

# Couplage dynamique océan – atmosphère – vagues à très haute résolution (~25 m)

Garnier Valérie, Mickael Accensi, Fabien Lecker (SHOM), Jean-Luc Redelsperger,  
Marie-Noëlle Bouin, Fabrice Ardhuin



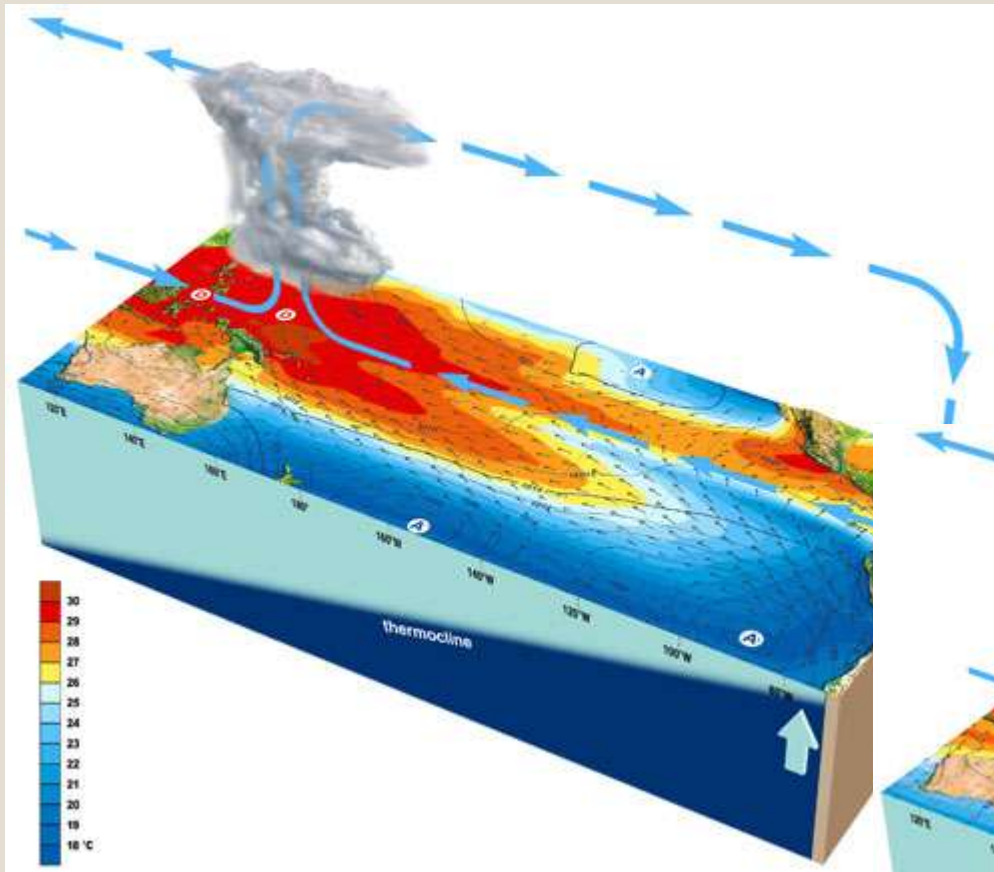
P. Doc J. Pianezze



MINISTÈRE  
DE L'ÉCOLOGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT  
DURABLE  
ET DE L'ÉNERGIE



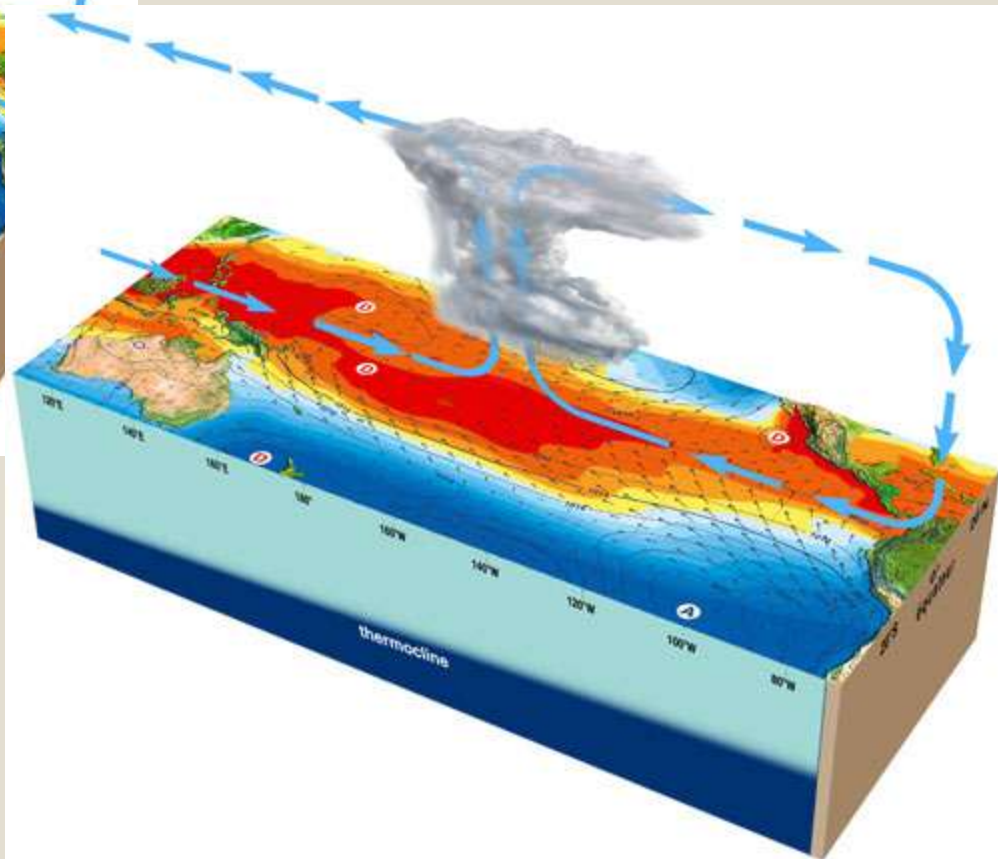
# Couplage ? Pourquoi donc ?



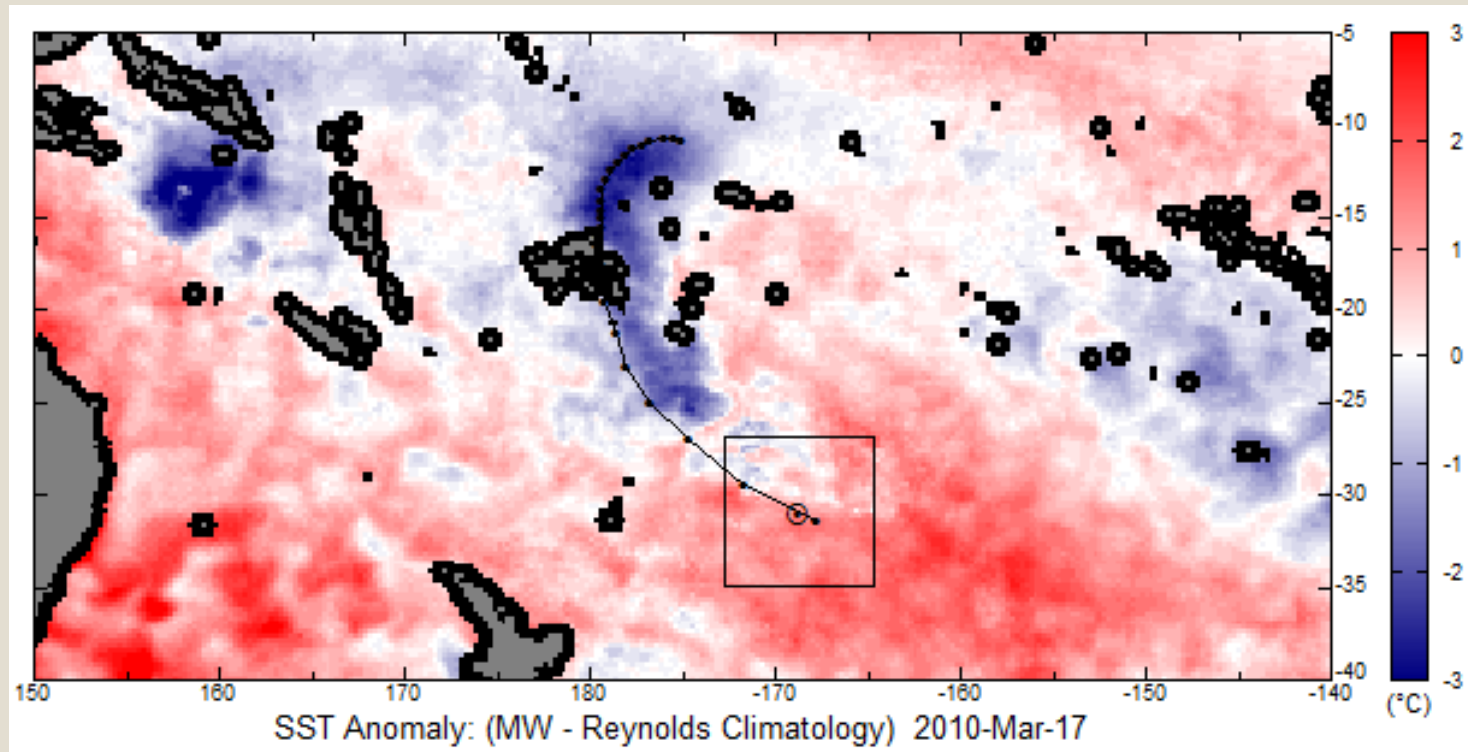
Situation normale

F. Poulain, Météo-France

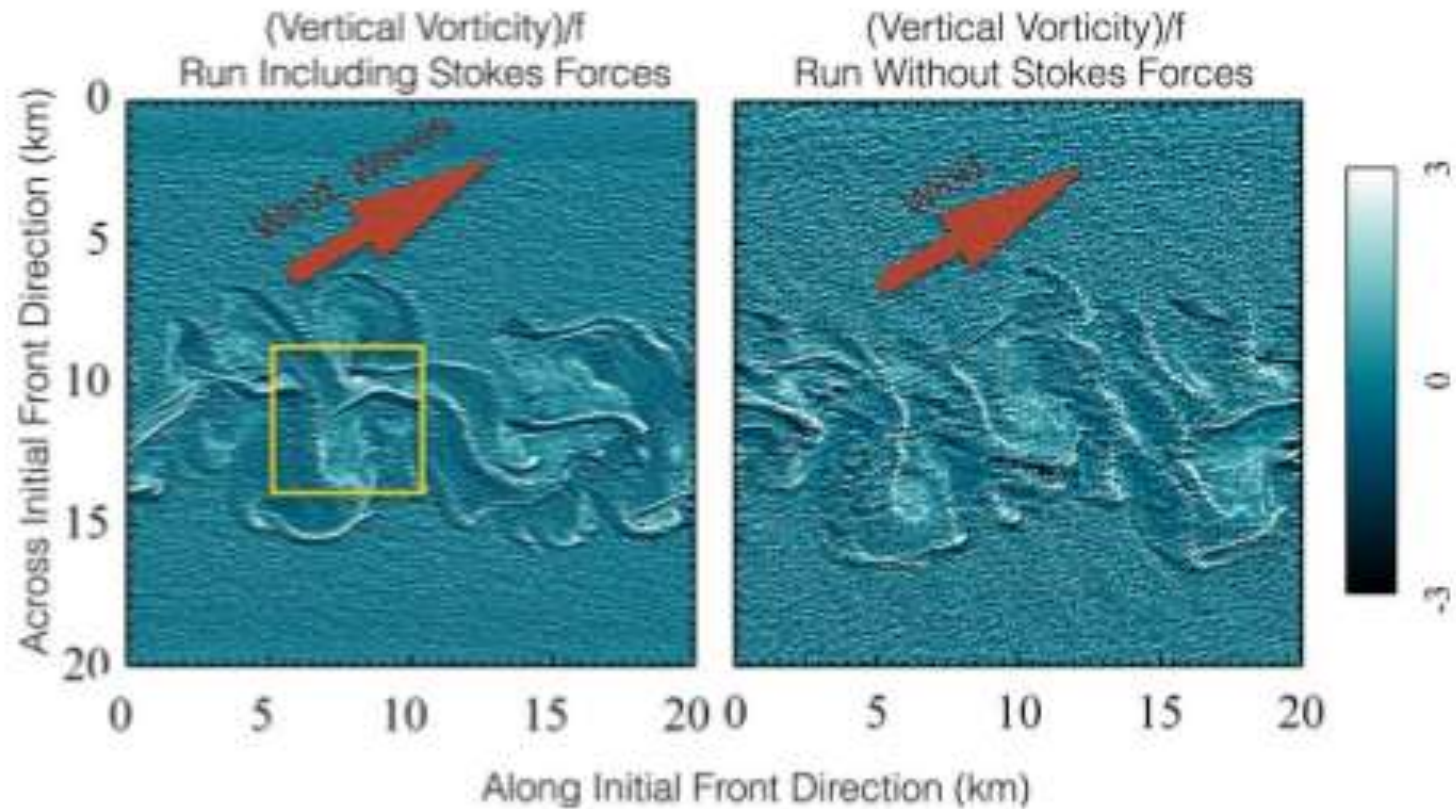
El Nino



# Couplage ? Pourquoi donc ?

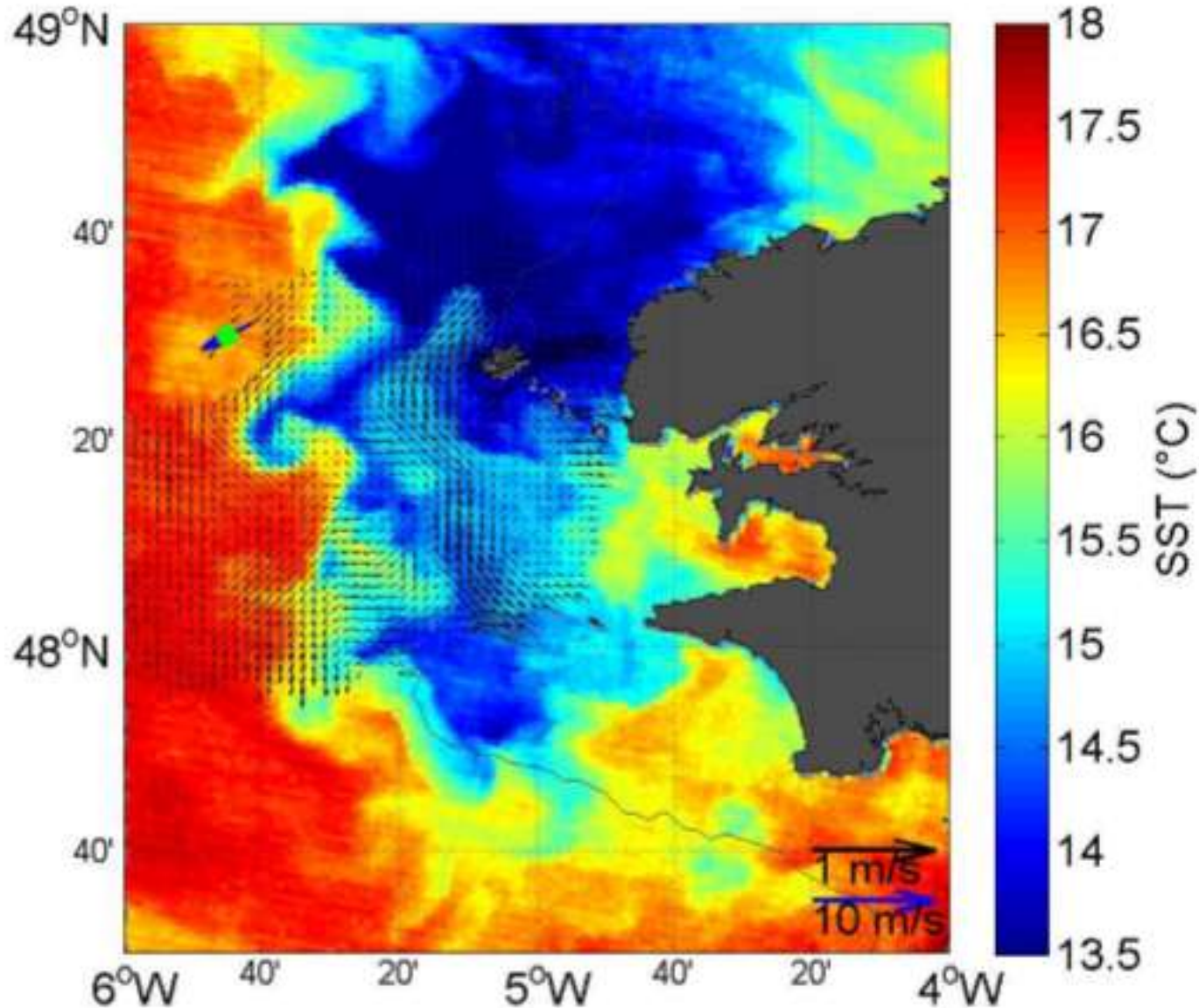


# Couplage ? Pourquoi donc ?



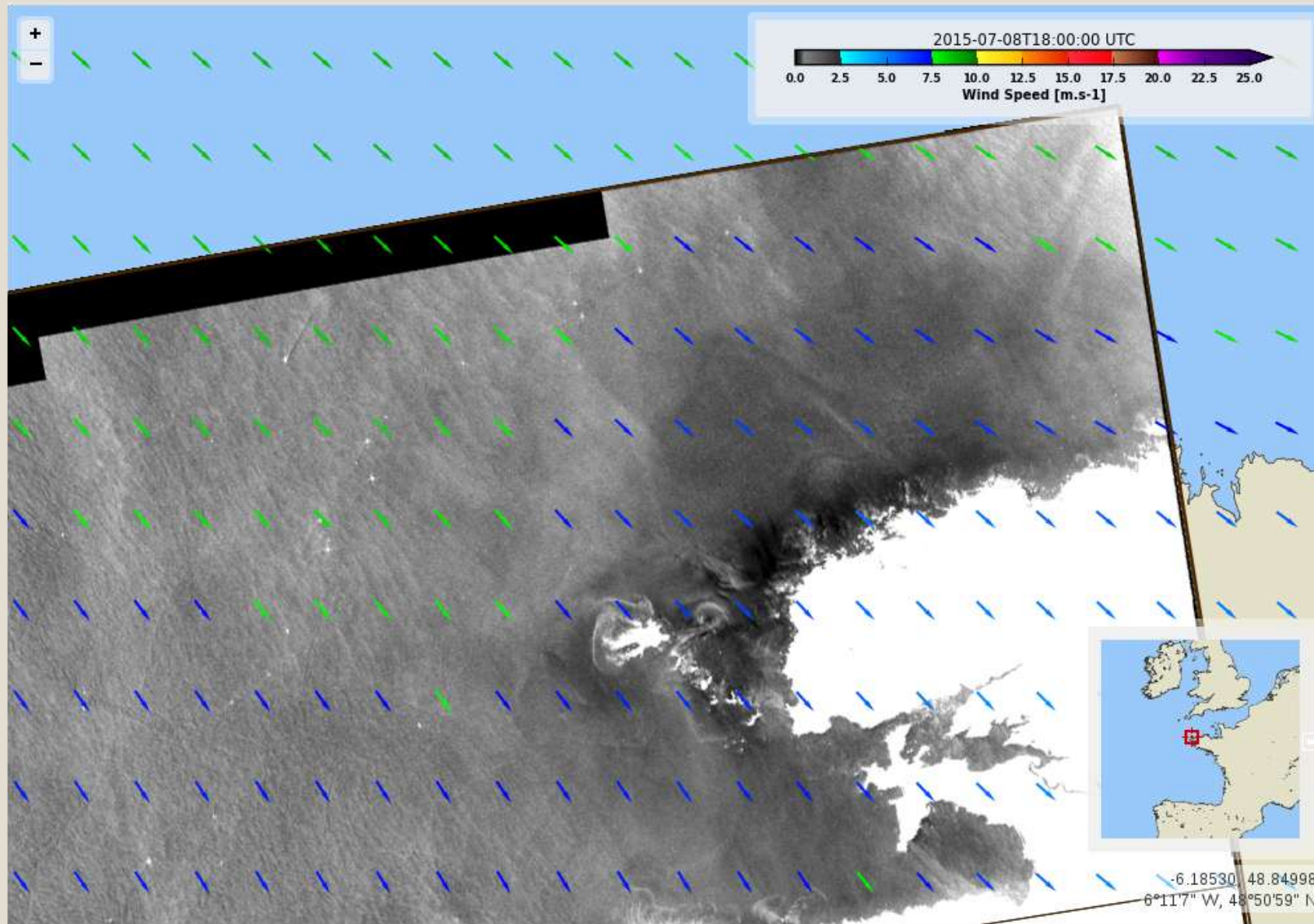
Hamlington et al. 2014

# Couplage ? Pourquoi donc ?



(Detided surface currents from the SHOM HF radar system,  
05/09/2007 MODIS SST data from the « Ocean Color Web » site)

# Couplage ? Pourquoi donc ?



SAR 8 juillet 2015

# Couplage ? Pourquoi donc ?

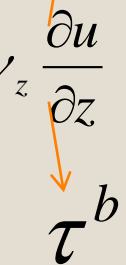
Rétroaction entre les différentes dynamiques

- atmosphérique
- océanique
- vagues

Dynamique d'interaction ?

# Dynamique océan et atmosphère

## Mouvement

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} v_x \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} v_y \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} v_z \frac{\partial u}{\partial z}$$


Termes atmosphériques fonction de SST, SSU, SSV,...

## Température, salinité

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [uC] + \frac{\partial}{\partial y} [vC] + \frac{\partial}{\partial z} [wC] = \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial C}{\partial z}$$

$E - P$

$\phi_{sw} + \phi_{lw} - (H + LE)$





# Couplage océan atmosphère



**Modèle atmosphérique**

Flux chaleur  
Tensions  
Pluie  
Evap  
Pa

Température  
Courant

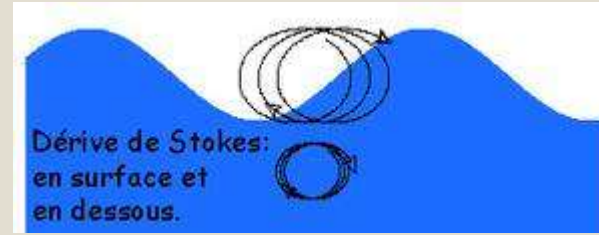
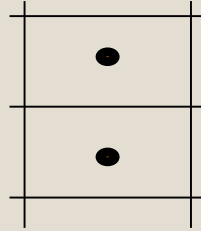


**Modèle océan**

# Quand les vagues s'invitent

Formalisme  
quasi-eulérien

$$\hat{u} = u^L - u_s$$



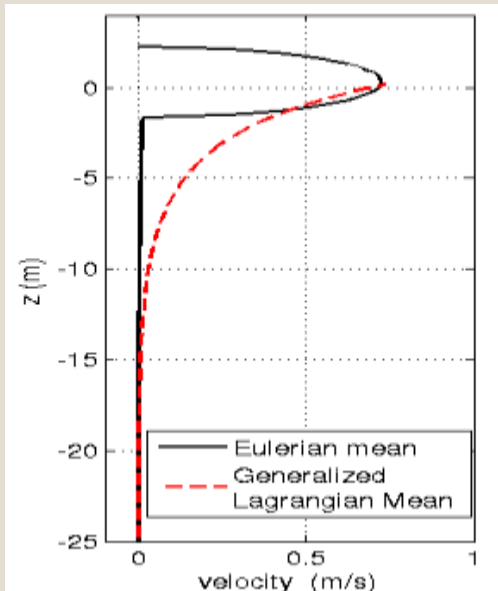
$$\tau^a = \tau_w^a + \tau_{wo}^{surf}$$

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial t} + \hat{u} \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \hat{v} \frac{\partial \hat{u}}{\partial y} + \hat{w} \frac{\partial \hat{u}}{\partial z} - f\hat{v} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} v_x \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} v_y \frac{\partial \hat{u}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} v_z \frac{\partial \hat{u}}{\partial z}$$

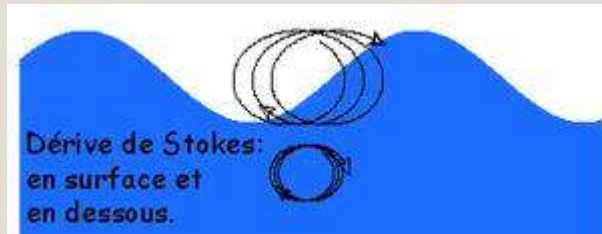
$$+ f v_s + \left( \frac{\partial \hat{v}}{\partial x} - \frac{\partial \hat{u}}{\partial y} \right) v_s - w_s \frac{\partial \hat{u}}{\partial z} - \frac{\partial J}{\partial x}$$

$$\tau^b + \tau_w^b$$

Stokes 3D



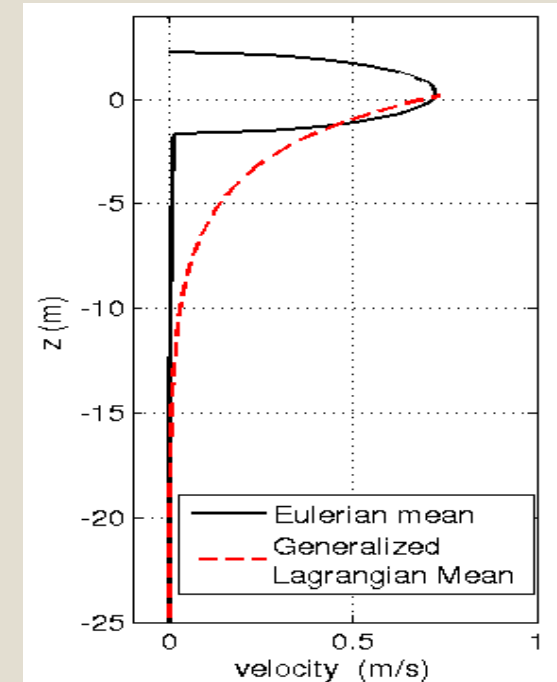
# Quand les vagues s'invitent



## Stokes 3D

Température, salinité

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(\hat{u} + u_s)C] + \frac{\partial}{\partial y} [(\hat{v} + v_s)C] + \frac{\partial}{\partial z} [(\hat{w} + w_s)C] = \dots$$



Ah... un peu de développement numérique...

Cas test monochromatique A.C. Bennis 2011  
Généralisation à domaine côtier (côte, obc, champs de vagues)

# Couplage multi-modèle

## Modèle atmosphérique

Flux chaleur  
Tensions  
Pluie  
Evap  
Pa

Température  
Courant

Hauteur  
significative  
Période

Vent

Stokes  
Flux d'énergie  
Qté de mouvement  
Vitesse orbitale  
Hauteur significative  
....

Niveau  
Courant

**Modèle océan**

**Modèle vague**

37 variables échangées

# Coupleur OASIS-MCT

**OASIS**

Concept faiblement intrusif

sfx\_oasis\_init

Communicateur MPI

sfx\_oasis\_read\_nam

Lecture des namelists (var échangées)

sfx\_oasis\_define

Partition et liste des variables échangées

Time integration



sfx\_oasis\_recv

Échanges : réception des champs

dynamique

sfx\_oasis\_send

Échanges : envoi des champs

sfx\_oasis\_finalize

# Coupleur OASIS-MCT

bibliothèque

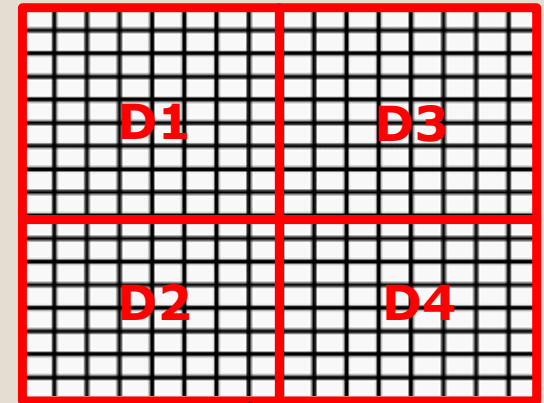
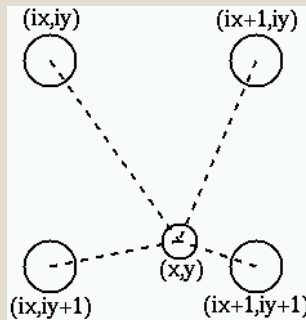
**OASIS**

Modèles  
Variables  
Pas de temps de couplage  
Style d'interpolation /  
position sur grille  
Opérations  
rstrc.nc  
[fichiers poids]



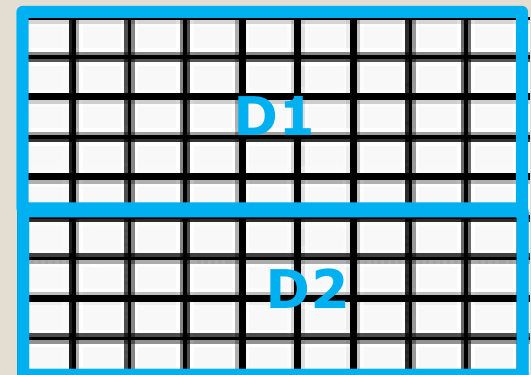
namcouple

Poids pour interpolation  
(SCRIP)

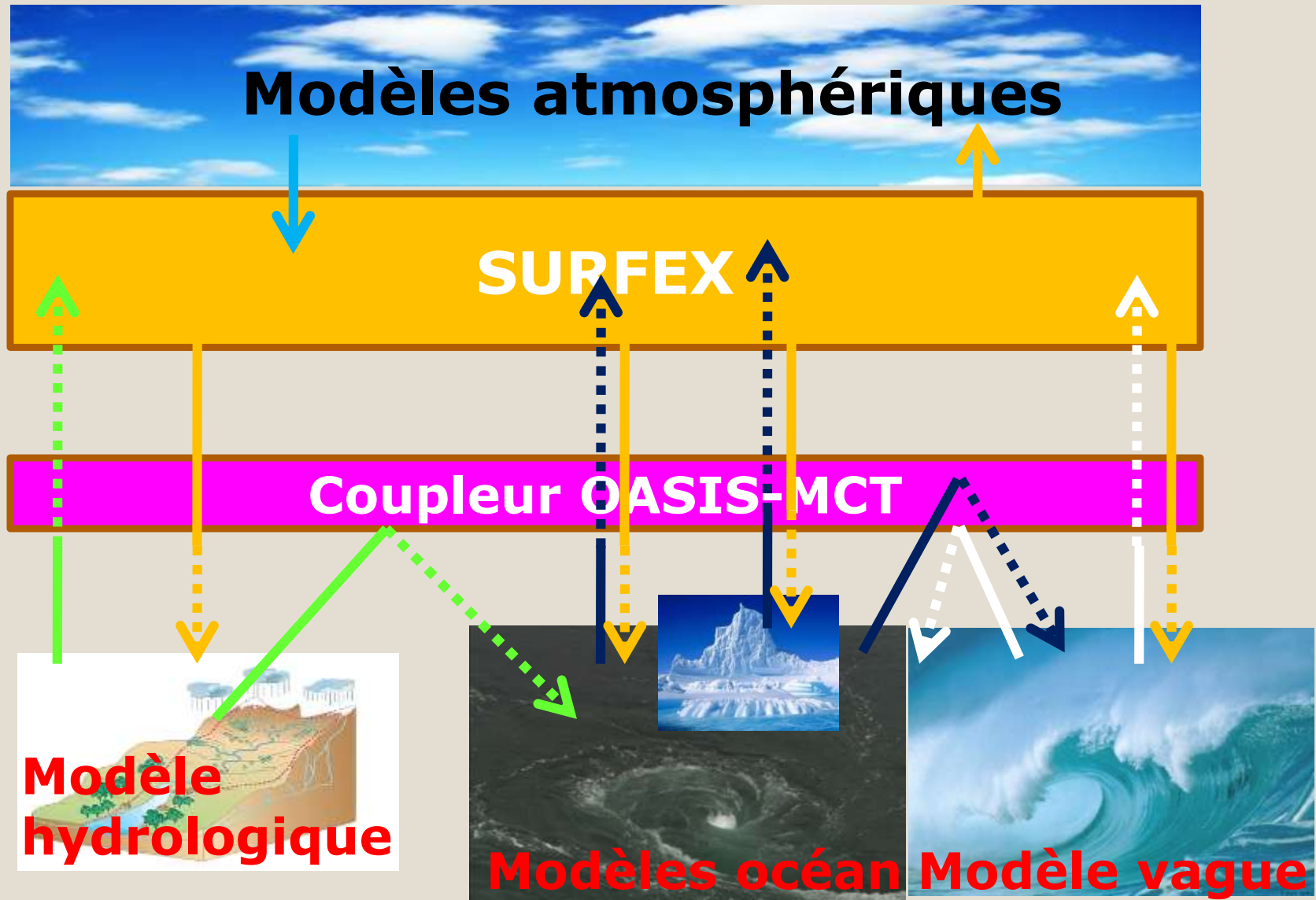


**MCT**

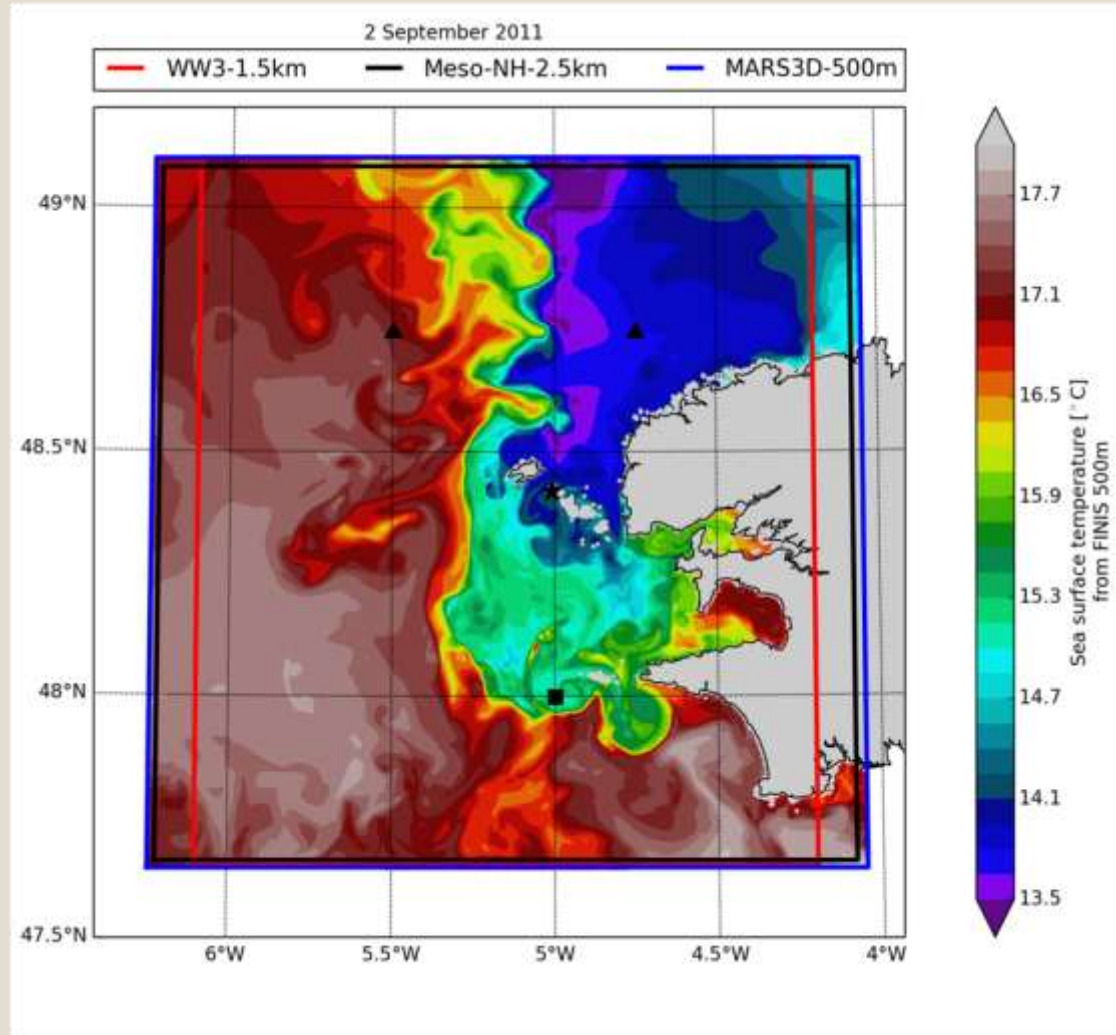
Transformation  
échanges MPI



# Couplage multi-modèle



# Couplage en Iroise



Simulation de 1 journée le 02/09/2011



# Couplage en Iroise

## MésoNH

dx/dy : 2 km  
levels : 100  
dt = 10s

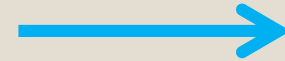
## MARS

dx/dy : 500m  
levels : 40 sig généralisée  
dt = 20s

## WW3

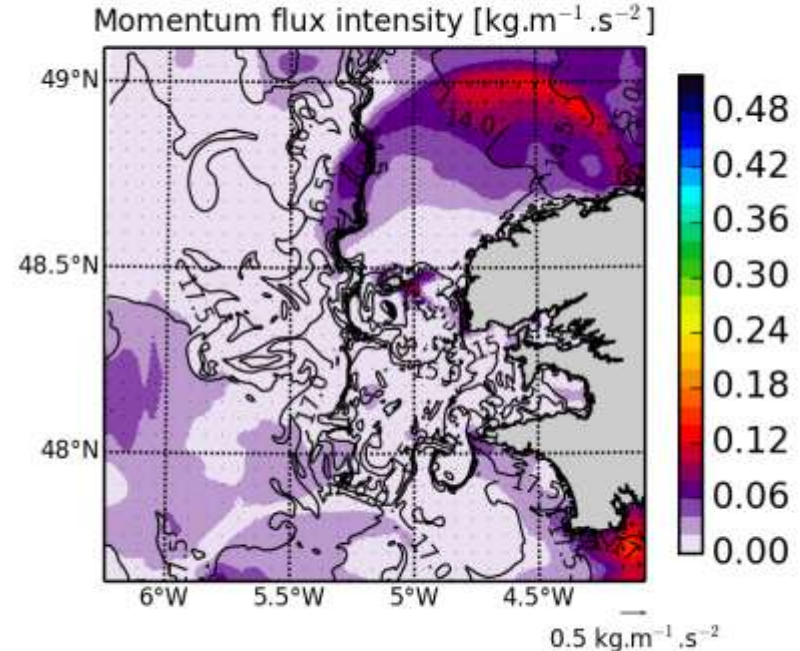
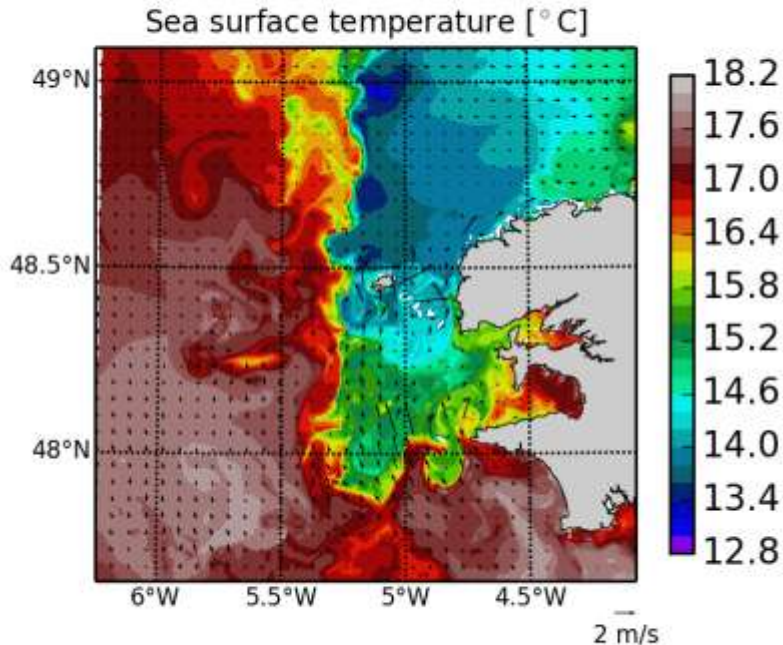
dx/dy : 1.5 km  
f (32) :  $0.0373 * 1.1^{nf}$  Hz  
q : 24 (15°)  
dt = 10 10 10 s

Vent



← -  
Tension

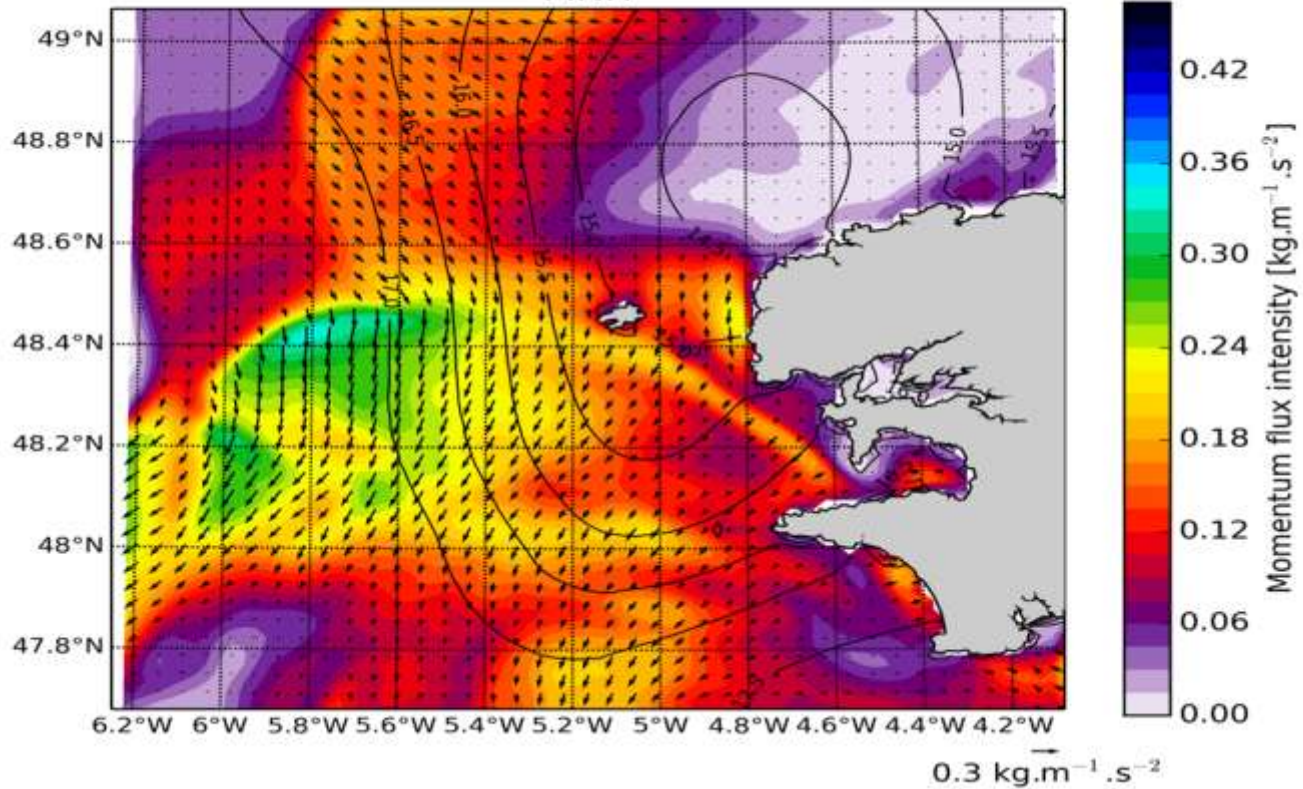
FromVar 2011  
02-09-2011 02:46



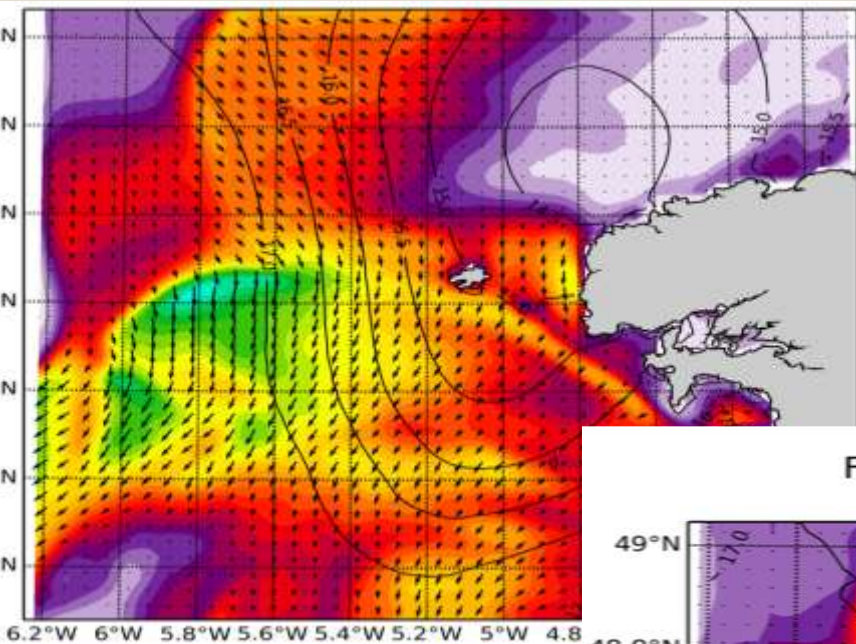
Couplage : 100s Interpolation : SCRIP DISTWGT

# Couplage en Iroise

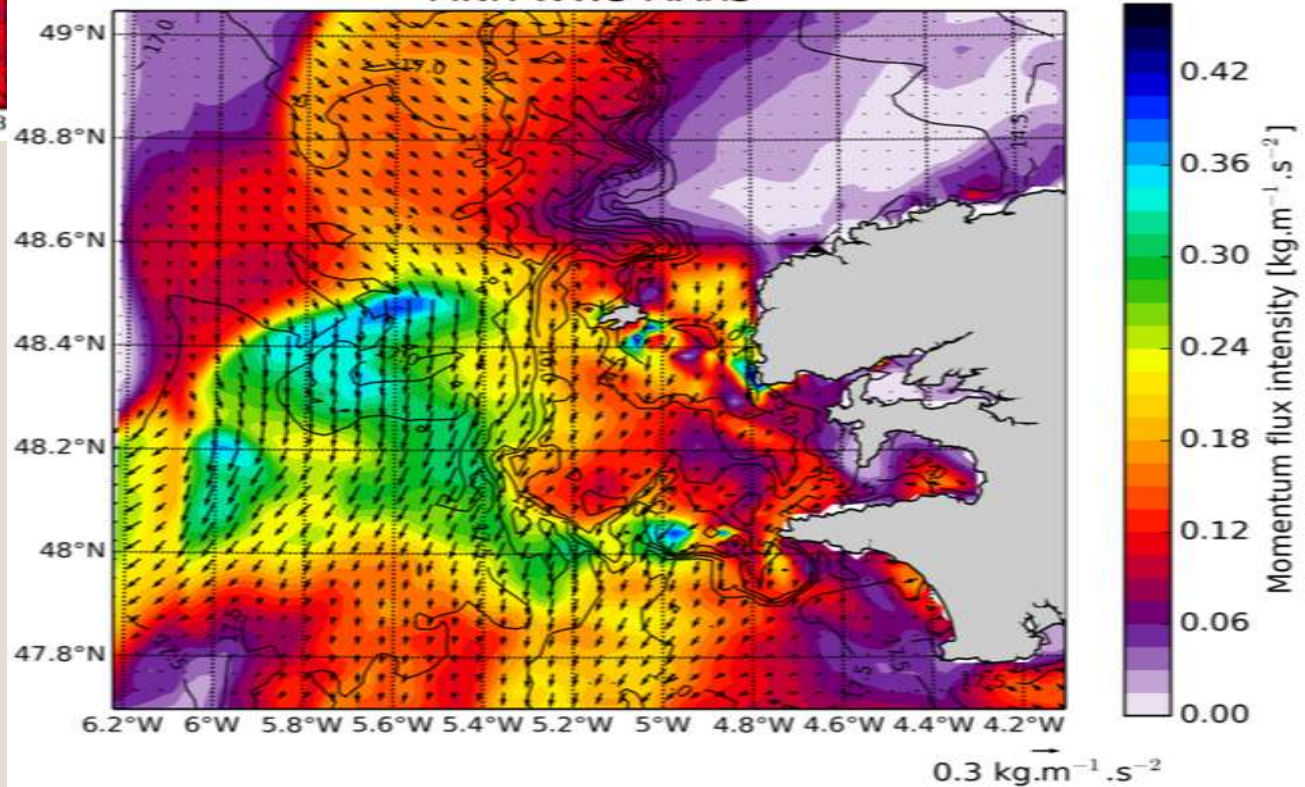
FroMVar 2011 : 02-09-2011 09:00  
MNH



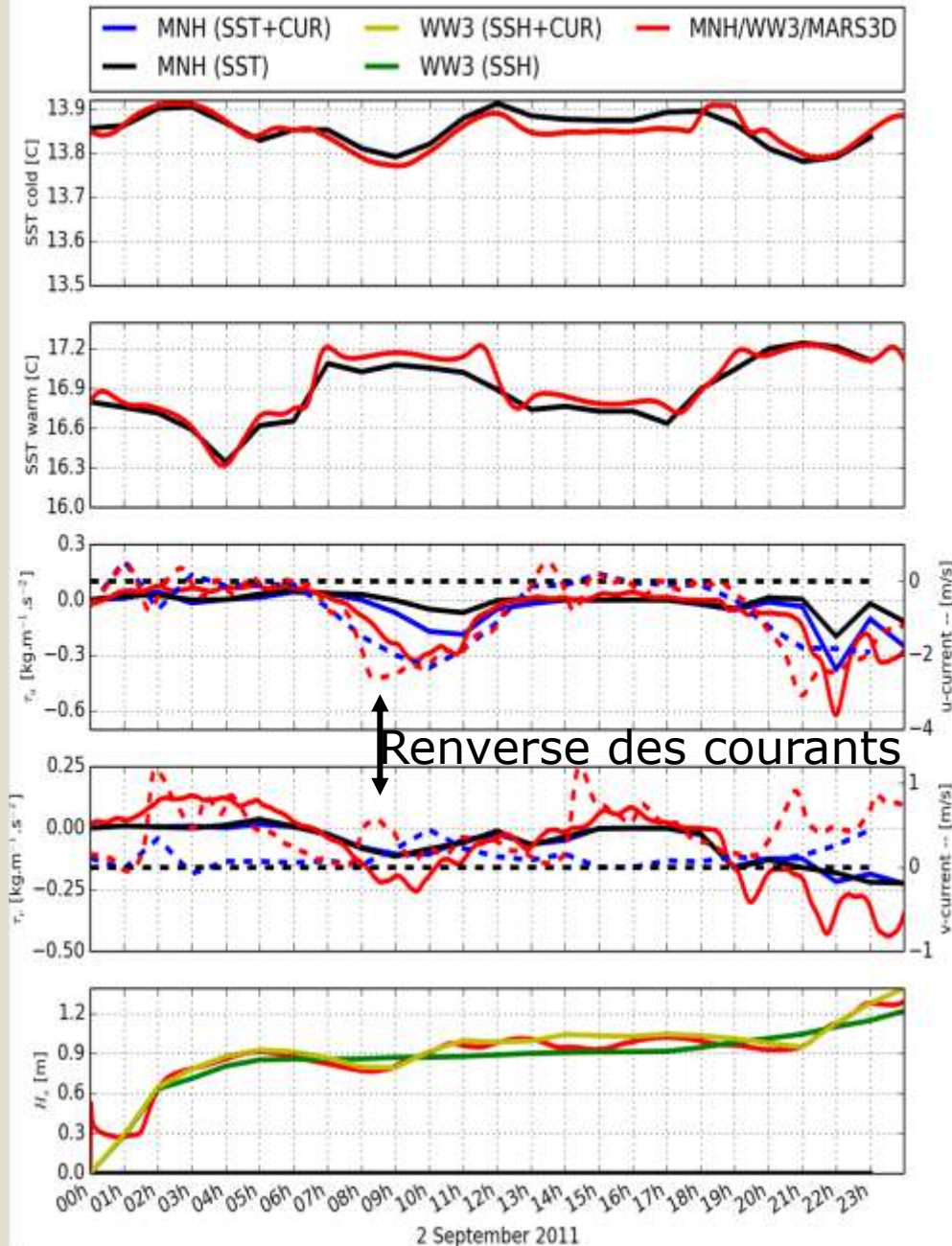
# Couplage en Iroise



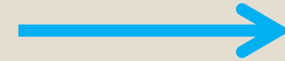
FroMVar 2011 : 02-09-2011 08:59  
MNH WW3 MARS



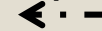
# Couplage en Iroise



Vent



Tension vue par atmosphère



Tension vue par océan

Date	Heure	Hauteur	Coeff.
Ven. 02	02h38	0,90m	
	08h34	7,15m	99
	14h58	1,05m	
	20h56	7,05m	92

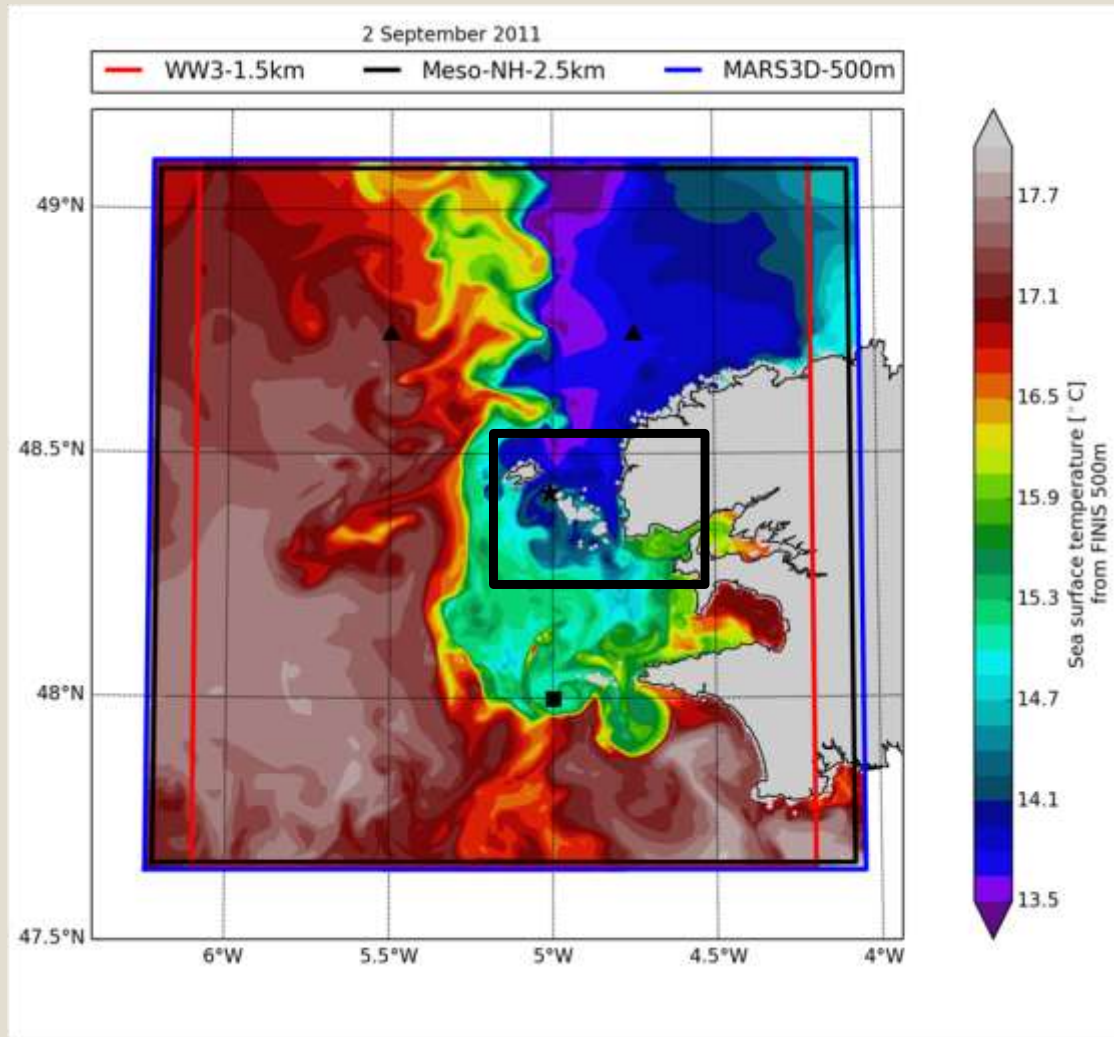
# Et maintenant ?

- Couplage réalisé techniquement pour applications réalistes
- Comment représenter les interactions ?
  - effet des vagues sur les basses couches de l'atmosphère ?
  - dérive de Stokes en côtier ?
  - ...
- Faut-il coupler ou forcer ?
  - Pour quels processus ?
  - Quelles échelles spatiales ?
  - Quelles échelles temporelles ?
  - Impact de la fréquence du couplage ?
  - ...
- Conclusions sur la dynamique ?

# Challenge Datarmor

- Couplage réalisé techniquement pour applications réalistes
- Comment représenter les interactions ?
  - effet des vagues sur les basses couches de l'atmosphère ?
  - dérive de Stokes en côtier ?
  - ...
- **Faut-il coupler ou forcer ?**
  - **Pour quels processus ?**
  - **Quelles échelles spatiales ?**
  - Quelles échelles temporelles ?
  - Impact de la fréquence du couplage ?
  - ...
- **Conclusions sur la dynamique ?**

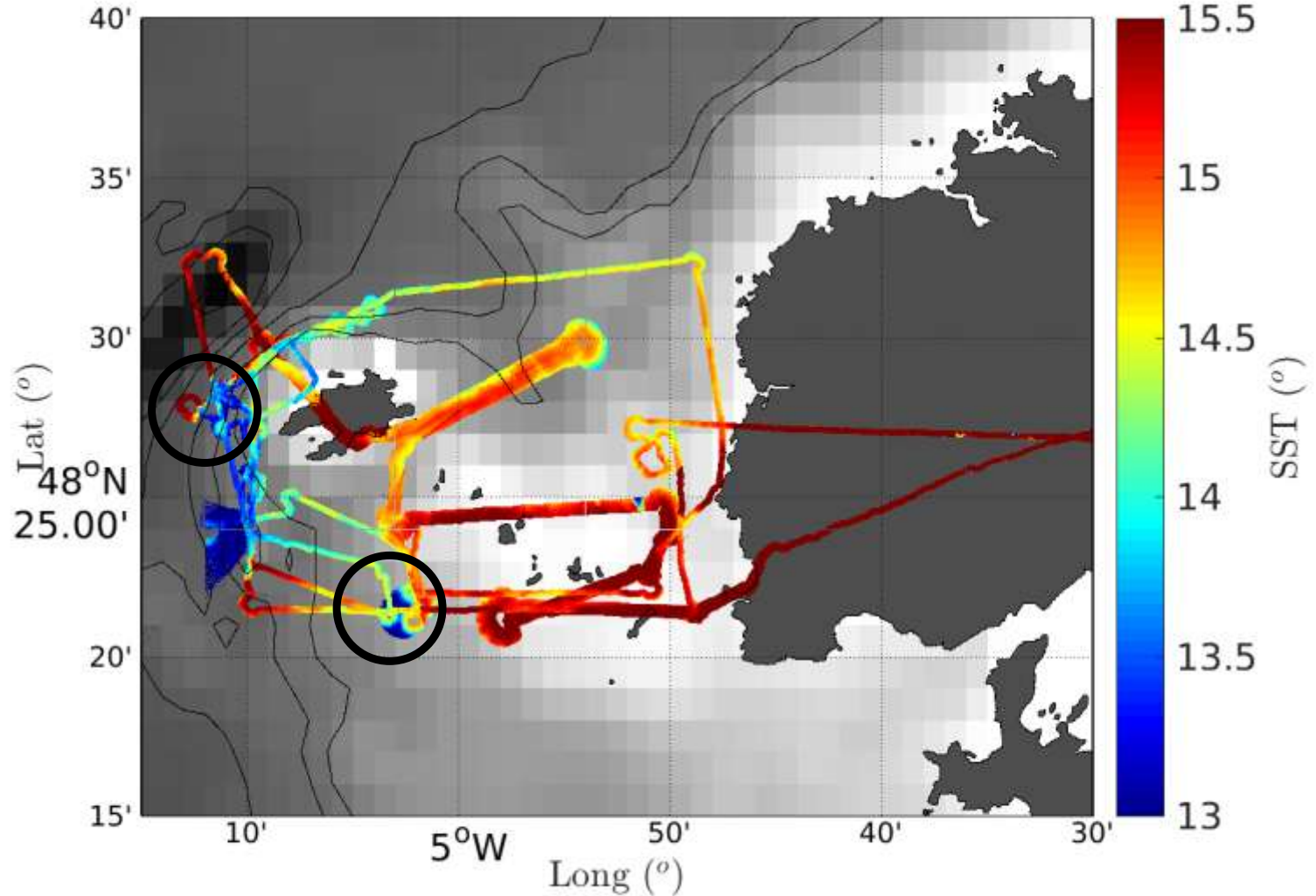
# Challenge Datarmor



500 m de résolution

# Challenge Datarmor

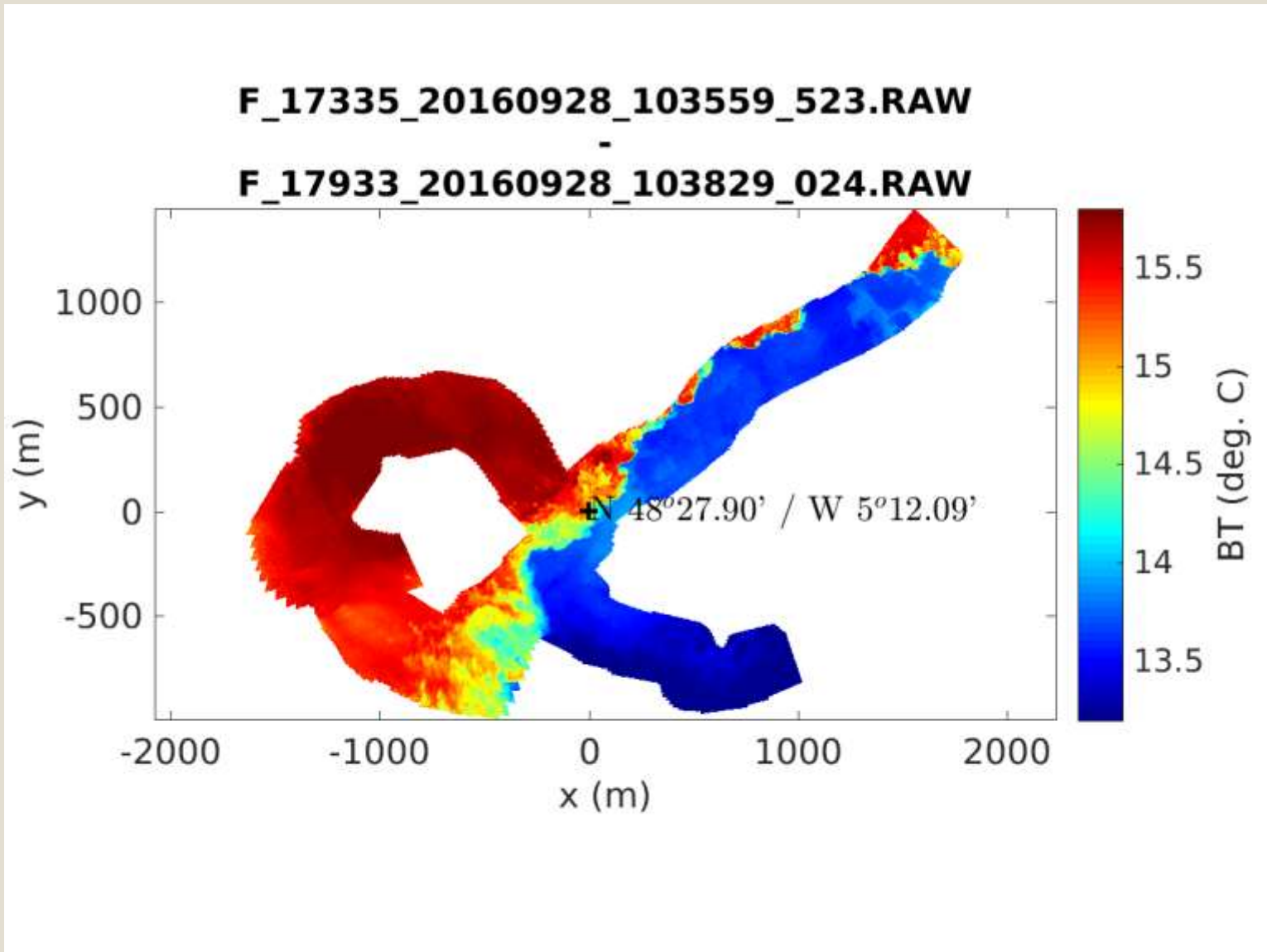
Campagne BBWAVES 20-28 Septembre 2016



L. Marié Mesure caméra infrarouge (Ifremer) depuis ULM (université Rennes)



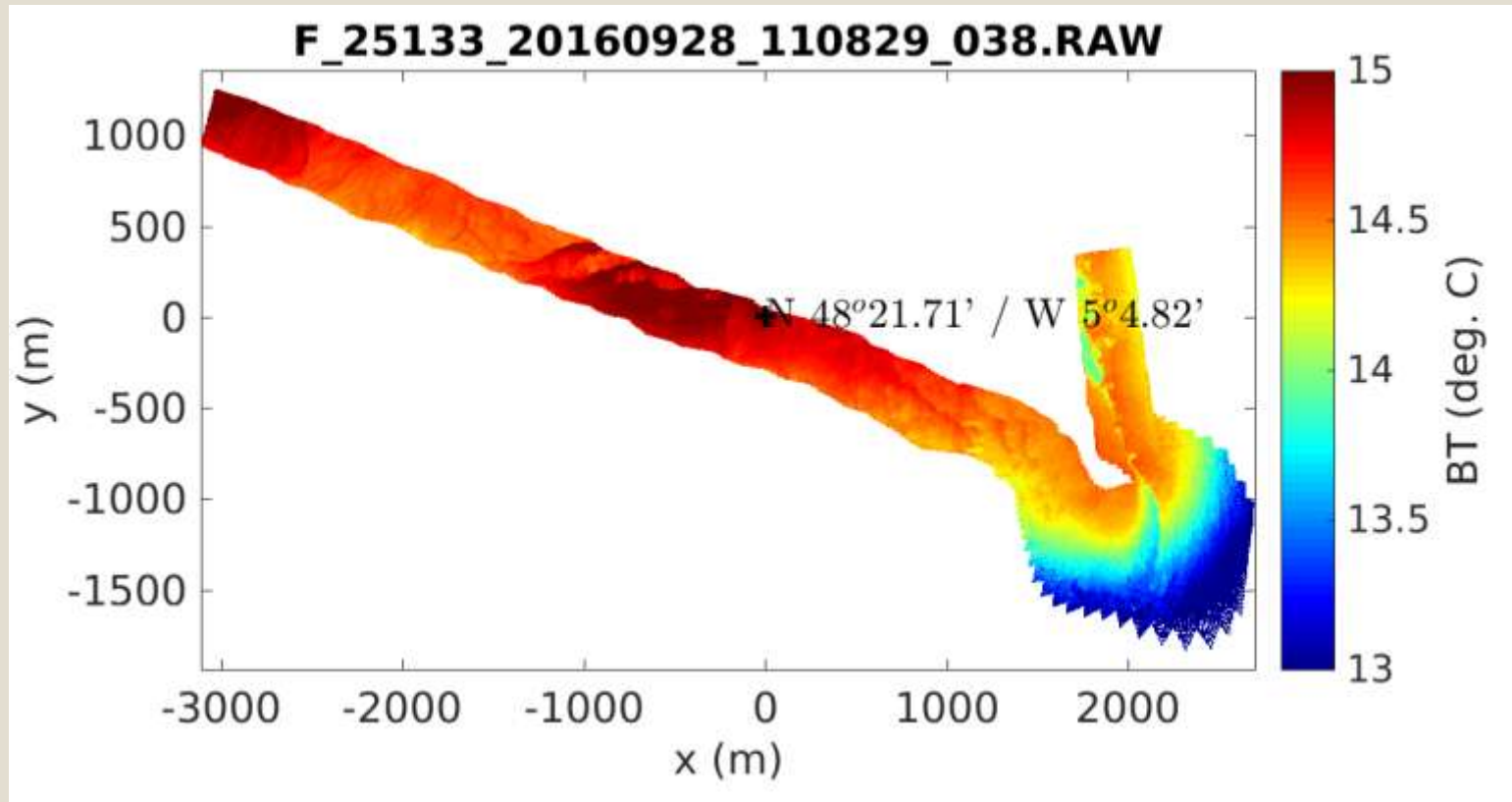
# Challenge Datarmor



L. Marié Mesure caméra infrarouge (Ifremer) depuis ULM (université Rennes)

# Challenge Datarmor

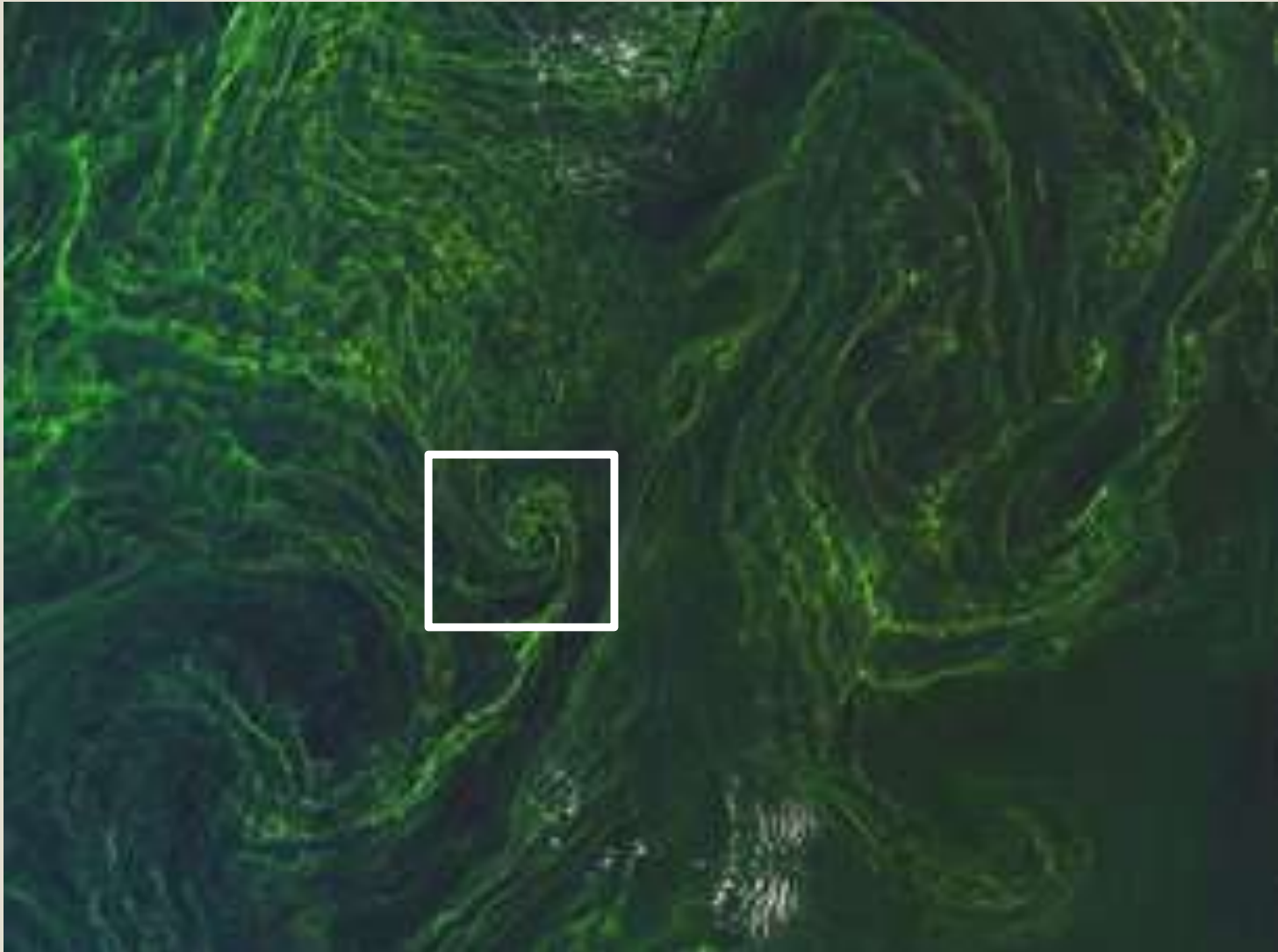
Campagne BBWAVES 20-28 Septembre 2016



L. Marié Mesure caméra infrarouge (Ifremer) depuis ULM (université Rennes)

# Challenge Datarmor

Bloom d'algues observé depuis l'espace

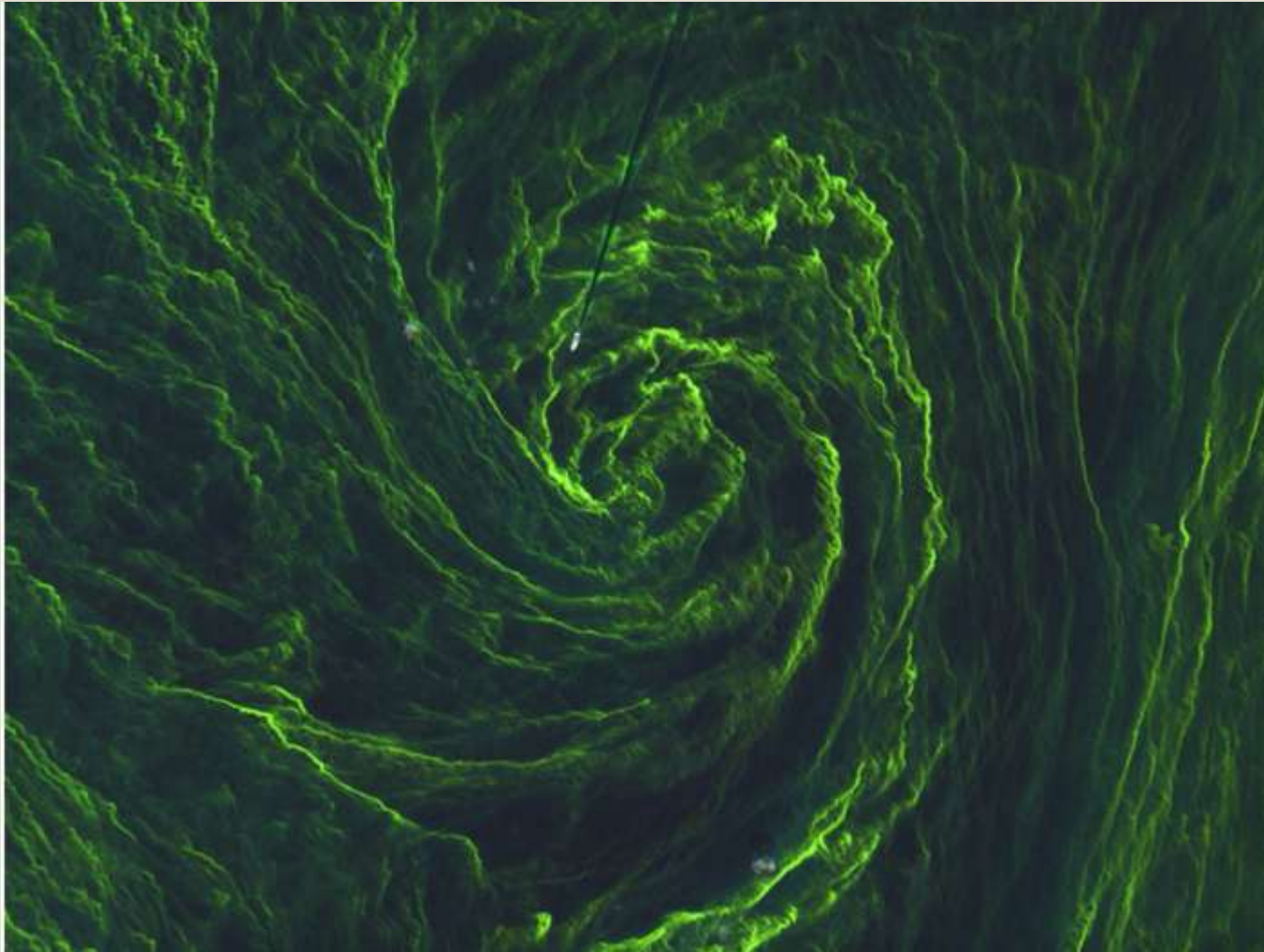


Sentinel-2A, 7 Août 2015 en mer Baltique

~70 km \* 70 km

# Challenge Datarmor

Bloom d'algues observé depuis l'espace



Sentinel-2A, 7 Août 2015 en mer Baltique

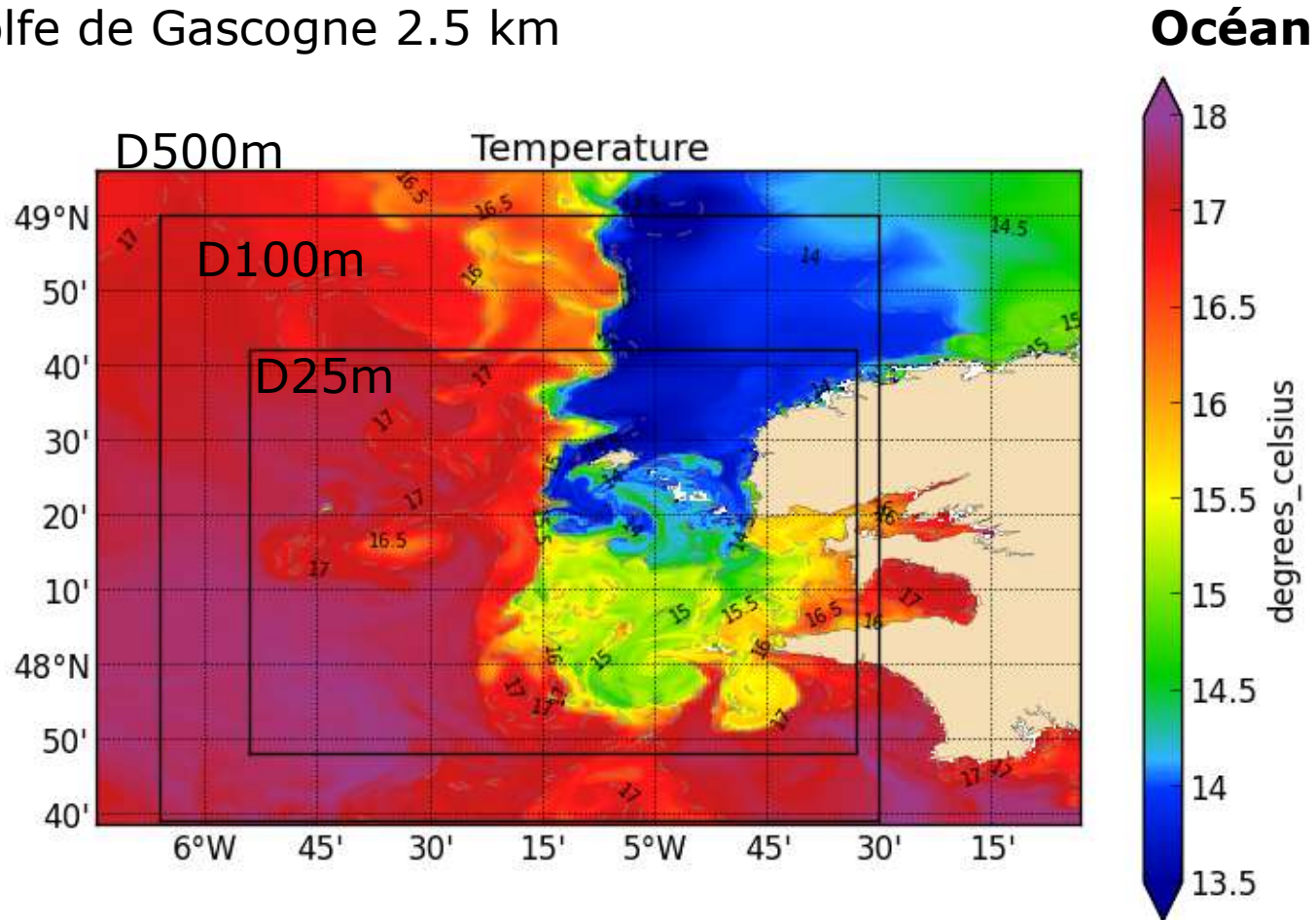
~10 km \* 10 km

# Challenge Datarmor

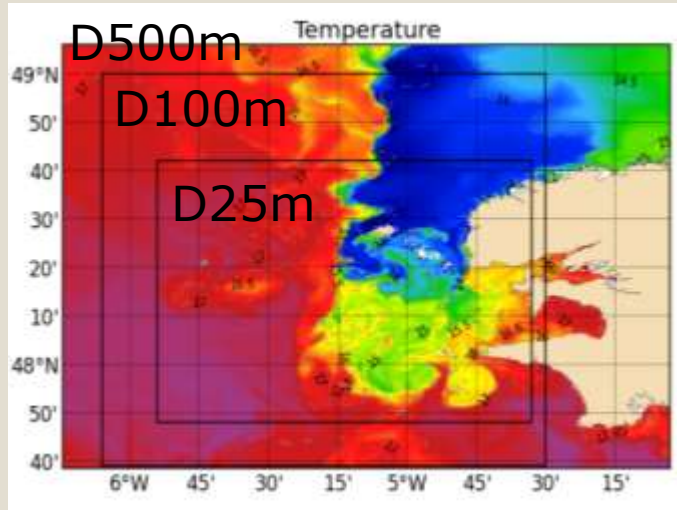
- **Résolution effective 200m, résolution de grille 20-28m**
- **Augmentation de la résolution spatiale**
  - **Structures frontales / influence sur atmosphère ?**
  - **Vitesses verticales / impact des vagues ?**
  - ...
- **Conclusions sur la dynamique ?**
  - **Perspectives pour la biologie ?**

# Challenge Datarmor

Golfe de Gascogne 2.5 km



# Challenge Datarmor

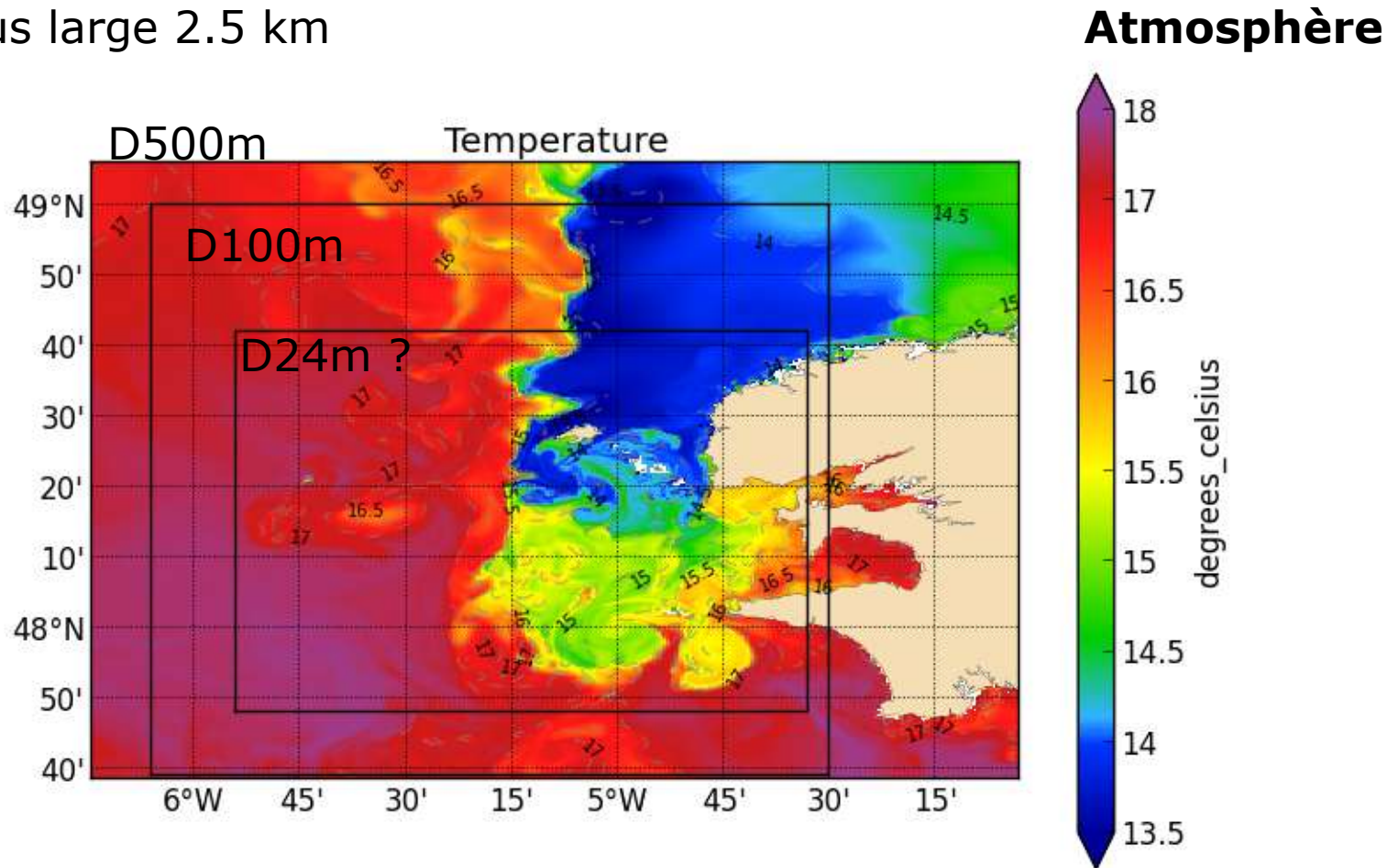


**Océan MARS**

Domaine	Nb points i,j,k	Dt (s)	Durée run	Nb procs	Temps élapé
GdG	822*624*40 <b>/3</b>	150 <b>*3</b>	33 jours	64	20h
D500m	408*388*40 <b>*11</b>	50 <b>*5</b>	33 jours	64 <b>/4</b>	20h
D100m	1177*1485*40 <b>*18</b>	10 <b>*4</b>	20 jours	256 <b>/16</b>	171h
D25m	3974*3960*80	2.5	7 jours	4096	255h

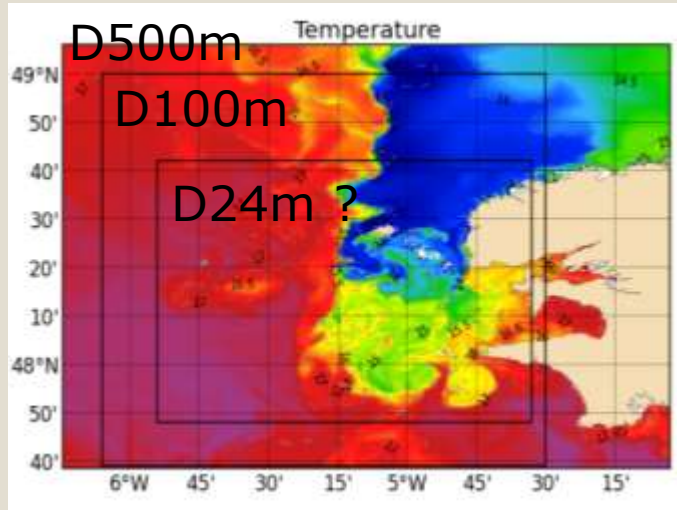
# Challenge Datarmor

Plus large 2.5 km





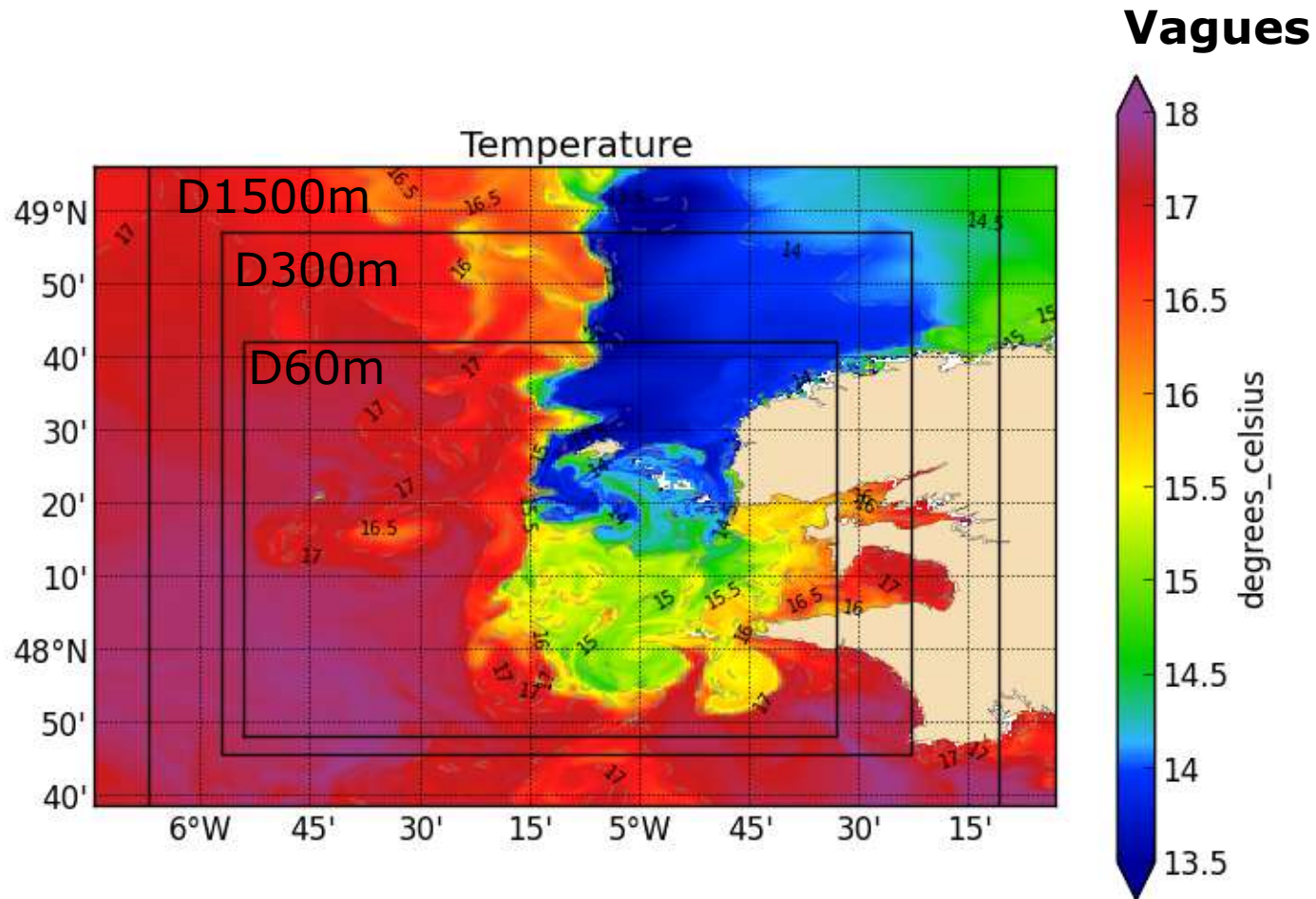
# Challenge Datarmor



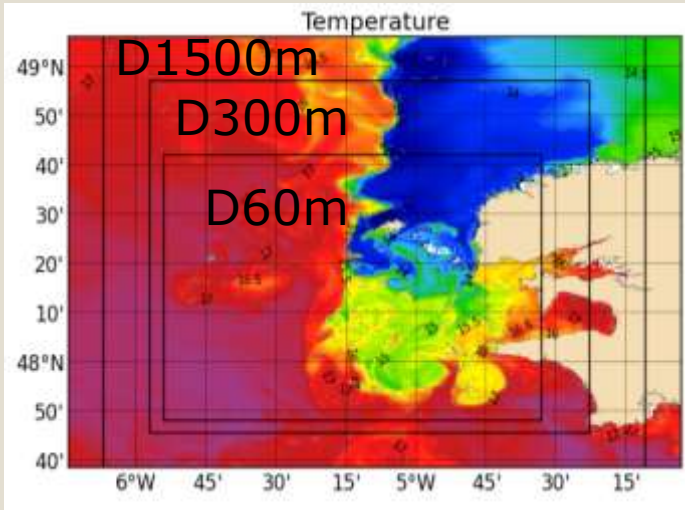
## Atmosphère MésoNH

Domaine	Nb points i,j,k	Dt (s)	Durée run	Nb procs	Temps élapé
D2.5km	80*80*100 <b>*10</b>	10 <b>*5</b>	24h	8 <b>/8</b>	3.5h
D500m	256*256*100 <b>*16</b>	2 <b>*5</b>	23h	64 <b>/16</b>	23h
D100m	1024*1024*100 <b>*16</b>	0.4 <b>*4</b>	22h	1024 <b>/4</b>	115h
D24m	80*80*100	0.1	3h	4096	262h

# Challenge Datarmor



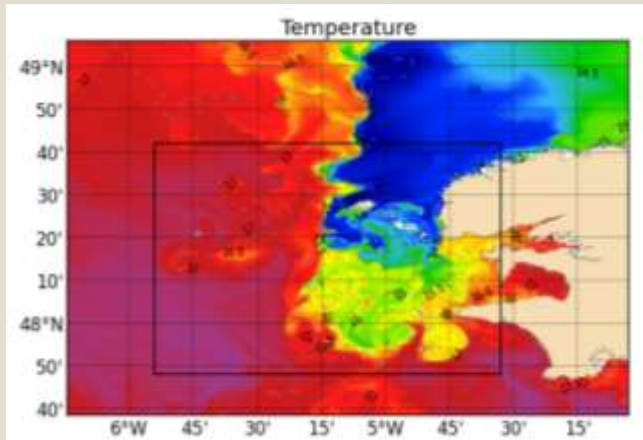
# Challenge Datarmor



## Vagues WW3

Domaine	Nb points i,j,k	Dt (s)	Durée run	Nb procs	Temps élapé
D1.5km	103*119 <b>*16</b>	10 <b>*5</b>	4 jours	8 <b>/4</b>	1400s
D300m	415*465 <b>*14</b>	2 <b>*5</b>	4 jours	64 <b>/4</b>	4h
D60m	1656*1650	0.4	4 jours	576	32h

# Challenge Datarmor



## Couplage

Domaine	Nb points $i,j,k$	Dt (s)	Durée run	Nb procs	Temps élapé
MARS (25m)	3974*3960*80	2.5	12h	4096	18h
MNH (100m)	1024*1024*100	0.4	12h	4096	16h
WW3 (60m)	1656*1650	0.4	12h	144	16h
Total			12h	8336	20h

# Challenge Datarmor

Domaine		Durée run	Nb procs	Temps élapsé
MARS (25m)	Spin-up	7 jours	4096	255h
MNH (100m)	Spin-up	22h	1024	115h
WW3 (60m)	Spin-up	4 jours	576	32h
Couplage OAV		12h	8336	20h