

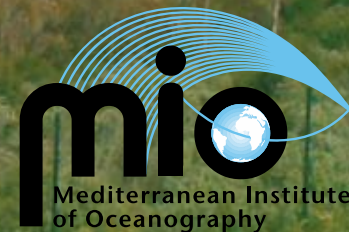


# Courantologie radar: avancées méthodologiques et perspectives pour l'exploitation des données

Philippe Forget <sup>(1)</sup> Alexei Sentchev <sup>(2)</sup> Yves Barbin <sup>(1)</sup>  
Julien Marmain <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> M.I.O. Université du Sud Toulon Var

<sup>(2)</sup> Université du Littoral Côte d'Opale



" 1/3/2011 Bonjour Yves,

Nous voudrions organiser une réunion destinée préciser les produits radars de courant pour la communauté scientifique.

Il est en effet souvent évoqué la nécessité d'alimenter par les mesures radar courantologiques des bases de données accessibles aux usagers scientifiques: laboratoires, observatoires, programmes.

Nous aimerions discuter entre collègues

- du **produit** lui-même : composantes radiales, vecteurs, grillage géographique

- du **niveau de traitement**, pouvant aller du simple à l'élaboré, par ex. lissage par contrôle optimal, carte d'erreurs de vitesse interpolée, quantification de l'effet des vagues

- des **critères de qualité** requis

- des questions en rapport avec l'**accessibilité**, l'hébergement et la gestion des bases de données "

# HF/VHF radars : what for

## Main

Monitoring of coastal circulation at relevant scales of time (long term) and space (long range)

- support to **process** study in ocean dynamics
  - support to ocean modelling: assessment, surface condition, model downscaling, assimilation
  - support to ecological studies
  - support to measurements at sea
- *Tide analysis*
  - *Long-term, seasonal residuals*
  - *Lagrangian particle tracking*
  - *Diffusion analysis*
  - *Divergence and vorticity*
  - *Shelf and edge waves*
  - *Mesoscale eddies*

## Special

- environment : fate & transport of pollutants (esp. oil spill pollution)
- search and rescue
- risk (floods, tsunamis)
- ship detection .....

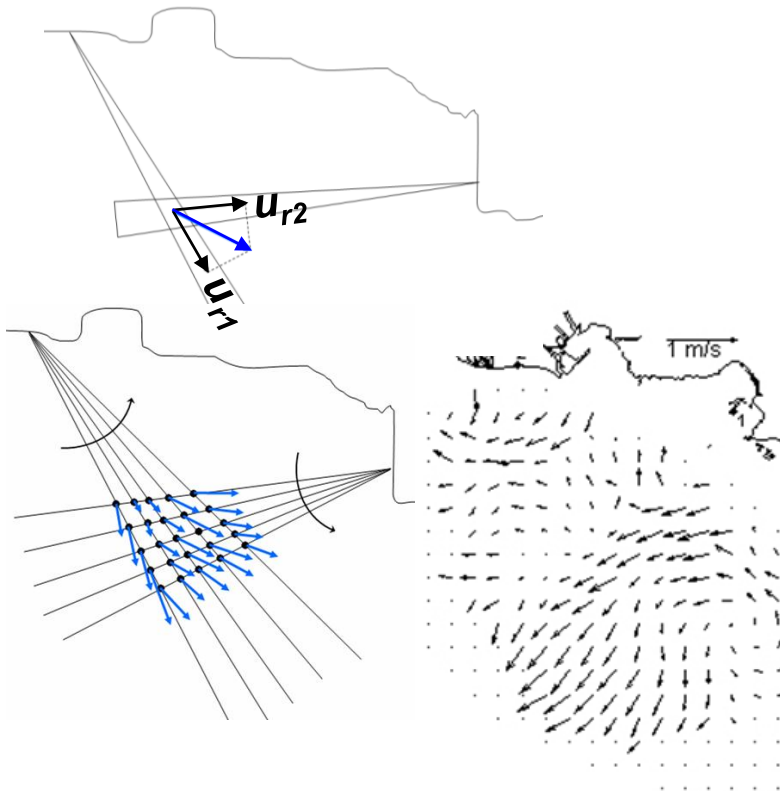
# HF/VHF RS of ocean currents

integration depth =  $\lambda/8\pi$     VHF : 0.3 m

HF : 1 m

surface layer

principle in brief



HF systems nowadays

**CODAR**  $\approx$ 150 over the world

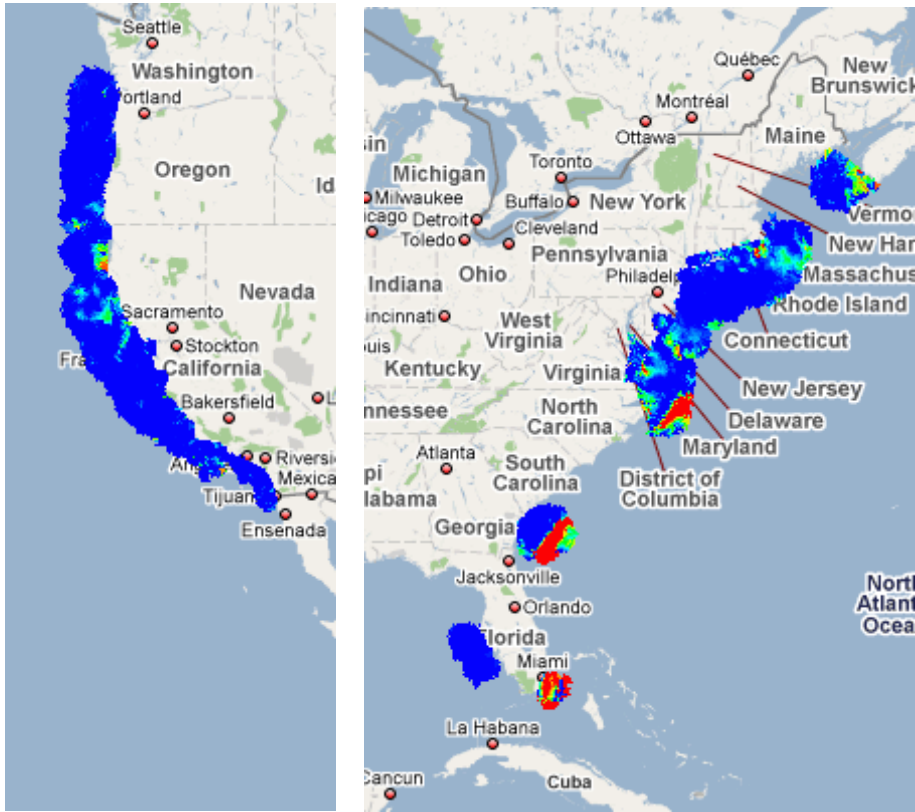
**WERA** (Heltzel Co.)  $\approx$  20

**Others** (labs - private - military)

Countries (CODAR) : Argentina - Brazil -  
Australia - Canada - Chile - China -  
Croatia - Egypt - France - Greece -  
Germany - India >10 - Israel - Italy >5 -  
Japan >10 - Jordan - Korea >10 - Mexico  
- Norway >10 - Portugal - Spain >5 -  
Taiwan >10 - Thailand >5 - Spain -  
Russia - US >50

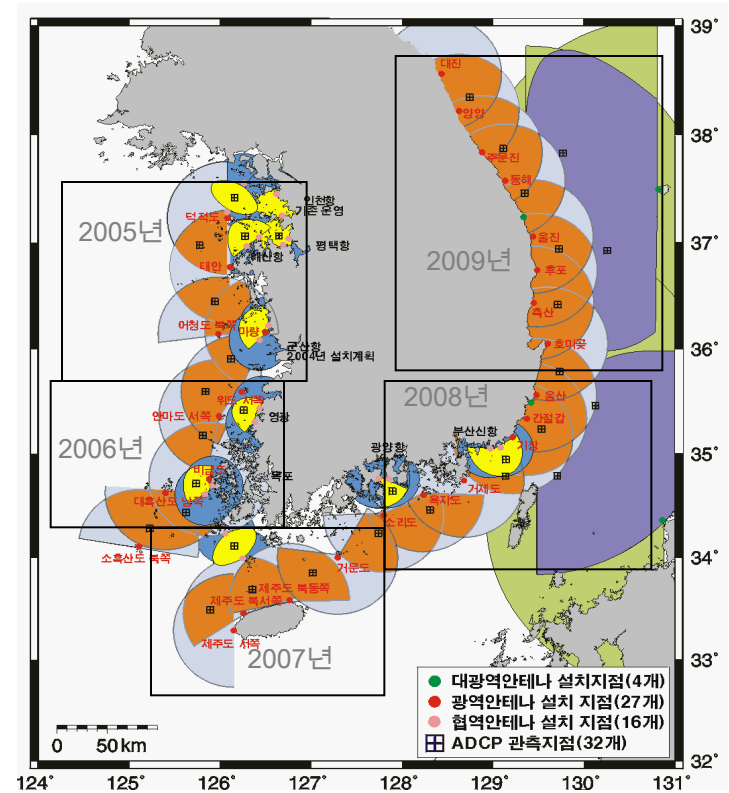
# Examples of networks

## Seonde's in US



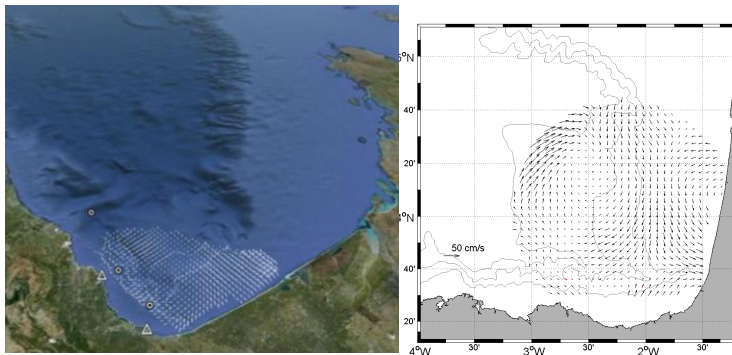
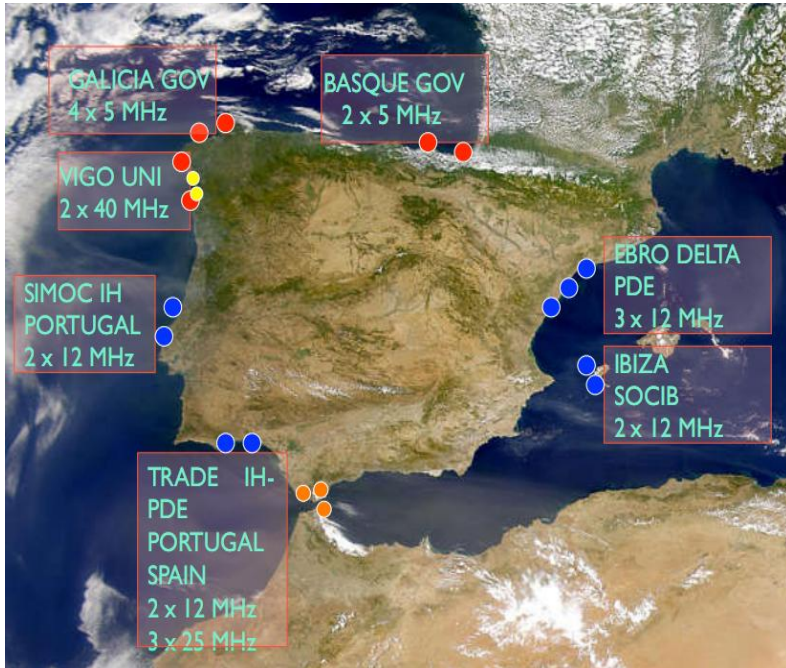
U.S. Integrated Ocean Observing System (IOOS®) High Frequency Radar Network (leader *Jack Harlan*)

## in Korea



O. Jeong 2010

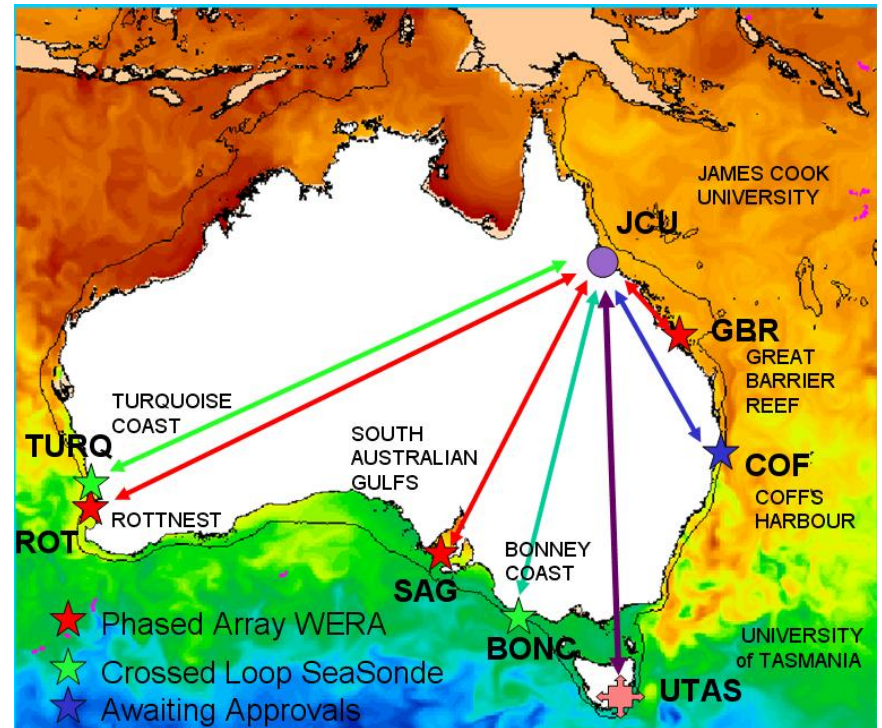
# in Spain



Julien Mader, et al 2011

Anna Rubio et al. 2010

# Australian network ACORN



# Networks en France

**EQUIPEX** projet **FONCE** 1er réponse à AO  
15/09/2010

Système Français d'Observation de  
l'Environnement en zones Côtières P.I. IFREMER  
Financement d'un réseau national d'observation  
côtière comprenant l'initiation d'un réseau de  
radars côtiers

Projet adossé aux SOERE Systèmes d'observation et  
d'expérimentation au long terme pour la recherche en  
environnement

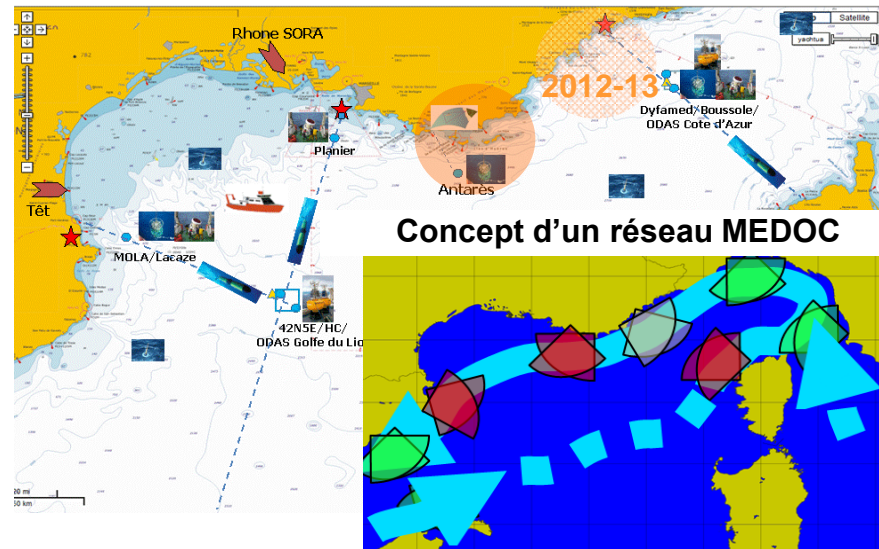
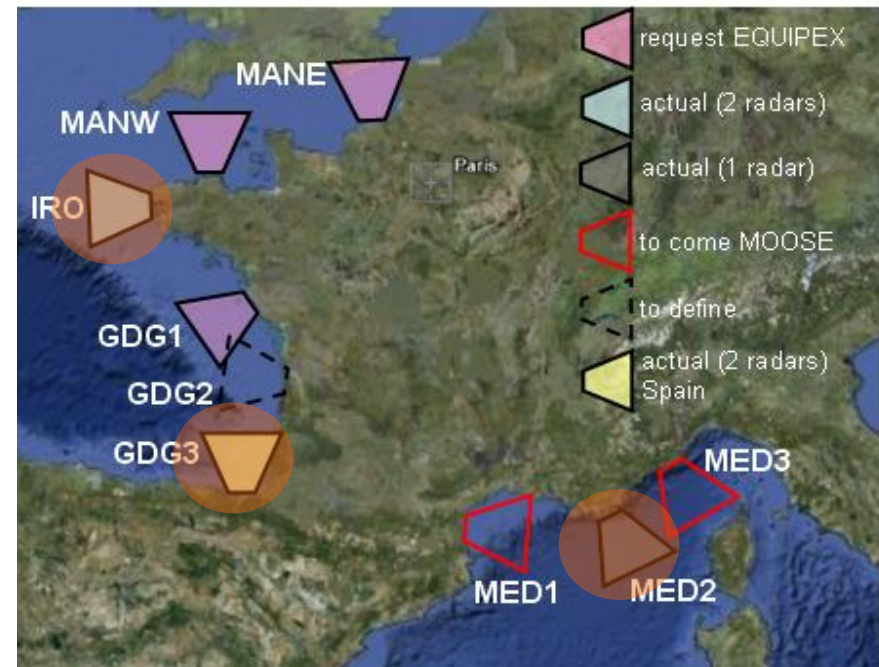


réseau d'observation long terme, multi-site et intégré

- + pérennisation séries temporelles
- + harmonisation stratégies d'observations
- + mesures automatisés temps réel devant augmenter le flot de données pour les modèles
- + contribution aux scénarios « du futur » : effets du changement climatique et et des activités anthropiques

réseau de plateformes fixes bouées de surface, lignes de mouillage profondes et mobiles navires, gliders, flotteurs dérivants

sites continentaux pour les fleuves, les apports atmosphériques et la courantologie de surface par télédétection radar.



Radiowave Oceanography Workshop

- 2001 Timberline, Oregon
- 2002 Landeda, France
- 2003 Venise, Italie
- 2004 Townsville, Australie
- 2005 Costanoa, CA
- 2006 Hamburg, Allemagne
- 2007 Cancu, Mexico
- 2008 Hawaiï, USA
- 2009 Split, Croatie
- 2010 Timberline, Oregon
- 2012 Toulon, France

# Enjoy ROW 2012

## *in Toulon !!!!*





# Gestion des données

## Protocols ACORN *Mal Heron ROW 2009*

**Level 0:** Raw data in proprietary format; suitable for re-processing.

**Level 1:** First level of current extraction from raw data

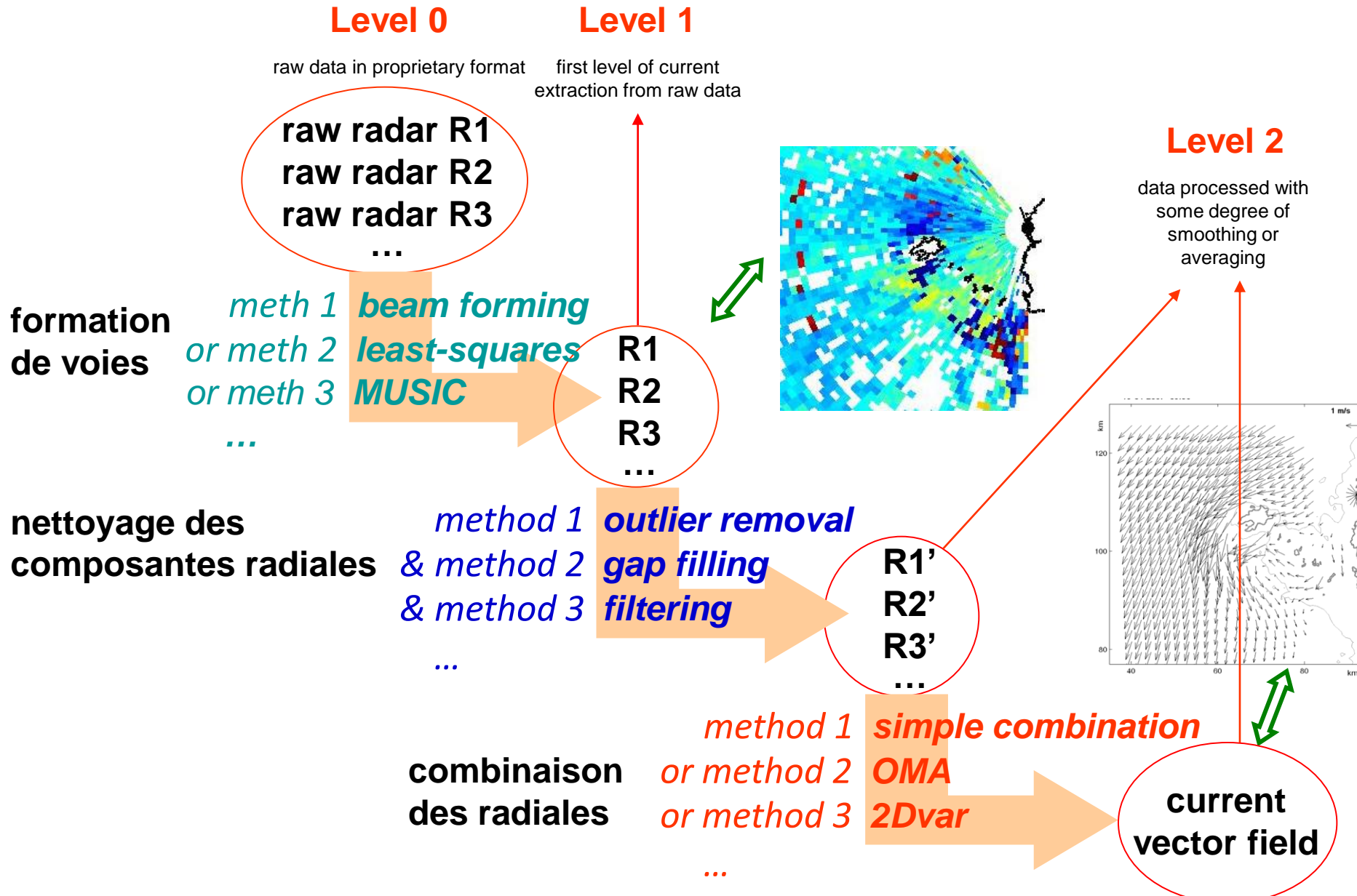
**Level 2:** Data processed with some degree of smoothing or averaging

**Level 3:** Data packaged for easy access and presentation

Every data file has an associated metadata file (data about file structure and data content) (e.g. NETCDF Structure)

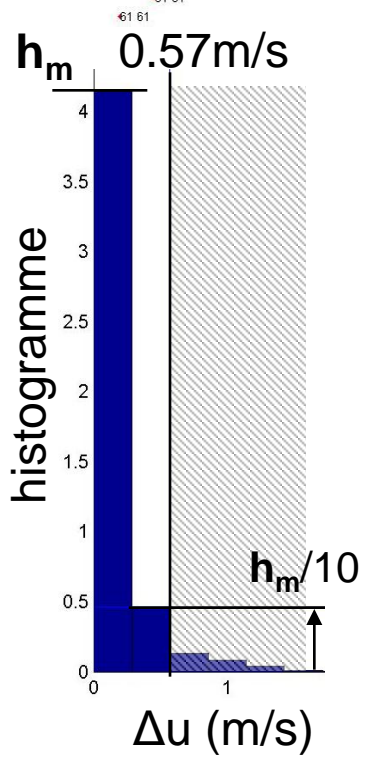
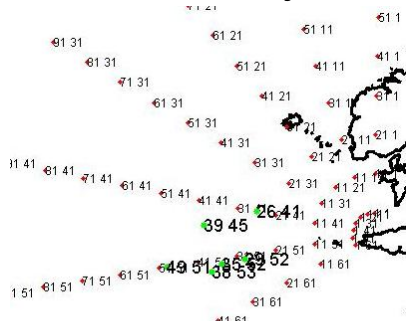
Every data point has a **Quality Control (QC)** index and **error estimate**.

# Chaîne de traitement



# outlier removal + gap filling + resampling + filtering

BREZELLEC 2007  
10 avril-10 juin



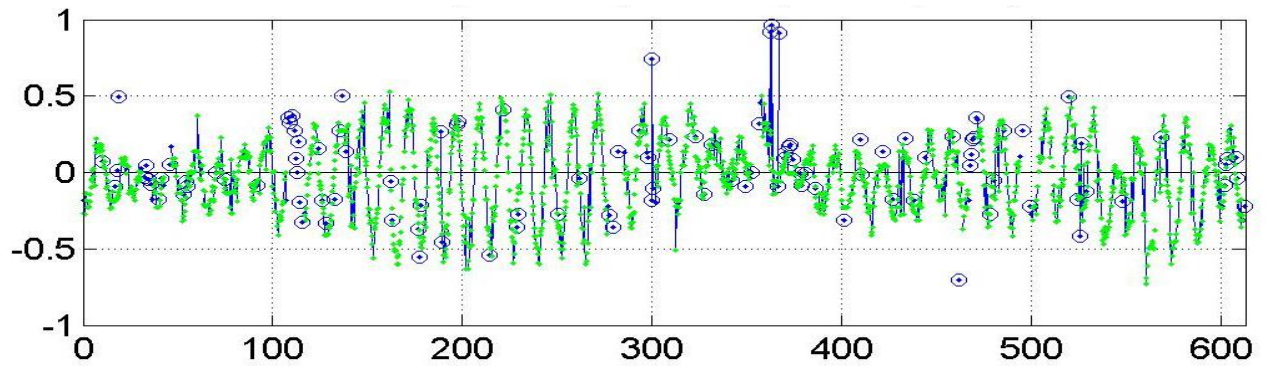
**Outlier:** histogramme des sauts de vitesse => ôtage des valeurs correspondant à  $\max(\text{hist})/N$  (ici:  $N=10$ )

**Gap filling:** interpolation conditionnée

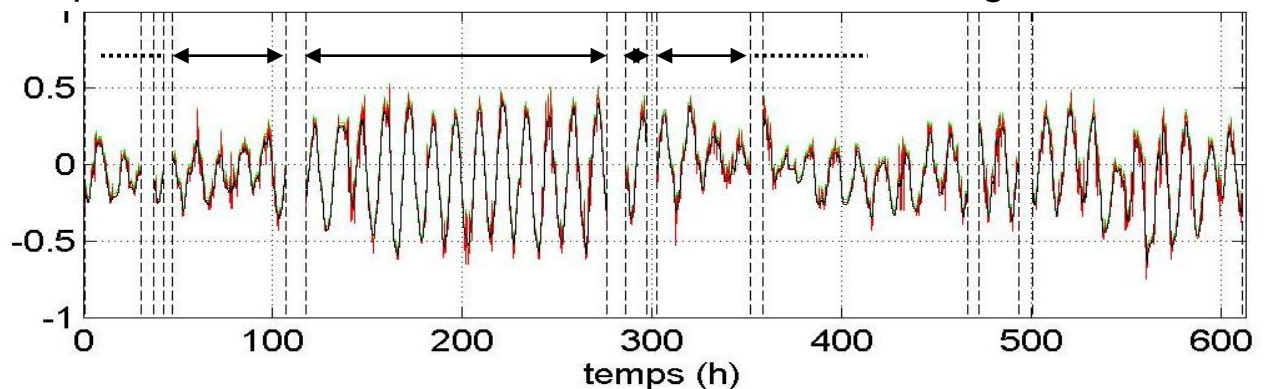
**Traitement séquences continues:** ici resampling et moy. glissante

=> il s'agit d'un post-traitement (pour le moment)

points bruts      outliers ○ ○      interpolation si voisinage <2h

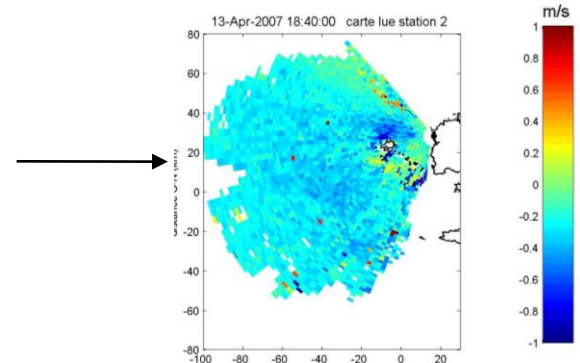
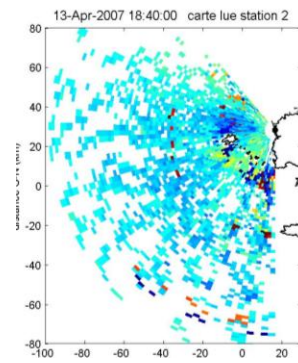
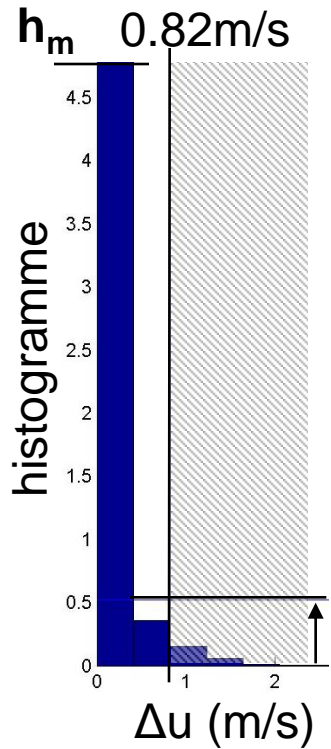
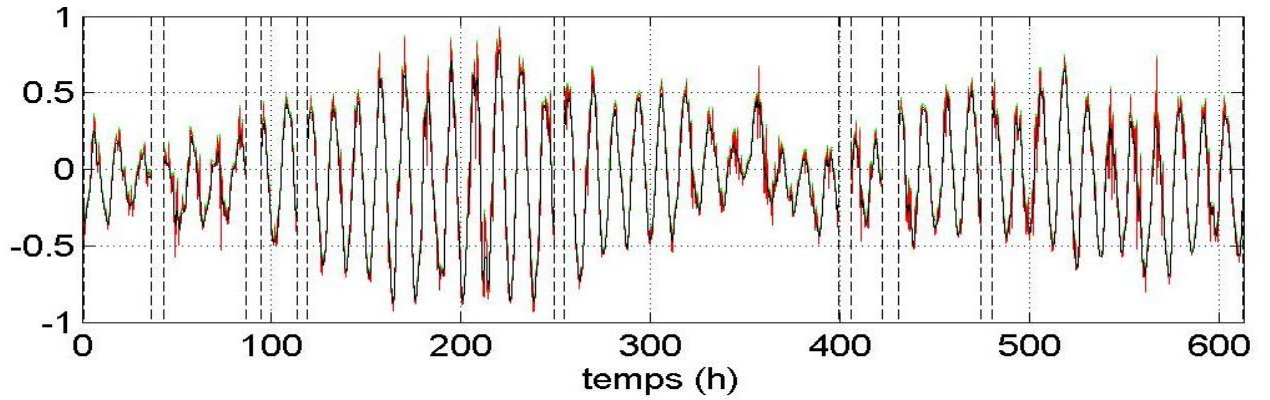
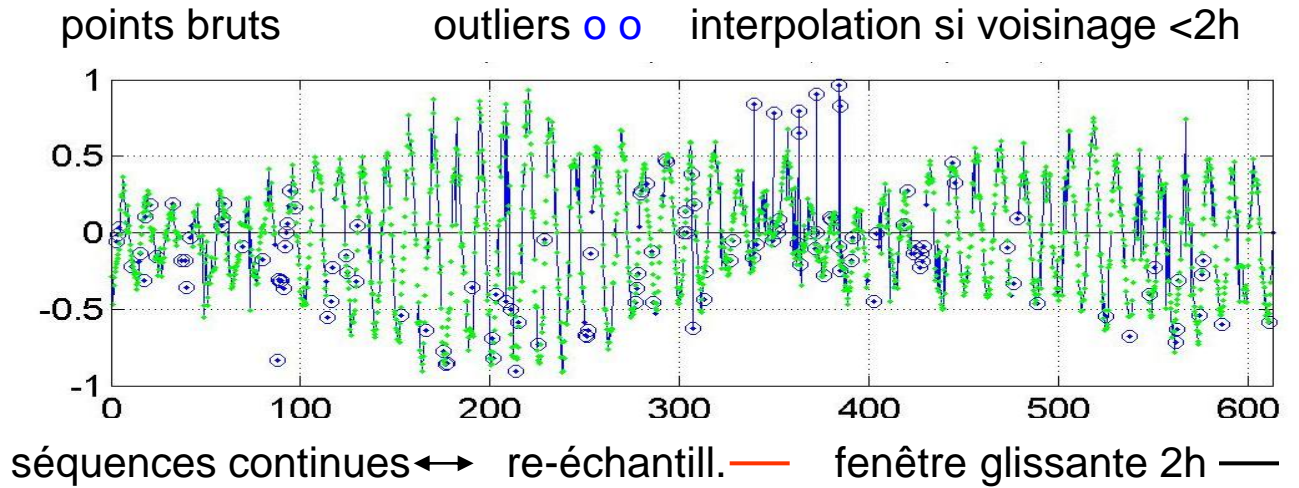
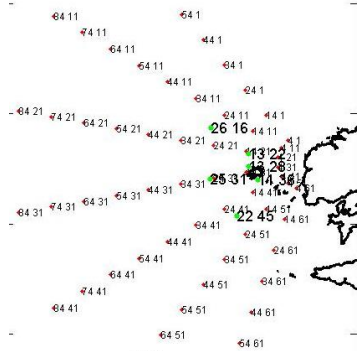


séquences continues ↔ re-échantill. — fenêtr. glissante 2h —



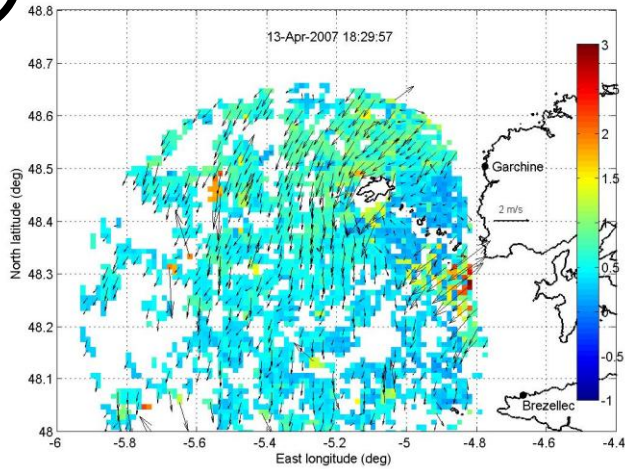
# GARCHINE 2007

## 10 avril-10 juin



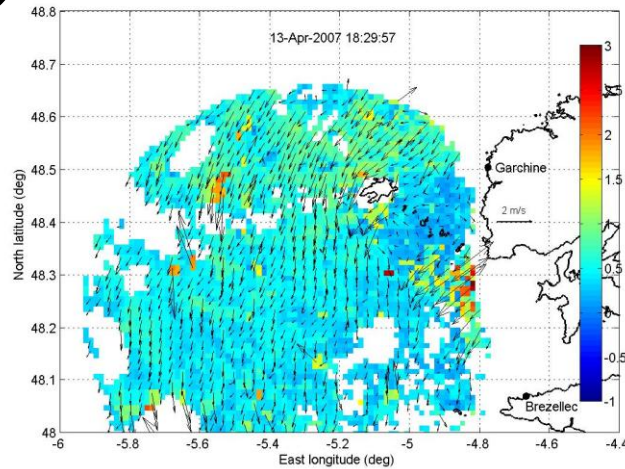
1

carte avec données brutes



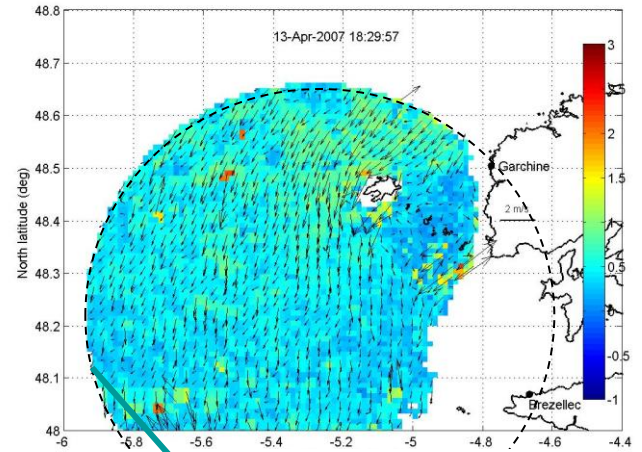
2

avec données brutes + gap filling simple



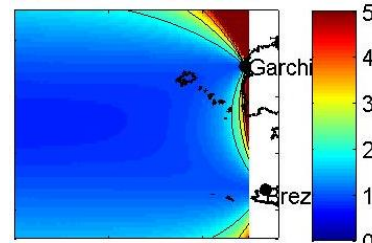
3

avec données brutes avec traitement temporel « outlier removal + gap filling »

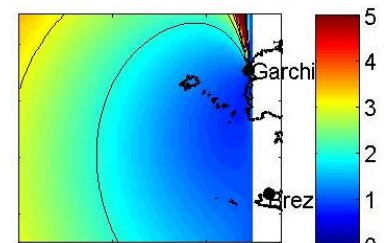


zone à dilution de précision géométrique acceptable

incertitude normalisée sur les composantes cartésiennes



composante WE



composante SN

# OMA Open Boundary Modal Analysis

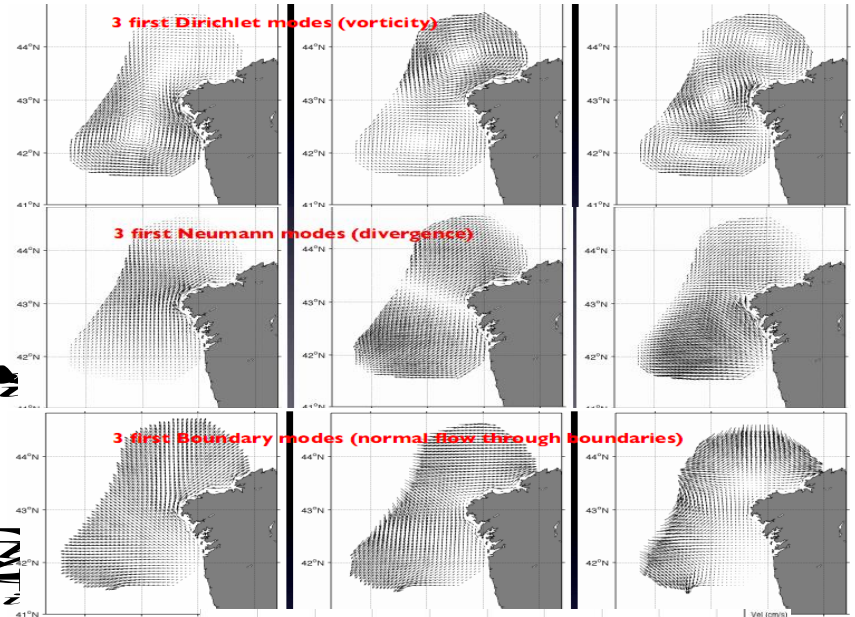
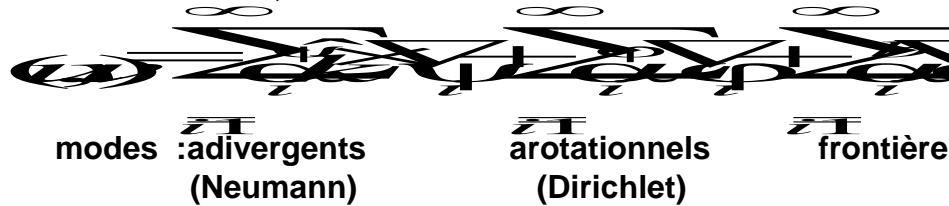
Kaplan & Lekien 2007

[parent method: NMA Lipphardt et al. 2000]

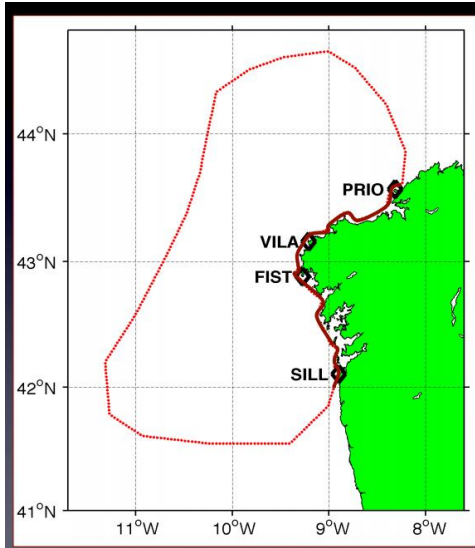
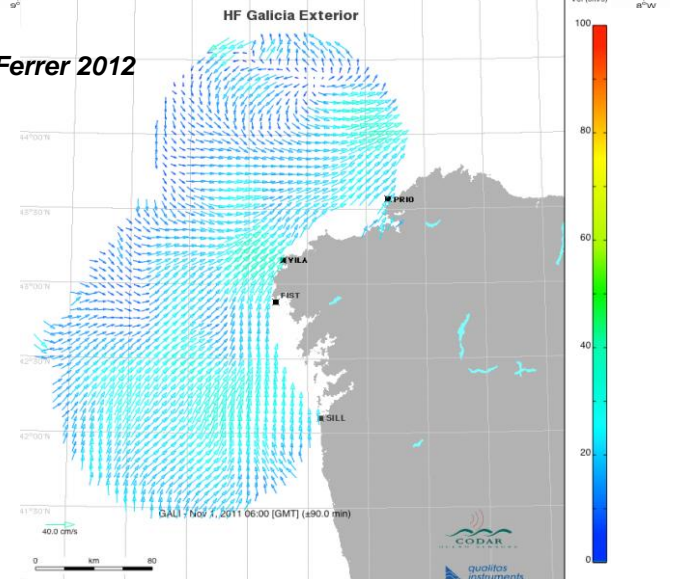
Principe: ajustement optimal des modes décrivant les structures possibles du courant aux mesures



M mesures , N modes



Fernandez, Ferrer 2012



$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_\phi + \mathbf{u}_\psi + \mathbf{u}_b$$

Pre-defined region where modes are computed and open (dashed line) and closed (continuous line) boundaries are defined.

Three sets of basic functions (truncated at an spatial resolution of **25 Km**) :

- **Dirichlet** (53) - vorticity
- **Neumann** (72) - divergence
- **Boundaries** (29) – normal flow through boundaries

# EOF-based gap filling + 2dVar

Yaremchuk & Sentchev 2011

## 1. gap filling

Alvera-Azcarate et al. 2005

itération

compute zeroth-approximation to C:

**C=covariance matrix**

$$C_{ij} = \overline{(v_i - \bar{v}_i)(v_j - \bar{v}_j)}; \quad \overline{\varphi_i \varphi_j} = \frac{1}{N_{ij}} \sum_{n=1}^N \varphi_i^n \varphi_j^n$$

expand  $v(\mathbf{x}_k \in \Omega \setminus \Gamma^n)$  in  $K_s$  modes of C:

**EOF decomposition**

$$\text{find } \alpha_i : \sum_{\mathbf{x}_k \in \Omega \setminus \Gamma^n} \left[ v(\mathbf{x}_k) - \sum_{i=1}^{K_s} \alpha_i^n e_i(\mathbf{x}_k) \right]^2 \rightarrow \min_{\alpha_i^n}$$

fill the gaps  $\Gamma^n$  using these expansions:

**gap filling**

$$v^*(\mathbf{x}_k \in \Gamma^n) = \sum_{i=1}^{K_s} \alpha_i^n e_i(\mathbf{x}_k \in \Gamma^n)$$

estimate the time-mean approximation error in  $\omega$ :

**approximation error**

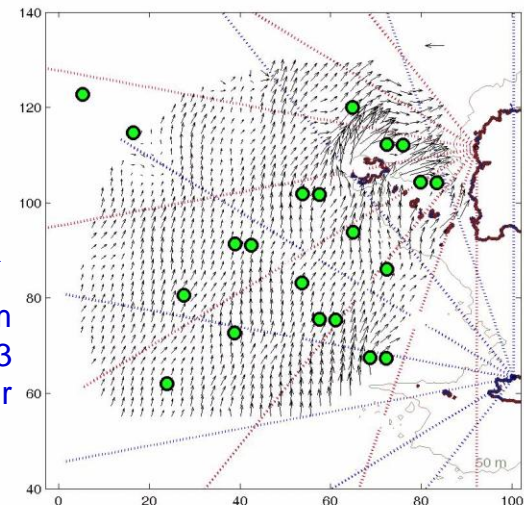
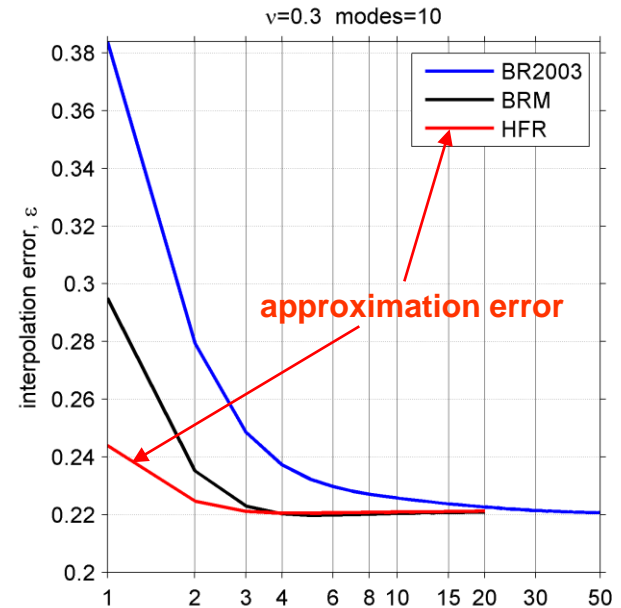
$$\varepsilon^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{\sum_{\mathbf{x}_k \in \omega} [v^*(\mathbf{x}_k) - v(\mathbf{x}_k)]^2}{\sum_{\mathbf{x}_k \in \omega} v^2(\mathbf{x}_k)}$$

compute new C using the filled data set

error estimation at random check points - update 3 times per hour

très efficace pour un *gappyness* uniforme de petite échelle

à considérer avec précaution comme interpolateur grande échelle



## 2. 2dVar 2d Variational interpolation

Yaremchuk & Sentchev 2009

Principe: minimisation de

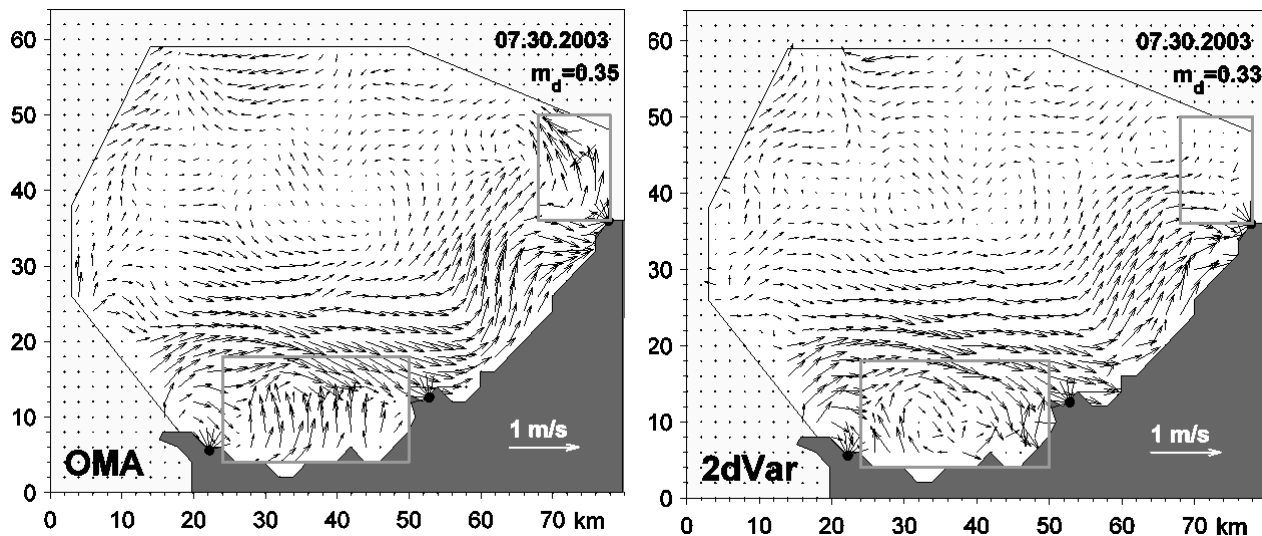
$$\sum_{i=1}^n \delta u_i^2$$

$u_i$  : composantes radiales recherchées<sup>(est)</sup> mesurées<sup>(mes)</sup>  
 $\delta u$  : précision de la mesure radiale (~ 2-3 cm/s)

$$+ \sum_{i=1}^n (W^d \nabla \cdot \vec{u} + W^c \nabla \times \vec{u})^2$$

terme de régulation contrôlant les propriétés de divergence et de rotationnel.  $W^d$  et  $W^c$  sont supposés constants. Ce sont les 2 seuls paramètres libres du problème.

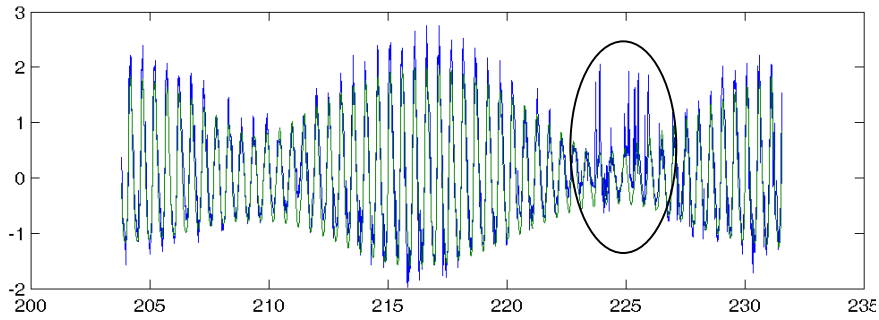
comparaison OMA – 2dVar Yaremchuck & Sentchev 2009



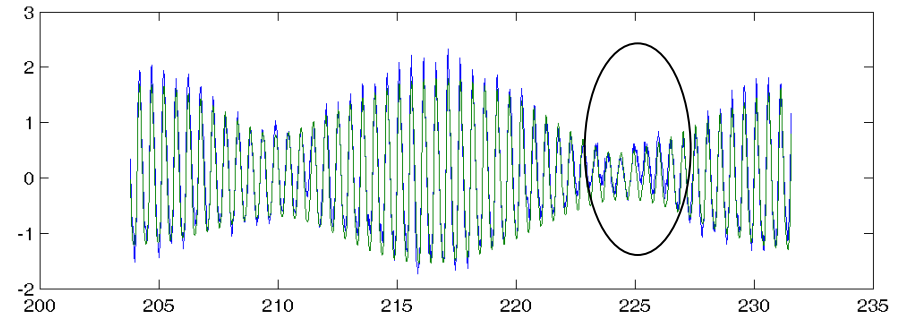


# Effets de la méthode 2dVar (Iroise)

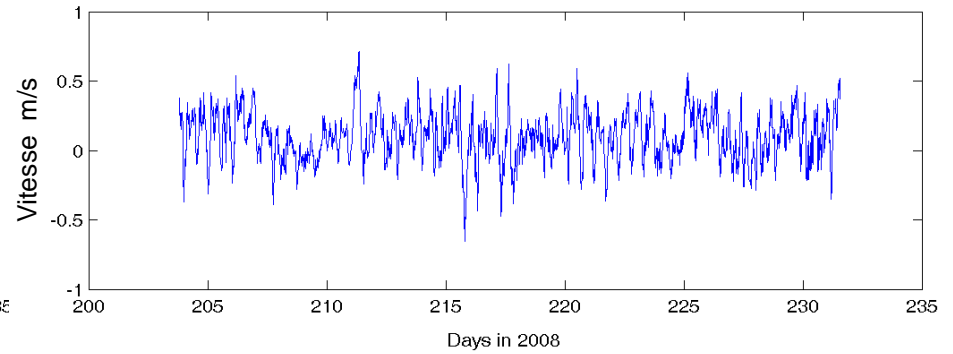
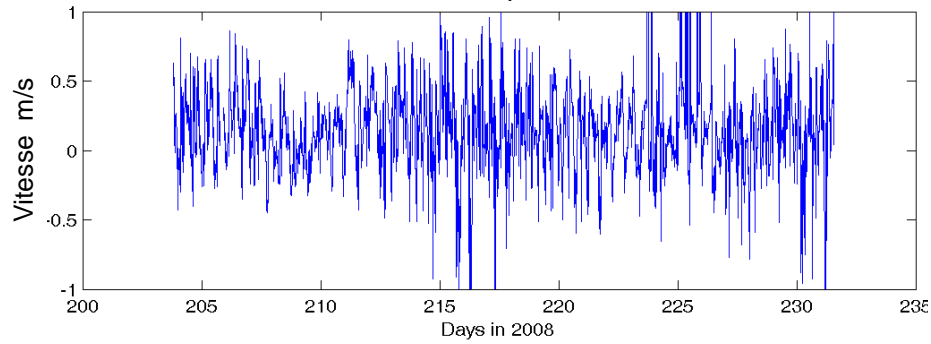
original



après 2dVar



De-tided velocity time series



# quality control (QC) and error estimate (ERR)

Level	QC	ERR
<b>0</b> raw data	noise level radar, antenna parameters	
<b>1</b> "first level of extraction from raw data "	method (BF,Music,Capon...) false alarm index (ref. to noise) RFI	yes, at every bin (normally uniform but with possible extra-perturbations)
<b>2</b> "data processed with some degree of smoothing or averaging"	<u>Radial component</u> outlier flag GF (gap filling): flag & method index if interpolation : method (OMA...) <u>Cartesian components</u> method (OMA...)	?  <u>simple combination of radial comp.</u> : yes, at every bin (GDOP) <u>2dvar</u> : yes, at every bin (from Hessian) <u>other methods</u> : ? propagated QC information from radial components

**3** "data packaged for easy access and presentation"

# Error estimate : discussion

ERR est une estimation d'erreur relative à la précision des fréquences Doppler et aux post-traitements du signal

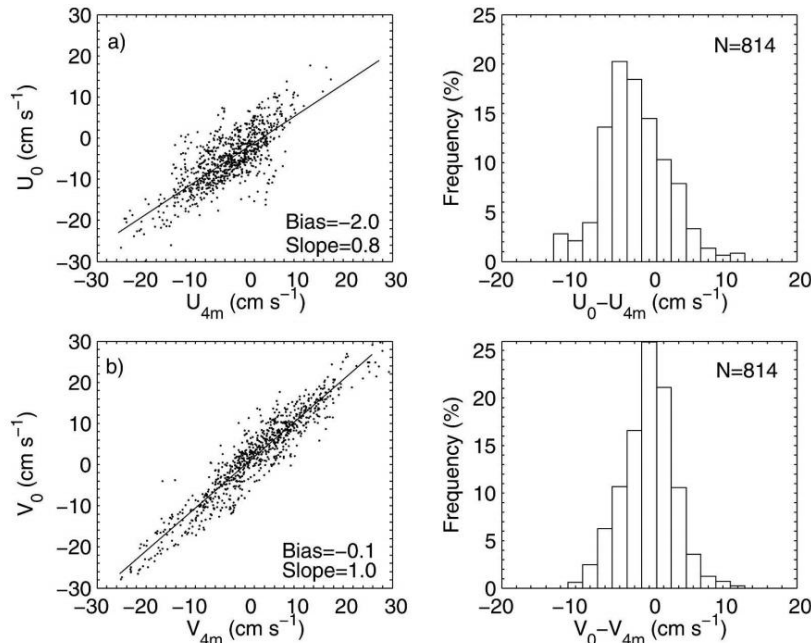
≠ fiabilité des valeurs de courant



les courants radar sont-ils validés



*Shay et al. 2007*



4 m

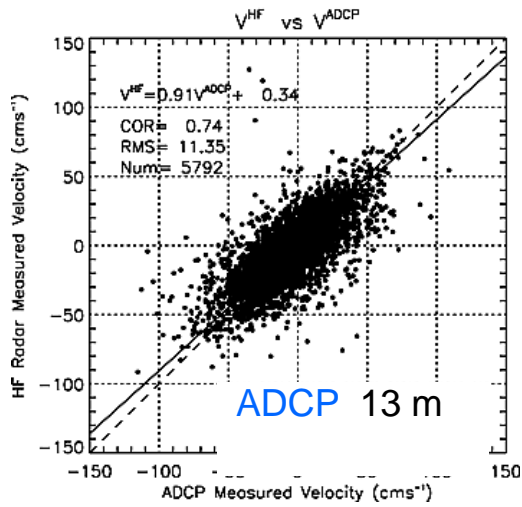
*Parks et al. 2009*

	2004				2005					Entire Record
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	
<i>u</i> (cm s <sup>-1</sup> )										
RMS	29.1	29.3	10.0	8.8	9.5	13.9	13.1	12.1	15.5	16.6
Slope	-0.1	0.0	0.4	0.4	0.5	0.1	0.4	0.3	0.3	0.2
Bias	7.2	15.4	11.5	10.2	5.8	7.2	6.3	8.2	12.3	11.3
<i>v</i> (cm s <sup>-1</sup> )										
RMS	13.2	10.4	14.6	14.7	12.3	22.2	29.7	22.7	24.2	18.9
Slope	1.1	1.1	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.8	1.0	0.9
Bias	-11.5	-7.7	10.6	2.8	-5.0	-12.0	-21.0	-3.3	-21.1	-8.8

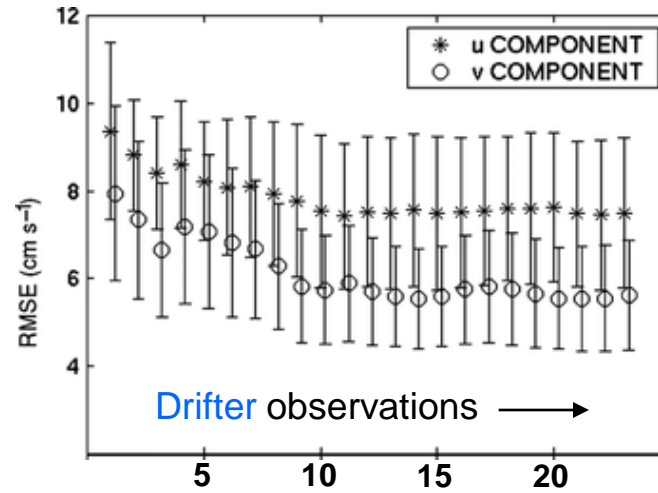
comparaisons radar – ADCP

14 m

**Yoshikawa et al. 2006**

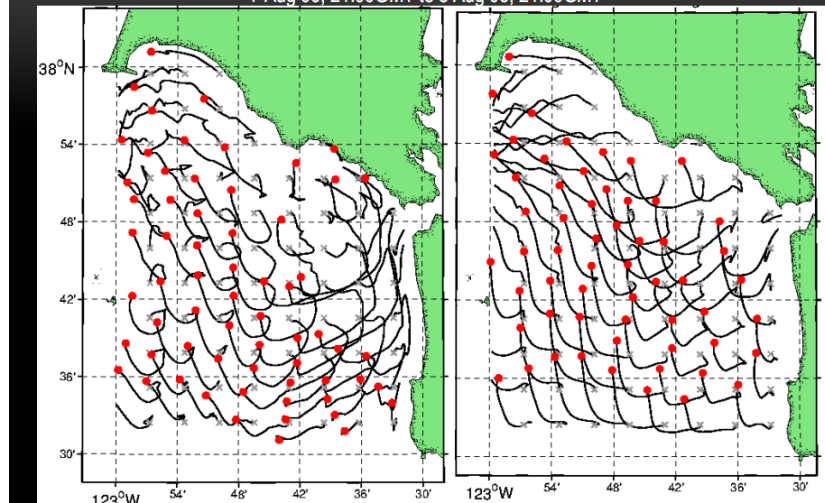


**Ohlmann et al. 2007**



We routinely produce 24-hour forecast trajectories using tides & mean currents

7 Aug 06, 21:00GMT to 8 Aug 06, 21:00GMT



from drifters

from radar

**Paduan 2012**

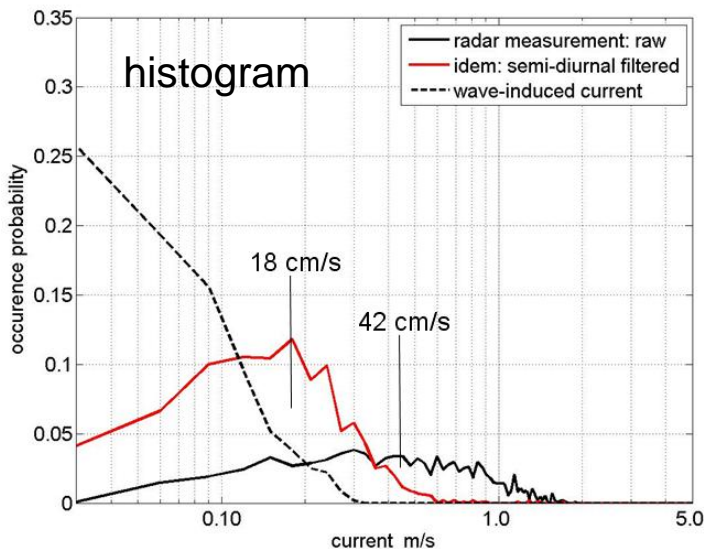
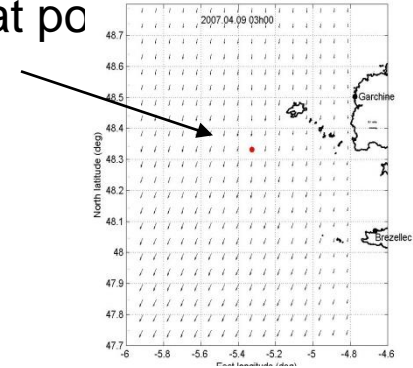
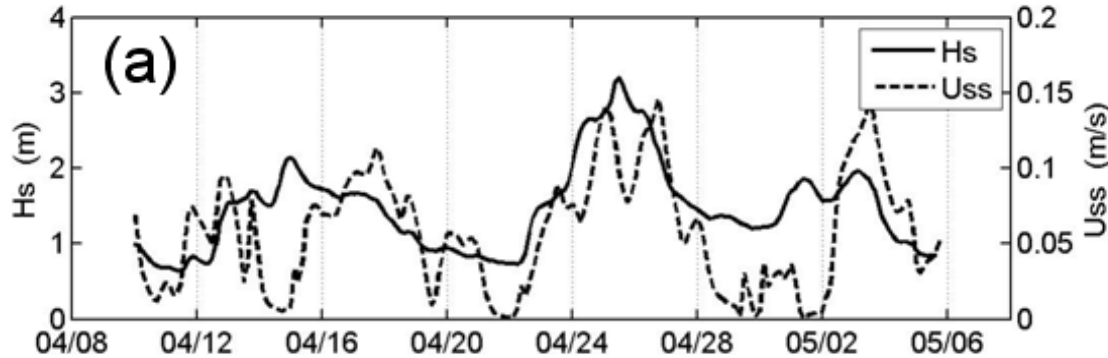
Sources d'erreur :

- variations du courant dans la cellule (plusieurs km<sup>2</sup>)
- variations du courant pendant le temps d'intégration
- fluctuations du diagramme des antennes individuelles

En principe, ces erreurs sont compensées par les traitements de niveau 2

# wave bias

Wave induced current ( $U_{ss}$ ) and significant waveheight ( $H_s$ ) at po



→ weak but non-negligible contribution of wave-derived surface current for residuals

*Ardhuin F et al 2009*

Le biais des vagues pourrait (devrait) faire partie des QC

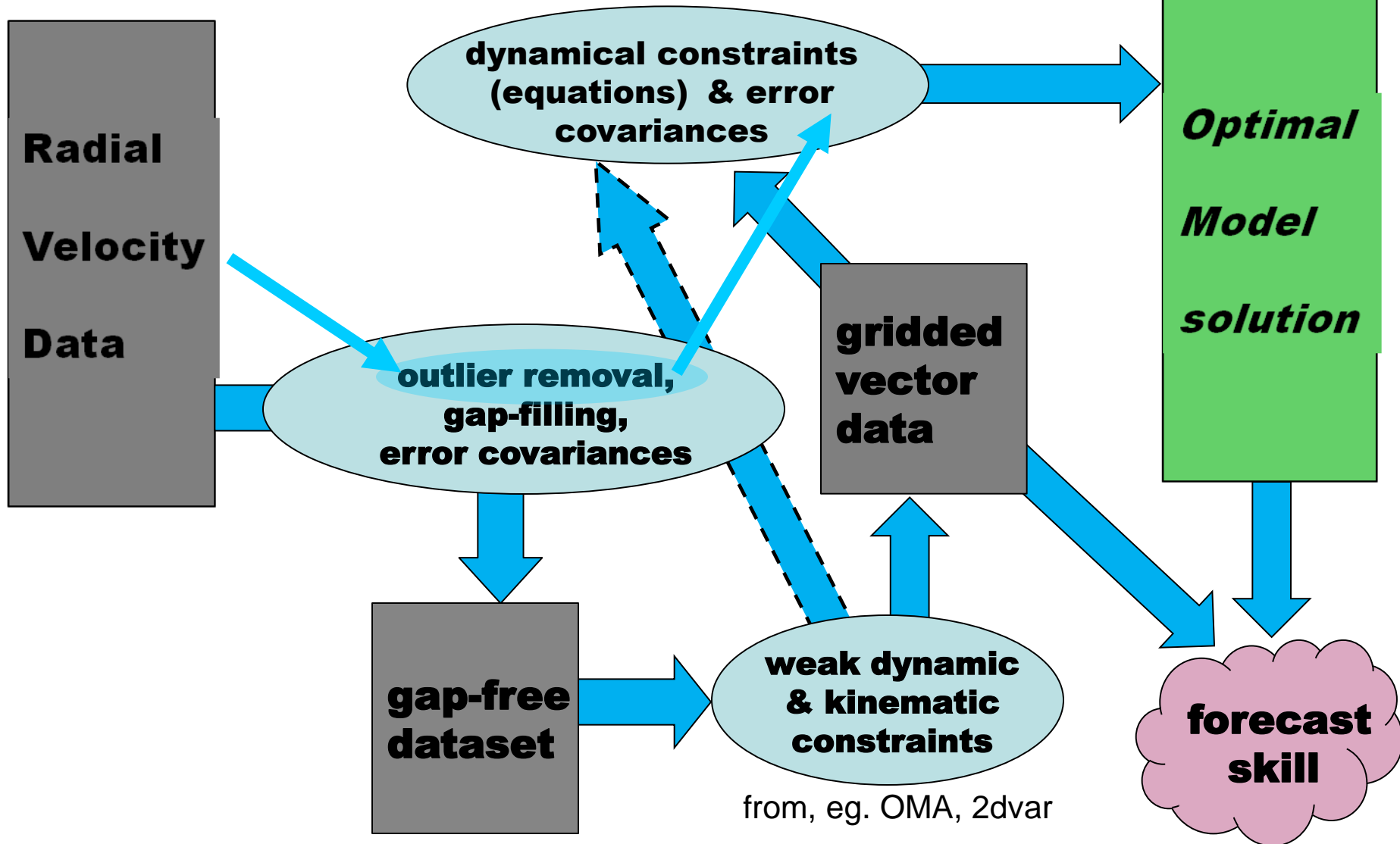
# archivage

	Level 3	Level 2	Level 1	Level 0
Surface Currents	maps, movies	60 min averages; speed & direction ACORN 16 MB/day <b>Iroise 20 min</b> <b>20 MB/j = 7 GB/an</b>	10 min; radial components each station 52 MB/day <b>Iroise 20 min</b> <b>6 MB/j = 2 GB/an</b>	
Raw Time Series	<b>Phased Array WERA</b>			Phase & quadrature at each receive antenna for each station. 3GB/day <b>Iroise 24 GB/j = 9 To/an</b>

	Level 3	Level 2	Level 1	Level 0
Surface Currents	maps, movies	One hour averages; speed & Direction 16 MB/day	30 min; radial components to each station. 32 MB/day	
Raw Time Series	<b>Direction-Finding CODAR</b>			Phase & amplitude at each receive antenna for each station. 0.3GB/day

# assimilation des mesures radar

from Yaremchuk 2012

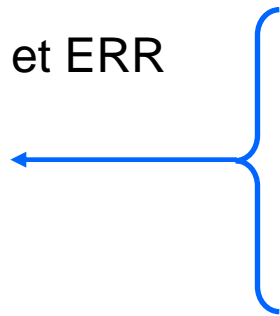




# conclusions

## Produits utilisateur

- composantes radiales de niveau 2 avec QC et ERR
- cartes vectorielles (niveau 2) avec QC et ERR
- à définir niveau 3 : produits dérivés



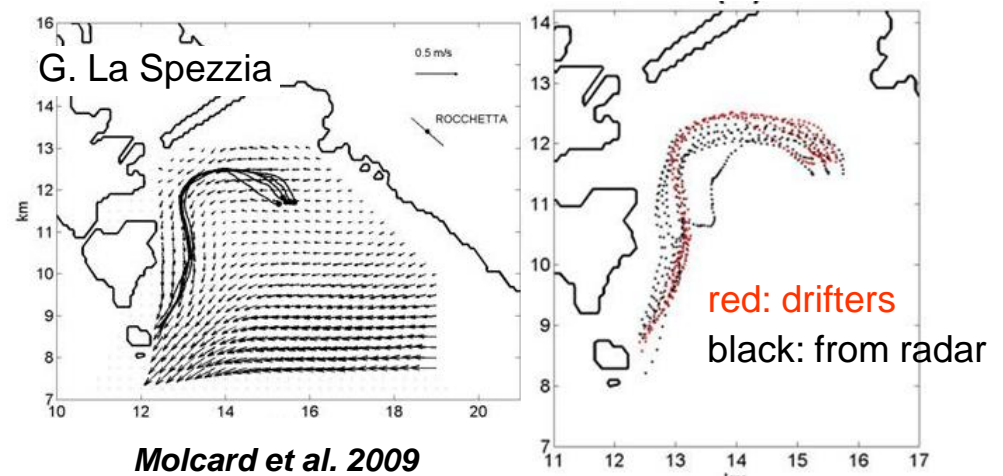
harmoniques de marée  
ellipses  
résiduelles de marée  
courants détidés  
paramètres inertiels  
statistiques  
animations

## Archivage

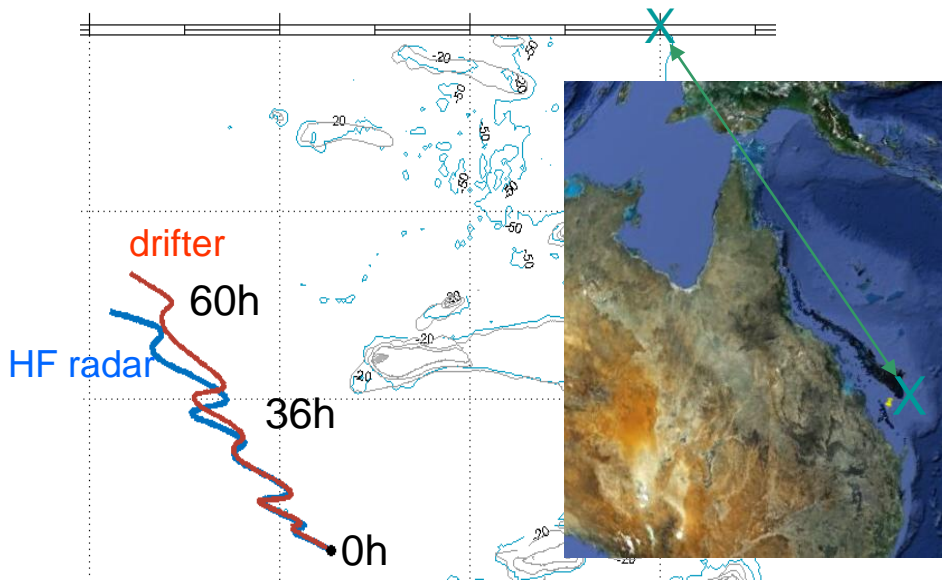
- données brutes
- données niveau 1
- produits utilisateur

Accessibilité, hébergement : ?

une raison importante de disposer de données lisses et continues :  
**dérive lagrangienne**



*M. Heron 2012*



*Ullman et al. 2006*

