

Vent de surface océanique à partir des satellites radar

Julien Choisnard – Postdoc
Météorologie satellitaire et assimilation de données
Division de la recherche en météorologie
Environnement Canada

Séminaire RPN - 9 février 2007

Plan

- PARTIE I

- Interaction radar – surface océanique
- Systèmes satellite radar – cas des diffusiomètres et Radar à Synthèse d'Ouverture

- PARTIE II

- Algorithmes d'extraction du vent
- Exemple RADARSAT-1 sur golfe St-Laurent
- Projet avec Garde Côtière Canadienne

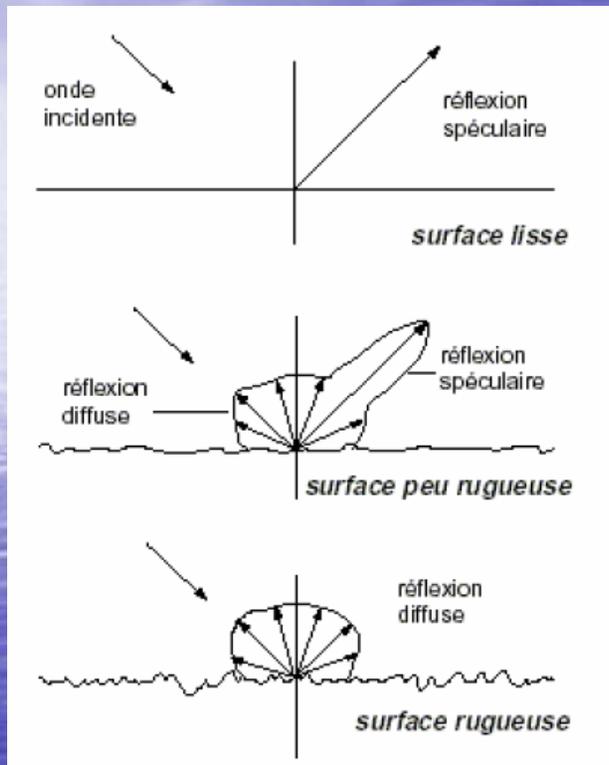
- PARTIE III

- Projets au CMC

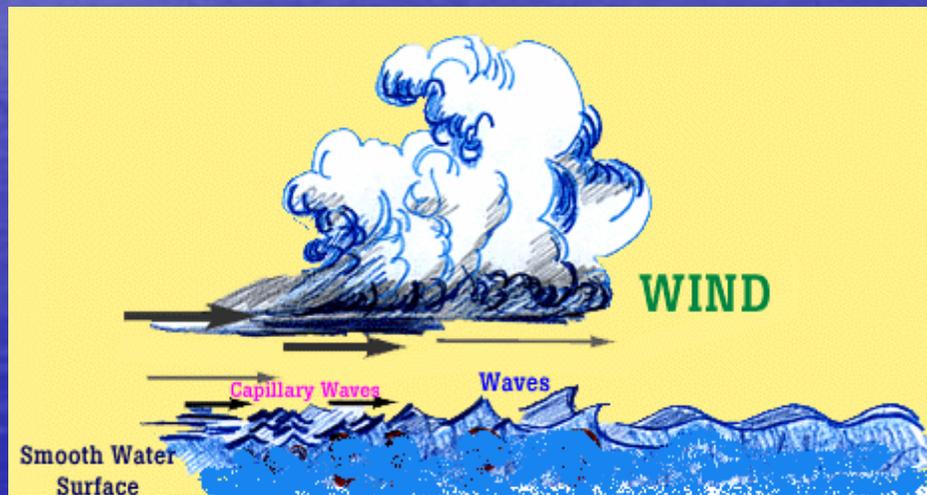
Satellites mesurant le vent de surface – hyperfréquence (1-100GHz)

Type de capteur	Vitesse du vent	Direction du vent	Résolution et couverture	Remarques
Radiomètre (passif)	OUI	NON	~25-km, globale en 1-2 jours	Effet des précipitations important
Altimètre (radar pointé au nadir)	OUI	NON	~10-km, discontinue le long de la fauchée et globale en 10 jours	Dédié à la hauteur des vagues Mesure discontinue et peu précise
Diffusiomètre (scatterometer)	OUI	OUI	~25-km (12.5-km), quasi-globale (70-90%) en 1 jour	Dédié aux vents de surface
Radar à Synthèse d'Ouverture	L'un ou l'autre		~1-km, couverture 50-500km sous forme d'image instantanée	Besoin de données externes

Interaction signal radar - océan

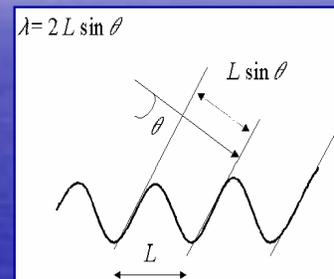
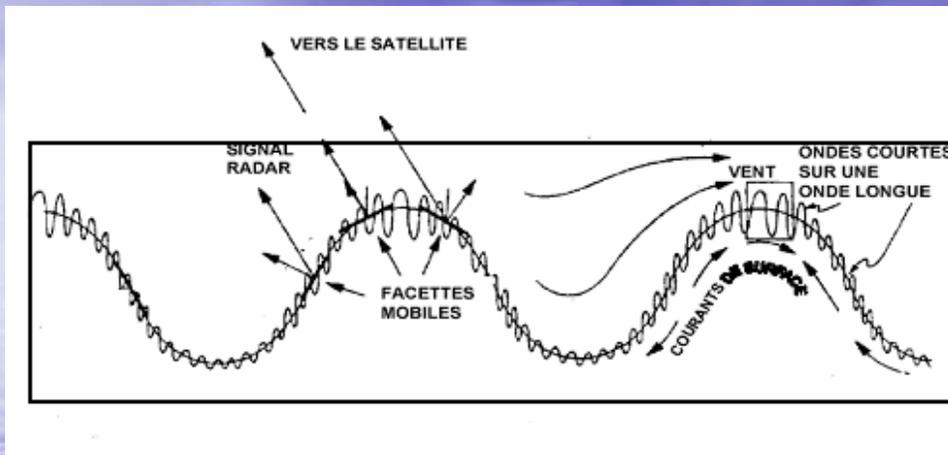


Le **signal radar ($\sigma^0 = \text{sigma}0$)** est lié à la rugosité de la surface de l'eau (car pas ou peu de pénétration onde)

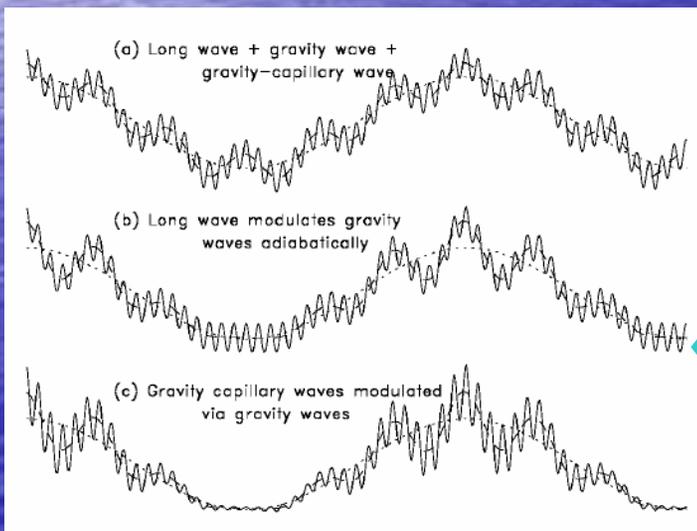


Surface maritime décomposée en vagues de différentes longueurs d'onde: petites vagues de capillarités (cm) créées par le vent local, ou grande vagues issues de la houle (m)

Interaction signal radar - océan

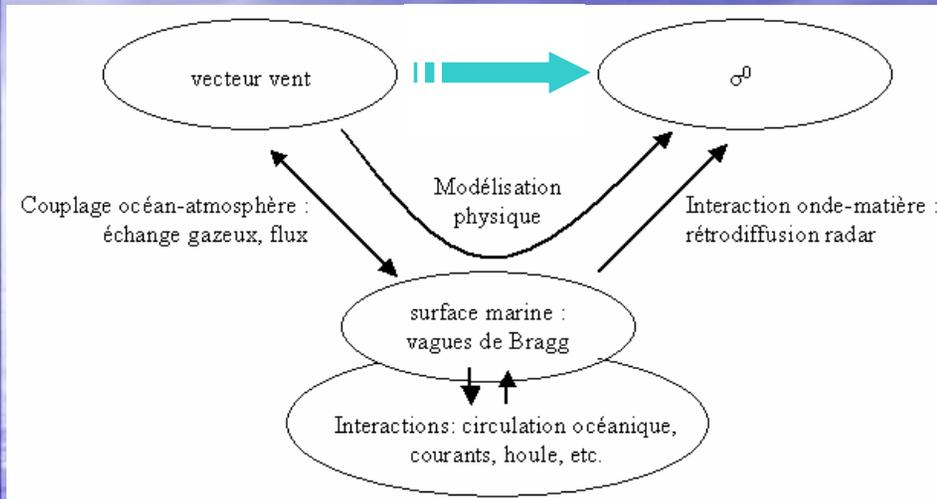


Résonance de Bragg



- σ^0 est dominé par la présence des vagues de capillarité-gravité (\sim cm) créés par le vent local sur la surface océanique : diffusion résonante de Bragg (pour angle incidence de 15 à 60°)
- Interactions entre les grandes vagues et les vagues de Bragg. Exemple, modulation du signal radar par leur effet sur l'angle d'incidence local
- effets secondaires: température eau, stabilité, précipitation,...

Interaction signal radar - océan



Geophysical Model Function (GMF)

Modélisation théorique de la rétrodiffusion

Fonction du spectre de la surface de la mer (Bragg), coefficients de réflexion (permittivité) + modèle facettes 2-D orientées par pente des vagues + dépolarisation...

Pour certaines configurations, un **GMF empirique** exprime la relation liant le signal radar au vecteur vent, tel que:

$$\sigma^0 = f(\theta, \varphi, U_{10})$$

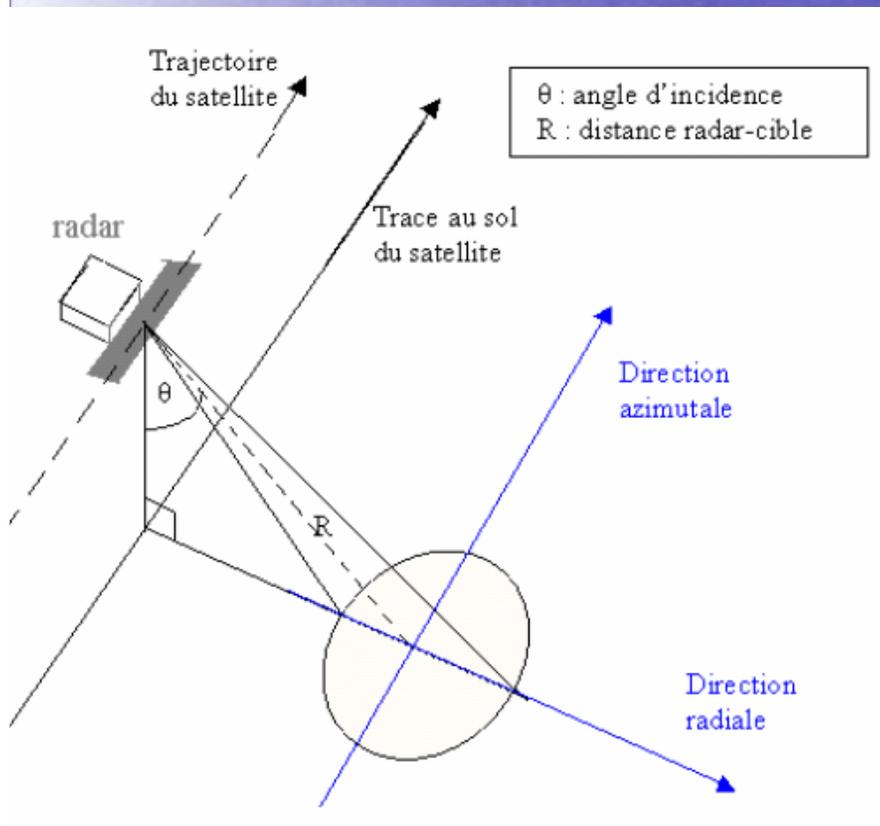
$$\begin{cases} \sigma^0 = A_0 + A_1 \cos \varphi + A_2 \cos 2\varphi + A_3 \cos 3\varphi \\ A_i = a_i(\theta) U^{r_i(\theta)} \end{cases}$$

$$\sigma_{pp}^0(\theta) = 4\pi k_e^2 \cos^4 \theta |\alpha_{pp}(\theta)|^2 S(2k_e \sin \theta, 0)$$

Difficulté: modulation hydrodynamique des grandes vagues + déferlements + interactions électromagnétiques (spéculaire)

Systeme radar-satellite

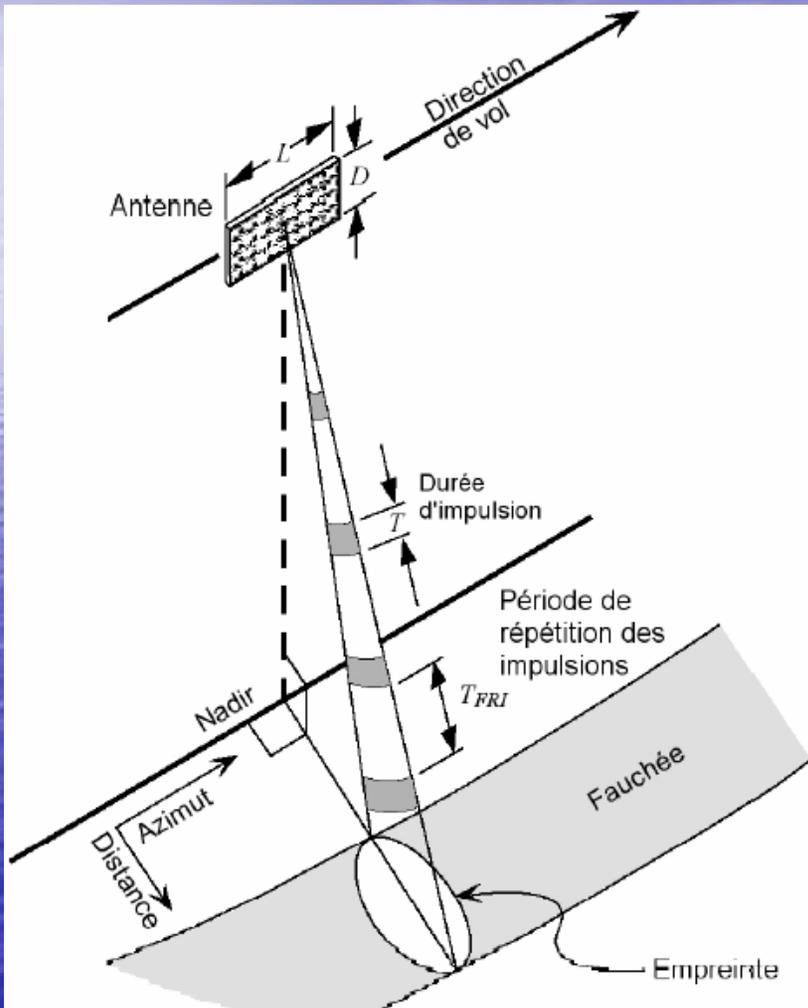
- Géométrie et résolution



- Orbite quasi- polaire (Nord-Sud), héliosynchrone, altitude 600-800km, inclinaison $\sim 100^\circ$, durée ~ 100 min: même heure solaire + illumination panneaux solaires maximale
- Onde radar en polarisation H et/ou V, réception H et/ou V
- Faisceau radar: fonction de fréquence, dimension antenne, altitude et angle d'incidence

$$\frac{\lambda \cdot R}{d_{\text{antenne}}}$$

Systeme radar-satellite



- Résolution au sol et fauchée

- Trace au sol du faisceau radar = ouverture antenne

$$\frac{\lambda \cdot R}{d_{\text{antenne}}}$$

- Résolution radiale améliorée par mesure du temps de retour des impulsions radar (impulsion courte + modulation en fréquence)

$$R_{\text{radial}} = \frac{c\tau}{2 \sin \theta} = \frac{c}{2\beta \sin \theta}$$

C: vitesse lumière

ζ : Durée impulsion

β : largeur bande

- Résolution en azimut améliorée par mesure du décalage Doppler (variation phase) – cas des RSO

$$R_{\text{azimuth}} = \frac{\lambda \cdot R}{d_{\text{azimuth}}}$$

Diffusionomètre $R_{\text{az}} > \text{km}$

RSO $R_{\text{az}} \sim 10\text{m}$

Géométrie des diffusiomètres

- **Capteurs spécifiques pour l'estimation des vents de surface océanique**
- La configuration d'un diffusiomètre est un compromis entre couverture spatiale, résolution et sensibilité au vent:
 - longueur onde \sim cm (eg bande Ku, C)
 - angle incidence "Bragg" (de 15 à 60°)
 - **plusieurs mesures independantes** => plusieurs antennes avec \neq incidence ou \neq azimut ou \neq polarisation
 - **fauchée de 500-1500km**
 - **résolution de 25-50km**
 - **couverture quasi-globale en 1 jour**

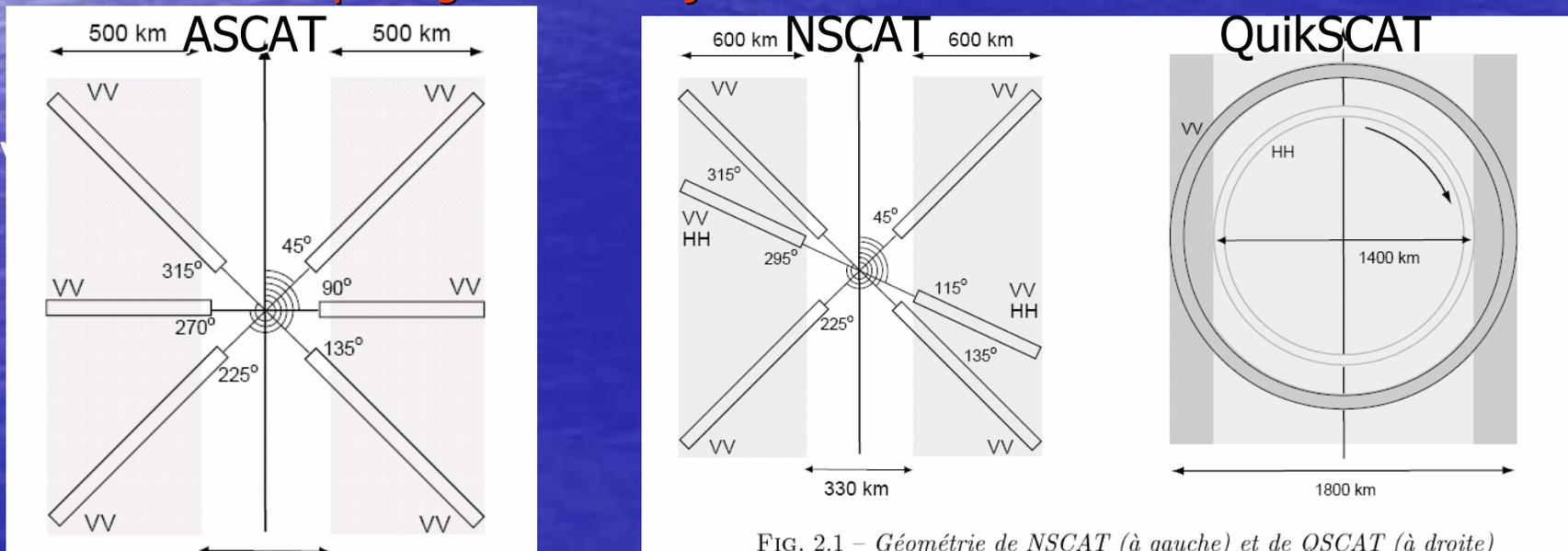
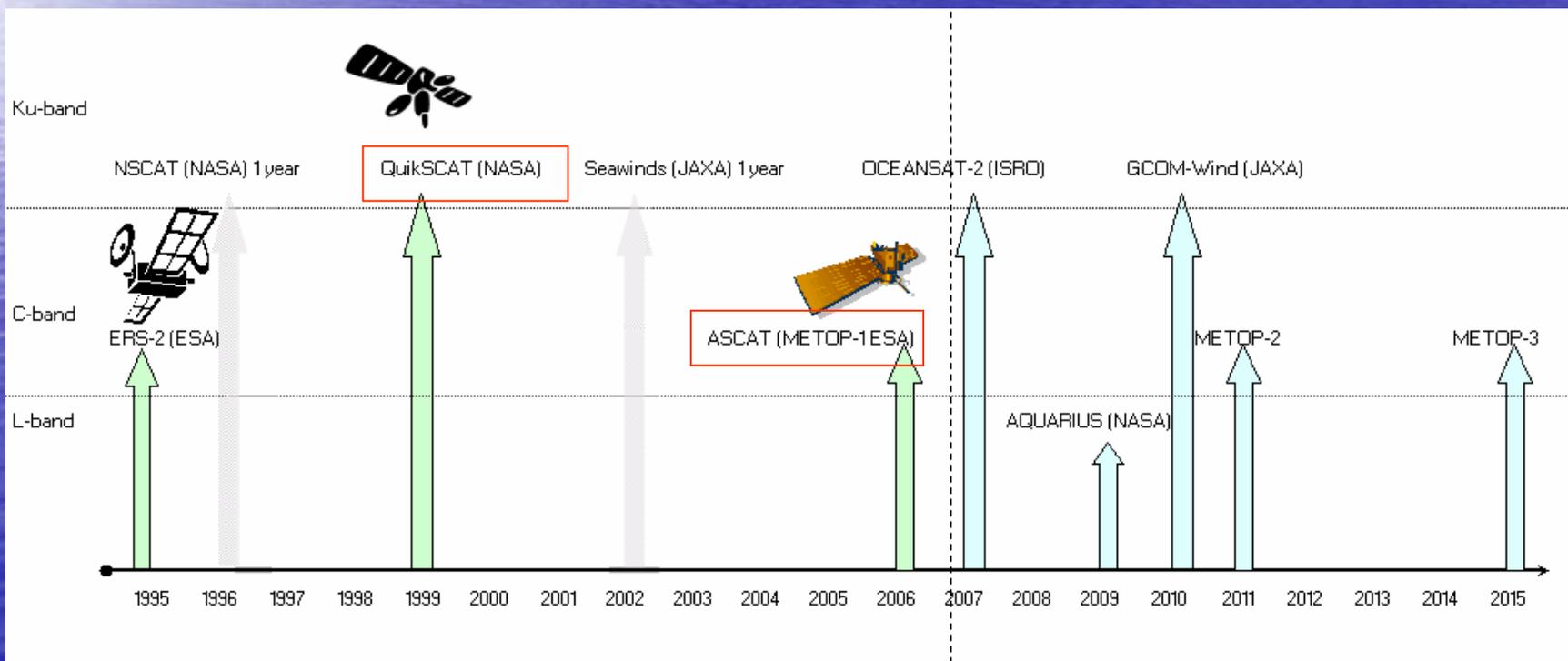


FIG. 2.1 - Géométrie de NSCAT (à gauche) et de QSCAT (à droite)

Futurs diffusiomètres

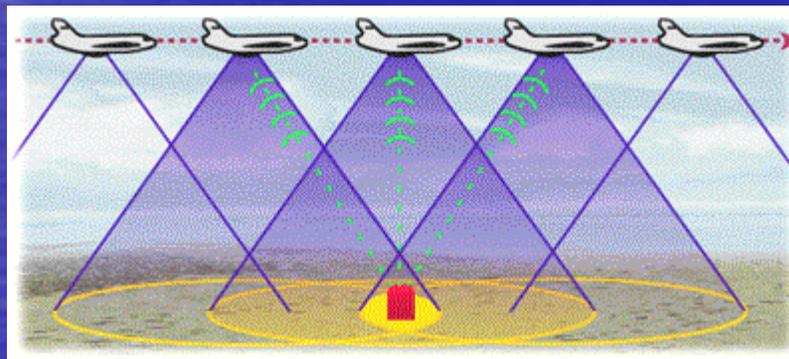
- Continuité semble assurée
- Applications vent de surface:
 - assimilation modèle atmo.,
 - entrée modèle océanique,
 - surveillance d'événements extrêmes



AQUARIUS main goal is to retrieve sea surface salinity

Radars à Synthèse d'Ouverture (RSO ou SAR)

- Capteurs à applications multiples (terrestres & océaniques)
- Configuration des RSO pour garantir une capacité de haute-résolution
 - longueur onde \sim cm (eg bande X, C, L)
 - angle incidence "Bragg" (de 15 à 60°)
 - **antenne unique** (+ différentes polarisations HH, VV, HV, VH, quad.)
 - **"image" RSO instantanée avec couverture limitée**
 - **résolution spatiale de quelques mètres à qqes 100m**
 - **revisite limitée (plusieurs jours)**



synthèse d'ouverture
par effet Doppler en
azimut

RADARSAT-1



- Lancée en 1995 en orbite quasi-polaire héliosynchrone à l'altitude de 793-821 km
- En bande C ($f = 5.3$ GHz), en polarisation HH avec un angle d'incidence de 10° à 60°
- Images de 50 à plus de 500 km de large pour une résolution spatiale de 8 à 100 mètres
- Applications océaniques:
 - glaces de mer,
 - détection de navires et d'hydrocarbures,
 - vagues océaniques,
 - **champ du vent de surface.**

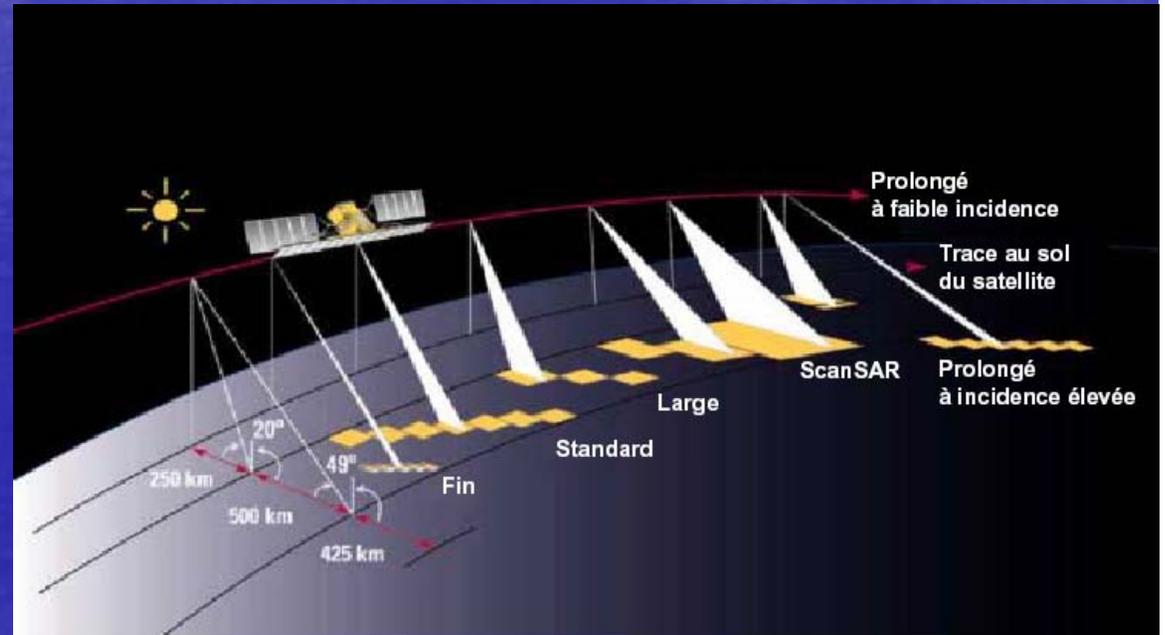


Image RADARSAT-1

- ScanSAR Wide
500*500km
2003/04/24 22h UTC
Res 100-m dégradée à
400-m
Image en dB



Exemples d'images RSO de l'océan

- [Redacted]
- Internal waves
- Surface eddies
- Atmospheric lee waves

**Example from "SAR
Marine User's Manual"**

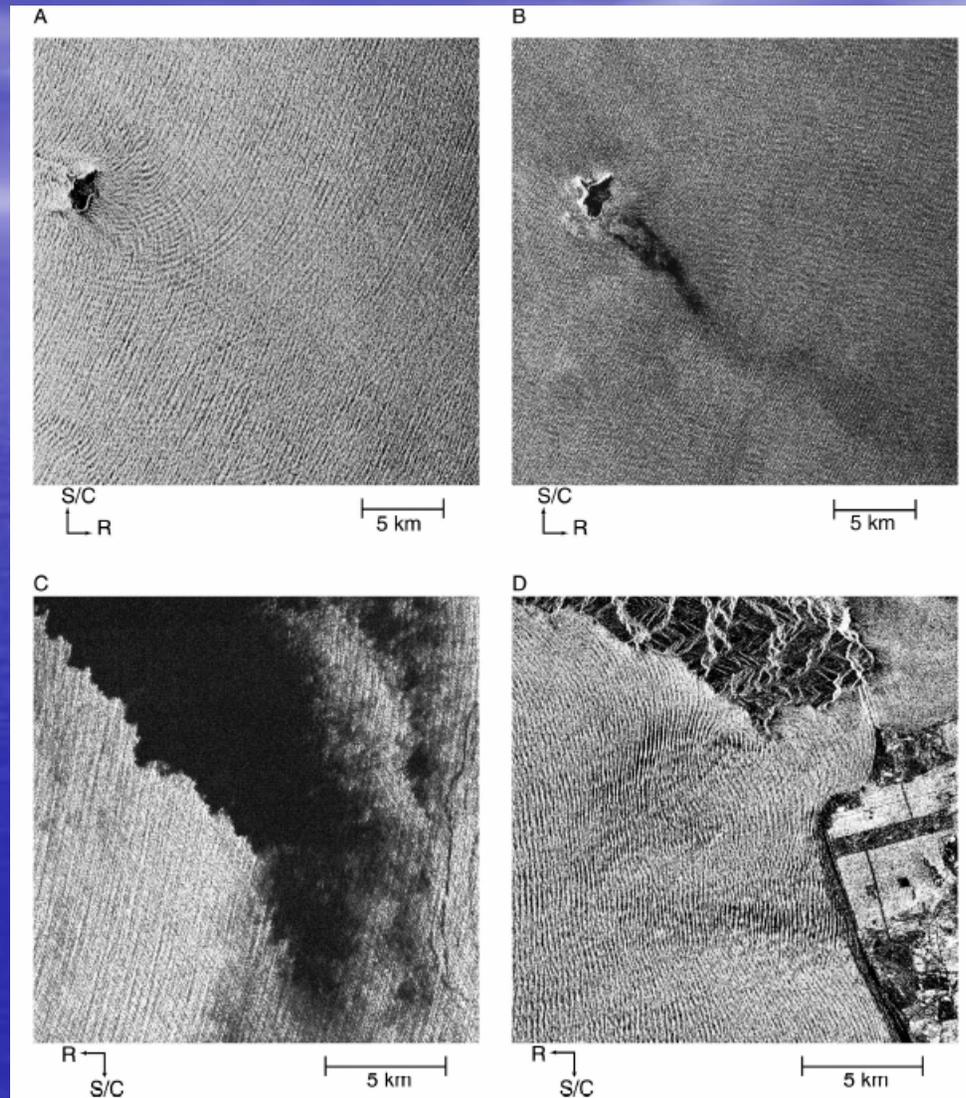


Figure 2.12. RADARSAT-1 (C-band, HH) SAR imaging of surface waves. (a) Range-traveling waves refracting around Santa Barbara Island (25 November 1998), (b) Dominant azimuth-traveling waves (north-south component) and finer-wavelength range-traveling (west-east component) waves near Santa Barbara Island (9 November 2001), (c) Surface waves under low wind conditions near San Clemente Island (2 December 1998), (d) Complicated wave patterns near San Francisco Bay including refraction into bay entrance (22 November 2001). RADARSAT Images ©CSA1998, 2001

- Surface waves
-
- Surface eddies
- Atmospheric lee waves

Example from "SAR
Marine User's Manual"

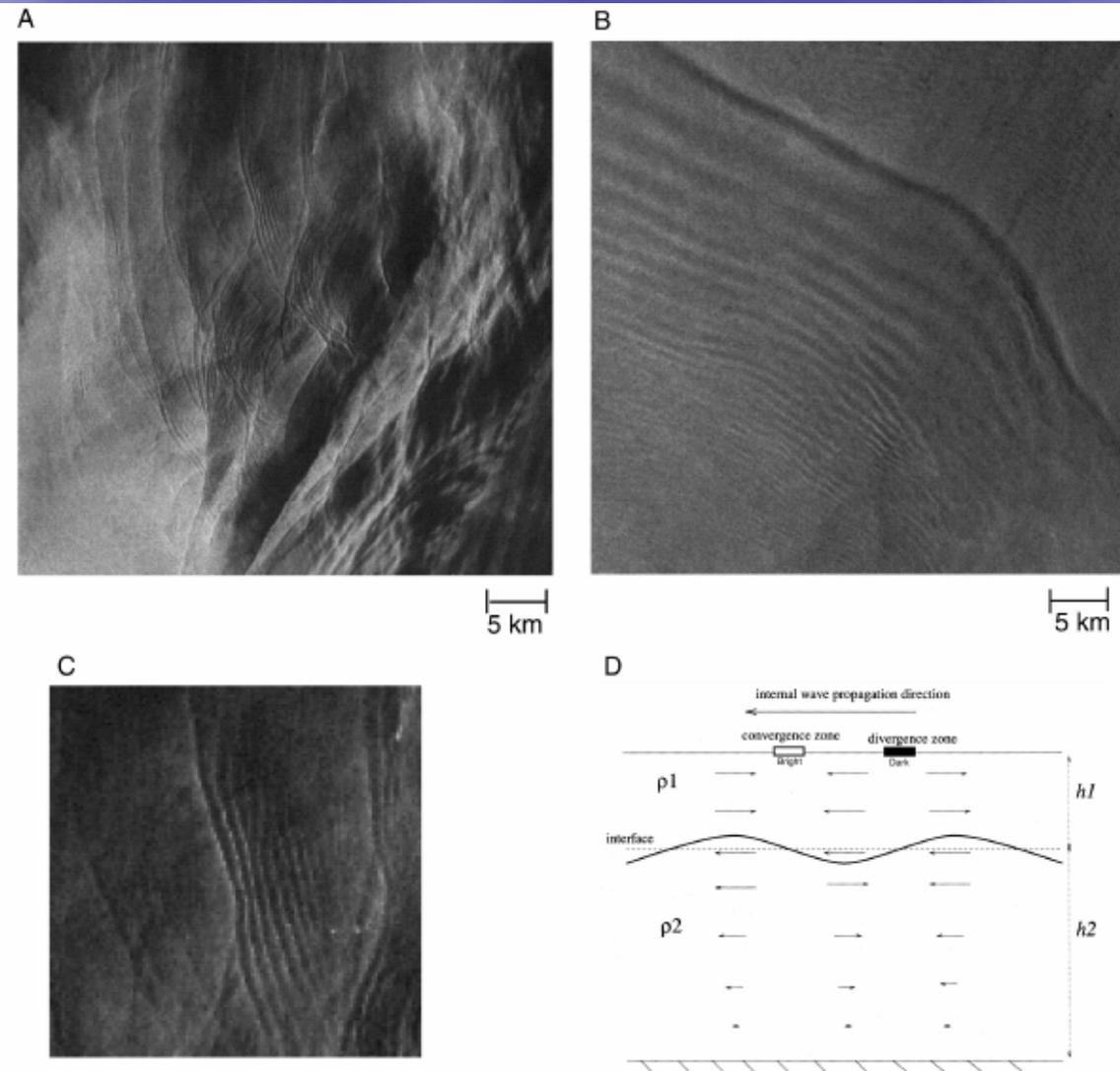
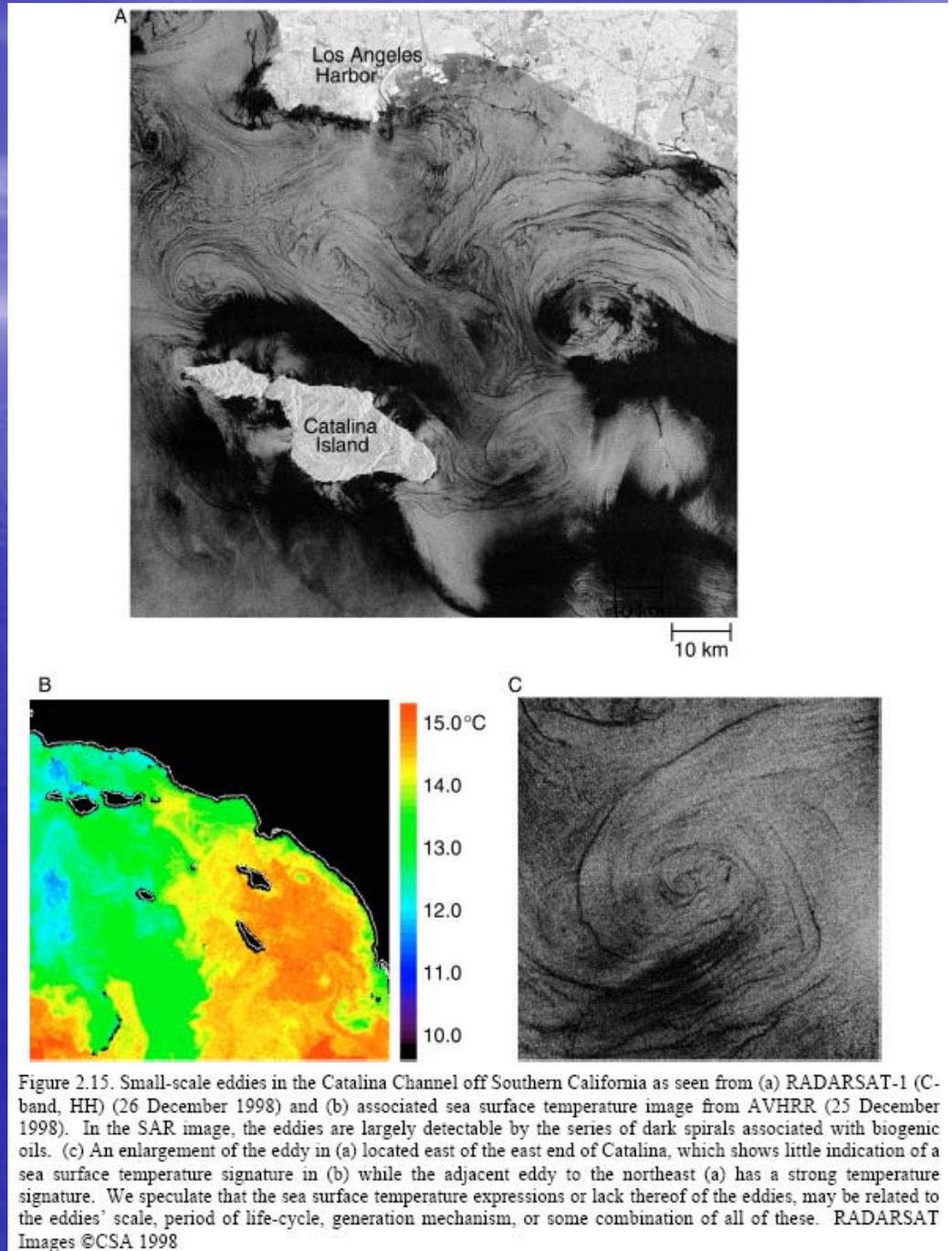


Figure 2.13. SEASAT (L-Band, HH) SAR imaging of internal waves. (a) Comparatively fine-scale internal wave packets along the shelf break east of Cape Canaveral, Florida adjacent to the Gulf Stream (25 July 1978), (b) Larger-scale internal wave packet within the Gulf of California (29 September 1978), (c) Enlargement of one packet from (a) to highlight bands of enhanced backscatter at front of each wave followed by adjacent band of decreased backscatter, relative to surrounding surface backscatter; (d) Sketch illustrating relative direction of particle motion within the internal wave as it propagates along the seasonal thermocline and the subsequent formation of convergent and divergent zones [After Johannessen *et al.*, 1994]. The small gravity waves tend to be piled together (converge) or spread apart (diverge) in the two zones, with direct consequences on the radar backscatter.

- Surface waves
- Internal waves
-
- Atmospheric lee waves

**Example from "SAR
Marine User's Manual"**



- Surface waves
- Internal waves
- Surface eddies
-

Example from "SAR
Marine User's Manual"

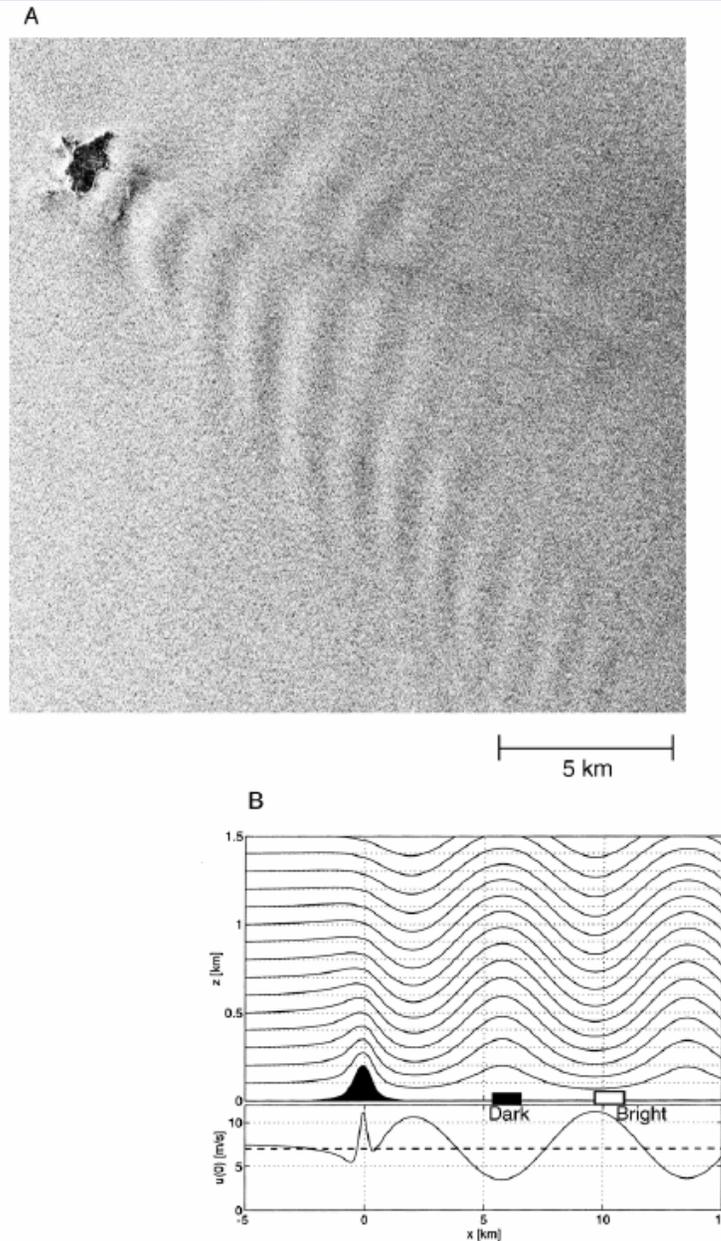
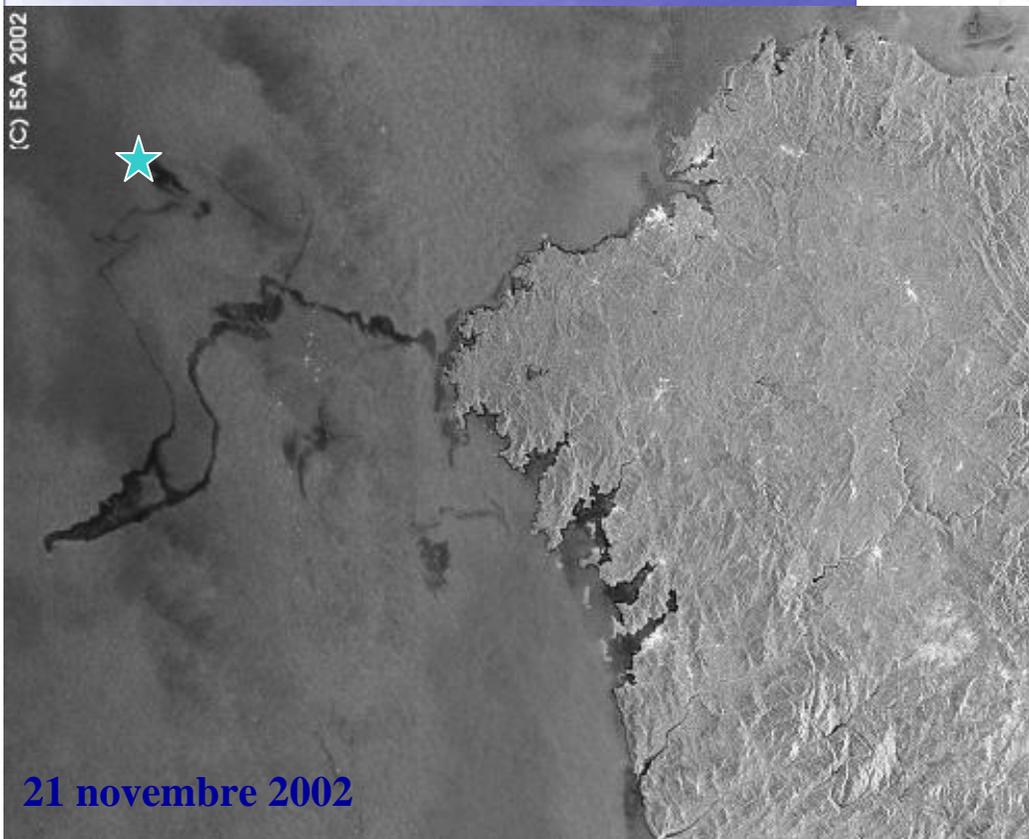


Figure 2.18. (a) Atmospheric lee waves off Santa Barbara Island in Southern California (RADARSAT-1, (C-band, HH) 28 July 1998), (b) Horizontal view of streamlines for one-layer lee waves forming downstream of an island, with the lower scale indicating surface wind speed [After *Vachon et al.*, 1994]. Radar brightness is associated with downward (bright) and upward (dark) vertical circulation. RADARSAT Image ©CSA 1998

Exemple application RSO – détection nappes pétrole

Atténuation des « vagues de Bragg » par les couches d'hydrocarbures

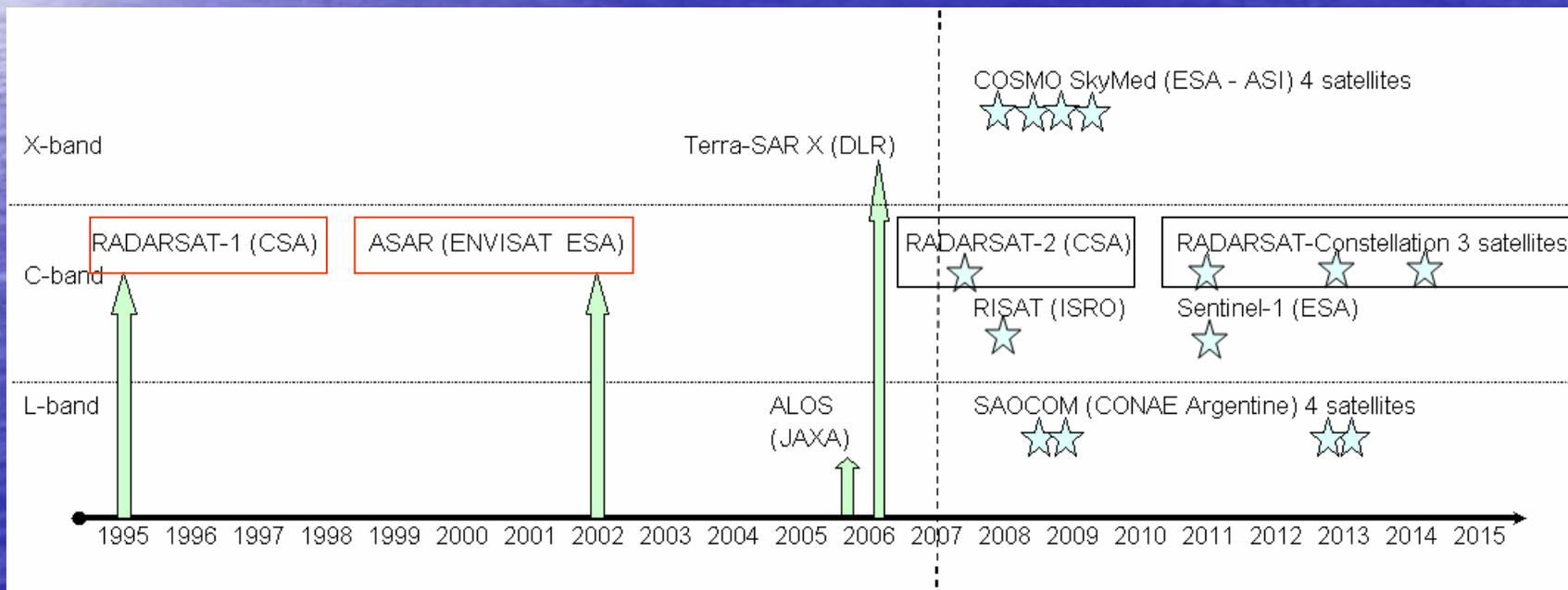


Naufrage du supertanker le « Prestige » au large des côtes de Galice.

21 novembre 2002

Futurs RSO

- Continuité assurée (RADARSAT-Constellation + Sentinel (ESA))
- Temps de revisite diminue avec nombre satellites
~<1 jour (40°N) à partir de 4 satellites avec fauchée > 250-km
- Satellites RSO ont des applications multiples (terre-forêt-océan)

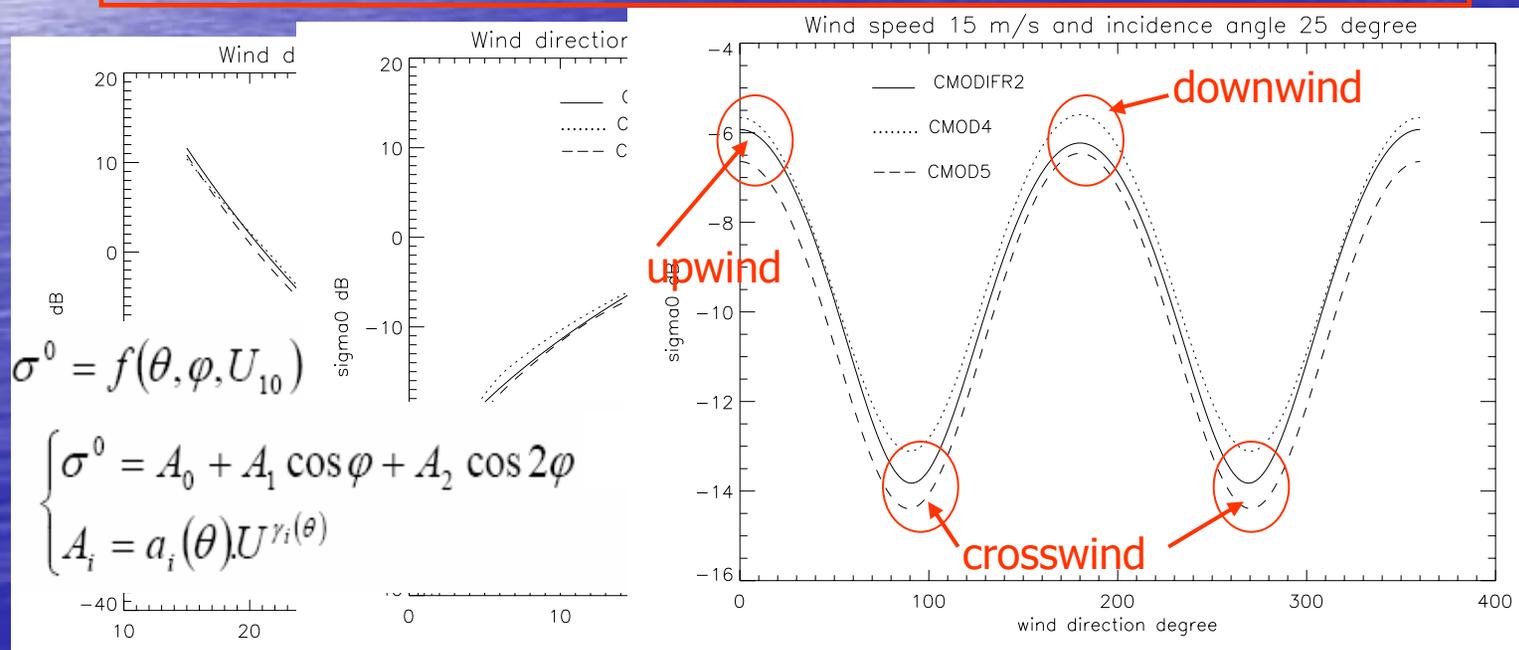


Plan

- PARTIE I
 - Interaction radar – surface océanique
 - Systèmes satellite radar – cas des diffusiomètres et Radar à Synthèse d'Ouverture
- PARTIE II
 - Algorithmes d'extraction du vent
 - Vent RADARSAT-1 sur golfe St-Laurent
 - Projet avec Garde Côtière Canadienne
- PARTIE III
 - Projets au CMC

GMF en bande C : polarisation V

- Développés pour les diffusiomètres ERS-1 et ERS-2
- Plusieurs saveurs: CMOD4, CMODIFR2, CMOD5, ...
- Principales caractéristiques de la rétrodiffusion sont reproduite:
 - Diminution avec l'augmentation de l'angle d'incidence
 - Augmentation avec l'intensité du vent + saturation
 - Dépendance harmonique en fonction de la direction du vent



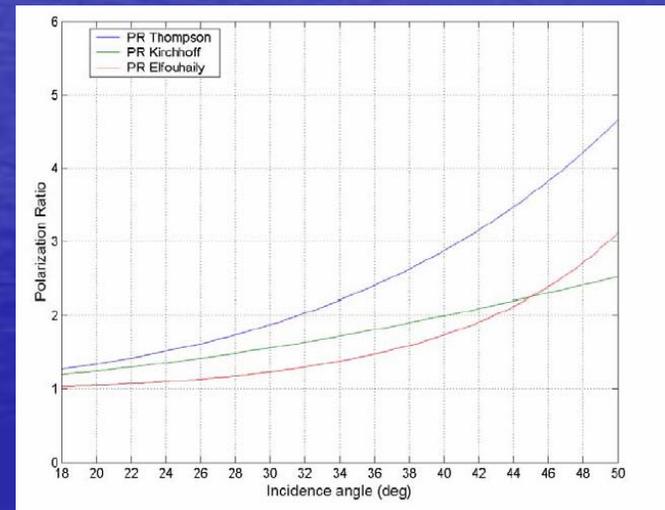
GMF en bande C : polarisation H

- Nécessaire pour RADARSAT-1 et ASAR en mode H-pol
- Pas de GMF aussi bien développés (manque de données)
- Modèle hybride = GMF pol-V (CMOD) + rapport de polarisation (H/V)
 - RP fonction de l'angle d'incidence

$$RP^T = \frac{\sigma_{HH}^0}{\sigma_{VV}^0} = \frac{(1.6 - \sin^2 \theta)^2}{(1.6 + \sin^2 \theta)^2}$$

$$RP^K = \frac{\sigma_{HH}^0}{\sigma_{VV}^0} = \frac{(1 + \tan^2 \theta)^2}{(1 + 2 \tan^2 \theta)^2}$$

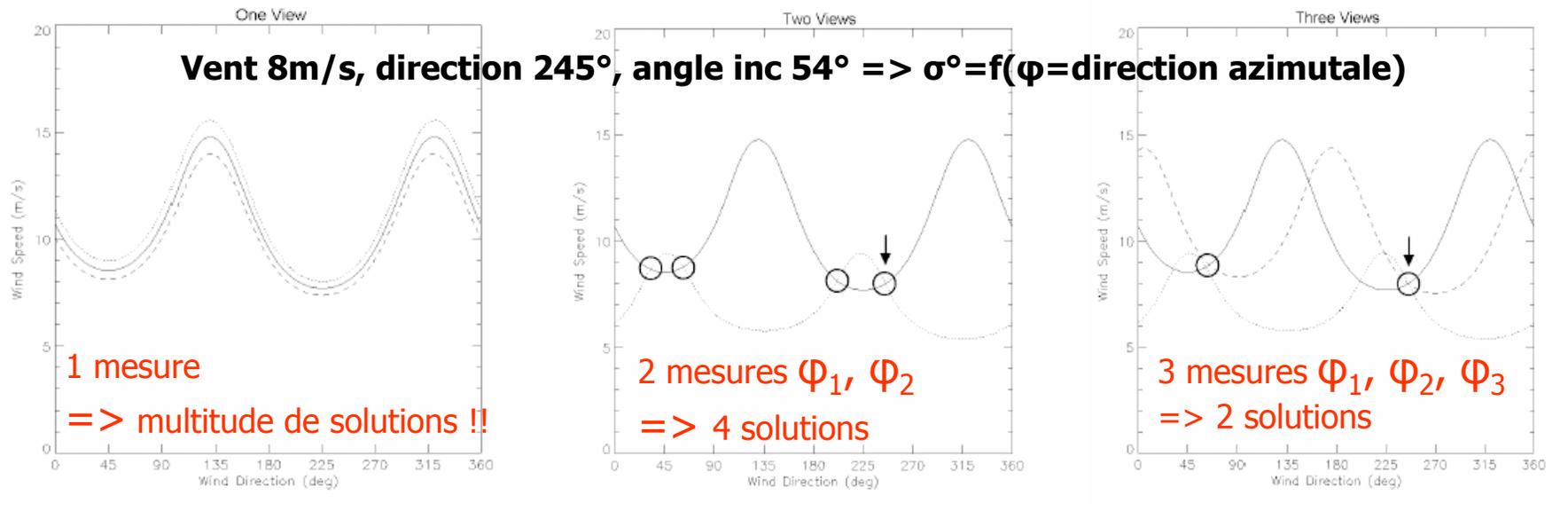
$$RP^E = \frac{\sigma_{HH}^0}{\sigma_{VV}^0} = \frac{(1 + 2 \sin^2 \theta)^2}{(1 + 2 \tan^2 \theta)^2}$$



- Des données supplémentaires permettent de développer des RP fonction de la vitesse et direction du vent (Mouche et al., 2005)

Extraction du vent - diffusiomètre

Avantage d'avoir plusieurs mesures (antennes) - Géométrie ASCAT (Portabella, 2004)



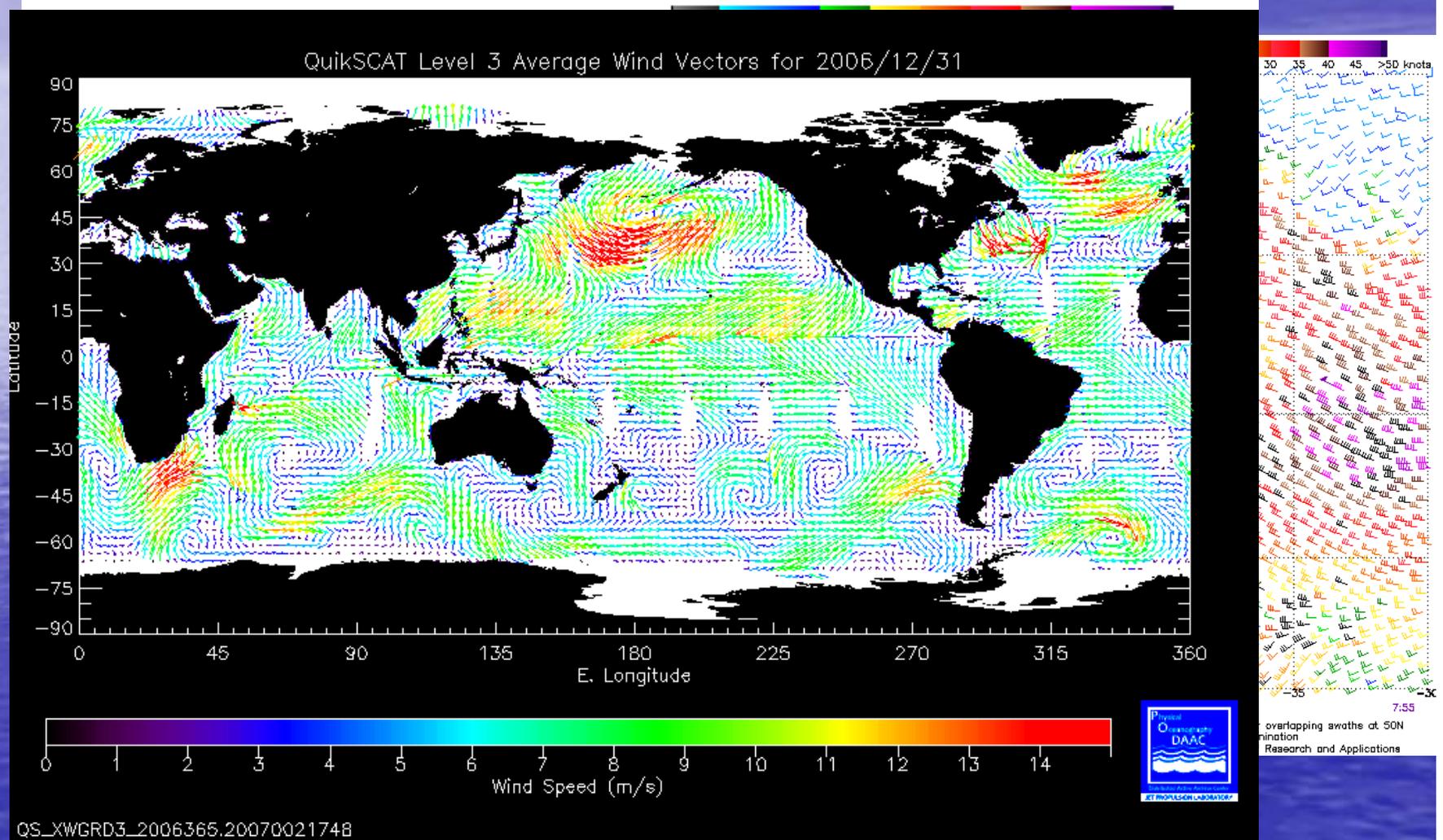
- Inversion du GMF par MLE (Maximum Likelihood Estimation) à partir des différentes mesures (eg 3) de σ^0 pour la même cellule de résolution

$$MLE = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\sigma_{GMF}^0(U_{10}, \phi, \theta_i, \chi_i) - \sigma_i^0}{K_p \sigma_i^0} \right)^2$$

Minimisation par recherche sur l'ensemble des possibilités U_{10}, ϕ

- Solutions ambiguës (2 à 4) dues à la forme du GMF et au bruit
- Ambigüité levée avec info NWP et/ou contraintes spatiales (filtres)

Exemple vent diffusiometre



<http://podaac.jpl.nasa.gov> et <http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/quikscat>

Extraction du vent - RSO

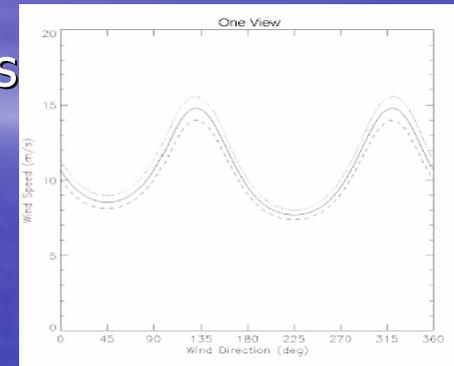
- Utilisation des GMF développés pour les diffusiomètres
MAIS une seule mesure de σ^0 => problème d'ambigüité
- Pas de technique "autonome"

SOLUTIONS :

- Méthode directe:

Information a priori sur la direction du vent (NWP, satellite, bouée,...) + GMF => Vitesse du vent RSO

- **2D-var**: Minimisation d'une fonction de coût composée d'une partie champ de vent de modèle atmosphérique et d'une partie observation RSO + statistiques d'erreur => Estimation vitesse + direction RSO



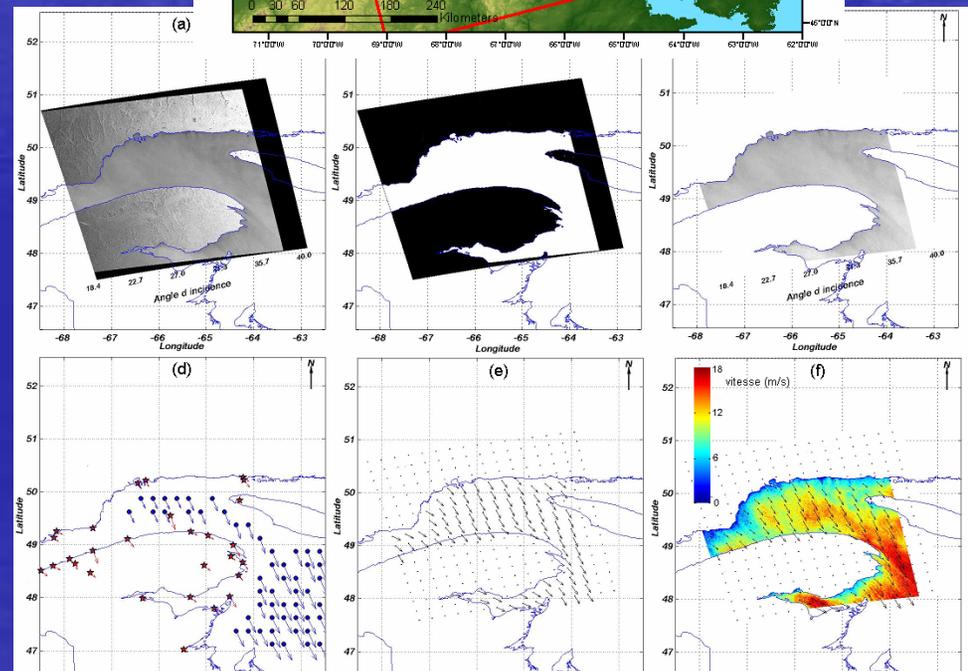
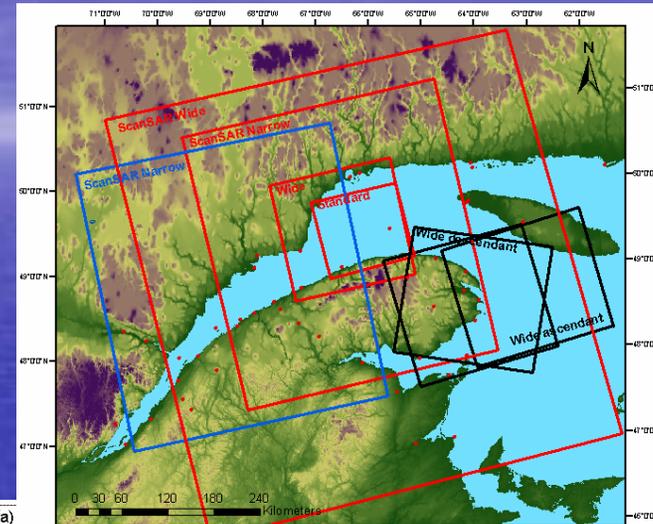
$$J = J_B + J_O = \frac{1}{2} \left(\frac{u - u_b}{\sigma_{uv}^b} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{v - v_b}{\sigma_{uv}^b} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_{model}^0(u, v, \theta_{data}, \chi_{data}) - \sigma_{data}^0}{K_p \sigma_{data}^0} \right)^2$$

Ref.: Portabella (2002), JGR et travaux de R. Danielson, H. Ritchie, M. Dowd (CMC-Dalhousie University)

Cartographie du vent en région côtière par images RSO de RADARSAT-1 : cas du golfe du Saint-Laurent

- Région: Golfe St-Laurent
- 58 images RADARSAT-1
- Méthode directe:
Modèle hybride =
CMOD-IFR2 (en VV)
+ RP_Kirchhoff (HH/VV)

+ direction a priori:
Interpolation direction du
vent QuikSCAT + locale



RADARSAT-1 versus bouée Mt-Louis

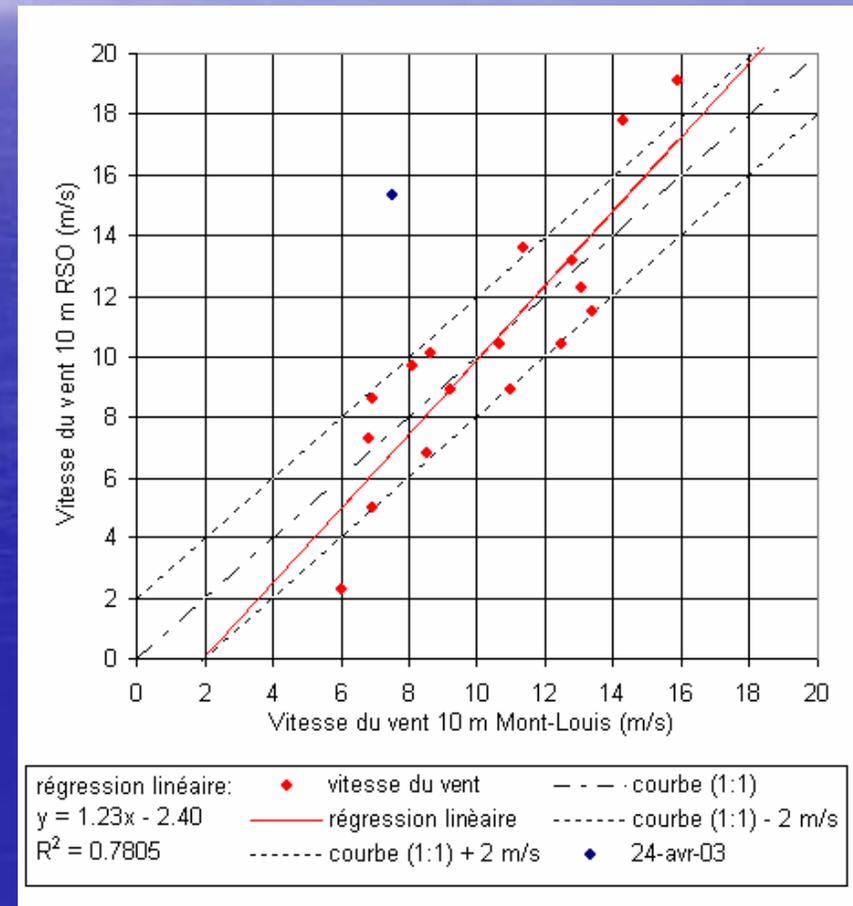
6 < U < 16m/s pour 17 données

Coef. Cor = 0.87, Erreur moyenne = 2 m/s
et biais ~0 m/s

La différence U_RADARSAT et U_bouée
est en partie expliquée par :

- précision U_bouée (1 m/s)
- précision sur U_RADARSAT
(précision radiométrique de σ_{HH}° , du
modèle hybride)
- effet de la température de l'air et de
l'eau :

État de l'atmosphère	Stable	Instable	Neutre
Ta-Te ^a (°C)	1.3	-3.7	0.2
nb data ^b	4	5	8
RMSE (m/s)	2.3	2.2	1.9
Biais (m/s)	-1.7	0.9	0.2

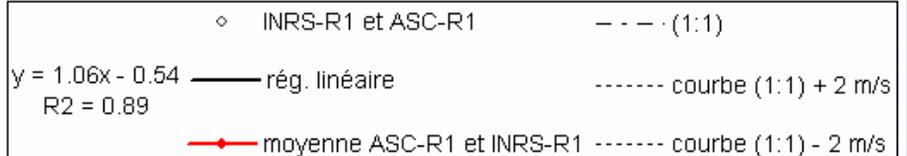
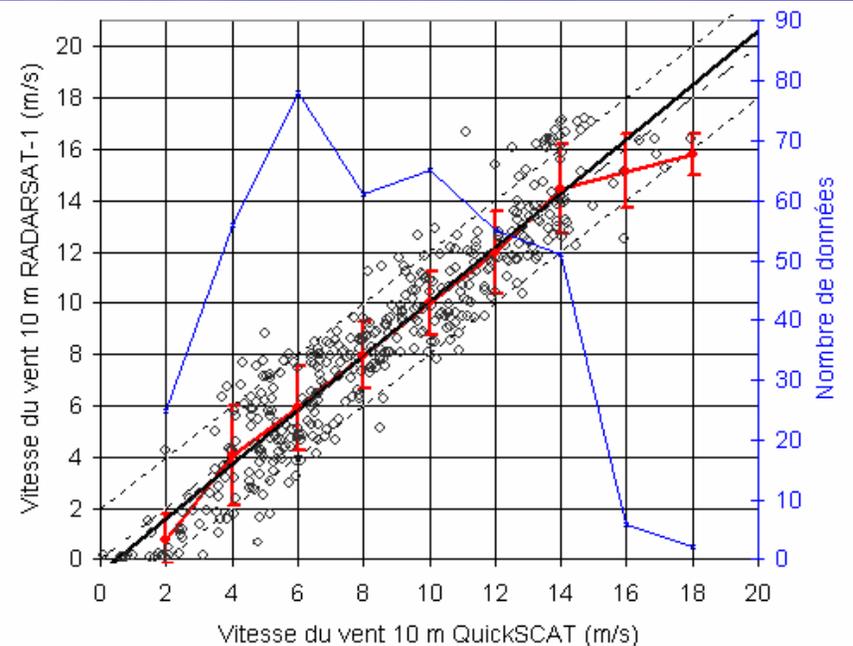


RADARSAT-1 versus vent QuikSCAT

$0 < U < 18\text{m/s}$ pour 399 données

Coef. Cor = 0.94, RMSE = 1.5 m/s et biais ~ 0 m/s

- Pour $U < 3-4\text{m/s}$: sous-estimation de $U_{\text{RADARSAT-1}}$ (effet du RP...)
- Pour $4 < U < 15\text{m/s}$: bonne corrélation
- Pour $U > 15\text{m/s}$: peu de données, sous-estimation ?

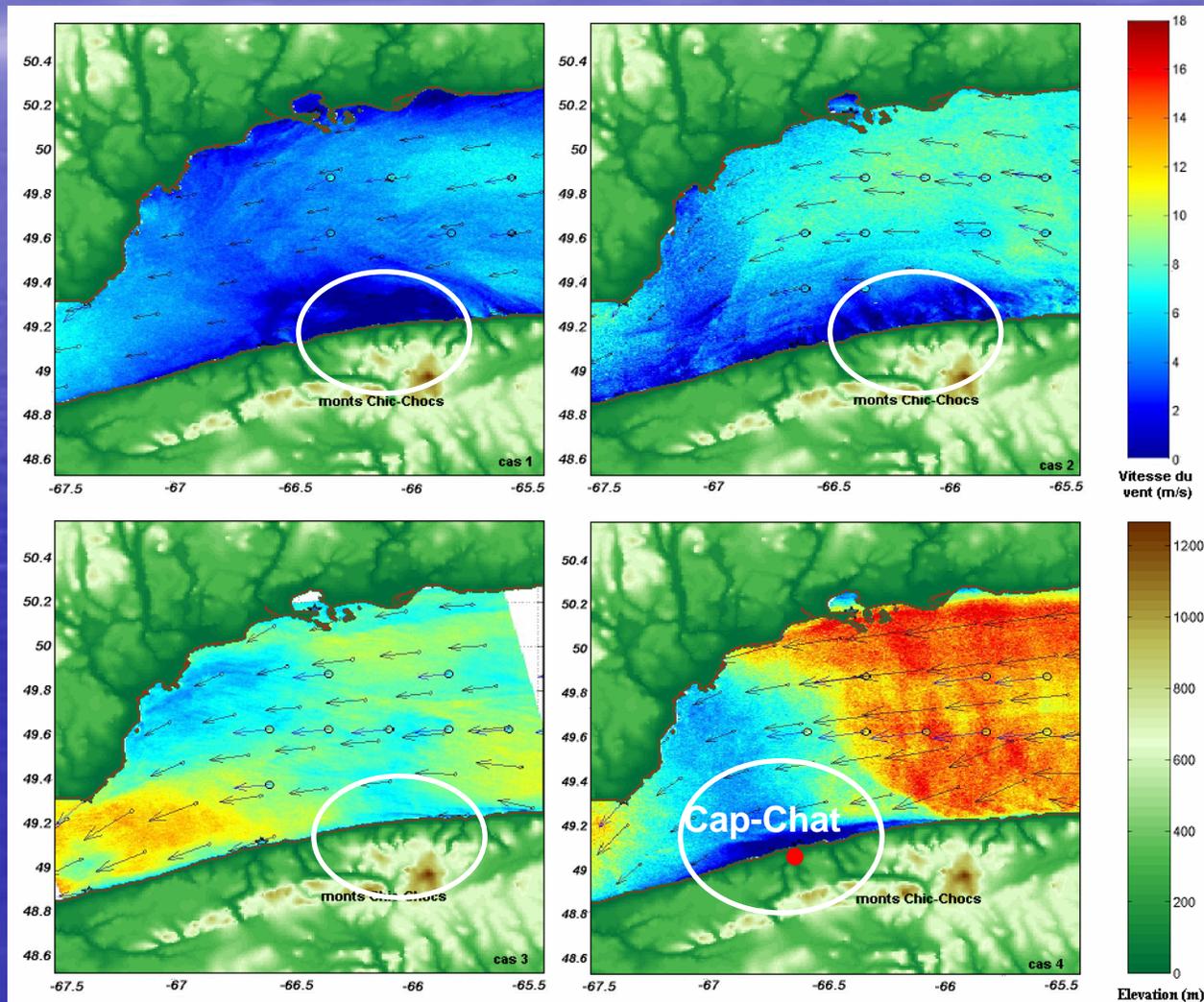


Images vent RADARSAT-1 près de Cap-Chat

Cas du vent d'Est

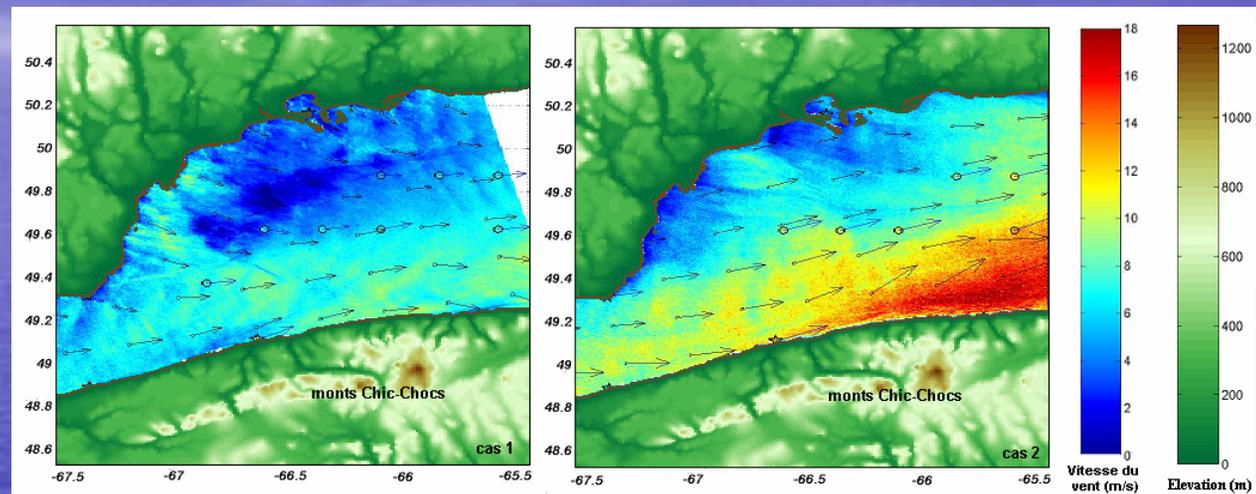
Intensité du vent de modérée (4-8 m/s) à forte (10 m/s)

- Patron du vent est proche pour les 4 situations
- Effet d'ombrage du vent par la topographie environnante
- Région avec un écoulement de l'air probablement turbulent et avec un fort cisaillement



Images vent RADARSAT-1 près de Cap-Chat

Cas du vent d'Ouest

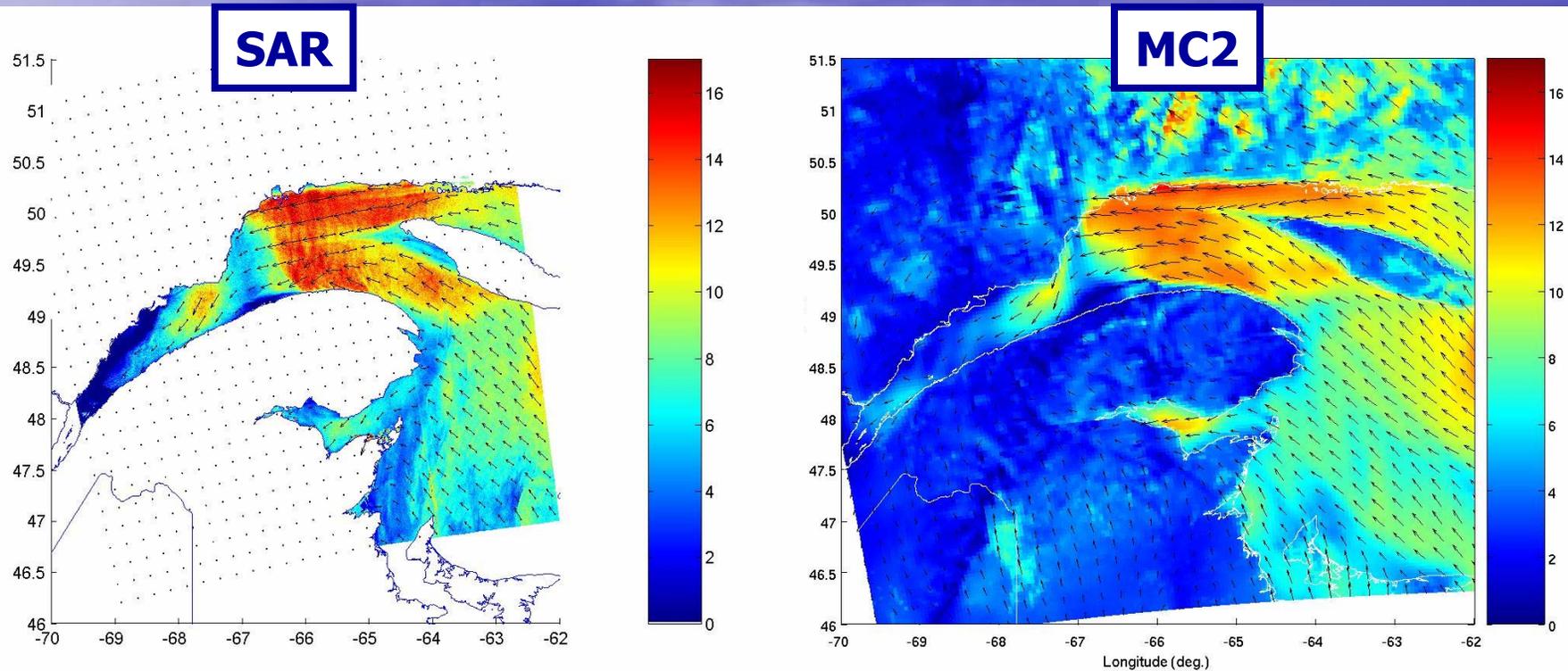


Intensité du vent de modérée (6-9 m/s)

- Patron du vent est proche pour les 2 situations
- Vitesse du vent plus favorable sur la côte Gaspésienne que sur la Côte Nord
- Canalisation du vent le long de la côte Gaspésienne (jet côtier) avec plus de 50% de différence entre Est et Ouest. Accélération par effet de barrière de la péninsule de la Gaspésie, turbulence probablement intense près de la côte.

MC2 vs SAR: case study

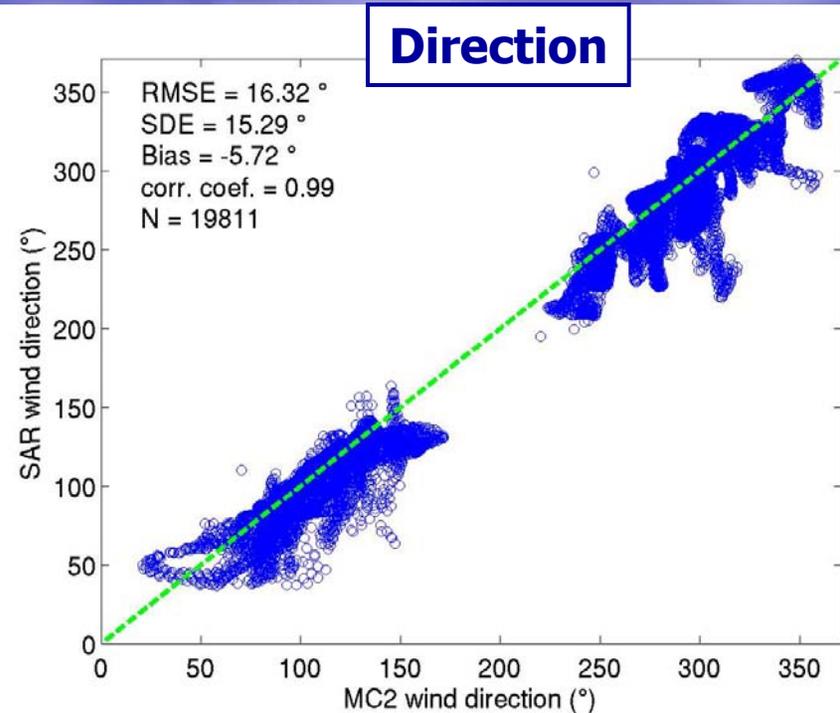
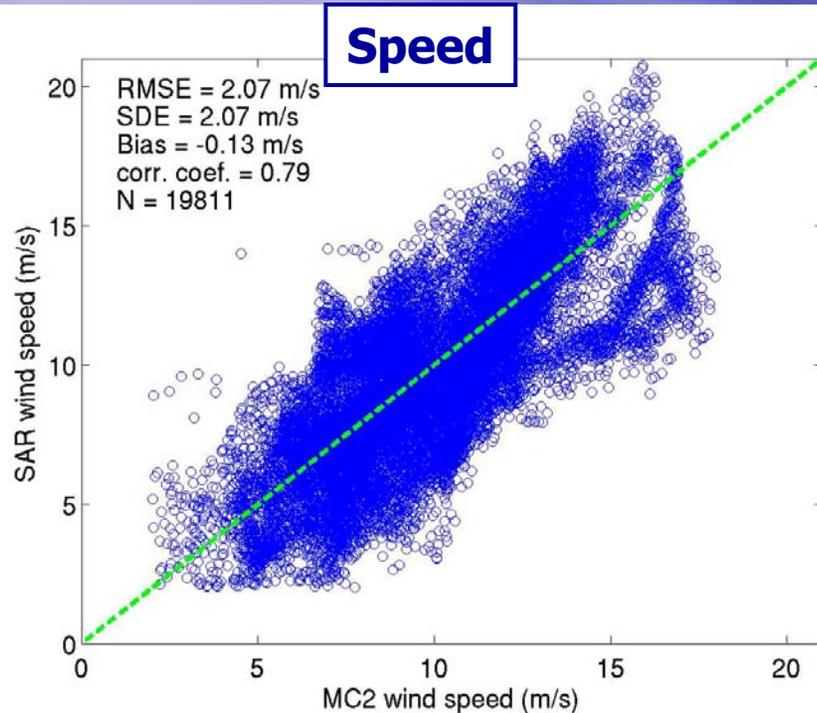
24 april 2003, 22h00 UTC



- Wind features are well resolved by both wind estimation methods
- Many meteorological phenomena visible:
 - wakes
 - channelling
 - barrier effect

SAR vs MC2 comparison

- 14 synoptic situations are analyzed



- RMS difference on wind speed of **2.07 m/s** & **small bias**
- Among the best results seen in the literature:
 - Horstmann *et al.* (2005): RMSE = 2.1 m/s, bias = -0.2 m/s
 - Monaldo *et al.* (2001): RMSE = 3.9 m/s, bias = -1.5 m/s
- On average, wind speed differences between SAR and MC2 are similar for both sources of wind directions used in the SAR method:
 1. QuikSCAT and local measurements
 2. MC2

SAR wind processing - Comparison

1. Direct method:

SAR-wind speed = GMF model inversion with a priori CMC GEM wind direction

$$GMF = \sigma^0(U, \varphi_{CMC}, \theta, pol)$$

2. 2Dvar approach:

Inversion method to estimate SAR-wind vectors combining the radar signal, GMF model and CMC GEM model data

Minimization of a cost function:

$$J = \left(\frac{u - u_{CMC}}{\Delta u} \right)^2 + \left(\frac{v - v_{CMC}}{\Delta v} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{SAR}^0 - \sigma_{GMF}^0}{\Delta \sigma} \right)^2$$

u_{CMC} and v_{CMC} : first-guess wind field from CMC REG regional model

σ_{SAR}^0 : radar cross section from SAR and,

σ_{GMF}^0 : radar cross section from GMF

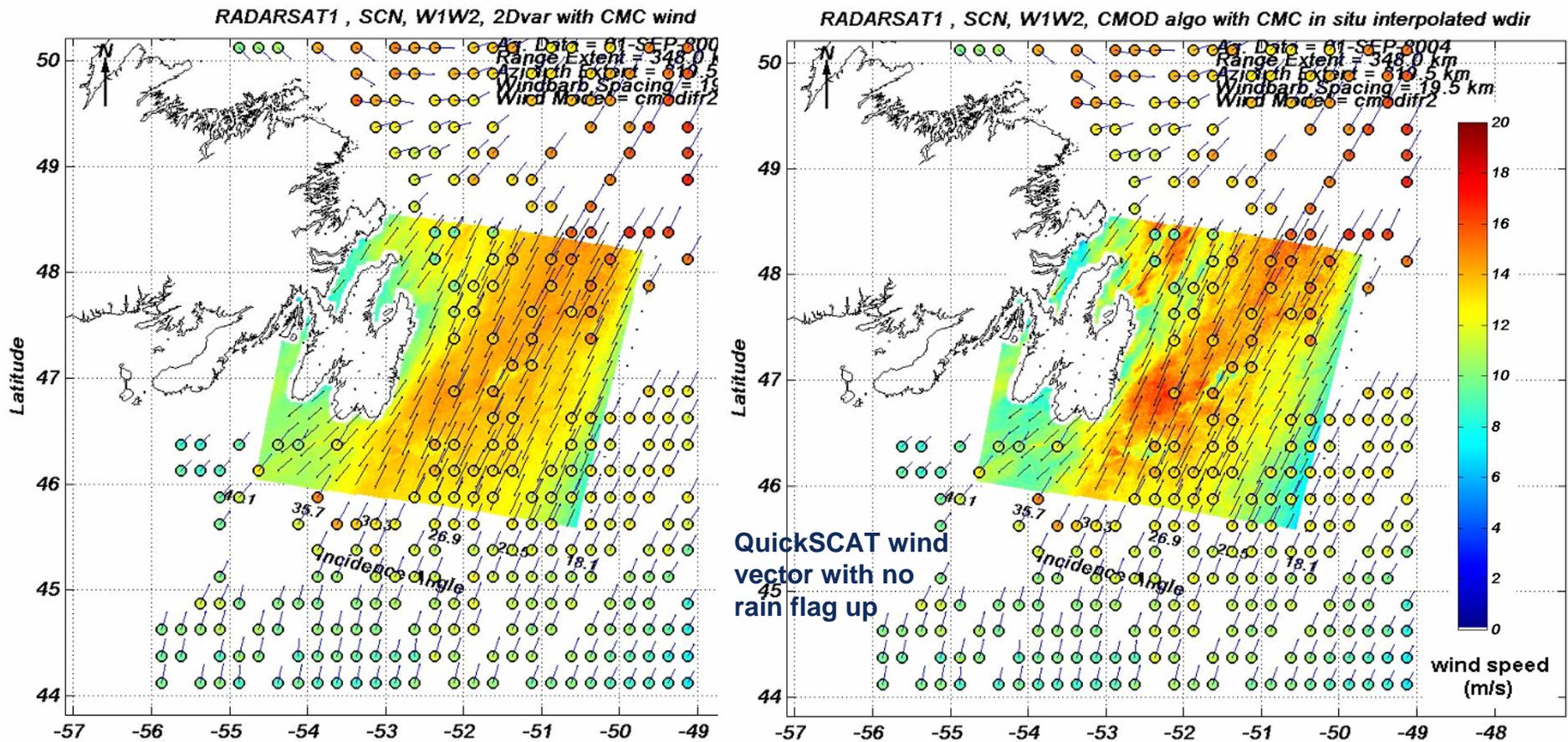
Δu Δv : model wind component error variance

$\Delta \sigma$: radar cross section variance of the SAR scene

SAR wind processing - Comparison

- Comparison 2Dvar versus direct method:

- Smoother wind field due to the CMC GEM Reg model lower resolution
- Similar wind speed accuracy
- 2Dvar approach more appropriate for future blending



SAR wind processing - Comparison

- Various configuration tested on 168 SAR scenes
 - ❖ GMF = CMOD-IFR2 or CMOD5
 - ❖ u and v wind component variance fixed at $3\text{m}^2.\text{s}^{-2}$ or $6.5\text{m}^2.\text{s}^{-2}$
 - ❖ $\Delta\sigma = a.\sigma_{SAR}^0$ Fixed backscatter variability (15%) or beam mode (for ASAR and RSAT-1) dependent value (from 3.5% for F1 to 10% for ASAR WS mode)

SAR-wind retrieval methodology	Wind speed comparison	RSAT-1 vs QuickSCAT	ASAR vs ERS-2	SAR vs scatt
CMOD-IFR2 + model wind direction	RMSE (m/s)	1.8	1.3	1.6
	bias (m/s)	1.0	-0.4	0.2
CMOD5 + model wind direction	RMSE (m/s)	1.6	1.6	1.6
	bias (m/s)	0.9	-0.8	-0.2
2Dvar with CMOD-IFR2 and $\Delta\sigma = cste$	RMSE (m/s)	1.4	2.1	1.8
	bias (m/s)	0.2	-1.2	-0.7
2Dvar with CMOD5 and $\Delta\sigma = cste$	RMSE (m/s)	1.4	2.1	1.8
	bias (m/s)	0.2	-1.4	-0.8
2Dvar with CMOD-IFR2 and $\Delta\sigma = f(\text{beam})$	RMSE (m/s)	1.4	1.7	1.6
	bias (m/s)	0.5	-0.9	-0.4
2Dvar with CMOD-IFR2 and $\Delta\sigma = f(\text{beam})$ and $\Delta u = \Delta v = 2.6 \text{ m/s}$	RMSE (m/s)	1.5	1.5	1.5
	bias (m/s)	0.6	-0.7	-0.2

168 SAR scenes
1300 ERS-2 and
1900 QuickSCAT
comparison points

GRIP project

DFO/CCG/C-CORE

- **2004-2007 GRIP**, funded by CSA
- *Development and demonstration of a capacity to use Earth Observation (EO) to enhance Search and Rescue operations*



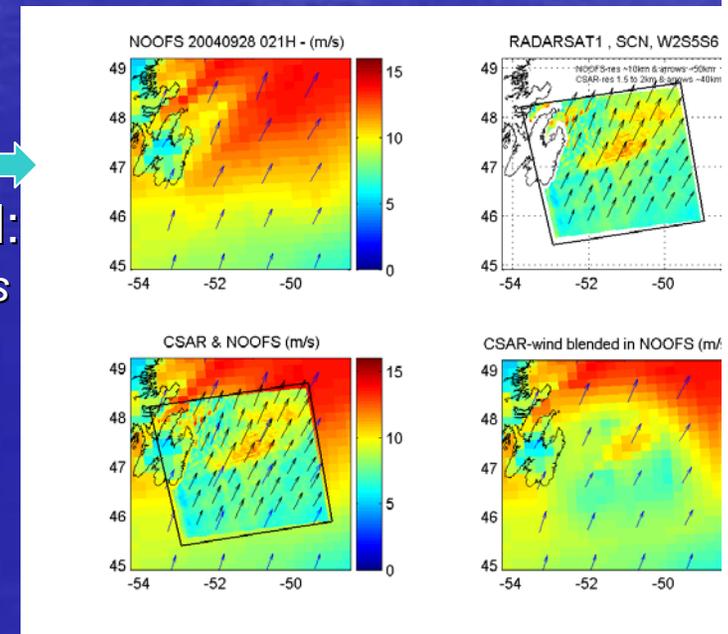
1. Generate new environmental data source from EO data

- Sea Surface Wind from EO data:
 - SAR satellites (RADARSAT, ASAR)
 - Scatterometer (QuickSCAT, ERS-2)
 - Wind blending (CMC model + EO winds) →
- Sea Surface Current from ocean model:
 - 2D current model driven by forecasted winds and SAR-wind

2. Test with CANSARP field experiments

Use a CANSARP-Scientific version.

3. Move toward an operational assembly chain



Drift simulations (1/3)

- **Drift events (autumn and winter 2004-05)**
 - SLDMB in Person In Water (PIW) or in life-raft mode (48-hours drift)
 - Ovatek life-raft in various configurations (20 to 160-hours drift)
 - 32 foot sailboat "Tigger" (7 to 12-hours drift)



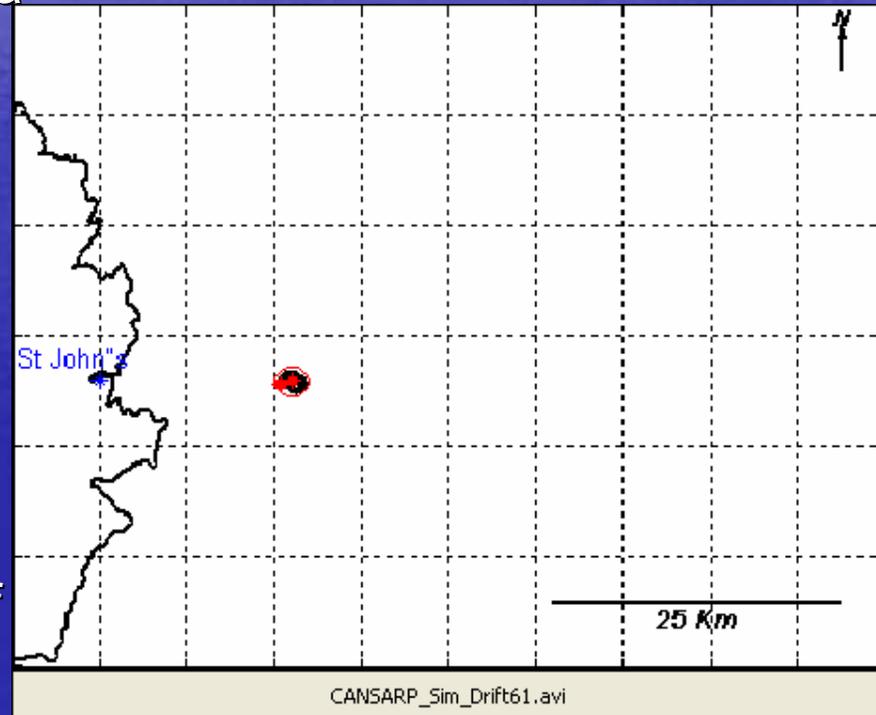
- **19 drifts and 29 C-band SAR scenes collocated:**
 - RADARSAT-1 – beams F4, EH3, SCNA, SCNB
 - ENVISAT ASAR – IS5, IS6 and WS (pol. HH or VV)

Target type	Drift events	Total hours	SAR scenes
PIW	6	288	8
4-person life-raft / no drogue	3	117	5
7-person life-raft / no drogue	3	212	5
4-person life-raft / drogue	4	169	5
7-person life-raft / drogue	2	98	5
32 ft sailboat / no drogue	1	8	1

Drift simulations (2/3)

CANSARP-Scientific (Matlab)

- To test different wind and sea current products:
 - CMC GEM wind
 - SAR-wind
 - Scatterometer wind
 - NOOFS current
- To evaluate different methodology
- To demonstrate scientific interest for future releases of the operational CANSARP version



Drift simulations (3/3)

- ❖ Effect of SAR-wind and QuikSCAT winds considering a constant EO-wind during 4 hours, otherwise we use CMC GEM Regional wind (15-km)

Reference: climatic CANSARP current + CMC GEM Regional wind field

Configuration	Summary
QuikSCAT data (25-km)	effect – Up to -8%
SAR-wind (1.5-km) <u>Long-timescale</u> = full drift ~48 hours	effect +, sometimes - -2.5 to +2.5%
SAR-wind (1.5-km) <u>Short-timescale</u> = subset of drift time (5-hours)	effect + up to +10 %

=> Intérêt de la multiplication des satellites RSO: période de revisite plus courte

=> plus d'applications possibles

En résumé

- Nombre de données en forte augmentation, à la fois diffusiomètre et RSO
- Technologie radar en évolution (polarisation multiple, couverture, précision radiométrique, ...) => nouvelles perspectives
- GMF de type CMOD en évolution, avec un raffinement des fonctions décrivant le comportement du signal radar, prise en compte de nouvelles variables (vagues, temp.)
- Techniques estimation du vent en évolution, de plus en plus précises (1 à 2 m/s) et de plus en plus liées à des données externes (NWP)
 - 2Dvar pour RSO prometteuse avec évaluation des statistiques d'erreurs
- Besoin de technique de fusion de données de sources diverses
- Développement d'applications RSO multiples:
 - Support à la prévision météorologique (MENTOR, côte ouest)
 - Cartographie du vent côtier
 - Vent pour la Recherche et Sauvetage

Plan

- PARTIE I
 - Interaction radar – surface océanique
 - Systèmes satellite radar – cas des diffusiomètres et Radar à Synthèse d'Ouverture
- PARTIE II
 - Algorithmes d'extraction du vent
 - Vent RADARSAT-1 sur golfe St-Laurent
 - Projet avec Garde Côtière Canadienne
- PARTIE III
 - Projets au CMC:
 - Contenu en information des observations
 - Assimilation des vents de surface océanique

Contenu en information

- Test assimilation 1 obs. et évaluation du contenu en information du vecteur vent en utilisant:
 - les composantes u-v
 - la vitesse et direction
 - le signal radar
- Étude de sensibilité avec GMF en bande C:
 - Estimation du TLM et adjoint
 - Test 2D-var et 3Dvar
 - Sensibilité des différents paramètres (direction, vitesse, incidence,..)

Assimilation vent de surface

- Diffusiomètre
 - Suivi des travaux de Jean-Marc Belanger pour QuikSCAT + données **ASCAT**
 - Améliorations potentielles:
 - Assimilation vecteur vent ou des solutions ambiguës ?, du signal radar ?
 - Statistiques d'erreur du modèle dans la couche limite ?
 - Améliorer l'opérateur d'observation ?
 - Critères de rejet ?
 - Base de données de collocation des mesures du vent issues de bouée-GEM-diffusiomètres (outils SQLite)
- RSO
 - Possibilité d'assimilation dans les LAM haute-résolution

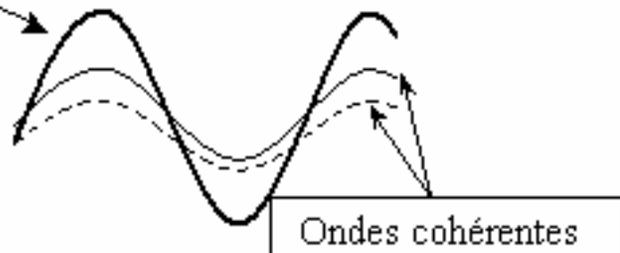
- Merci pour votre attention !

- Autres diapositives:
 - Speckle ou chatoiement
 - Collocation triple GEM-bouée-QuikSCAT
 - Incertitudes GMF
 - Transformée Fourier pour direction à partir des rouleaux atmosphériques
 - Signal radar RADARSAT-1 versus QuikSCAT
 - Rapport de polarisation simulé

Effet du SPECKLE sur les images RADARSAT

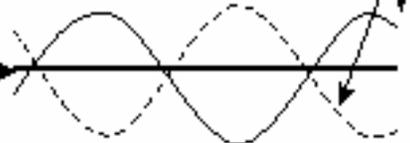
Interférence constructive :

Résultat

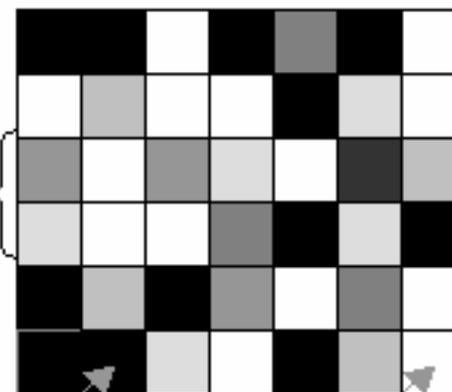


Interférence destructive :

Résultat

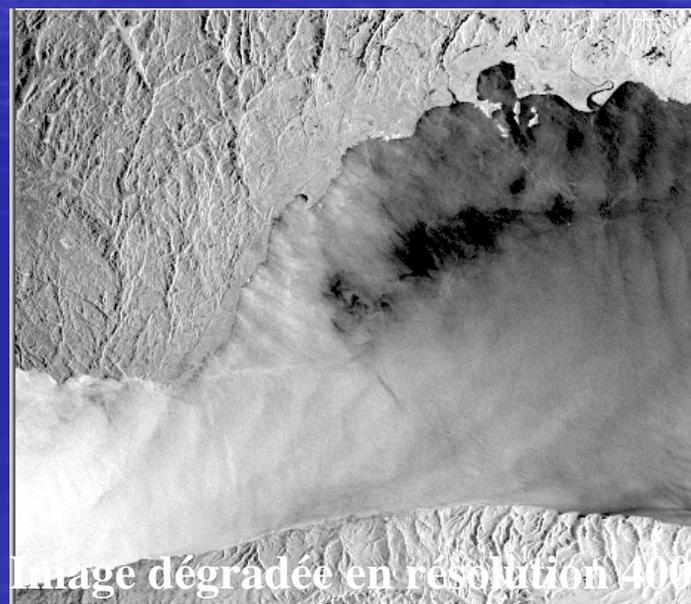
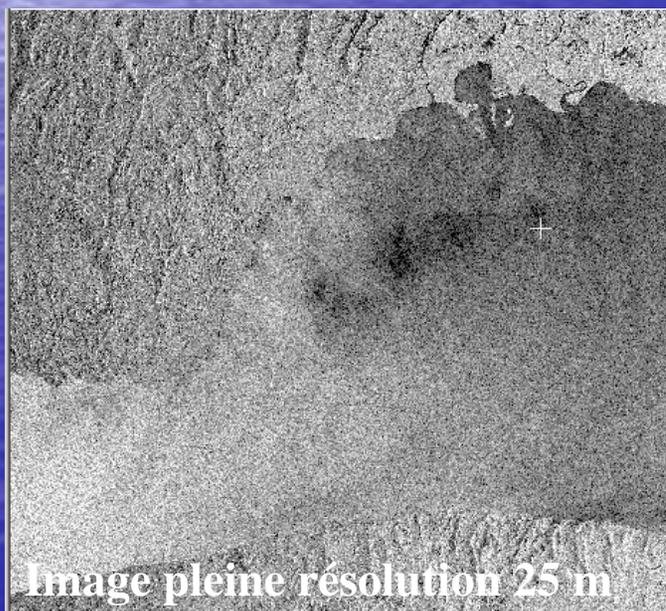


Exemple d'une cible parfaitement homogène :



Interférence destructive

Interférence constructive



Collocation triple bouée-QuikSCAT-GEM

$$\begin{aligned}
 x &= t + e_X, & \varepsilon_X^2 &= \langle e_X^2 \rangle \\
 y &= S_Y(t + e_Y), & \varepsilon_Y^2 &= \langle e_Y^2 \rangle \\
 z &= S_Z(t + e_Z), & \varepsilon_Z^2 &= \langle e_Z^2 \rangle
 \end{aligned}$$

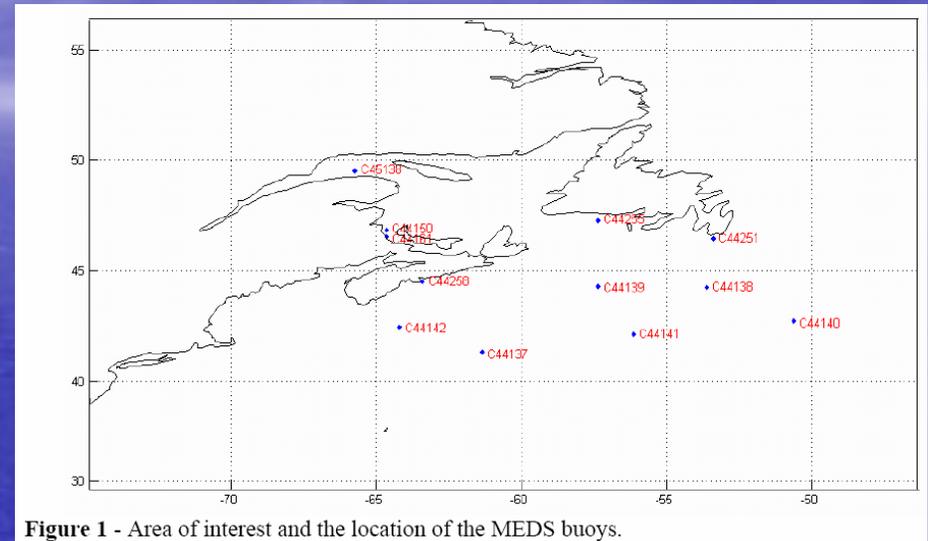


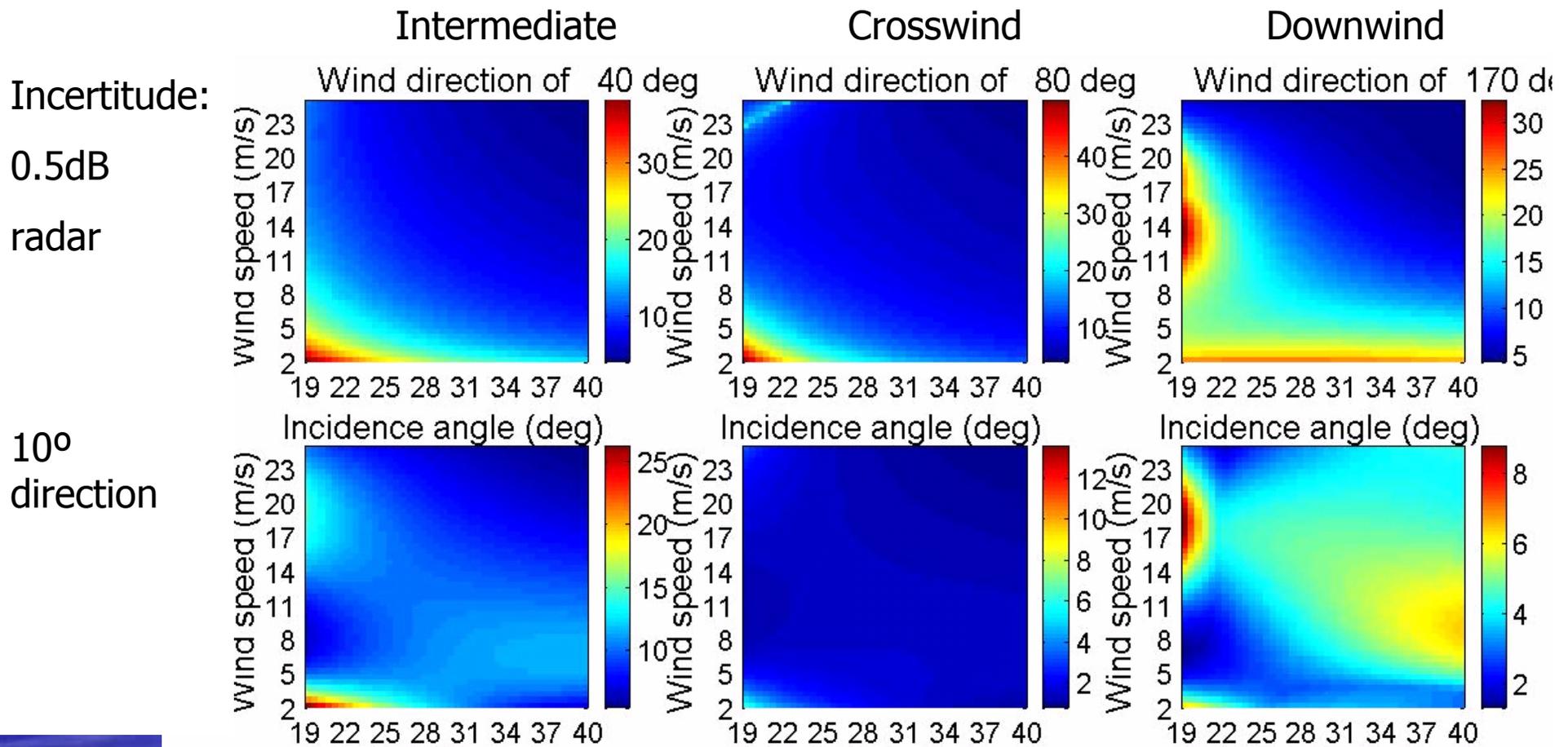
Figure 1 - Area of interest and the location of the MEDS buoys.

Table 4 – Wind component scaling factors against MEDS buoys for QuickSCAT, GEM Regional and Global, averaged wind component standard deviations and standard errors of the four wind observation distributions.

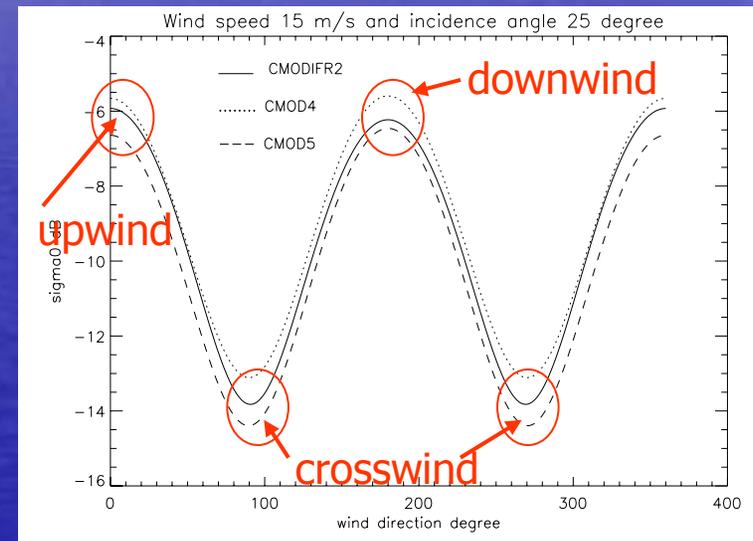
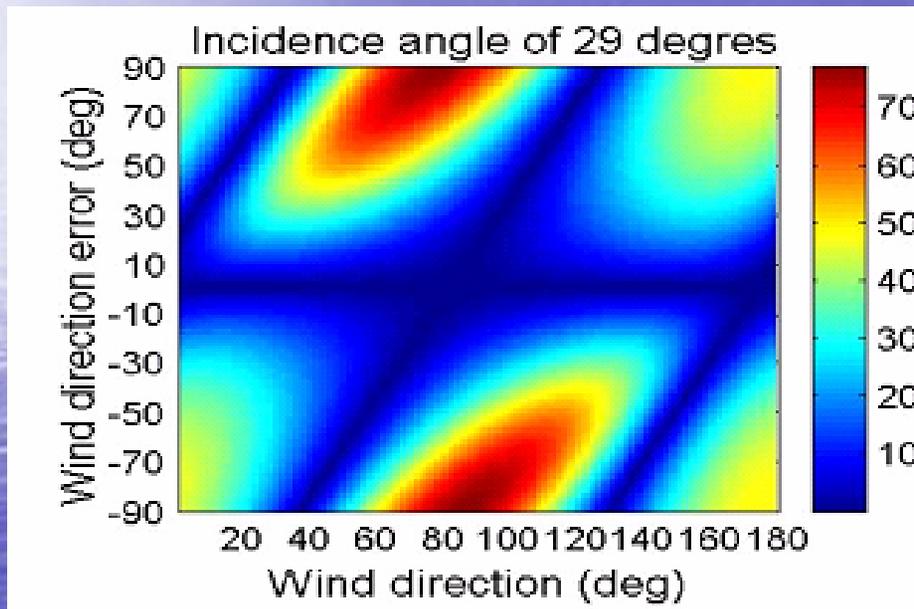
Mean values		u	v	mean
Component scaling factor	QuickSCAT	1.05	1.07	1.06
	GEM Regional	0.99	1.03	1.01
	GEM Global	0.85	0.93	0.89
standard deviation (m/s)	sigma	6.09	5.09	5.59
Component observation errors (m/s)	MEDS	1.76	1.76	1.76
	QuickSCAT	1.82	1.39	1.61
	GEM Regional	1.48	1.57	1.53
	GEM Global	1.82	1.57	1.70

Effet des incertitudes sur l'estimation de la vitesse du vent

Erreur relative (%)



Effet des incertitudes sur l'estimation de la vitesse du vent

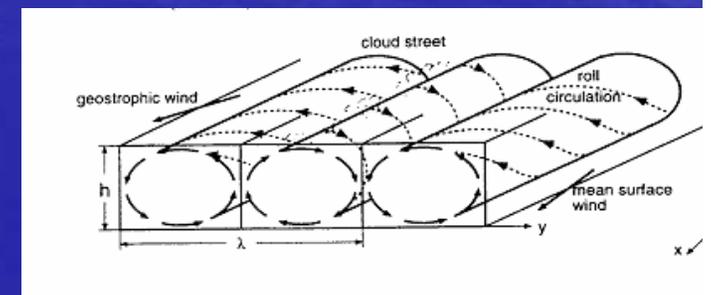
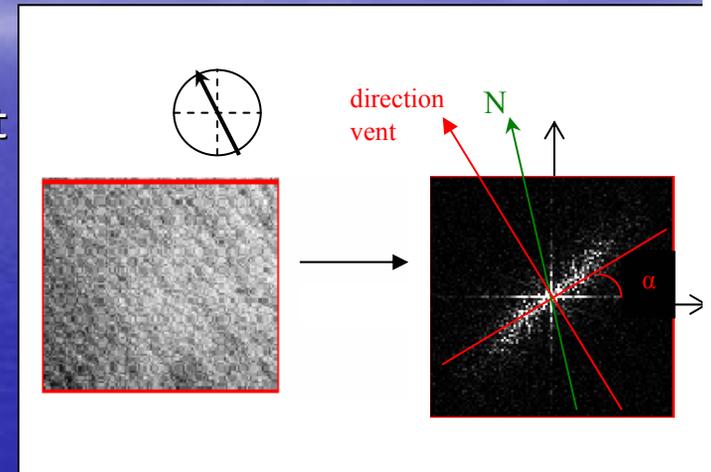


Simulation de l'erreur relative (%) sur la vitesse du vent suite à une incertitude sur la direction du vent variant de -90° to $+90^{\circ}$ pour un angle d'incidence 29° . La vitesse du vent est fixé à 12 m/s et la direction du vent varie de 0 à 180° (symétrique avec $180-360^{\circ}$). Extrait de Choisnard, Bernier et Lafrance (2003).

Méthode directe - RSO

- Direction du vent à partir de:
 - l'image RSO directement (structures linéaires):
 - domaine spectrale (FFT, ondelettes) en cherchant la direction des rouleaux atmosphériques (boundary layer rolls) en condition instable de la CLA (alignés avec direction du vent + biais 10-20°).
 - domaine spatiale avec la méthode des gradients locaux pour les traces linéaires du vent de qqes 100m
- => pas toujours possible, ambiguïté 180°
- mesure locale (bouée, mâts)
- sortie de modèle atmosphérique
- vent diffusiomètre
- Vitesse du vent RSO = inversion du GMF pour une incidence, une direction du vent et un σ° donnés

$$U_{10} = f(\sigma^\circ, \varphi, \theta)$$



RADARSAT-1 versus QuikSCAT

Limite du modèle hybride sur les données RADARSAT-1

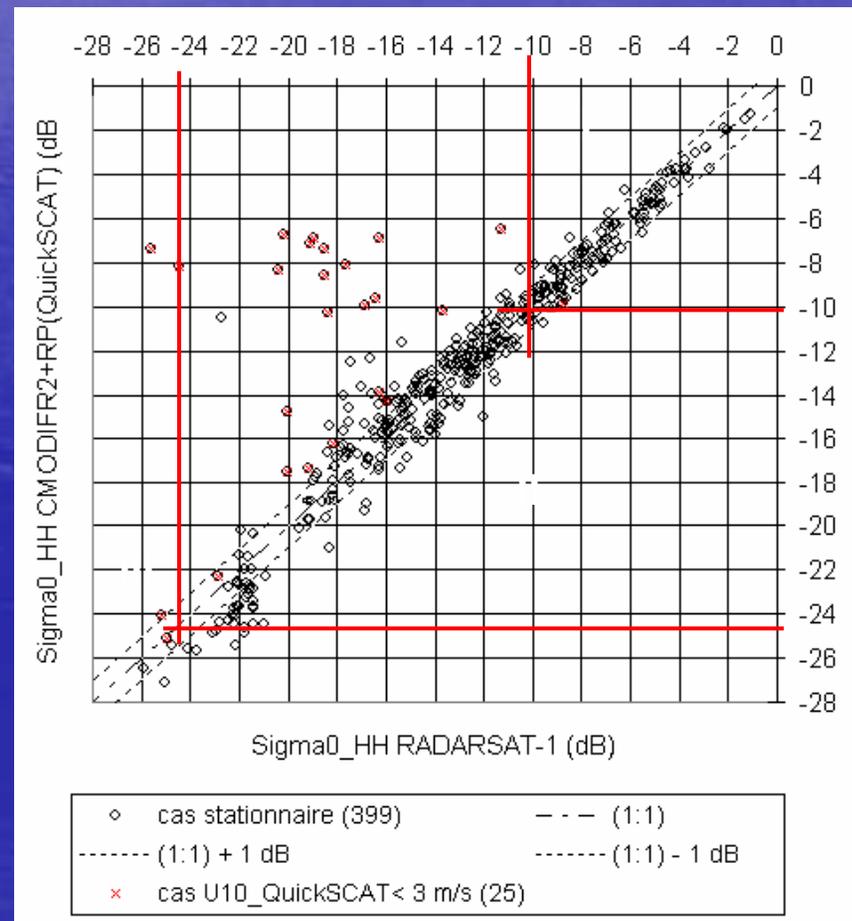
- Comparaison du signal radar σ_{HH}° RADARSAT-1 (32 images) versus σ_{HH}° simulé par modèle hybride : CMOD-IFR2(UQuikSCAT)+RP_Kirchhoff : 399 données

I. pour $\sigma_{HH}^{\circ} > -10\text{dB}$: excellent (U fort)

II. pour $\sigma_{HH}^{\circ} < -10\text{dB}$: dispersion plus grande due aux effets secondaires océaniques et atmosphériques

Pour $U < 3\text{m/s}$ (point rouge) \Rightarrow cas $\sigma_{HH}^{\circ}\text{RADARSAT-1} < \sigma_{HH}^{\circ}\text{modèle}$: effet erroné du modèle (CMOD-IFR2 ou RP)

III. bruit de fond RADARSAT-1 de -23 à -25dB (fonction angle incidence)



Effet du rapport de polarisation

Comparaison du rapport de polarisation HH/VV :

$RP = \sigma_{HH}^{RADARSAT-1} / \sigma_{VV}^{CMOD-IFR2(Uquikscat)}$ en fonction de l'angle d'incidence 20-38 °

Trois régimes particuliers :

- Pour $U > 6\text{m/s}$, $RP_{Kirchhoff}$ représente bien la différence entre σ_{HH} et σ_{VV} (entre 1 et 2.5dB)
- Pour $3 < U < 6\text{m/s}$, $RP_{Thompson}$ représente bien la différence entre σ_{HH} et σ_{VV} (entre 1 et 3dB)
- Pour $U < 3\text{m/s}$ ET $\theta > 25^\circ$: différence entre σ_{HH} et σ_{VV} de $\sim 4\text{dB}$,
Pour $\theta < 25^\circ$: grande différence de rétrodiffusion
 $\Rightarrow \sigma_{HH}^{RADARSAT-1}$ moins sensible à la vitesse.



RP sensible à la vitesse du vent

