

Caractérisation des surfaces océaniques pour les micro-ondes en prévision numérique du temps

Jean-François Mahfouf
(CNRM/GAME)

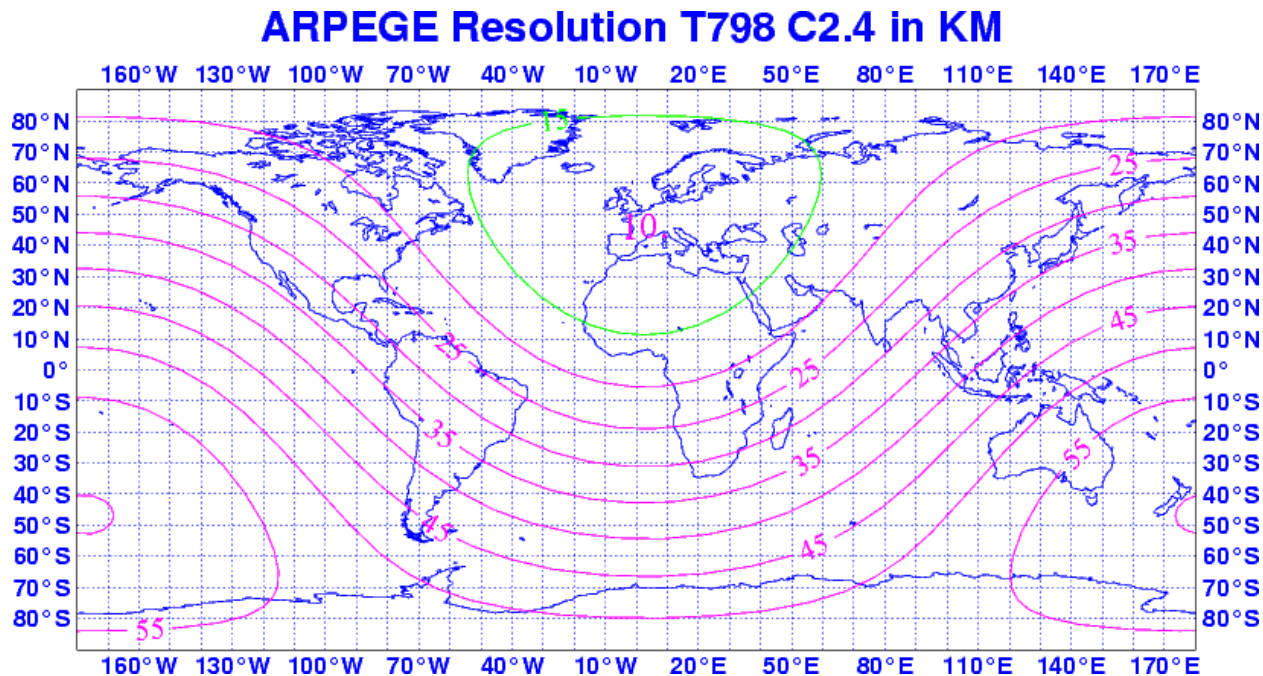


Plan de la présentation

- Assimilation de données à Météo-France
- Les surfaces océaniques pour la télédétection passive
- Les surfaces océaniques pour la télédétection active
- Conclusions et perspectives

Modèle global ARPEGE (1)

- *Modèle spectral avec une résolution variable* : T_L798C2.4L70
 - Résolution allant de 10 km à 60 km, 70 niveaux depuis 17m jusqu'à 0.05 hPa
 - 16 processeurs (NEC-SX9) pour une prévision ARPEGE (7' pour 24h de prévision)



Échéances de prévisions [cut-offs] :

FC+102 (00 UTC) [2h15], FC+72 (06 UTC) [3h], FC+84 (12 UTC) [1h50], FC+60 (18 UTC) [3h]

Modèle global ARPEGE (2)

■ Assimilation 4D-Var incrémental (fenêtre de 6h) :

- 2 boucles de minimisation : T107C1L70 (200 km - 25 itérations) + T323C1L70 (60 km - 25 itérations) – 2ème boucle interne avec physique simplifiée (incluant un schéma de condensation grande échelle)
- Schéma de correction de biais variationnel depuis 2008
- Variances d'erreur de l'ébauche sont fournies par un ensemble d'assimilation de données (Six 4D-Var à basse résolution) depuis 2008
- 32 processeurs pour l'assimilation (32' entre le cut-off et la P0)

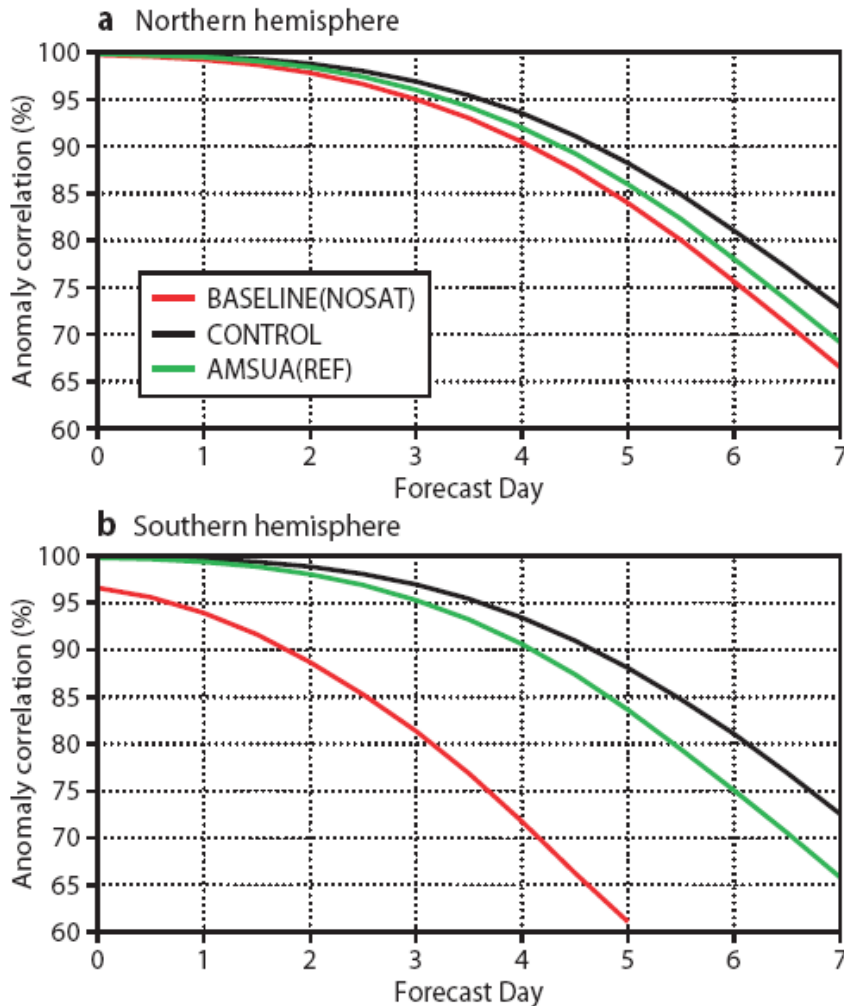
■ Données utilisées :

- SYNOP, SHIP, BUOY, AIREP, AMDAR, ACARS, TEMP, PILOT
- AMV GOES + Meteosat + MTSAT-1R, MODIS (Terra, Aqua), AVHRR/NOAA
- HIRS, **AMSU-A, AMSU-B/MHS**, NOAA 15, 16, 17, 18, 19, Aqua, MetOp-A
- **SSM/I/S DMSP F16, 17, 18**, AIRS/AQUA, IASI/MetOp-A, GPS-RO, GPS-ZTD
- **Vents de surface sur mer à partir de ASCAT**
- Meteosat CSR
- SST utilisation de OSTIA + LST à partir de $\frac{1}{2}^\circ$ NCEP + SSM/I F15 pour le masque de glace de mer

Données micro-ondes sur océans

- Les radiomètres :
 - Imageurs : DMSP SSMI/S F16-F17-F18 canaux 12 à 18 [*vapeur d'eau intégrée + vent de surface*] + Windsat/Coriolis – AMSR-E/Aqua – TMI/TRMM
 - Sondeurs : AMSU-A canaux 5 à 13 [*température*] (NOAA 15-16-18-19 + Aqua + MetOp) et AMSU-B/MHS canaux 3 à 5 [*vapeur d'eau*] (NOAA-18 + MetOp)
- Les diffusiomètres [*vent de surface*] :
 - SeaWinds/Quikscat : radar bande Ku (11/2009)
 - AMI/ERS-2 : radar bande C (07/2011)
 - ASCAT/MetOp-A : radar bande C
 - OSCAT/OCEANSAT-2 : radar bande Ku

Importance des observations micro-ondes en PNT



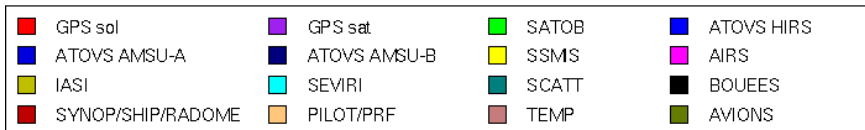
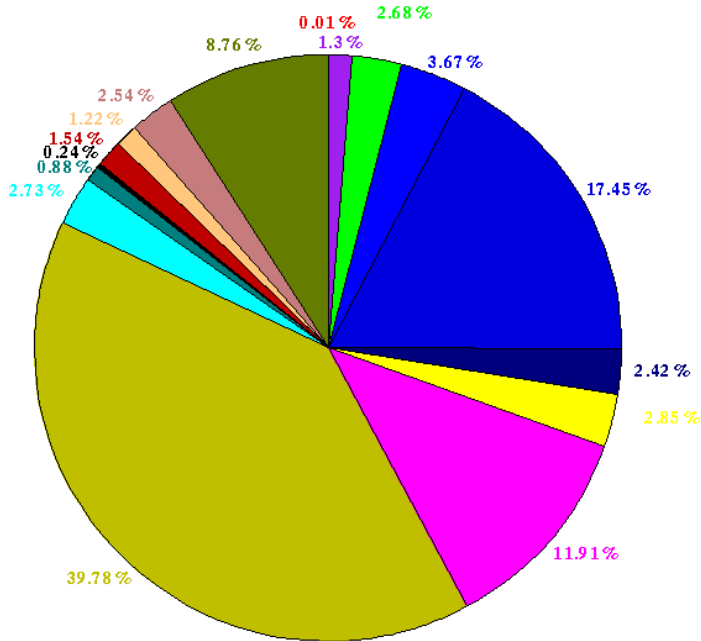
Observing System Experiments (OSEs):

- Système de prévision du CEPMMT en 2007
- saisons été et hiver :
 - **NOSAT** : pas de données satellitaires
 - **REF** : NOSAT + 1 AMSU-A
 - **CONTROL** : système complet

← Corrélation d'anomalie du géopotential à 500 hPa

Les observations micro-ondes

Nombre d'observations
7195886

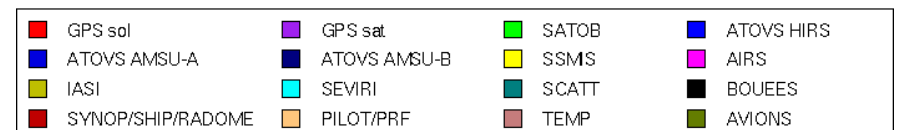
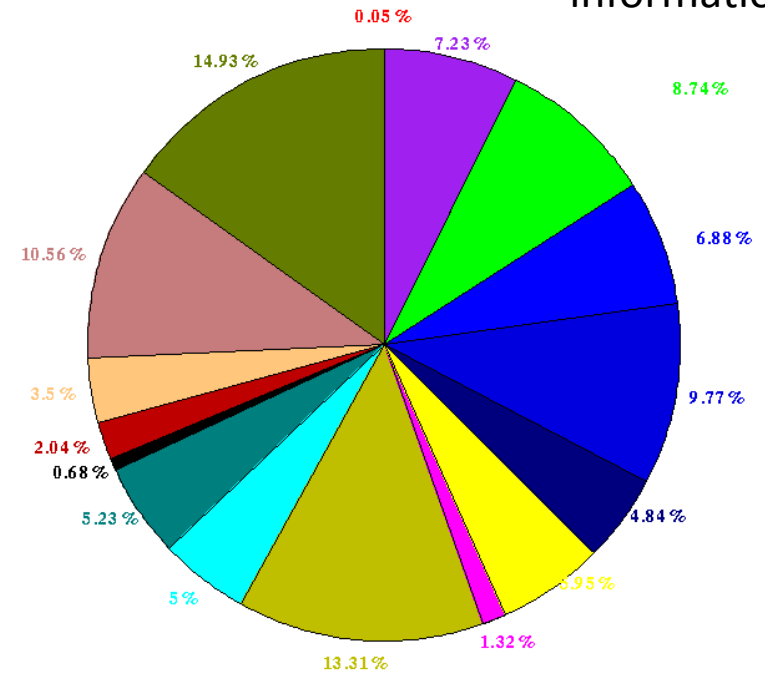


sommes

AMSU-A et AMSU-B/MHS

DFS
186832.45

Contenu en information



sommes

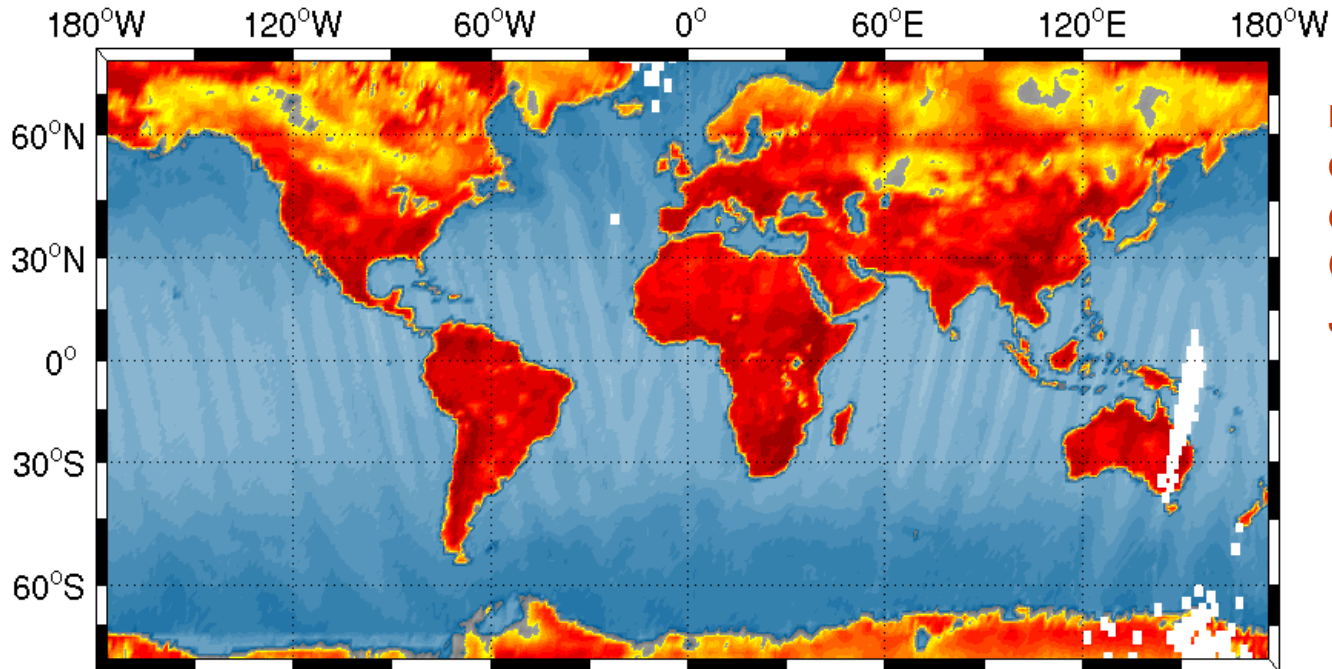
SSMI/S

DIFFUSIOMETRES

Applications à Météo-France

- Radiométrie micro-ondes (passif) : Utilisation du modèle de transfert radiatif rapide **RTTOV** avec le modèle d'émissivité pour les surfaces océaniques **FASTEM** (développés et maintenus par le SAF NWP d'EUMETSAT)
- Efforts récents : améliorations de l'estimation de l'émissivité sur continents et glace de mer (forte contribution à la radiance totale – canaux sensibles aux basses couches)
- Améliorations récentes de FASTEM : extension aux basses fréquences et simulation de toutes les composantes du vecteur de Stockes (mesures non assimilées à Météo-France)

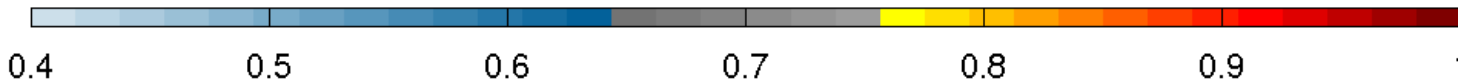
Modélisation de l'émissivité de surface



modèle « dynamique »
de l'émissivité (Karbou
et al. 2006)
Opérationnel depuis
Juillet 2008

Modèle FASTEM
(Deblonde, English
2000)

MEAN EMISSIVITY



Moyenne d'émissivité à 50 GHz sur la journée du 08/04/2010

Le modèle FASTEM (1)

- Modèle semi-empirique d'émissivité des surfaces océaniques dans le domaine des micro-ondes pour l'assimilation de données dans de nombreux centres météo (CEPMMT, MetOffice, Météo-France, DWD, NCEP, JMA)
- Compromis entre précision et performance informatique + besoin des versions TL/AD pour assimilation variationnelle
- Importance pour l'assimilation des canaux fenêtre des instruments MW et dans une moindre mesure des canaux de sondage (fonctions de poids près de la surface)
- Importance pour la détection nuageuse : utilisation des canaux fenêtre pour rejeter les canaux de sondage affectés par les nuages

Le modèle FASTEM (2)

- V1 : English and Hewison (1998)
 - Modèle de permittivité de l'eau de mer
 - Réflexion spéculaire (formules de Fresnel) « effective » => corrigée de la diffusion de Bragg et des effets de rugosité de grande échelle (optique géométrique)
 - Inclusion d'une couche d'écume
- V2 : Deblonde and English (2000)
 - Traitement de la réflexion non spéculaire
- V3 : English (2003)
 - Dépendance de l'émissivité avec l'azimuth (entre direction du vent et ligne de visée du satellite) => description des composantes U et V du vecteur de Stockes

Modèle d'émissivité océanique micro-ondes (FASTEM-3)

Modèle de rugosité "two scale" utilisé pour le modèle d'émissivité océanique.

$$\Gamma_p(\nu, \theta) \quad \text{Réflectivité totale}$$

ν Fréquence θ Angle zenithal ($p = h$ ou v)

Sur une mer calme, la surface océanique est spéculaire. La réflectivité peut être calculée par la loi de Fresnel.

$$R_{\text{Fresnel}} = \frac{e \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}{e \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}$$

$$R_{\text{hFresnel}} = \frac{\cos \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}{\cos \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}$$

e : permittivité
 T_s : Temperature de surface

Quand le vent souffle, il crée des petites rides à la surface de l'océan.

Correction de rugosité de petite échelle (diffusion de Bragg)

$$R_{\text{Fresnel}} \left[\frac{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}} \right] \quad (p = h \text{ ou } v)$$

Correction de rugosité de grande échelle

Fonctions de la vitesse du vent de l'angle d'incidence et de la fréquence

$$R_{\text{Fresnel}} \left[\frac{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}} \right]$$

$$\frac{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}$$

Correction liée à l'angle azimuthal (fonction de l'angle entre la direction du vent et l'angle de vue du satellite)

Correction non spéculaire (fonction de la vitesse du vent, de la fréquence, de l'angle zénithal, et de la transmittance atmosphérique)

Correction liée à la présence d'écume (dépend de la vitesse du vent)

$$R_{\text{Fresnel}} \left[\frac{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}} \right] \rightarrow R_{\text{Fresnel}} \left[\frac{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}}{2 \cos^2 \theta \sqrt{e \cos^2 \theta \sin^2 \theta}} \right]$$

$f = 0.5 \nu^3$ (fraction d'écume)

modèle FASTEM (3)

- Quelques défauts de la version 3 :
 - Biais dans les hautes fréquences (car initialement développé pour des fréquences comprises entre 20 et 60 GHz)
 - Traitement inadapté de la rugosité pour les basses fréquences
 - Ne permet pas de prendre en compte des variations de la salinité (valeur fixée à 35 ‰)

FASTEM V4 (Liu et al., 2011)

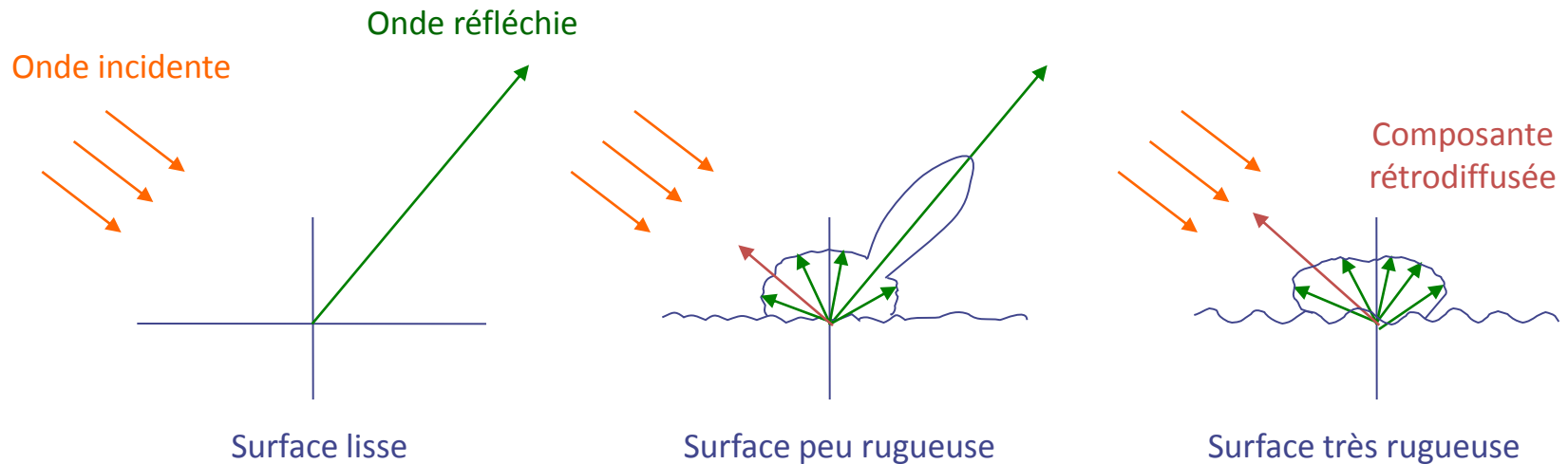
- Caractéristiques principales :
 - Nouveau modèle de permittivité (modèle de Debye « double ») incluant la salinité (e.g. important pour simuler SMOS) – validité entre 1.4 et 410 GHz
 - Traitement de la rugosité avec des coefficients calculés à partir du modèle d'état de la mer de type « two-scale » de Durden et Vesecky (1985)
 - Nouvelle formulation de la couche d'écume (couverture fractionnaire et émissivité)
- Conséquences :
 - Réduction significative des biais pour les instruments AMSR-E et SSMI/S
 - FASTEM 4 inclus dans RTTOV 10, mais *problème avec les vents forts pour les canaux AMSU-A (forum RTTOV)*

Autres éléments à considérer

- La température de surface : analyse de type interpolation optimale (BUOY, SHIP) + relaxation vers analyse OSTIA (approche Météo-France)
- Les transferts turbulents dans la couche limite de surface (cohérence avec le modèle d'émissivité ou de rétrodiffusion)
- Prise en compte des courants océaniques superficiels

Vents de surface par diffusiomètres

- Sensibilité à la rugosité de surface de la fraction rétrodiffusée d'une onde incidente, dans le spectre micro-onde.



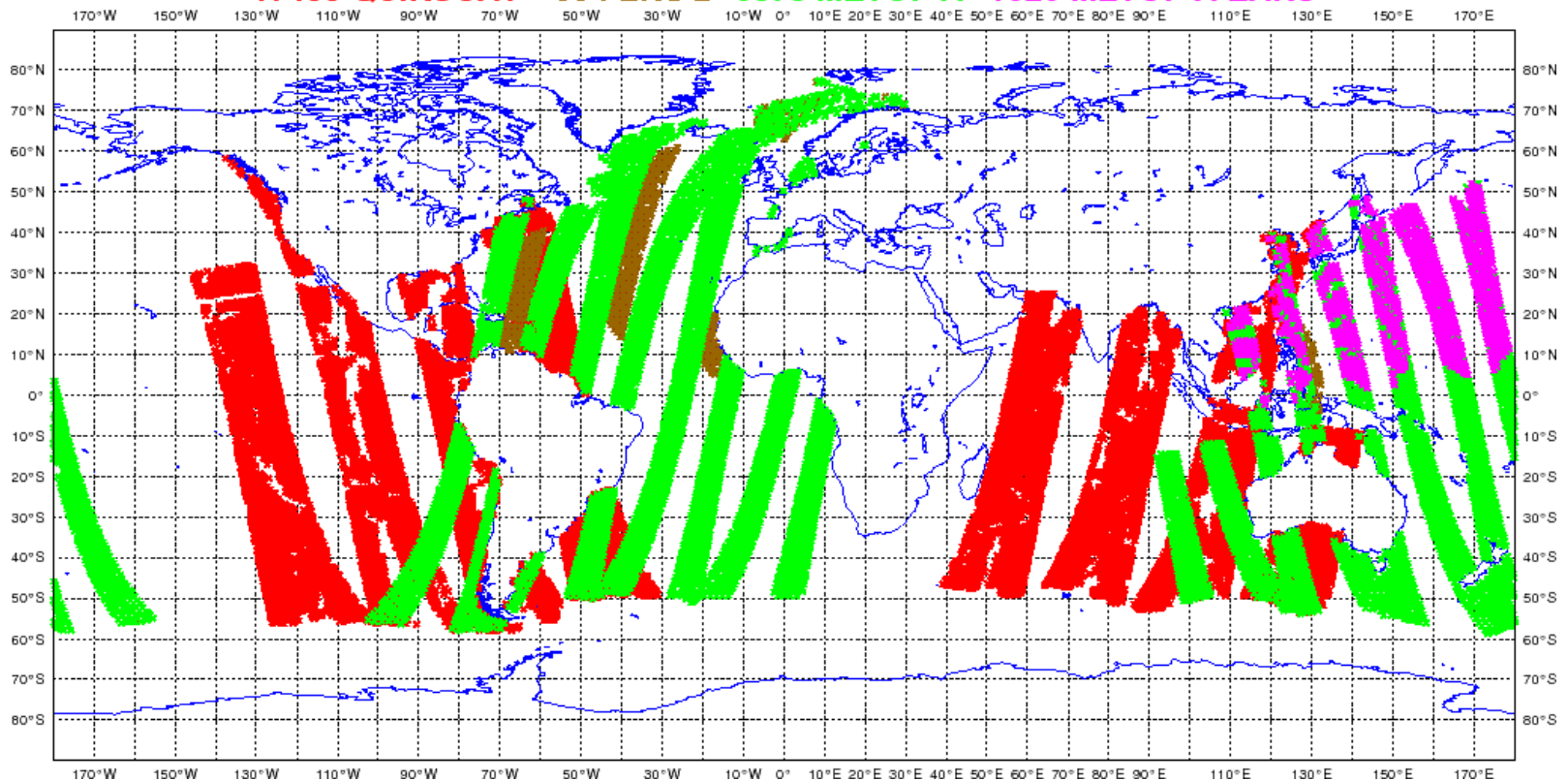
- Sur les surfaces d'eau, on utilise relation heuristique (**GMF = Geophysical Model Function**) entre le signal rétrodiffusé (σ^0) et la tension de surface que l'on relie au vent local (v, d) [déduite de collocalisation avec bouées, campagnes de mesures ou modèles de prévision numérique]

Les diffusiomètres en 2009

**METEO-FRANCE couverture de donnees - SCATTEROMETER
2009/05/27 12H UTC cut-off long**

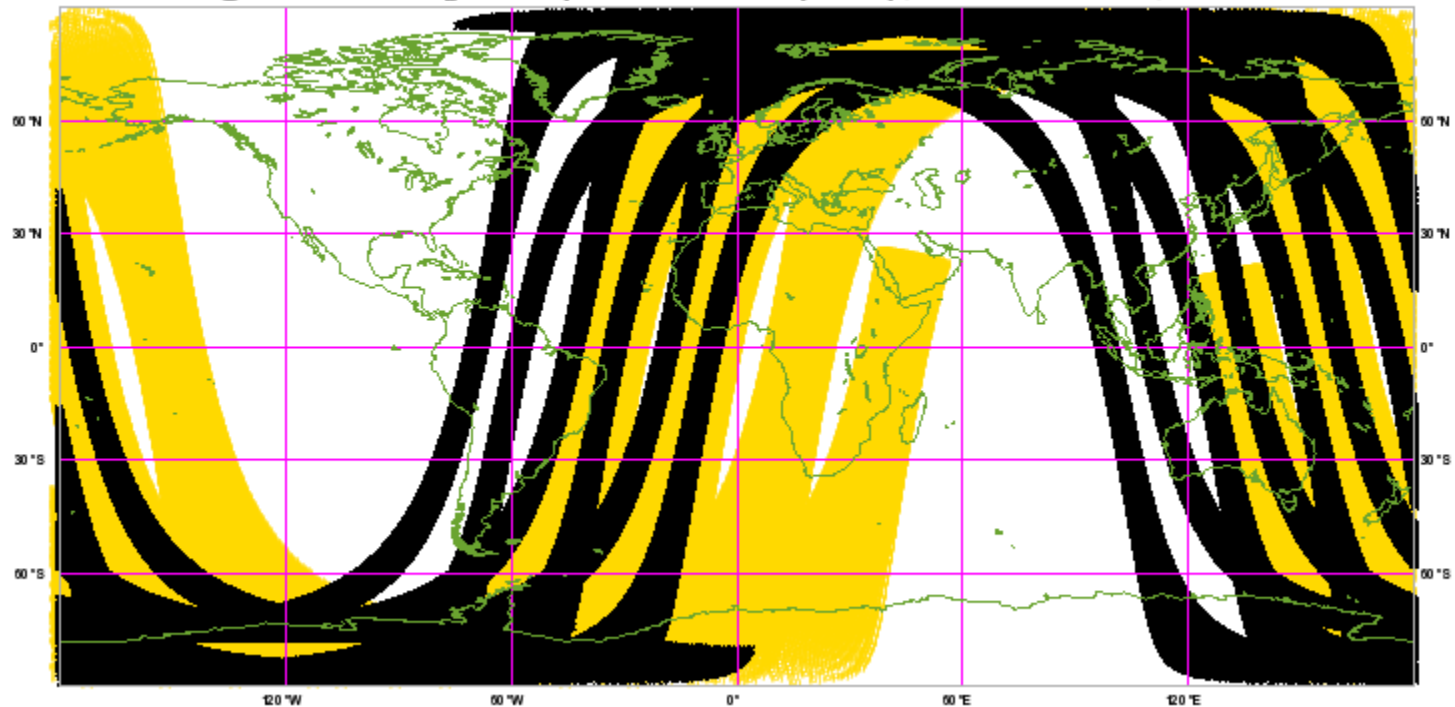
Nombre total d'observations apres screening : 25888

17400 QUIKSCAT 584 ERS 2 6878 METOP A 1026 METOP A EARS



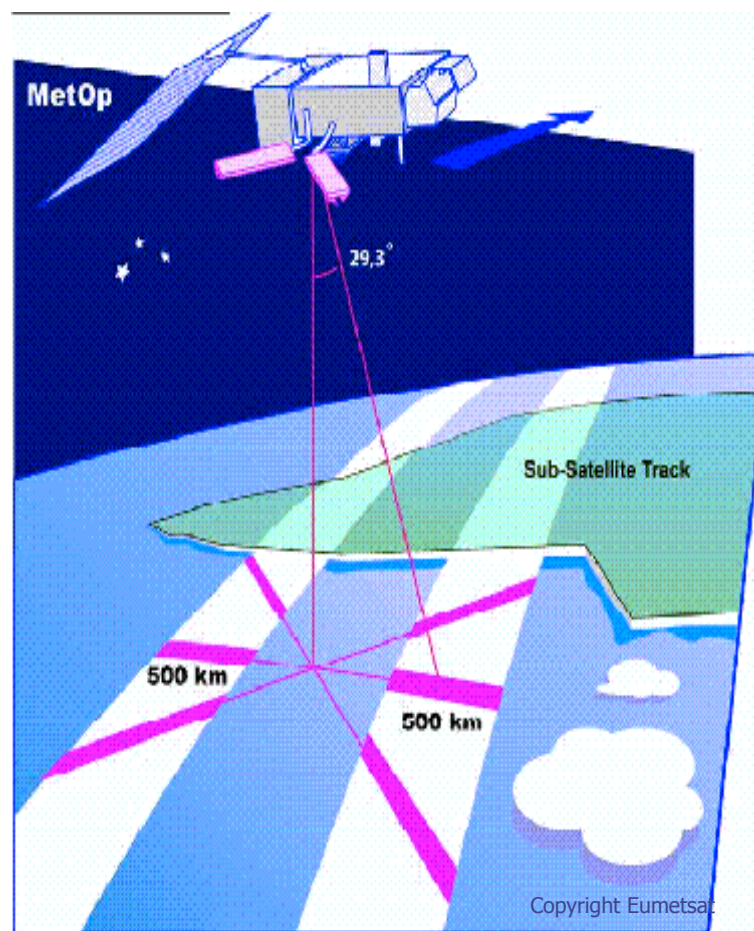
Les diffusiomètres en 2011

Pointage OSCAT (jaune) et ASCAT (noir), 5 avril 2011, 09-15UTC

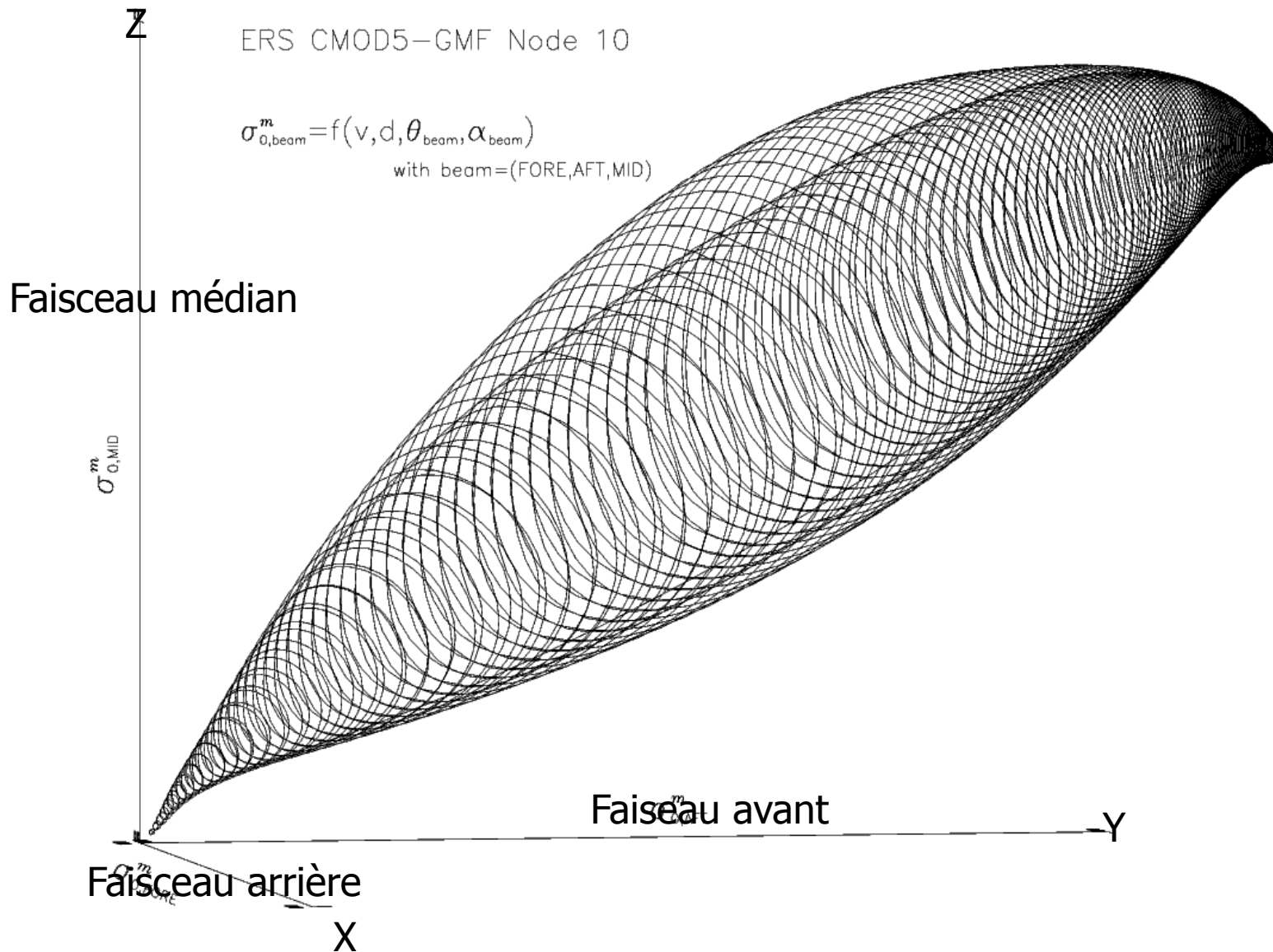


Le diffusiomètre ASCAT

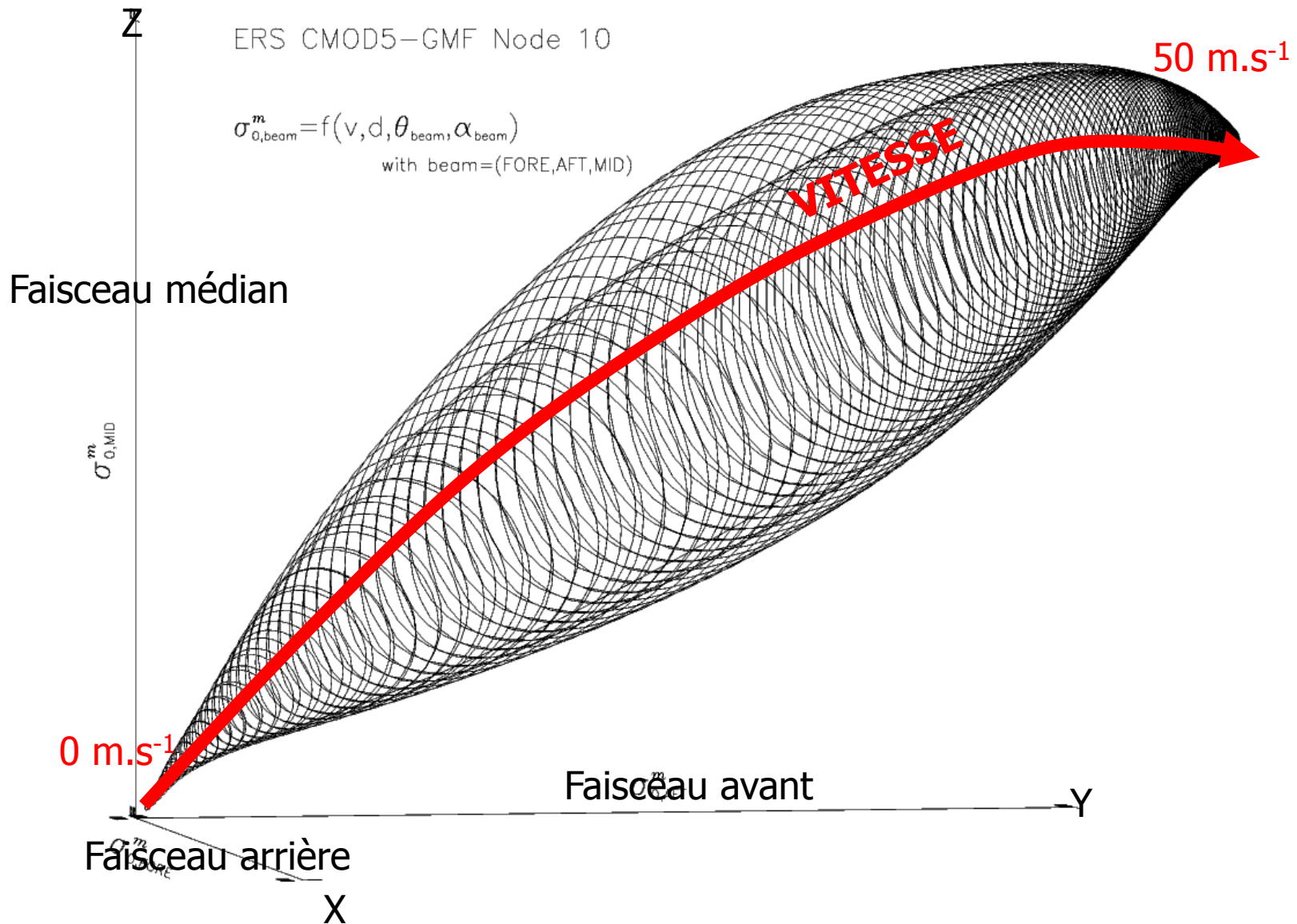
- **Advanced SCAT**terometer sur MetOp depuis Octobre 2006
- Fréquence : 5,255 GHz (Bande C) en polarisation VV
- Résolutions : 50 (25) km sur une grille de 25 (12,5) km
- Mesures par 3 faisceaux (orientés à 45°) d'une largeur de 500 km (21 ou 41 cellules)



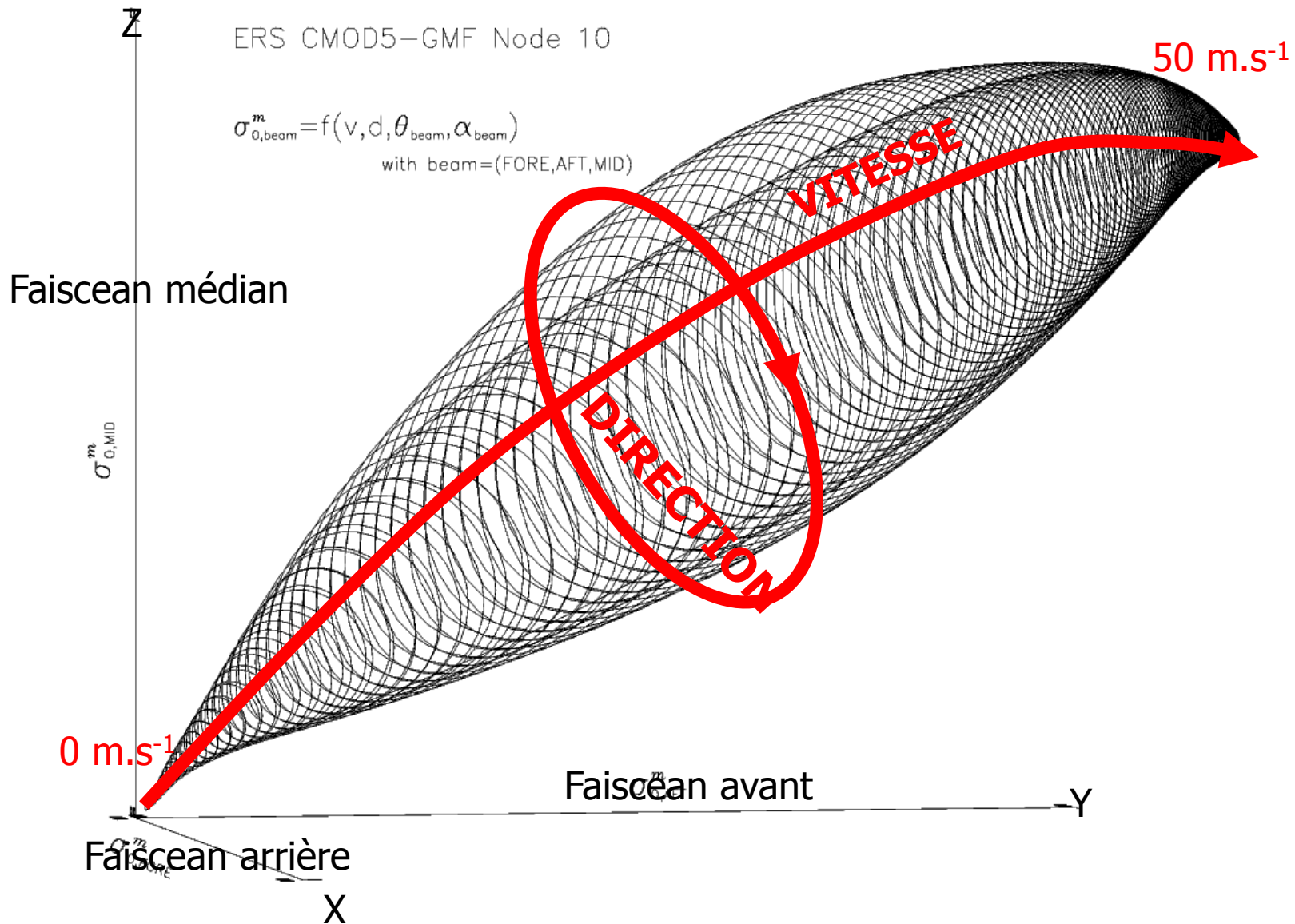
Exemple de GMF: CMOD5 (Ers, Metop)



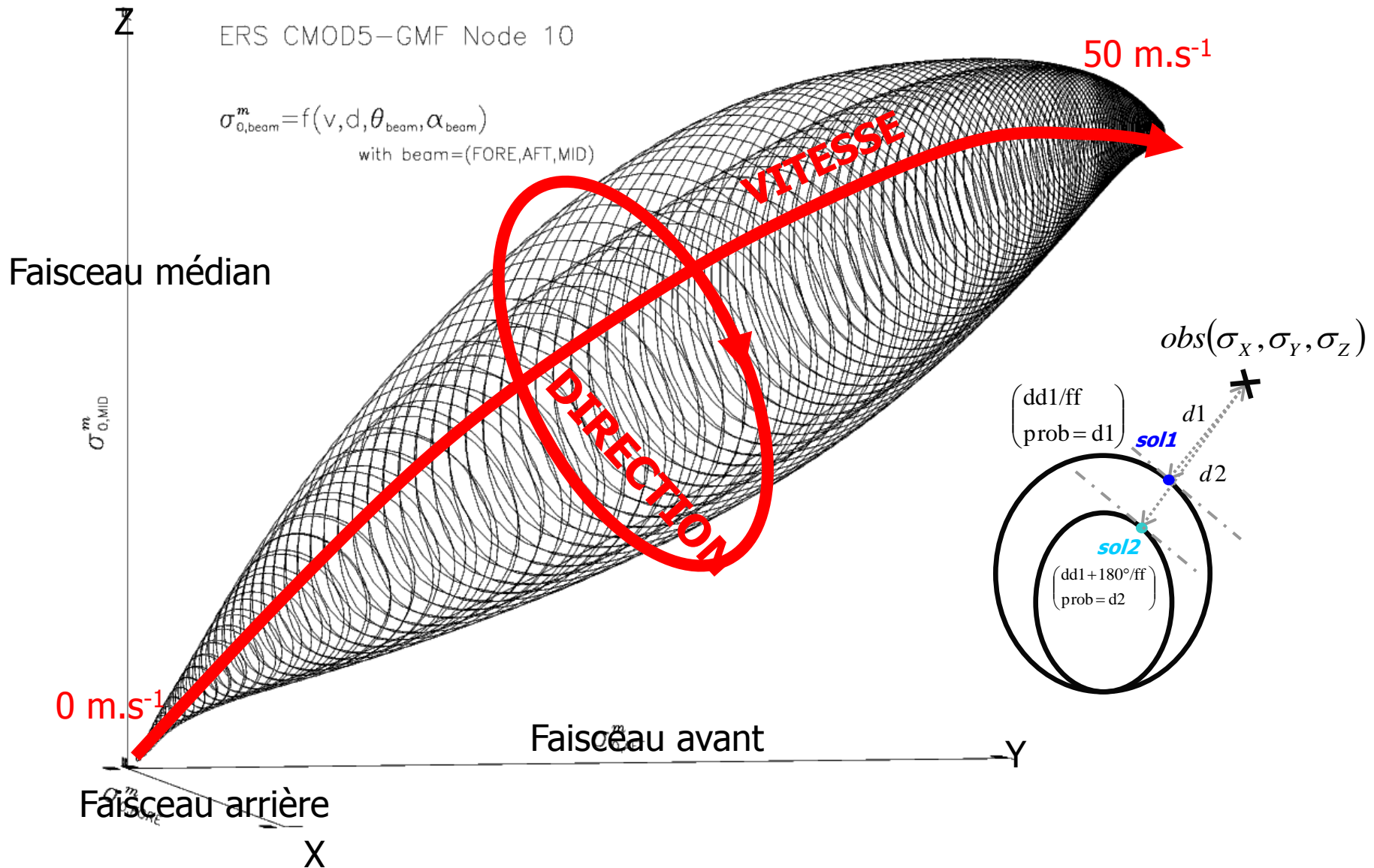
Exemple de GMF: CMOD5 (ERS, MetOp)



Exemple de GMF: CMOD5 (ERS, MetOp)



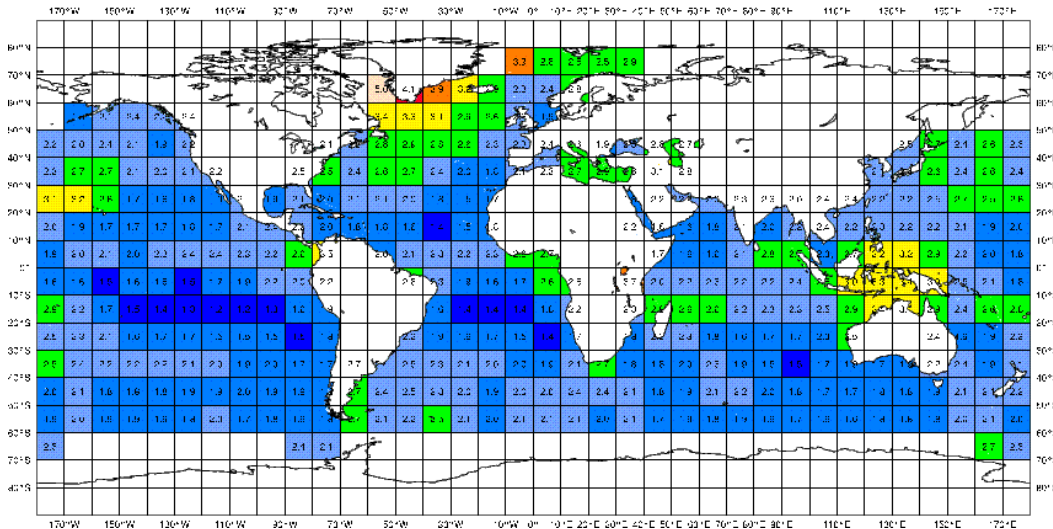
Exemple de GMF: CMOD5 (ERS, MetOp)



Assimilation de vents ASCAT (depuis 02/2008)

METEO-FRANCE MONITORING STATISTICS : 01/02/2011 - 28/02/2011
 RMS VECTOR WIND DIFFERENCES OBS-FIRST GUESS (m/s) : METOP A - all used cells
 MEAN RMS : 2.2 m/s

0-0.5 0.5-1 1-1.5 1.5-2 2-2.5 2.5-3 3-3.5 3.5-4 4-4.5 4.5-5 5-5.5 5.5-99



- 29 000 obs assimilées/jour en moyenne.
- RMS différence vecteur vent (obs-ébauche) ~2.2m/s.
- Bias en vitesse proche de 0.0 m/s.
- Ecrémage 100 km (1/16 obs).

Paramètre Z : 32 cas

Domain	NORDEO												TROPIC												SUD20												EUROPE												AMNORD												ASIE											
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	0	12	24	36	48	60	72	84	96	0	12	24	36	48	60	72	84	96	0	12	24	36	48	60	72	84	96	0	12	24	36	48	60	72	84	96	0	12	24	36	48	60	72	84	96																		
10																																																																								
30	++	++	++						++	++	+	+						--																																																						
50	++	++	++						++		++	++						++																																																						
70	++	++	++	++					++	+	++	++						++																																																						
100	+	++	++	++	++					++	+	+	+						++																																																					
150	+								++	++	++	+	+																																																											
200																																																																								
250																																																																								
300																																																																								
400																																																																								
500									++	++							++																																																							
700									+																																																															
850																																																																								
925																																																																								
1000																																																																								

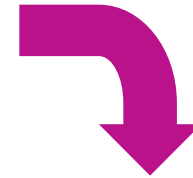
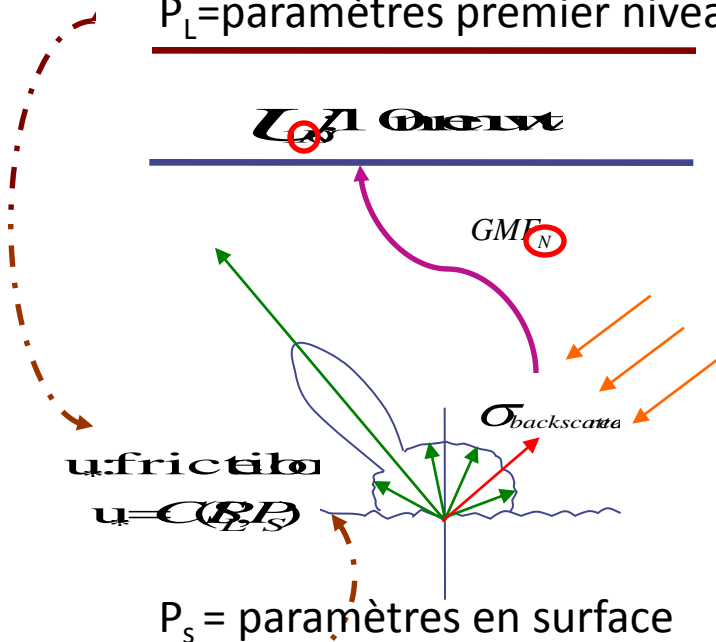
- Impact sur les prévisions: neutre.
- Test de bootstrap/TEMP (32 cas): Z impact positif à 10/100hPa dans l'HN (Europe and Amérique du Nord).

Vent neutre vs. vent réel ?

- Modèle GMF (Geophysical Model Function) : Les conditions de stabilité (CS) sont traitées de manière implicite.
- Valable en moyenne mais source d'erreur sur une observation individuelle
- En théorie, $U_{10} = \mathbf{GMF}(\sigma_o, CS)$, mais dans la pratique ce n'est pas possible

=> solution: $U_{10N} = \mathbf{GMF}_N(\sigma_o, CS=\text{neutre})$

P_L = paramètres premier niveau modèle



➤ Operateur d'observation (Geleyn, 1987)

$$U_{10} = U_{10} \left[\frac{C_D(\sigma_o)}{C_D(\sigma_o, CS)} \right] B(\sigma_o, CS)$$

with

- U_{10} model predicted velocity
- z_0 roughness length
- L logarithmic wind profile
- C_D correction coefficient for stability condition
- B Drag efficiency and

Expérience dans ARPEGE

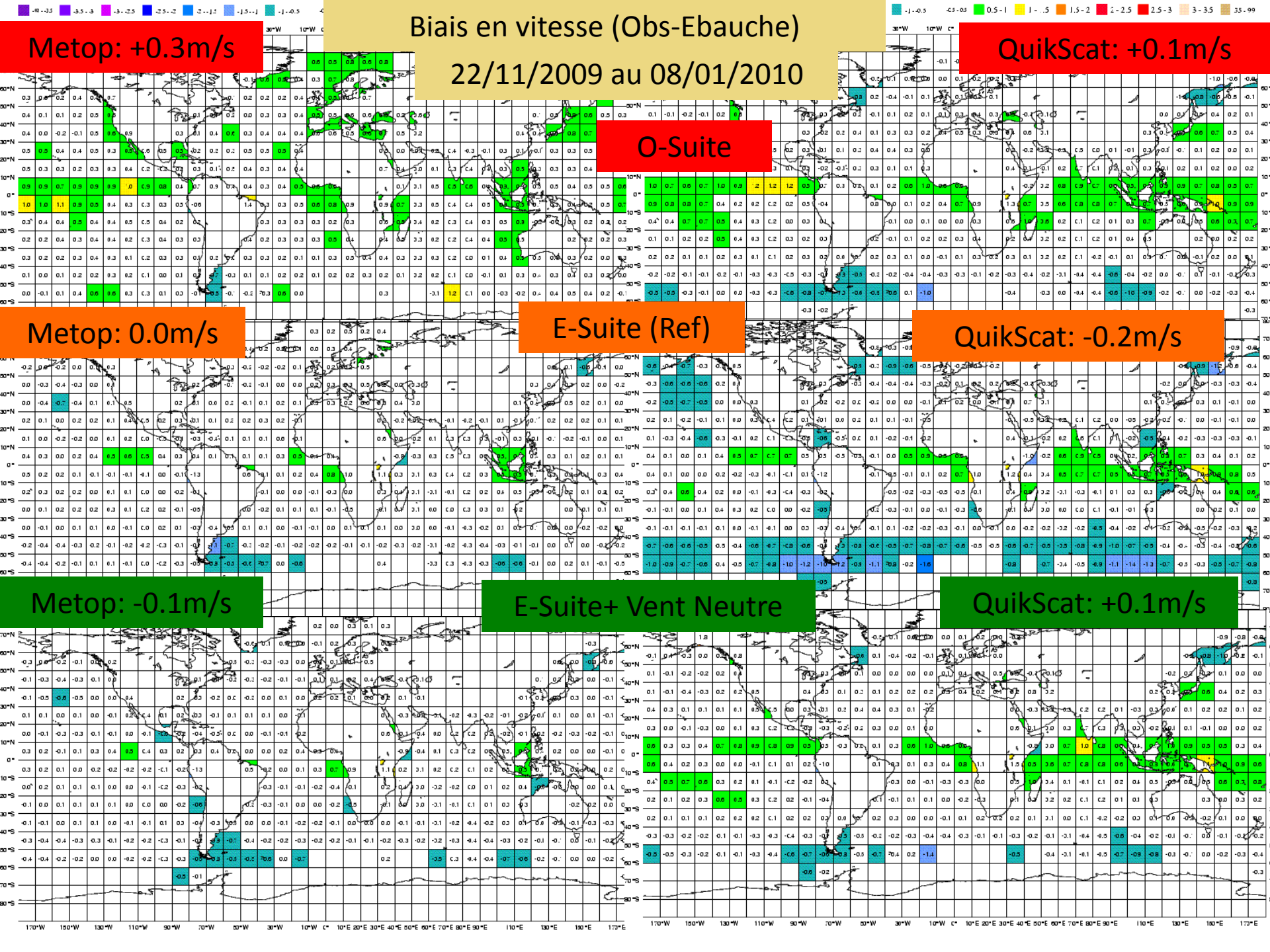
- Test du vent neutre dans le modèle global ARPEGE (22/11/2008 au 08/01/2009)
- Reference: E-suite ARPEGE (avec un schéma de turbulence en ECT). Précédent schéma basé sur la formulation de Louis (1979) pour les coefficients d'échange turbulents.
- Passage à un produit neutre pour les vents ASCAT produits par le KNMI (CMOD5.N utilisé depuis 20/11/2009).

Biais en vitesse (Obs-Ebauche)

22/11/2009 au 08/01/2010

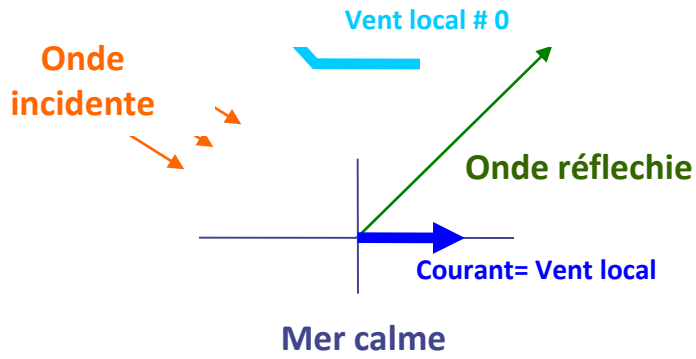
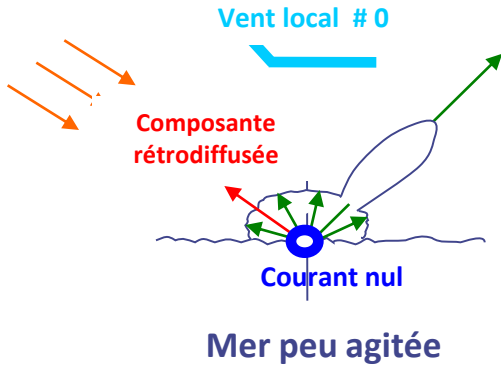
Metop: +0.3m/s

QuikScat: +0.1m/s



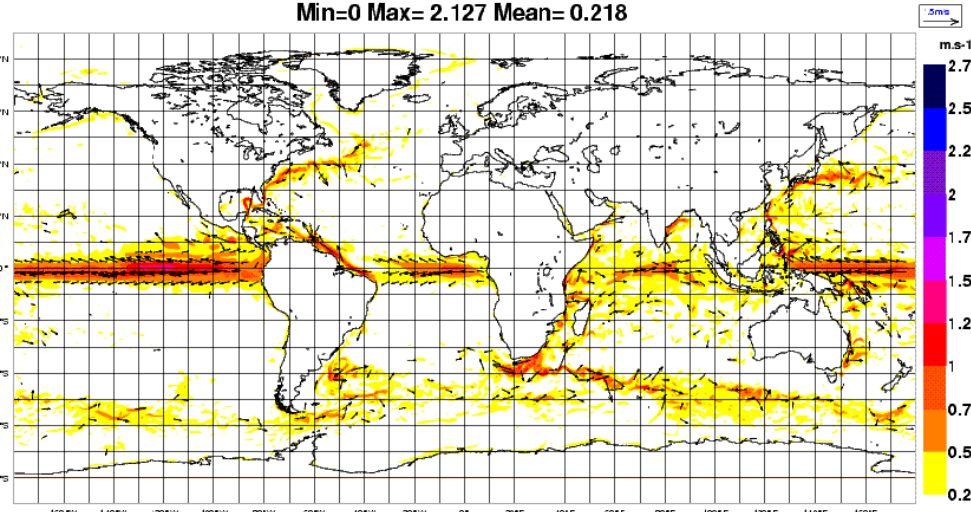
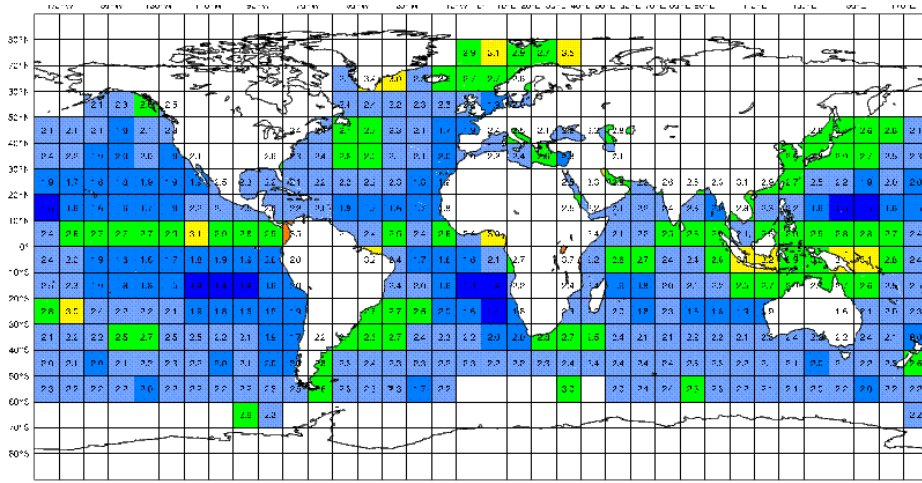
Représentation des courants océaniques

➤ Les vents des diffusiomètres sont des vents relatifs !



METEO FRANCE MONITORING STATISTICS : 01/04/2010 – 30/04/2010
 Ascet Vector difference (obs-fg)
 MEAN RMS=2.3m/s

mean(PMERH+0)
 Par=FCUR_UVCUR, Lev=1, FcValid=20100401H00-20100430H00, Step=24, 30 cases
 Min=0 Max= 2.127 Mean= 0.218



➤ Structures similaires entre les différences (ASCAT – MODELE) [gauche] et les analyses Mercator de courant de surface [droite] : ITCZ, Gulf Stream, Pointe du Cap, Kuroshio, Sud-Ouest Atlantique

Conclusions et perspectives

- Efforts récents à Météo-France sur la radiométrie micro-ondes en vue de mieux décrire l'émissivité des surfaces continentales et la glace de mer (F. Karbou)
- Utilisation des dernières versions de FASTEM [3] avec RTTOV [9] développées par le SAF NWP et des vents inversés avec CMOD 5.N par le SAF OSI
- Pas d'identification de défauts du modèle FASTEM préjudiciables à l'assimilation des radiances micro-ondes (basses fréquences et polarimétrie non utilisées à Météo-France)
- Efforts sur une meilleure assimilation des vents de surface des diffusiomètres (haute résolution, nouveaux instruments OSCAT et ASCAT, contrôles de qualité, spécification des erreurs d'observation, correction de biais)
- Améliorations des conditions de surface : SST (analyses/couche de mélange océanique), LST (analyses/modèle de lacs), courants océaniques superficiels (analyses)