

Modélisation tridimensionnelle de la circulation océanique de la mer des Caraïbes. Application du modèle ROMS

Encadré par :
Mr. DOGLIOLI Andrea

Présenté par :
LAMANI Bouabdellah

M1 Océanographie physique et biogéochimique
OPB205 : Modélisation de la circulation océanique

19 April 2018

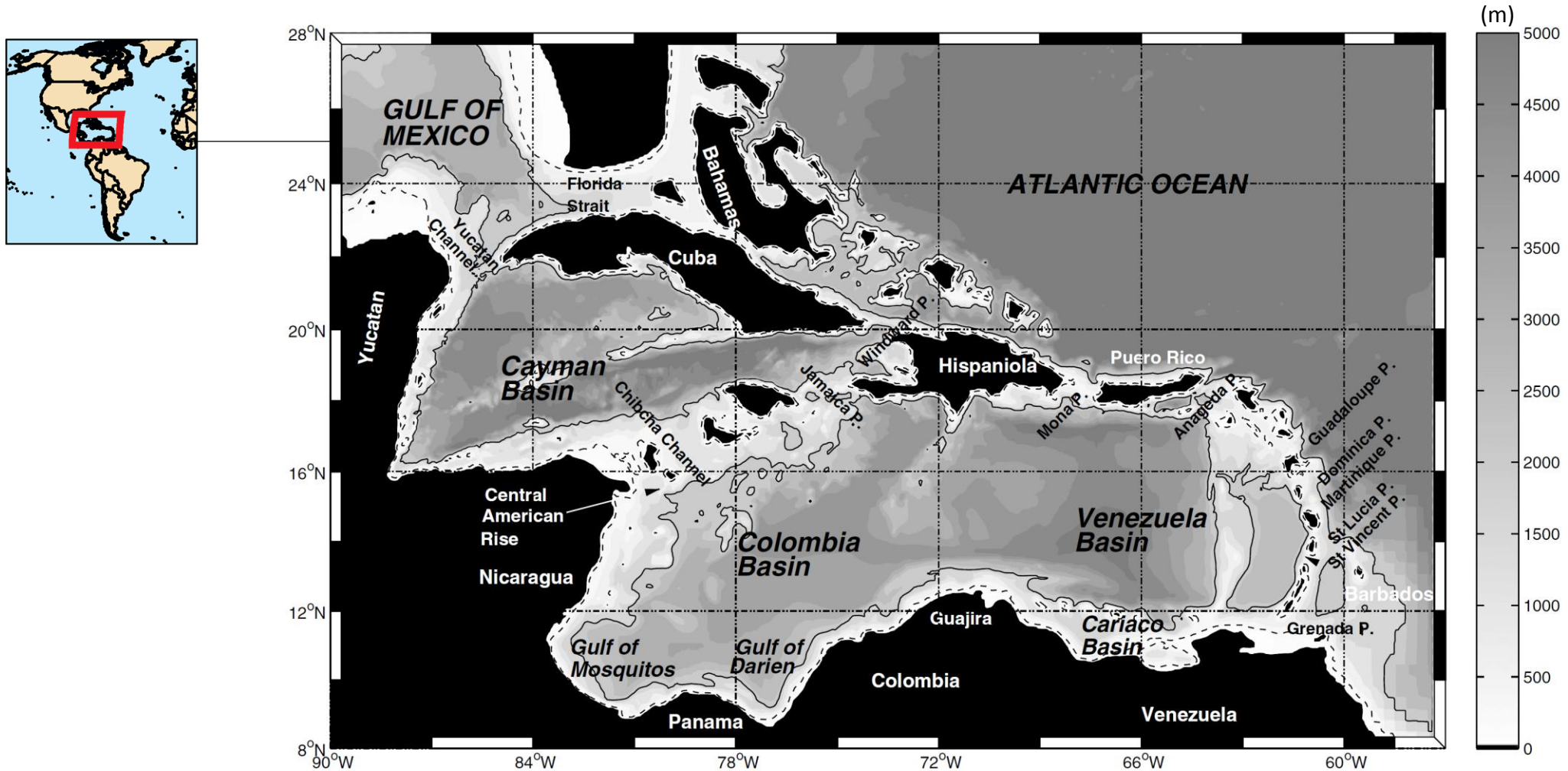


Fig.1 : Carte et bathymétrie de la mer des Caraïbes. Les lignes pointillées et pleines indiquent respectivement les isobathes de 200 et 1000 m de profondeur. (Jouanno et al 2008).

- L'existence d'une forte activité **méso-échelle** dans la mer des **Caraïbes** retient de plus en plus l'attention (**Jouanno et al 2008**).
- Premièrement, la génération de **grands tourbillons** énergétiques pose des questions dynamiques très intéressantes. Deuxièmement, les **implications** locales et globales de cette activité à méso-échelle doivent encore être déterminées.
- Les **modèles numériques** de l'océan sont devenus des outils de plus en plus précieux alors que nous nous efforçons de comprendre la nature de la **dynamique** de l'océan (**Miller 2007**).
- Les modèles numériques ont progressé depuis des **outils** nécessairement idéalisés des décennies passées pour capturer une grande partie de la **complexité** et de la beauté de l'océan **réel**.

- **ROMS** est un modèle océanique à équations primitives à surface libre, largement utilisé par la communauté scientifique pour un large éventail d'applications. ROMS comprend des **algorithmes physiques** et **numériques** précis et efficaces (**Power et al 2006, Fennel et al 2006**).



Équations de Navier-Stokes

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + f v - \frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} - f u - \frac{\partial \overline{v'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z}\end{aligned}$$

Équations de conservation de la chaleur et du sel

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T &= -\frac{\partial \overline{T'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{T'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{T'w'}}{\partial z} + \frac{H_c}{\rho_o C_p} \frac{\partial I}{\partial z} \\ \frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} S &= -\frac{\partial \overline{S'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{S'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{S'w'}}{\partial z}\end{aligned}$$

Équation d'état de l'eau de mer (IES80)

$$\rho = \rho(T, S, z)$$

Équation de continuité (fluide incompressible)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- **ROMS** est un modèle océanique à équations primitives à surface libre, largement utilisé par la communauté scientifique pour un large éventail d'applications. ROMS comprend des **algorithmes physiques** et **numériques** précis et efficaces (**Power et al 2006, Fennel et al 2006**).



Approximations :

- L'hypothèse hydrostatique sur la verticale

$$P(z) = P_a + g \int_z^\eta \rho \cdot dz$$

- L'approximation de Boussinesq

- Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS)

- L'hypothèse de Boussinesq

Implémentation de modèle ROMS sur la mer des Caraïbes

Discretisation spatiale



Horizontalement :

- Grille Arakawa C (curviligne orthogonale).

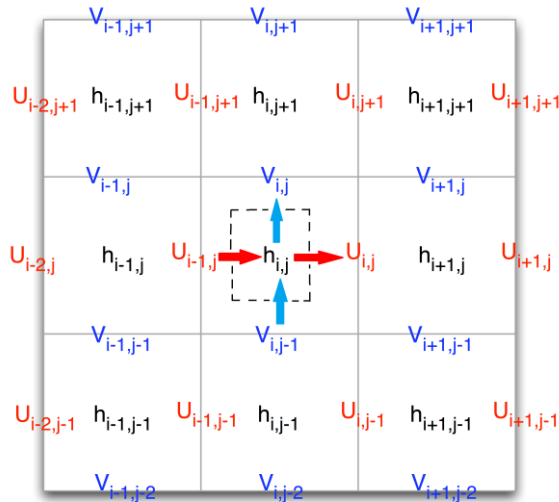


Fig.2 : Grille Arakawa-C.

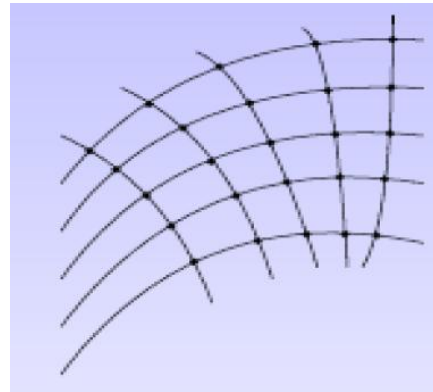


Fig.3 : grille curviligne orthogonale.



Verticalement :

- Coordonnées sigma généralisées.

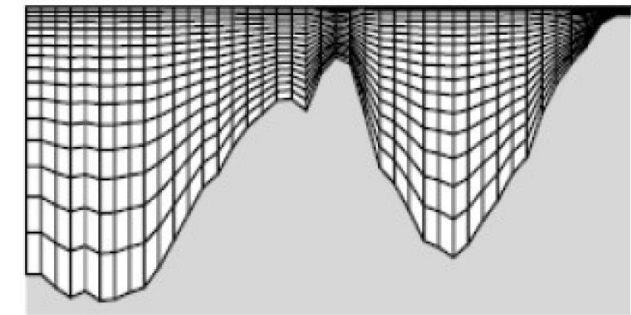


Fig.4 : Exemple de coordonnées sigma généralisées.

Implémentation de modèle ROMS sur la mer des Caraïbes

Discrétisation temporelle




- **Time-splitting** : un couplage entre les modes horizontal **2D-barotrope** (rapide) et vertical **3D-barocline** (lent).
- Schéma **Leap-Frog**
- Filtre d'**Asselin**.
- Le critère **CFL** (Courant-Friedrichs-Levy).



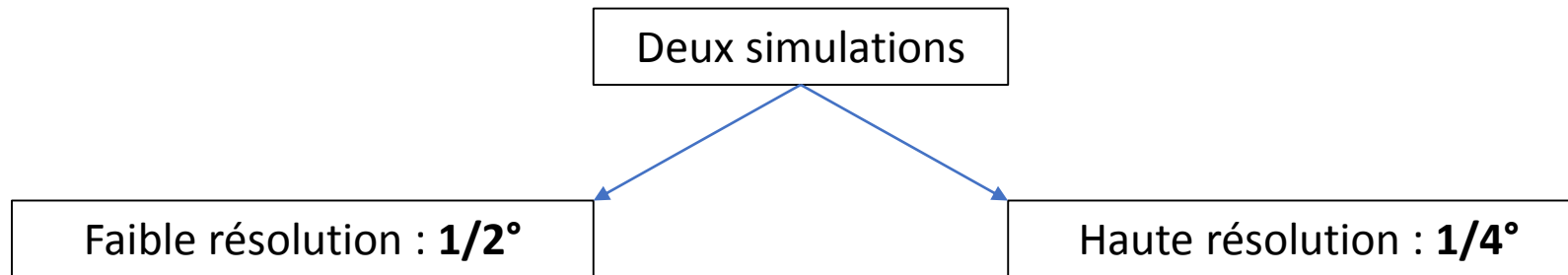
$$\Delta t \leq \frac{1}{c} \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

Implémentation de modèle ROMS sur la mer des Caraïbes

Les conditions initiales et aux frontières ouvertes

- **COADS05** (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set 2005).  Les **forçages externes** (température de la surface de la mer, estimations de l'interaction air-mer et autres variables météorologiques).
- **WOA2009** (World Ocean Atlas 2009).  Les **forçages internes** (température initiale de l'eau de mer et salinité).
- **GSHHG** (Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database).  Les **ligne côtière** ressources littorales.

Implémentation de modèle ROMS sur la mer des Caraïbes

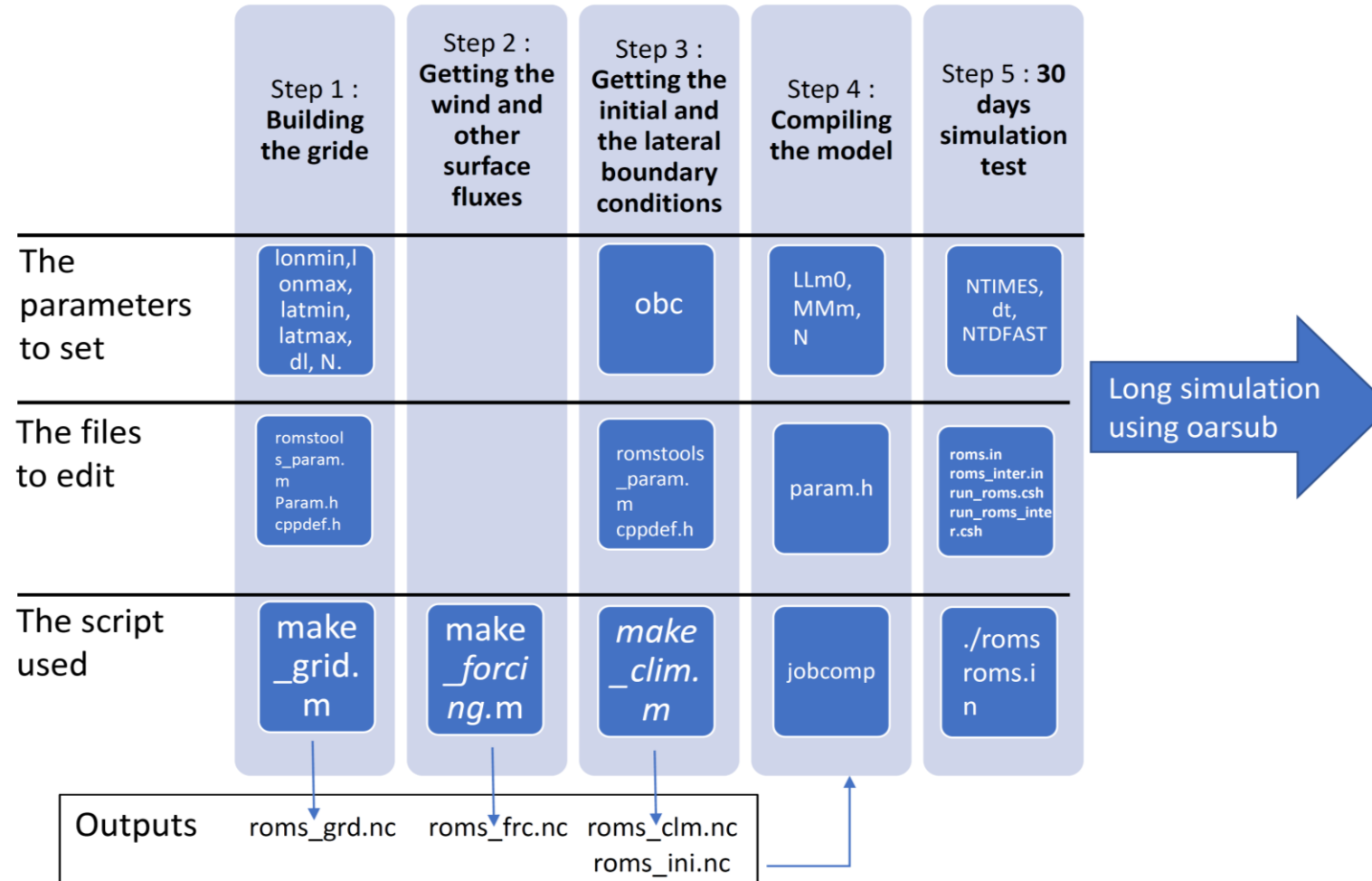


Tab.1 : Paramètres de grille de simulation.

Parameter	obc	dl (degree)	LLm	MMm	N	dt	NTIMES	NDTFAST
Simulation 1	[0 1 1 1]	$1/2^\circ$	67	37	32	4320	600	60
Simulation 2	[0 1 1 1]	$1/4^\circ$	135	74	32	2160	1200	60

Implémentation de modèle ROMS sur la mer des Caraïbes

Fig.5 : Diagramme des étapes de manipulation



Diagnostic

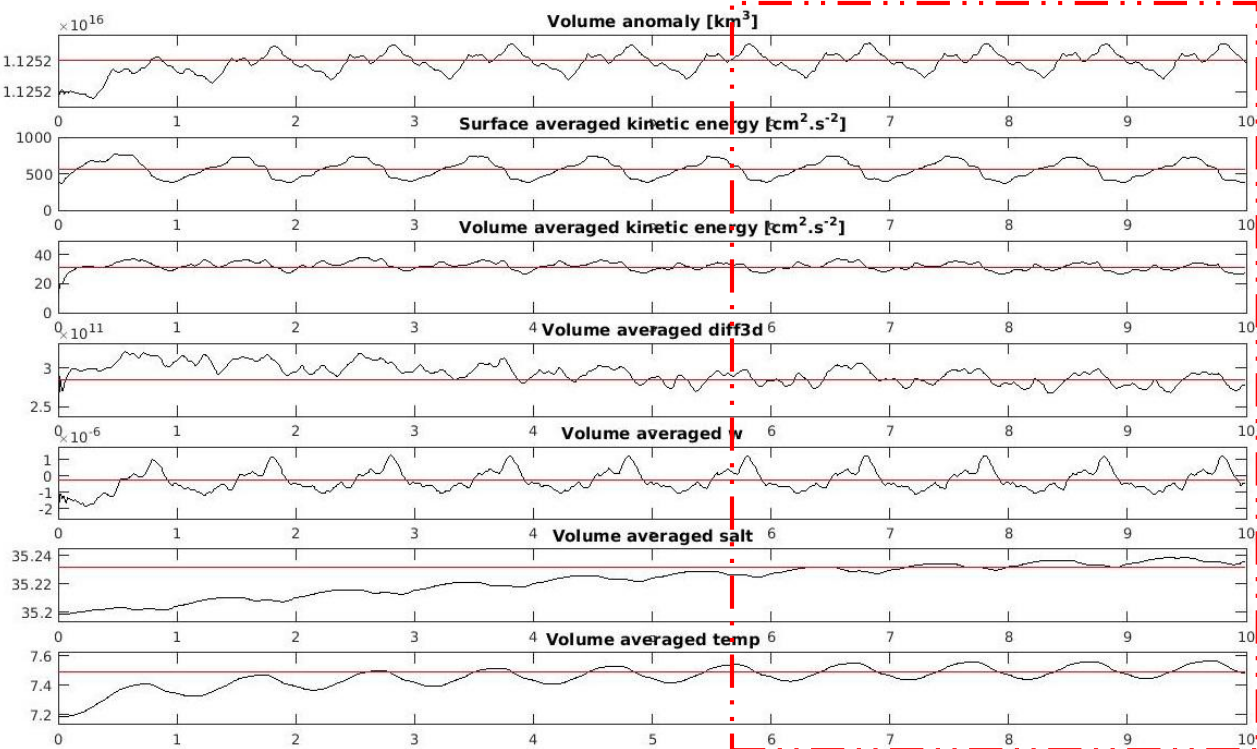
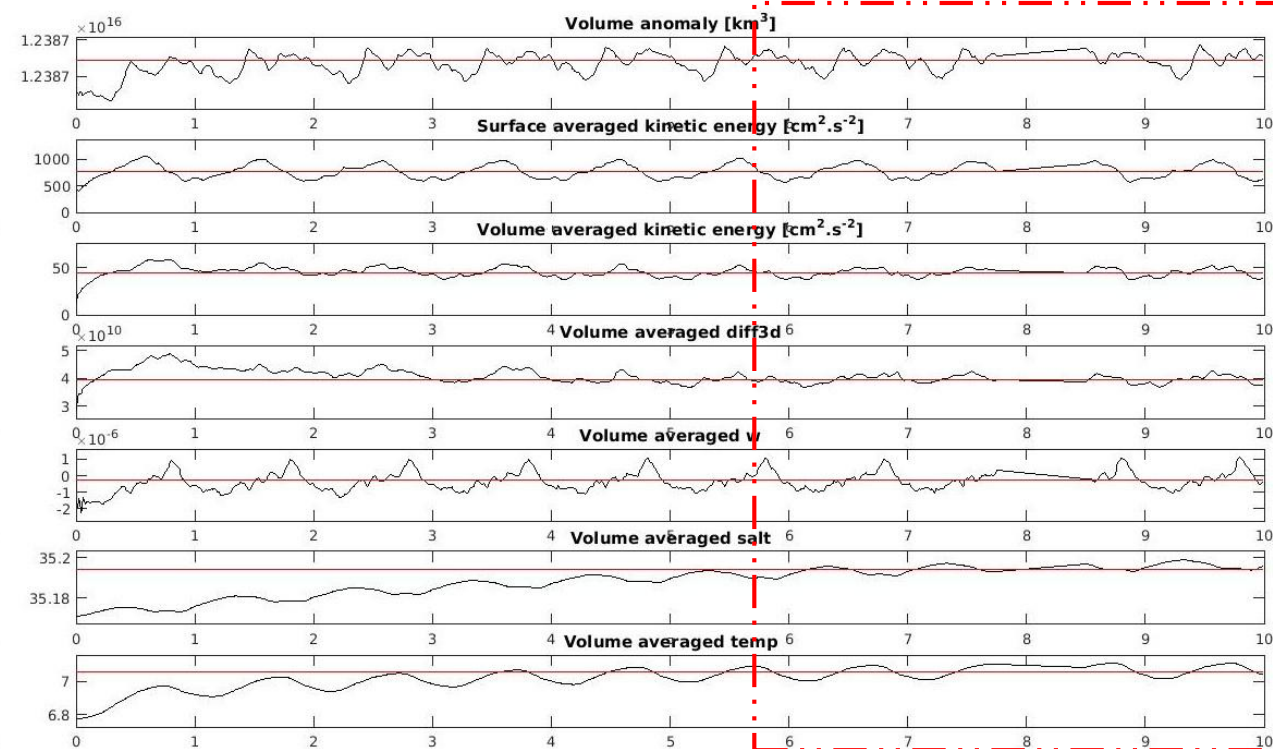
 $1/2^\circ$  $1/4^\circ$ 

Fig.6 : Courbes de diagnostic pour la simulation avec la résolution de $1/2^\circ$ (gauche) et $1/4^\circ$ (droite).

Variation saisonnière de la salinité

February - Year 7

May - Year 7

August - Year 7

November - Year 7

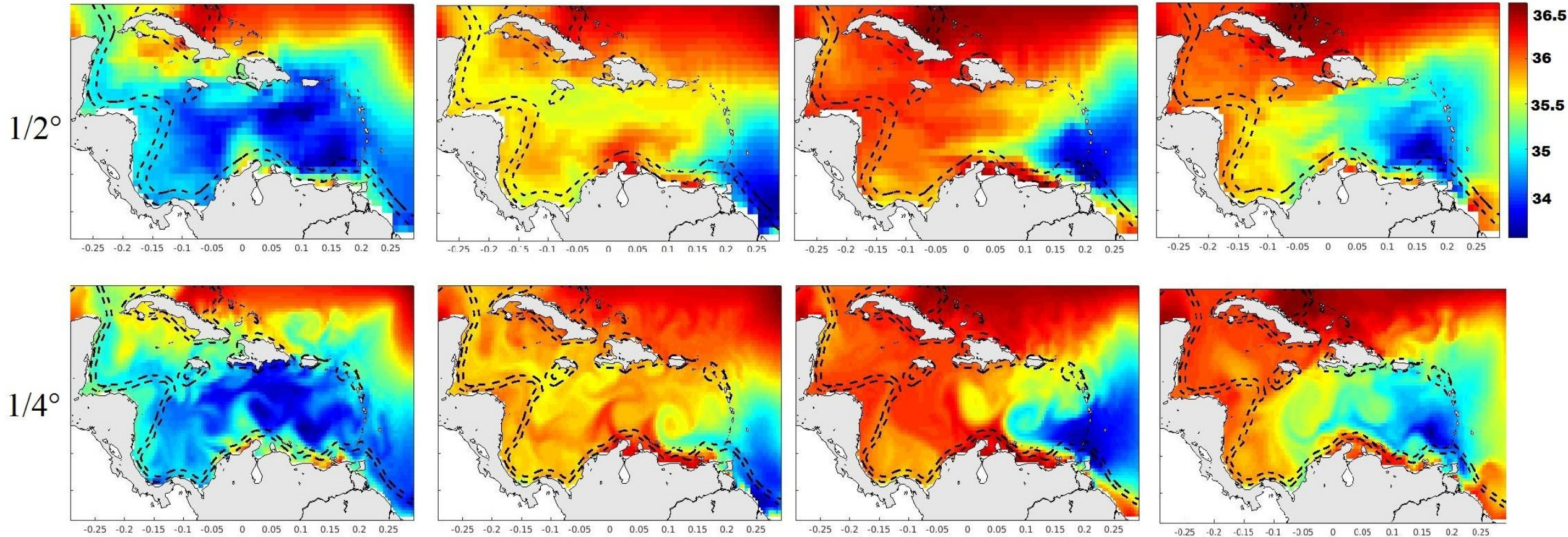
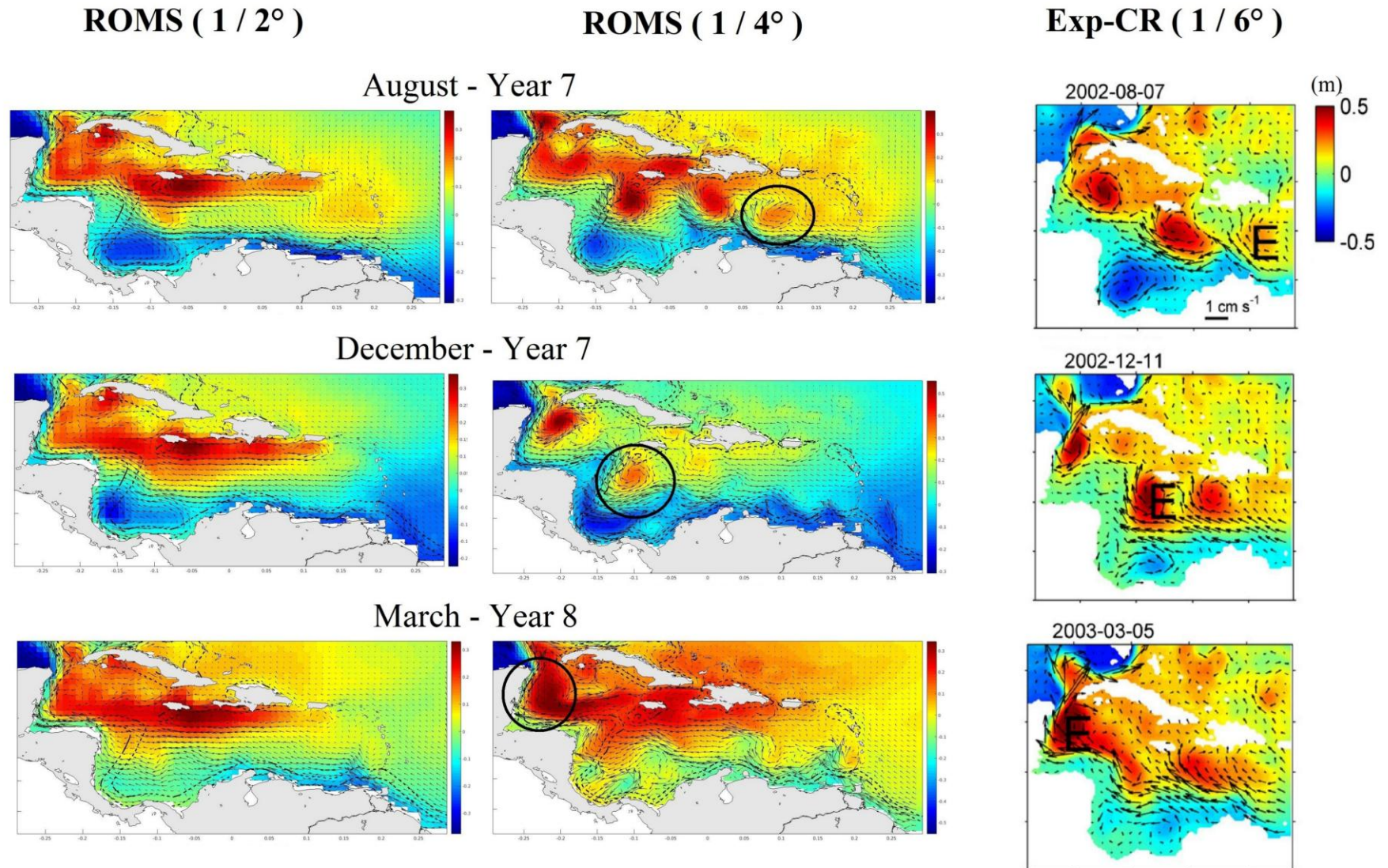


Fig.7 : La variation annuelle de la salinité dans les 10 premiers mètres dans la mer des Caraïbes. A partir des valeurs moyennes mensuelles pour les mois de février, mai, août et novembre de la septième année de simulation 1 (en haut) et 2 (en bas).

L'influence de la résolution sur la formation des petits tourbillons

Fig.7 : Instantanés de courants proches de la surface (flèches noires) et de hauteur de la surface de la mer (couleur) à partir de la simulation 1 (gauche) et simulation 2 (milieu) des mois d'août et décembre de la septième année de simulation et mars de la huitième année. Et similaire produit par Exp-CR Model (à gauche) (Yuehua et al 2011) pendant le 07 août 2002, le 11 décembre 2002 et le 05 mars 2003.



- Grâce au model **ROMS** et ses outils mis en disposition, on peut réaliser des **simulations** qui donnent des **résultats pertinents** de la **circulation océanique** d'une région donnée, et étudier les différents **paramètres physiques** qui y contrôlent la **dynamique** de cette circulation.
- Le but de cette étude était d'étudier la **sensibilité** du modèle ROMS au changement du **pas spatial horizontal**, dont on a eu des résultats **différents** issus des deux simulations utilisant les **mêmes conditions initiales**.
- Une **faible résolution** peut donner une approximation **généraliste** et des fois trempeuse de la circulation océanique, tandis que une **haute résolution**, donne une description **plus fine** qui permettrait de détailler la circulation à plus **petite échelle**.
- Plus la résolution est fine, plus les **petits tourbillons** peuvent se former par la simulation.
- Les résultats du **ROMS** à haute résolution sont proches de ceux du modèle **Exp-CR**.

References :

- **Angelo Fabbri, Chiara Cevoli, Florina Aurelia Silaghi, Adriano Guarnieri.** NUMERICAL SIMULATION OF PHYSICAL SYSTEMS IN AGRI-FOOD ENGINEERING.
- **Fennel, K., J. Wilkin, J. Levin, J. Moisan, J. O'Reilly, and D. Haidvogel.** Nitrogen cycling in the Middle Atlantic Bight: Results from a three-dimensional model and implications for the North Atlantic nitrogen budget, Global Biogeochem. 2006.
- **Julien Jouanno a, Julio Sheinbaum a, Bernard Barnier b, Jean-Marc Molines b, Laurent Debreu c, Florian Lemarie.** The mesoscale variability in the Caribbean Sea. Part I: Simulations and characteristics with an embedded model. 2008.
- **Pond, Stephen.** Numerical models of the ocean circulation. Reviews of geophysics. 1985.
- **Powell T. P., C. V. W. Lewis, E. N. Curchitser, D. B. Haidvogel, A. J. Hermann, E. L. Dobbins** Results from a three-dimensional, nested biological-physical model of the California Current System and comparisons with statistics from satellite imagery, J. Geophys. Res. 2006.
- **R.N. Miller,** Cambridge University Press. Numerical Modeling of Ocean Circulation, 2007.
- ROMS Group, User's Manual for the Regional Ocean Modeling System and the Terrain - following Ocean Modeling System (ROMS/TOMS) <http://www.myroms.org/documentation/>.
- **Yuehua Lin & Jinyu Sheng & Richard J. Greatbatch.** A numerical study of the circulation and monthly-to-seasonal variability in the Caribbean Sea: the role of Caribbean eddies. 2011.

**Merci Pour Votre
Attention**