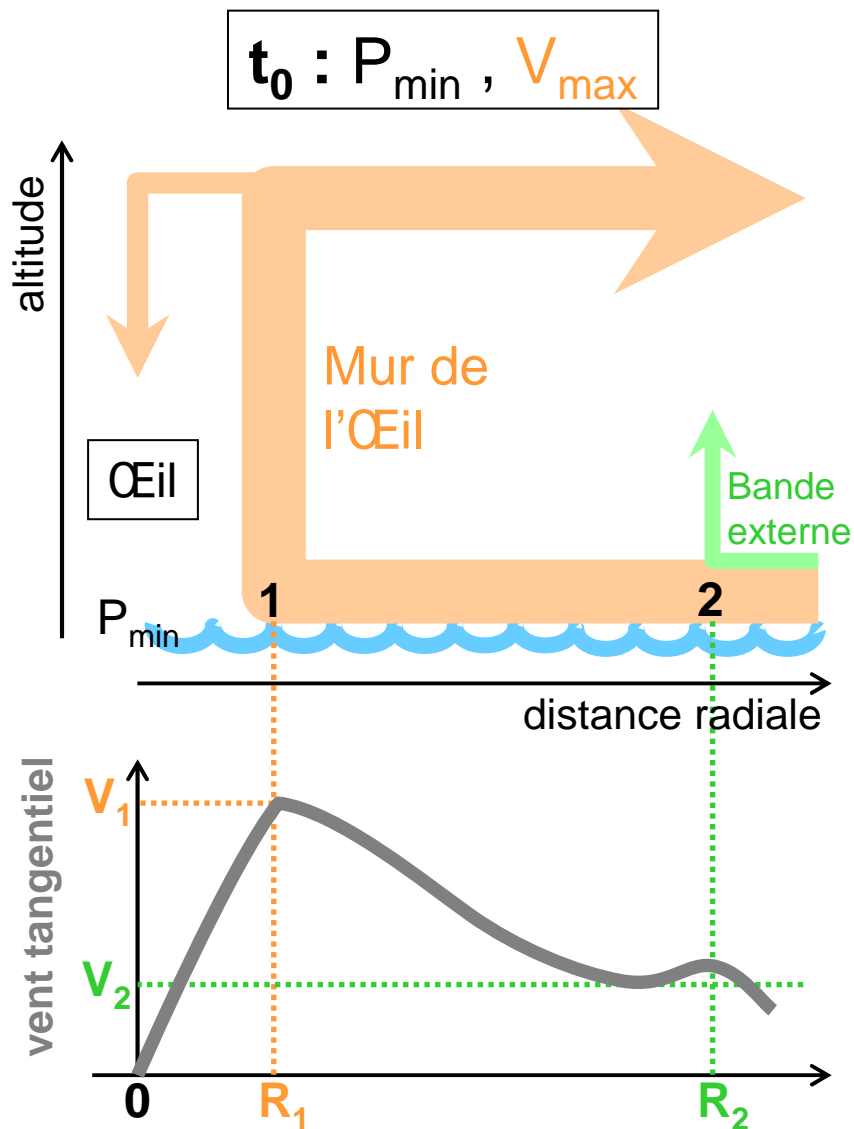
La circulation secondaire forcée par **une source de chaleur** (condensation de vapeur d'eau) ou par **une source de quantité de mouvement (moment angulaire)** produit une convergence radiale qui “resserre” les structures



→ “ Cycle de Remplacement du Mur de l’Œil ” (ERC)

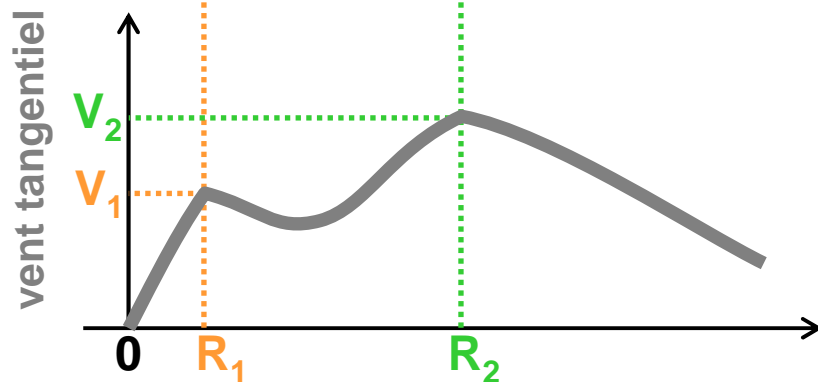
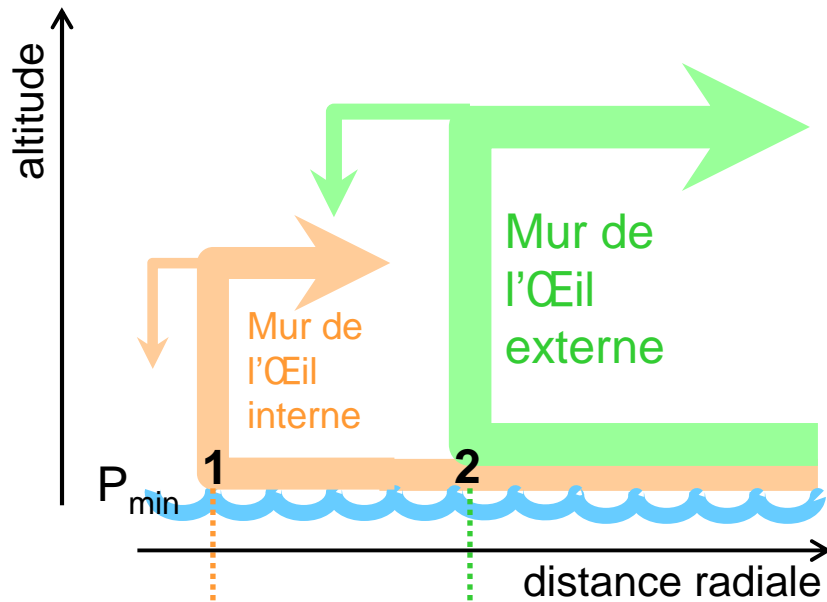
[ H. Willoughby (1995) *J. Atmos. Sci.*, 47, 242-264 ]

# Variabilité interne : Cycle de remplacement du Mur de l'Œil

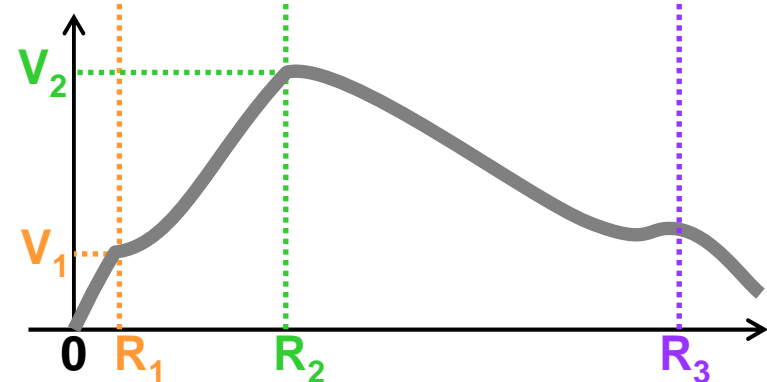
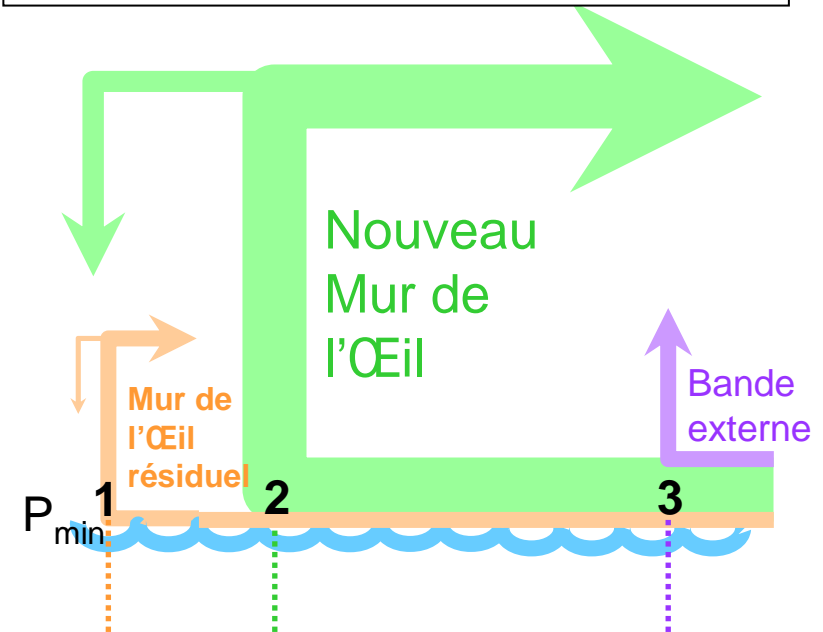


# Variabilité interne : Cycle de remplacement du Mur de l'Œil

$t_0 + [16-32h] : P_{\min} \uparrow, V_{\max} \uparrow$

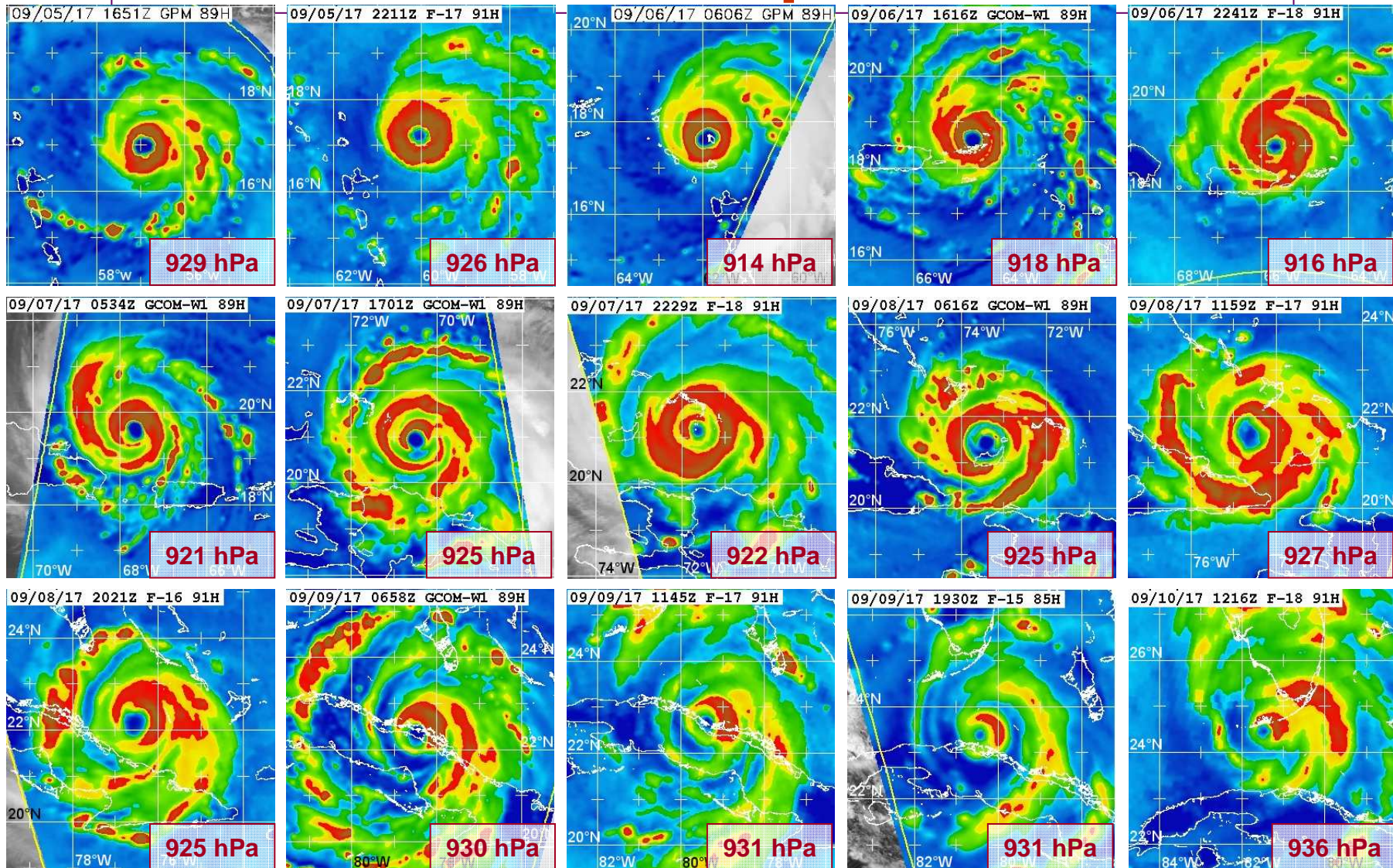


$t_0 + [24-48h] : P_{\min}, V_{\max} (2)$

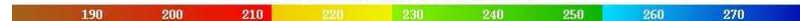


# Variabilité interne :

## ERC : Irma 5-10 septembre 2017



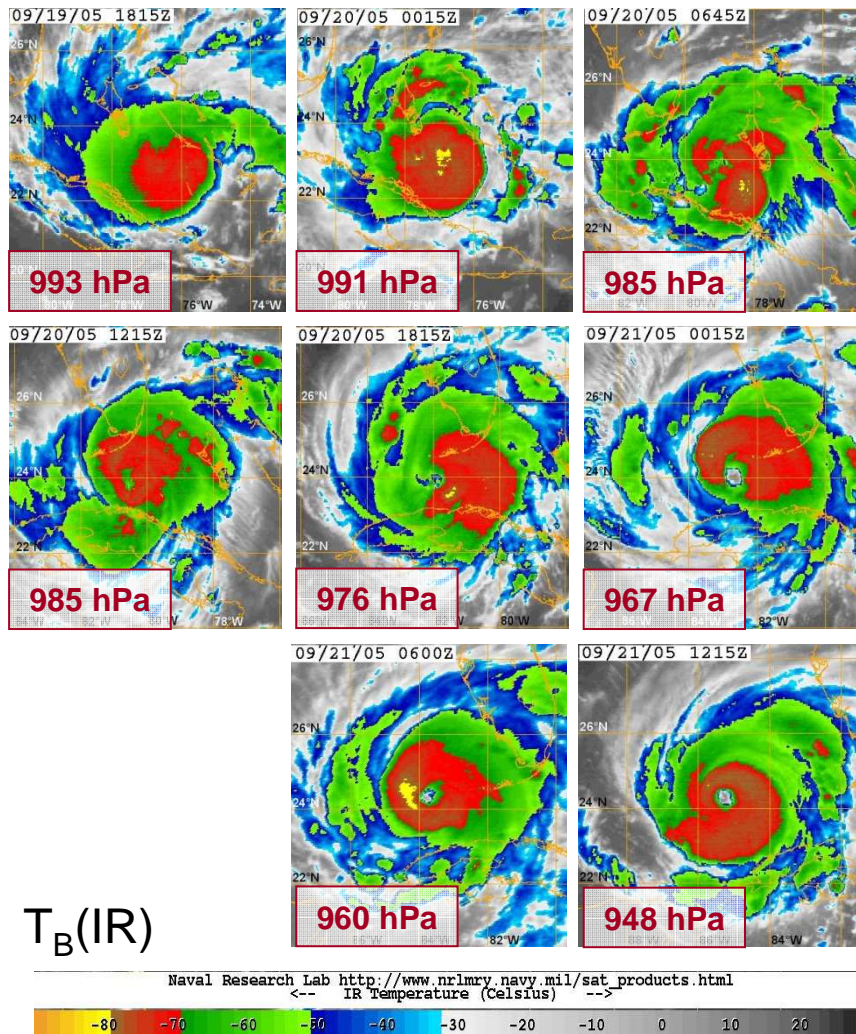
Naval Research Lab [www.nrlmry.navy.mil/sat\\_products.html](http://www.nrlmry.navy.mil/sat_products.html)  
 <-- 89H Brightness Temp (Kelvin) -->



$T_B(89-91 \text{ GHz})$

# Variabilité interne : Forçage asymétrique

Rita  
19-21 septembre 2005



- Développements Convectifs Tourbillonnaires (*Vortical Hot Towers, Eyewall Vorticity Maximums, ...*) : zones de fort courant ascendant et de circulation cyclonique renforcée
- L'axi-symétrisation redistribue le tourbillon par des ondes de Rossby et gravito-inertielles vers une structure symétrique avec un maximum de tourbillon au centre
- L'intensification est plus forte lorsque le(s) DCT(s) se produisent à  $r < R_{V\max}$
- Ce processus est fréquent lors de la cyclogenèse. À maturité il est moins efficace que le forçage symétrique (par ex. lors d'un ERC).



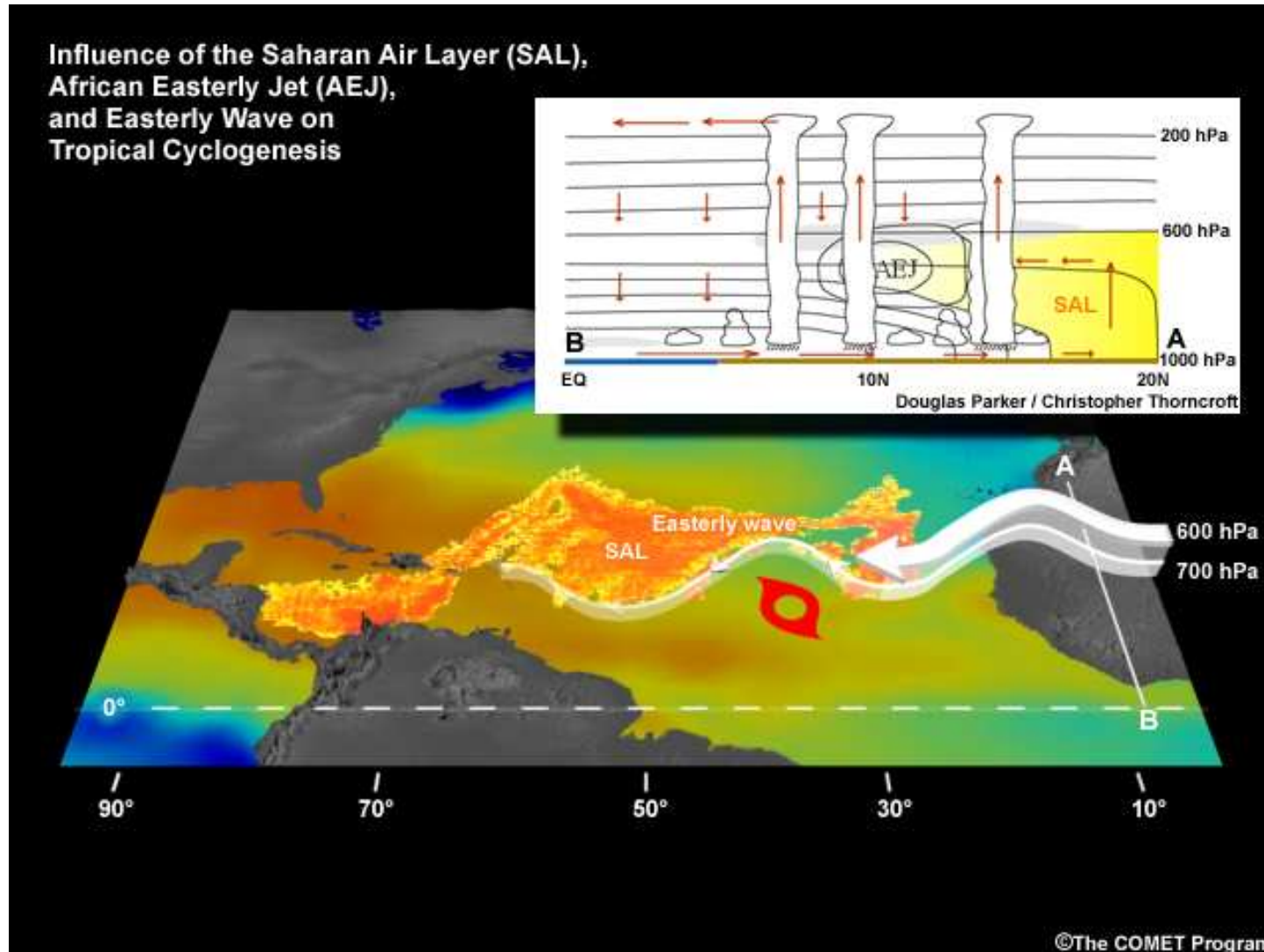
# Conclusions

- Pas de mesures directes de  $P_{\min}$ ,  $V_{\max}$ ,  $R_{V_{\max}}$  (sauf sur l'Atlantique Nord) → Estimations par la méthode de Dvorak (images satellite en VIS, IR, MW) → **Aeroclippers** !
- Les modèles numériques avec résolution kilométrique, convection explicite et couplage OA simulent correctement les structures et les intensités cycloniques, mais le phasage est difficile → **bonnes prévisions de Météo-France avec « AROME-Antilles » pour Irma et Maria (2017) !**
- Evolution climatique : augmentation des précipitations même pour les cyclones peu intenses ? Intensité Maximum Potentielle croît mais quel pourcentage d'accomplissement ? Perturbations océaniques (SST, TCHP) et atmosphériques (cisaillement, humidité, TUTT, ... ) ?

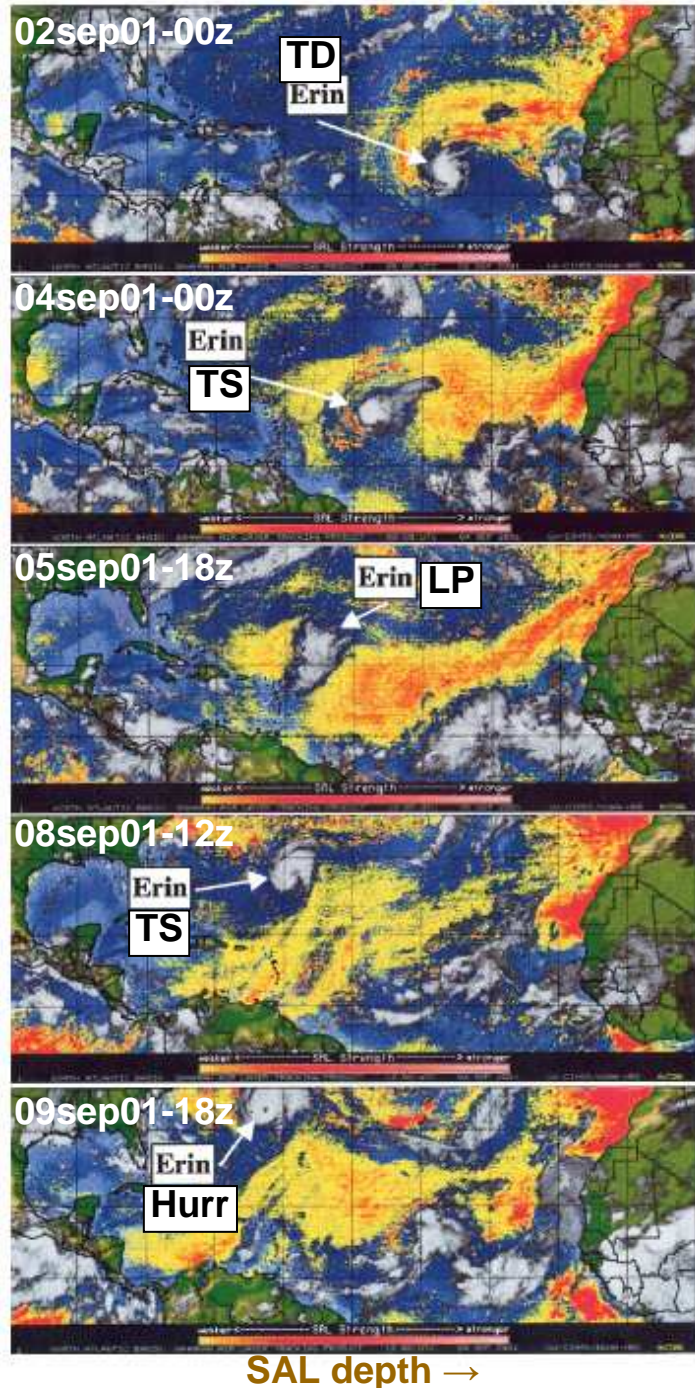


# Perturbations environnementales :

## Intrusion d'air sec



# Perturbations environnementales : Intrusion d'air sec



## Impact sur les cyclones Atlantiques :

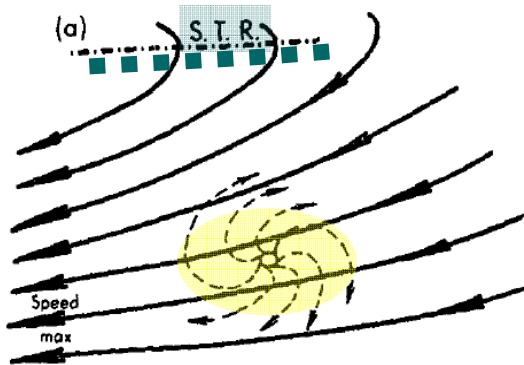
- Inversion de basses couches  $\Delta T_{SAL} \approx 5-10^{\circ}\text{C}$
- Intrusion d'air sec à 850-600 hPa
- Renforcement du cisaillement de vent  
(Jet d'Est Africain plus intense vers 700 hPa)
- Impact plus marqué pour les systèmes en développement (dépression ou tempête)
- Influence des aerosols sur la microphysique
- L'air saharien se propage sur de grandes distances, en conservant ses caractéristiques
- Les images satellite permettent d'identifier ces évènements

Dunion & Velden (2004)

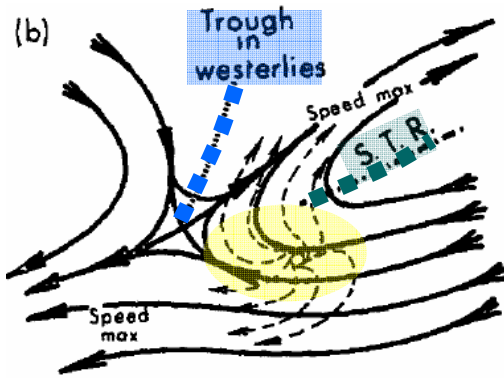
*Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 353-365

# Perturbations environnementales : Phénomènes de haute troposphère

Sadler (1976)  
*Mon. Wea. Rev.*, 104, 1266-1278

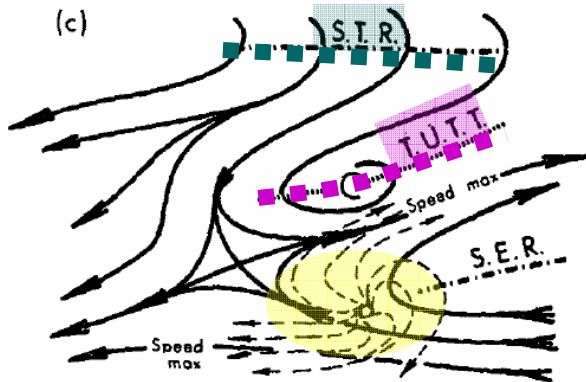


**Au S de la dorsale subtropicale** : le flux de NE intensifie le cisaillement de vent et atténue le mouvement anticyclonique d'altitude → **Défavorable**



( Automne )

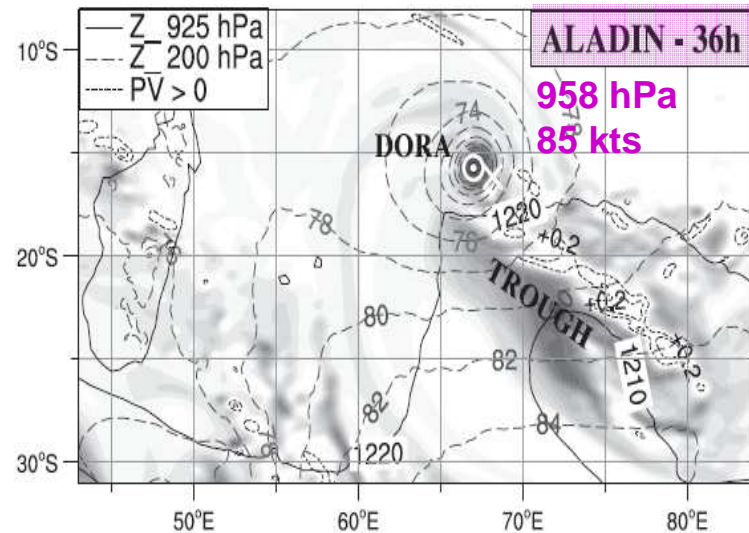
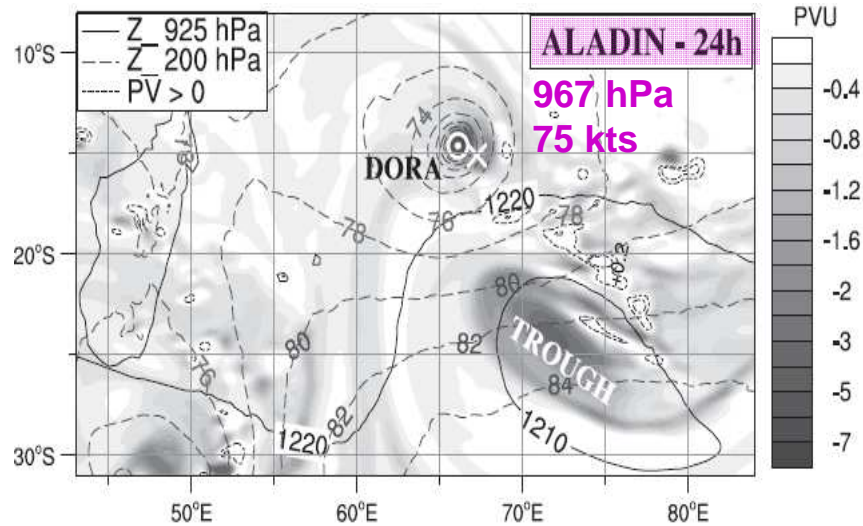
**À l'E d'un thalweg des latitudes moyennes** : le flux de SW renforce la circulation anticyclonique et divergente au N du cyclone → **Favorable**



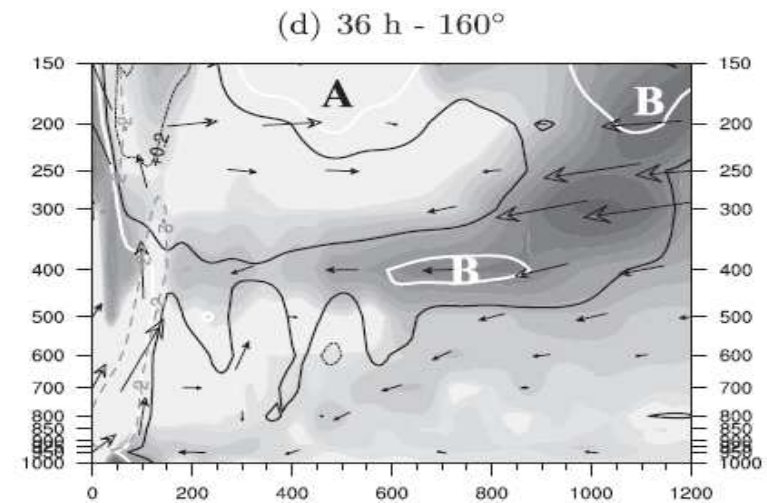
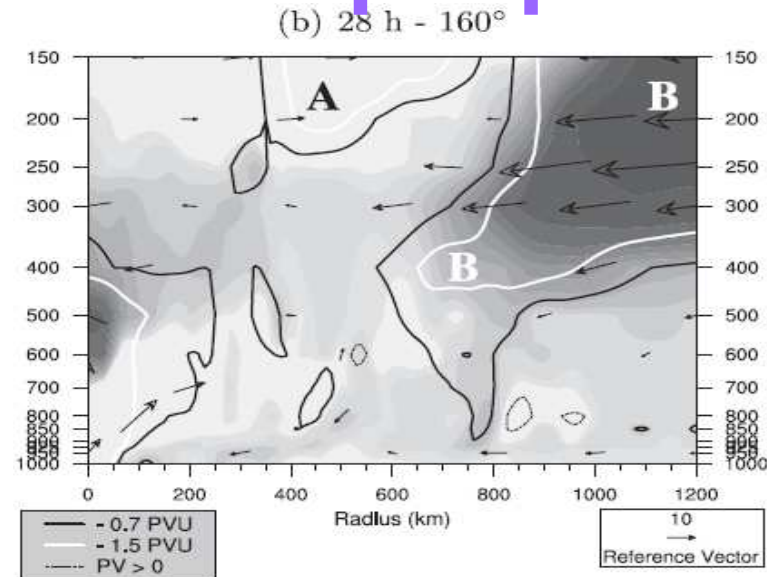
( Été )

**Au S d'un « Tropical Upper Tropospheric Trough »** la circulation anticyclonique et divergente est plus forte au N du cyclone → **Favorable**

# Perturbations environnementales : Phénomènes de haute troposphère



Aladin-Reunion forecast for TC Dora  
from 0600 UTC 31 Jan 2007

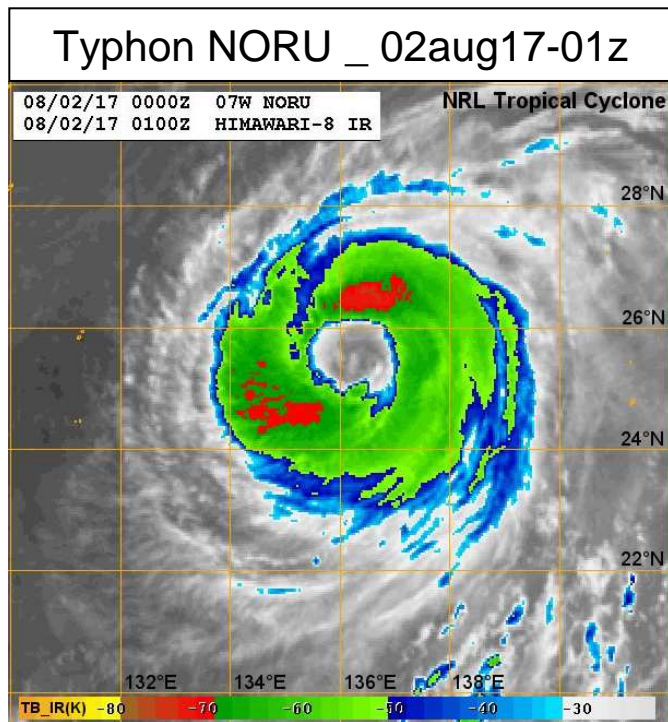


Radius–pressure cross sections  
of PV radial advection

Leroux *et al.* (2013)  
*J. Atmos. Sci.*, **70**, 2547-2565

# Variabilité interne :

## Cyclone intense et symétrique



- La stabilité inertielle ( $2 V_T / r + f$ ) augmente
- L'air converge en basses couches avec un plus long temps de trajet
- L'enthalpie ( $Lq + C_p T$ ) augmente par les flux océan-atmosphère
- L'énergie convective potentielle (CAPE) augmente
- La libération de chaleur latente dans le Mur de l'Œil augmente
- La subsidence forcée dans l'Œil augmente
- L'anomalie chaude de moyenne troposphère augmente
- La dépression centrale se creuse
- Le vent tangentiel  $V_T$  se renforce et le rayon de vent maximum  $R_{V_{max}}$  diminue
- ...