

## Estimation des vents de surface par microonde (actif/passif) depuis l'espace Y. Quilfen - IFREMER / LOS

- Mesures actives : section efficace radar  $\sigma_0$  (propriétés géométriques de la surface)  
rugosité  $\sim$  tension du vent  $\tau$ 
  - ✓ Estimation vitesse et direction (diffusiomètres) du vent
  - ✓ Résolution  $\sim$  10km ou meilleure (SAR, altimétrie haute résolution)
  - ✓ Inversion  $\sigma_0$  / vent (biais potentiels), saturation aux vents forts, contamination par la pluie
  - ✓ Continuité des missions depuis 1991 (diffusiomètres, SAR, altimètres)
  - ✓ Technologies et géométries de mesure variables (diffusiomètres)
- Mesures passives: température de brillance (propriétés émissives de la surface+atmosphère)  
 $Tb_{\text{océan}} = f(\text{SST}, \tau, \text{SSS})$ 
  - ✓ Estimation vitesse et direction (WindSat) du vent
  - ✓ Résolution  $>$  20 km (depuis l'espace)
  - ✓ Inversion  $Tb$  / vent, inversion difficile si eau liquide  $>$  seuil
  - ✓ Continuité des missions depuis 1987 (SSM/I, AMSR, TMI, WindSat)
  - ✓ Windsat: radiomètre polarimétrique (6.8, 10.7\*, 18.7\*, 23.8, 37\* GHz). Bandes C et X
  - ✓ SMOS: radiomètre bande L
- Ocean Vector Wind Science Team (US, Europe, ...) : harmonisation des produits, définition de standards, problématiques scientifiques

## Recommandations du Ocean Vector Wind Science Team

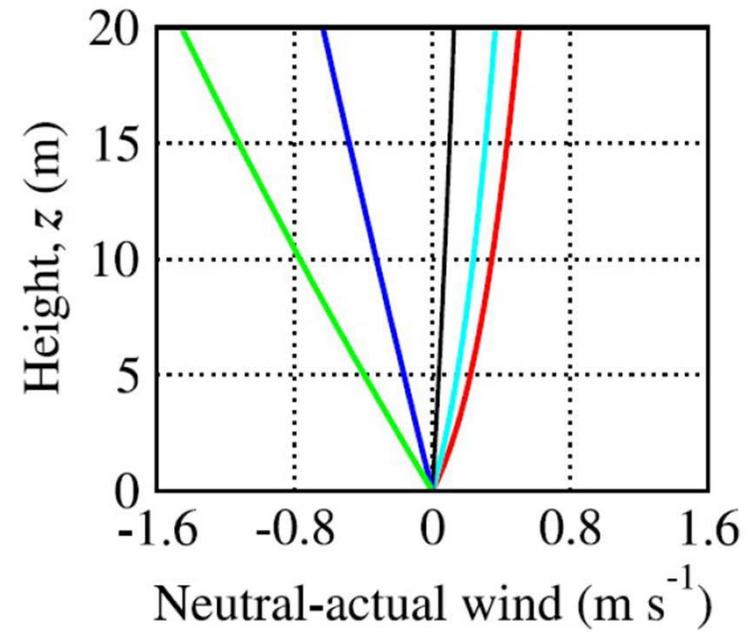
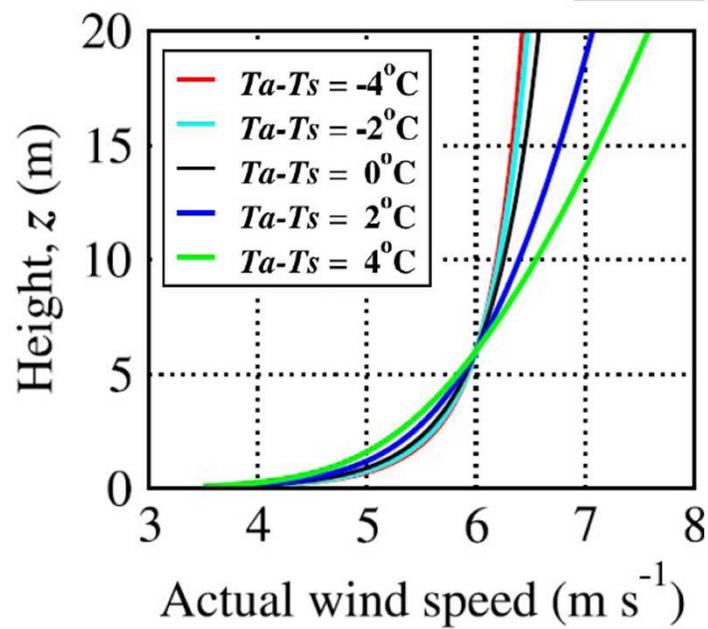
- The largest systematic difference between wind products is governed by high wind speed differences due to GMF differences. *The community should strive towards a unified approach to high wind data products.*
- Although meeting nominal performance requirements, wind data products are not yet climatologically consistent with each other at the 10 cm/s systematic difference level (even disregarding high winds). These differences are possibly due to processing differences. *The community should strive towards algorithm consistency at the 10 cm/s and 1 cm/s/year levels.*
- Rain remains a significant issue at all frequencies, and significant progress can still be made in improving data products in rain.
- High resolution winds are very valuable, but validating them remains problematic. *The community should strive to define criteria for the validation of high resolution winds*
- The community should strive towards direct estimation of wind stress from scatterometry.
- The future of OVW products will be cross-platform consistently processed winds and wind stress meeting climate requirements and appropriately sampled in space and time.
- Agreed common metrics and uncertainty estimation methods are needed, together with a standard way of making them available to the community
- Bridges with other wind data record data sets are needed, not only from passive microwave, but also from altimeters and SAR, with the objective of cross-validating the stability and consistency over time of the different data records

## Quel vent: réel, neutre, tension du vent

- ✓ Mesures actives et passives corrélées à la tension du vent à la surface  $\tau = \rho u_*^2$
- ✓ Profil vertical du vent:  $U(z) - U_{sfc} = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{z}{z_0} + \Phi(z/L) \right)$
- ✓ Pour des raisons pratiques, les fonctions de transfert actif/passif ont généralement été définies et calibrées par rapport au vent réel (référence = mesure bouée) à une hauteur fixe au-dessus de la surface (10m).
- ✓ Erreurs systématiques dans les vents satellites inversés en présence de courants de surface, d'états de mer ou de stabilité atmosphérique typés
- ✓ Les diffusiomètres QuikScat, ASCAT maintenant calibrés sur le vent neutre à 10m:  $U_{10N} - U_{sfc} = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{10}{z_0} \right)$   
Avantage: erreur réduite, quantité mieux corrélée avec la mesure satellite  
calcul de la tension du vent facilitée  $\tau = \rho C_{DN} U_{10N}^2$
- ✓ Disparité dans le paramètre restitué par les différents instruments actif / passif, différentes communautés d'utilisateurs
- ✓ Si la mesure active/passive répond plus à la tension du vent qu'à la vitesse de frottement, une variation importante de la densité de l'air peut introduire des biais ~ 1 m/s
- ✓ Pour des raisons pratiques paramétrisations simplifiées  $z_0 = f(u_*)$  ou  $C_{DN} = f(U_{10N})$   
influence de l'état de la mer sur les mesures actives / passives et les vents inversés??

## Influence de la stabilité atmosphérique

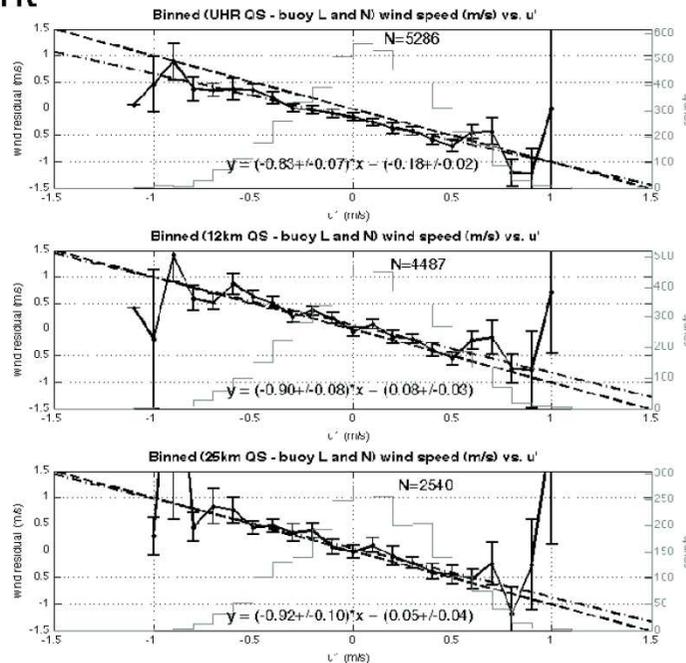
- ✓ La différence entre vent réel et vent neutre plus grande pour des conditions stables
- ✓ Conditions globalement instables, vent neutre > de 20 cm/s



## Influence du courant de surface

- ✓ La validation des vents diffusiométriques ou altimétriques / bouées a mis en évidence un biais résiduel dû aux courants de surface ( Quilfen et al., 2001, Kelly et al., 2005; Plagge et al., 2010) :
- ✓ Utilisation du Doppler sur le modèle des études SAR (Chapron et al., 2005): DOPSCAT

### QuikSCAT and buoy wind speed residuals vs. projected current



$$U(z) - U_{sfc} = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{z}{z_0} + \Phi(z/L) \right)$$

--- weighted LS fit

black dashed line indicates  $y = -x$

## Influence de l'état de la mer

- ✓ Les mesures altimétriques de  $\sigma_0$  en bande Ku sont mieux corrélées avec la vitesse de frottement (Vandemark et al., 1997)
- ✓ Dérivation d'un algorithme  $U_{10N} = f(\sigma_0, H_s)$  pour T/P, Jason-1 et 2 (Envisat ?)

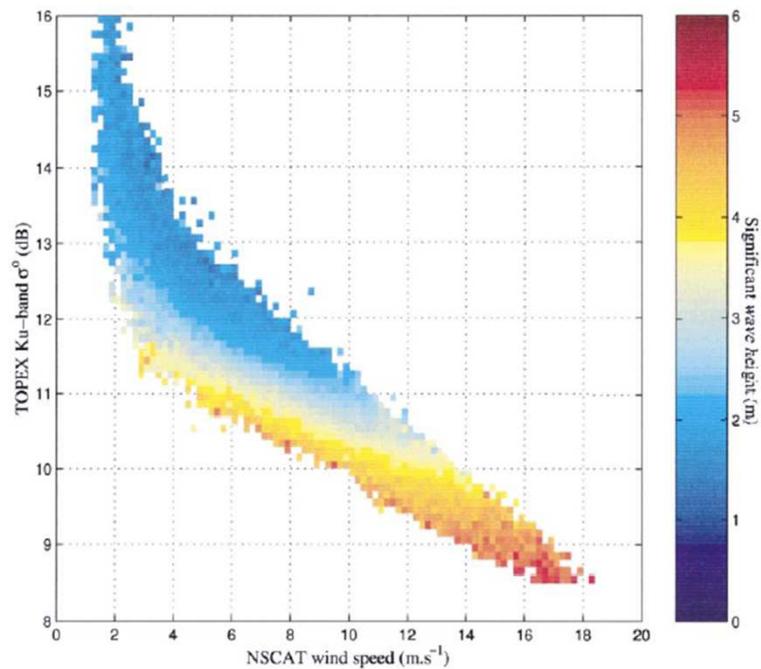
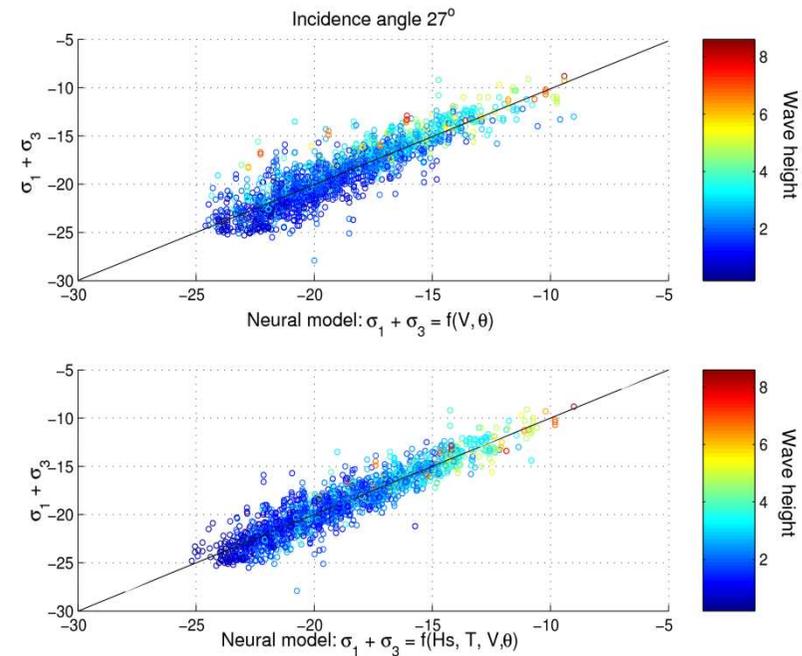
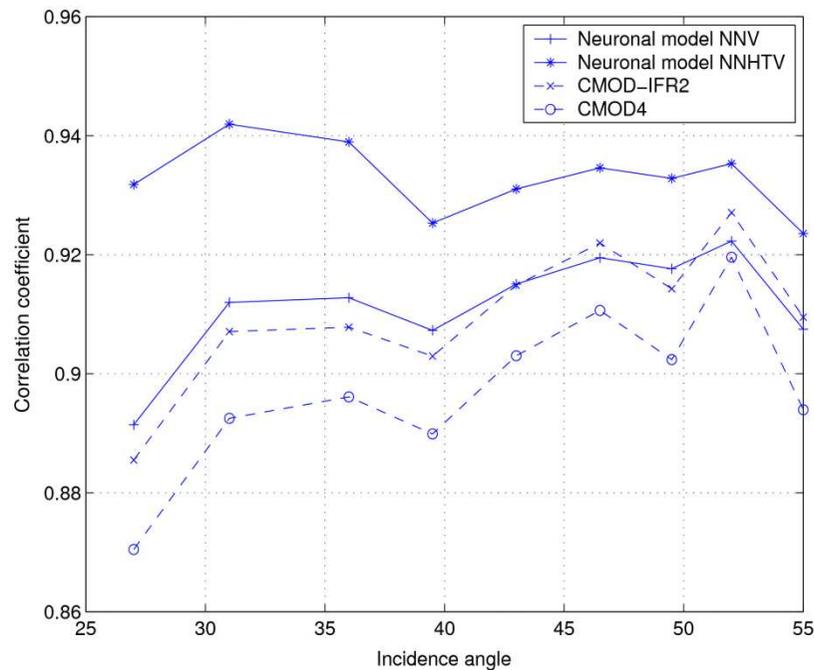


FIG. 4. Grid for TOPEX  $\sigma^0$  vs NSCAT wind speed and  $H_s$ , where color represents the average value for  $H_s$ . Bin width :  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ ,  $0.1 \text{ dB}$ .

Gourrion et al., 2002

## Influence de l'état de la mer off-nadir

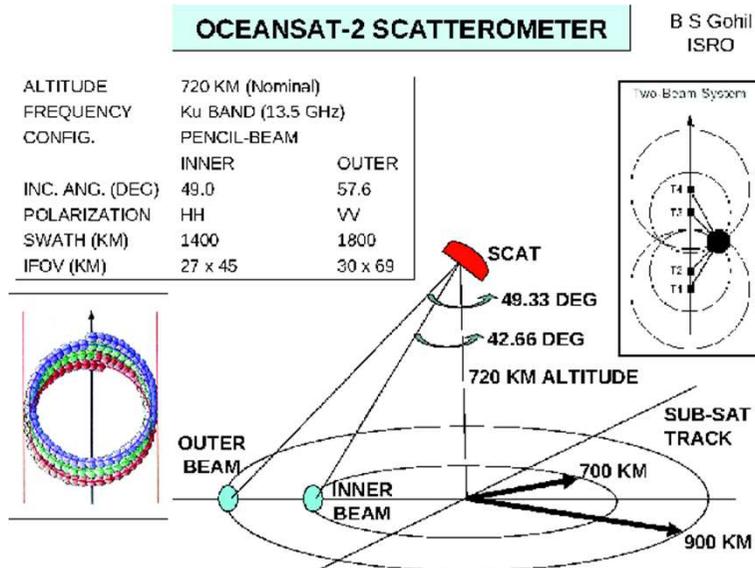
- ✓ Les mesures diffusiométriques en bande Ku mieux corrélées avec la vitesse de frottement (Weismann et al. 1994)
- ✓ Effet de l'état de la mer sur les mesures bande C du diffusiomètre d'ERS-1/2 (Quilfen et al., 2004)
- ✓ Dépend de l'angle d'incidence: modulation par les grandes vagues supérieure aux incidences plus faibles
- ✓ Potentiel mission CFOSAT: mesures  $\sigma_0$  SWIM nadir et proche nadir, SCAT off-nadir colocalisées avec les mesures d'état de mer SWIM
- ✓ Effet sur les mesures passives (étude SMOS en cours)



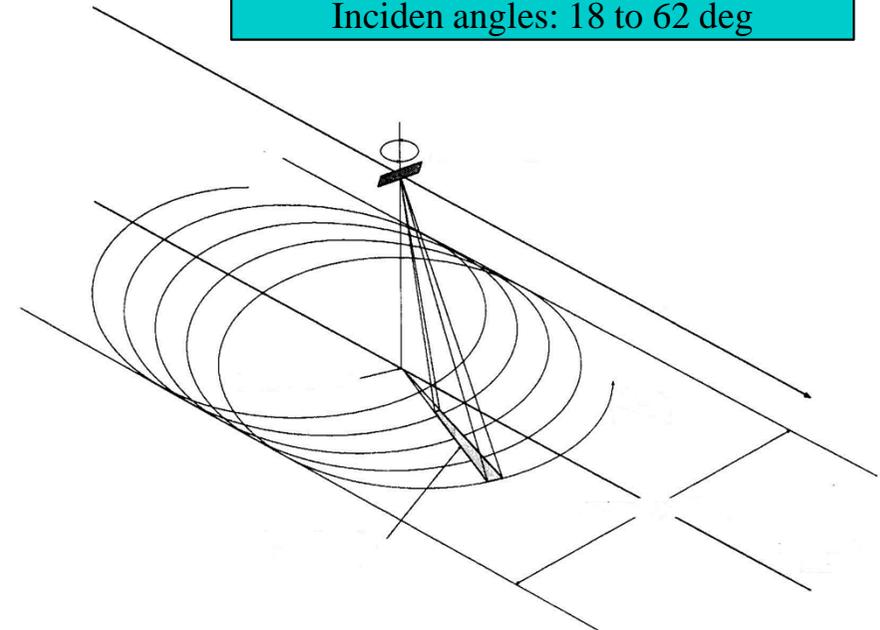
## Influence de la géométrie de mesure

- ✓ Géométries très variables avec mesures multi incidence/azimuth/fréquence/polarisation et niveaux de bruit variables
- ✓ Fonctions de transfert empiriques limitées dans leur représentativité physique, formulation, calibration

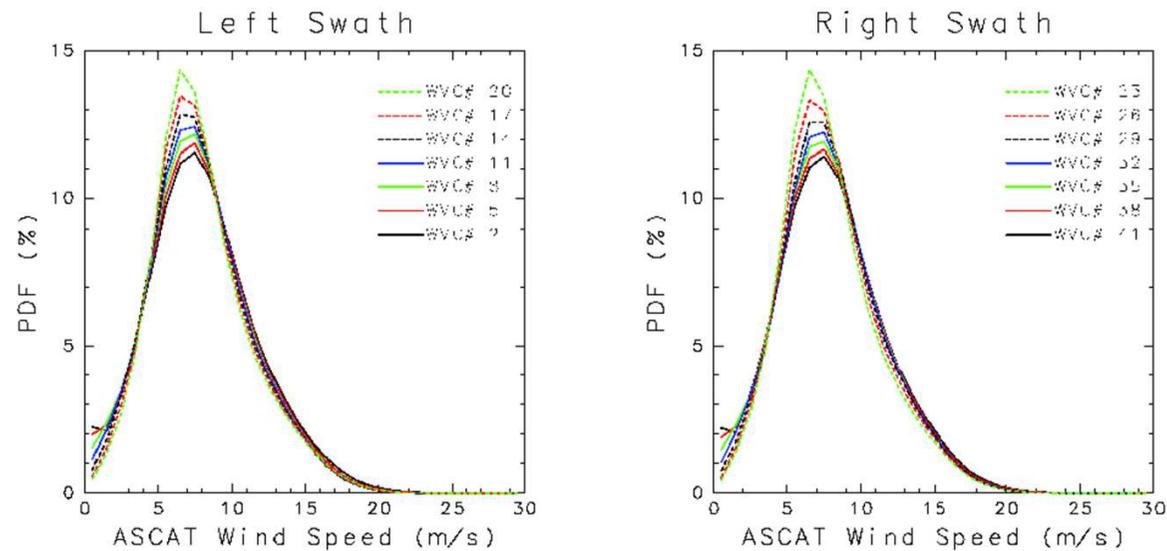
OceanSat-2: pencil beam  
Incidence angles: 42.6 and 57 deg



CFOSAT: fan beam  
Inciden angles: 18 to 62 deg



## ASCAT Global Wind Speed Histograms



Period: 1 Jan. 2010 – 31 Dec. 2010 (1 year)

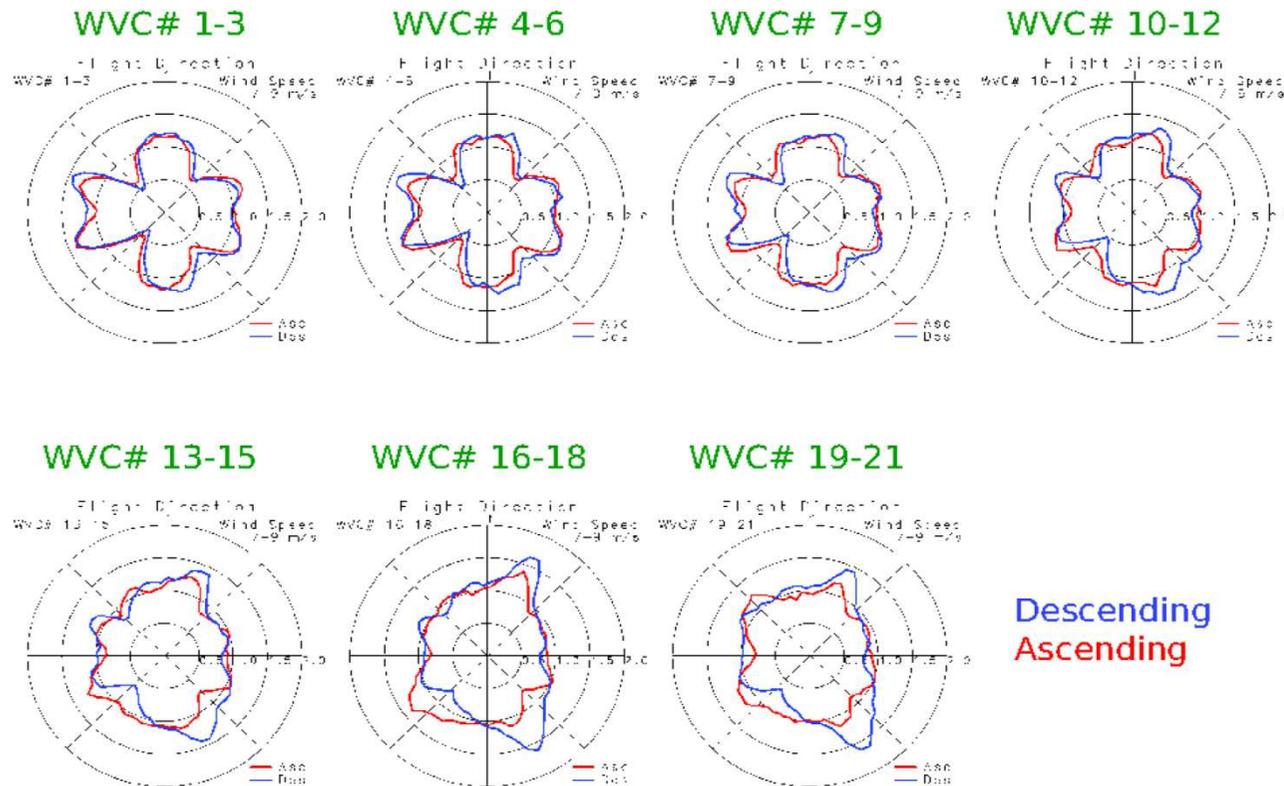
Area: global ocean, 60°S – 60°N

Bin size: 1 m/s

- Les statistiques des distributions des vitesses sont différentes pour les différents angles d'incidence (Ebuchi et al, 2011)
- Comportements cross-track similaires QuikScat, CFOSAT, ... (distribution des incidences et azimuts)

# Influence de la géométrie de mesure: diffusiomètre ASCAT

## Normalized ASCAT Wind Direction Histograms

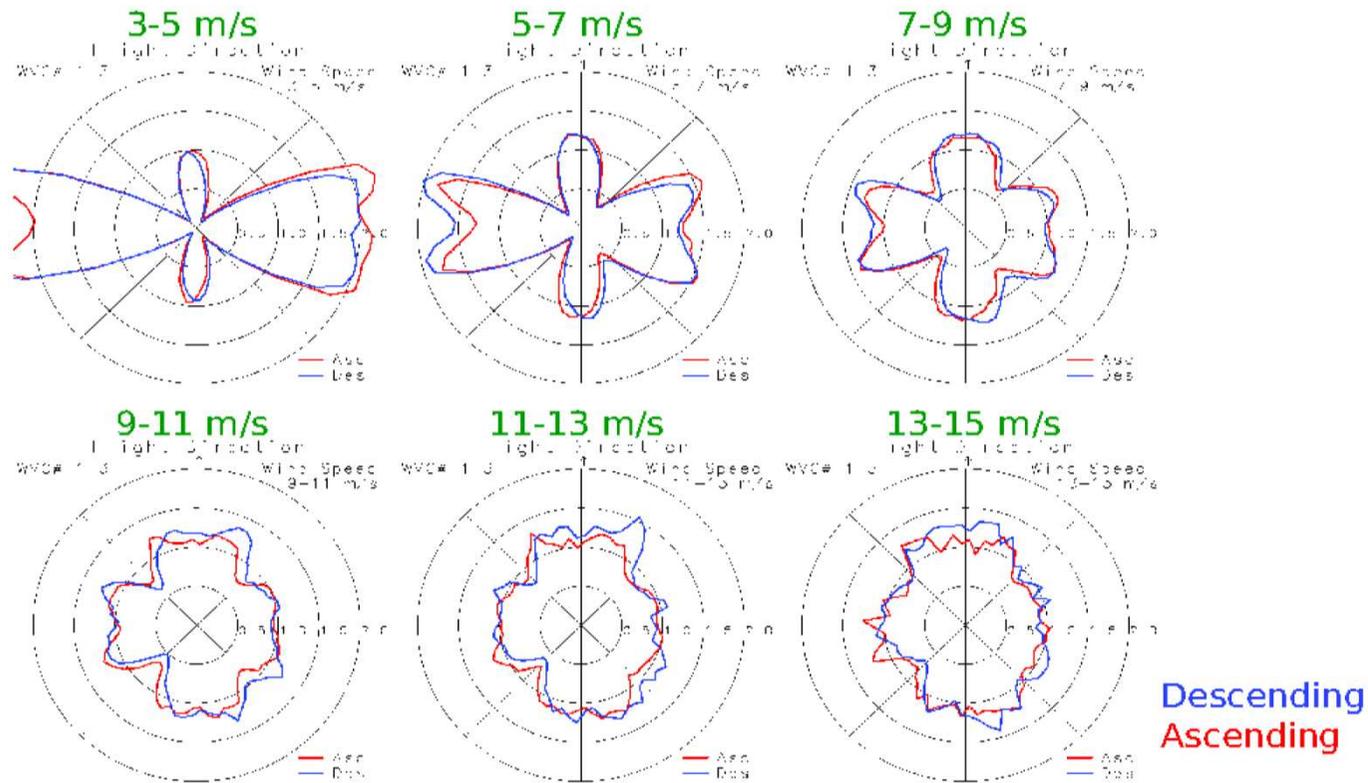


Normalized (ASCAT/NWP), Left Swath, Wind Speed Range: 7-9 m/s

Modulation azimuthale plus faible aux faibles incidences + erreurs du modèle de rétrodiffusion + méthodes d'inversion → piègeage des directions dans des azimuts privilégiés / antennes

## Influence de la géométrie de mesure: diffusiomètre ASCAT

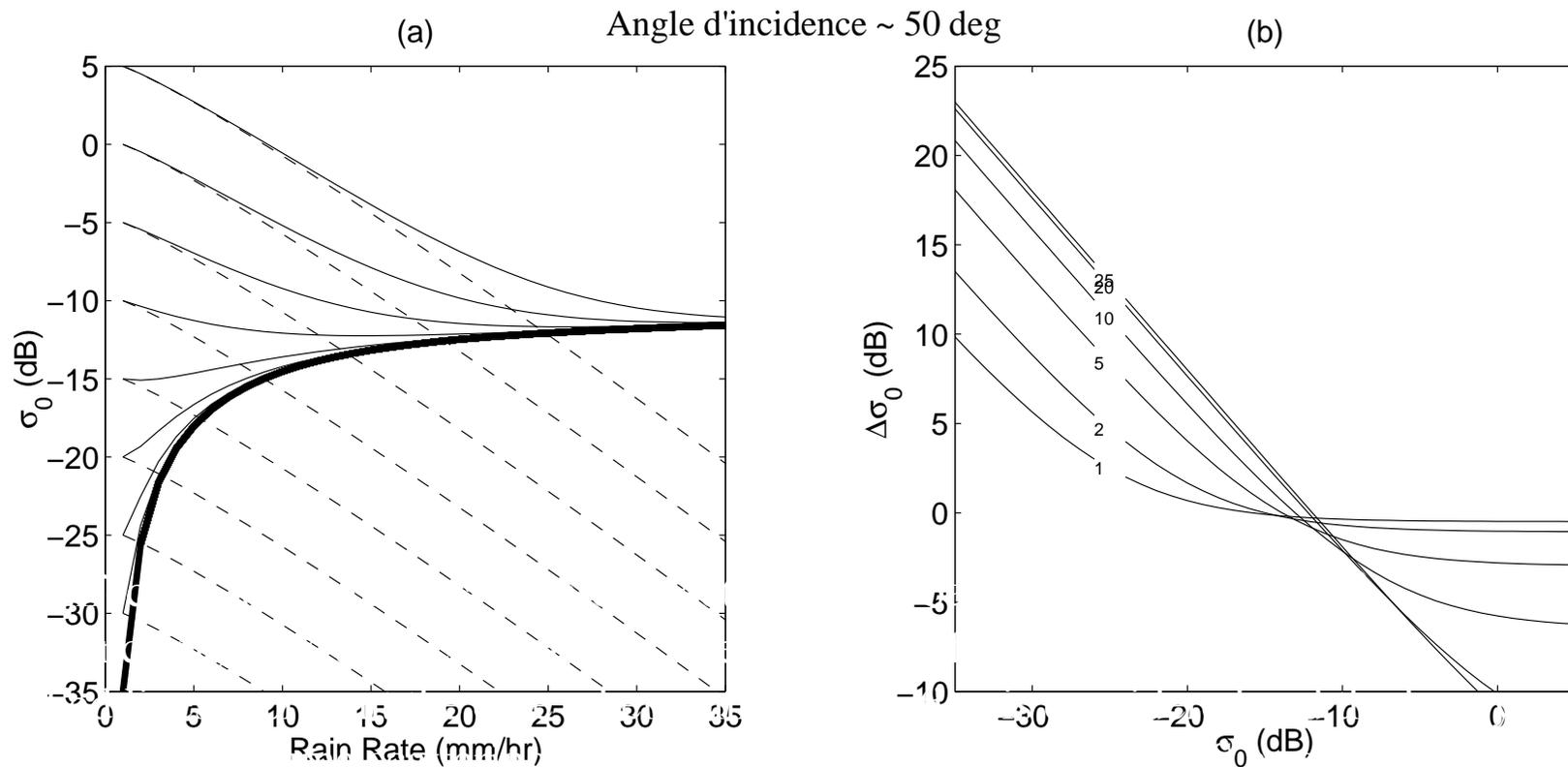
### Wind Speed Dependence of Normalized Wind Direction Histograms (Outer Cells)



Normalized (ASCAT/NWP), WVC#: 1-3 (Left Outer Swath)

## Effets de la pluie sur la mesure radar

- ✓ Plusieurs facteurs affectent la mesure: atténuation, diffusion de volume, modification de la rugosité
- ✓ Contamination en bande Ku particulièrement importante (diffusiomètres, altimètres, SWIM, ...)
- ✓ Mesures bi-fréquence pour l'altimétrie

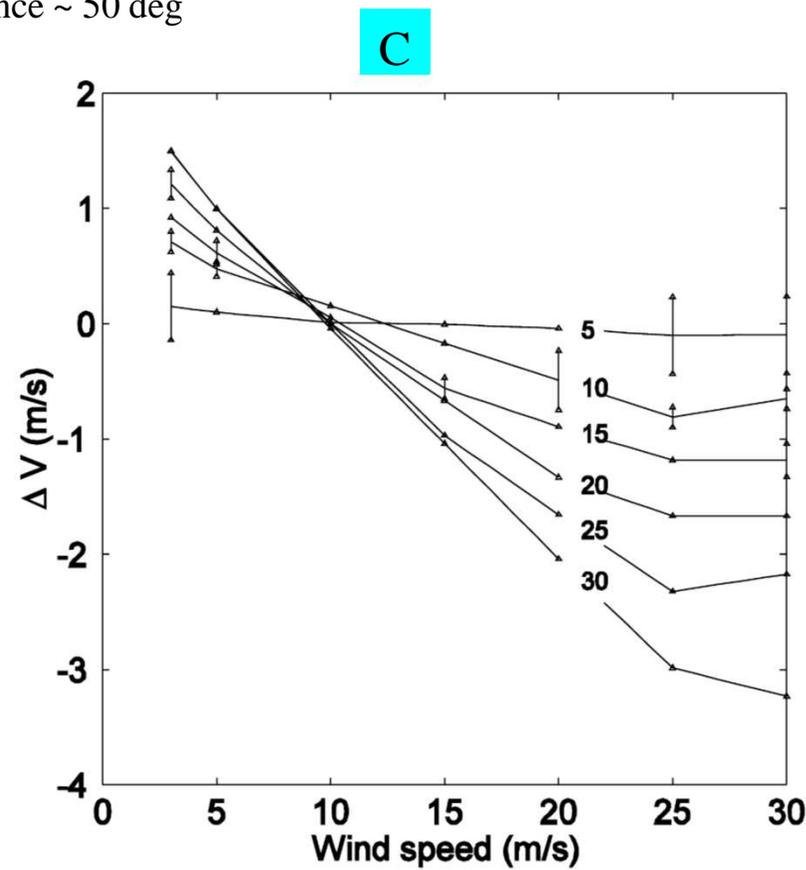
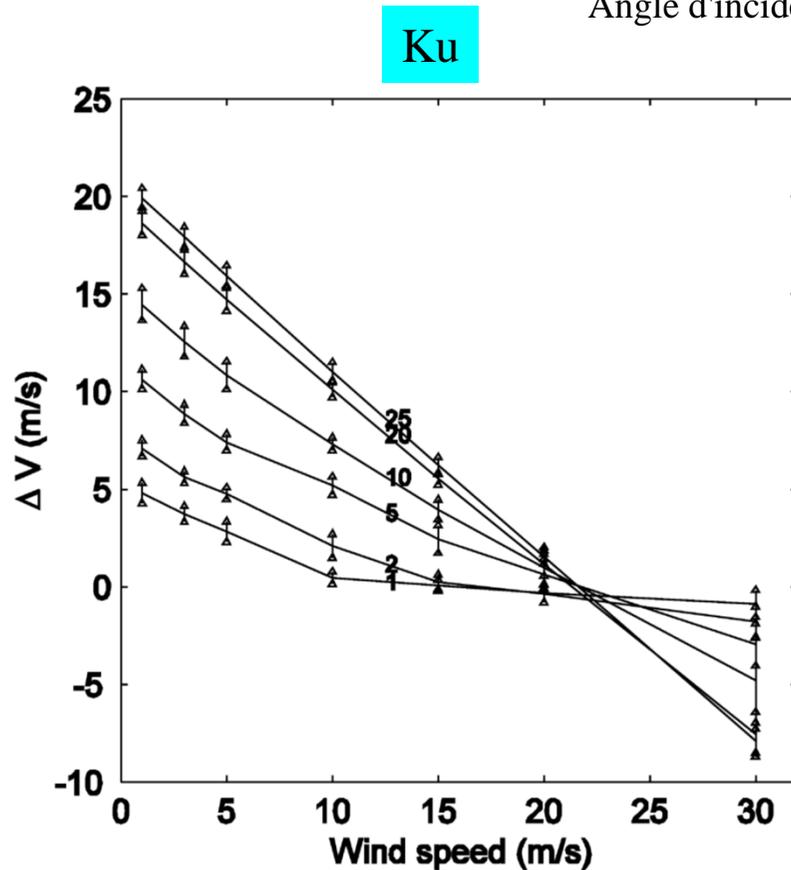


Tournadre and Quilfen, 2003

## Effets de la pluie sur la mesure radar – C vs Ku

- ✓ Bande Ku: importante surestimation  $V < 20$  m/s  
sous estimation pour les vents forts et les taux de pluie forts
- ✓ Bande C: surestimation  $\sim 1$  m/s pour  $V < 7$  m/s et sous estimation pour les vents forts et les taux de pluie importants (exemple SAR dans les cyclones)

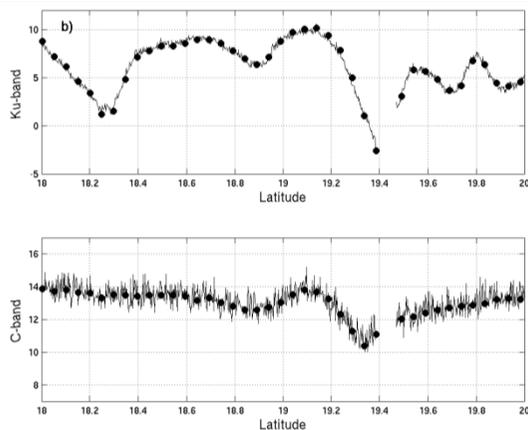
Angle d'incidence  $\sim 50$  deg



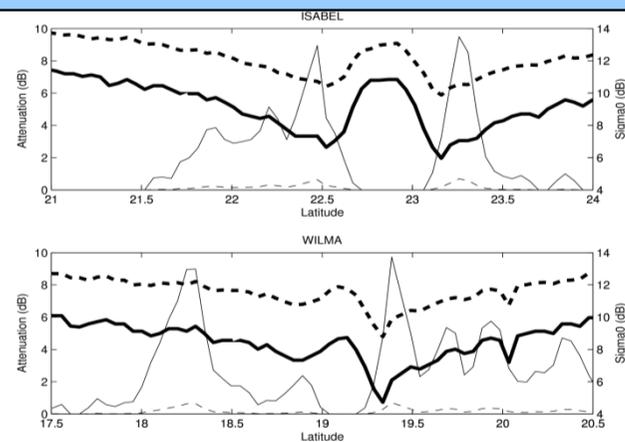
## Interprétation des mesures altimétriques dans les cyclones

- ✓ Mesures bi-fréquence → utilisation d'un algorithme itératif pour estimer les atténuations C et Ku et corriger les  $\sigma_0$ , puis d'un algorithme vents forts pour estimer les vents (taux de pluie). Quilfen et al., 2010

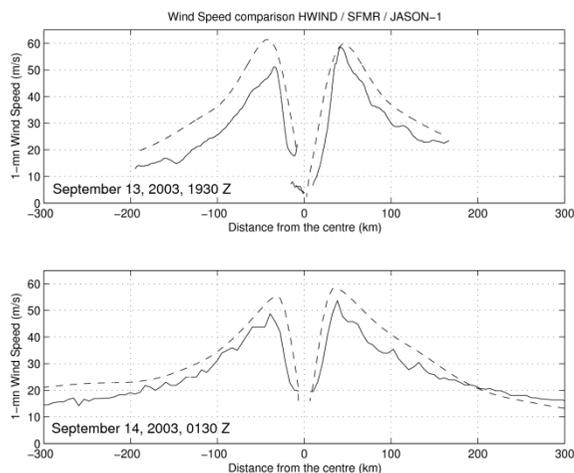
### Paramètres dérivés des formes d'onde



### $\sigma_0$ corrigés et atténuations



- ✓ Validation cohérente / observations radiométriques et analyses de référence

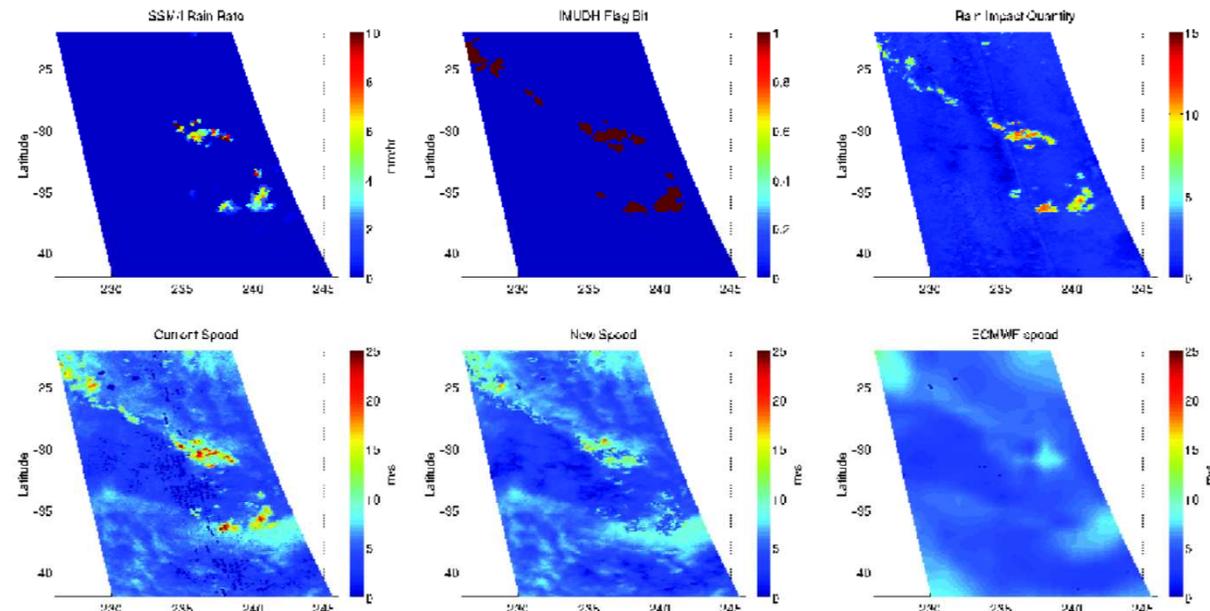


## Interprétation des mesures diffusiométriques dans les cas de pluie

- ✓ algorithmes de détection: flag
- ✓ algorithmes de correction:  $\sigma_0$  et vents corrigés (produits L2B PODAAC)  
réseau de neurones (4  $\sigma_0$ , incidence, vent inversé)

# Example Wind Field

(observed by QuikSCAT and partially by SSM/I on December 20, 2008  
at 14:00 UTC.)

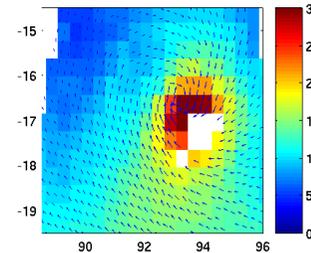


Dunbar et al., 2011

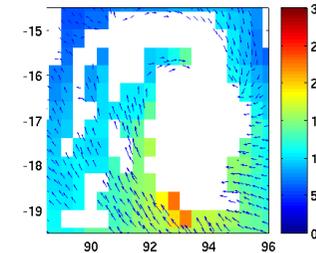
## Interprétation des mesures passives dans les cas de pluie

- ✓ Vents radiométriques (SSM/I, WindSat, ...) usuellement pas calculés pour  $CLW > 0.2\text{mm}$

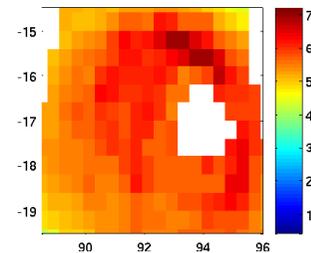
Vent QuikScat



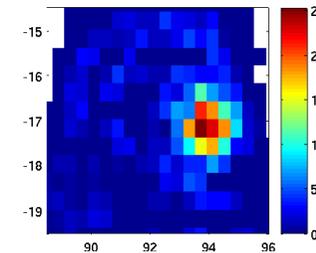
Vent Windsat



Eau liquide



Taux de pluie



- ✓ Amélioration des vents radiométriques standards par l'ajout des canaux X et/ou C, cas de pluie inclus

**Table 1.** The Performance of the Inversion for the Different Observation Combinations<sup>a</sup>

	RMS, no rain	Mean, no rain	RMS, rain	Mean, rain	RMS, ws > 15 m/s	Mean, ws > 15 m/s
WindSat	1.56	-0.75	3.12	-1.54	2.98	-1.75
WindSat (minus 6 GHz)	1.57	-0.75	3.21	-1.53	2.98	-1.71
WindSat (minus 6 and 10 GHz)	2.36	-1.25	3.62	-2.04	4.33	-3.06
WindSat + QuikSCAT	1.73	-0.83	3.00	-1.71	2.90	-1.89
Operational WindSat	2.26	-0.38	8.70	5.54	4.75	-0.49

<sup>a</sup>The results are first presented for the non-rainy cases (WindSat  $CLW < 0.2\text{ mm}$ ), for the rainy cases, and finally for the wind speeds above 15 m/s. Unit in m/s.

Validation / QSCAT

## Comparaison des performances mesures passives vs actives

✓ Algorithme semi-statistique Windsat  
“tout temps”: vent et pluie (vs NCEP)

✓ Algorithme QuikScat (Ku2011)  
calibré sur Windsat  $V > 16$  m/s

✓ Cross-calibration SSM/I F13, AMSR-E, Windsat, QuikScat

✓ Validation indépendante à effectuer

Meissner et Wentz, 2010

Wentz et al., 2011

Rain Rate	Satellite – BUOY Wind Speed [m/s]			
	Bias		Standard Deviation	
	WindSat all-weather algorithm		QuikSCAT Ku 2011	
No rain	0.04	0.9	0.01	0.9
Light rain 0 – 3 mm/h	0.7	1.6	1.7	2.3
Moderate rain 3 – 8 mm/h	0.02	2.0	4.8	3.6
Heavy rain > 8 mm/h	-0.5	2.2	7.1	4.5

	Condition	Passive WindSat V7	Active QuikSCAT Ku2011 GMF
Wind speed	no rain low – moderate winds	++	++
	no rain high winds	++	+
	rain	+	-
Wind direction	moderate – high winds no - moderate rain	++	++
	low winds	-	+
	high rain	-	+
Rain detection		++	-

++  
very good

+  
slightly degraded

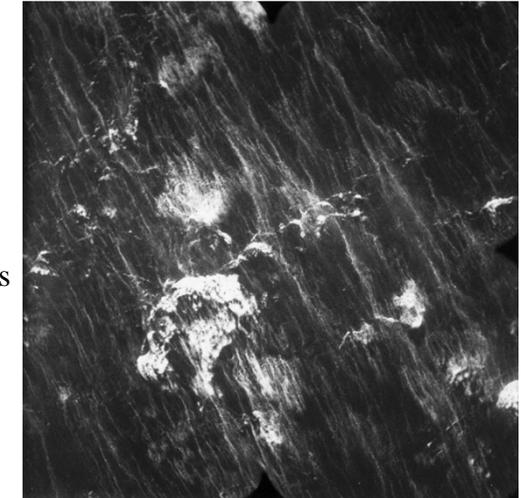
-  
strongly degraded / impossible

## Les vents forts

- ✓ Specifications des capteurs définies pour la mesure de vents jusqu'à ~ 24 m/s
- ✓ D'après l'échelle Beaufort, les conditions de tempête sont définies pour des vents > 24.5 m/s
- ✓ La surface est partiellement couverte par l'écume et l'air est plus ou moins saturé d'embruns

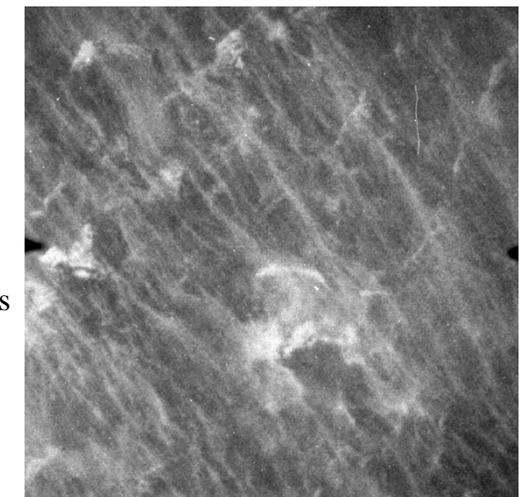
10	Storm, <sup>[6]</sup> Whole gale	89–102 km/h (24.7-28.3 m/s)	9–12.5 m	Very high waves with overhanging crests. Large patches of foam from wave crests give the sea a white appearance. Considerable tumbling of waves with heavy impact. Large amounts of airborne spray reduce visibility.
		55–63 mph		
		48–55 kn	29–41 ft	
		24.5–28.4 m/s		
11	Violent storm	103–117 km/h (28.6-32.5 m/s)	11.5–16 m	Exceptionally high waves. Very large patches of foam, driven before the wind, cover much of the sea surface. Very large amounts of airborne spray severely reduce visibility.
		64–72 mph	37–52 ft	
		56–63 kn		
		28.5–32.6 m/s		
12	Hurricane Force <sup>[6]</sup>	≥ 118 km/h (≥ 32.8 m/s)	≥ 14 m	Huge waves. Sea is completely white with foam and spray. Air is filled with driving spray, greatly reducing visibility.
		≥ 73 mph	≥ 46 ft	
		≥ 64 kn		
		≥ 32.7 m/s		

~28m/s



200 m

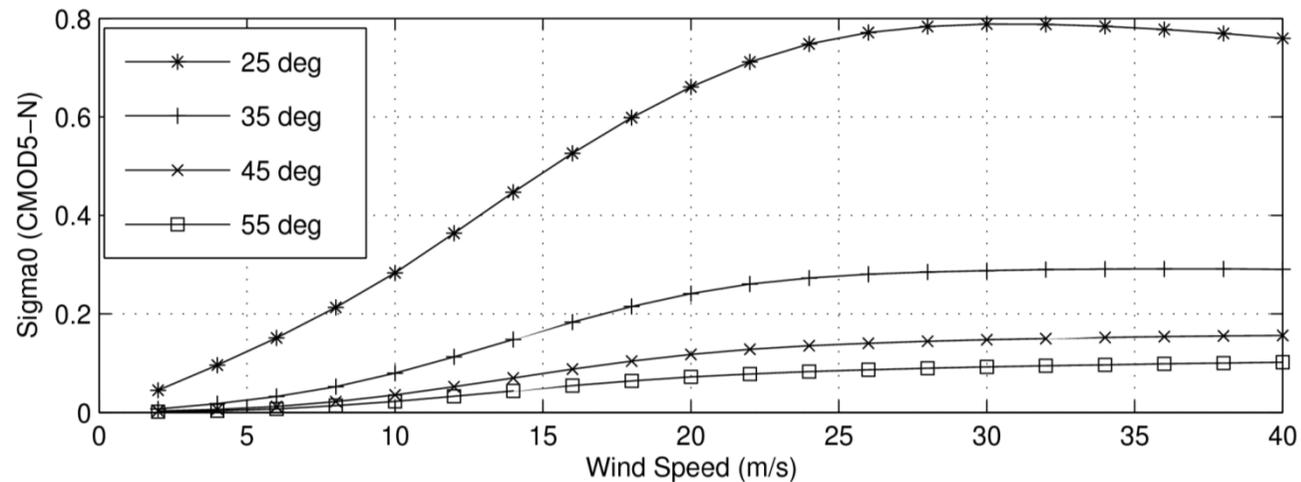
~48m/s



P. Black

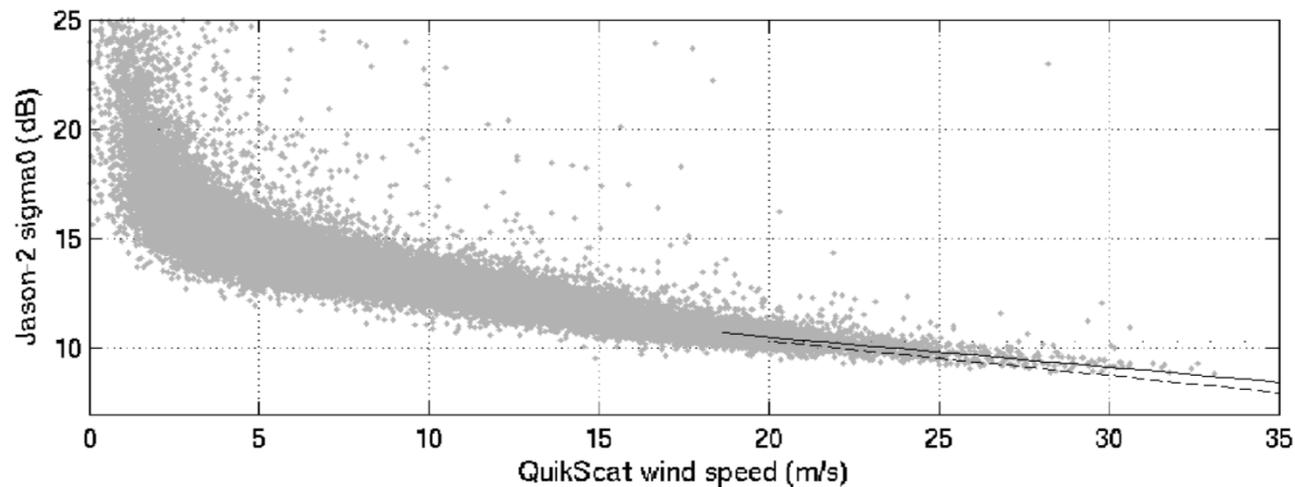
## Les vents forts: mesures actives

✓ Réduction du coefficient de traînée aux vents forts, d'où saturation rapide des mesures off-nadir, décroissance de  $\sigma_0$  pour  $V = f(\theta, \lambda, pol)$



Modèle scat.  
Bande C: CMOD5\_N  
Verhoef et al., 2008

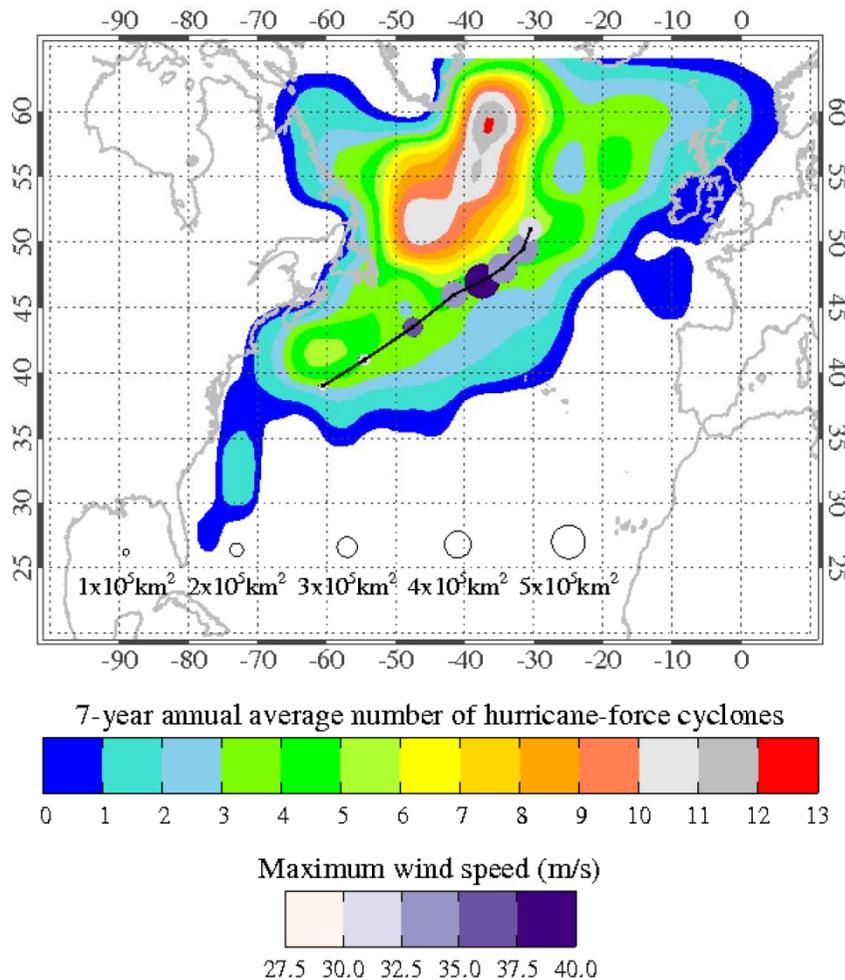
✓ Sensibilité des mesures nadir: impact de la couche d'écume sur la réflectivité, de la couche d'embruns (atténuation), de la cambrure des vagues de gravité longue sur la mss, .....



Modèle vents forts alti Jason-1/2  
Quilfen et al., 2011

## Les vents forts: mesures actives

- ✓ Off nadir, sensibilité bande Ku, H-pol, ~ 50deg incidence relativement intéressante à exploiter (Fernandez, 2006)
- ✓ Modèle QSCAT-1/F13 calibré sur les mesures passives de SSM/I F13 pour les vents > 16m/s
- ✓ Vents > 25 m/s issus de mesures satellites passives ou actives (diffusiomètres) couramment utilisés dans les centres météo et pour des études scientifiques.

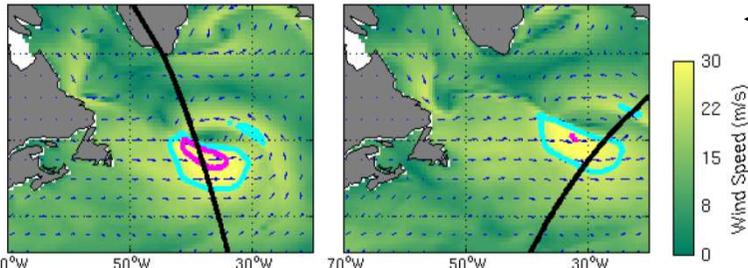


From J. Sienkiewicz  
Hanafin et al., 2011

- Superposée à la climatologie annuelle des cyclones, la trace de la tempête QUIRIN (Février 2011) toutes les 6h entre le 13 00Z et le 14 18Z.
- La taille des cercles donne une mesure de l'étendue du fetch: surface sur laquelle les vents > 24.5 m/s (500.000 km<sup>2</sup> le 14 à 00Z)
- La vitesse de la tempête détermine les conditions de résonance et de croissance pour les états de mer
- Etats de mer / flux

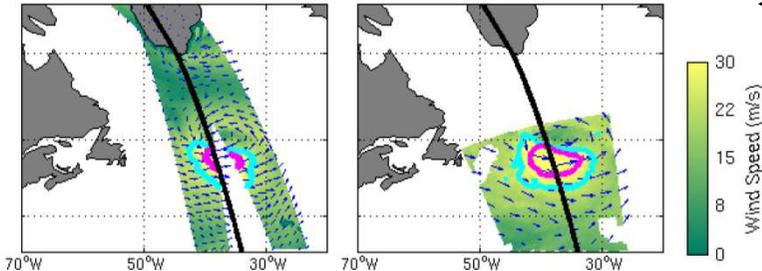
# Les vents forts: mesures actives

NCEP 02/14/2011 00Z - Vm~38.3 m/s      NCEP 02/14/2011 12Z - Vm~32.8 m/s



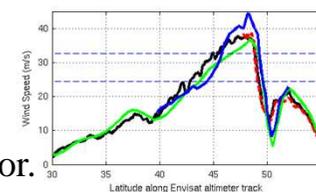
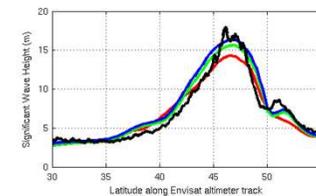
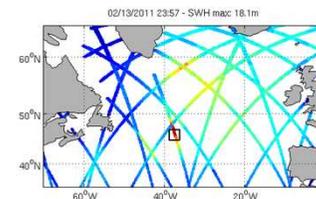
← Envisat (top left) and Jason-2 (top right) tracks intersect The NCEP storm-force (cyan) and hurricane-force (magenta) wind field at 12h time interval

ASCAT 02/14/2011 00:08 - Vm~39.8 m/s      OCEANSAT 02/14/2011 01:52 - Vm~44.7 m/s

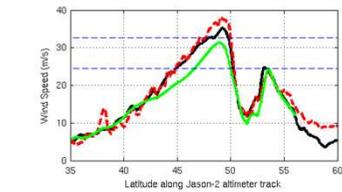
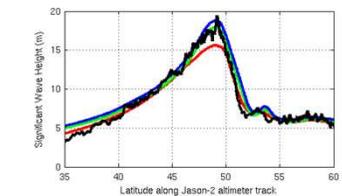
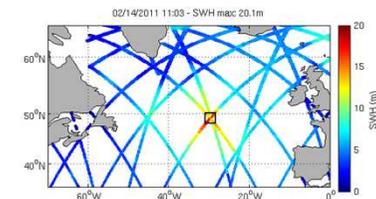


← Two ASCAT (left) and one Oceansat-2 (right) swaths close to the Envisat pass time

## Envisat



## Jason-2

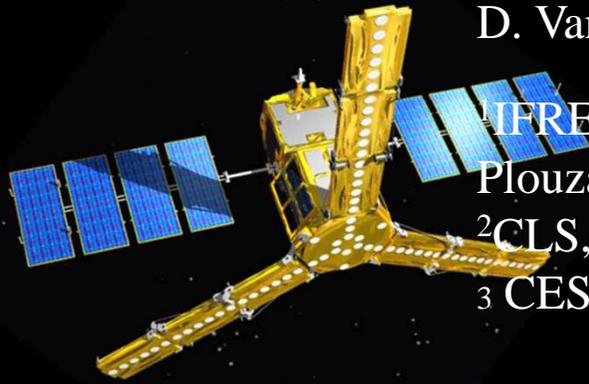


## Significant Wave Heights

Although interesting agreement is found between Envisat and scatterometers winds (bottom left), and between Jason-2 altimeter and radiometer winds (bottom right), effects of signal saturation, sea state, and rain are not properly accounted for.

# SMOS Satellite L-band Radiometer: a new Capability for Ocean Surface Remote Sensing in Hurricanes

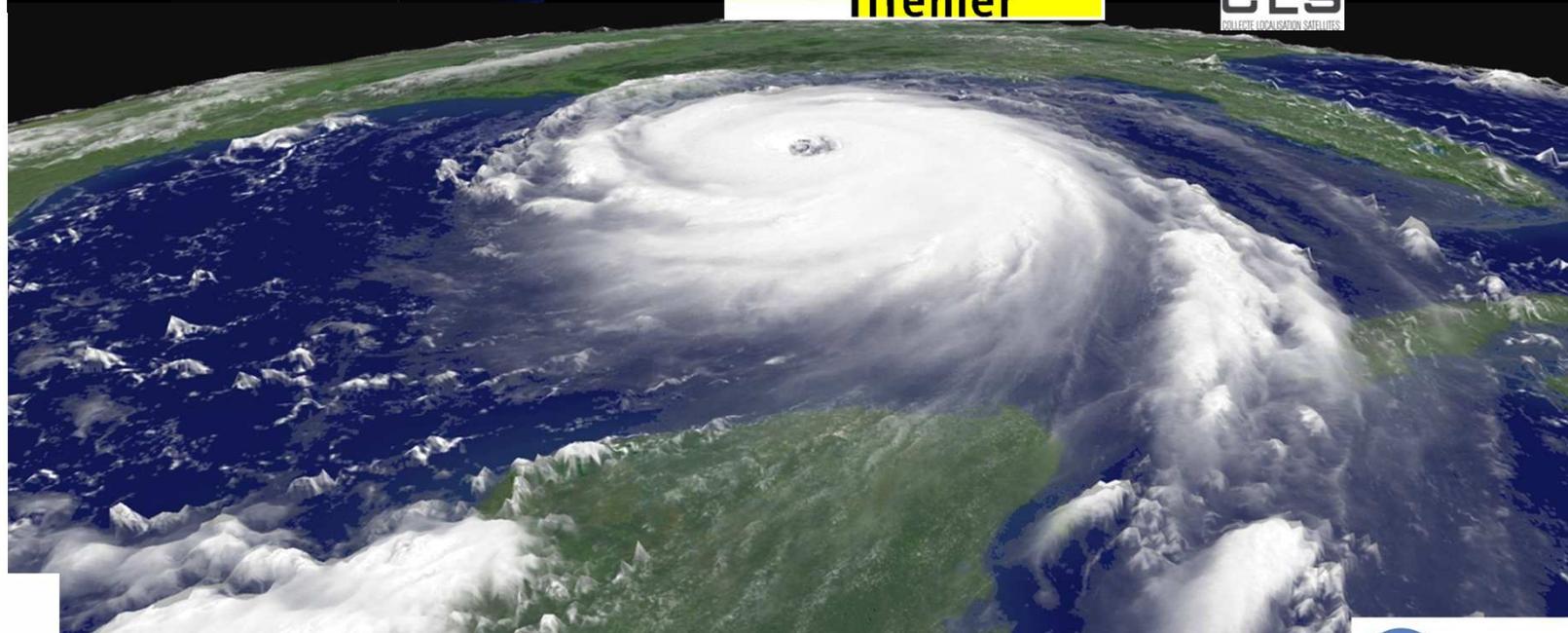
Nicolas Reul<sup>1</sup>, J. Tenerelli<sup>2</sup>, B. Chapron<sup>1</sup>, Y. Quilfen<sup>1</sup>,  
D. Vandemark and Y. Kerr<sup>3</sup>



<sup>1</sup>IFREMER, Laboratoire d'Océanographie Spatiale,  
Plouzané, France

<sup>2</sup>CLS, Plouzané, France

<sup>3</sup>CESBIO, Toulouse, France



**SMOS SCIENCE WORKSHOP**

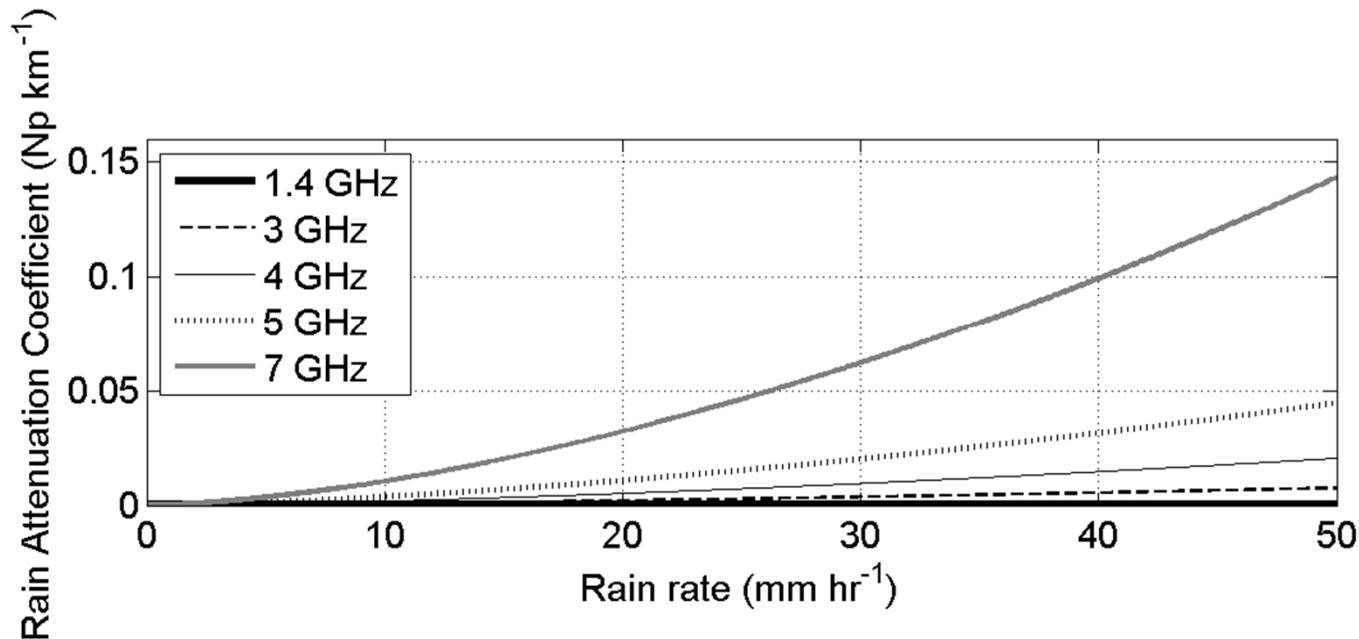
**27-29 September 2011 – Arles – France**



## Rain attenuation at L-band

Because of the small ratio of raindrop size to the SMOS electromagnetic wavelength ( $\sim 21$  cm), scattering by rain is almost negligible at L-band, even at the high rain rates experienced in hurricanes.

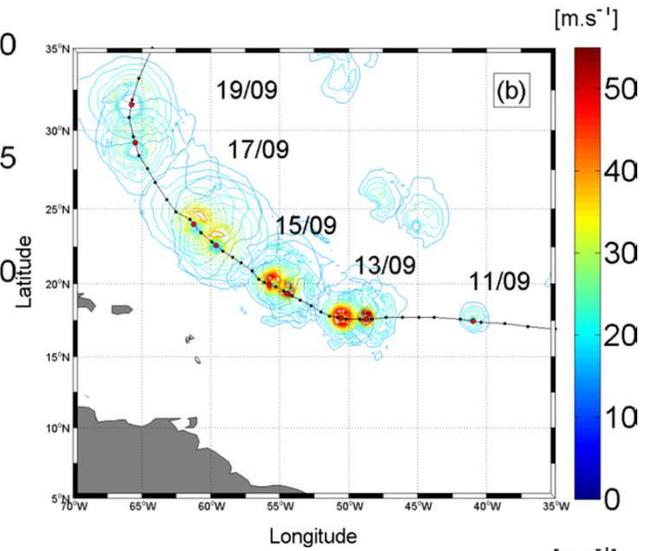
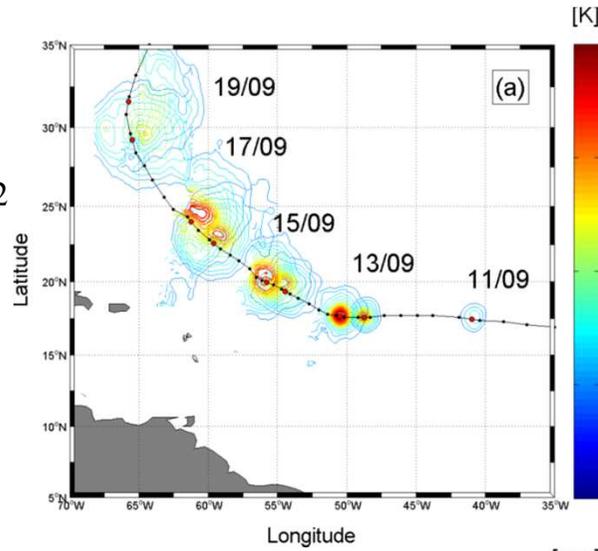
Rain impact at 1.4 GHz can be approximated entirely by absorption and emission (Rayleigh scattering approximation valid)



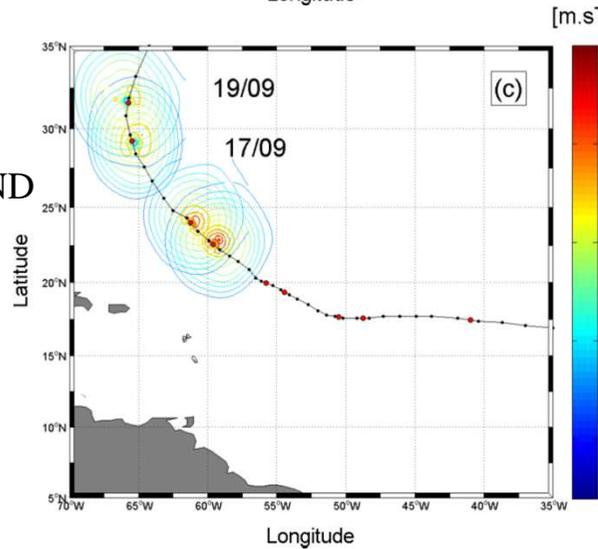
Generally two order of magnitude smaller at L-band (1.4 GHz) than at C-band (5-7 GHz)

# Cyclone Igor: excès d'émissivité et vents de référence

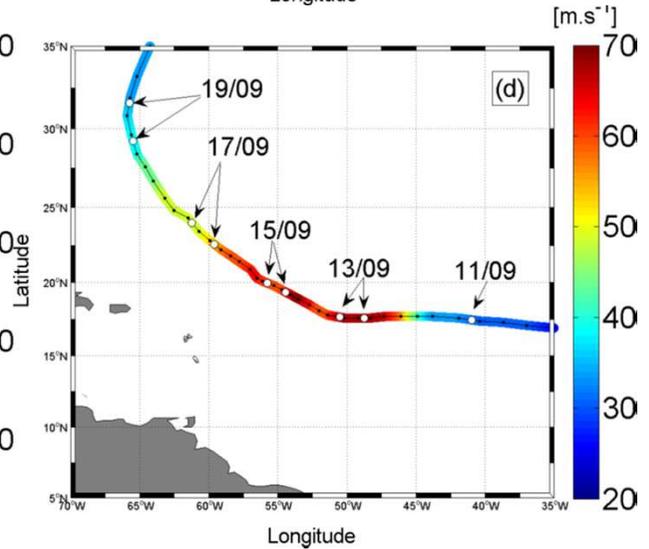
$$\Delta(T_h + T_v) / 2$$



Vents GFDL

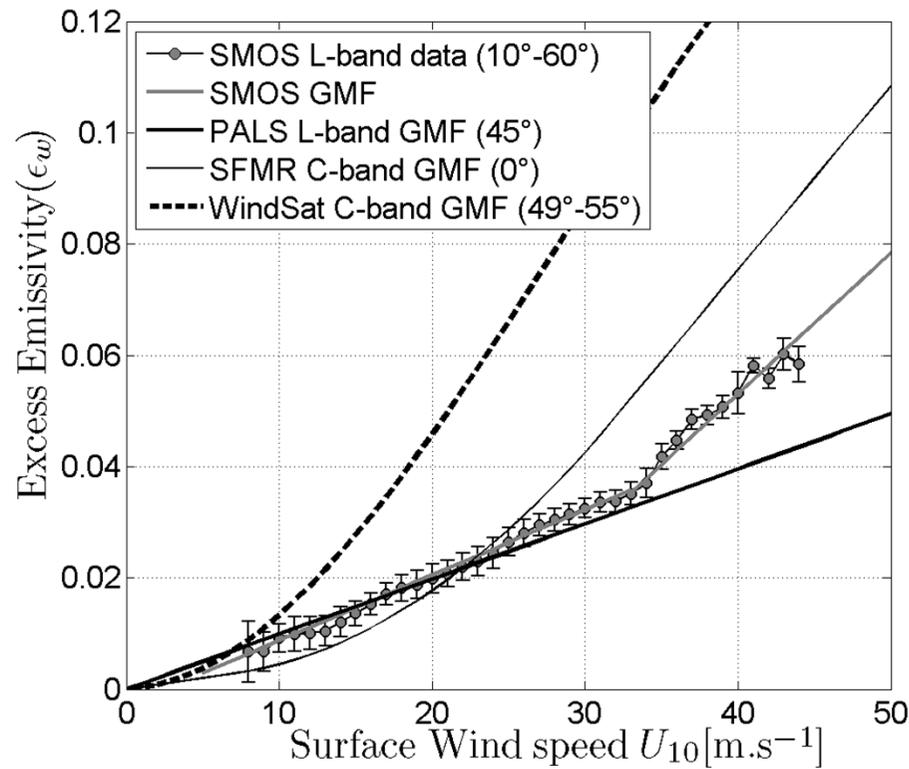


Vents HWIND



Best track

# Geophysical Model function: $T_b=f(\text{wind speed})$

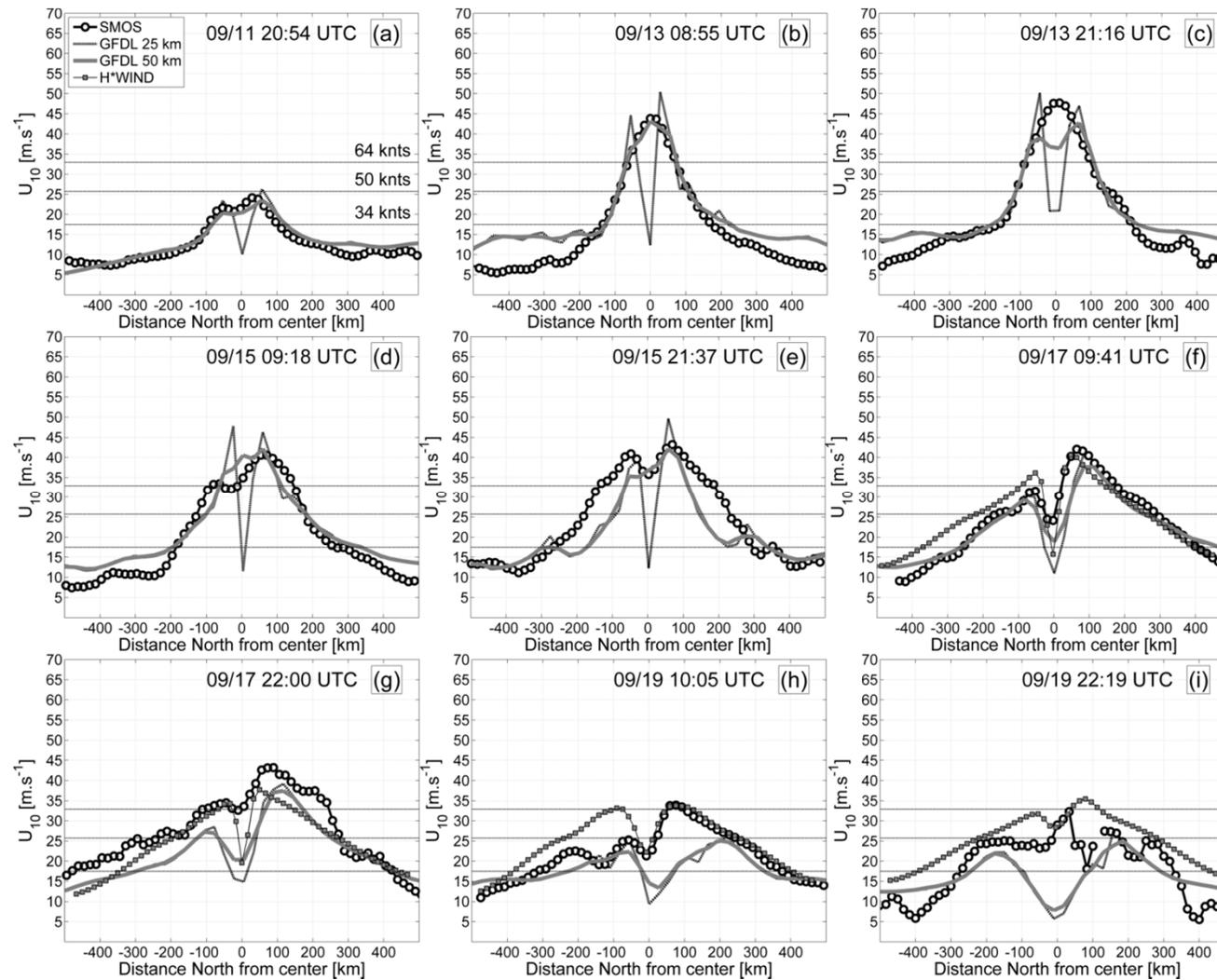


$$\Delta I = \frac{\Delta(T_H + T_V)}{2} = 0.35 U_{10} - 1.3 \quad U_{10} \leq 33 \text{ m.s}^{-1}$$

$$= 0.75 U_{10} - 14.5 \quad U_{10} \geq 33 \text{ m.s}^{-1}$$

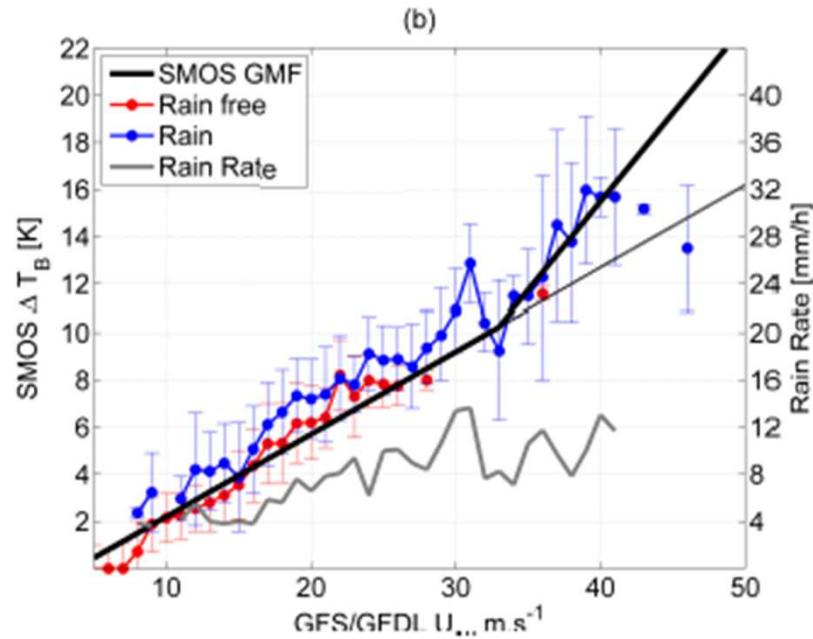
Reul et al., 2011

## Cyclone Igor: comparaison des vents le long de sections



- Bonne restitution de paramètres d'échelle (wind radii, 34, 50, 64 knts)
- Asymétries exagérées ?
- Résolution faible

## Biais potentiels: pluie, état de la mer, ...



Impact de la pluie:

Impact maximal envisagé: 4K pour 90 mm/hr

Pour  $V < 30$  m/s, impact  $\sim 1$ K: erreur  $< 5$  m/s

Pour  $V > 30$  m/s, présence systématique de la pluie

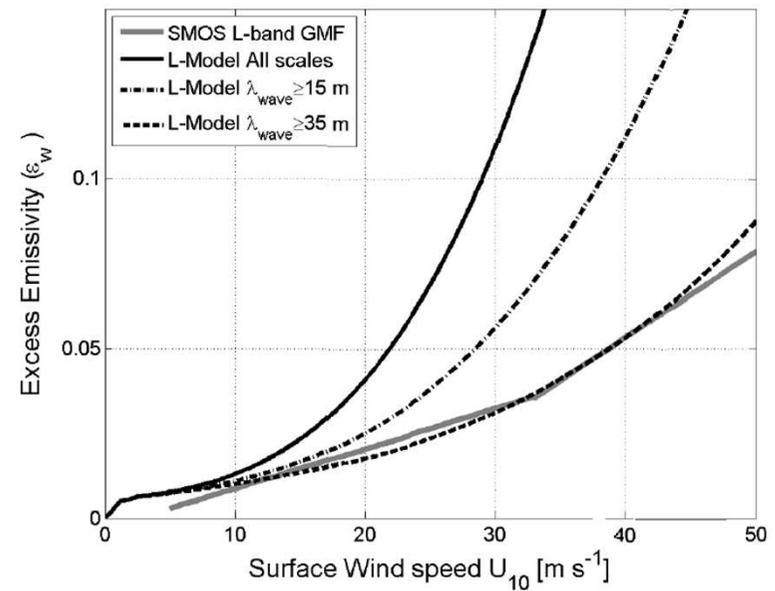


Figure 12: SMOS L-band GMF of the wind excess emissivity (thick gray) and foam emissivity model predictions at L-band for different cut-off wavelengths: all surface wave scales considered in the model (thick black), only waves longer than 15 m (dash-dotted black) or 35 m (dotted black) are considered in the model.

Reul et al., 2011

## Recommandations du Ocean Vector Wind Science Team

- The largest systematic difference between wind products is governed by high wind speed differences due to GMF differences. *The community should strive towards a unified approach to high wind data products.*
- Although meeting nominal performance requirements, wind data products are not yet climatologically consistent with each other at the 10 cm/s systematic difference level (even disregarding high winds). These differences are possibly due to processing differences. *The community should strive towards algorithm consistency at the 10 cm/s and 1 cm/s/year levels.*
- Rain remains a significant issue at all frequencies, and significant progress can still be made in improving data products in rain.
- High resolution winds are very valuable, but validating them remains problematic. *The community should strive to define criteria for the validation of high resolution winds*
- The community should strive towards direct estimation of wind stress from scatterometry.
- The future of OVW products will be cross-platform consistently processed winds and wind stress meeting climate requirements and appropriately sampled in space and time.
- Agreed common metrics and uncertainty estimation methods are needed, together with a standard way of making them available to the community
- Bridges with other wind data record data sets are needed, not only from passive microwave, but also from altimeters and SAR, with the objective of cross-validating the stability and consistency over time of the different data records