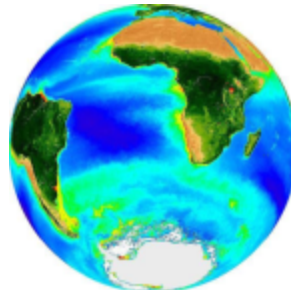
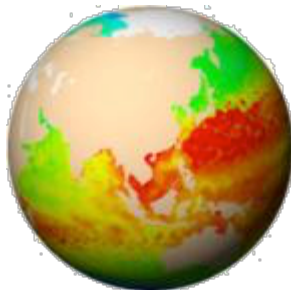
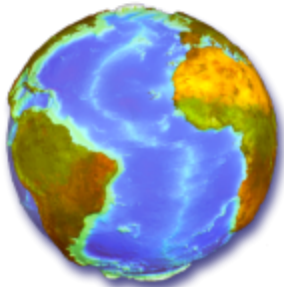
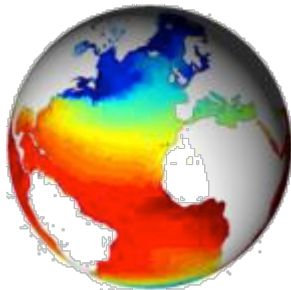
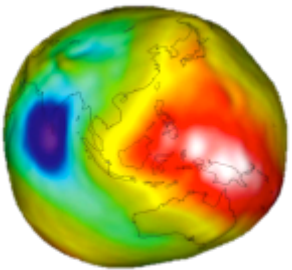


# L'OBSERVATION DES OCÉANS DEPUIS L'ESPACE

Juliette Lambin

**16 mars 2017**

CNES, DSO/SI/TR  
[juliette.lambin@cnes.fr](mailto:juliette.lambin@cnes.fr)



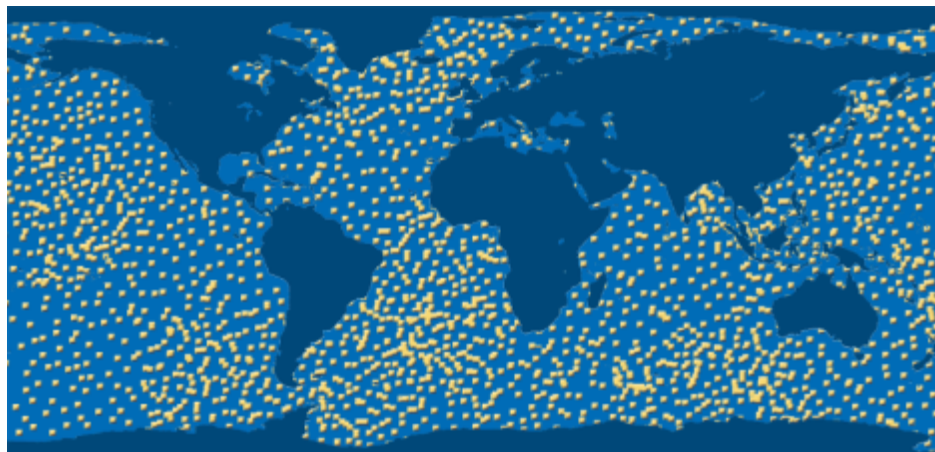
Contributeurs (consentants ou non...):  
Gérald Dibarboure, Rosemary Morrow,  
Nathalie Steunou, Damien Desroches,  
Claire Pottier, Amandine Guillot...

# SOMMAIRE

- **QUELS MESURES SPATIALES SUR LES OCÉANS?**
- **L'ALTIMÉTRIE NADIR ET A FAUCHEE**
- **L'INTERFACE AIR/MER**
- **CONCLUSIONS**

# INTERÊT DU SPATIAL POUR L'OBSERVATION DES OCÉANS

## Les réseaux de mesure in situ

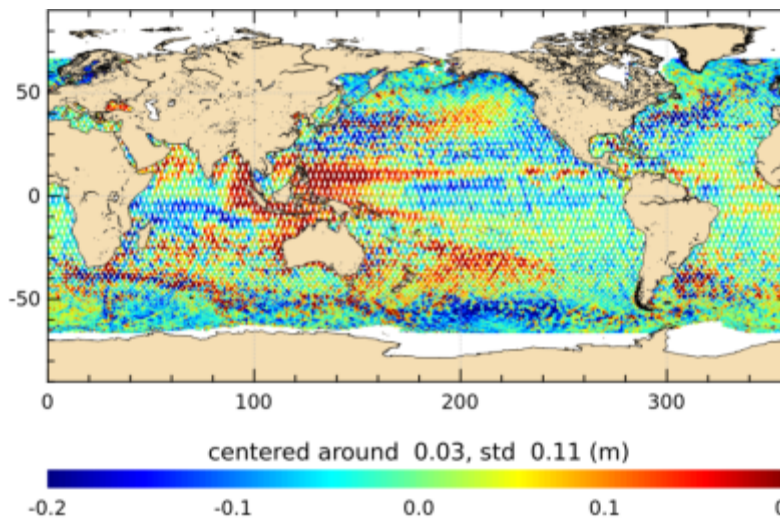
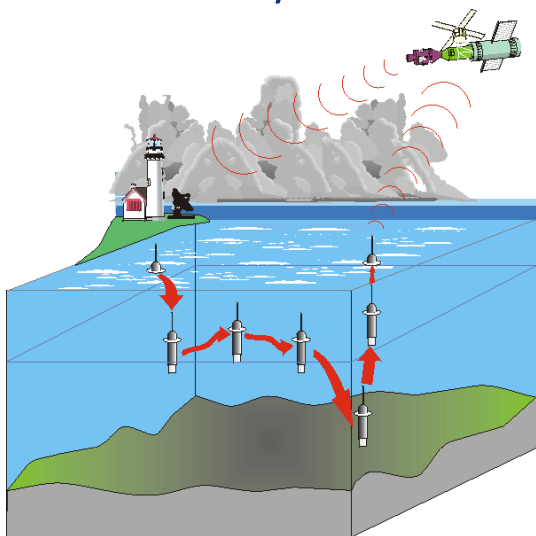


ARGO/Coriolis



Routes  
maritimes

## 10 jours de mesures par le satellite Jason



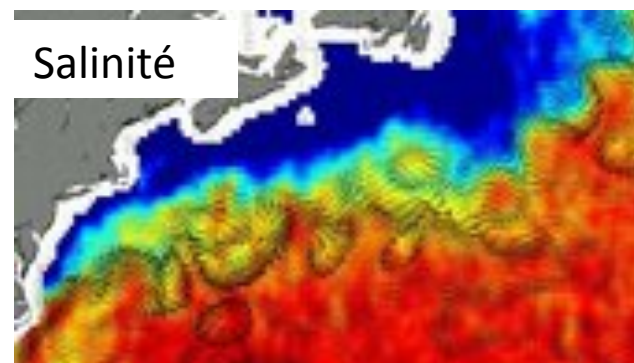
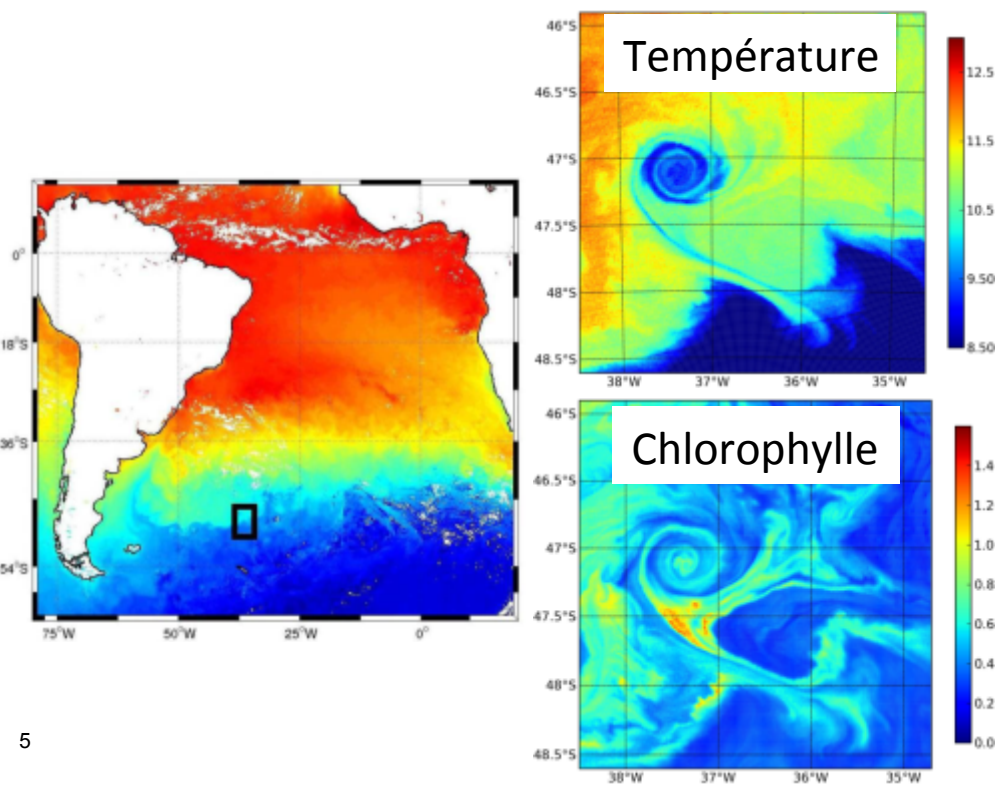
# TYPES DE MESURES:

- Imagerie de surface: Température, salinité, couleur de l'océan
  - ◆ Sensibilité à la surface essentiellement
  - ◆ Champs 2D => extension spatiale + résolution
  - ◆ Revisite temporelle médiocre / héliosynchronisme
- Caractéristiques de surface: diffusiométrie, état de mer, SAR
  - ◆ Sensibilité à la géométrie de la surface de l'océan (vagues/vent/courant)
  - ◆ Grande variabilité temporelle (forçage par le vent)
  - ◆ Mesure complexe (physique de la rétrodiffusion radar et physique de l'interface)
- Mesures "intégrées": gravimétrie, altimétrie
  - ◆ Signature en surface de phénomènes en profondeur: problématique d'inversion
  - ◆ Essentiellement (avant SWOT) des missions "profileurs" (1D)
- Remarque: quelques observations "pénétrantes" => lidar, optiques
  - ◆ Pénétration très variable, applications en côtier néanmoins.

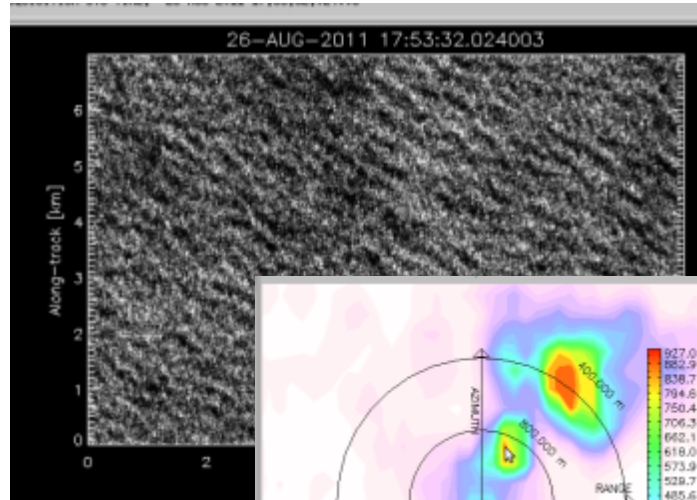
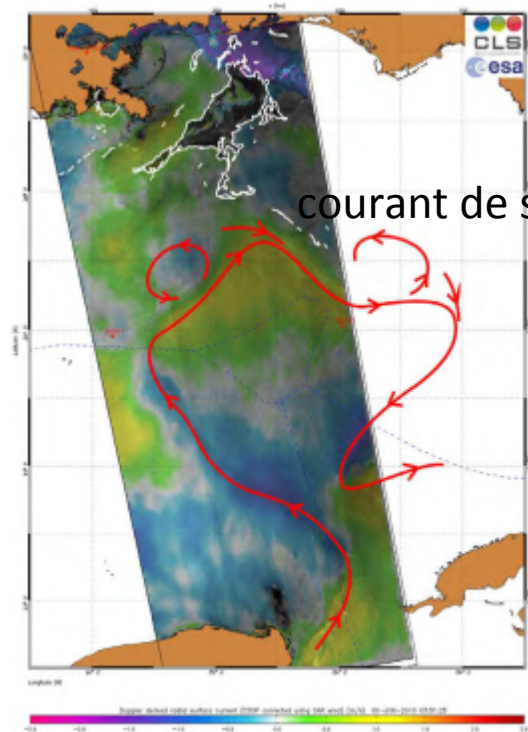
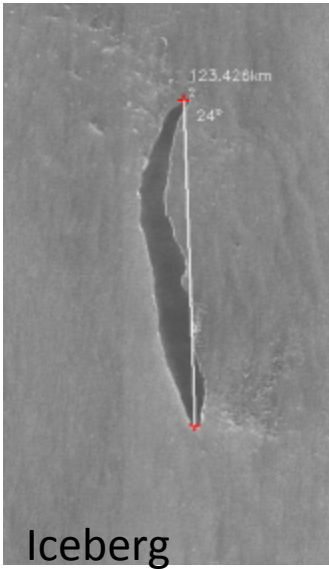
# MESURES DE PARAMÈTRES EN SURFACE

## Température, Salinité, Couleur de l'eau...

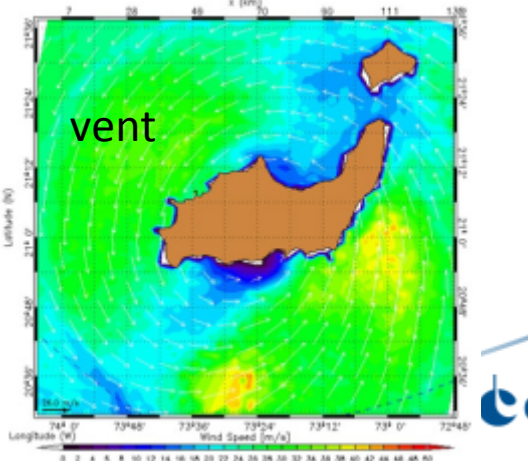
- observable de surface (qq cm pour  $T^\circ$ , salinité, qq m pour couleur)
- couverture large, capacité d'imagerie de structures fines
- celles-ci pouvant être issue de phénomènes d'advection ou de production
- synthèses (journalières à mensuelles) pour des champs globaux



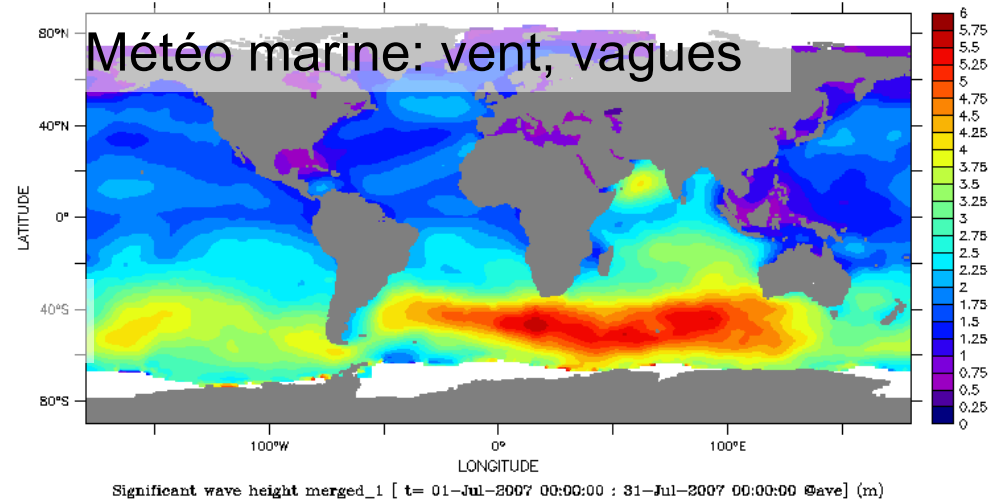
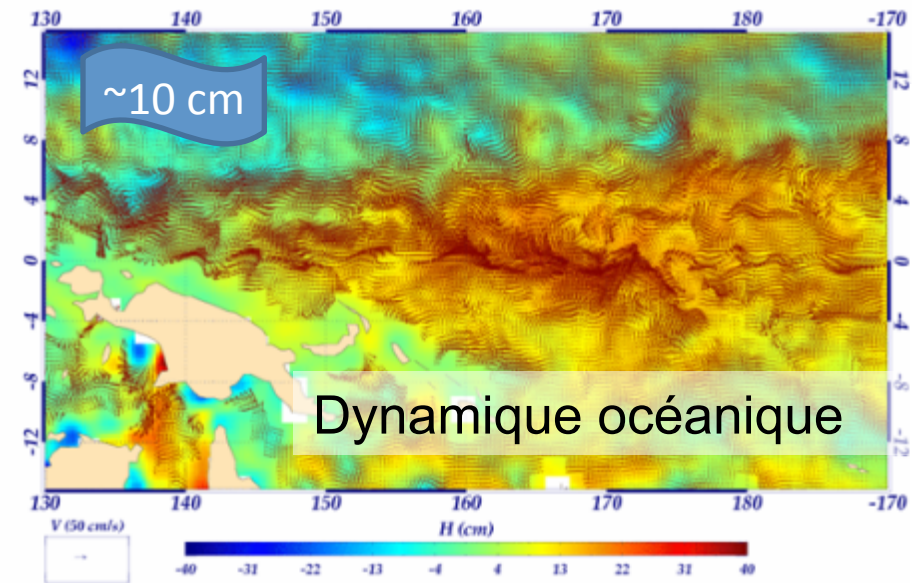
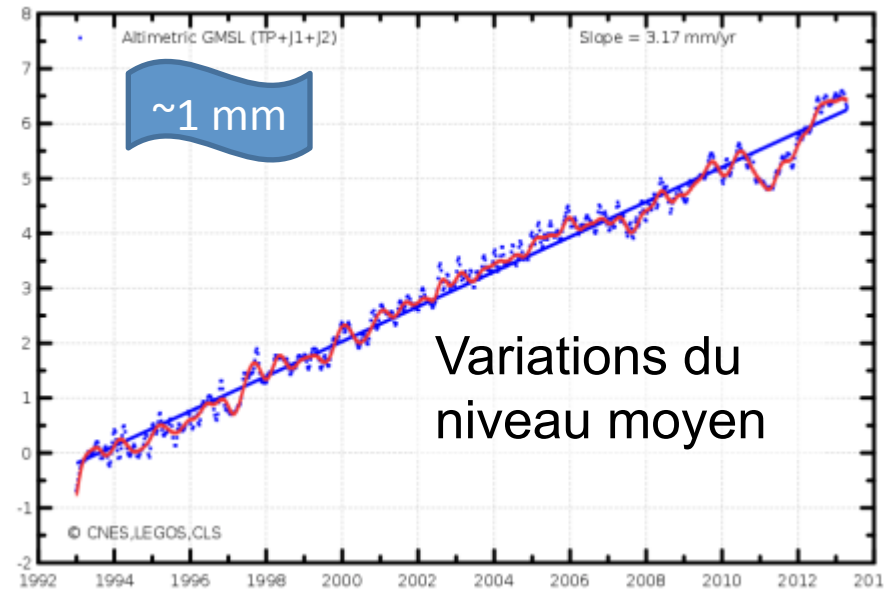
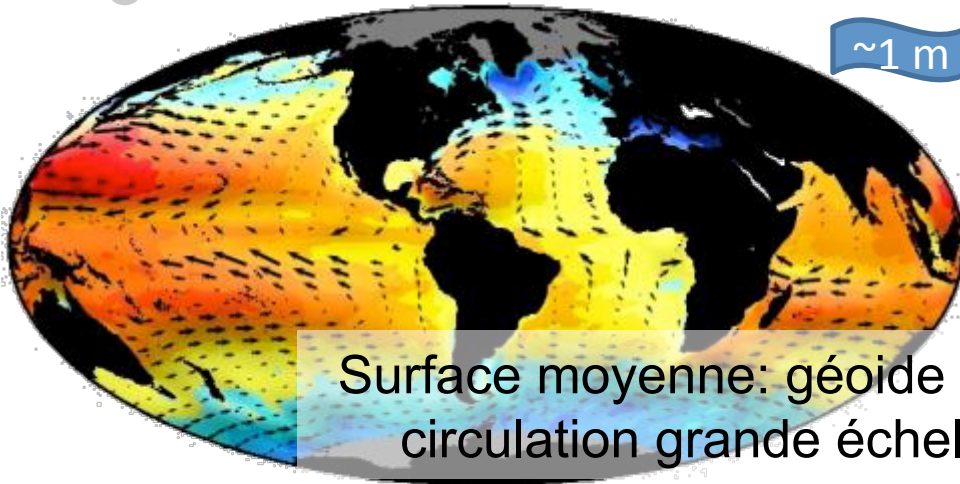
# ETAT DE MER / IMAGERIE SAR



vagues, houle



# ALTIMÉTRIE => QU'OBSERVE-T-ON?



# L'OCÉANOGRAPHIE OPÉRATIONNELLE

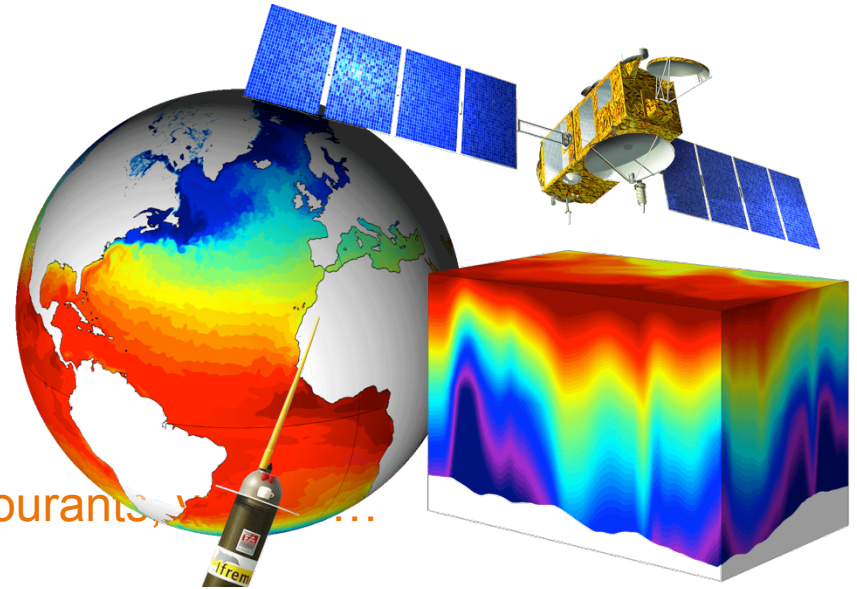
## Par satellite:

Température de surface  
Vent de surface  
Etat de mer  
Topographie de surface  
Couleur de l'eau  
Salinité

In situ: Température, salinité (ARGO), courants, ...

Validation et interétalonnage des données  
Modélisation et assimilation

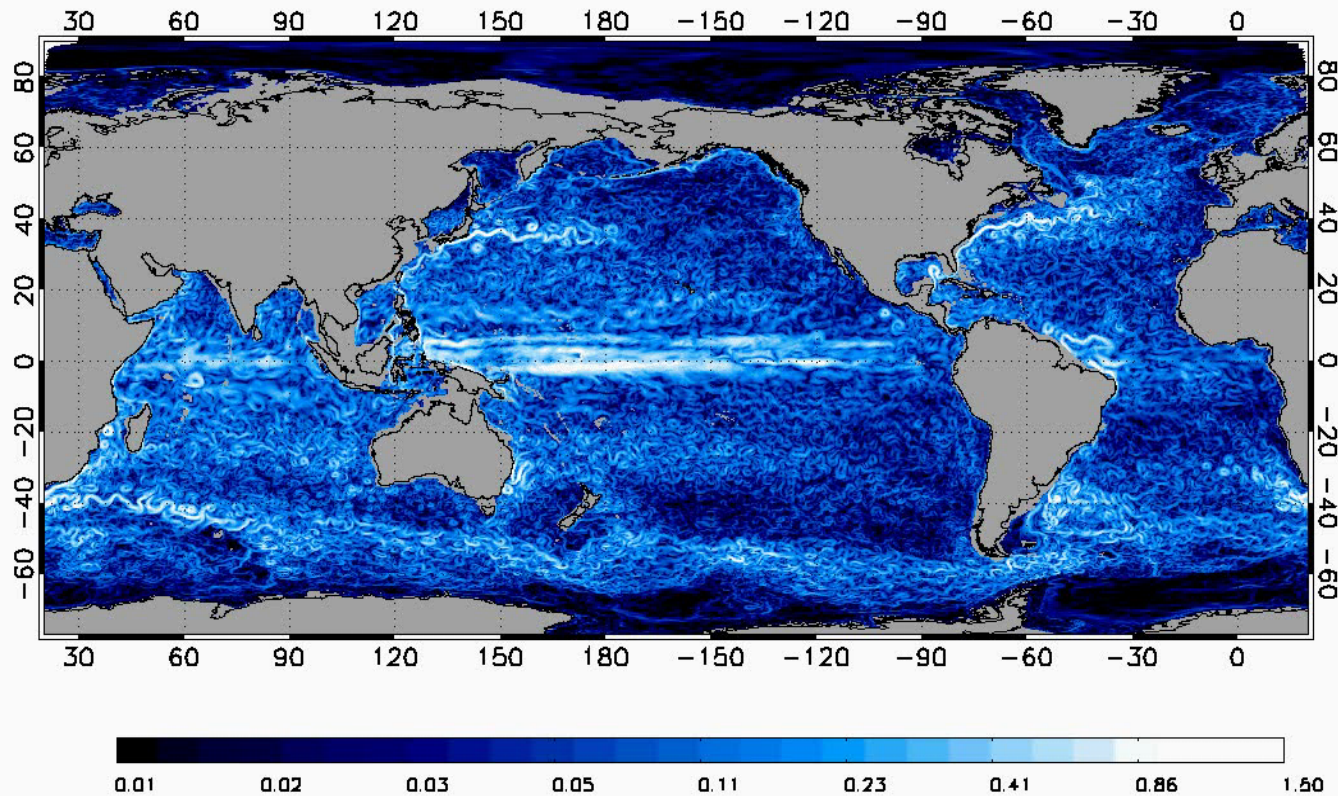
- ⇒ Description complète de l'océan en espace et en temps
- ⇒ Prévision océanographique
- ⇒ Réanalyses



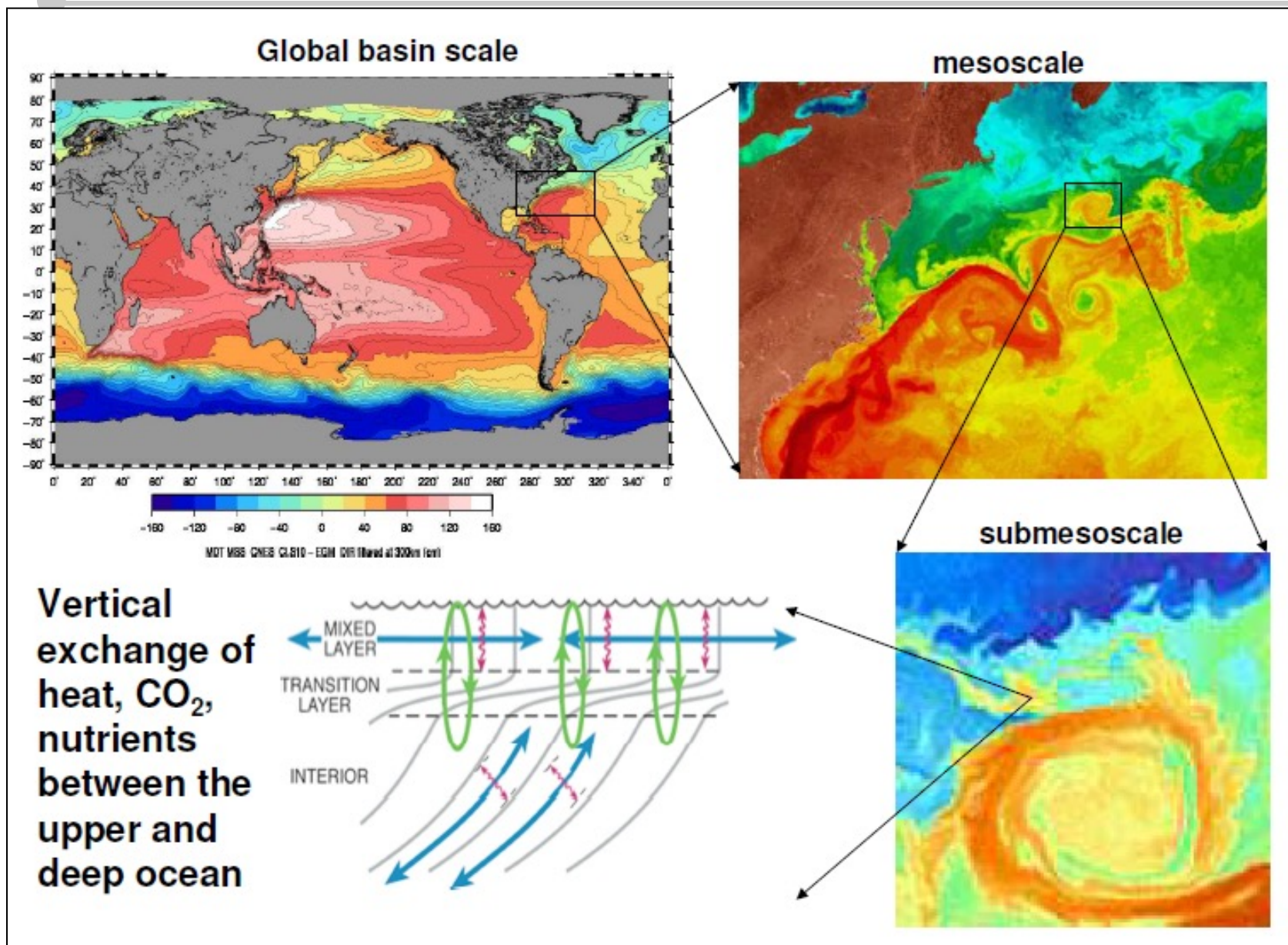


# RÉANALYSE GLORYS2 (1/4°) À MERCATOR-OCÉAN

GLOBAL 1/4 REANA. 20030103 module velocity 97 m

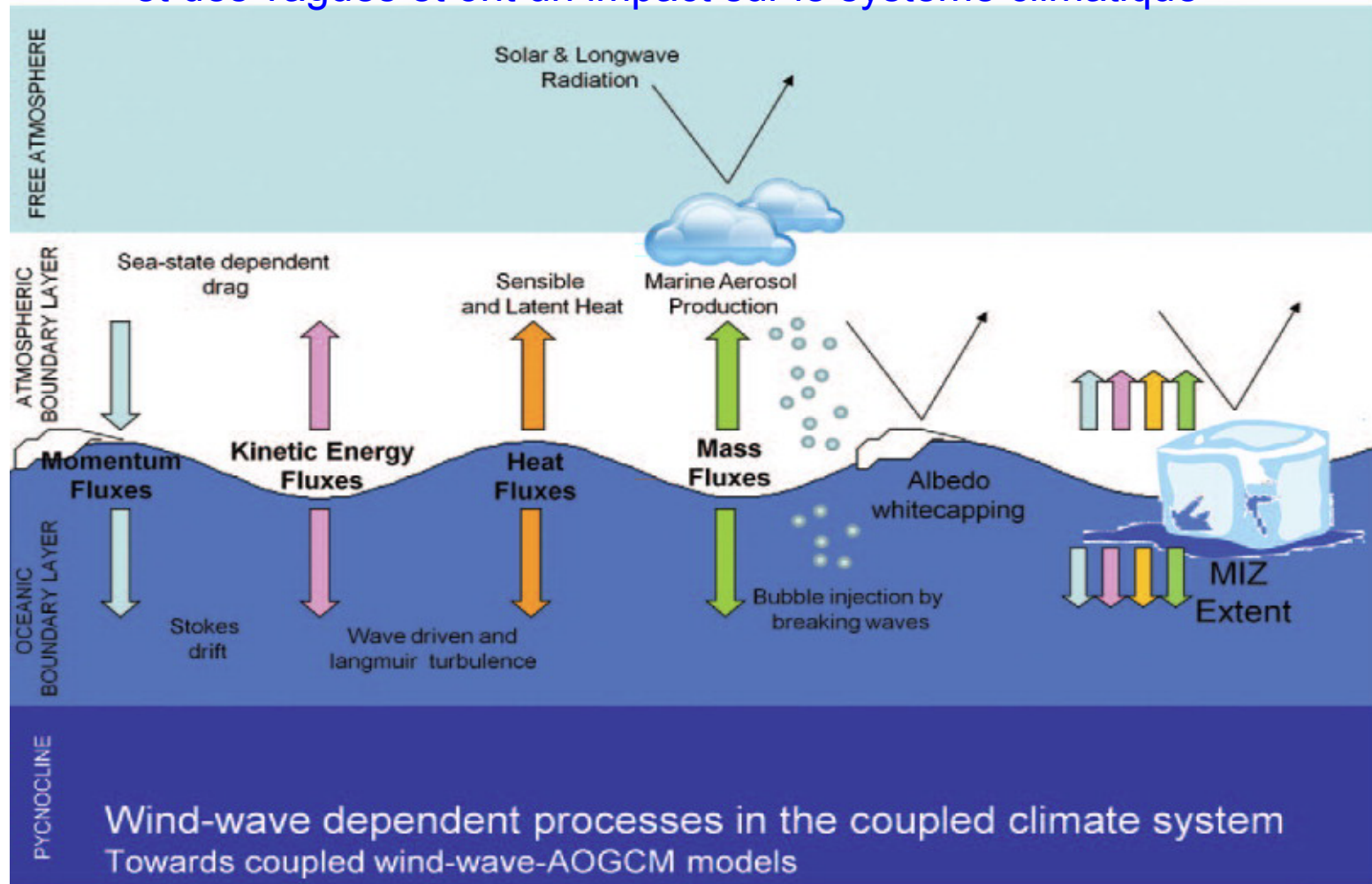


# EHELLES FINES, TEMPS COURTS, MULTIOBSERVABLES



# IMPACT DES VAGUES SUR L'ATMOSPHERE, L'OcéAN ET PLUS LARGEMENT LE SYSTÈME CLIMATIQUE

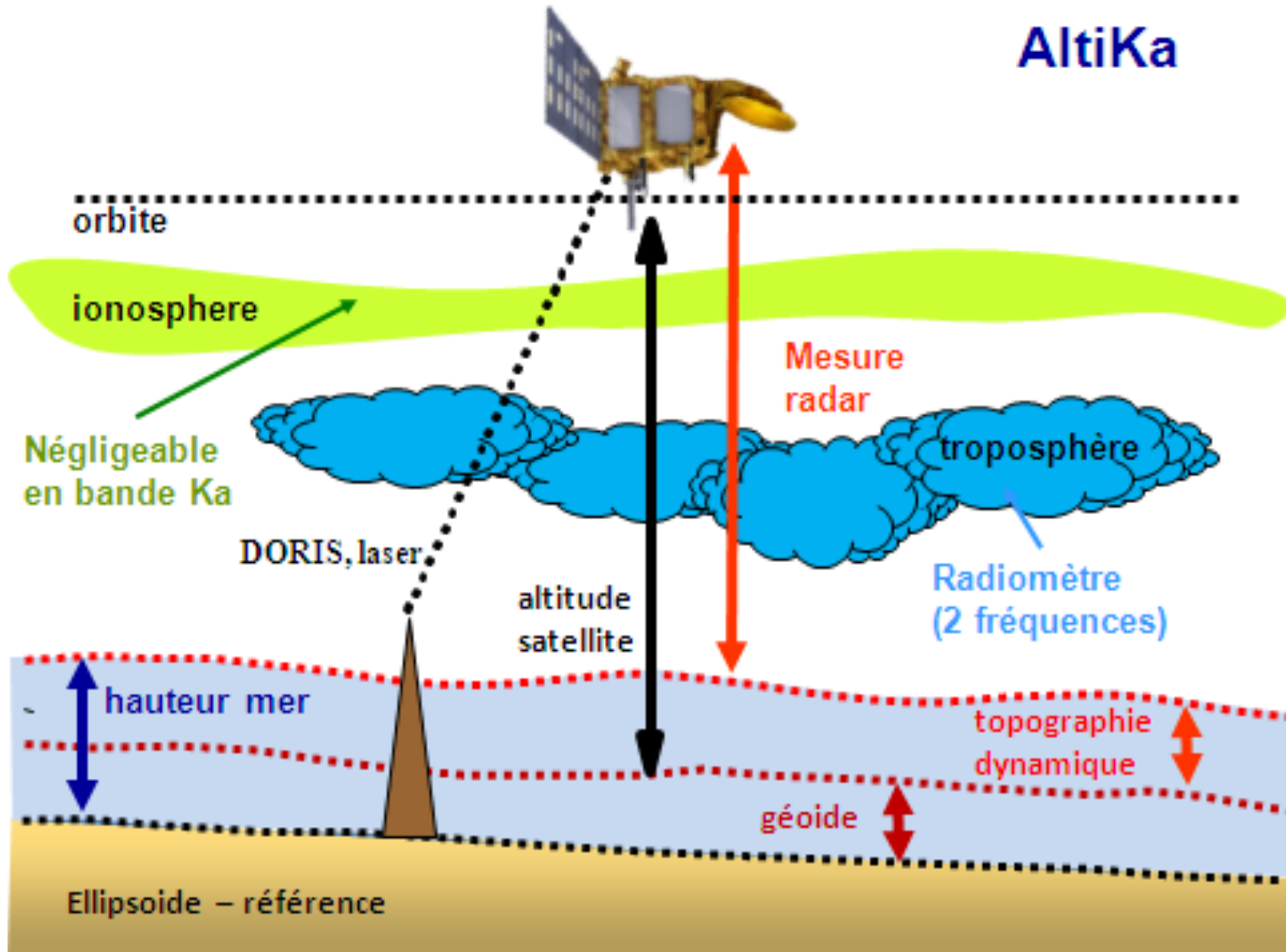
Multitudes de processus à l'interface océan/atmosphère qui dépendent du vent et des vagues et ont un impact sur le système climatique



# SOMMAIRE

- **QUELS MESURES SPATIALES SUR LES OCÉANS?**
- **L'ALTIMÉTRIE NADIR ET A FAUCHEE**
- **L'INTERFACE AIR/MER**
- **CONCLUSIONS**

# ALTIMÉTRIE NADIR



# L'ALTIMÉTRIE: POURQUOI?

ALTIMÉTRIE => mesure de la topographie de surface des océans

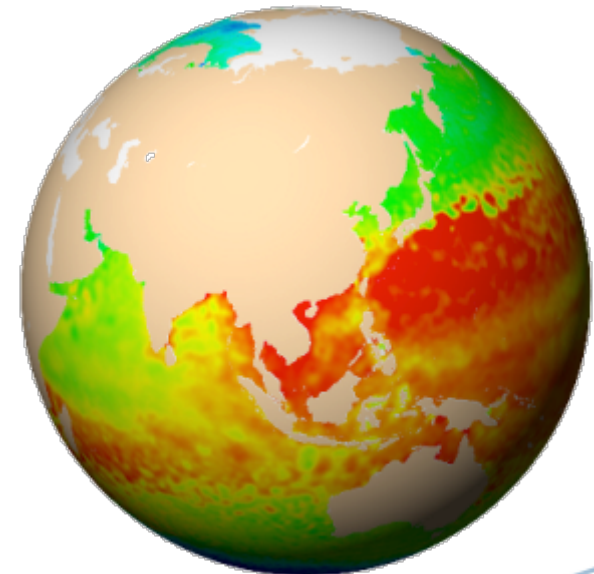
Phénomènes ciblés par cette observation

- Effet « gravitationnels »: géoïde, marées
- Variations de volume/masse: niveau de la mer
- Phénomènes climatiques (ex. el niño):
- Dynamique océanique:
  - ◆ Circulation thermohaline
  - ◆ Tourbillons, fronts
  - ◆ Réponse au forçage par les vents
- Produits dérivés:
  - ◆ Vent de surface et hauteur moyenne des vagues
  - ◆ Hauteurs des lacs, rivières, eaux continentales
  - ◆ Topographie des calottes glaciaires

*Océan - Terre solide*

*Océan – Surfaces - Cryosphère*

*Océan - Atmosphère*



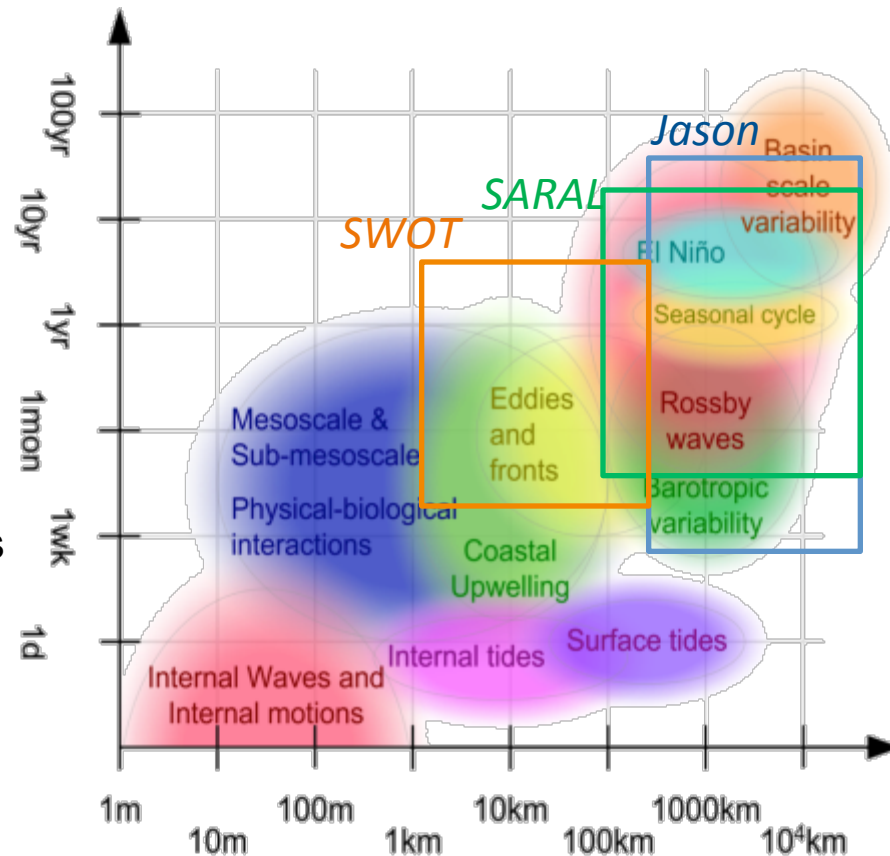
# RICHESSSE ET COMPLEXITÉ DE L'ALTIMÉTRIE

## Observable intégrée:

- De plusieurs phénomènes
  - ◆ Séparation spatio-temporelle
  - ◆ « Correction » de certains signaux (marée, réponse atmosphérique)
- Sur la colonne d'eau
  - ◆ Seule observable spatiale permettant d'appréhender la dynamique en profondeur
  - ◆ Très fort impact pour l'assimilation de données

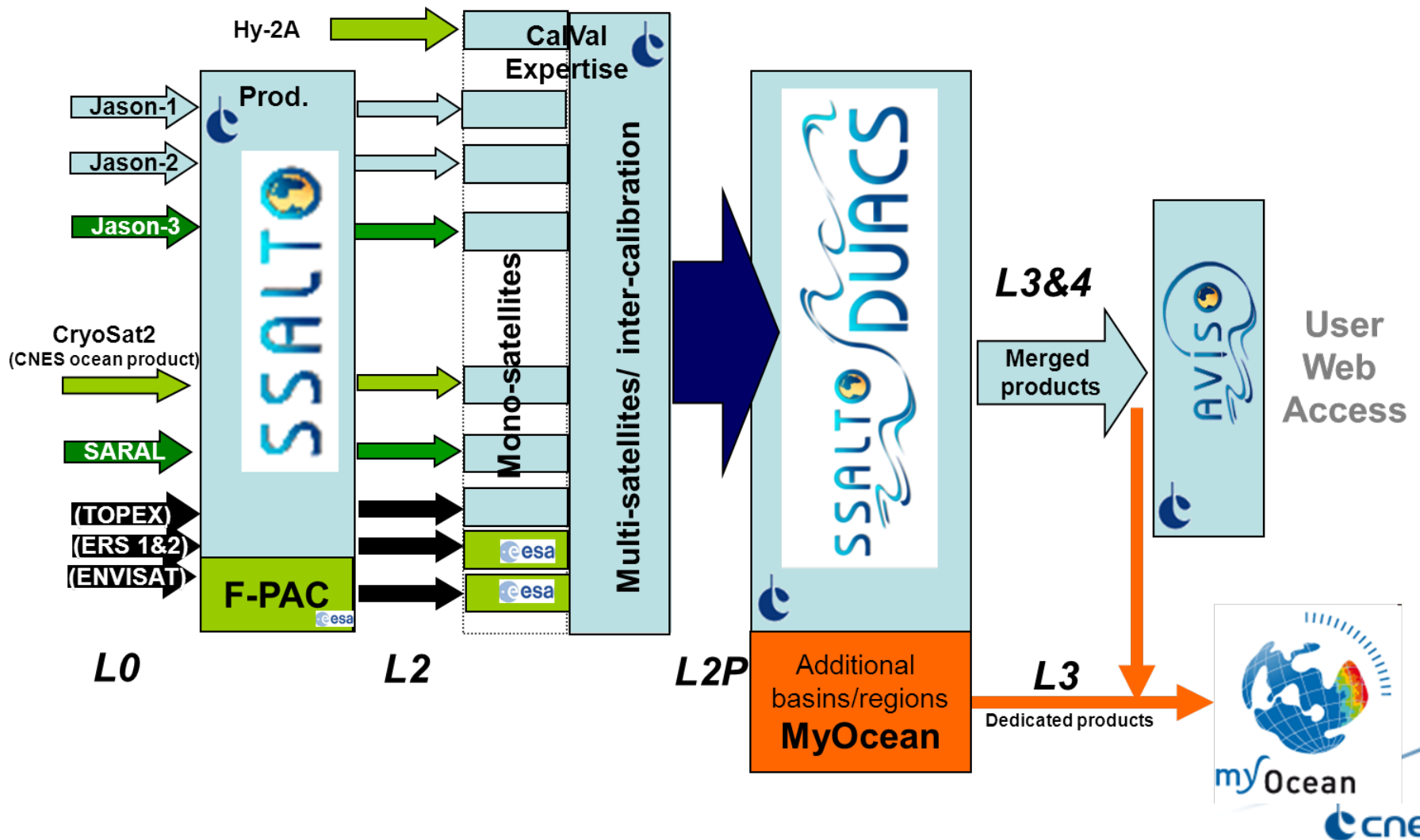
## Observation ponctuelle:

- L'altimétrie nadir ne donne qu'un profil le long de la trace au sol
- Revisite/échantillonnage assuré par une constellation
  - ◆ 3-4 satellites pour les besoins opérationnels actuels...
  - ◆ ... dont une « mission de référence » (climat, grande échelle)
  - ◆ SWOT: accès à une « image » directe de la dynamique sub-méso-échelle



# ALTIMÉTRIE: DERRIERE LES SATELLITES, « SALP »

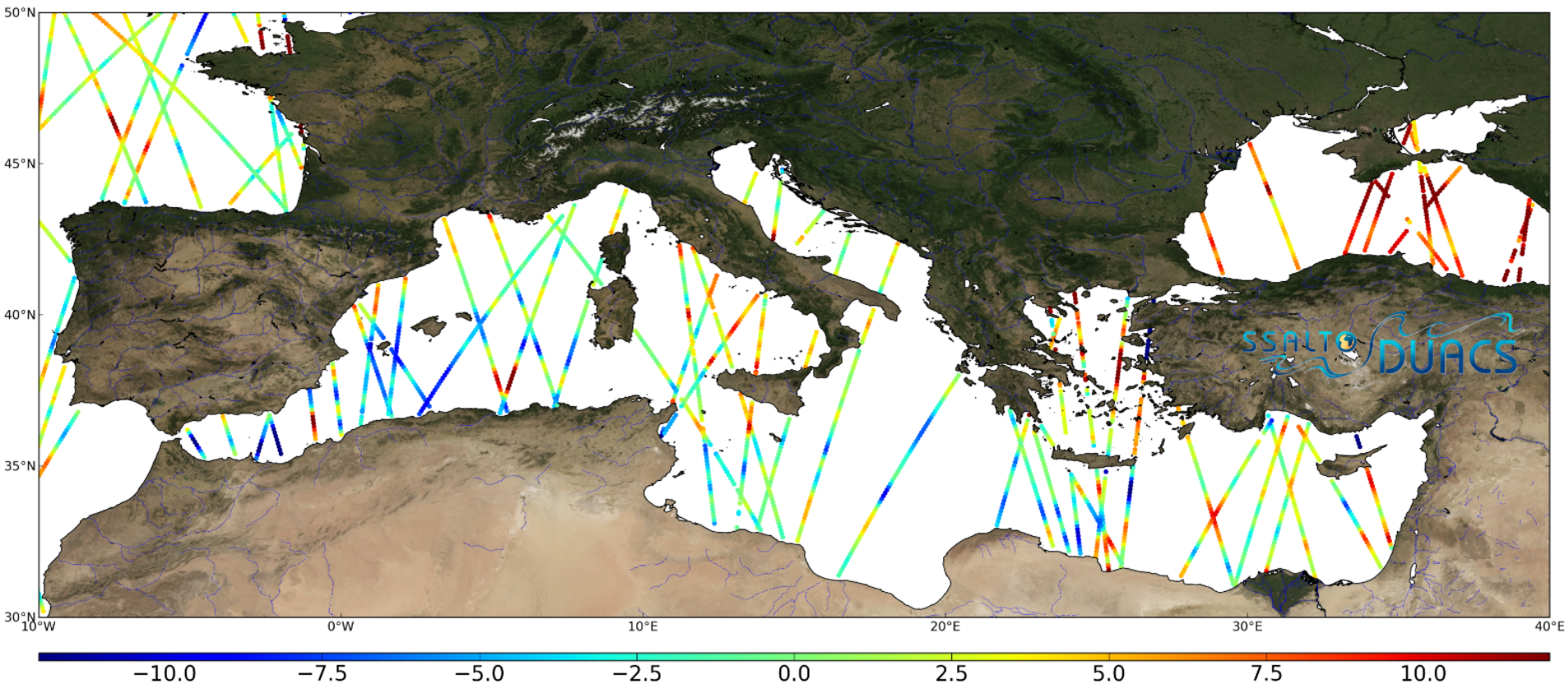
Projet SALP: Service d'altimétrie et de localisation précise







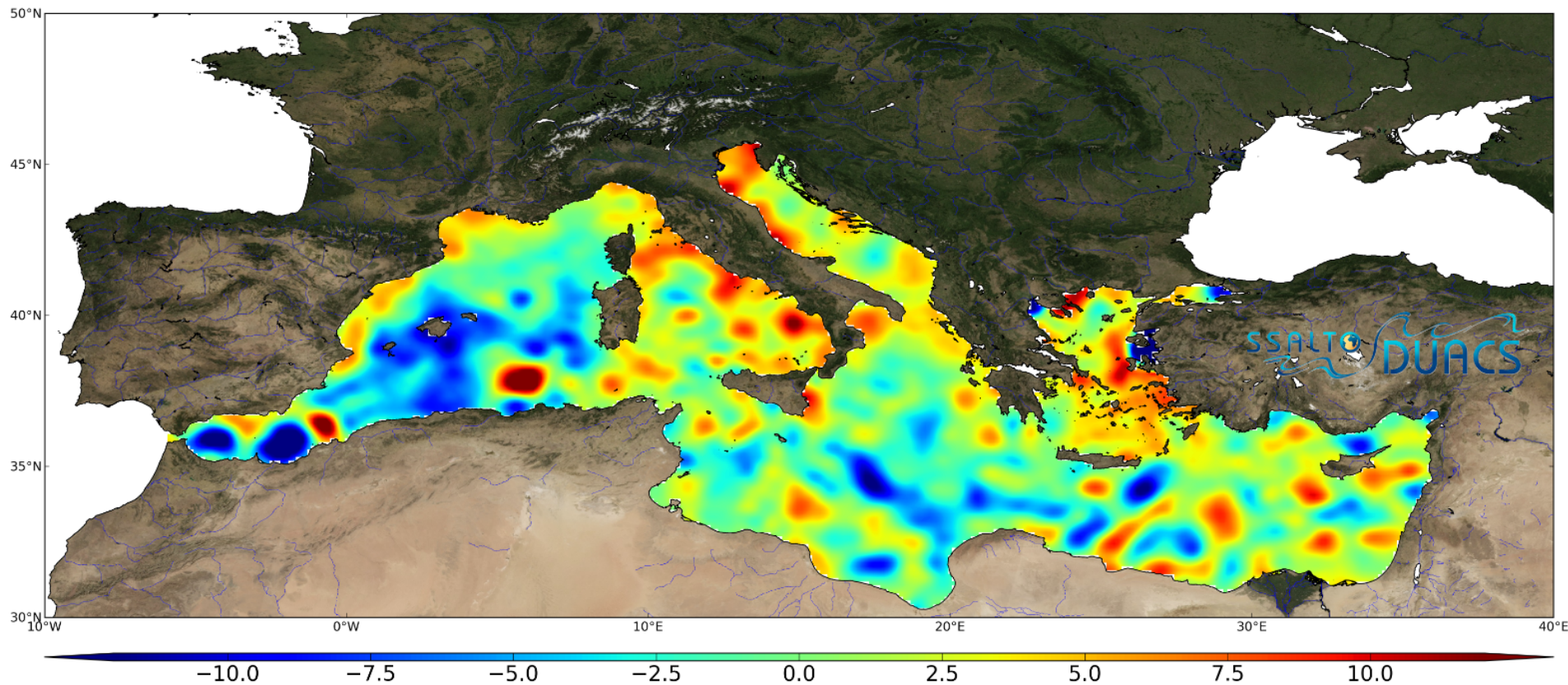
## After intercalibration Level 3 – Sea Level Anomaly (cm)





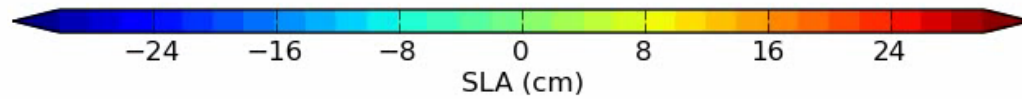
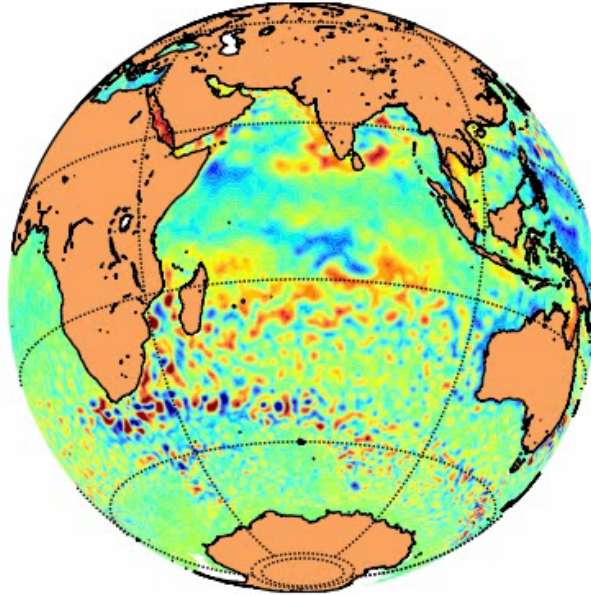
## 1D-2D mapping

### Level 4 – Sea Level Anomaly (cm)



# 3D COMME 2D + TEMPS

SSALTO/DUACS DT MSLA  
1993/01/06



# One slide on... **SWOT**

## Surface Water and Ocean Topography

### Hydrology and Oceanography mission

Global, repeated high-resolution elevation measurements of ocean and inland water bodies

Baseline payload :

- Ka-band interferometric altimeter (KaRIn)
- Traditional altimetry payload

CNES budget secured in March'11 through General Investment Fund

NASA/CNES Cooperation scheme approved

Mission Concept Review successfully passed in Sept 2012

System Requirement review succesful in Nov 2013

CNES involvement:

- Participation in KaRIn
- DORIS, Altimeter
- Platform
- Ground segment



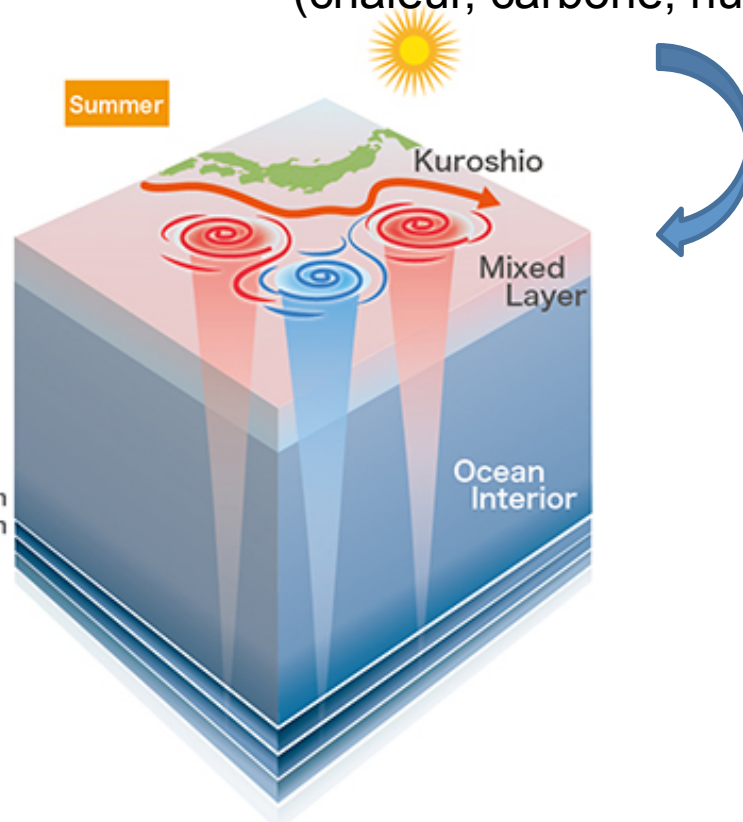
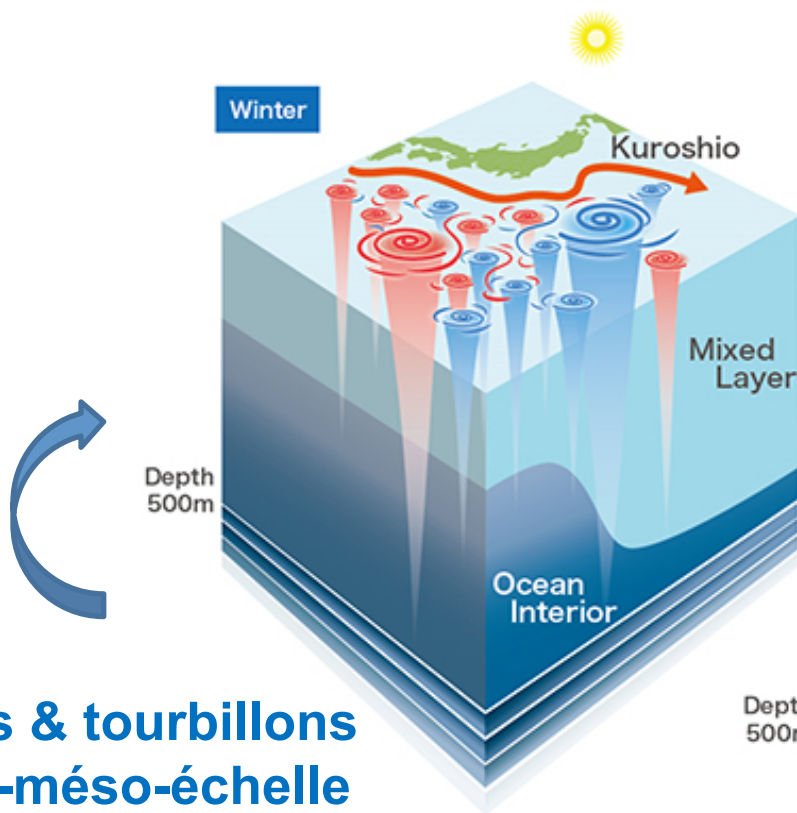
# Dynamique océanique clé entre 20-200 km

## Tourbillons méso-échelle

Transport & mélange

Horizontal

(chaleur, carbone, nutritifs)



Fronts & tourbillons  
à sub-méso-échelle

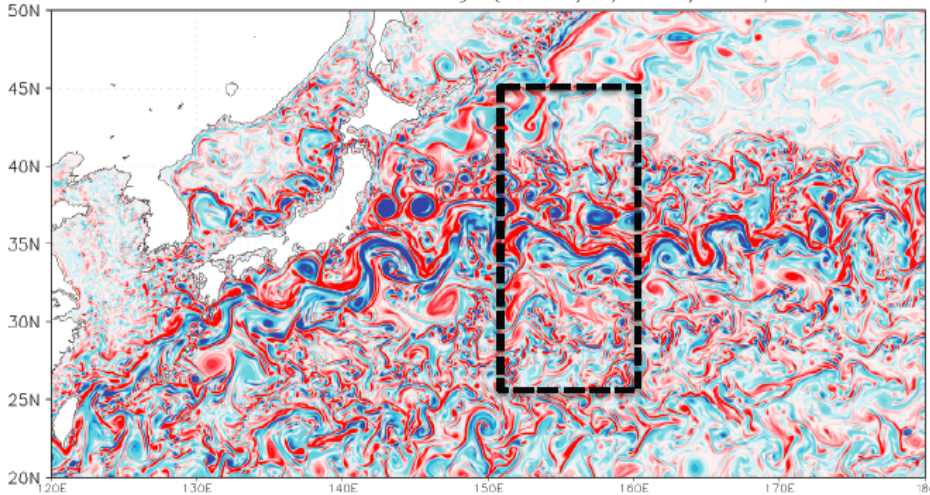
50 % vitesses verticales

SSH = ensemble de processus intégré sur la verticale

# North Pacific simulation ( 1/36<sup>th</sup> 100 vertical levels) (Sasaki et al., '13.) : Impact of submesoscale mixed-layer instabilities on larger scales

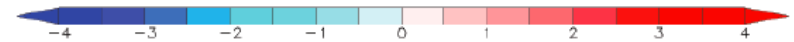
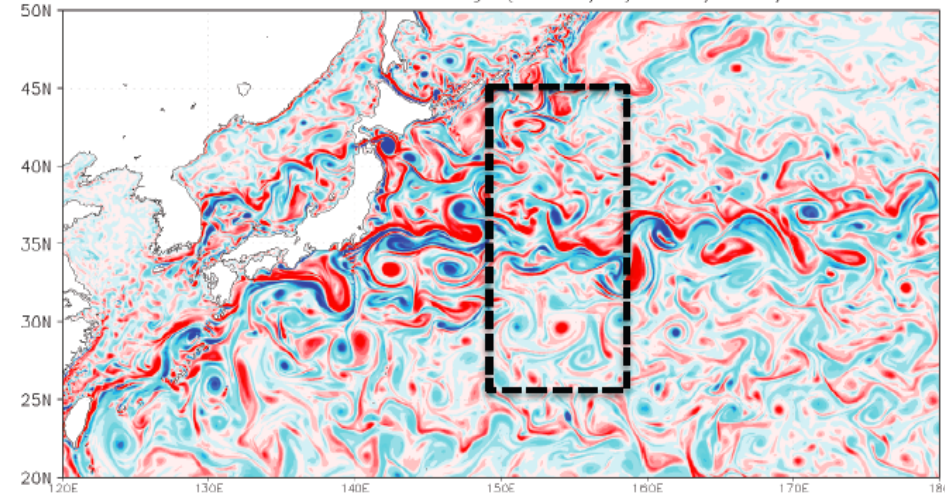
WINTER

Surface Relative Vorticity ( $1e-5/s$ ) 16/MAR/2001

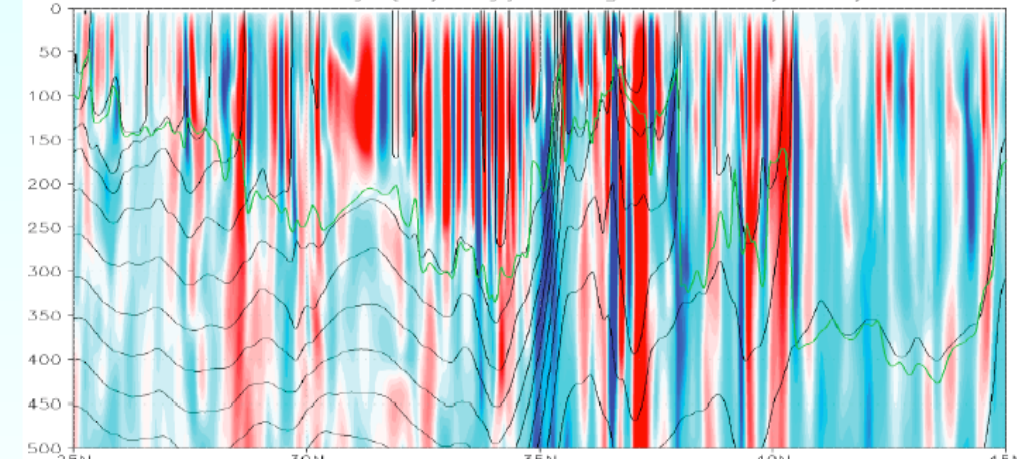


SUMMER

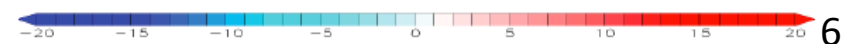
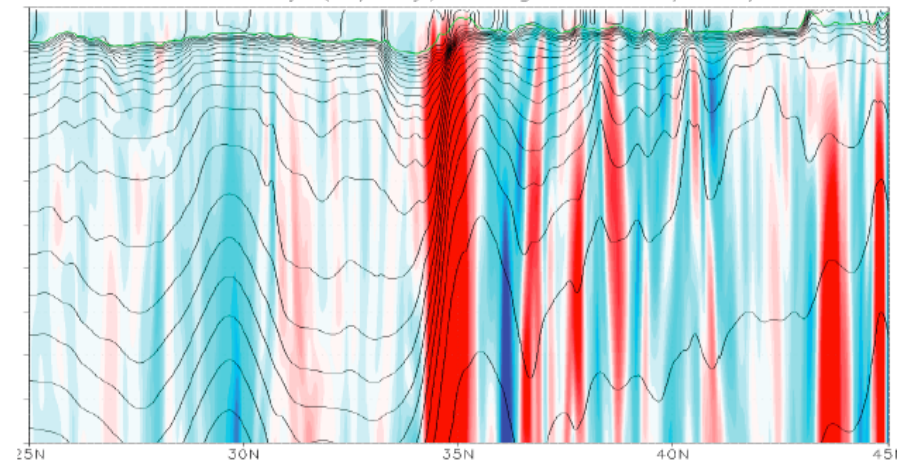
Surface Relative Vorticity ( $1e-5/s$ ) 27/SEP/2001



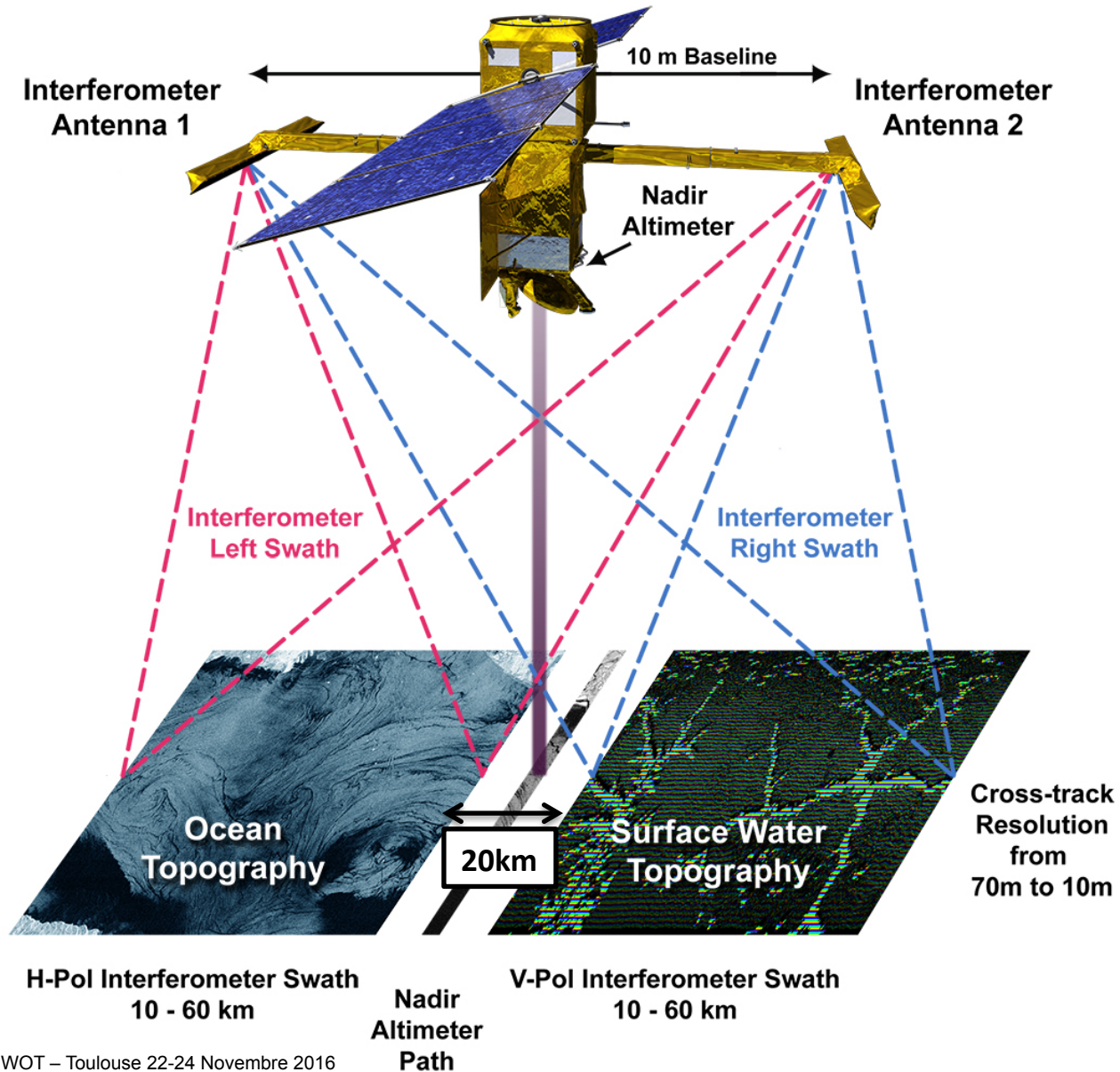
Vertical Velocity (m/day) along 155E 16/MAR/2001



Vertical Velocity (m/day) along 155E 27/SEP/2001

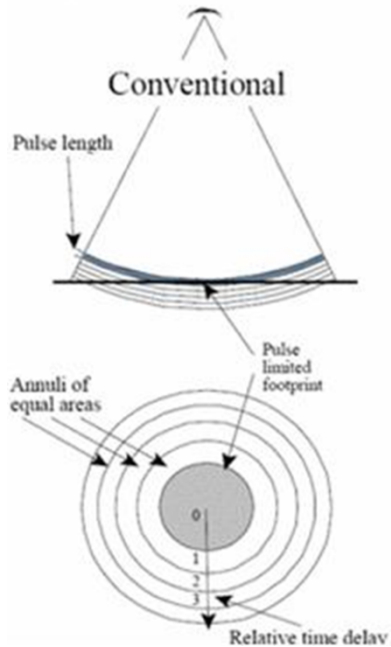


# GÉOMÉTRIE DE L'OBSERVATION



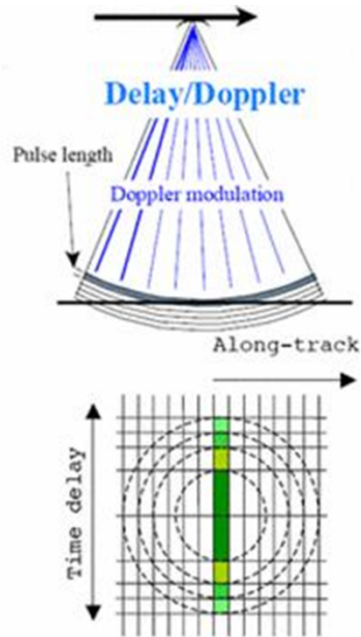
# RÉSOLUTIONS: QU'EST QUI CHANGE?

## Conventional : Jason - Saral



Res: ~10 km diam.  
Posting: ~300 m

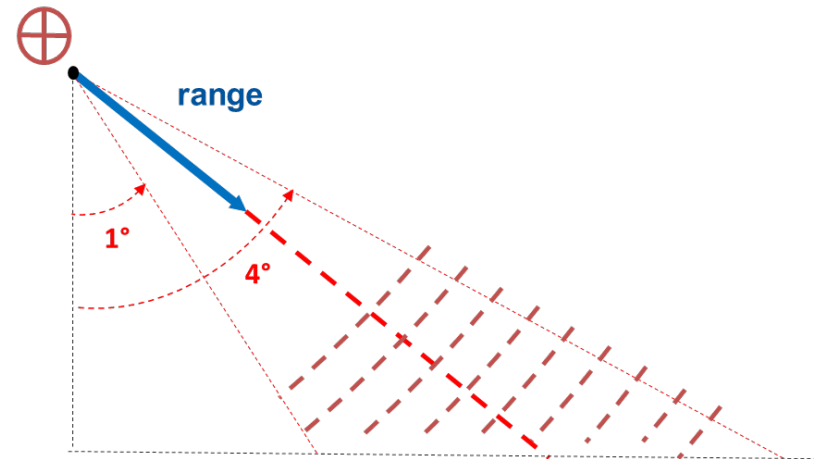
## SAR alongtrack – CR2, Sentinel-3



Res:  
300 m along-track  
~10 km cross-track  
Posting: 300 m

## SAR interferometry – SWOT

Speed (azimuth – along-track)



LR ocean data :

Res: 500 m along-track x 500 m cross-track  
Posting: 250 m along-track x 250 m cross-track  
2D SSH measurements



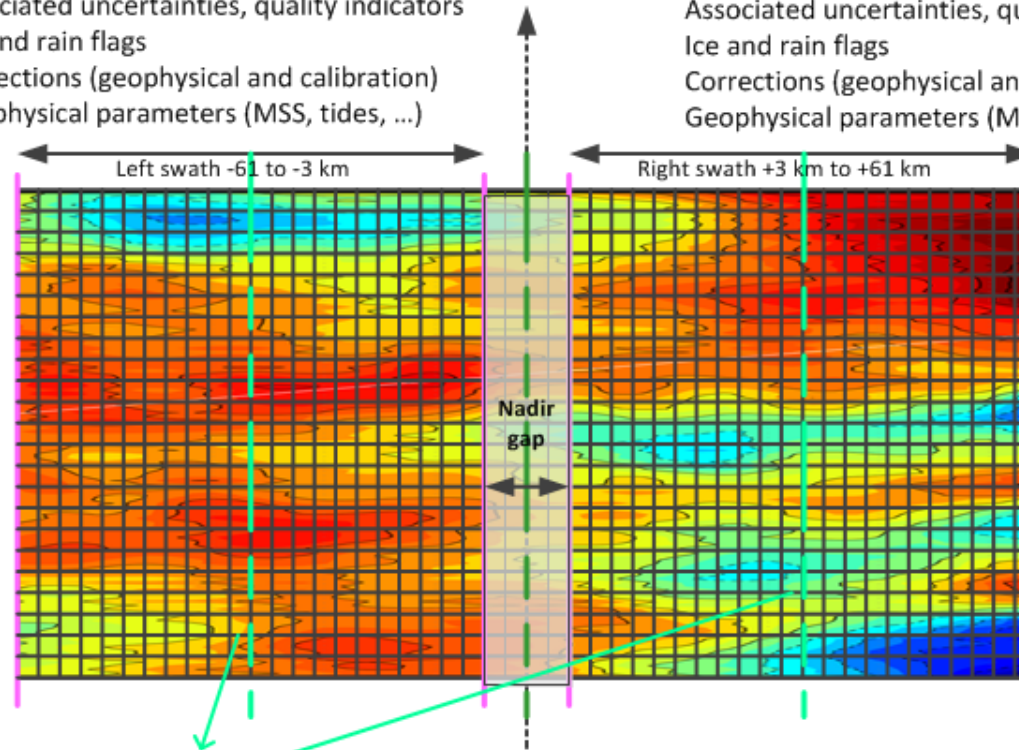
# DES MESURES EN 2D

## **2D data provided in swath**

Latitude, Longitude  
Surface type  
SSH,  $\sigma_0$ , SWH  
Associated uncertainties, quality indicators  
Ice and rain flags  
Corrections (geophysical and calibration)  
Geophysical parameters (MSS, tides, ...)

## **2D data provided in swath**

Latitude, Longitude  
Surface type  
SSH,  $\sigma_0$ , SWH  
Associated uncertainties, quality indicators  
Ice and rain flags  
Corrections (geophysical and calibration)  
Geophysical parameters (MSS, tides, ...)



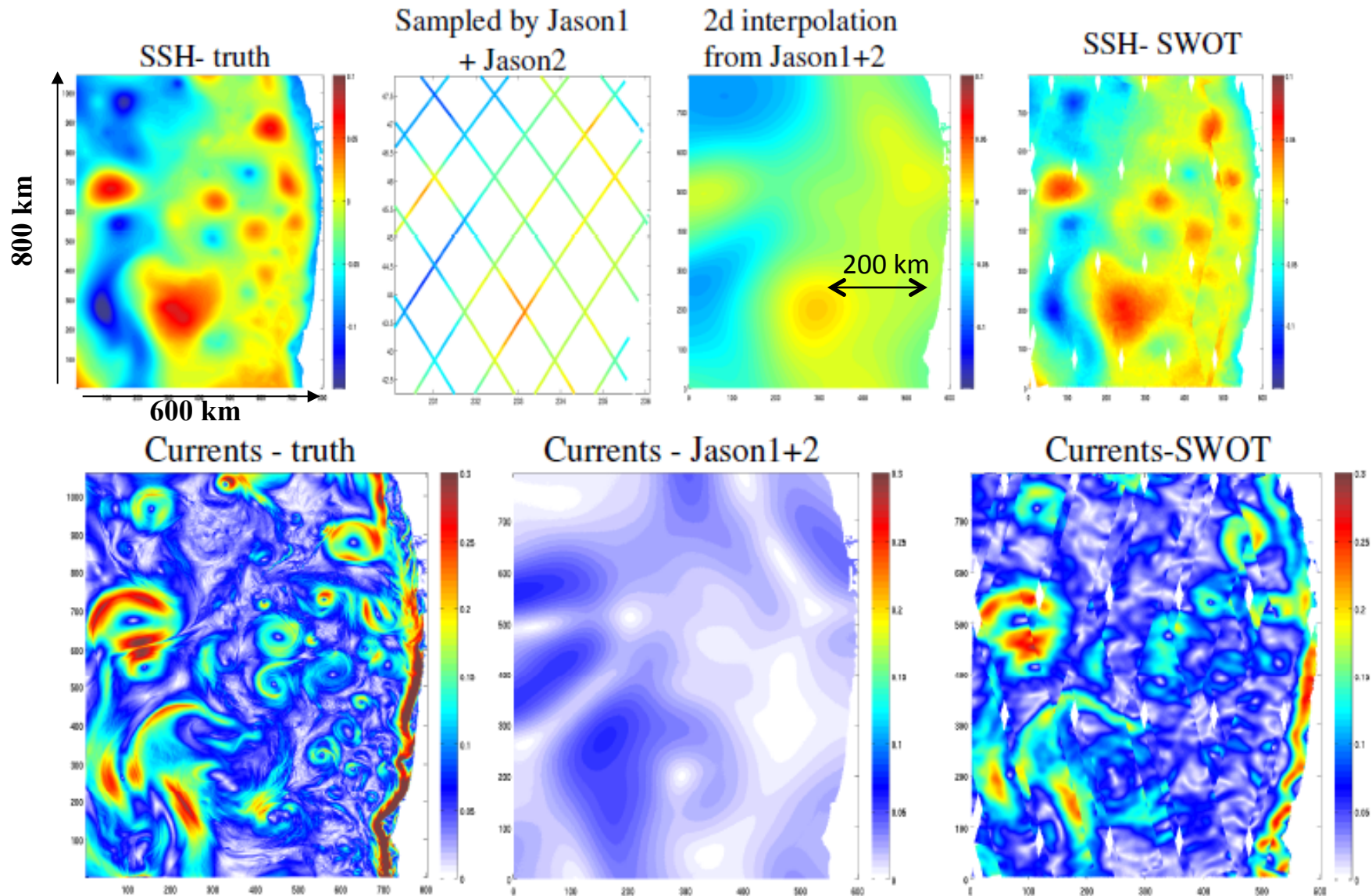
### **1 value per swath**

Radiometer BT measurement  
in their geometry (at  $+2.27^\circ / -$   
 $2.43^\circ$  TBC in the swath)  
Other radiometer parameters

### **1 value at nadir along track**

Time tag  
Orbit data  
Nadir altimeter measurement (Jason like product in a  
separate file)

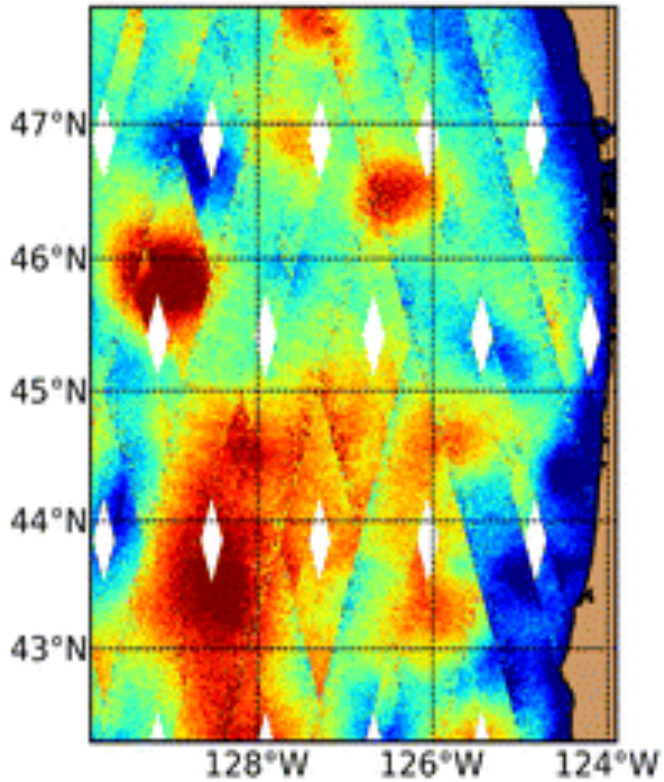
# SIMULATION OF OCEAN DYNAMICS BY SWOT



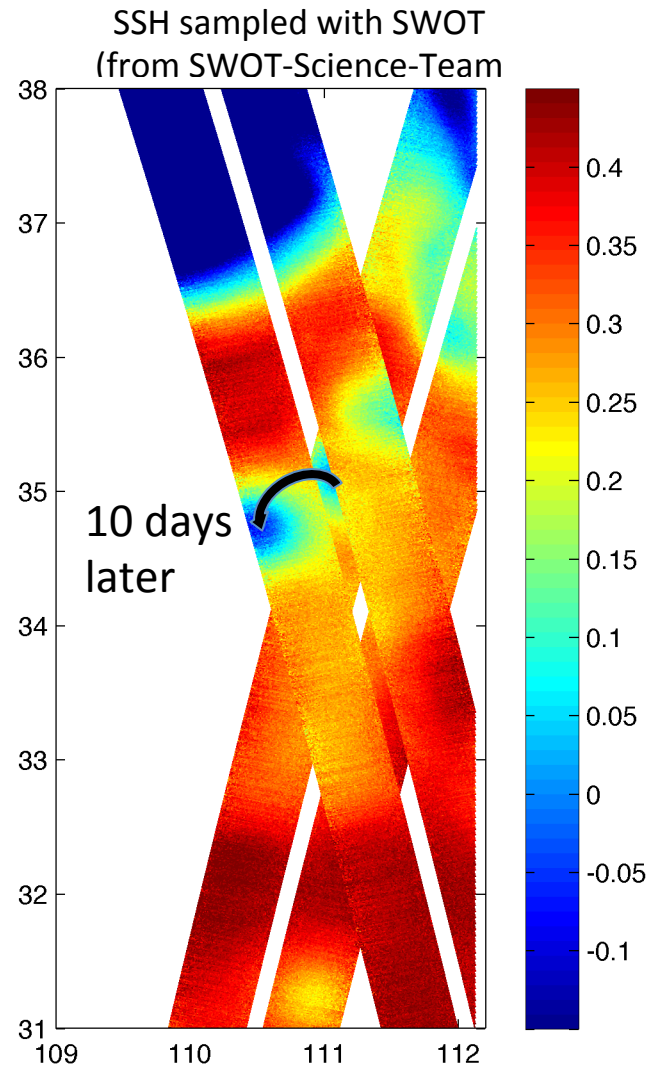
# **CAN WE MAP THE FUTURE SWOT DATA?**

C. Ubelmann, G. Dibarboure, R. Morrow, M. Rogé, L. Gaultier, P. Klein, B. Cornuelle, L-L. Fu

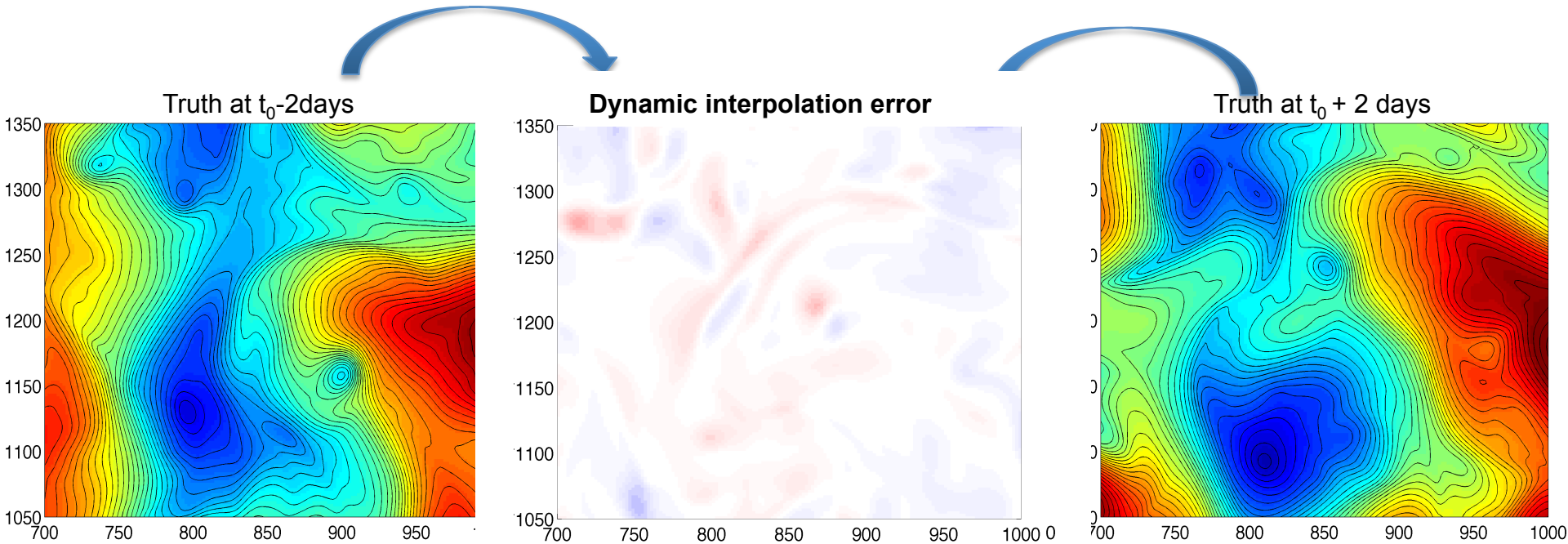
# The effect of large temporal gaps...



*From Gaultier et al., 2015*



# We need to explore beyond optimal interpolation

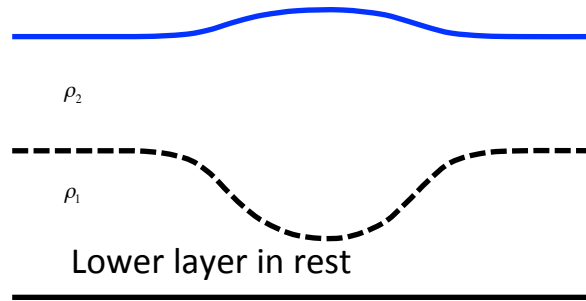


$$\psi = \frac{g}{f} SSH$$

$$q = \nabla^2 \psi - \frac{1}{L_R^2} \psi$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + J(\psi, q) - \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0$$

(e.g. Charney, 1948)



→ The use of the propagator significantly reduces residual errors

Ubelmann, C., P. Klein and L-L Fu, 2015: *Dynamic Interpolation of Sea Surface Height and Potential Applications for Future High-Resolution Altimetry Mapping*. J. Atmos. Oceanic Technol.

# SOMMAIRE

- **QUELS MESURES SPATIALES SUR LES OCÉANS?**
- **L'ALTIMÉTRIE NADIR ET A FAUCHEE**
- **L'INTERFACE AIR/MER**
- **CONCLUSIONS**

## L'état de mer

Vents et vagues caractérisent « l'état de mer », qui affecte :

Le transport maritime, l'activité off-shore, la construction des navires, le confort des marins,...

Le transport des pollutions marines

La sécurité en mer et en zone côtière

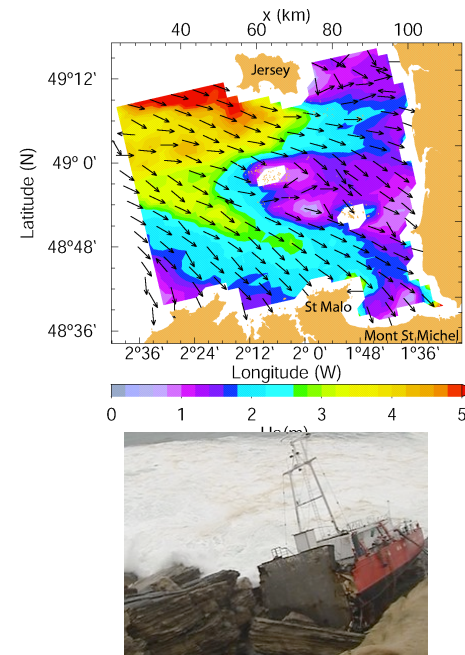
La biologie marine, le transport des sédiments

La formation et destruction des glaces de mer

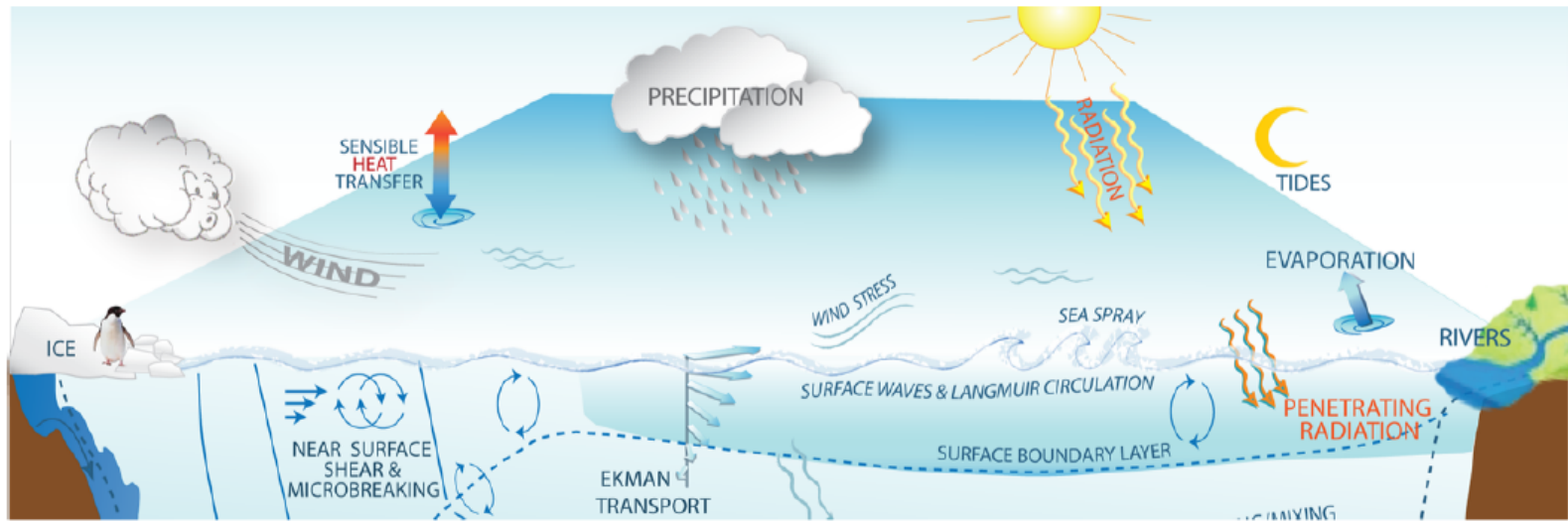
Les échanges gazeux (CO<sub>2</sub>) et de chaleur avec l'atmosphère

La « couleur de l'eau » (propriétés optiques, albédo)

La mesure du vent et des vagues sont indispensables pour la météorologie marine, et les études sur le climat.



# SURFACE DE LA MER ET ÉCHANGES AIR/MER



**Figure 1: Total surface currents and sea states are key elements of the Earth System, yet they are poorly constrained by satellite observations. Note that the nearshore does not appear in spite of high stakes.**

On arrive en limite des approximations traditionnelles de découplage air-mer, aussi bien au niveau de la modélisation que de l'observation

Nécessité de mieux caractériser les couches limites de surface: vent, vagues, courant de surface.... et leurs interactions

Les mesures radar (SAR, diffusiométrie...) sont par nature sensibles à ces caractéristiques mais traditionnellement traitées selon une physique de la mesure assez simplifiée

⇒ effort de recherche à faire pour raffiner, envisager de nouvelles observables ou paramétrisations?

⇒ perspective mission CFOSAT (vent et spectre des vagues) en 2018



# CFOSAT

## China-France Oceanography SATellite

### China-France Cooperation

- ◆ Currently in phase C/D
- ◆ **Launch expected in 2018**

### SWIM, new spaceborne instrument

- ◆ technology innovations (antenna, on-board digital processing)
- ◆ Nadir channel ~altimeter

### SCAT, new concept of wind scatterometer

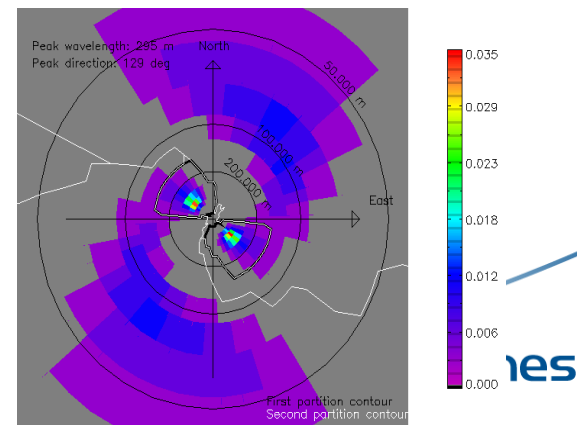
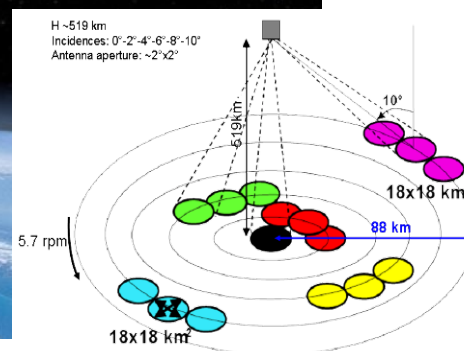
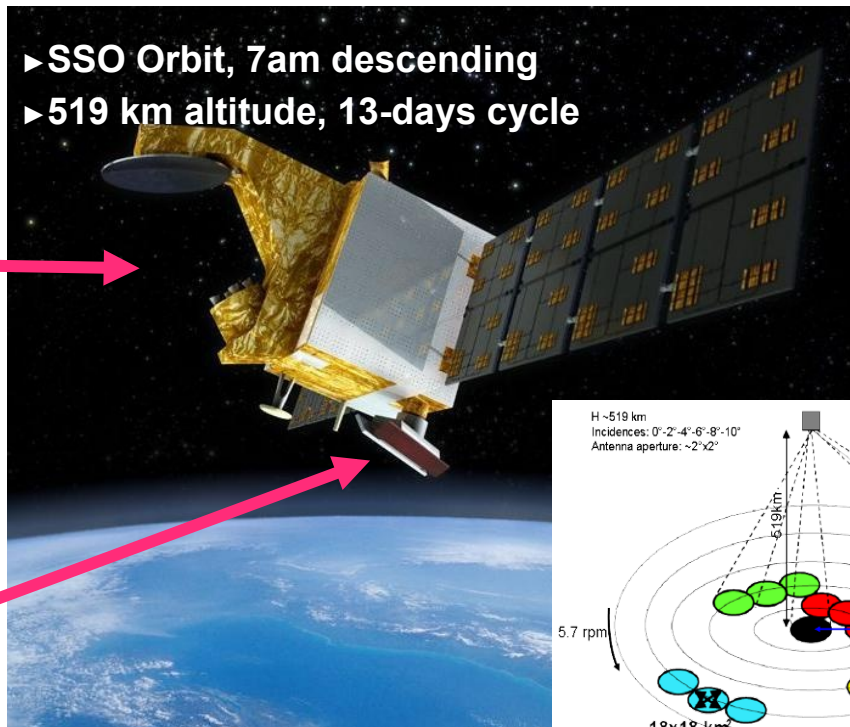
- ◆ Ku-band, rotating fan-beam

Global access to 2D wave spectrum with high angular resolution

Joint measurements of winds and waves

PI: Danièle Hauser (CNRS/LATMOS)

- ▶ SSO Orbit, 7am descending
- ▶ 519 km altitude, 13-days cycle



# Produits L2 (1/2) - CWWIC

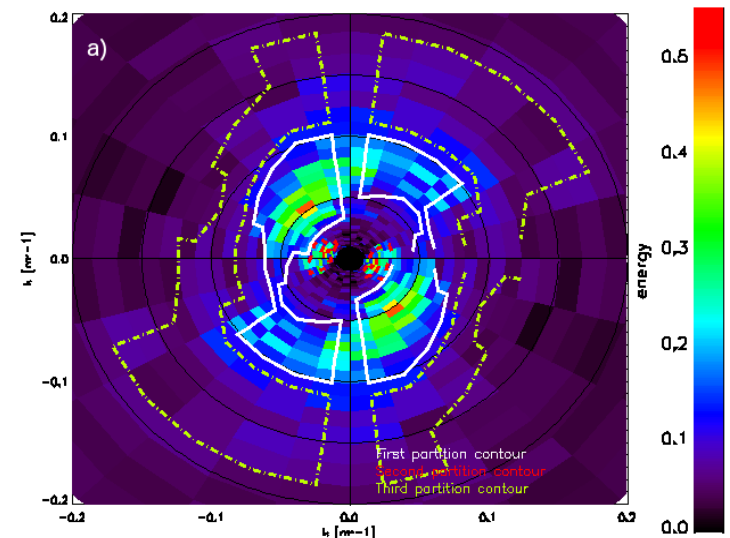
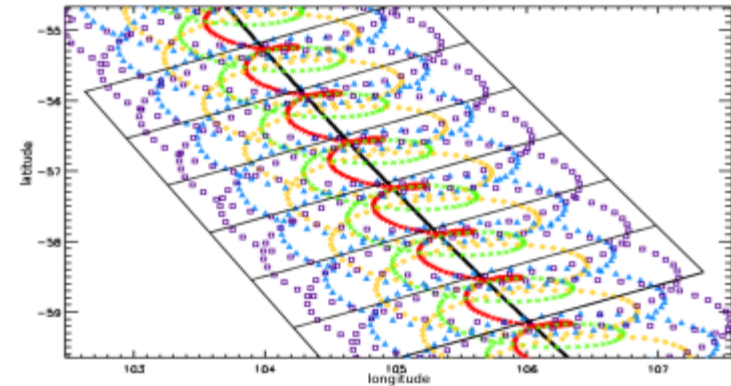
**Niveau 2 : produit à l'échelle de « boîtes » de 70 x 90 km, combinaison de cycles et macro-cycles**

## Produits spectres de vagues

- Fonction de transfert des spectres de signal (niveau 1b) aux spectres de pentes des vagues
- Spectres directionnels des vagues, partitions et paramètres associés
  - ◆ énergie, direction, longueur d'onde
  - ◆ Pour chaque faisceau et en combinant les 3 faisceaux

## Produits sigma0

- Sigma0 fonction de incidence et azimuth corrigé des effets atmosphériques

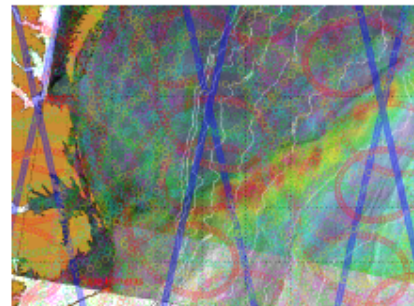
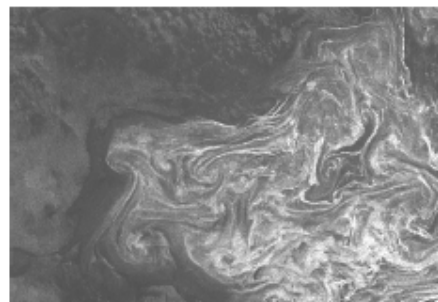


# POST CFOSAT => DESCRIPTION + COMPLETE DE L'INTERFACE?

*The SKIM team (Arduin et al.)  
monitoring*

*Sea surface Kinematics Multiscale*

## Sea surface **K**inematics **M**ultiscale monitoring (**SKIM**)



# SOMMAIRE

- **QUELS MESURES SPATIALES SUR LES OCÉANS?**
- **L'ALTIMÉTRIE NADIR ET A FAUCHEE**
- **L'INTERFACE AIR/MER**
- **CONCLUSIONS**

# CONCLUSIONS

## Accès à la dimension verticale

- Intrinsèquement limité avec les mesures satellitaires
- Mais in situ très limité aussi dans les deux dimensions horizontales (+ temps)
- Combinaison dans les modèles

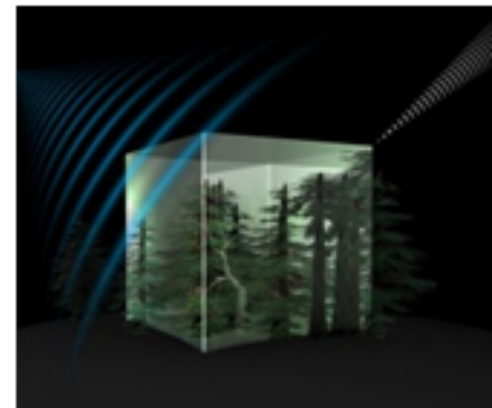
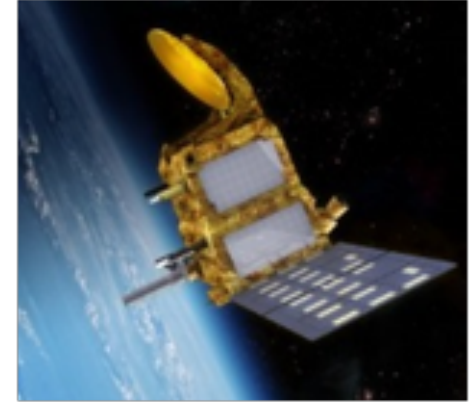
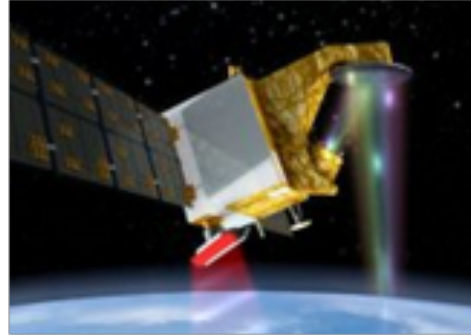
## Néanmoins:

- Description 2D des fines échelles océaniques => processus à dimension verticale
  - ◆ Combinaison altimétrie – imagerie
  - ◆ SWOT
- Dimension verticale clé dans les échanges air-mer:
  - ◆ Perspectives CFOSAT, SKIM?

## Dans tous les cas

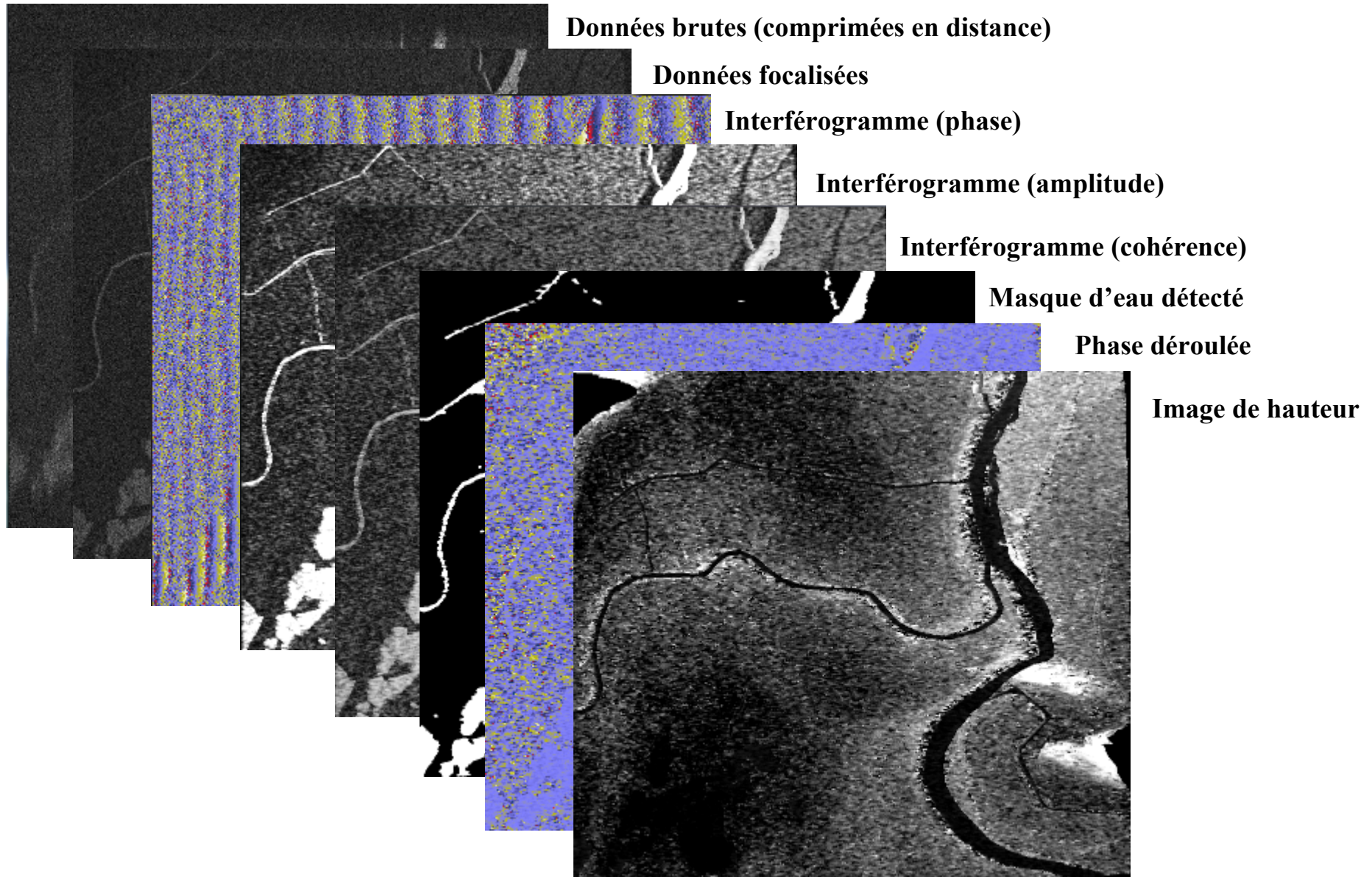
- Besoin de travailler sur la physique de la mesure et les méthodes de restitution
  - ◆ Effort à partager entre communauté scientifique et agences spatiales/industriels
- Le 3D tout seul me semble peu pertinent si l'on oublie la dimension temporelle
  - ◆ => SWOT à 22 j, vs constellation alti

# MERCI DE VOTRE ATTENTION!



# SWOT POUR L'HYDROLOGIE

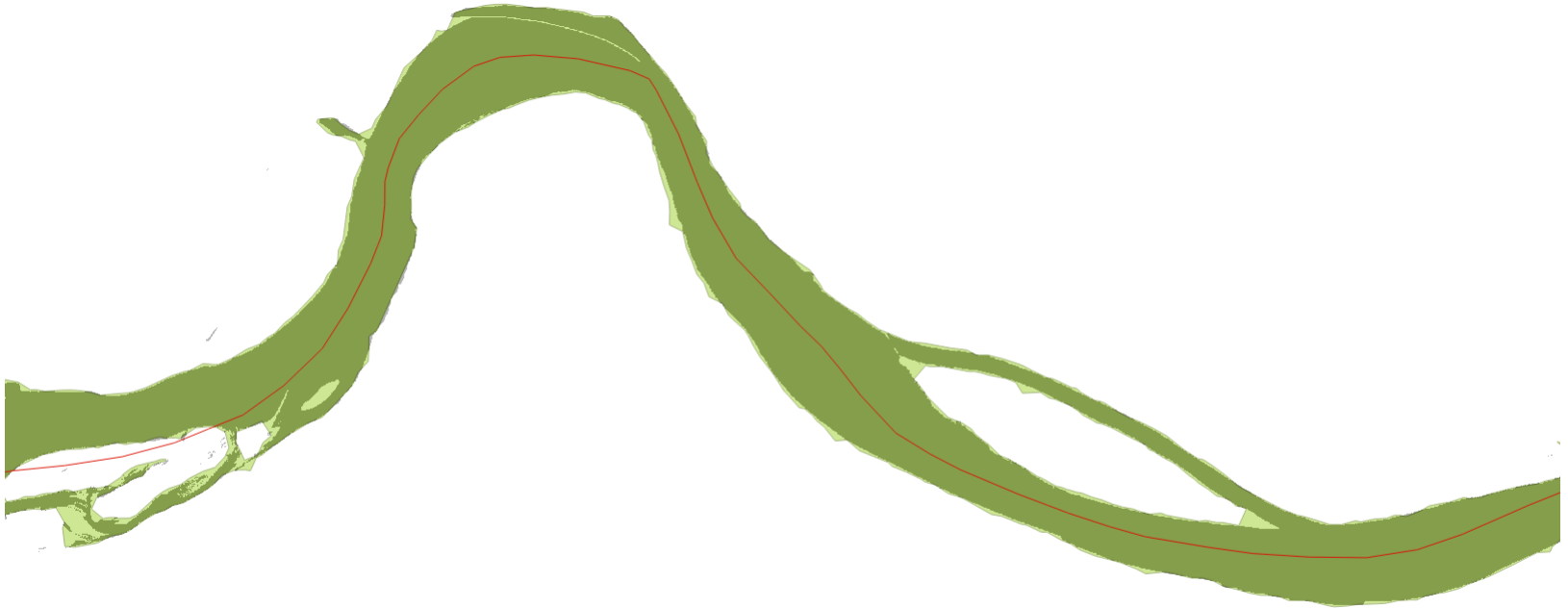
# RÉSUMÉ : DES DONNÉES BRUTES AUX HAUTEURS GÉOLOCALISÉES





# PROTOTYPE DE PRODUITS GÉOLOCALISÉS MOYENNÉS

- Utilisation des outils de simulation/traitement en support aux développements sur le simulateur scientifique



**Input Pixel cloud simulated on the Po river by the OSU team**

**Lat/Lon : [11,13 /45,06]**

**River width about 500m (main branch)**

**Centerline**

**True water mask**

**Raw pixel cloud**

**Corrected pixel cloud**

**Estimated shape**

# GÉNÉRATION DU PRODUIT RIVIÈRE: RIVEROBS

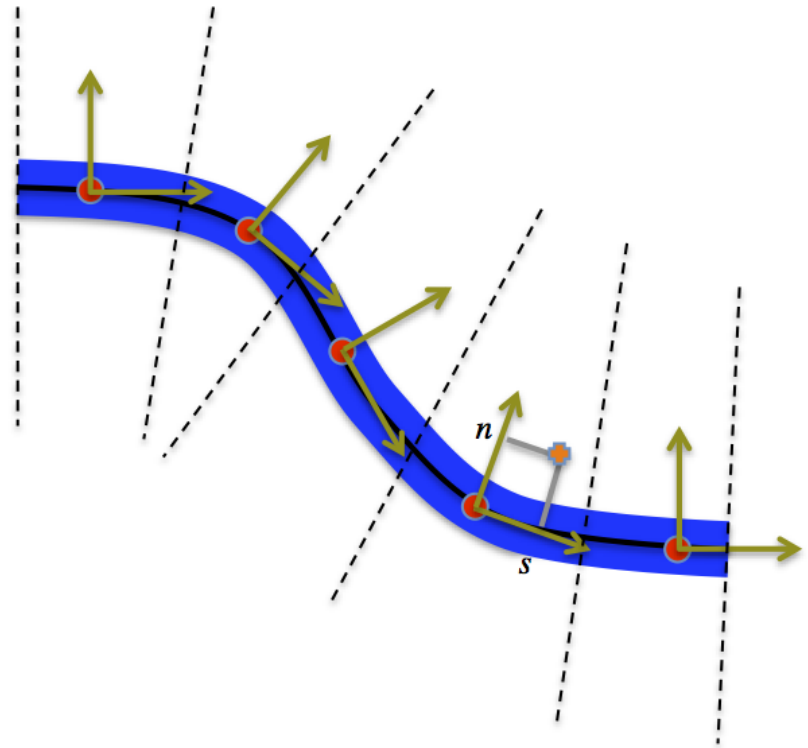
## Concept:

- Centerline définie dans une base de donnée a priori
- Identifie des noeuds
- Rattache les pixels à chaque noeud
- Estime la pente et l'étendue, et m à j la centerline

Mis à disposition dans le simulateur scientifique

## Débit calculé en suivant

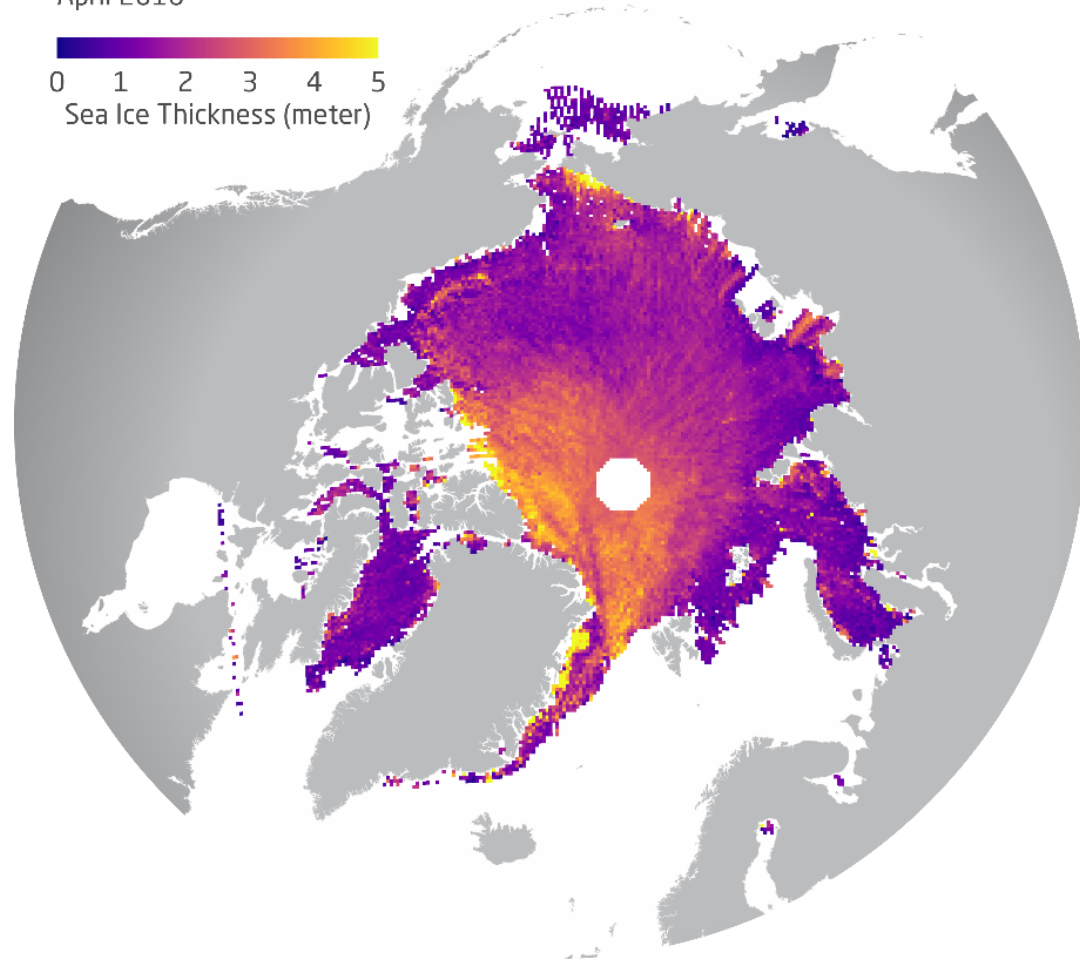
- Plusieurs algos proposés et comparés
- Données a priori



# ALTIMETRIE SUR GLACES DE MER

CryoSat-2

April 2016



Flat sea ice



Rough sea ice



# GLACES DE MER ET PÉNÉTRATION DANS LA NEIGE

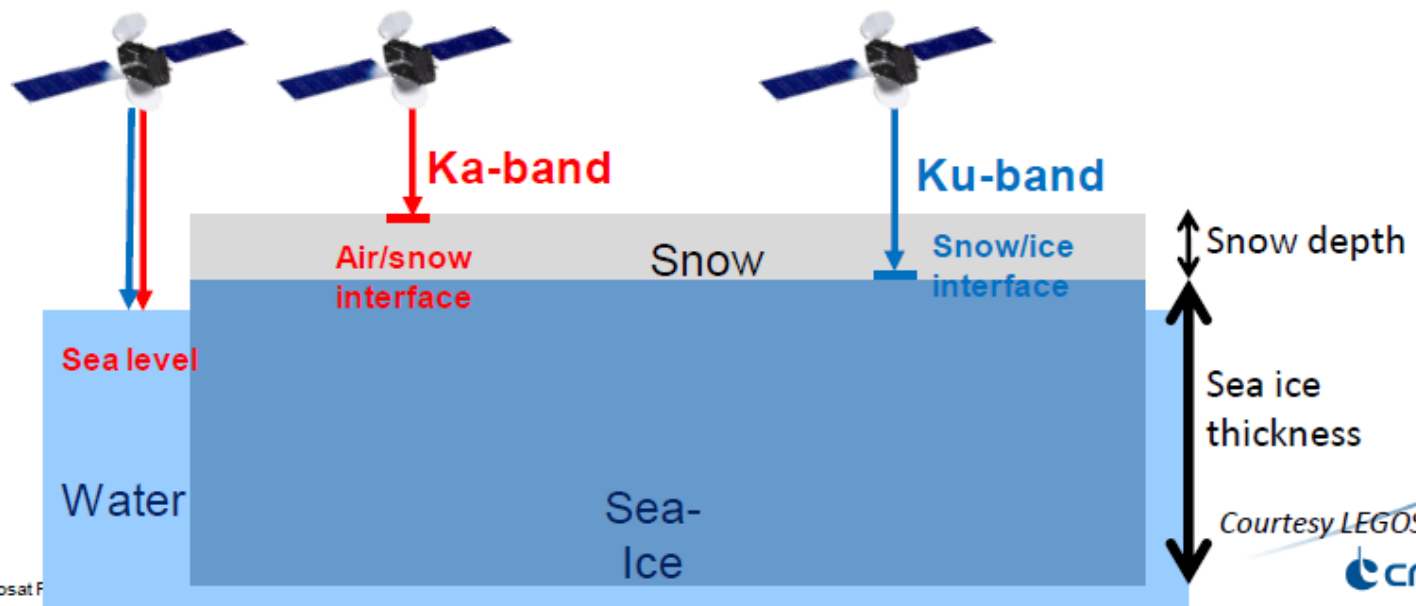
## HOW TO CHARACTERIZE THE PERFORMANCE FROM THE USER NEED?

Observability = measurement errors should not exceed the signal of interest

-> will drive the instrument design in terms of accuracy, precision, drift  
BUT how to convert the user need (averaged in time and space) to a requirement on the individual measurement?

Capability of signals distinction

Ex: to discriminate the snow and ice returns (using Ku and Ka bands).



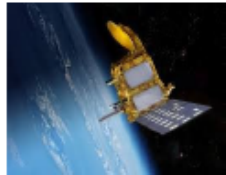
# FLEURY, GUEIRRERO, KU-KA SEA ICE

## 3. Impact of snow depth on sea ice thickness estimates

### Altimetric Snow depth (ASD)

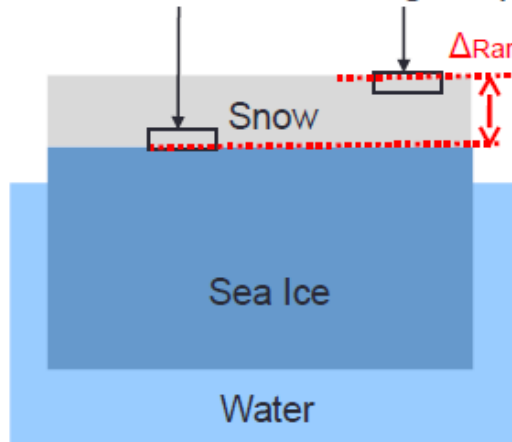
Cryosat-2 (2010-)

SARAL/AltiKa (2013-)

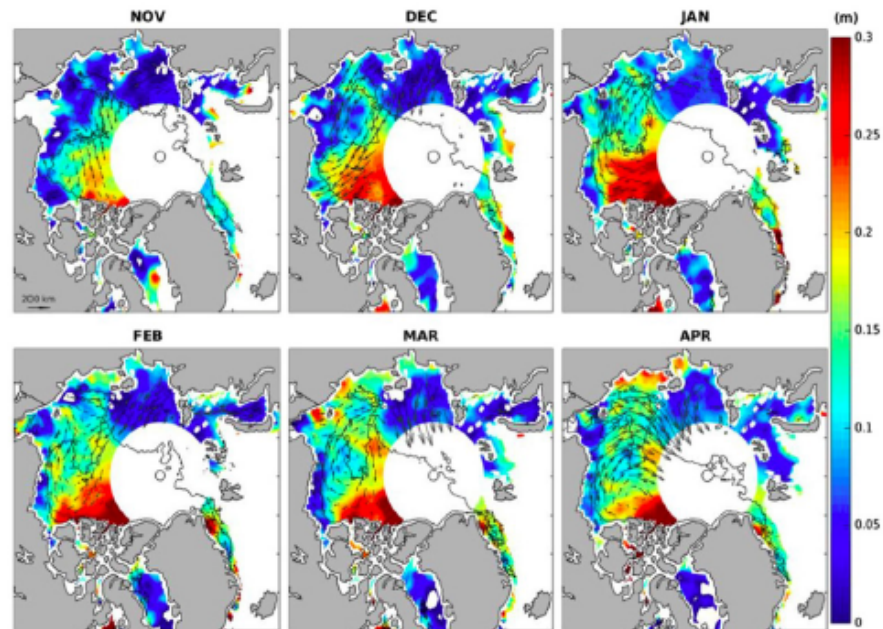


Range Ku (13.6 GHz)

Range Ka (37 GHz)



$\Delta\text{Range} \approx \text{Snow Depth} ?$



Snow depth retrieved from AltiKa and CryoSat-2 for winter 2013/2014.

# Jason-1 geodetic mission

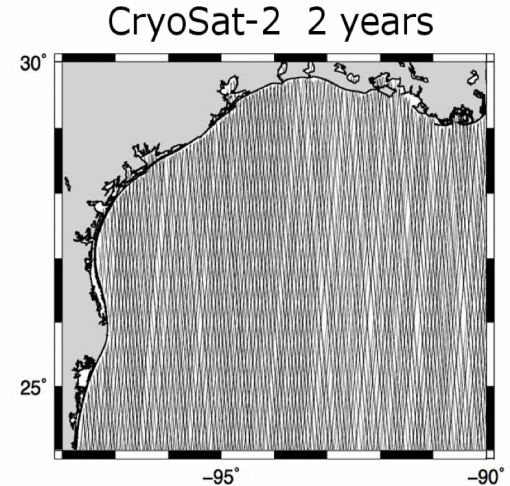
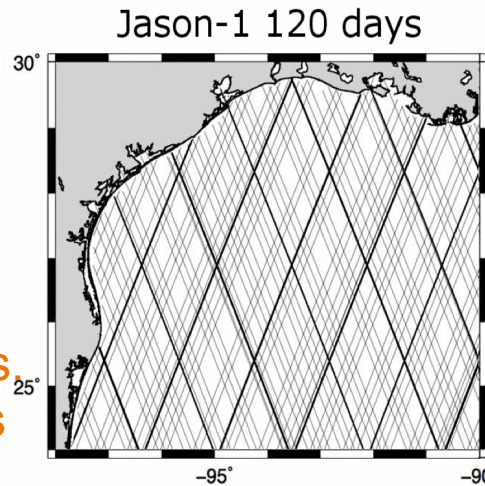
## WHY MAKE GEODETIC MEASUREMENTS FROM JASON-1?

Past geodetic altimeter missions provided valuable short-scale geoid observations (Geosat-GM, ERS-GM, CR-2)

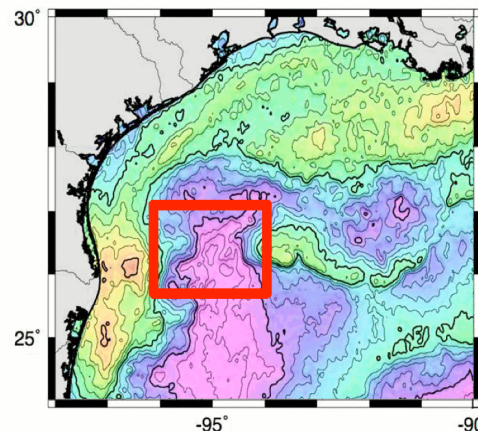
These high-inclination orbits provide mainly the N-S geoid slope in the tropics. Jason-1, on a lower inclination, provides valuable E-W gradients

Selected 406-day geodetic orbit had good sub-cycles for mesoscale studies

Help chart seamounts > 1 km



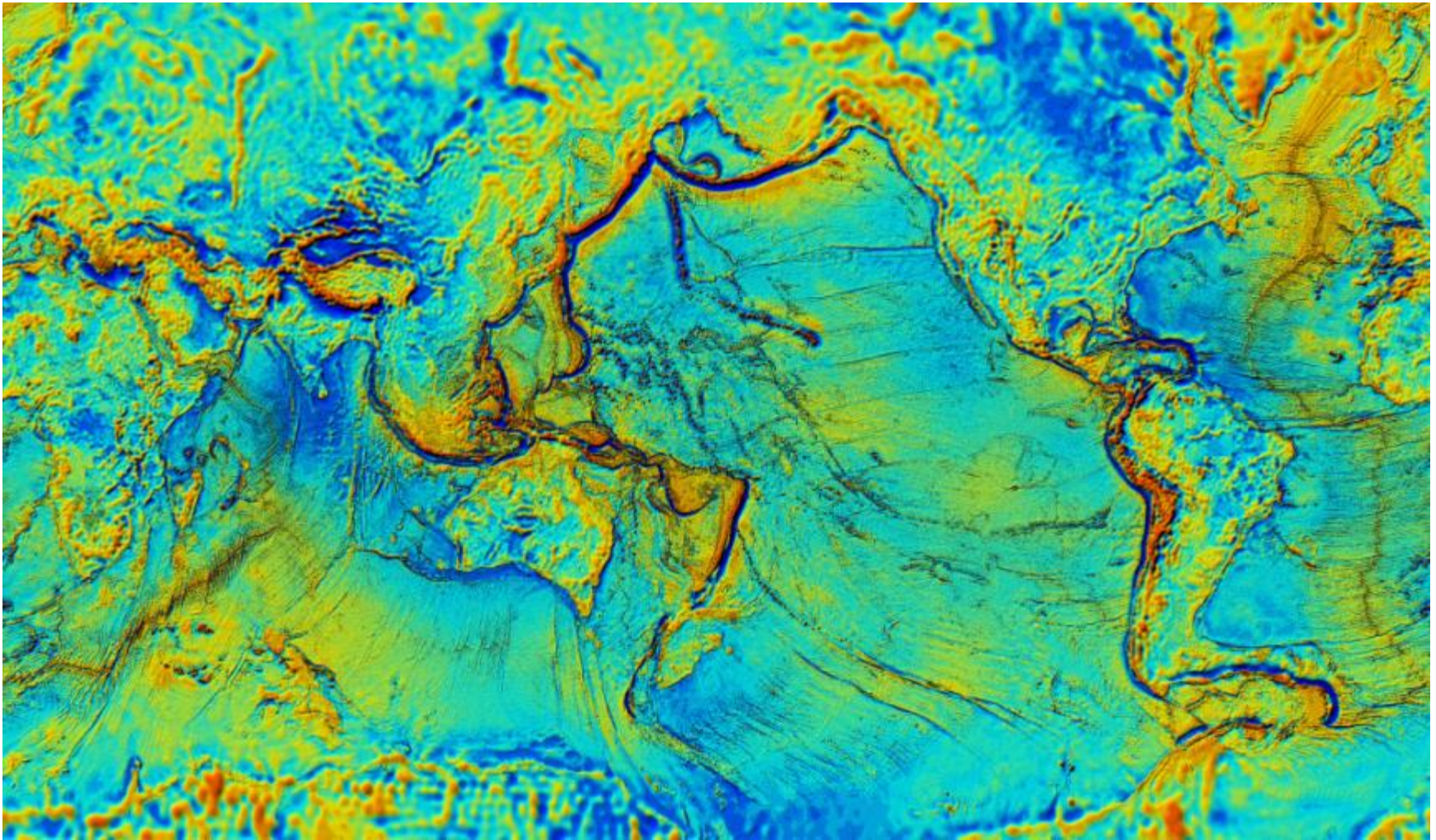
Marine Gravity (10 mGal Contours)



*Including the first 120 days of Jason-1 data improves agreement with in situ obs by 16 %.*

*(W. Smith, Pers. Comm.)*

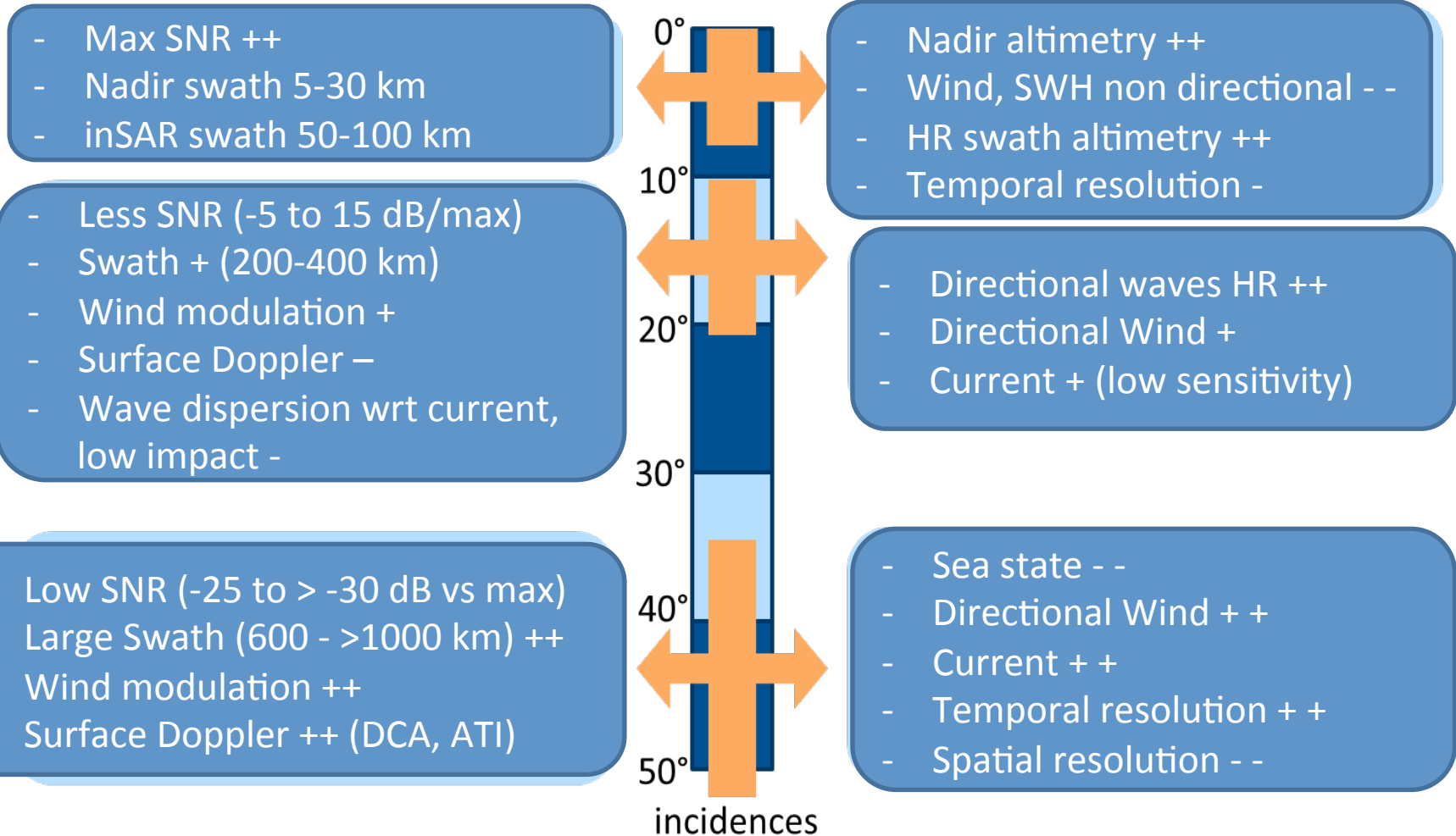




*D. Sandwell, pers. Comm.*



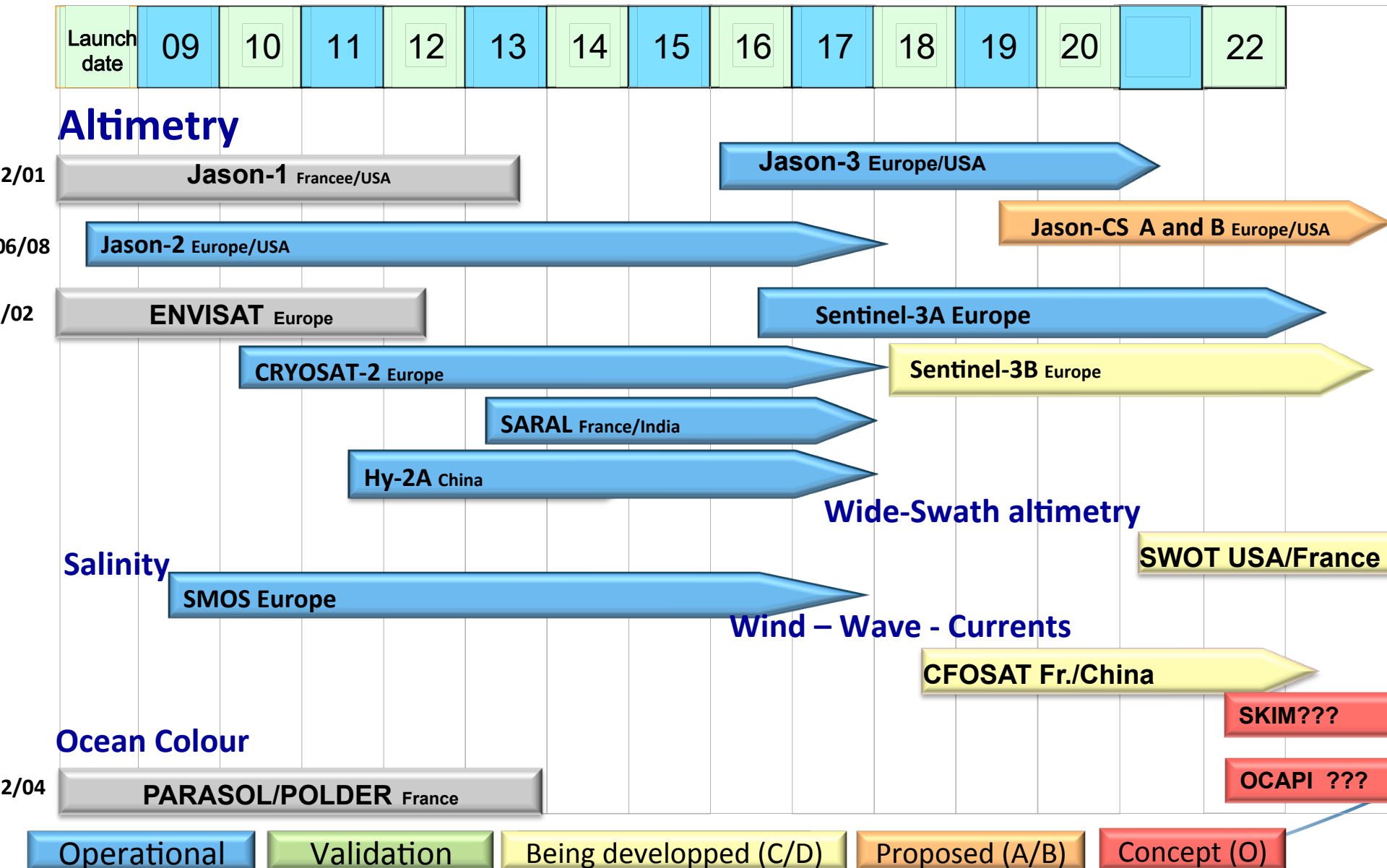
# SEA SURFACE PARAMETERS VS OBSERVATION INCIDENCES



From Jean-Claude Lalaurie



# Ocean missions @ CNES (various levels of contributions)



Operational    Validation    Being developped (C/D)    Proposed (A/B)    Concept (O)

# Pour obtenir la topographie de surface

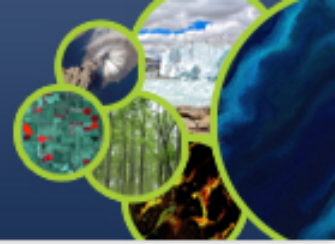
## Sea surface height (SSH) measurement

$$\text{SSH} = h_{\text{sat}} - [h_{\text{s}} + h_{\text{i}} + h_{\text{iono}} + h_{\text{dry}} + h_{\text{wet}} + h_{\text{EM}} + h_{\text{otide}} + h_{\text{stide}} + h_{\text{ol}} + h_{\text{ptide}} + h_{\text{baro}}] + \varepsilon$$

where :

- $h_{\text{sat}}$  : satellite height above the reference ellipsoid (radial orbit component)
- $h_{\text{s}}$  : instantaneous distance between the altimeter antenna and ocean surface
- $h_{\text{i}}$  : instrumental corrections
- $h_{\text{iono}}$  : ionospheric correction
- $h_{\text{dry}}$  : dry tropospheric correction
- $h_{\text{wet}}$  : wet tropospheric correction
- $h_{\text{EM}}$  : EM-bias correction
- $h_{\text{otide}}$  : ocean tide correction
- $h_{\text{stide}}$  : solid Earth tide correction
- $h_{\text{ol}}$  : ocean loading correction
- $h_{\text{ptide}}$  : pole tide correction
- $h_{\text{baro}}$  : inverted barometer correction
- $\varepsilon$  : random and systematic remaining errors

Avant même l'obtention de la mesure SSH, on a déjà pris en compte pas mal de phénomènes "verticaux" .....



## Inter-agency cooperation at work in altimetry

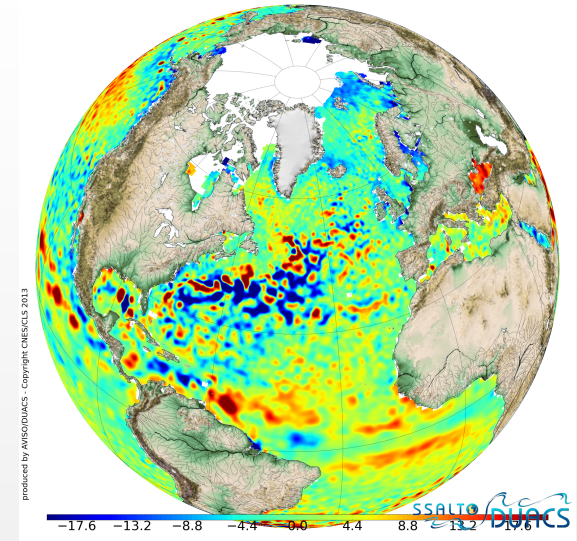
Altimetry is a 1-D measurement aiming at measuring the 2D sea surface topography and its time variations:

- require constellation of at least 4 satellites with careful intercalibration
- require level 3-4 products transforming 4-satellite profiles into maps

=> requirements expressed in CEOS OST-VC Document

“The Next 15 Years of Satellite Altimetry”

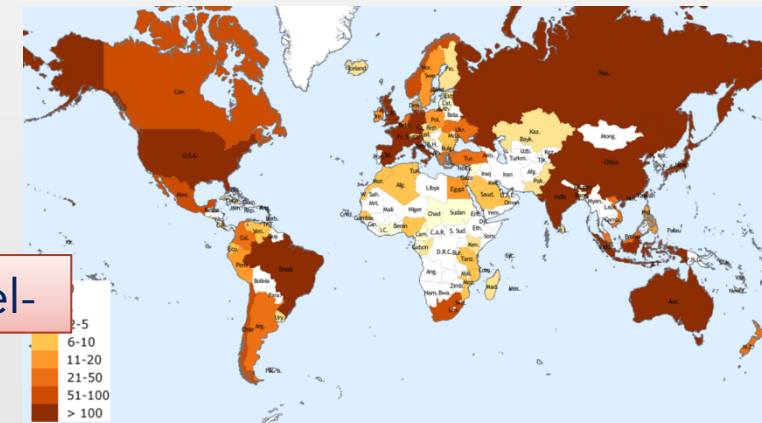
[http://www.ceos.org/images/OST/SatelliteAltimetryReport\\_2009-10.pdf](http://www.ceos.org/images/OST/SatelliteAltimetryReport_2009-10.pdf)



As of today, 4 altimetry missions are operating:

- OSTM/Jason-2 (reference mission), NASA/CNES/EUMETSAT/NOAA
- Cryosat-2 (ice mission with ocean capability), ESA
- Hy-2A, CNSA/NSOAS + Jason-3 et Sentinel-3
- SARAL /AltiKa, CNES/ISRO

*Heterogeneous programmatic set-up, but multi-mission products freely available in NRT through AVISO/DUACS*



<http://www.aviso.altimetry.fr>: > 5000 registered users



Production Centres TAC	Production Centres MFC
<input type="checkbox"/> Ocean Color	<input checked="" type="checkbox"/> Global Ocean
<input checked="" type="checkbox"/> Sea Level	<input type="checkbox"/> Arctic Ocean
<input checked="" type="checkbox"/> Sea Surf. Temp.	<input type="checkbox"/> Baltic Sea
<input type="checkbox"/> Sea Ice & Wind	<input type="checkbox"/> Atlantic NWS
<input checked="" type="checkbox"/> In Situ	<input type="checkbox"/> Atlantic IBI
	<input type="checkbox"/> Mediterranean
	<input type="checkbox"/> Black Sea

## The "Observation-based" component of the Global Copernicus Marine Environment Monitoring Service led by Mercator Océan

Based on the combination of **satellite** and **in situ** observations using **statistical methods** (Guinehut et al., 2012\*)

**Global 3D T, S, H, U, V**

**Weekly/Monthly**

\*Guinehut et al., 2012: High resolution 3D temperature and salinity fields derived from in situ and satellite observations. *Ocean Sci.*, 8, 845-857, doi:10.5194/os-8-845-2012.



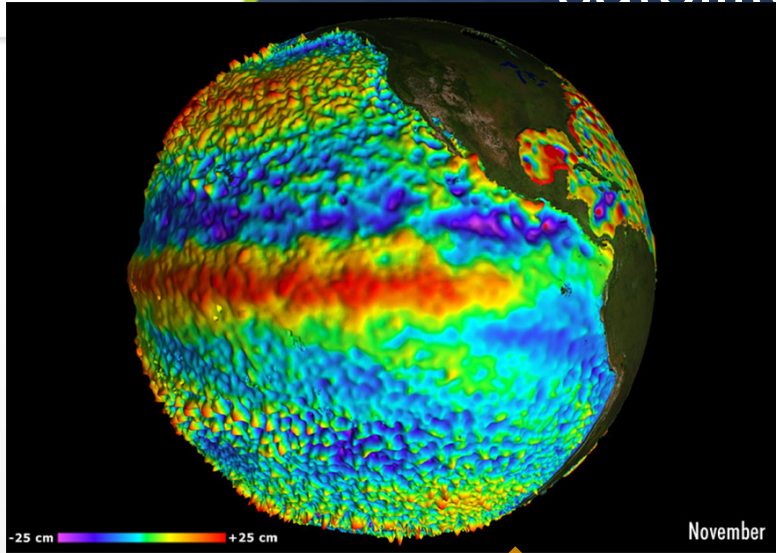
The screenshot shows the Copernicus Marine Environment Monitoring Service (MEMS) online catalogue interface. It features a search bar with the text "Found 9 products matching your criteria." Below the search bar, there are filters for "AREA" and "PARAMETER". The "AREA" filter is set to "All areas", and the "PARAMETER" filter is set to "Ocean Temperature (9)". The main content area displays a product titled "GLOBAL OBSERVED OCEAN PHYSICS TEMPERATURE SALINITY AND CURRENTS REPROCESSING (1993-2012)". A small map thumbnail is visible next to the product title. The interface also includes navigation links like "ABOUT US", "BENEFITS", "NEWS", "SCIENCE & LEARNING", "TRAINING", and "SERVICES PORTFOLIO".

**REP: 1993-2014 (2 years added on 13/04/16)**

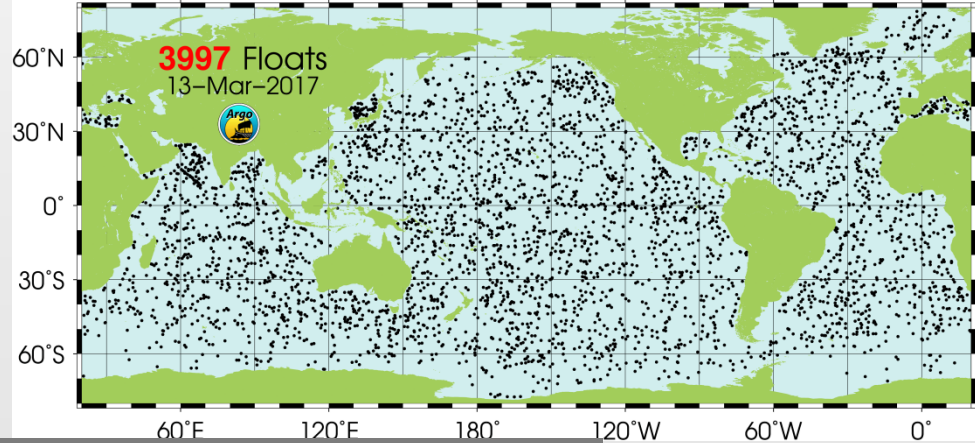
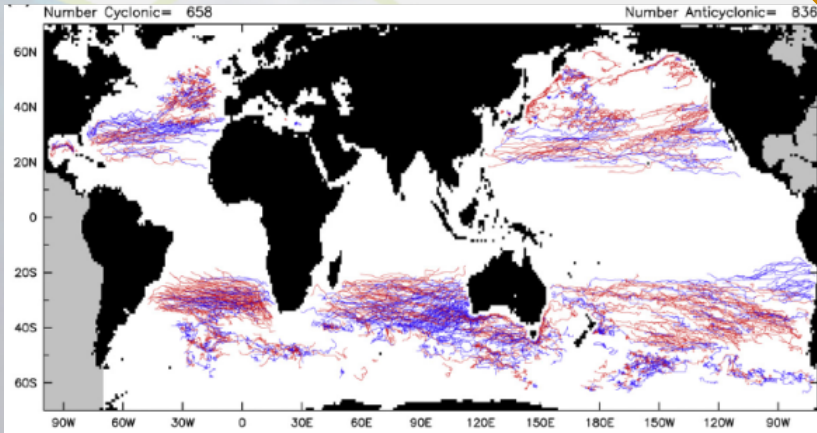
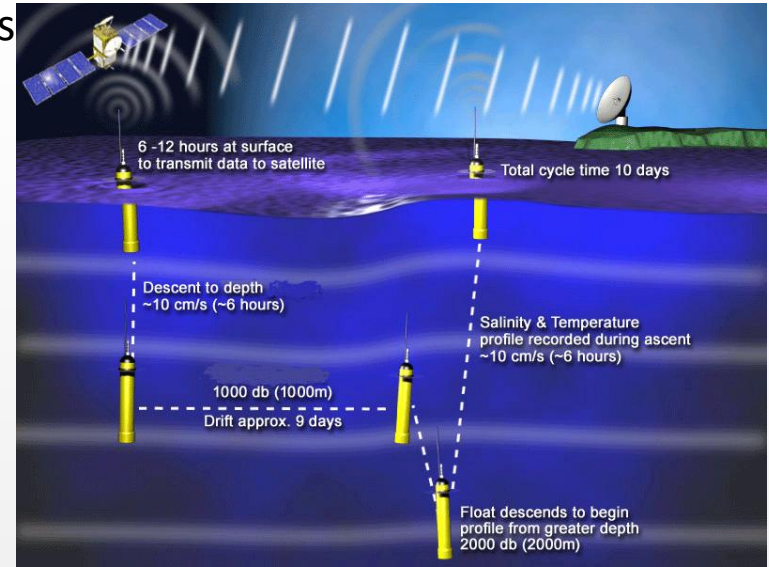
**RT: ongoing (new version on 13/04/16)**

# Reconstructing vertical structure of eddies with satellite altimetry & in-situ Argo floats

Globally 4000 autonomous floats measures the ocean's vertical  $T(z)$   $S(z)$  structure every 10 days



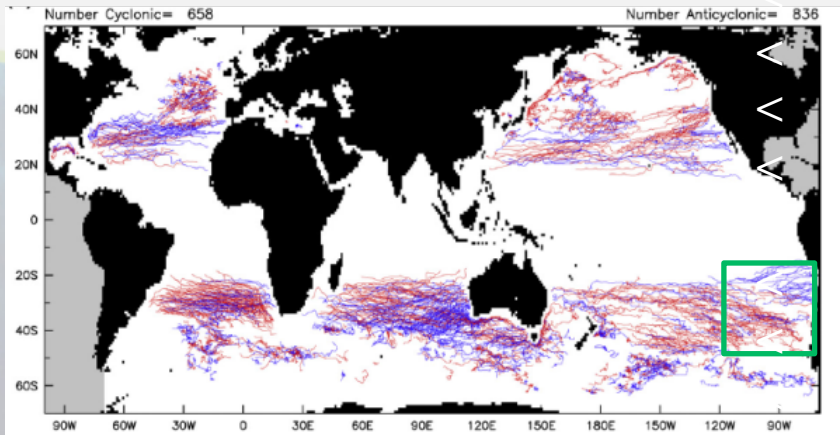
Global altimetric SLA maps allow us to track mesoscale eddies over many years



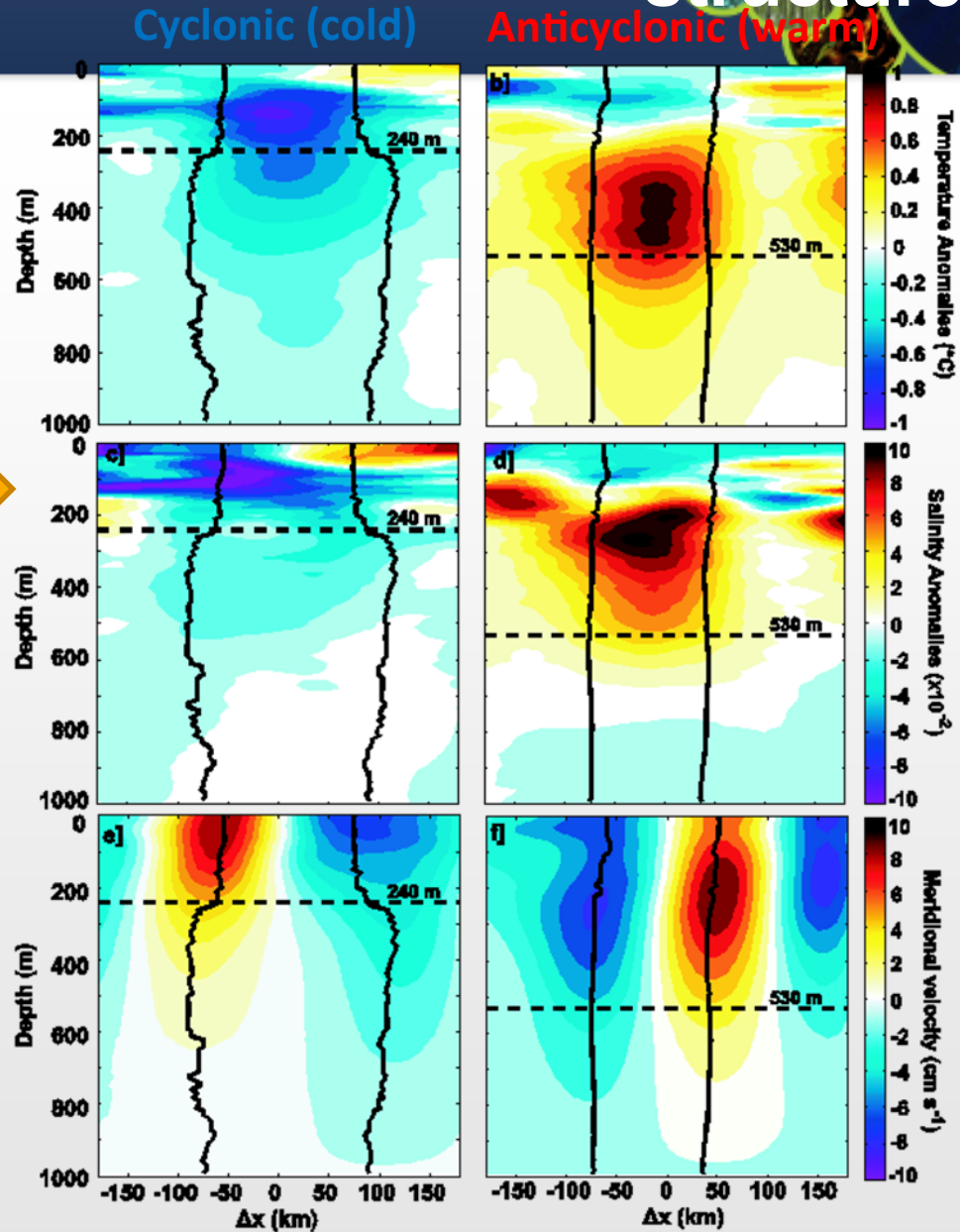
Colocate Altimetric eddy centres with Argo vertical profiles !

Composite of colocated Argo profiles **cyclonic (cold) eddies** and **anticyclonic (warm) eddies** detected from altimetry off the Peru coast

after Chaigneau et al., 2011

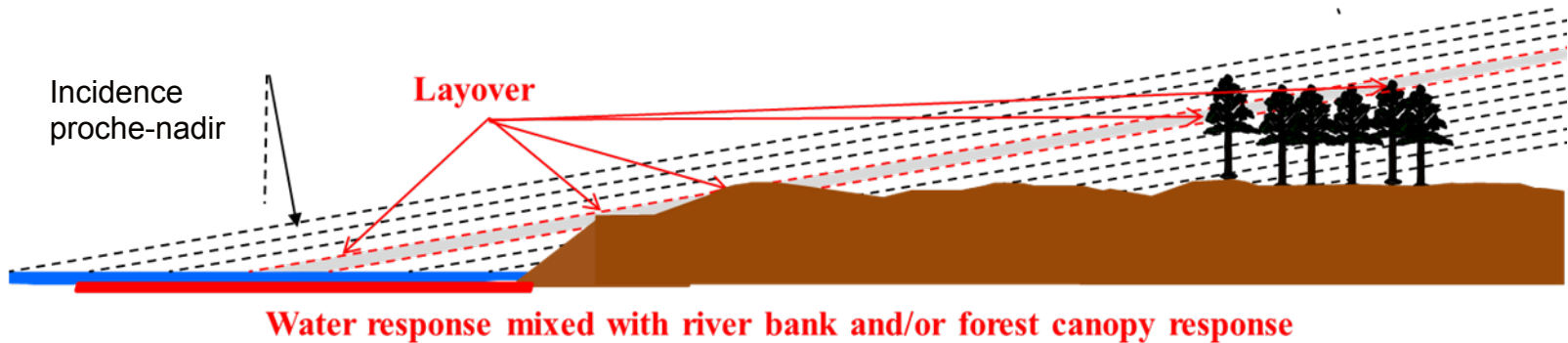


Chelton et al., 2011



# Le layover

- Distorsion géométrique due à la prise de vue oblique du radar : plusieurs surfaces à des incidences différentes se retrouvent dans la même case radar

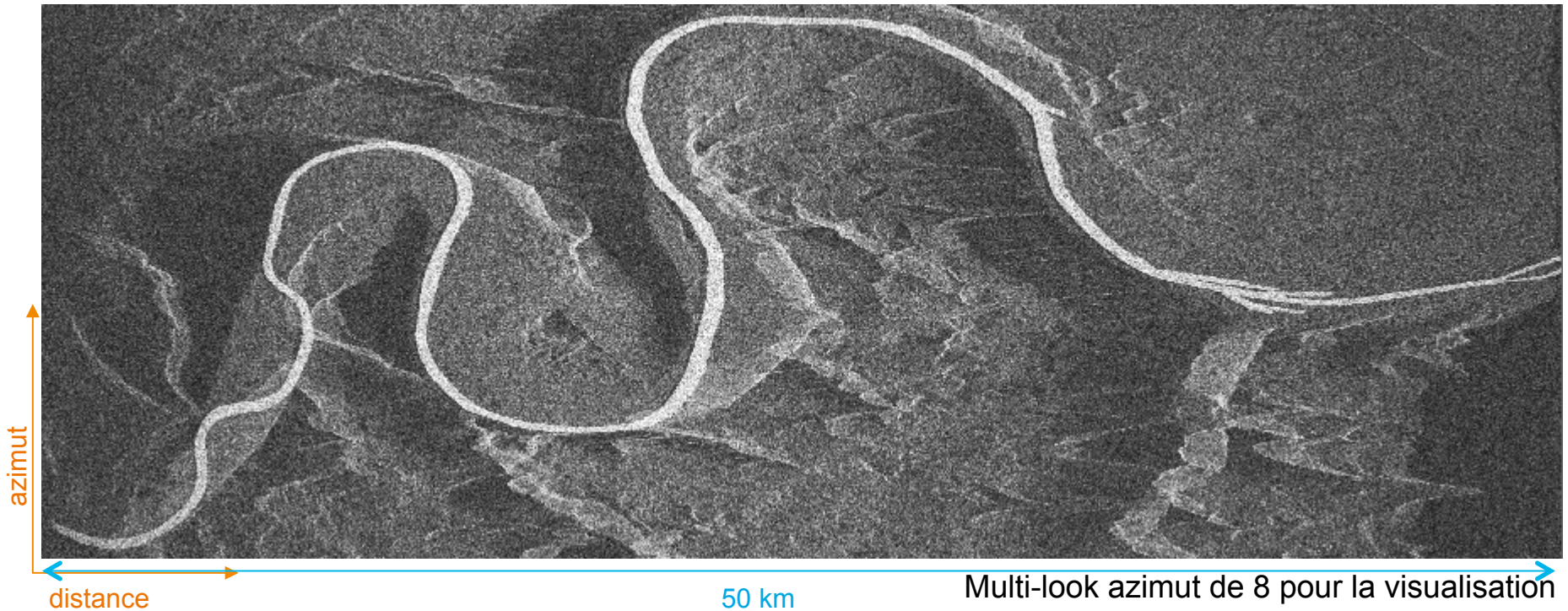


- Layover Eau/Terre
  - Introduit un **biais de hauteur**, pondéré par le contraste des  $\sigma_0$
  - Augmente en général l'amplitude : pas de problème particulier pour la détection
  - Doit être prédit ou détecté pour exclure les pixels qui sont significativement pollués de l'estimation des hauteurs, des pentes, de l'étendue, etc...
- Layover Terre/Terre
  - Irréversible, fort impact sur la mesure de la topographie des surfaces terrestres
  - Peut créer des structures brillantes pouvant gêner la détection des surfaces d'eau (montagne, collines)

# Illustration de l'impact du layover

## Amplitude interférométrique issue d'une simulation KaRIn sur la Seine

Données sur la Seine fournies par le M2C et le LEGOS



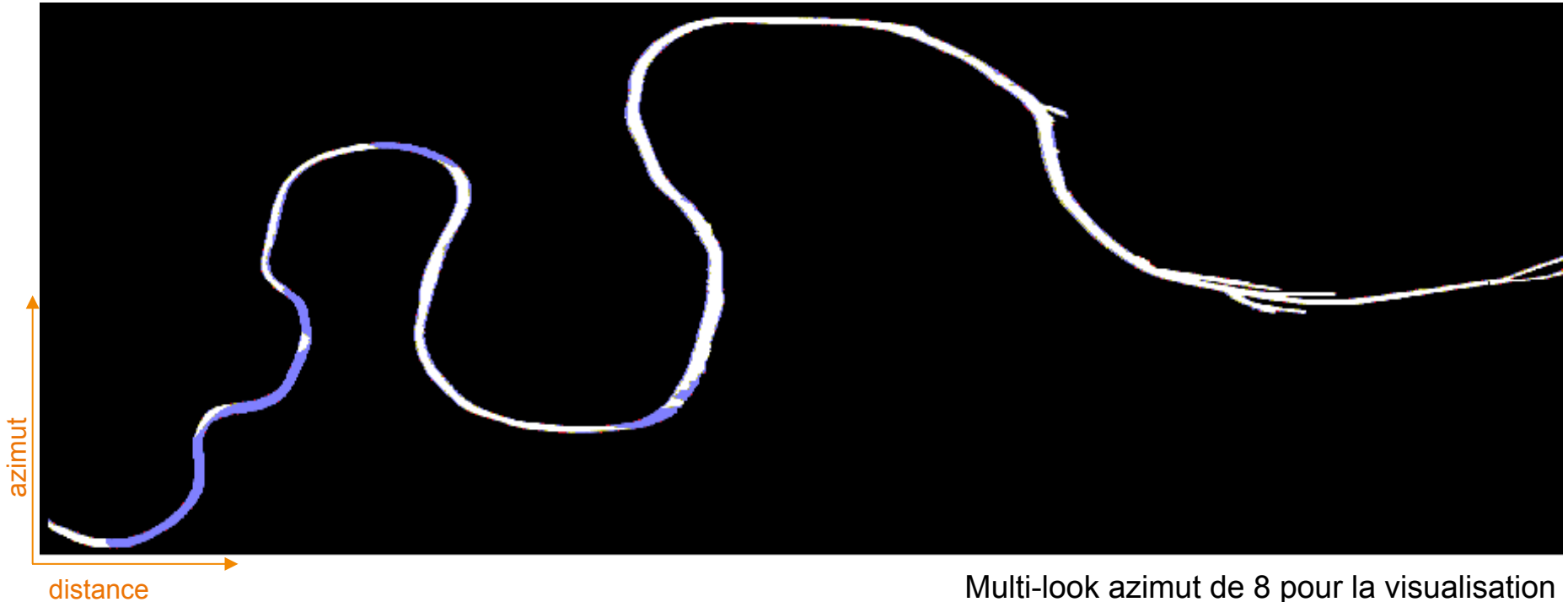
- Eau  $\sigma_0 \sim 10$  dB, terre  $\sigma_0 \sim 0$  dB (modulé par les pentes locales)
- Des structures de layover terre/terre sont visibles
- La non correction du layover entraine un biais d'environ 80 cm sur les surfaces d'eau



# Illustration de l'impact du layover

Layover Terre/Eau visible en bleu (estimation parfaite)

Données sur la Seine fournies par le M2C et le LEGOS



- Eau  $\sigma_0 \sim 10$  dB, terre  $\sigma_0 \sim 0$  dB (modulé par les pentes locales)
- Des structures de layover terre/terre sont visibles
- La non correction du layover entraine un biais d'environ 80 cm sur les surfaces d'eau

# SWIM / CFOSAT: Diffusiométrie



## SWIM measurement principle

### Principle:

- > RCS variations are quite insensitive to wind speed around 8°-incidence
- > RCS mostly depends on local incidence → long wave slopes create a modulation of RCS

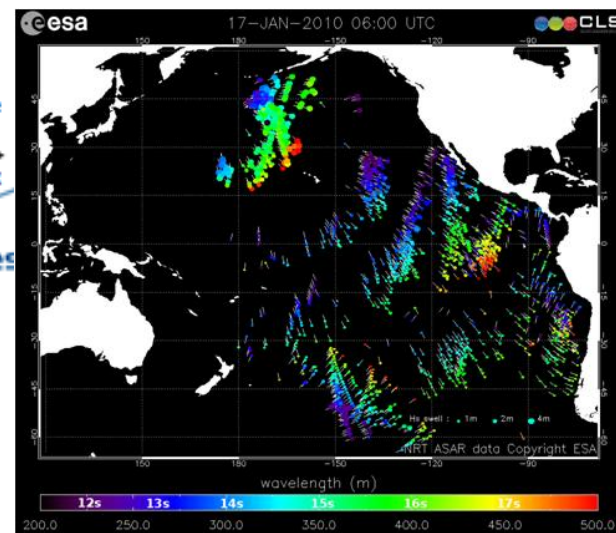
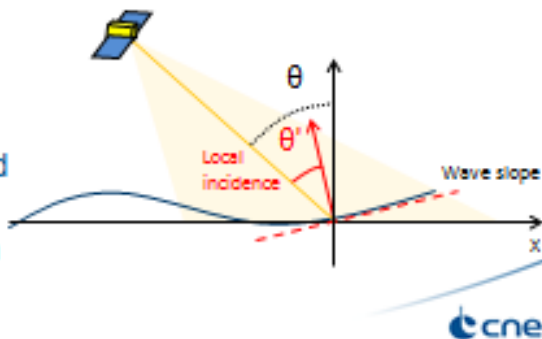
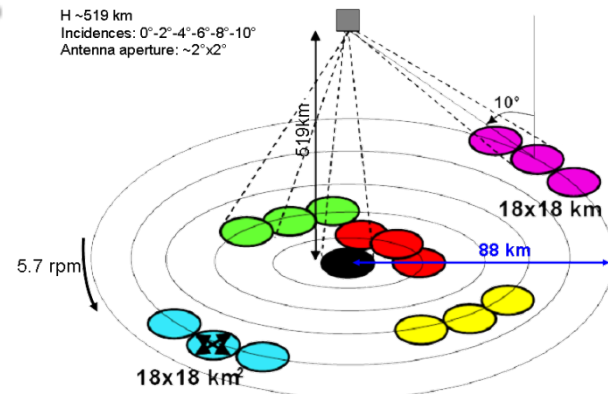
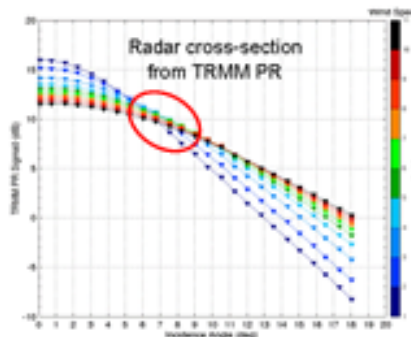
$$m = \frac{\delta\sigma}{\sigma} \propto \text{wave slope}$$

$$P_m(k, \phi) = |FT(m(X, \phi))|^2 = \alpha(\theta) \underbrace{F(k, \phi)}_{\text{Wave slope spectrum}}$$

→ Use of 6°, 8°, 10° beams for estimation of long wave properties

> Modulation is maximum when beam is aligned with wave propagation direction

→ Directional wave spectrum through 360°-scan



# Challenges of the ocean current measurements (1/2)

From surface velocity to ocean currents:

$$U = U_{\downarrow \text{phase} \uparrow \text{bragg\_wave}} + U_{\downarrow \text{orbital\_velocity} \uparrow \text{long\_wave}} + U_{\downarrow \text{current}} + \dots$$

≈ 7 km/s

Annotations for the first equation:

- $U_{\downarrow \text{phase} \uparrow \text{bragg\_wave}}$ : ≈ 0 for  $i < 15^\circ$
- $U_{\downarrow \text{orbital\_velocity} \uparrow \text{long\_wave}}$ : A few m/s, Correlated with ocean long waves

$$U_{\downarrow \text{current}} = U_{\downarrow \text{tidal}} + U_{\downarrow \text{wind}} + U_{\downarrow \text{wave}} + U_{\downarrow \text{Ocean\_Current}}$$

Annotations for the second equation:

- $U_{\downarrow \text{tidal}}$ : 10 cm/s to 2 m/s → Ekman current
- $U_{\downarrow \text{wind}}$ : < 1 m/s → Induced by the waves (Stokes drift, ...)
- $U_{\downarrow \text{wave}}$ : ~ 10 cm/s
- $U_{\downarrow \text{Ocean\_Current}}$ : 10 cm/s to a few m/s → Oceanic circulation, Other currents

➔ Surface velocity is a mix of different currents / Necessity of de-mixing.

# Challenges of the ocean current measurements (2/2)

Main constraints to measure the surface motion:

- Separation of wave, wind and surface velocity → multi-incidences
  - ◆ Low SNR and high surface Doppler at high incidences (wind, current)
  - ◆ High SNR and low surface Doppler at low incidences (wave spectrum, wind)
- Vectorial measurements → multi-directional scan (squinted or rotating RAR/SAR)

Coverage

- Full coverage every day required
  - ◆ From 1 satellite → ok for small swaths only
  - ◆ Large swath → 1 to 3 days repeat pass (ok for mesoscale studies)

3 instrument concepts can provide the needed parameters

- ◆ ATI SAR with adequate incidence angles
- ◆ Large incidence Doppler scatterometers
- ◆ Low incidence wave Doppler spectrometers
- **Necessity for simultaneous observation of wind/waves/currents**
  - ◆ Choice to focus on instruments capable of complementing existing observing system

# L'OCÉAN PHYSIQUE ET LES MESURES SPATIALES

Les satellites permettent de mesurer certains paramètres physiques de l'océan:

Température de surface

Vent de surface

Topographie de surface (altimétrie)

- Dynamique de l'océan
- Elévation du niveau de la mer
- Marées

Etat de mer (vagues, houle)

Courant de surface

Salinité

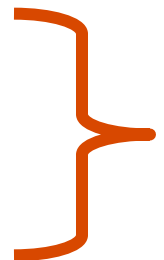
Glaces de mer



Description de la « machine océan » et de ses interactions avec l'atmosphère



Grande maturité de ces techniques, bon niveau de coordination internationale



Techniques plus récentes, mais déjà largement exploitées

# L'ENVIRONNEMENT MARIN ET LES MESURES SPATIALES

Essentiellement les mesures de l'océan « physique », plus:

Assimilation dans des modèles (MERCATOR / MyOcean) , pour avoir une synthèse de l'état de l'océan

La couleur de l'eau: accès aux concentrations en chlorophylle, et donc à la concentration en phytoplancton

Imagerie optique:  
SeaWIFS, MODIS,  
ENVISAT, Sentinel-3

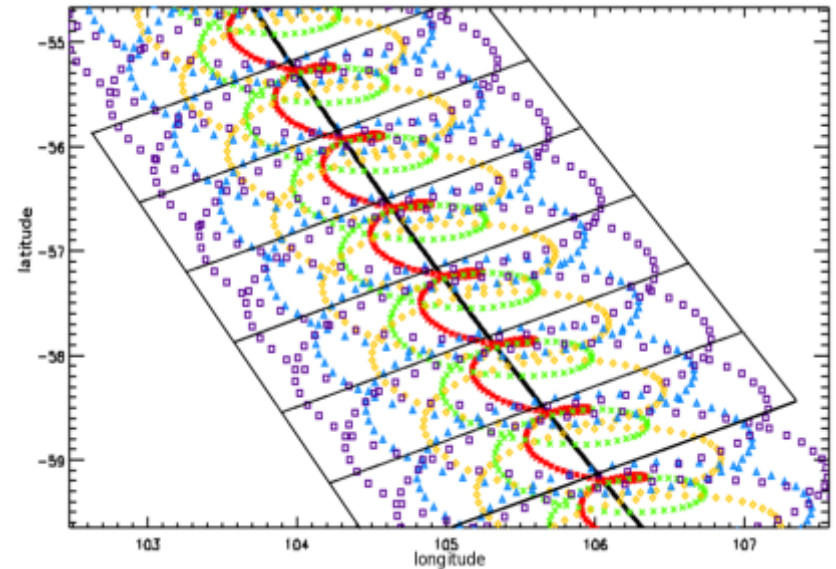
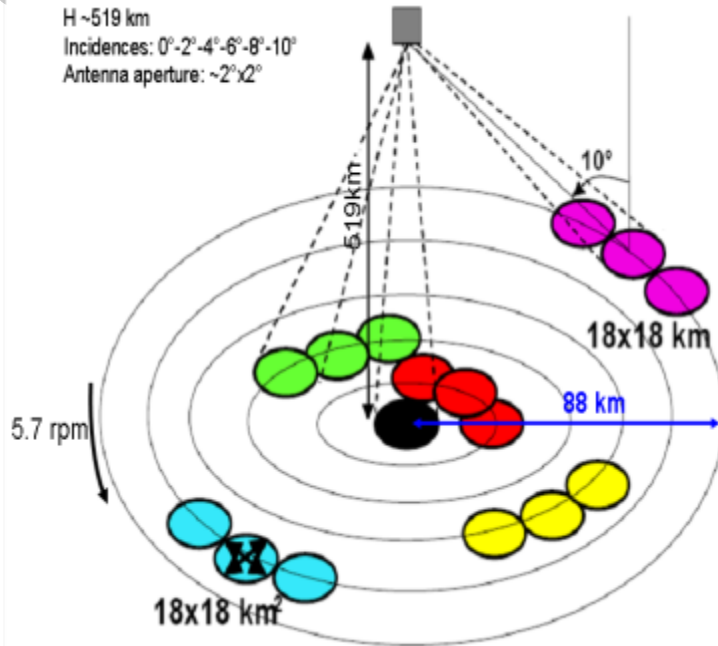
Le suivi des animaux marins, via les systèmes Argos

Système ARGOS

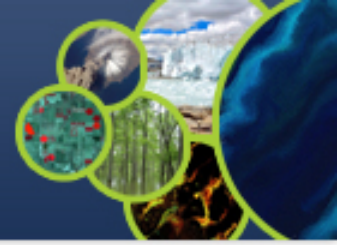
La détection de surfaces « lisses », liées à des nappes d'hydrocarbures, des nappes d'algues

Radar: ENVISAT, Sentinel-1

# Rappel sur les mesures et produits SWIM



- Acquisitions nominales:
  - Mesures l'écho radar (puissance rétrodiffusée en fonction de la distance) pour 6 faisceaux pointant autour de 0°, 2°, 4°, 6°, 8° et 10° d'incidence par rapport à la verticale, et avec des faisceaux en rotation autour de la verticale => Définition d'un cycle= acquisition sur un faisceau donné, Définition d'un macro-cycle: séquence d'enchaînement des différents cycles (faisceaux)
- Séquences d'étalonnage/calibration
- Modes d'acquisition alternatifs



## Uncalibrated individual missions

OSTM/Jason-2



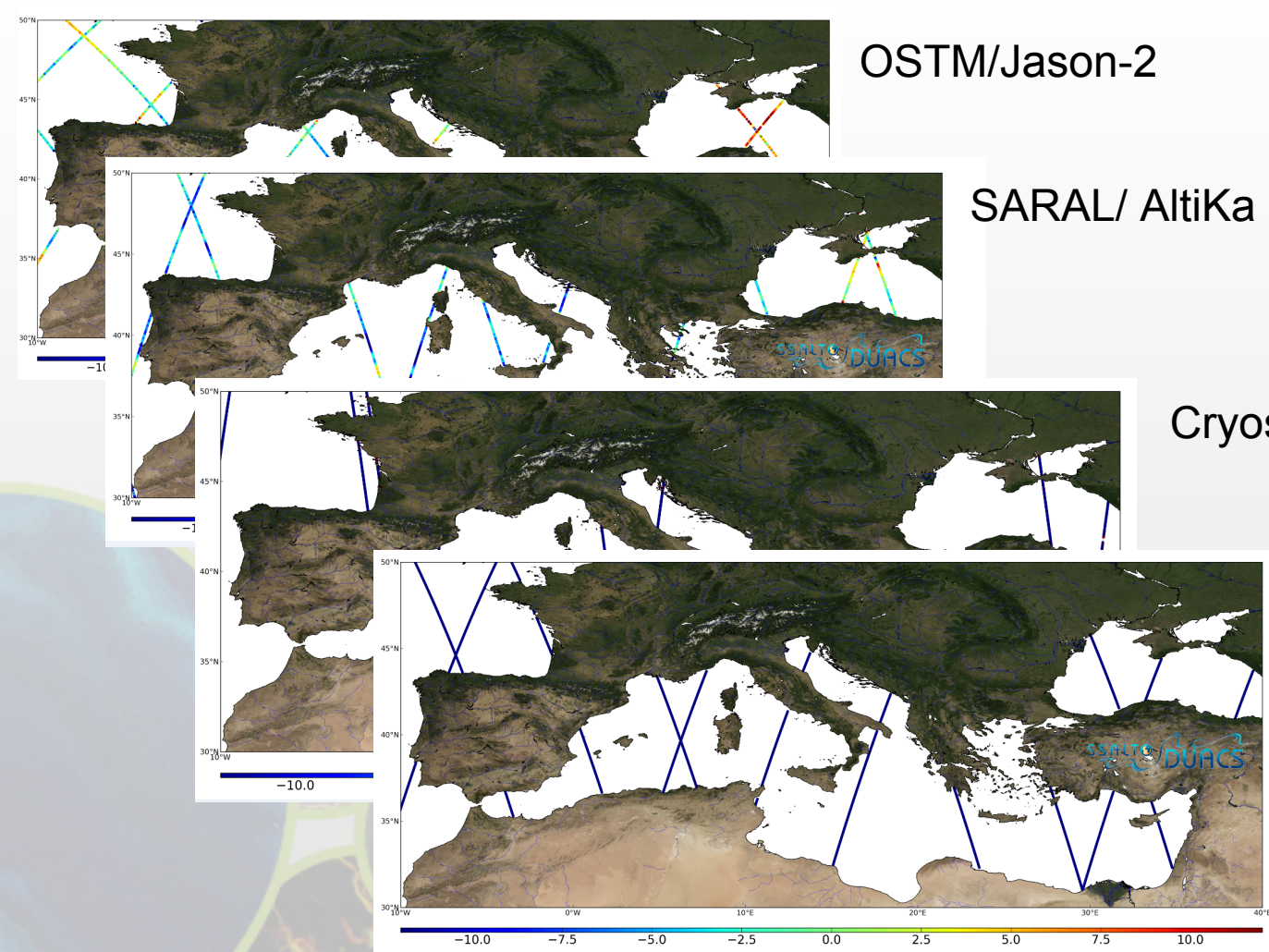
SARAL/ AltiKa



Cryosat-2



Hy-2A





# GRAVIMETRIE SPATIALE – MISSIONS

CHAMP, GRACE et GOCE

Mesure du Géoïde et de ses variations.

Essentiel pour

- la précision des missions altimétriques (orbitographie)
- La connaissance du géoïde=> topographie dynamique absolue
- Bilan en masse des glaces et bassins hydrologiques

