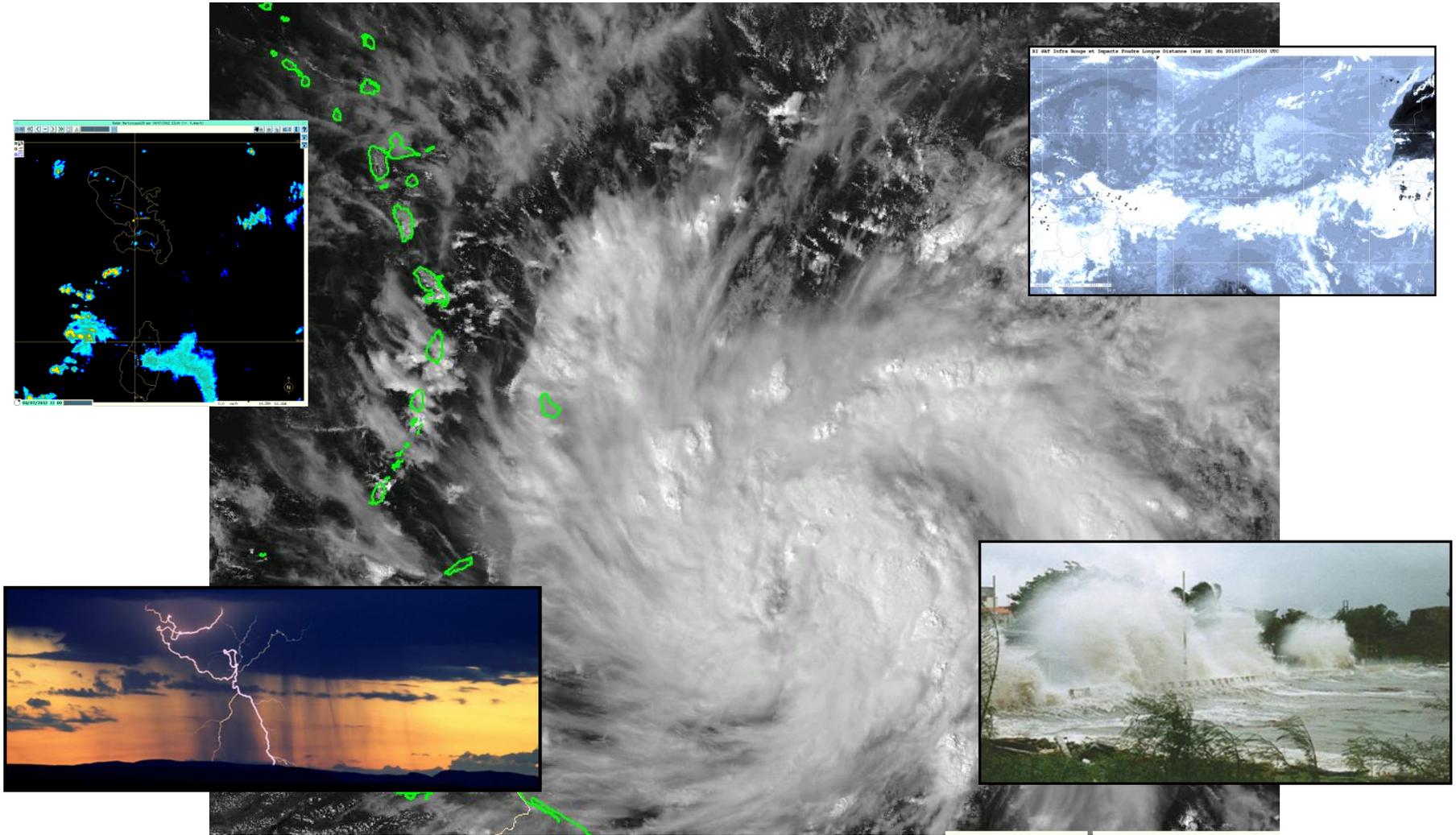


# Eléments de la météorologie aux Antilles



# PLAN

- 1- Un peu de climatologie**
- 2- Généralité sur les éléments qui pilotent la météo des Antilles**
- 3- la Z.I.C et l'anticyclone des Açores**
- 4- Les ondes tropicales**
- 5- Les cyclones tropicaux**
- 6- Les autres perturbations météorologiques**

# Climat tropical maritime : Saison sèche / Saison des pluies

**Le calendrier des saisons (en première approche ...)**

**Saison sèche (« Carême ») : Mi-Janvier / Avril**

**Saison des pluies (« Hivernage ») : Juin / Novembre**  
incluant la saison cyclonique

**Intersaisons : Mai et Décembre-Mi-Janvier**

**Pour l'approche climatologique**

Le paramètre important : **la pluie**

Les paramètres secondaires : **le vent, la température, l'ensoleillement/le rayonnement**

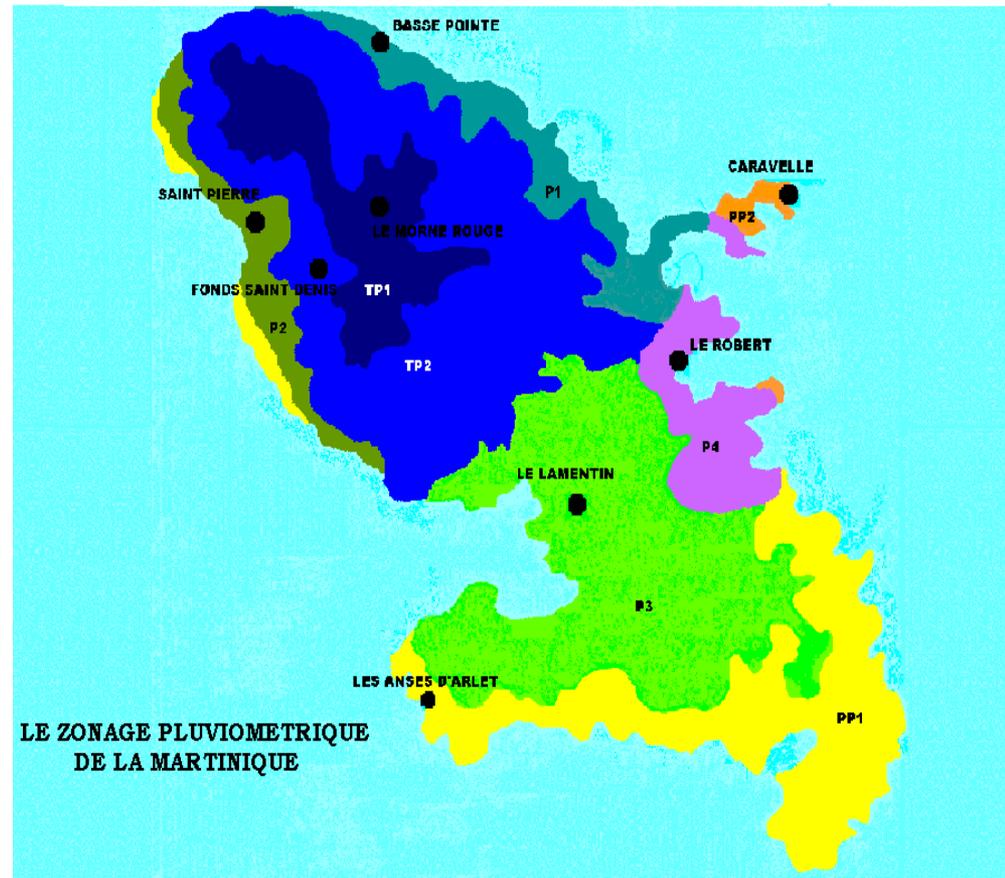
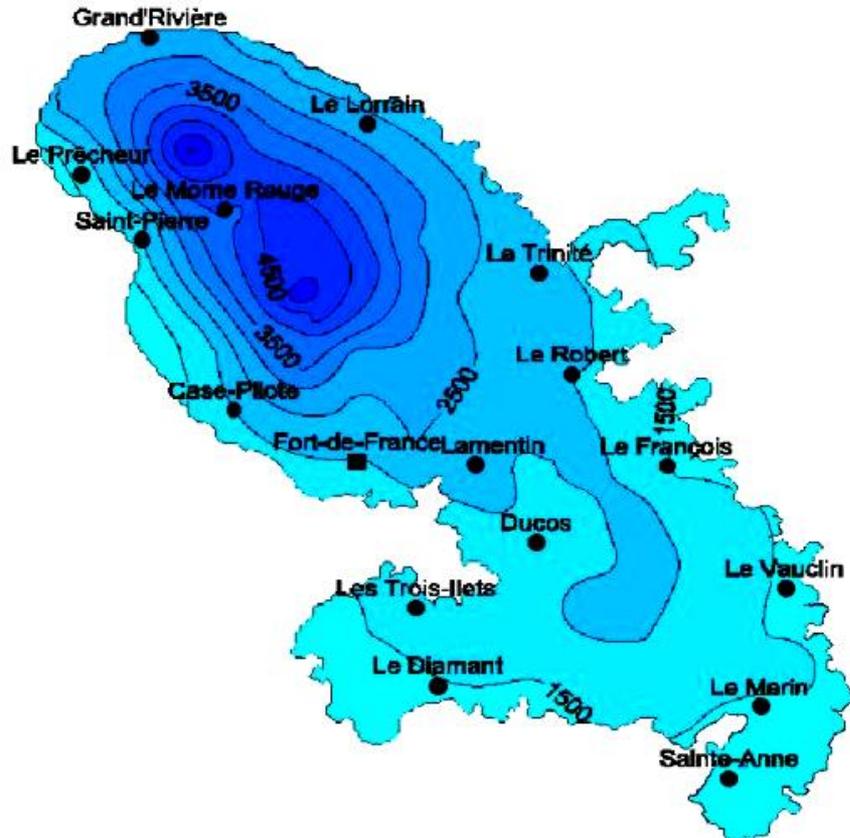
Le paramètre à oublier ...ou presque : **la pression atmosphérique**



# Climat tropical maritime : La pluie

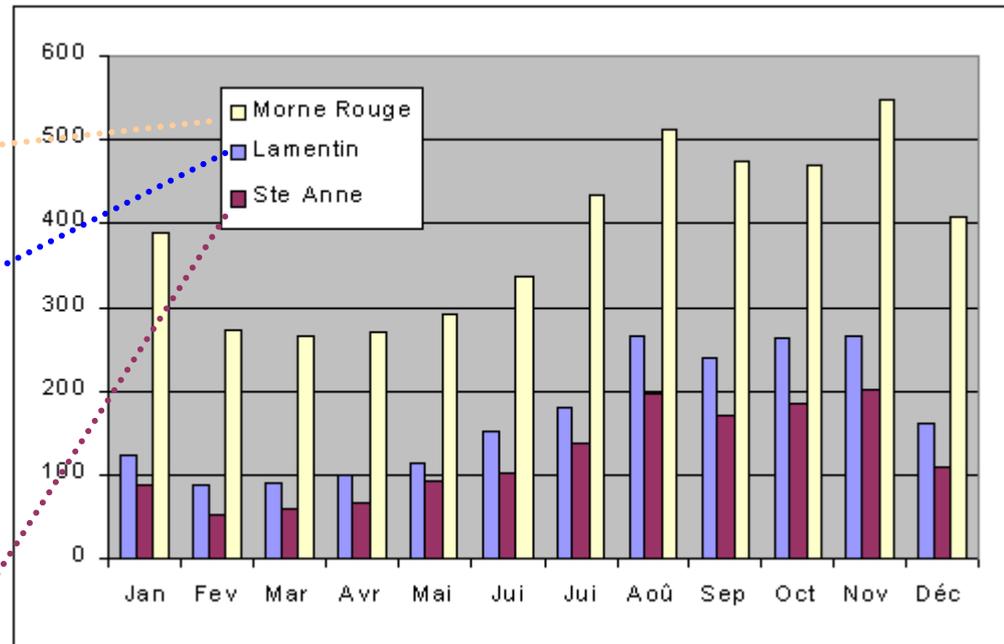
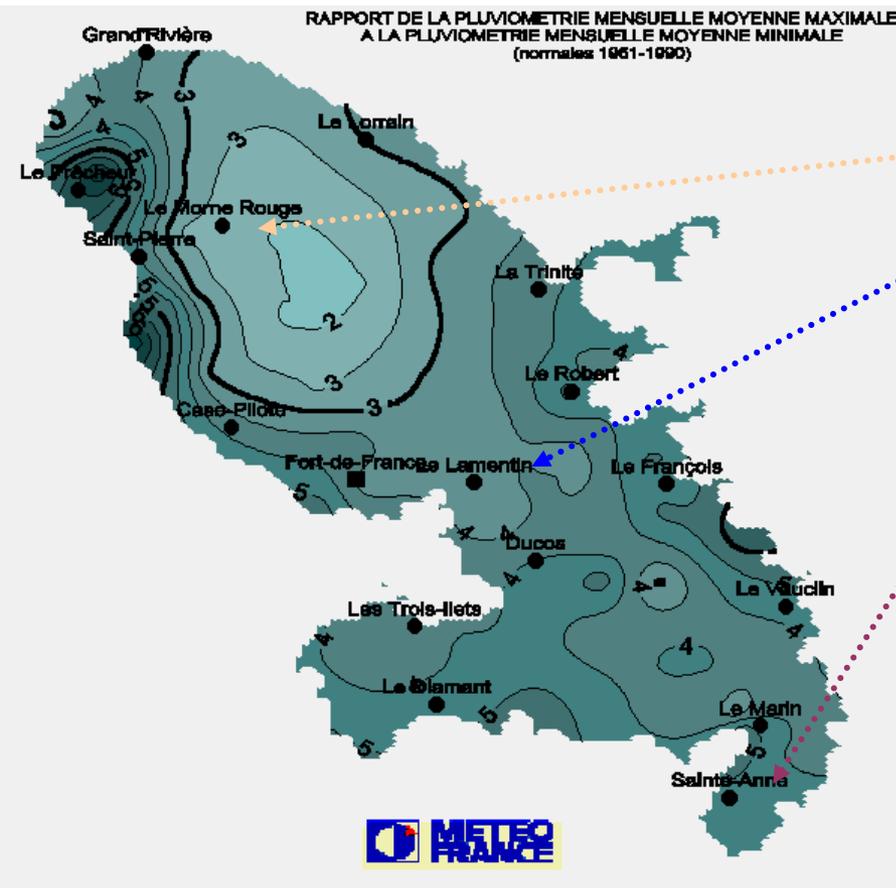
## Répartition spatiale

Pluviométrie moyenne annuelle  
(en mm=l/m<sup>2</sup>)



# Climat tropical maritime : La pluie

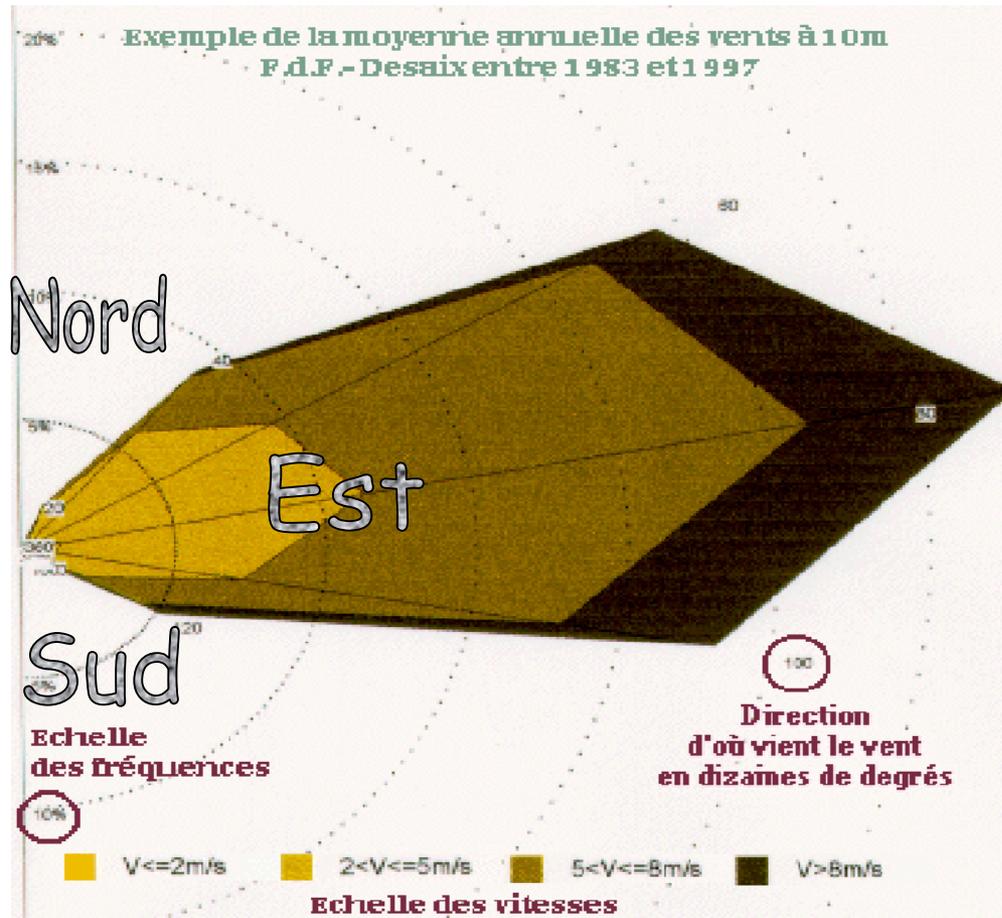
## Répartition temporelle



# Climat tropical maritime : Le vent

le régime des alizés ... en partie lié à l'anticyclone des Açores

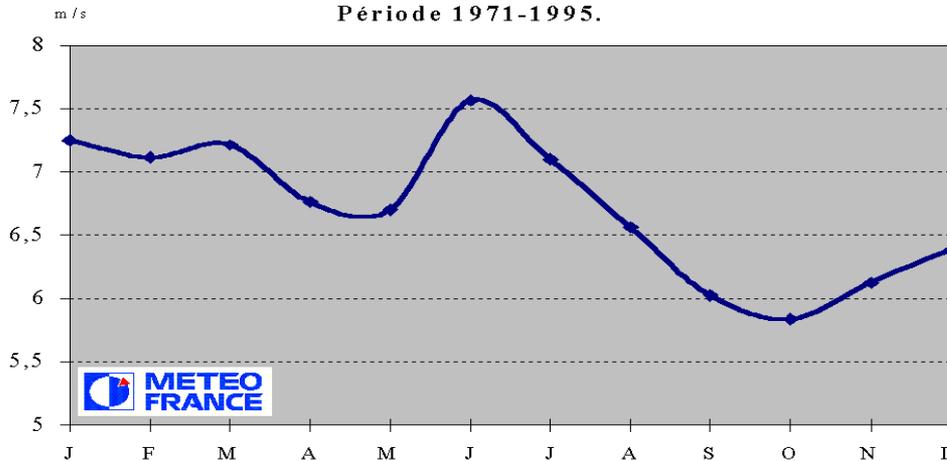
R  
o  
s  
e  
d  
e  
s  
v  
e  
n  
t  
s



# Climat tropical maritime : Le vent

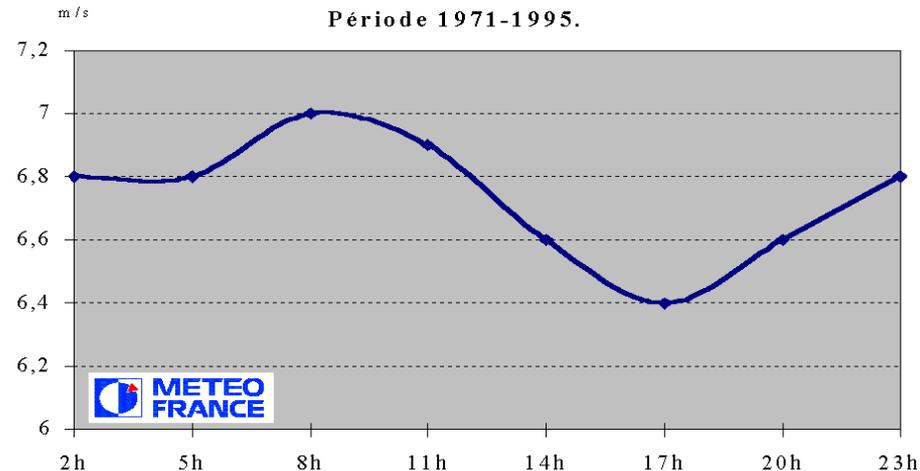
## Saisonnalité et variation quotidienne liée à la marée barométrique \*

Variation annuelle de la vitesse moyenne du vent.  
Station TRINITE Caravelle.  
Période 1971-1995.



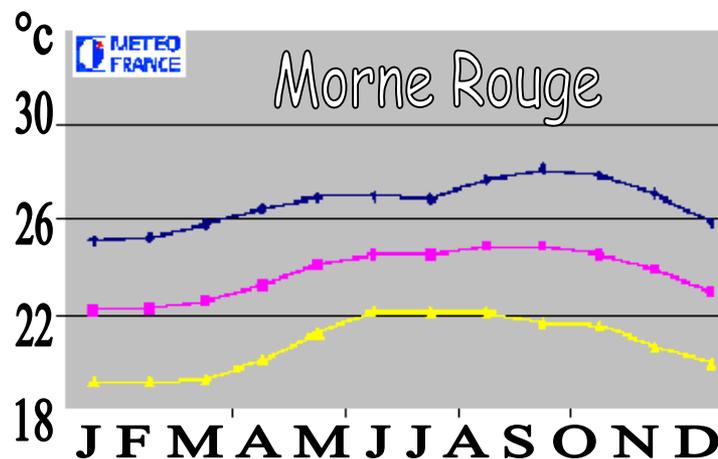
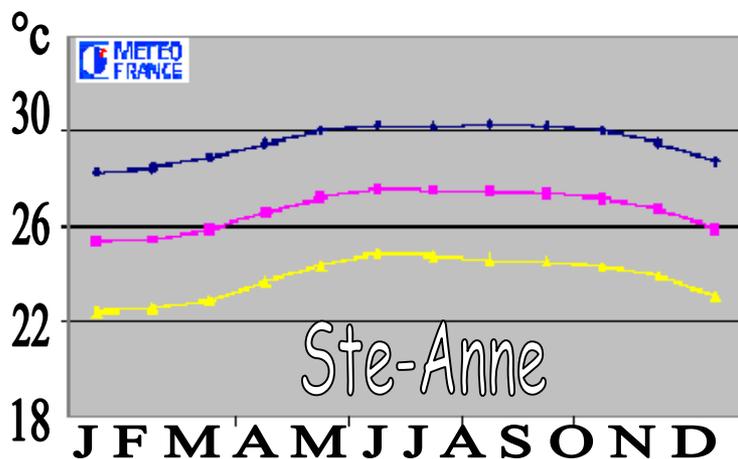
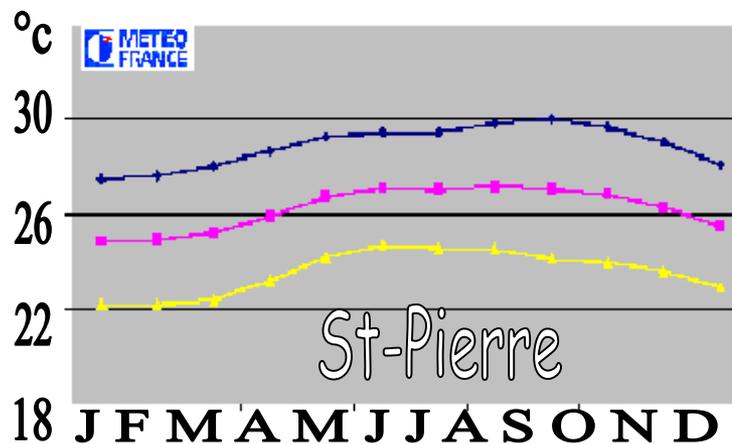
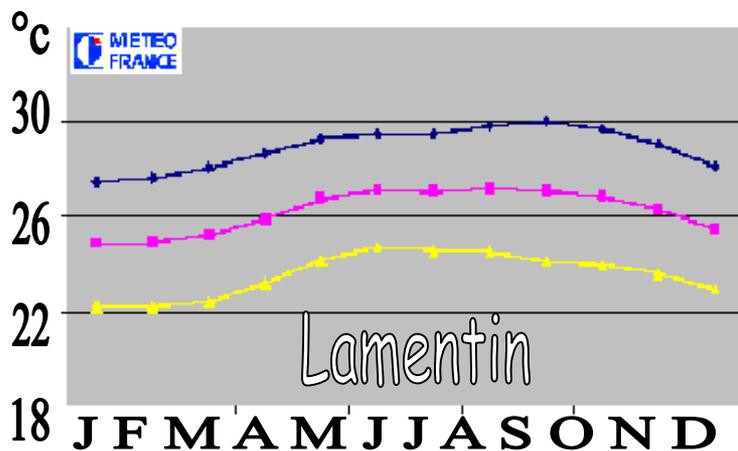
\* Comme l'océan, l'atmosphère est soumise à l'attraction des astres. La pression atmosphérique en un point oscille, présentant deux maximums et deux minimums par jour. C'est la marée barométrique. L'amplitude de cette variation dépend de la latitude : négligeable aux pôles, elle peut atteindre plusieurs hectopascals sous les tropiques.

Variation quotidienne de la vitesse moyenne du vent.  
Station TRINITE Caravelle.  
Période 1971-1995.



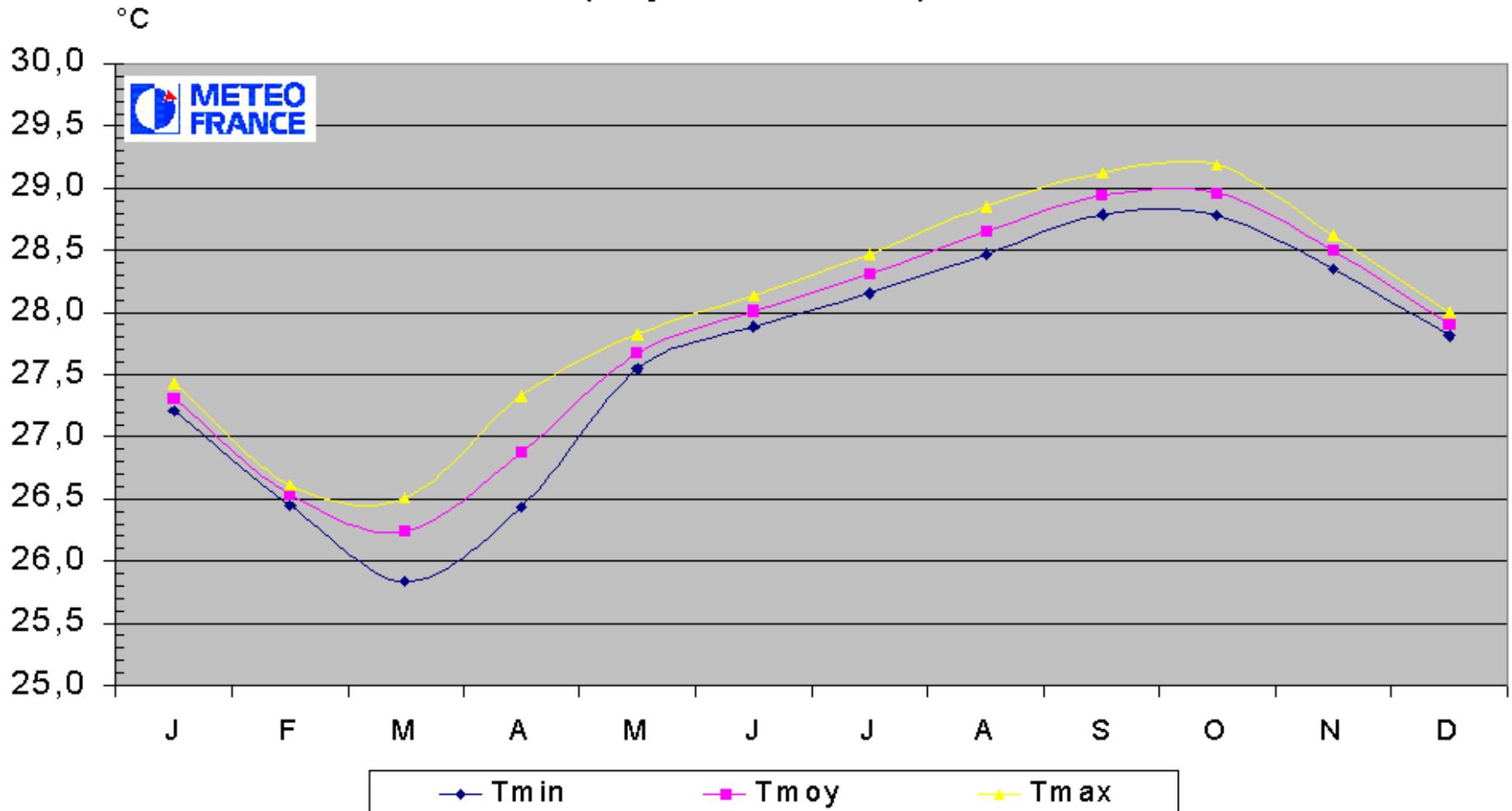
# Climat tropical maritime : Les températures

Saisonnalité boréale : les mois les plus chauds ne sont pas les plus beaux

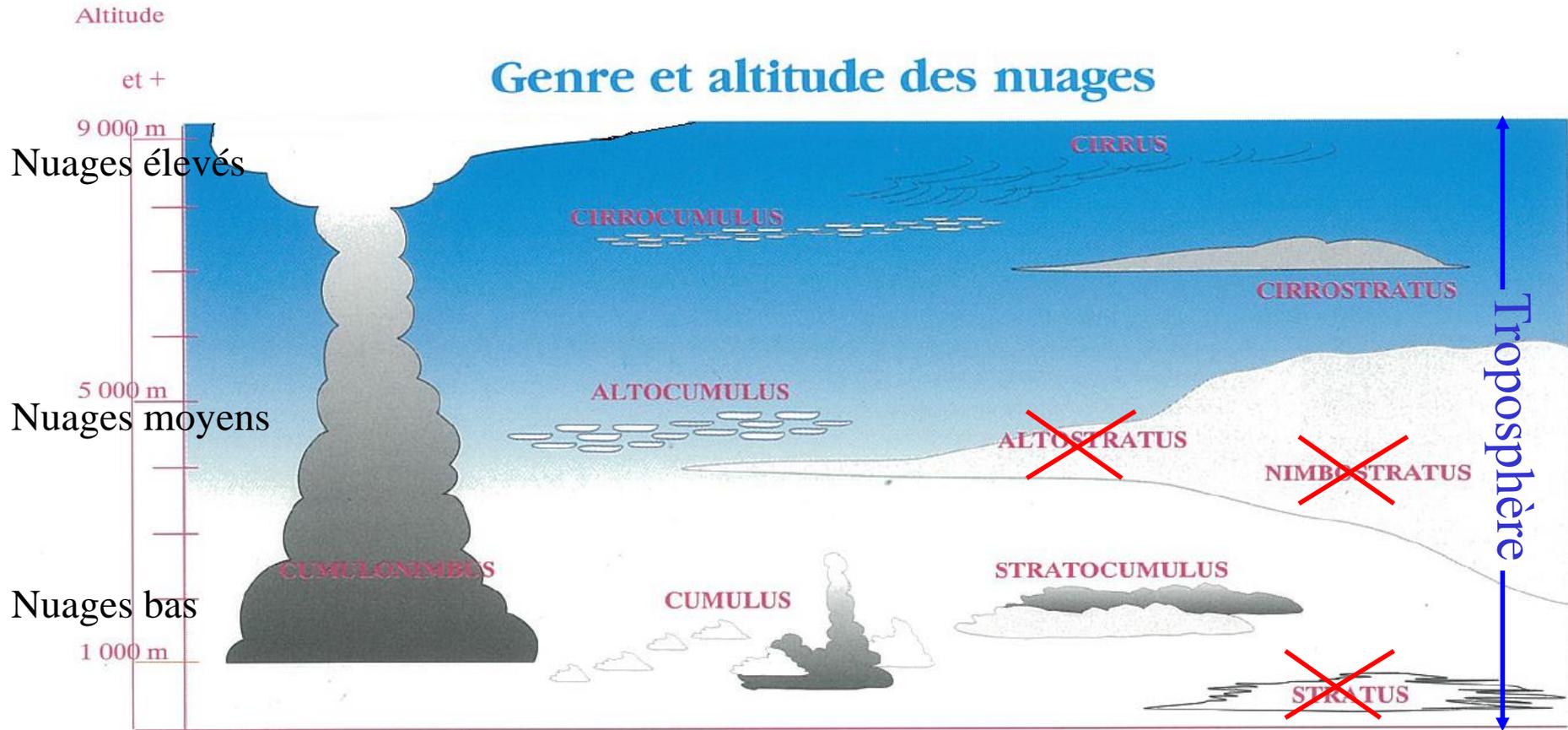


# Climat tropical maritime : La température de surface de la mer

Température de la mer au large de Grand'Rivière.  
(moyenne 1995-1997)

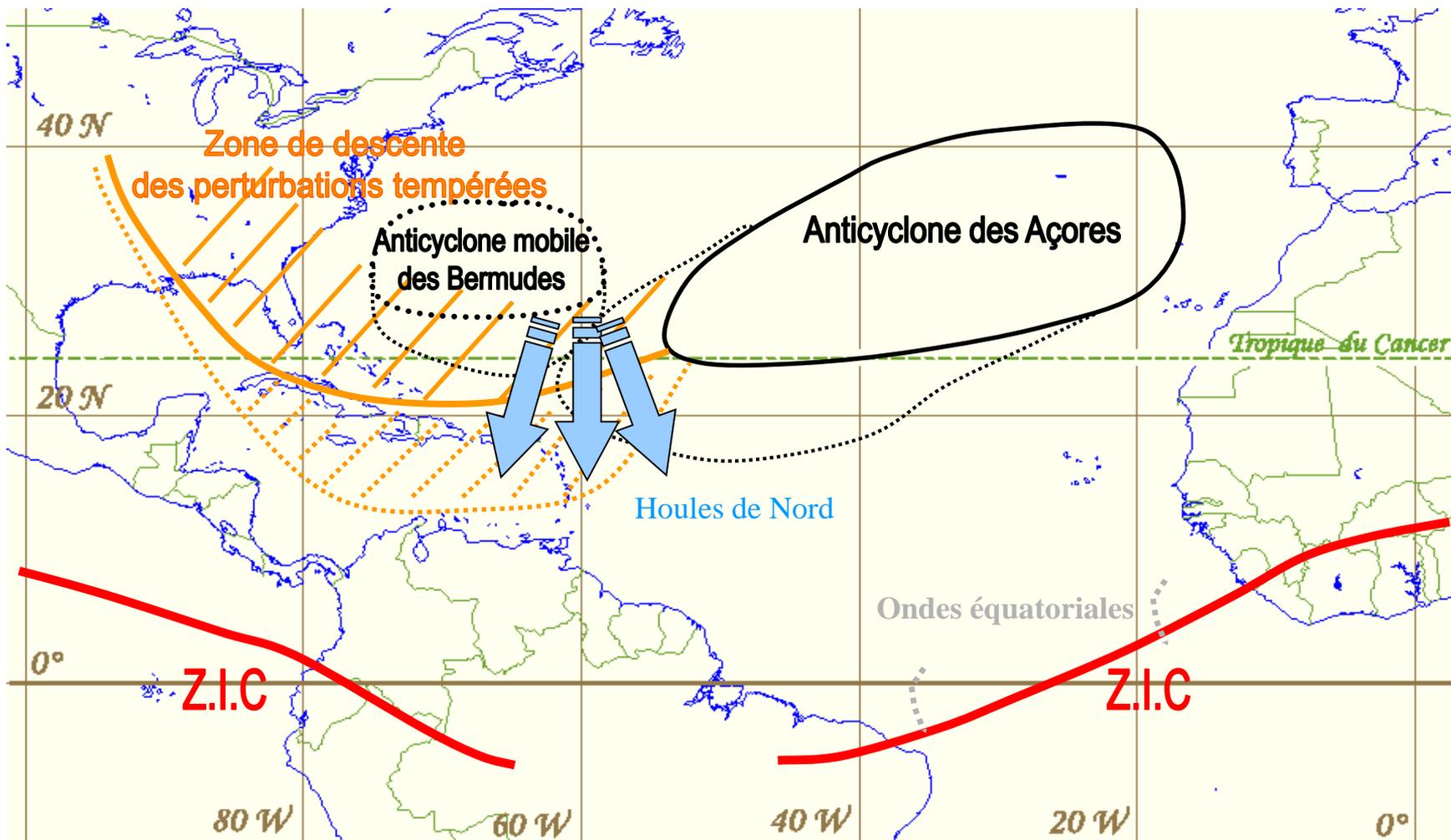


# Climat tropical maritime : Les types de nuages prédominants



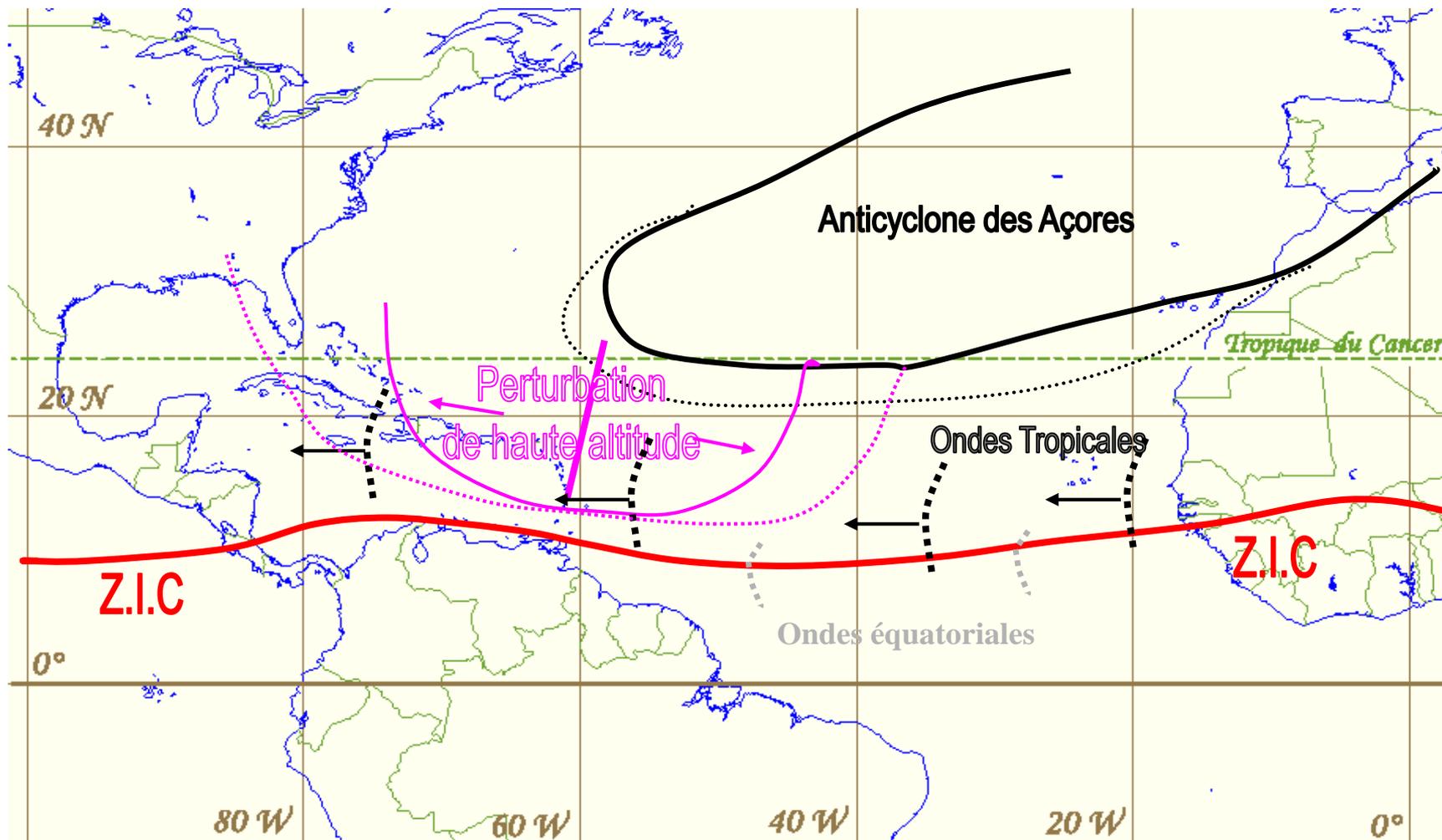
# Les grands centres d'actions et éléments prépondérants

En « Carême »



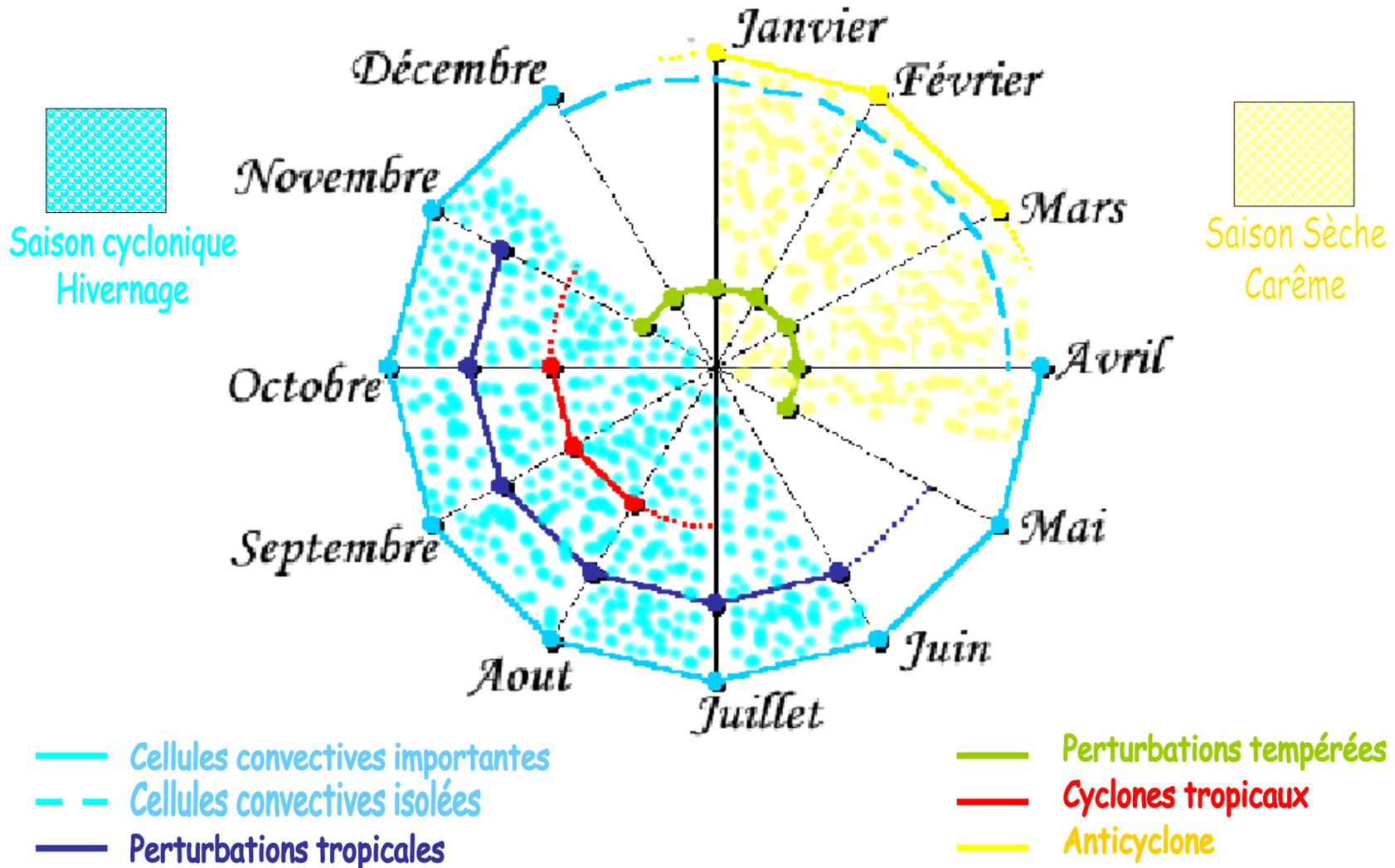
# Les grands centres d'actions et éléments prépondérants

En « Hivernage »



# La saisonnalité des phénomènes météo aux Antilles

Périodes d'observations des phénomènes météorologiques influençant le temps sur la Martinique





# La Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZIC / ZCIT)

**ZIC = Equateur météorologique ou équateur solaire (points au zénith)**

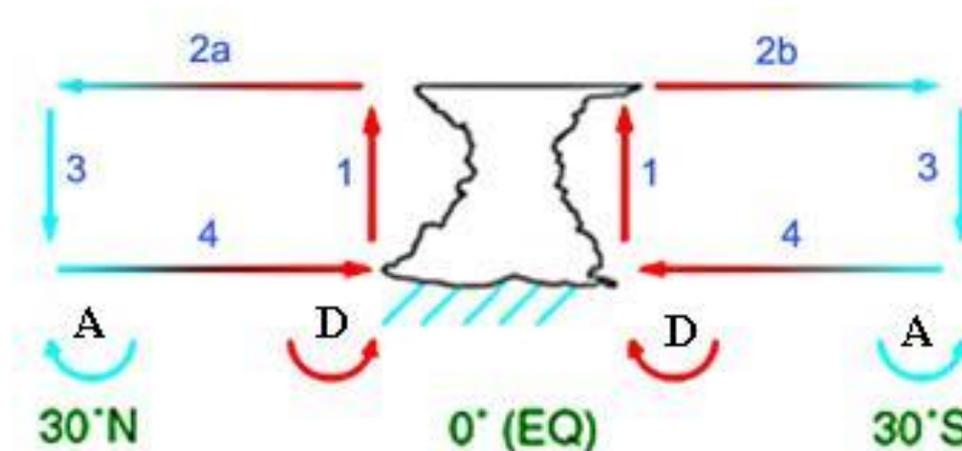
Rencontre des alizés de Nord-Est de l'hémisphère Nord et de Sud-Est de l'hémisphère Sud (l'air chaud et humide des tropiques se dirige vers l'équateur où la force de Coriolis est faible et les pressions plus basses)

→ Circulation de Hadley

ZIC : Zone de forts mouvements ascendants+ humidité = Nuages convectifs actifs (pluvio-orageux)

Ré-équilibre de l'énergie vers la ceinture anticyclonique (Anticyclone des Açores/des Bermudes)

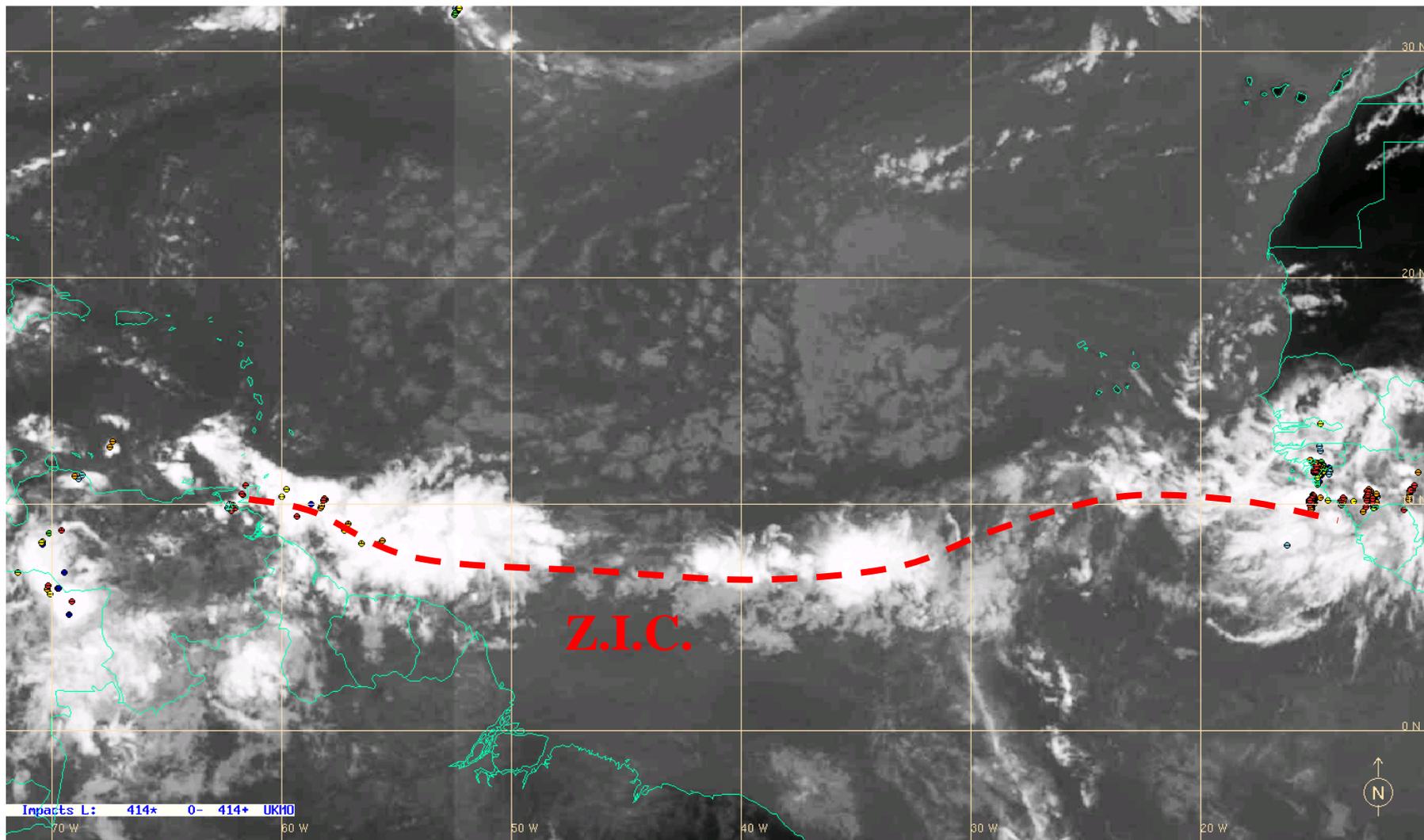
## COUPE VERTICALE DE LA CELLULE DE HADLEY



# La Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZIC / ZCIT)

ZIC = Equateur météorologique ou équateur solaire (points au zénith)

BI SAT Infra Rouge et Impacts Foudre Longue Distance (sur 1H) du 20160715150000 UTC



# La Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZIC / ZCIT)

ZIC = Equateur météorologique

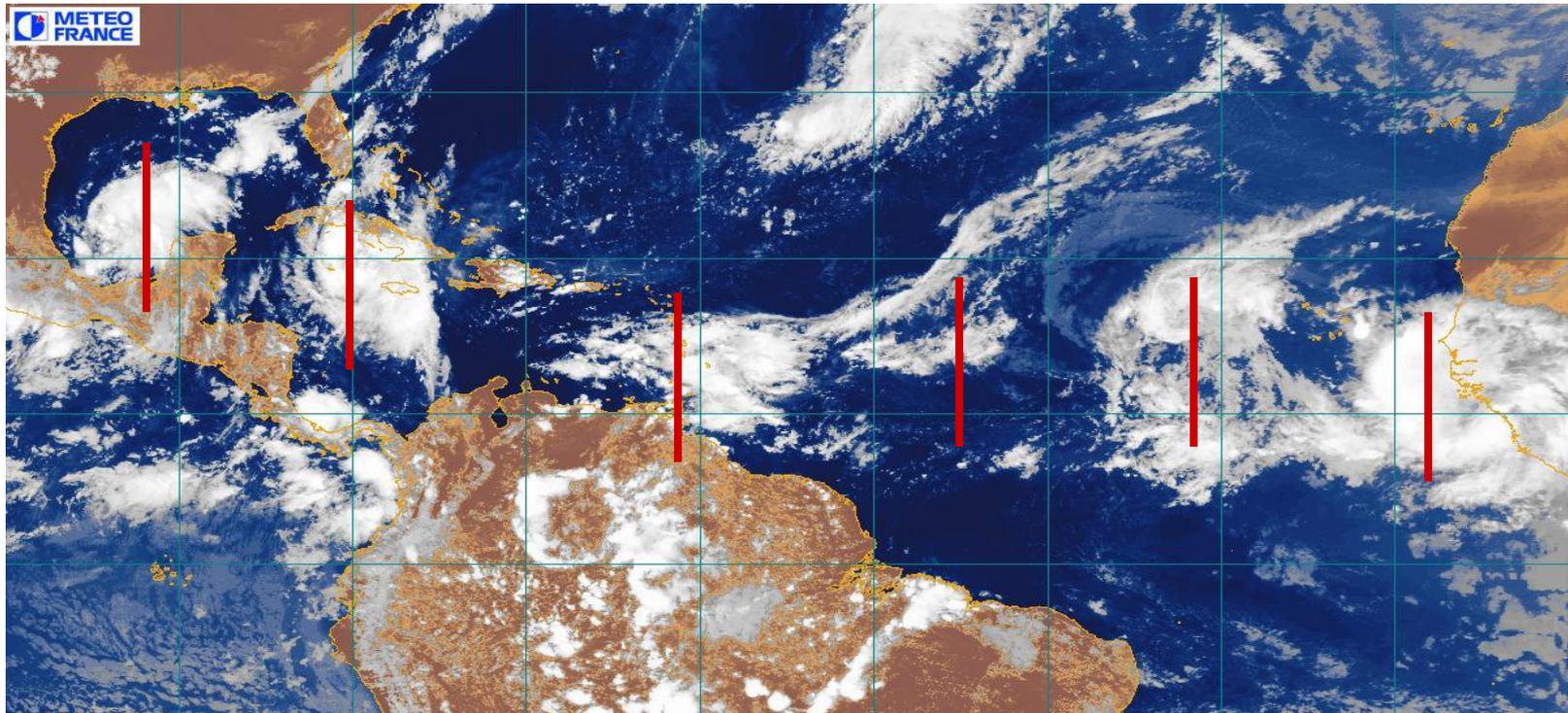
Oscillation annuelle de part et d'autre de l'équateur ( entre  $10^{\circ}\text{N}$  et  $10^{\circ}\text{S}$  ), suivant de 2 à 3 mois le mouvement apparent du soleil (points des zénith)



# La perturbation « type » de notre région : l'onde tropicale

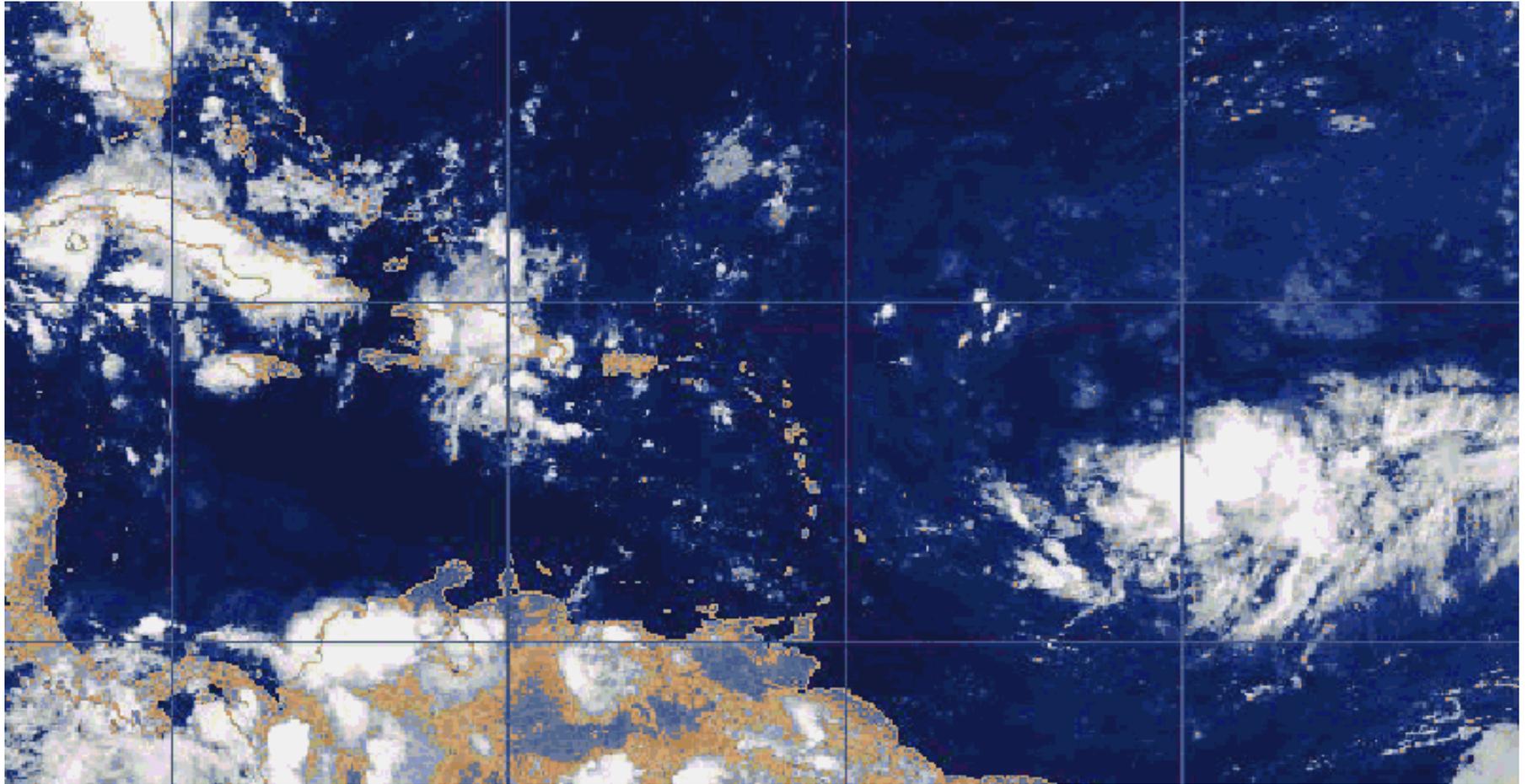
AEW : Africain Easterly Wave ...dans la littérature anglo-saxonne

À ne pas confondre avec ondé tropical (un grain), ni avec onde de tempête (montée du niveau de la mer)



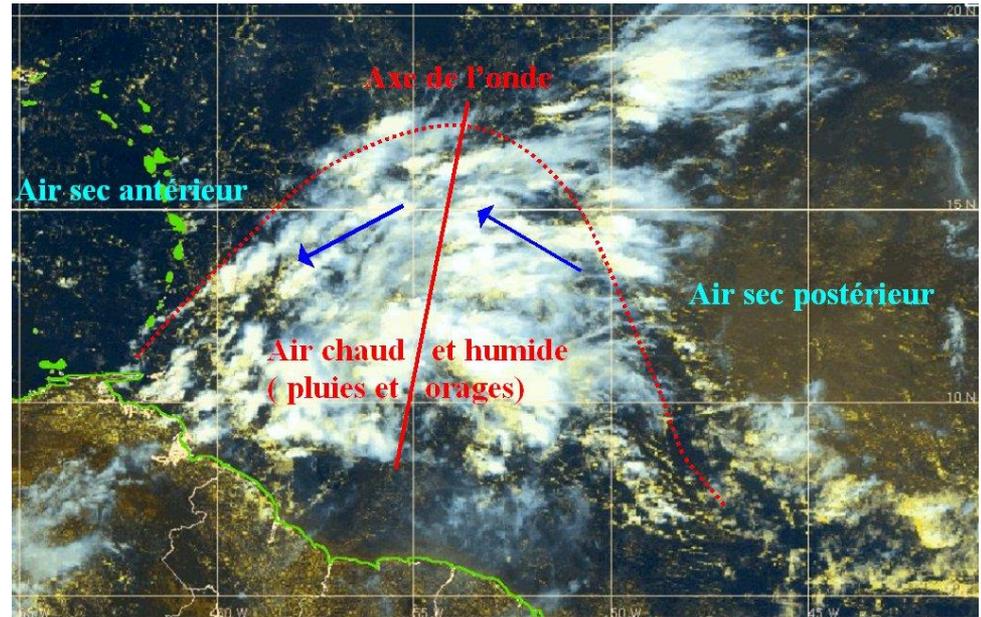
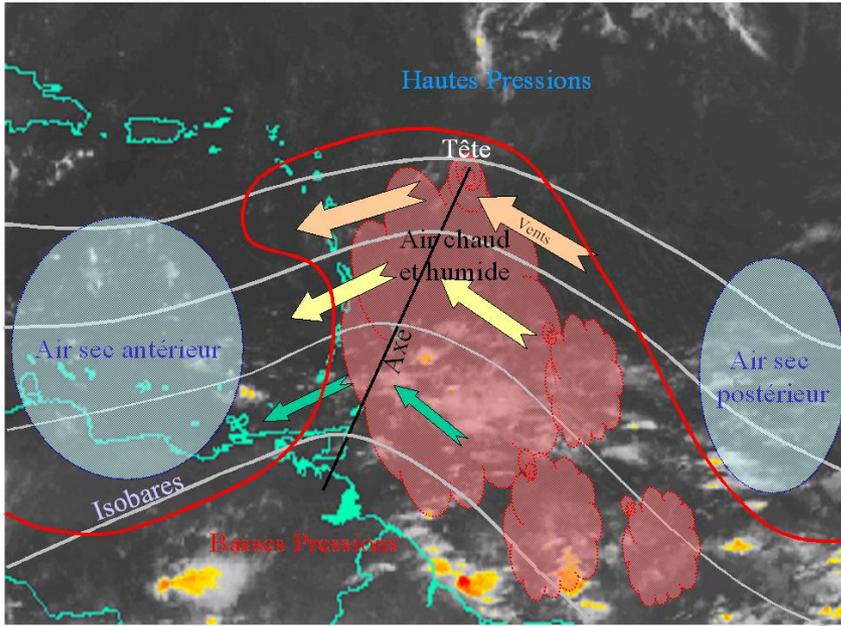
- Perturbation tropicale « classique » de l'Atlantique Nord, circulant de l'Afrique vers l'Amérique
- Circulation régulière entre juin et novembre (plus d'une cinquantaine par an, séparée de 3 ou 4 jours)
- Activité très variable et fluctuante : **Toutes les ondes tropicales n'apportent pas beaucoup de pluies !!!**
- Tous les cyclones (presque) menaçant les Petites Antilles naissent à partir d'une onde tropicale **mais toutes les ondes tropicales ne deviennent pas cyclones !!!**

# La perturbation « type » de notre région : l'onde tropicale



# La perturbation « type » de notre région : l'onde tropicale

## ▲ Structure

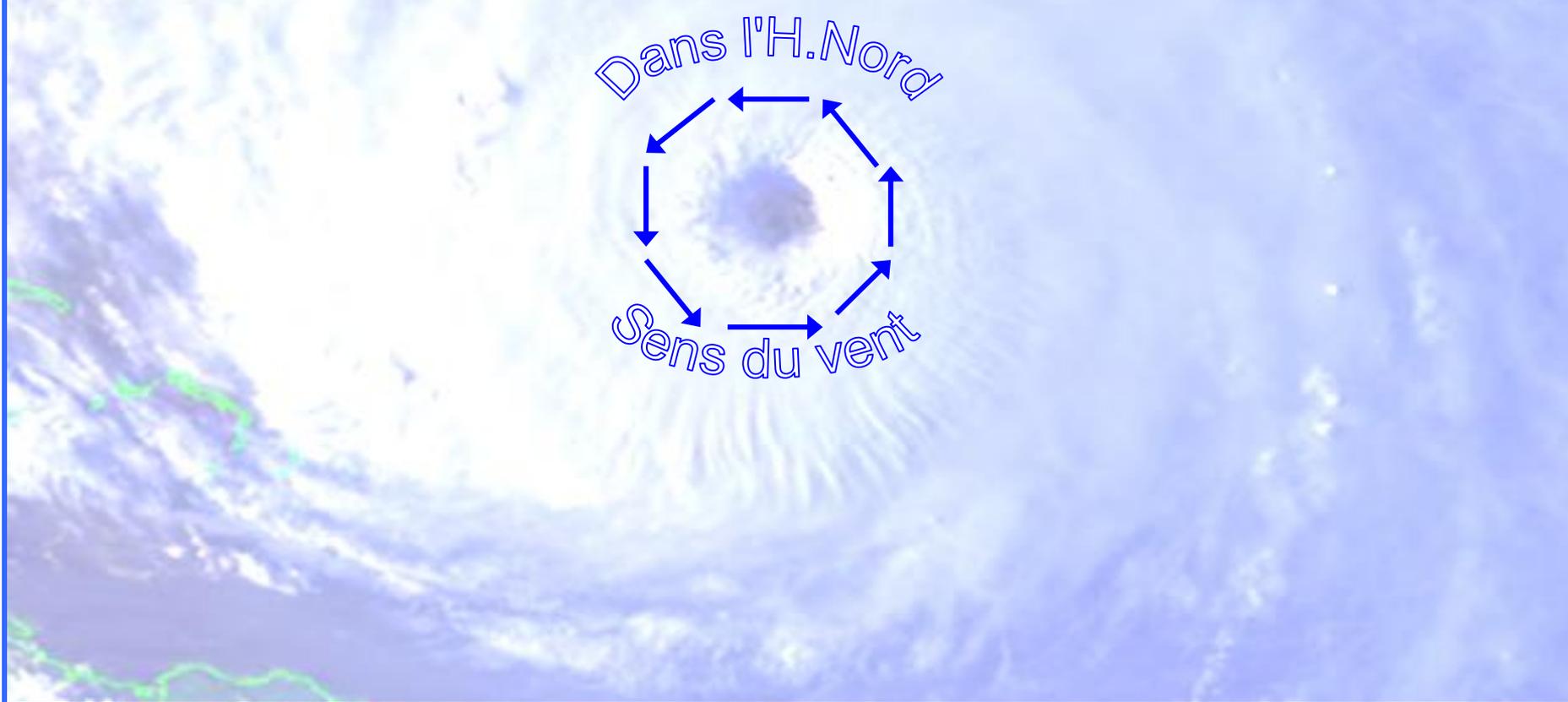


# Le cyclone tropical : Vocabulaire et définitions

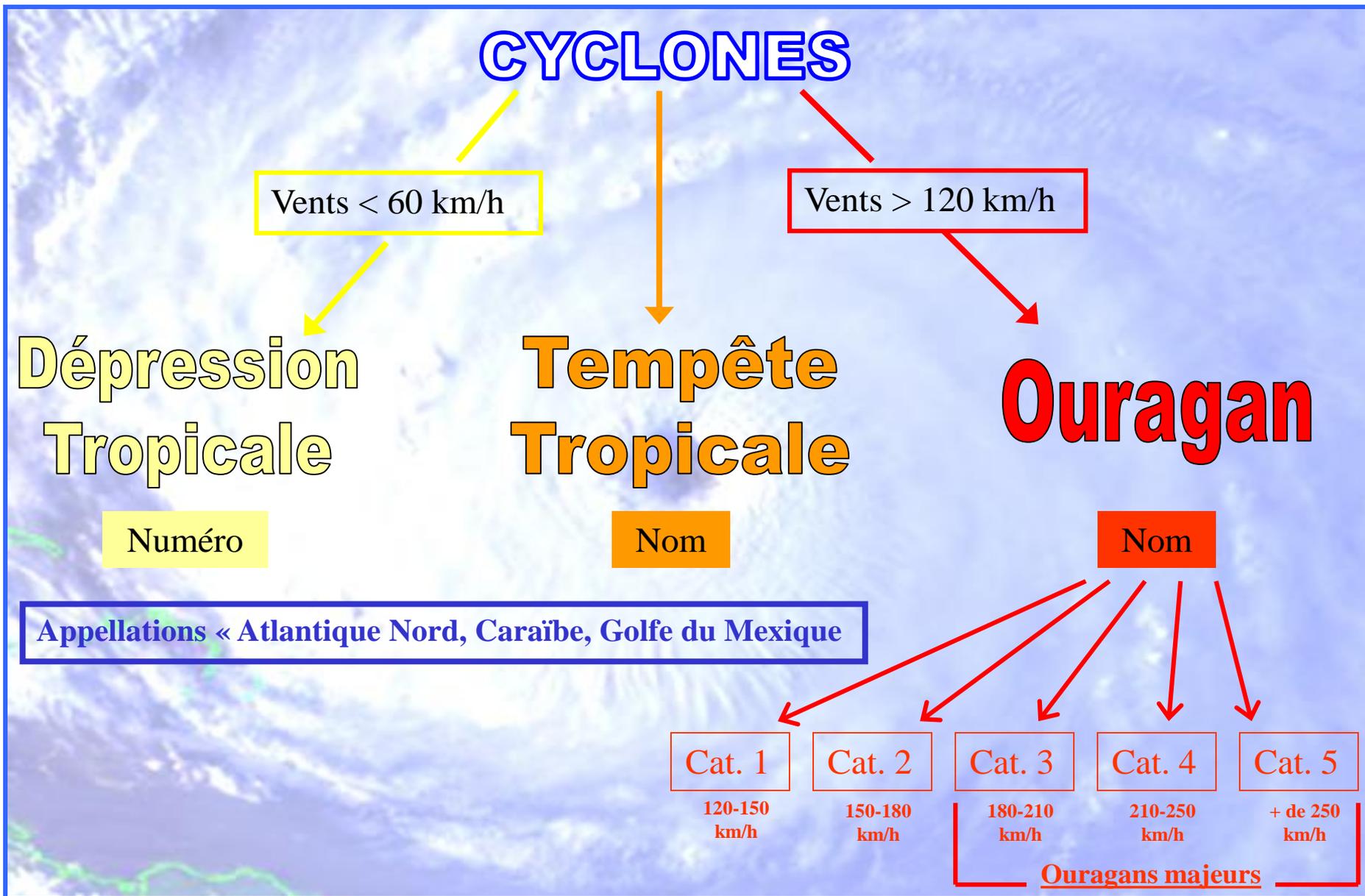
Dans le bassin « Atlantique Nord tropical / Caraïbe / Golfe du Mexique » ,

**Cyclone** = perturbation atmosphérique tropicale tourbillonnaire , présentant en surface une circulation fermée des vents autour d 'un minimum de basse pression atmosphérique.

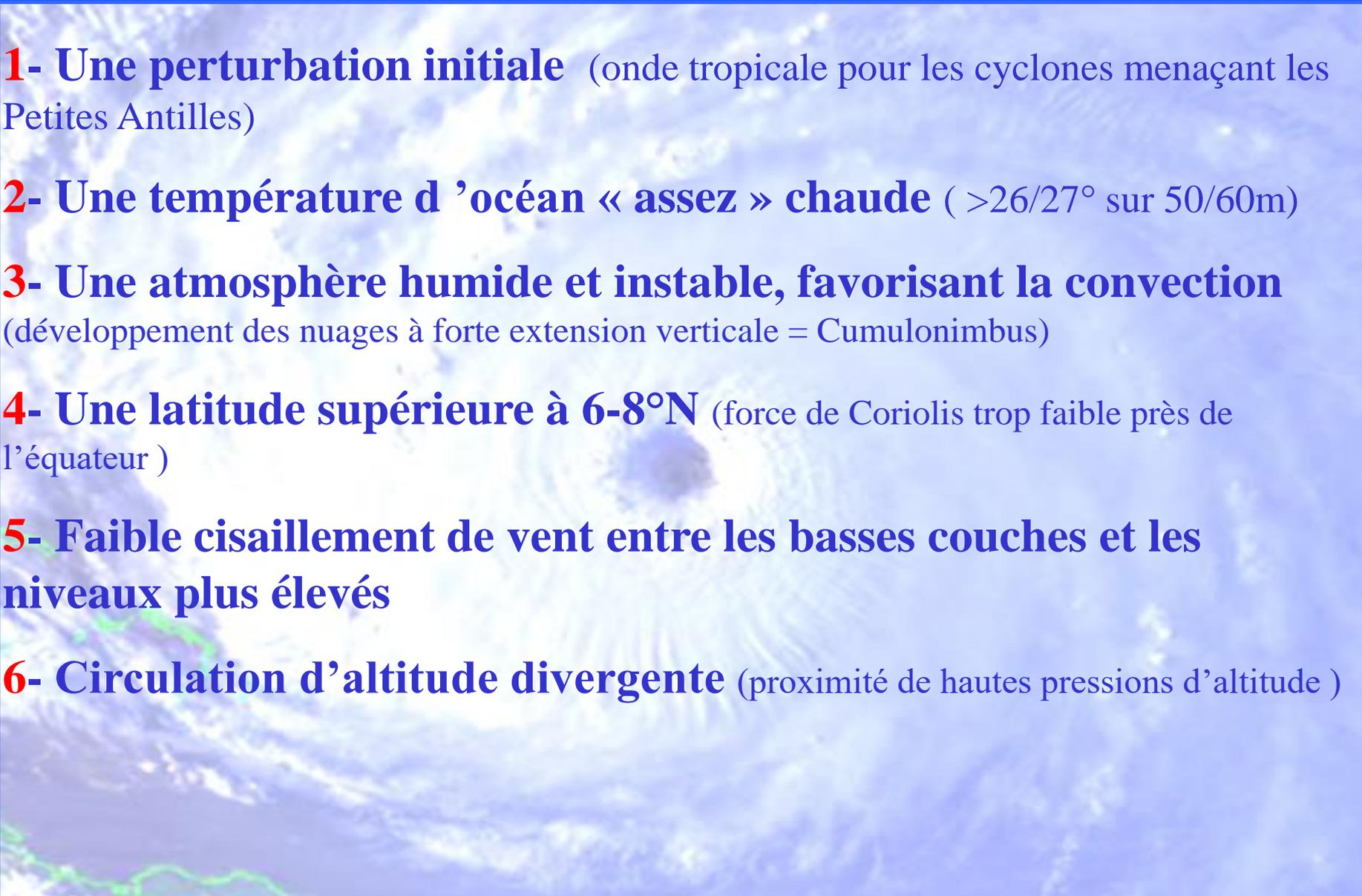
Le terme « **cyclone** » regroupe les dépressions tropicales , les tempêtes tropicales et les ouragans qui se différencient uniquement par la force du vent maximal soutenu sur 1 minute près du centre



# Le cyclone tropical : Vocabulaire et définitions



# Le cyclone tropical : Conditions de formations

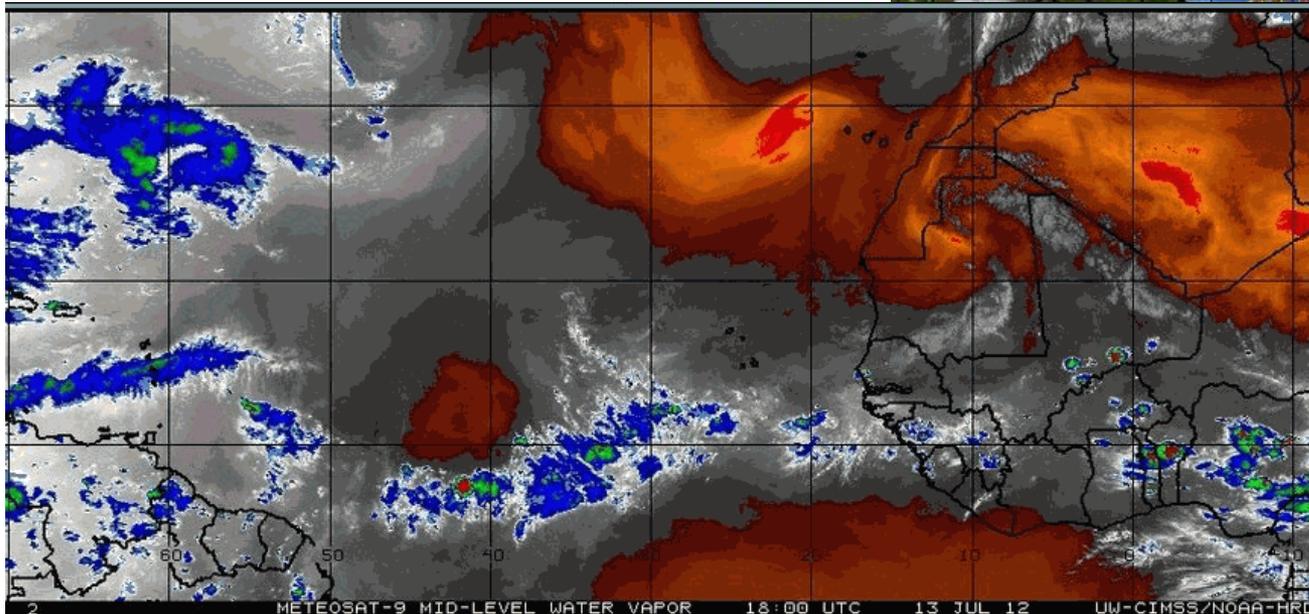
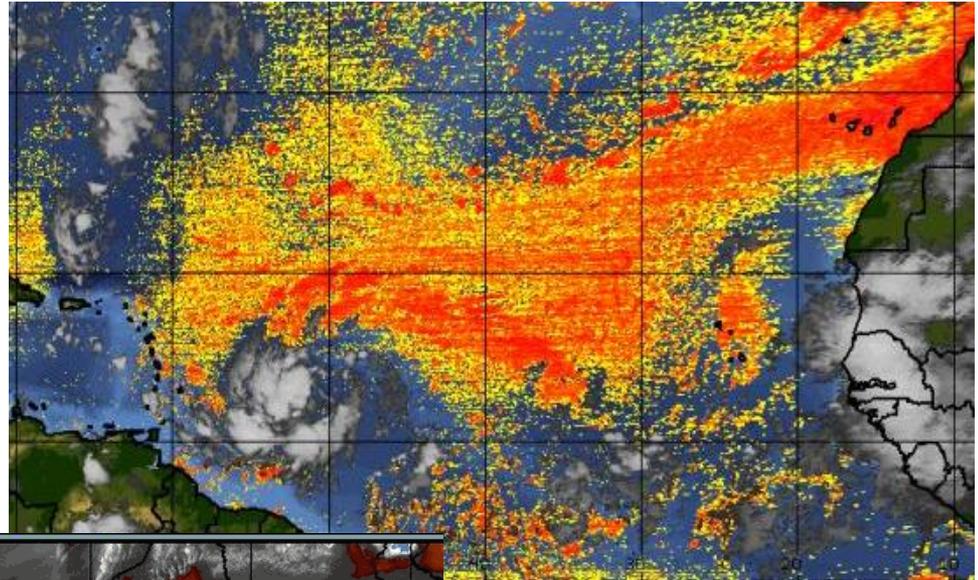
- 1- Une perturbation initiale** (onde tropicale pour les cyclones menaçant les Petites Antilles)
  - 2- Une température d 'océan « assez » chaude** (  $>26/27^{\circ}$  sur 50/60m)
  - 3- Une atmosphère humide et instable, favorisant la convection** (développement des nuages à forte extension verticale = Cumulonimbus)
  - 4- Une latitude supérieure à  $6-8^{\circ}\text{N}$**  (force de Coriolis trop faible près de l'équateur )
  - 5- Faible cisaillement de vent entre les basses couches et les niveaux plus élevés**
  - 6- Circulation d'altitude divergente** (proximité de hautes pressions d'altitude )
- 
- A satellite image of a tropical cyclone, showing a distinct eye and spiral cloud bands over a dark ocean. The image is centered in the background of the text.

# Le cyclone tropical VS brume de sable

Elément contraire au point 3, apportant des conditions défavorables aux cyclogénèses :

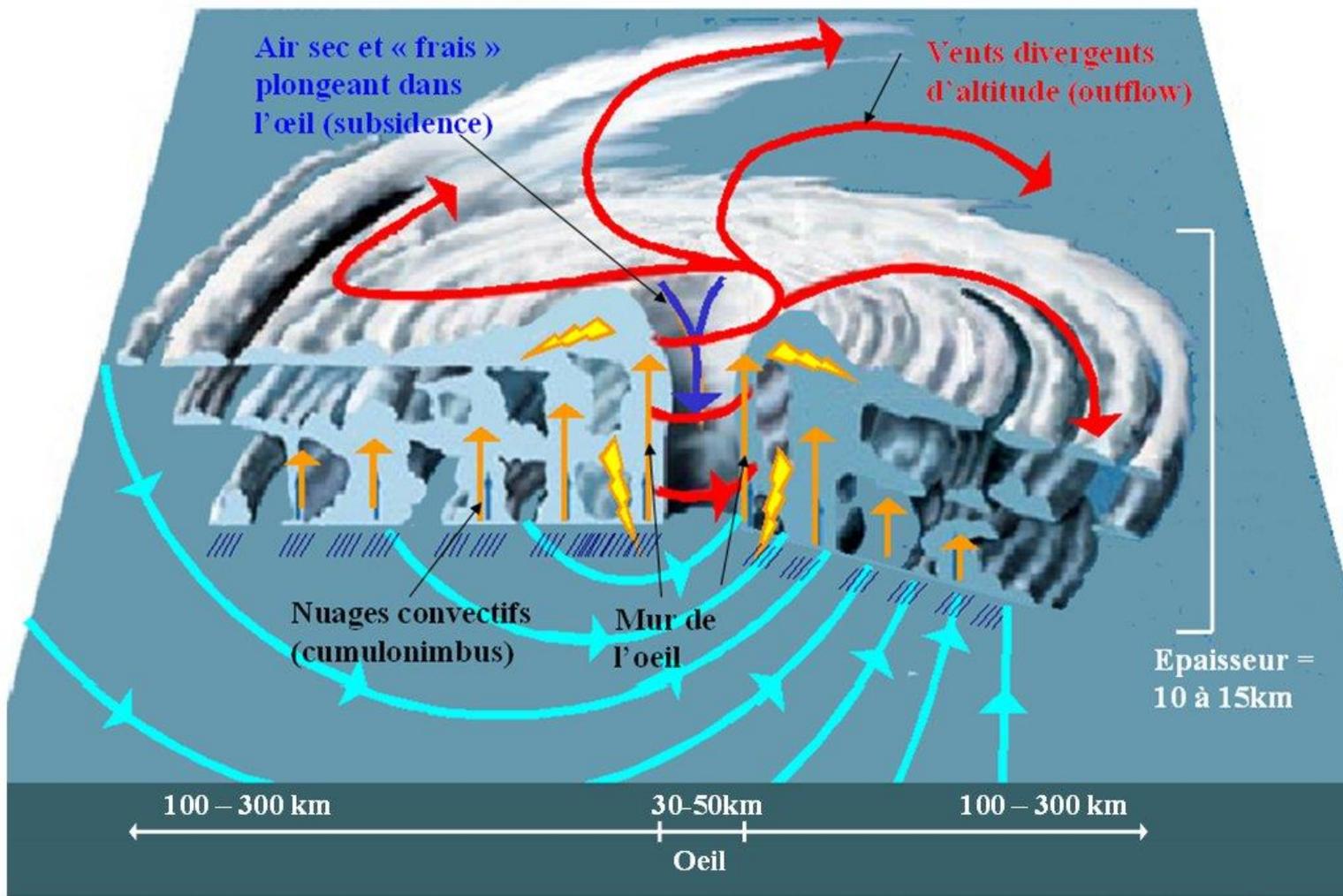
→ l'air sec saharien accompagné de « brume de sable »

(S.A.L ...Saharian Air Layer dans la littérature anglo-saxonne)

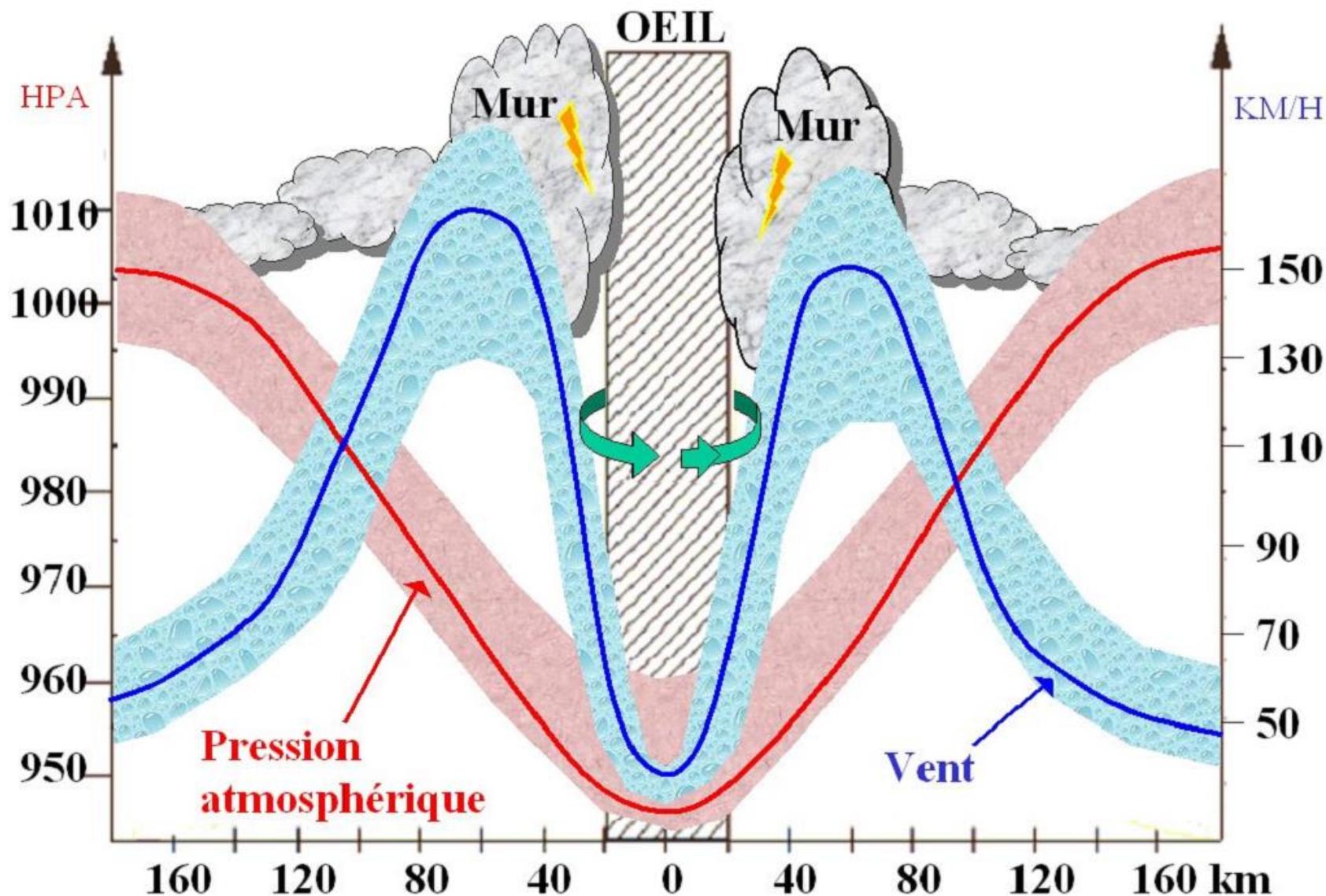


Ex : Cyclone Chantal en 2001, noyé dans la brume de sable accompagnant de l'air sec et subsident, contraire aux conditions favorables de développement ( plus c'est rouge, plus la brume de sable est dense)

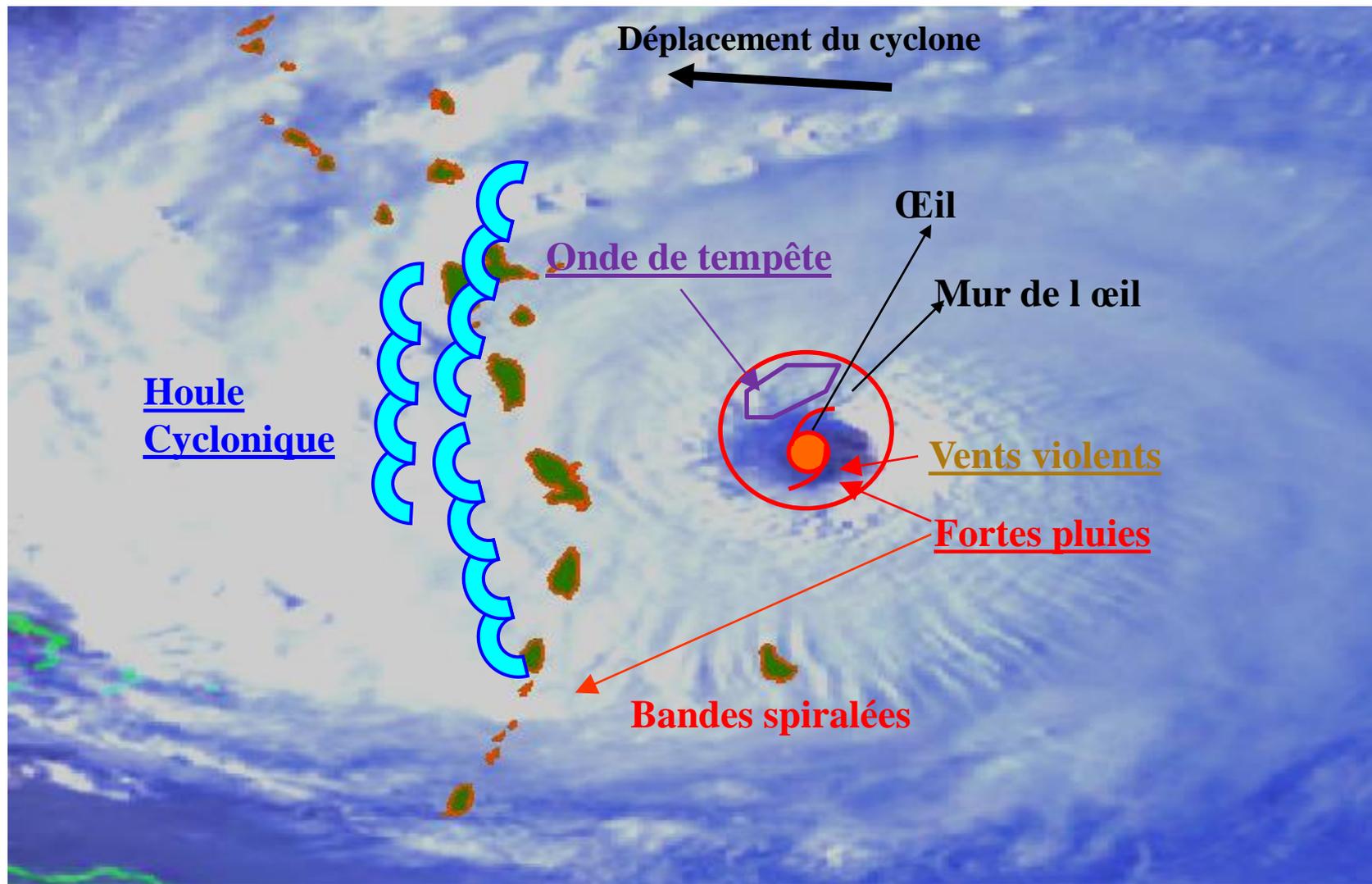
# Structure d'un ouragan



# L'aléa « cyclone » : Structure d'un ouragan

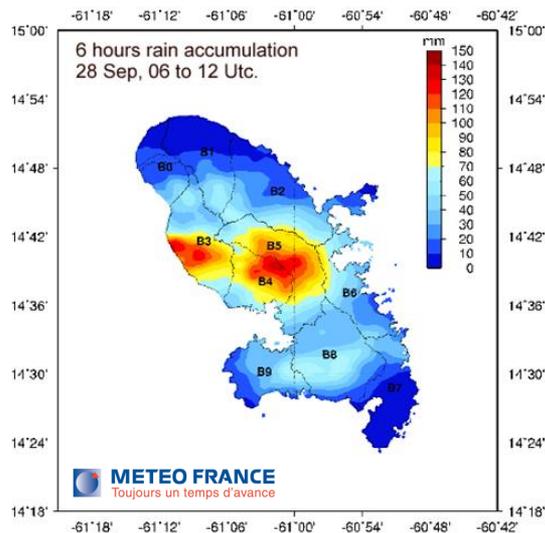
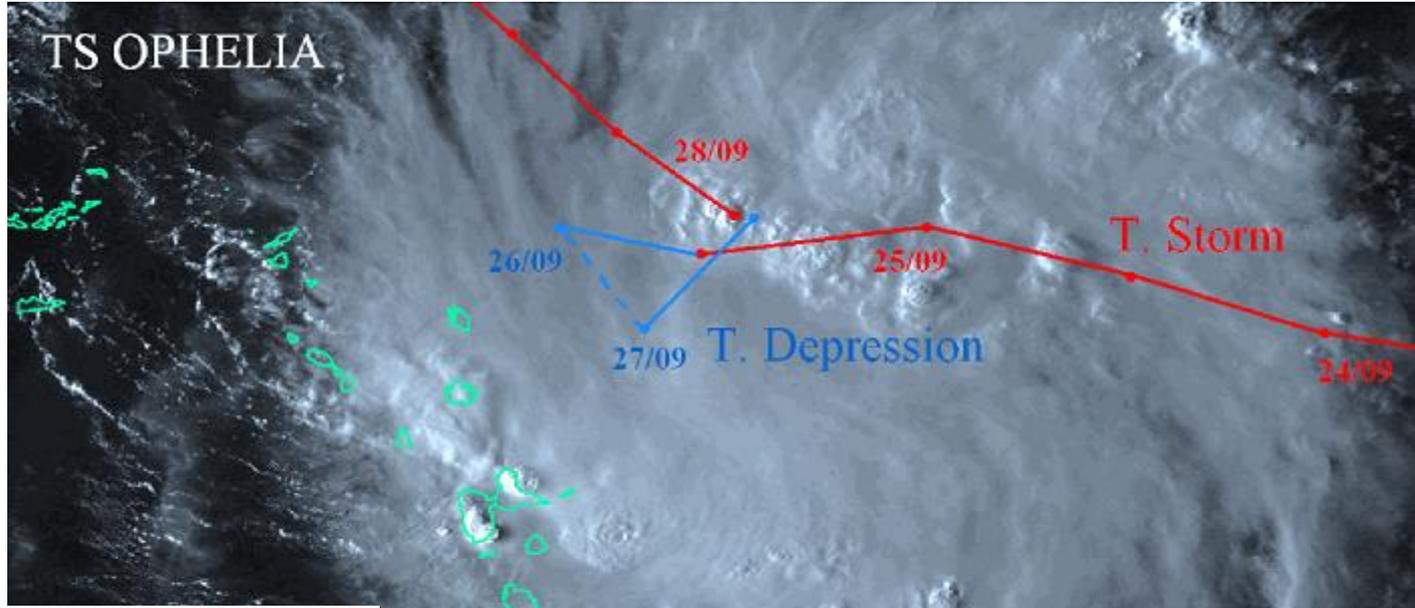


# L'aléa « cyclone » et les aléas imbriqués



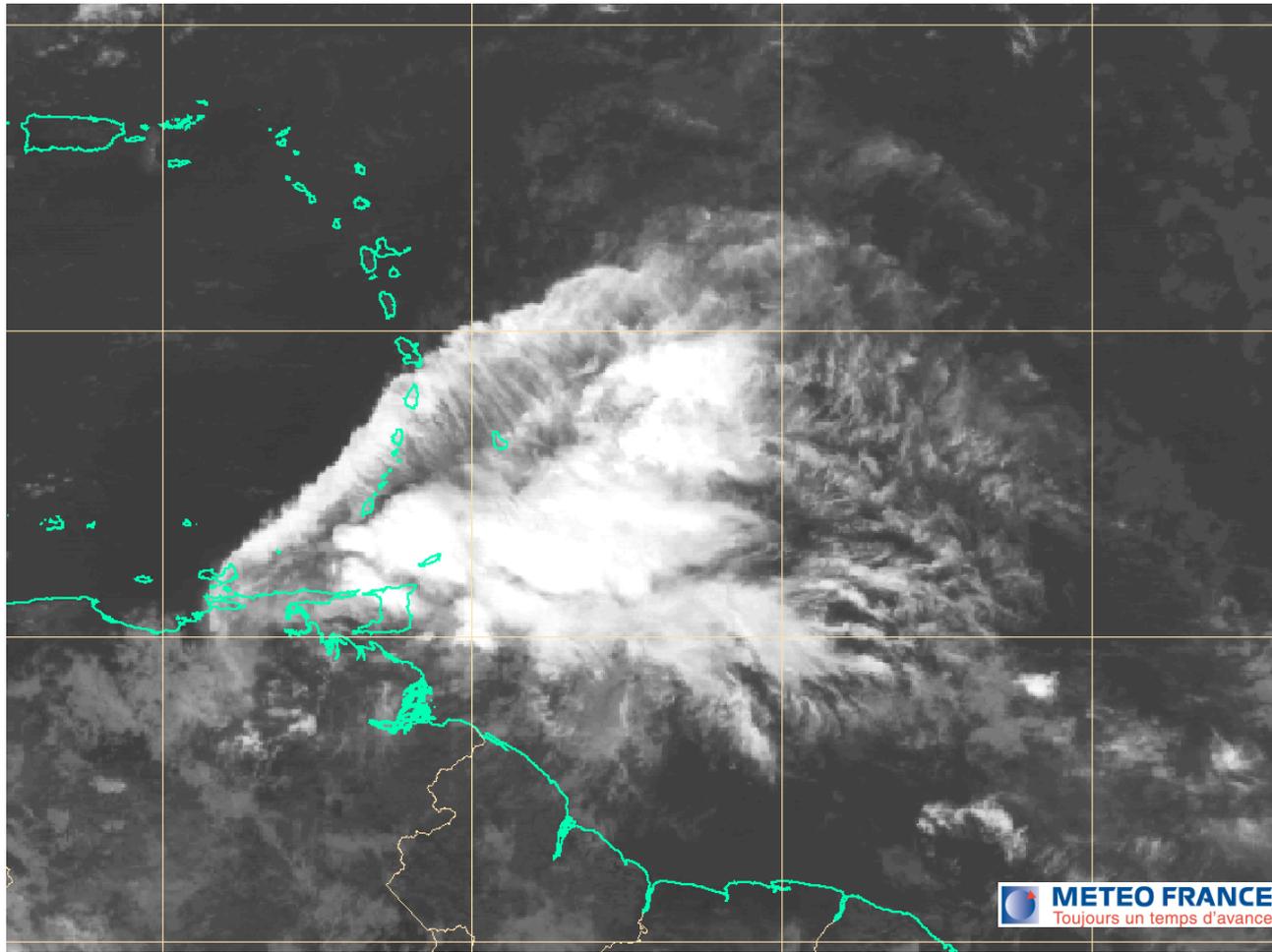
# Convergence en périphérie des cyclones

Bandes de pluies intenses en périphérie lointaine d'un cyclone :



# Proximité de la ZIC et conséquences

▲ Lignes de grains (souvent accompagnés de fortes rafales)



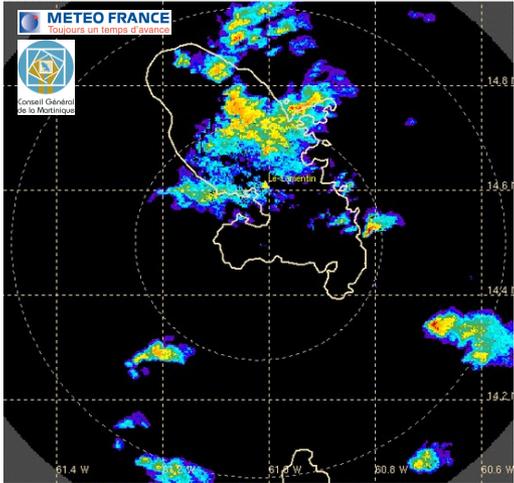
Remontées de ZIC : le plus souvent, quand la ZIC est proche de l'arc antillais, en 2ème partie de saison des pluies (septembre – octobre)

# Le phasage basses-couches / anomalies de tropopause

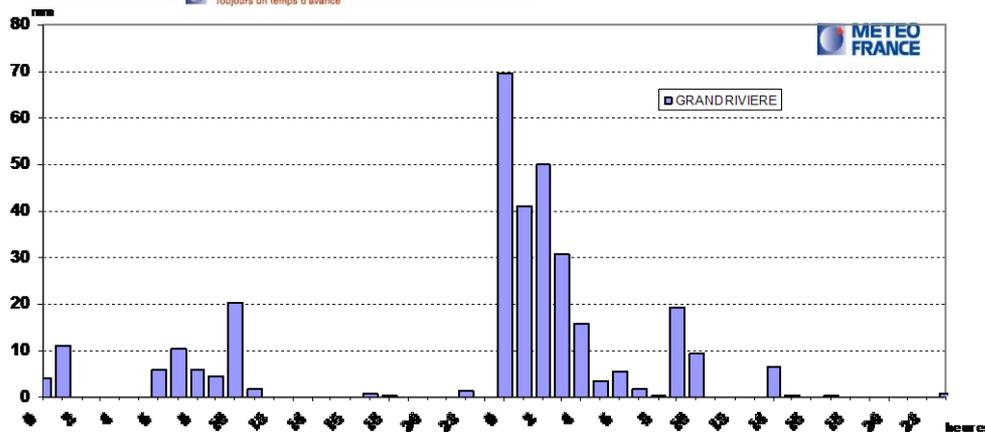
Les développements pluvio-orageux localisés très intenses et de courtes durées ( 1 à 3 heures en général) ou plus durable en fonction de la durée du phasage (6 à 12 heures)

Radar MARTINIQUE (FWI) 19/04/2013 03H00 UTC (Loc+4H)

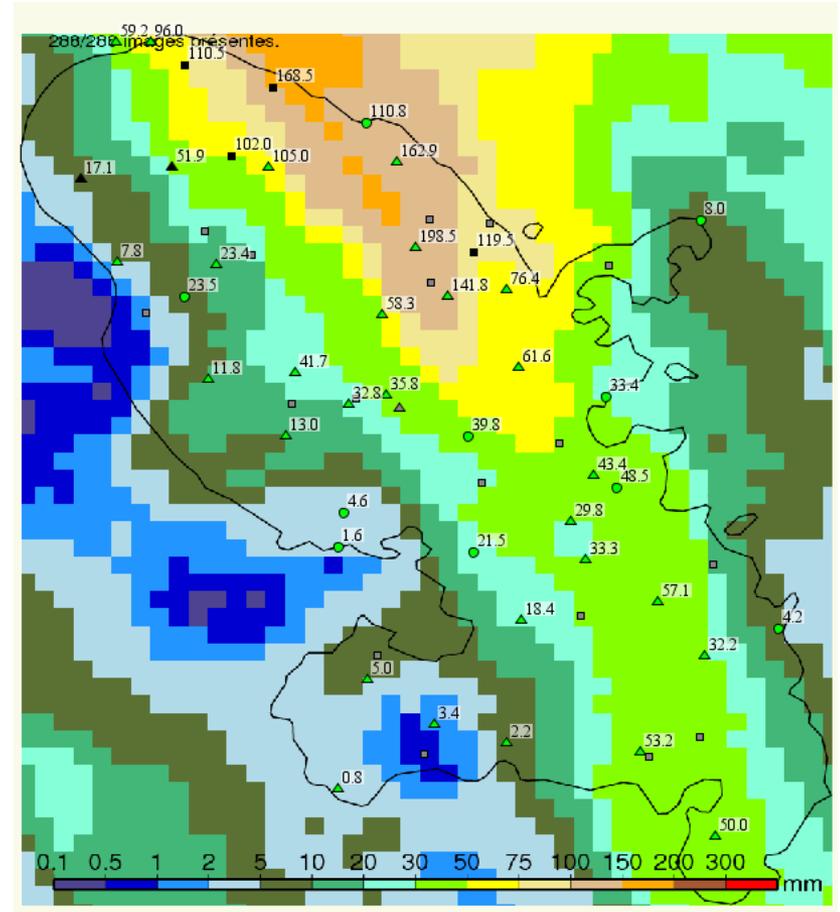
WMO: 78924 - Latitude: 14.501 N - Longitude: 61.018 W - range: 0500KM - Resolution: 250M



Pluie horaire du 18 au 19 avril 2013

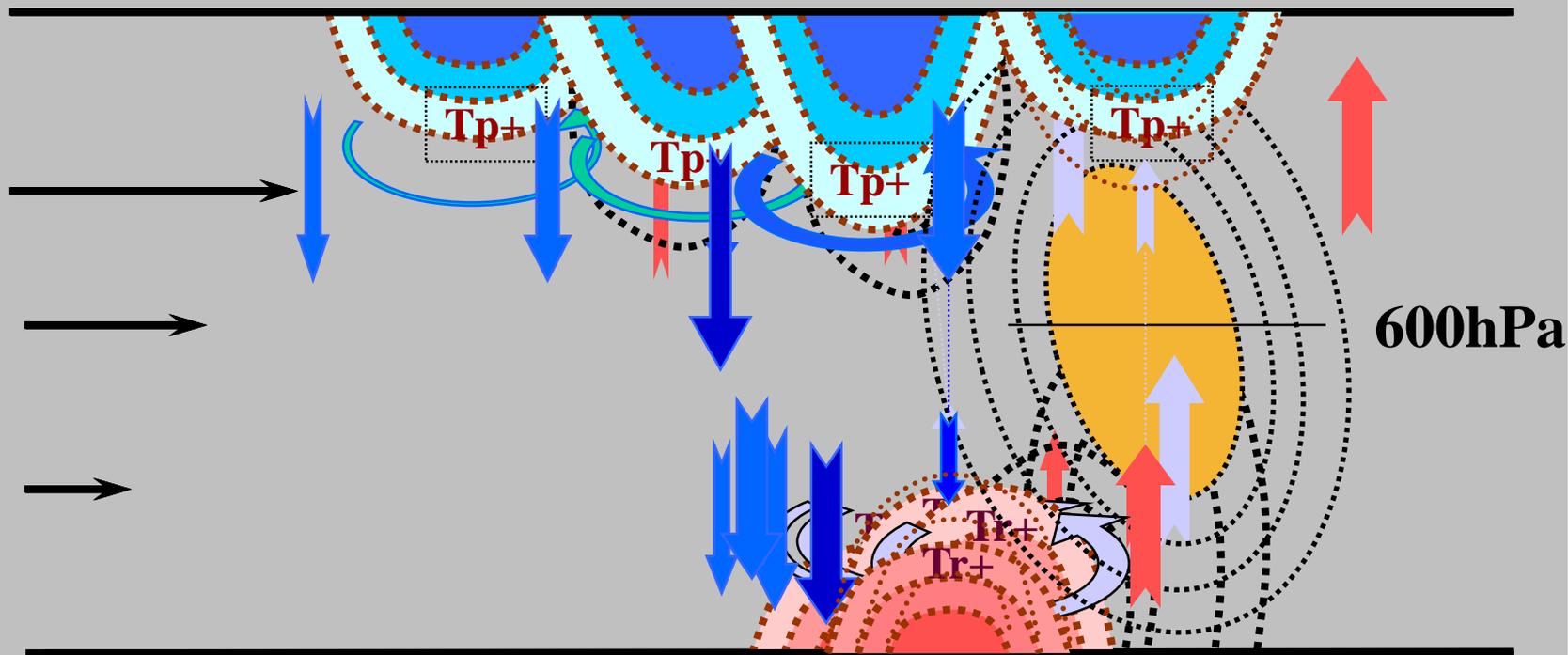


190mm en 4 heures sur le station Grand-Rivière !



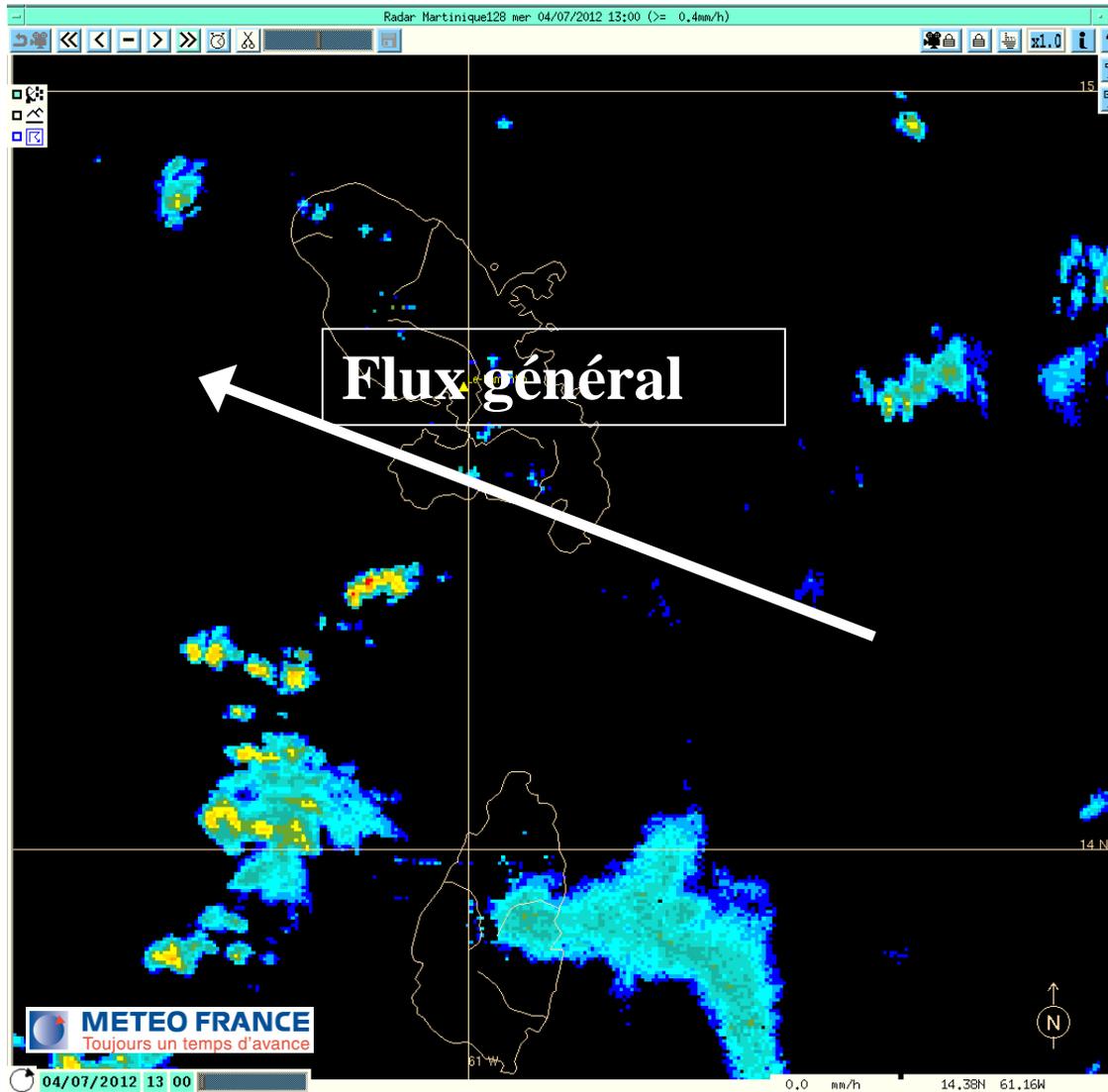
# Le phasage basses-couches / anomalies de tropopause

Schéma conceptuel



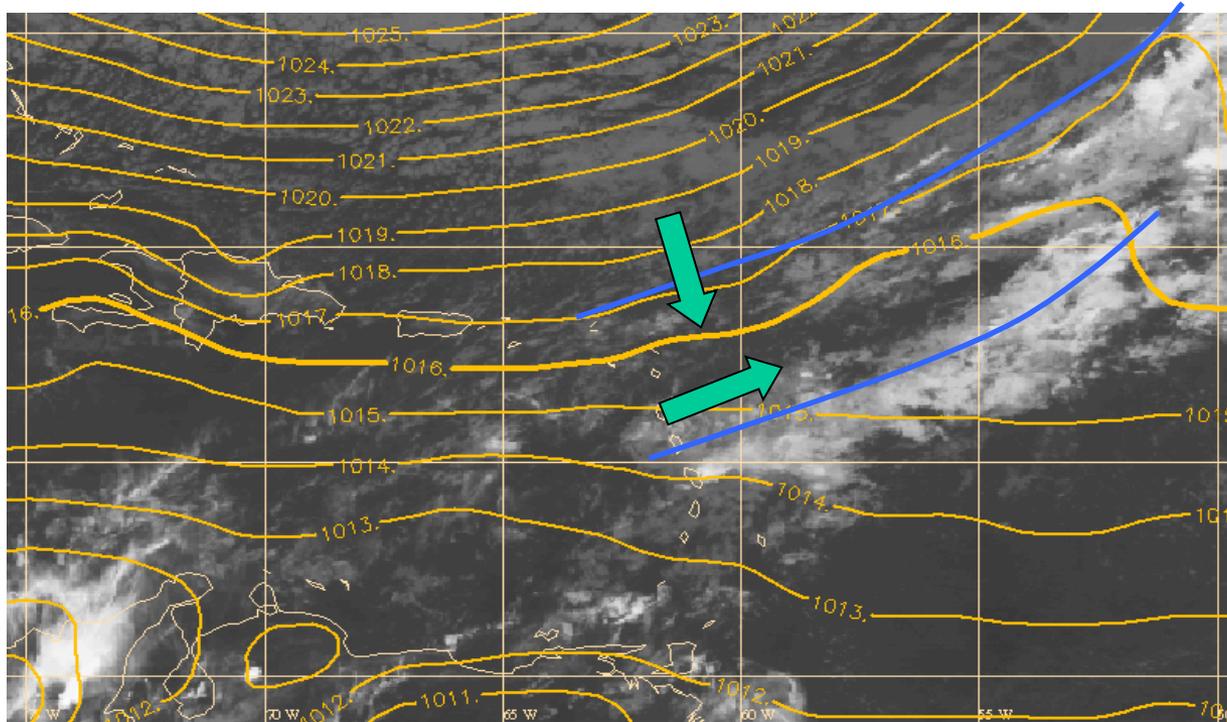
# Les amas instables plus ou moins isolés

Role important de l'effet mer/terre et orographique



# Intrusions d'éléments des régions tempérées et/ou subtropicales

**Pseudo-fronts froids** entre décembre et mai, avec dynamique de haute altitude



**Houle de Nord** : générée par les vaste dépressions tempérées bien au Nord des Antilles (plusieurs milliers de km), elle vient de très loin avec des périodes très longues ( 16s et plus donc avec beaucoup d'énergie);

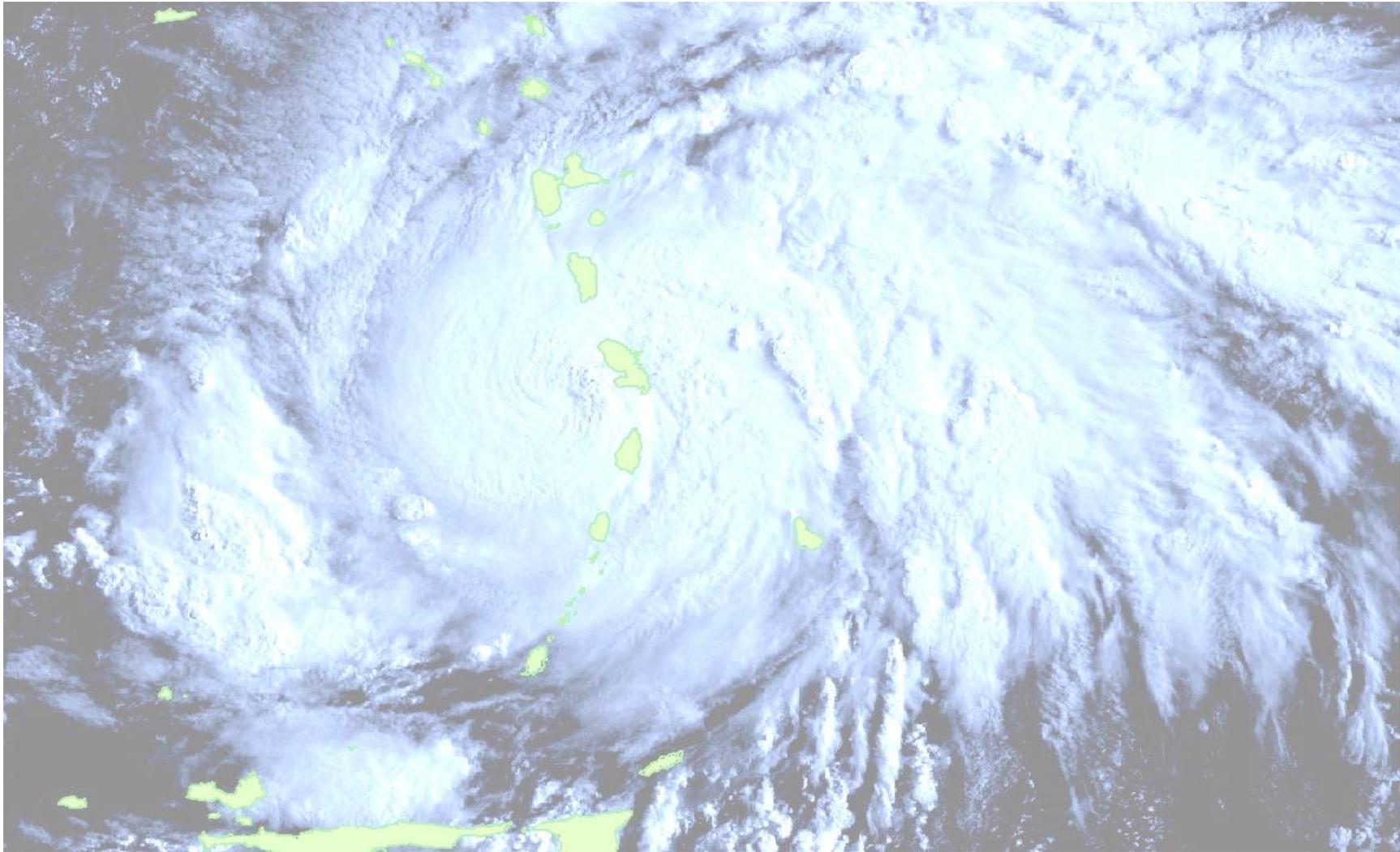
Pour les Petites Antilles, elle est surtout dangereuse

- sur les îles les plus au Nord et directement exposées (Anguilla, St-Martin, St-Barth, BVI )
- quand elle passe coté « Caraïbe », des autres îles, là où le littoral est très vulnérable vu la configuration bathymétrique et l'absence de protection naturelle

# Le temps des questions

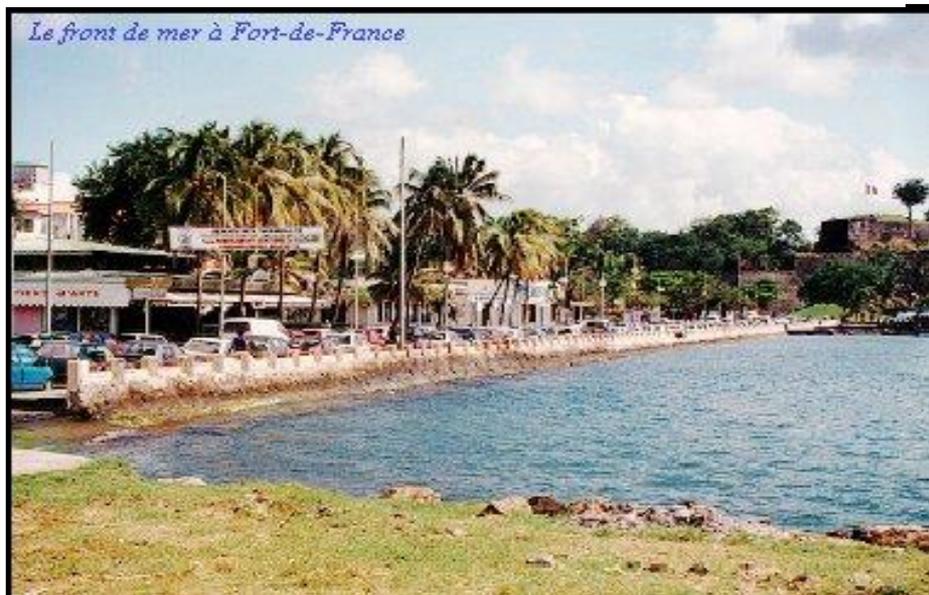


# Supplément « cyclones »

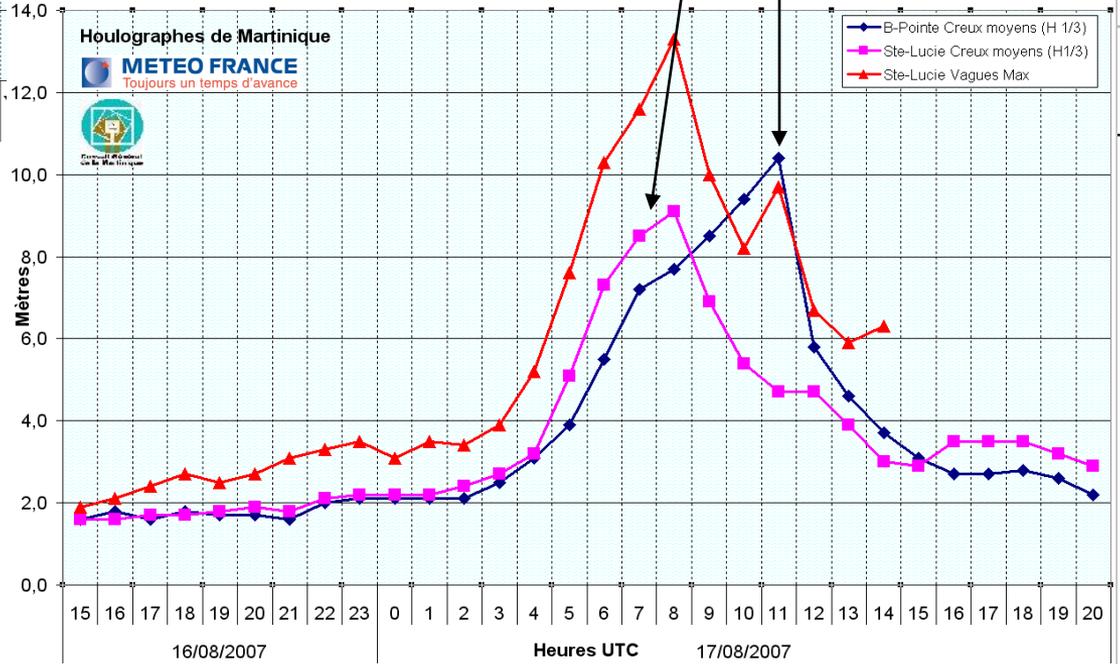
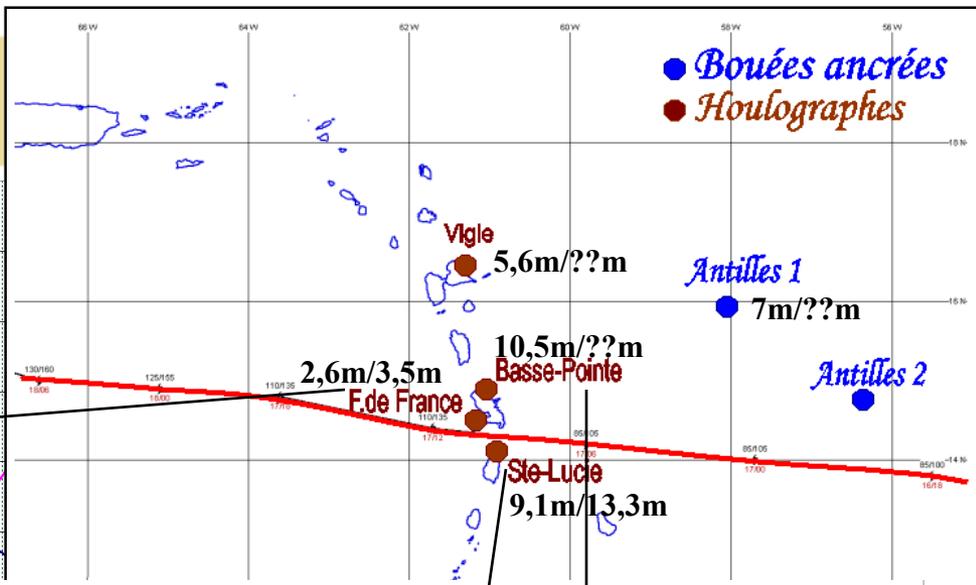
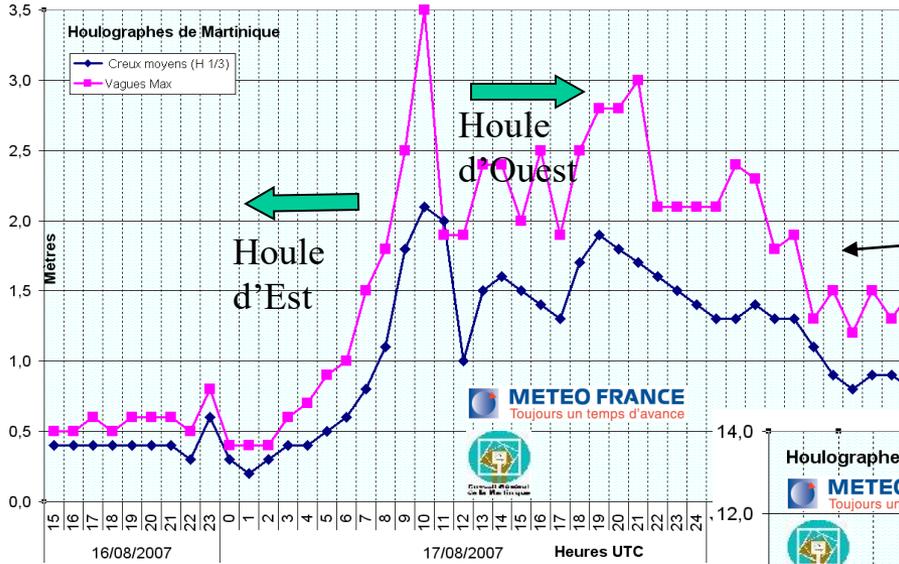


# La houle cyclonique

- ▲ Vagues pas forcément très hautes mais beaucoup plus énergétiques que les vagues d'alizé (mer du vent), car périodes plus longues
- ▲ Peut être générée loin de nos îles... se propage ensuite indépendamment d'une trajectoire du cyclone qui peut rester assez loin de la Martinique
- ▲ Dépend de l'intensité du cyclone (ouragan surtout) et aussi de sa vitesse de déplacement
- ▲ Très dangereuse à l'arrivée sur le littoral Caraïbe (mais pas forcément en pleine mer) car
  - bathymétrie différente de l'Atlantique
  - littoral non protégé : bien différencier la hauteur des vagues de la houle et la hauteur des déferlantes



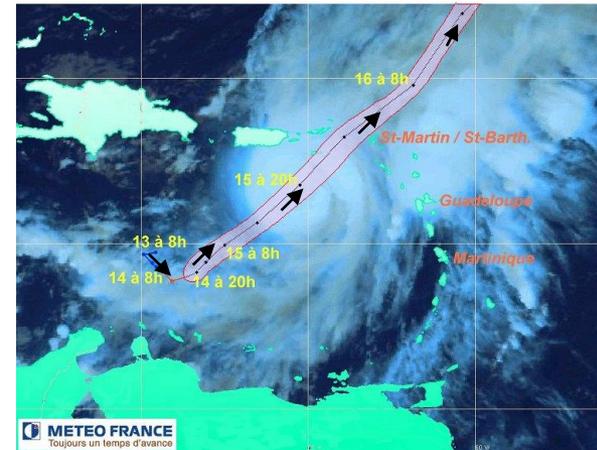
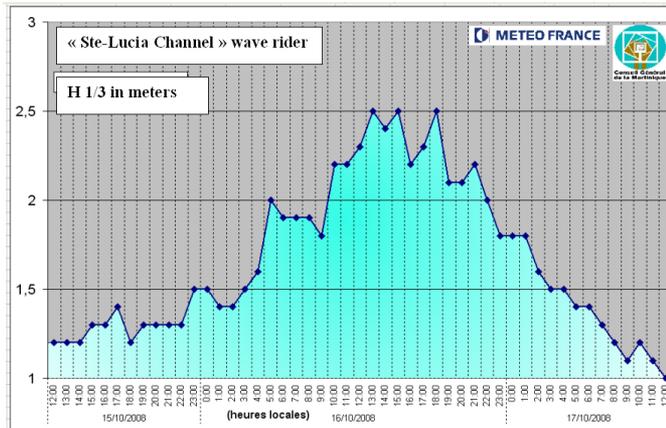
# La houle cyclonique...suite



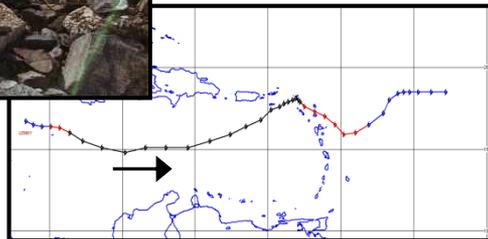
**DEAN 2007**

# La houle cyclonique...suite

OMAR (oct. 2008) est toujours resté à plus de 300km de la Guadeloupe et 450km de la Martinique. Des vagues moyennes de l'ordre de 2 à 3 m (avant déferlement) ont causé beaucoup de dégâts sur la façade Caraïbe des Petites Antilles ...9 ans après la houle destructrice de Lenny en Nov. 1999



Omar, oct 2008



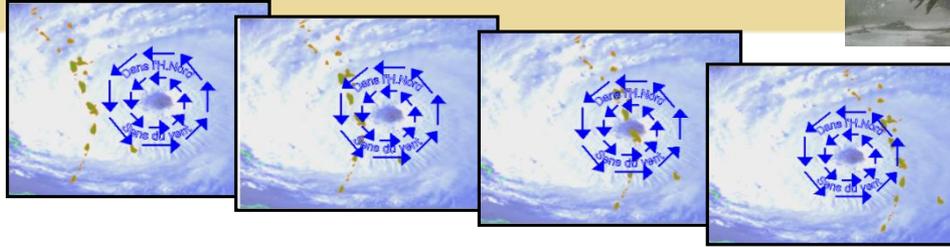
Lenny, nov. 1999 (Hs : 2,5-3m , T : 18-20 sec)

# Les vents cycloniques

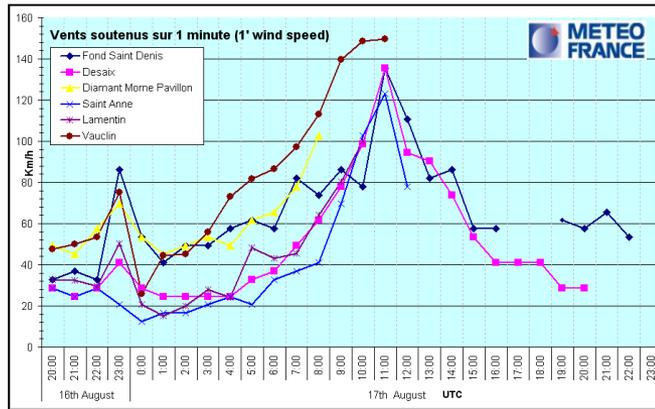


► Variation très rapide du vent ...

► ...en direction →

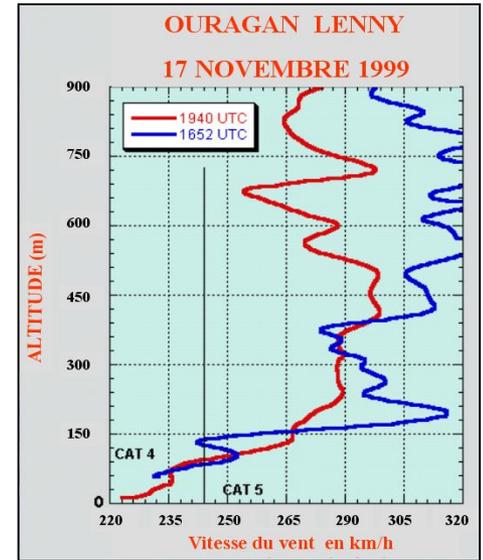


► ...en vitesse →

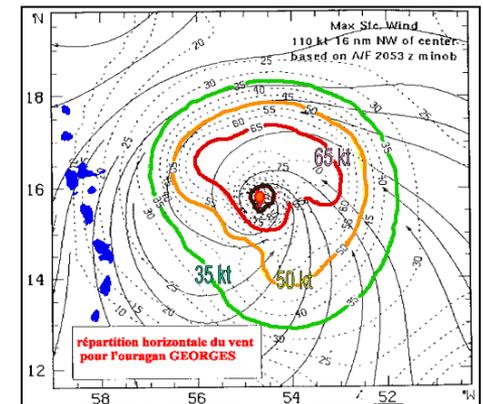


► ... par effets locaux :  
venturi, effets de sommets, ...

► ...en spatialisation verticale : Augmentation rapide avec les premiers niveaux d'altitude



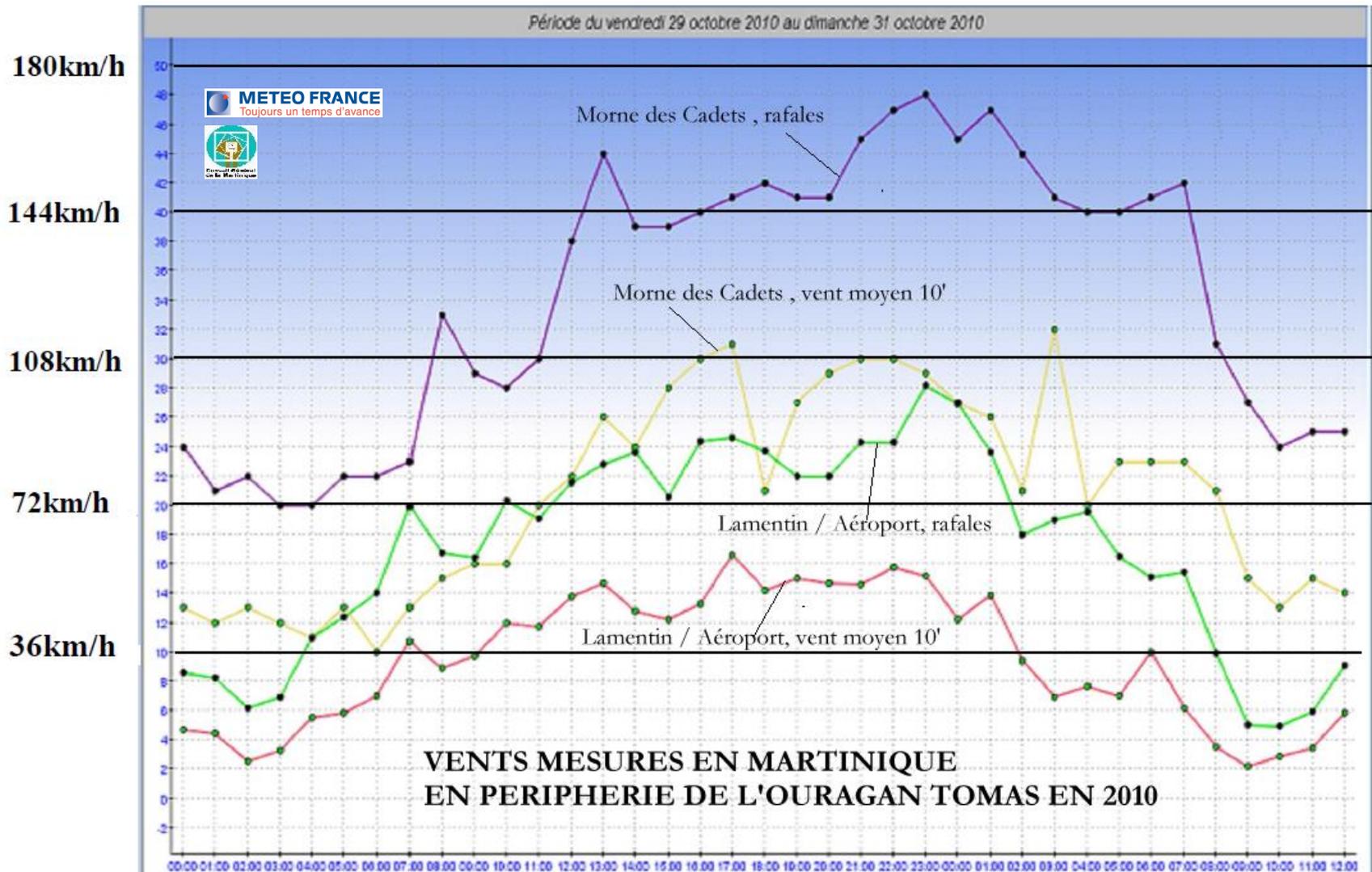
► ... en spatialisation horizontale : Maximum souvent au niveau du mur de l'oeil . En théorie , vent supérieur dans les cadrans « Nord » , là où la vitesse de déplacement s'ajoute aux vents propres du cyclone (sauf cyclone caribéen se déplaçant d'Ouest en Est !)



# Les vents cycloniques...suite

→ Variation importante du vent ...

...par effet locaux (relief, venturi, ...)

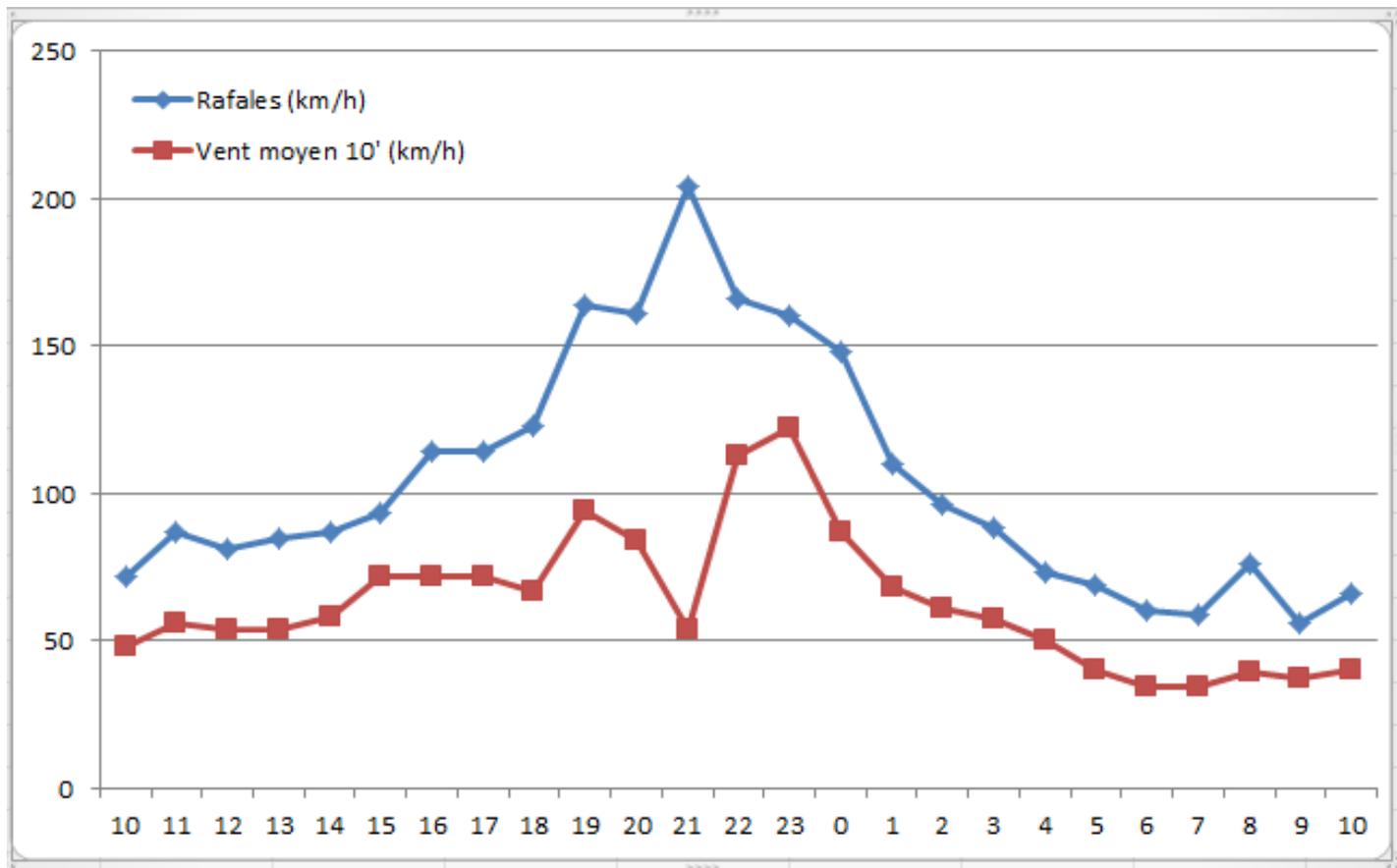


## Les vents cycloniques...suite

→ Variation importante du vent ...

...par effet locaux (relief, venturi, ...)

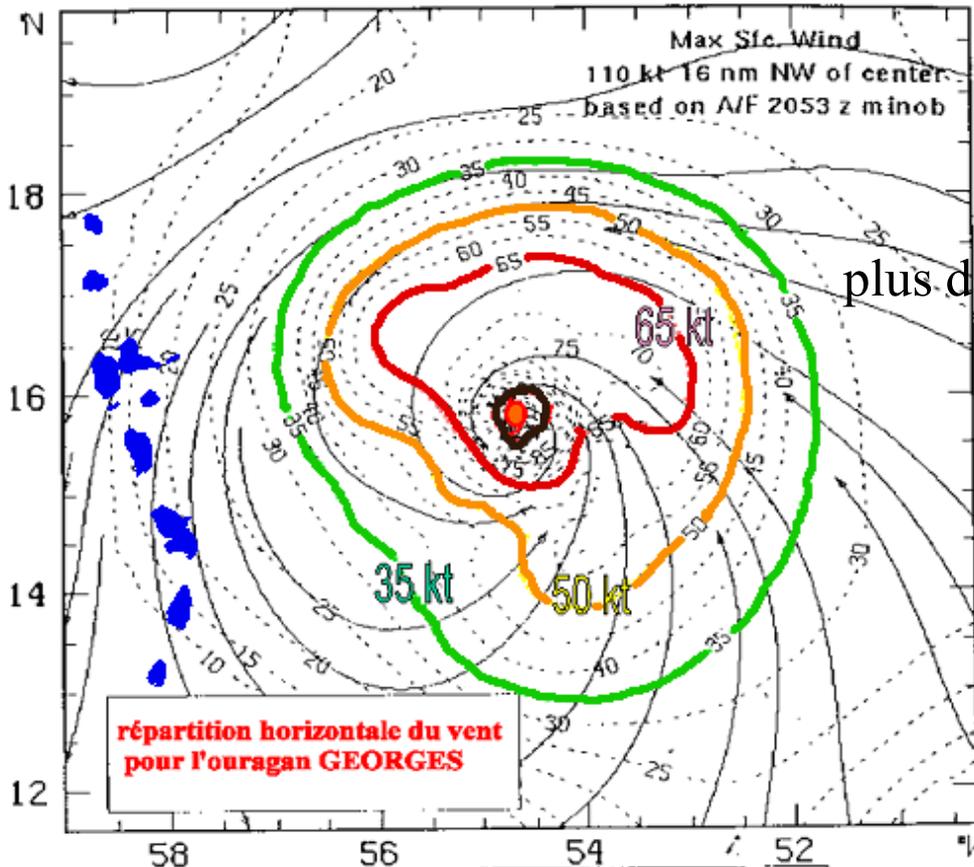
Exemple récent de l'ouragan GONZALO (Vents mesurés à St-Barth/Météo) les 13 et 14 octobre 2014



## Les vents cycloniques...suite

→ Maximum souvent au niveau du mur de l'oeil

→ En théorie, vent supérieurs dans les cadrans « Nord », là où la vitesse de déplacement s'ajoute aux vents propres du cyclone (sauf cyclone caribéen se déplaçant d'Ouest en Est !)



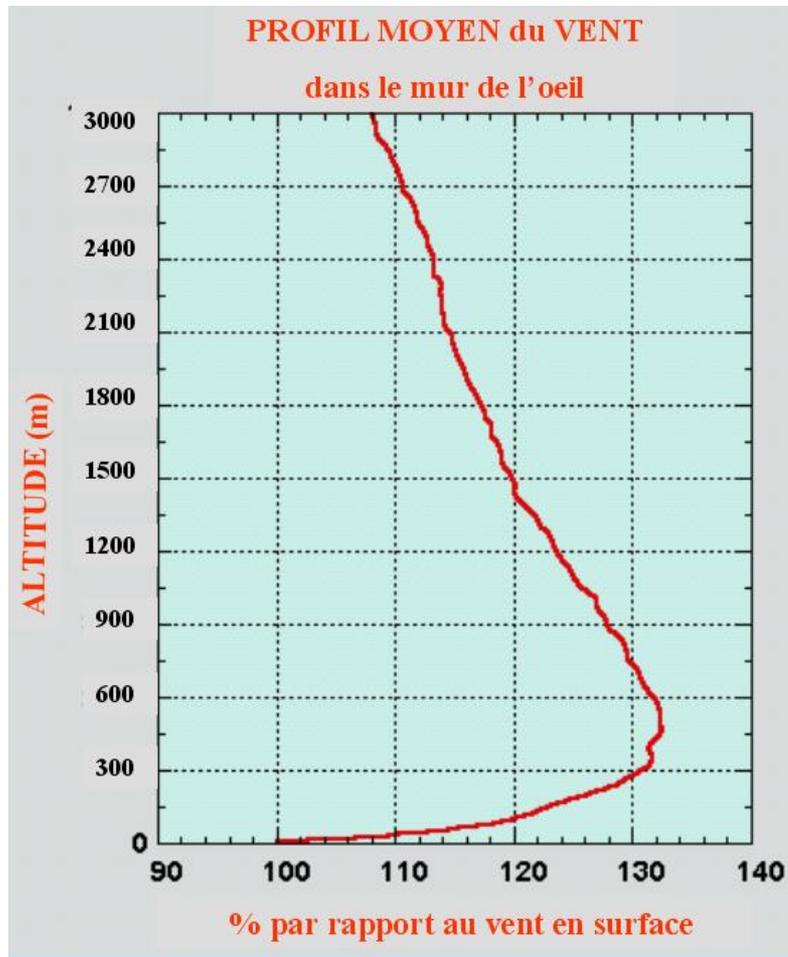
→ En pratique, répartition beaucoup plus complexe

→ Vents de force tempête parfois à plus de 250km du centre

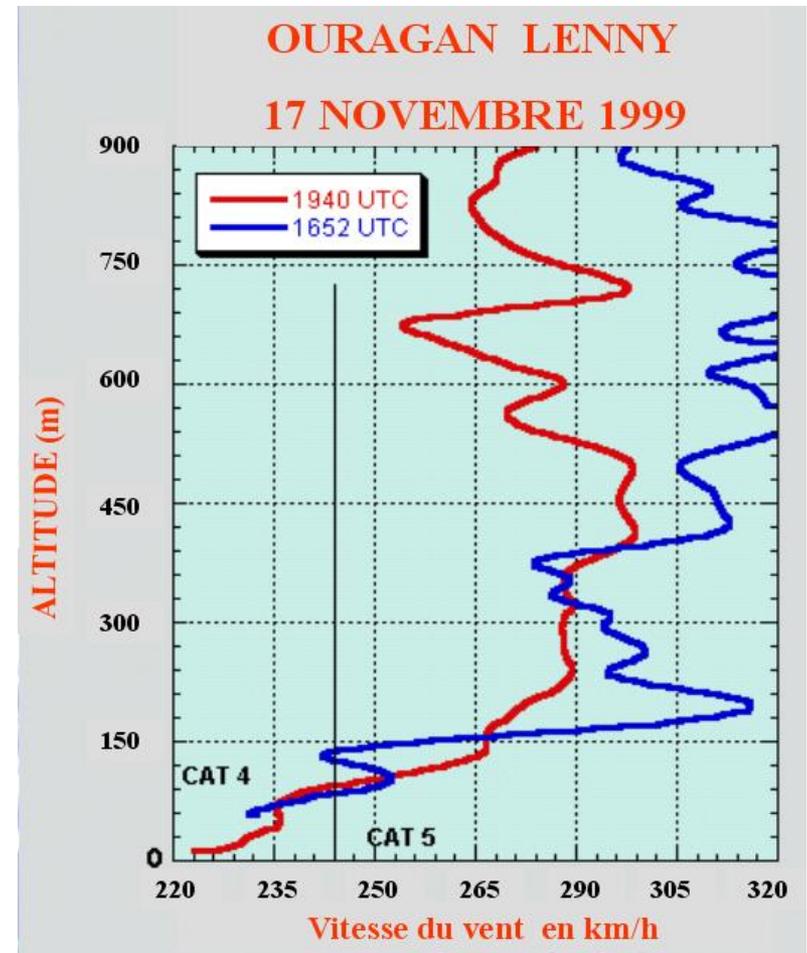
1kt = 1 noeud = 1,8 km/h

## Les vents cycloniques...suite

→ Profil vertical du vent : brusque augmentation fréquente dans les premières centaines de mètres d'altitude, surtout près du mur de l'oeil



Crédit : NOAA/NHC



Crédit : NOAA/NHC

# Les fortes précipitations cycloniques

## Différents paramètres et différents seuils ...

- 1- fortes intensités : 80-100mm par heure ,  
« pics » en 6 minutes dépassant 15mm
- 2- cumuls importants : plus de 200 mm en 12h,  
de 300mm en 24-48h

( 1mm = 1 litre d'eau par m<sup>2</sup> )

## pour différentes conséquences ...

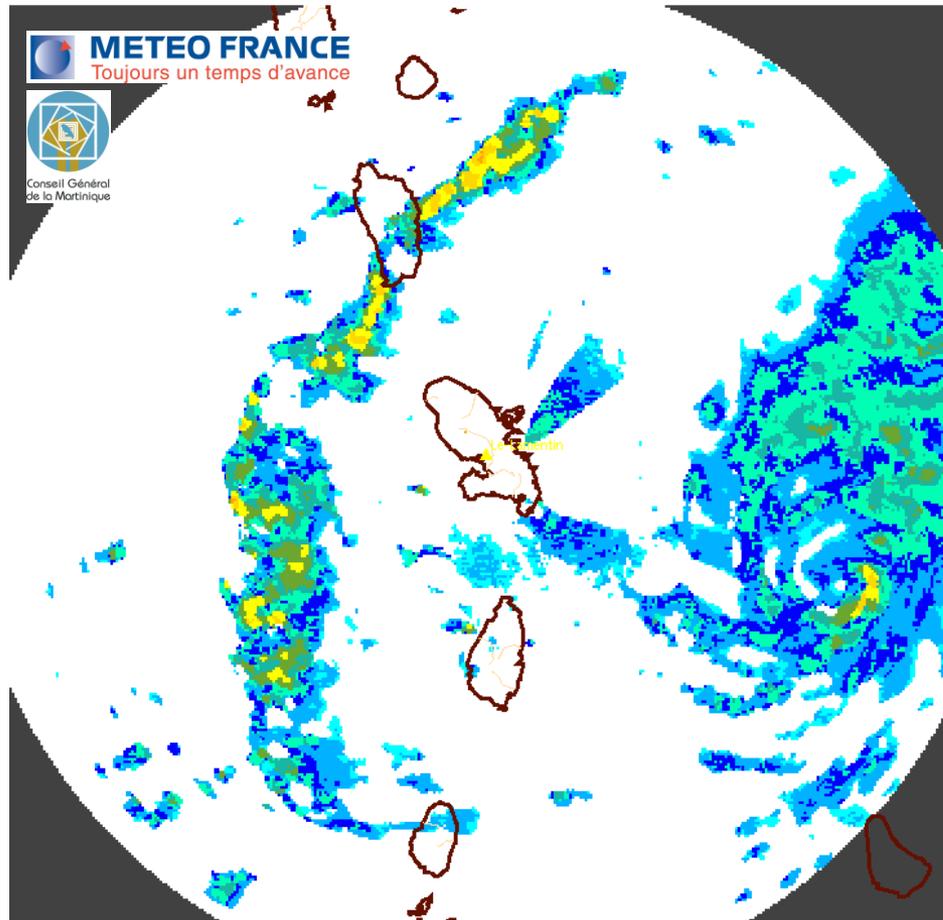
- 1- Crues « éclair » : réponse des rivières en général de type « torrent » → très rapide , entre 30 et 60 min.  
exception : Bassin de la Lézarde/plaine du Lamentin , réponse de plusieurs heures
- 2- Inondations non fluviales (points bas des routes ou secteurs, intensités trop fortes pour les écoulements et évacuations mis en place , ...)
- 3- Glissements de terrains
- 4- Coulées de boues
- ...

en fonction des différentes topographies, urbanisations, types de terrains... et du passé récent .



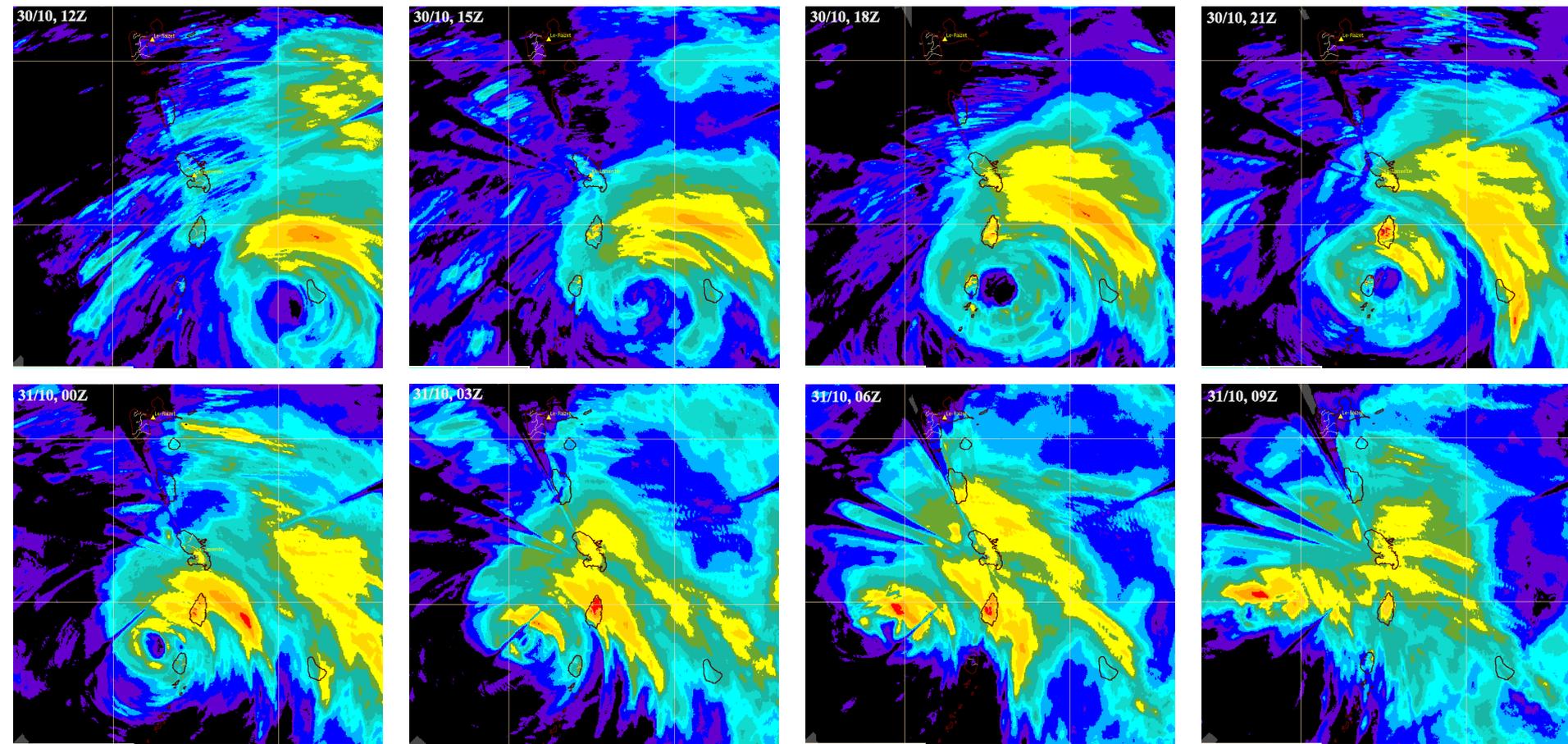
## Les fortes précipitations cycloniques...suite

- ▶ Les plus intenses sont souvent dans le mur de l'oeil mais heureusement passent assez vite
- ▶ Les cumuls les plus importants sont aussi dus aux bandes périphériques parfois à plus de 100km du centre qui balayent pendant plus longtemps la même région
- ▶ → Les quantités sont difficiles à mesurer du fait du vent violent ...les mesures peuvent sous-estimer d'au moins 30 à 50% la réalité



Images du radar de précipitations de Martinique (plus c'est orange-rouge, plus c'est intense)

# Les fortes précipitations cycloniques...suite



Hur. TOMAS, 3hours rain accumulation from the radar of Martinique



# Les fortes précipitations cycloniques...suite

→ Quelques valeurs record en Martinique ...  
( 1mm = 1 litre d'eau au m<sup>2</sup> )

Quelques valeurs exceptionnelles :

- 480mm en 24h à Ste-Marie ( Dorothy aout 70)
- 475mm aux Anses d'Arlet ( Beulah sept 1967)
- 450mm à Ducos ( Iris aout 95)
- 394mm à St-Joseph ( Klaus oct 90)
- 311 mm à Fort-de-France (Dean aout 2007)

578mm en Aout 1970  
Record quotidien de pluies  
mesurées à Trinité au passage  
du cyclone Dorothy

Intensités remarquables :

- 57mm en 15', 150mm en 1h ( Dorothy 1970)  
relevés à Fort de France
- 60mm en 30' et 95mm en 1h ( Klaus 1990)  
relevés aux 3-Ilets
- 103mm en 1h à Ste-Anne (Dean 2007)

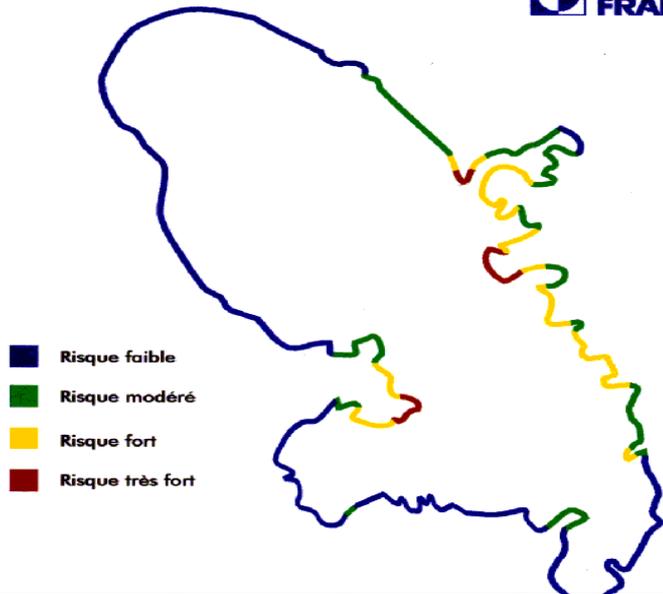


# L'onde de tempête (surcote)

- N'existe que par rapport à la côte et est très dépendant de la configuration du littoral (vulnérabilité très variable)
- Dû à la variation rapide et forte de la pression atmosphérique mais surtout à l'accumulation d'eau poussée par les vents violents sur une durée importante

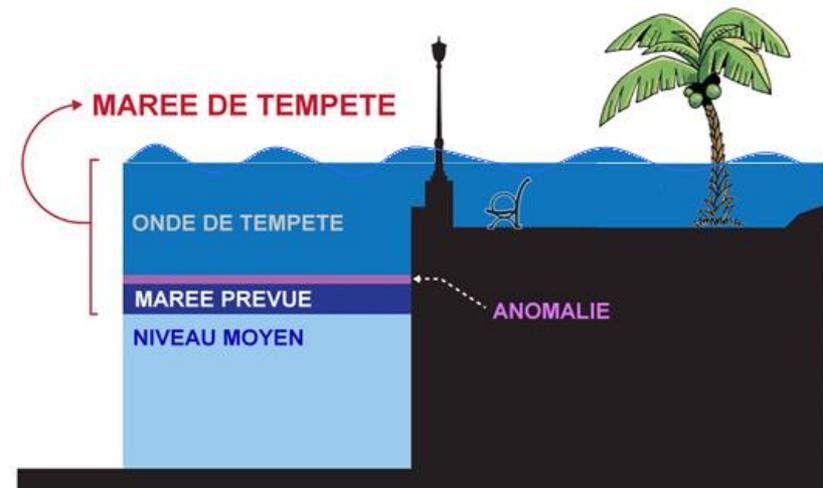


## Cartographie des zones à risque liées aux surcotes



- Risque faible
- Risque modéré
- Risque fort
- Risque très fort

Onde de tempête + Marée astronomique  
= Marée de tempête



Vulnérabilité \ Cyclone	Tempête	Our. Cl 1	Our. Cl 2	Our. Cl 3	Our. Cl 4	Our. Cl 5
Faible	5 à 20	15 à 40	25 à 60	35 à 80	45 à 90	50 à 100
Modéré	15 à 40	30 à 60	50 à 100	70 à 150	90 à 170	100 à 200
Fort	25 à 60	50 à 110	80 à 170	120 à 250	170 à 270	200 à 300
Très Fort	50 à 100	90 à 130	150 à 250	200 à 350	270 à 400	Sup à 300

(Etudes datant de plus de 15 ans, en cours de révision avec meilleures connaissances et méthodologies)

