MARS dans golfe de Gascogne

Meeting EPIGRAM 20/03/2009

V. Garnier, L. Debreu, T. Duhaut, M. Honnorat, F. Dumas, F. Vandermeirsch, P. Lazure

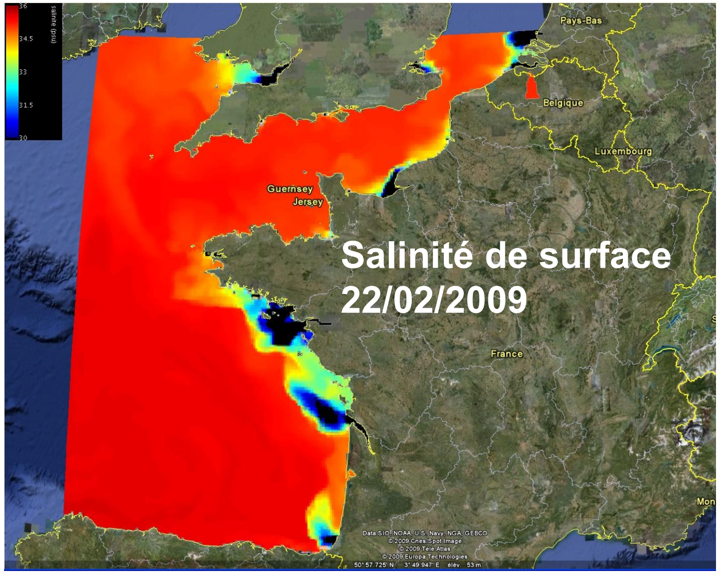
Fiche signalétique du modèle

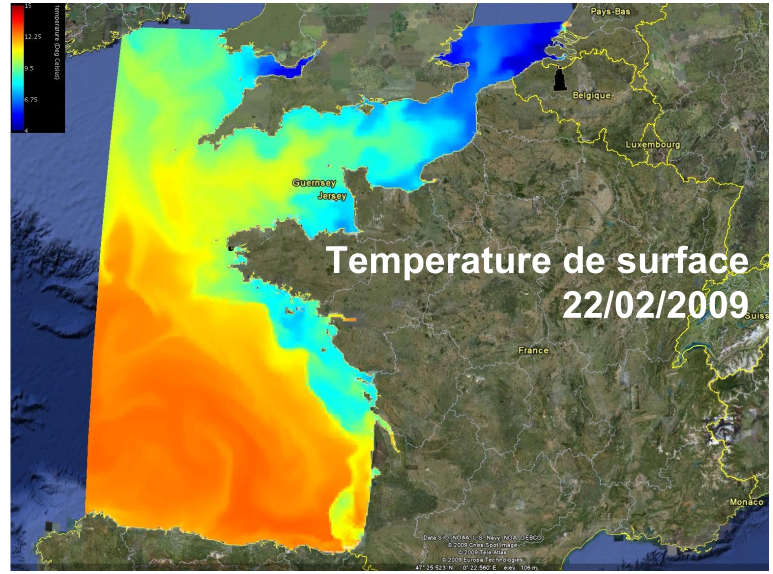
- Modèle aux équations primitives
- Schémas aux différences finies sur une grille décalée Arakawa C
- Coordonnées sigma et sigmas généralisées
- Mode splitting
- Schéma temporel pour le mode barotrope semi-implicite en direction alternées
- Fermeture turbulente TKE (double longueur de mélange de Gaspard)
- Equation d'état de MELLOR, 1985
- Bancs découvrants

Besoins dans le cadre du département DYNECO et laboratoires côtiers

- Recherche en océanographie côtière
  - Intérêt plutôt focalisé à l'échelle de la façade maritime
- Exigence pour les missions de surveillance de l'Ifremer
  - Intérêt focalisé sur la bande littorale
  - Réseau de stations côtières de l'Ifremer
- Océanographie opérationnelle côtière : PREVIMER
- Modélisation des écosystèmes
  - Biologie (phytoplancton…)
  - Contaminants
  - Sédimentologie
  - Couplage vague-courant
  - AGRIF

MANGA : configuration de référence





- 8W – 52°45'N Manche et Golfe de Gascogne
- 4 km de résolution, 30 niveaux sigmas,
- 72 rivières, flux Arpège (Météo-France), CI et CL ORCA025
- Evalué et validé à partir de campagnes hydrologiques sur le plateau et mesures satellites (Lazure P. et al. 2009. Cont. Shelf. Res. Doi: 10.1016/j.csr.2008.12.017)
- Opérationnel et recherche

Problèmes rencontrés à l'échelle de la façade

- Extension des domaines avec prise en compte du talus (diffusion iso-sigma, gradient de pression interne, schéma d'advection sur la verticale)
- Mixer notre propre solution de marée plus météo à une solution globale (qui par exemple ne tient pas compte de la marée)
- Problème d'initialisation : ciblé plateau continental : système à mémoire courte (spin up inférieur à un an) cela pose le problème de l'initialisation avec moins d'acuité : ondes de gravité parasites vite évacuées (quelques jours) , température et salinité initiales ayant peu d'impact (au bout d'un an).
- Opérateurs numériques (couplage, processus…)

Analyse du schéma barotrope

Debreu et al 2008

- Analyse à partir du système linéarisé autour de (u_0,v_0,h_0):

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t \zeta + h_0 \partial_x \bar{u} + u_0 \partial_x \zeta + h_0 \partial_y \bar{v} + v_0 \partial_y \zeta = 0 \\ \partial_t \bar{u} + u_0 \partial_x \bar{u} + v_0 \partial_y \bar{u} - f \bar{v} + g \partial_x \zeta = 0 \\ \partial_t \bar{v} + u_0 \partial_x \bar{v} + v_0 \partial_y \bar{v} + f \bar{u} + g \partial_y \zeta = 0 \end{array} \right.$$

Schéma numérique linéarisé

Prédicteur :

$$\begin{aligned}
\frac{2}{\Delta t}\left(\zeta^{n+1,*} - \zeta^{n+\frac{1}{2}}\right) &= -h_0\,\partial_x \bar{u}^{n+1,*} - u_0 \partial_x \zeta^{n+\frac{1}{2}} - h_0\,\partial_y \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} - v_0 \partial_y \zeta^{n+\frac{1}{2}} \\
\frac{1}{\Delta t}\left(\bar{u}^{n+1,*} - \bar{u}^{n}\right) &= -u_0 \partial_x \bar{u}^{n} - v_0 \partial_y \bar{u}^{n} + f \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} \\
&\quad - g\,\partial_x\left(\alpha_1 \zeta^{n+1,*} + \alpha_2 \zeta^{n+\frac{1}{2}} + \alpha_3 \zeta^{n}\right)
\end{aligned}$$

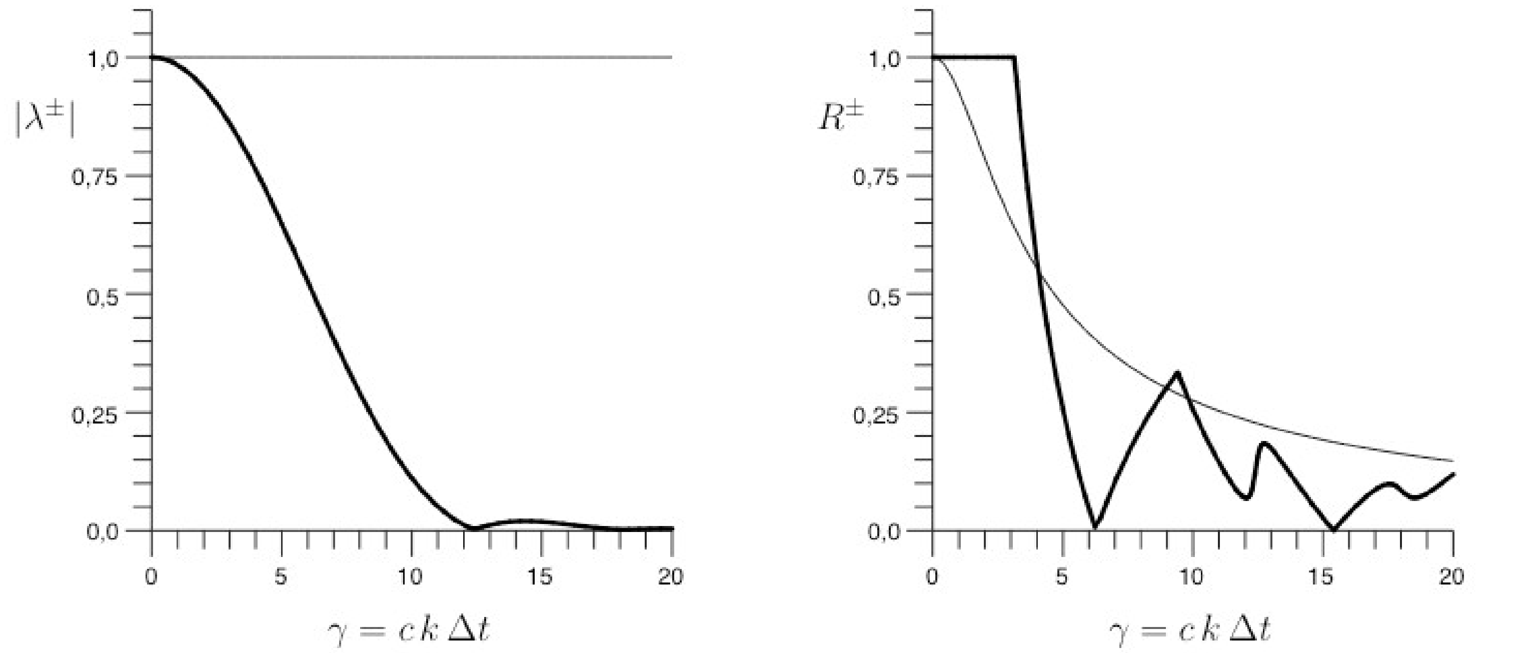
Correcteur :

$$\begin{aligned}
\frac{2}{\Delta t}\left(\zeta^{n+1} - \zeta^{n+\frac{1}{2}}\right) &= -h_0\,\partial_x \bar{u}^{n+1} - u_0 \partial_x \zeta^{n+\frac{1}{2}} - h_0\,\partial_y \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} - v_0 \partial_y \zeta^{n+\frac{1}{2}} \\
\frac{1}{\Delta t}\left(\bar{u}^{n+1} - \bar{u}^{n}\right) &= -u_0 \partial_x \bar{u}^{n+1,*} - v_0 \partial_y \bar{u}^{n+1,*} + f \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} \\
&\quad - g\,\partial_x\left(\alpha_1 \zeta^{n+1} + \alpha_2 \zeta^{n+\frac{1}{2}} + \alpha_3 \zeta^{n}\right)
\end{aligned}$$

Filtrage :

$$\zeta^{n+\frac{1}{2}} \leftarrow a\zeta^{n+\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(1-a)\left(\zeta^{n+1} + \zeta^{n}\right)$$

Comparaison des caractères dissipatif et dispersif de ROMS et MARS.



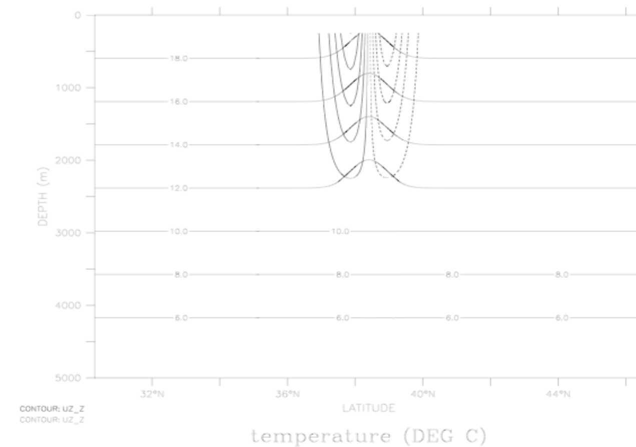
(a) Module (b) Argument

Cas Froude nul.

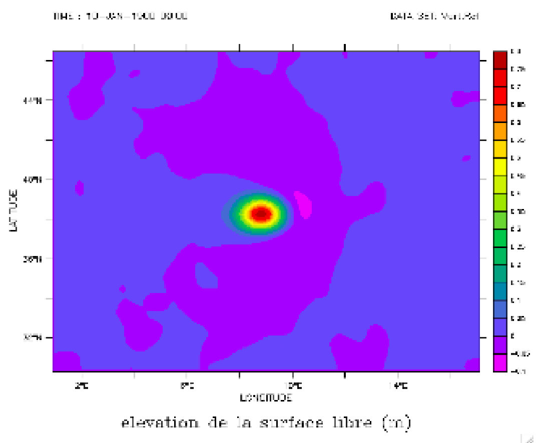
Cas vortex barocline

Spall et Holland (JPO, 1991) Penven et al (OM, 2006)

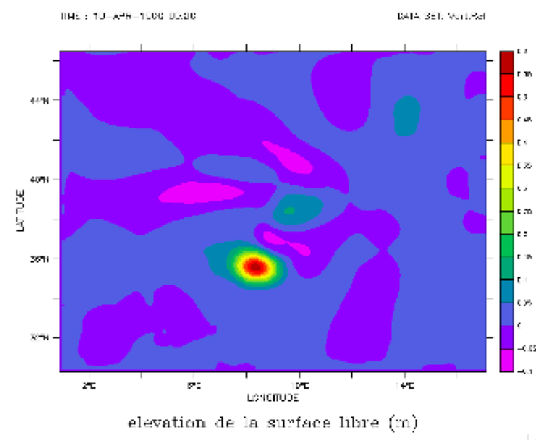
- Profondeur 5000m
- Extension du vortex : 2500 m
- Rayon du tourbillon 60 km
- Résolution : 10 km
- 10 niveaux sur la verticale équirépartis
- Boîte de 1800x1800 km
- 38°5 latitude Nord (approximation plan beta)
- Frontière ouverte



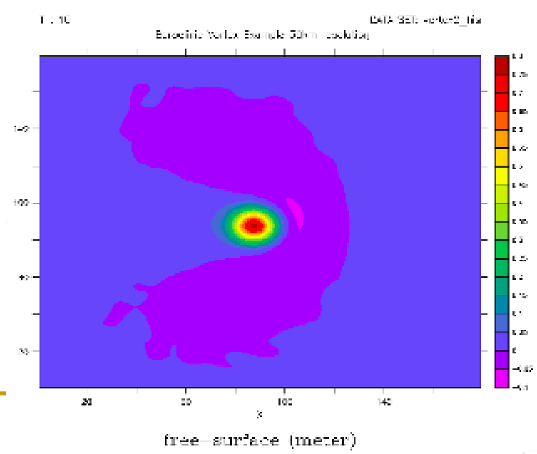
Comparaison cas-test du Vortex barocline : surface libre



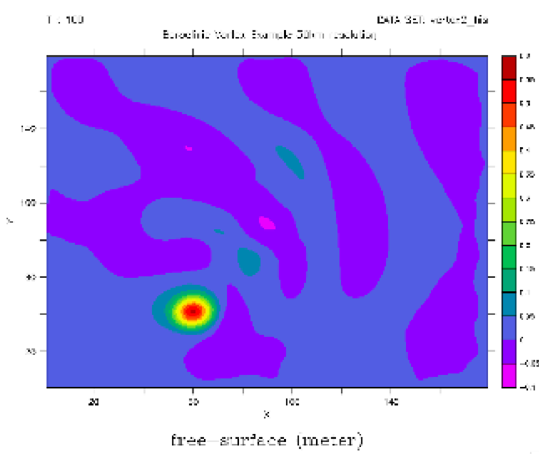
(a) Jour 10 MARS



(b) Jour 100 MARS



(e) Jour 10 ROMS



(f) Jour 100 ROMS

Nouveau schéma temporel (1)

Δt=dt/2

$$
\left\{
\begin{aligned}
(1+ft\beta_2\Delta t)u^{n+\frac{1}{2},*} &= u^n - \Delta t(u^n\frac{\partial u^n}{\partial x} + v^n\frac{\partial u^n}{\partial y}) - g\Delta t\frac{\partial \zeta^n}{\partial x} + \Delta t f v^n \\
&\quad + \Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial u^n}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial u^n}{\partial y}\right]\right\} \\
&\quad + \Delta t\frac{\tau_{sx}}{\rho h^n} - \frac{\Delta t}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial x} - \Delta t f t\beta_1 u^n \\
(1+ft\beta_2\Delta t)v^{n+\frac{1}{2},*} &= v^n - \Delta t(u^n\frac{\partial v^n}{\partial x} + v^n\frac{\partial v^n}{\partial y}) - g\Delta t\frac{\partial \zeta^n}{\partial y} - \Delta t f u^n \\
&\quad + \Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial v^n}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial v^n}{\partial y}\right]\right\} \\
&\quad + \Delta t\frac{\tau_{sy}}{\rho h^n} - \frac{\Delta t}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial y} - \Delta t f t\beta_1 v^n
\end{aligned}
\right.
$$

Estimation explicite des vitesses

$$
\left\{
\begin{aligned}
\zeta^{n+\frac{1}{2},*} &= \zeta^n - \Delta t\frac{\partial}{\partial x}\left[h^n\left(\alpha\, u^n + (1-\alpha)\, u^{n+\frac{1}{2}}\right)\right] \\
&\quad - \Delta t\frac{\partial}{\partial y}\left[h^n\left(\alpha\, v^n + (1-\alpha)\, v^{n+\frac{1}{2},*}\right)\right] \\
(1+ft\beta_2\Delta t)u^{n+\frac{1}{2}} &= u^n - g\Delta t\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\,\zeta^n + (1-\alpha)\,\zeta^{n+\frac{1}{2},*}\right) + \Delta t f v^{n+\frac{1}{2},*} - \Delta t f t\beta_1 u^n \\
&\quad - \Delta t u^{n+\frac{1}{2},*}\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\, u^n + (1-\alpha)\, u^{n+\frac{1}{2},*}\right) \\
&\quad - \Delta t v^{n+\frac{1}{2},*}\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\, u^n + (1-\alpha)\, u^{n+\frac{1}{2},*}\right) \\
&\quad + \Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial u^n}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial u^n}{\partial y}\right]\right\} \\
&\quad + \Delta t\frac{\tau_{sx}}{h^n\rho} - \frac{\Delta t}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial x}
\end{aligned}
\right.
$$

Résolution équation du mouvement (u) et continuité
Estimation semi-implicite

$$
\left\{
\begin{aligned}
\zeta^{n+\frac{1}{2}} &= \zeta^n - \Delta t\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\alpha h^n + (1-\alpha)h^{n+\frac{1}{2},*}\right)\left(\alpha\, u^n + (1-\alpha)\, u^{n+\frac{1}{2}}\right)\right] \\
&\quad - \Delta t\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\alpha h^n + (1-\alpha)h^{n+\frac{1}{2},*}\right)\left(\alpha\, v^n + (1-\alpha)\, v^{n+\frac{1}{2}}\right)\right] \\
(1+ft\beta_2\Delta t)v^{n+\frac{1}{2}} &= v^n - g\Delta t\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\,\zeta^n + (1-\alpha)\,\zeta^{n+\frac{1}{2}}\right) - f\Delta t u^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t f t\beta_1 v^n \\
&\quad - \Delta t u^{n+\frac{1}{2},*}\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\, v^n + (1-\alpha)\, v^{n+\frac{1}{2},*}\right) \\
&\quad - \Delta t v^{n+\frac{1}{2},*}\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\, v^n + (1-\alpha)\, v^{n+\frac{1}{2},*}\right) \\
&\quad + \Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial v^n}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial v^n}{\partial y}\right]\right\} \\
&\quad + \Delta t\frac{\tau_{sy}}{\rho\left(\alpha\, h^n + (1-\alpha)\, h^{n+\frac{1}{2},*}\right)} - \frac{\Delta t}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial y}
\end{aligned}
\right.
$$

Résolution équation du mouvement (v) et continuité
Estimation semi-implicite

Nouveau schéma temporel (2)

Δt=dt/2

$$
\left\{
\begin{array}{rcl}
(1+ft\beta_2\Delta t)u^{n+1,*} & = & u^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t(u^{n+\frac{1}{2}}\frac{\partial u^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} + v^{n+\frac{1}{2}}\frac{\partial u^{n+\frac{1}{2}}}{\partial y}) - g\Delta t\,\frac{\partial \zeta^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} + \Delta t f v^{n+\frac{1}{2}} \\
 & & +\Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial u^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial u^{n+\frac{1}{2}}}{\partial y}\right]\right\} \\
 & & +\Delta t\frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \Delta t\frac{}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial x} - \Delta t f t\beta_1 u^{n+\frac{1}{2}} \\
(1+ft\beta_2\Delta t)v^{n+1,*} & = & v^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t(u^{n+\frac{1}{2}}\frac{\partial v^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} + v^{n+\frac{1}{2}}\frac{\partial v^{n+\frac{1}{2}}}{\partial y}) - g\Delta t\frac{\partial \zeta^{n+\frac{1}{2}}}{\partial y} - \Delta t f u^{n+\frac{1}{2}} \\
 & & +\Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial v^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial v^{n+\frac{1}{2}}}{\partial y}\right]\right\} \\
 & & +\Delta t\frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\Delta t}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial y} - \Delta t f t\beta_1 v^{n+\frac{1}{2}}
\end{array}
\right.
$$

Estimation explicite des vitesses

$$
\left\{
\begin{array}{rcl}
\zeta^{n+1,*} & = & \zeta^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t\frac{\partial}{\partial x}\left[h^{n+\frac{1}{2}}\left(\alpha\, u^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, u^{n+1,*}\right)\right] \\
 & & - \Delta t\frac{\partial}{\partial y}\left[h^{n+\frac{1}{2}}\left(\alpha\, v^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, v^{n+1}\right)\right] \\
(1+ft\beta_2\Delta t)v^{n+1} & = & v^{n+\frac{1}{2}} - g\Delta t\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\,\zeta^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\,\zeta^{n+1,*}\right) - f\Delta t u^{n+1,*} - \Delta t f t\beta_1 v^{n+\frac{1}{2}} \\
 & & - \Delta t u^{n+1,*}\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\, v^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, v^{n+1,*}\right) \\
 & & - \Delta t v^{n+1,*}\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\, v^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, v^{n+1,*}\right) \\
 & & + \Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial v^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial v^{n+\frac{1}{2}}}{\partial y}\right]\right\} \\
 & & + \Delta t\frac{\tau_{sy}}{\rho h^{n+\frac{1}{2}}} - \frac{\Delta t}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial y}
\end{array}
\right.
$$

Résolution équation du mouvement (v) et continuité
Estimation semi-implicite

$$
\left\{
\begin{array}{rcl}
\zeta^{n+1} & = & \zeta^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\alpha h^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)h^{n+1,*}\right)\left(\alpha\, u^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, u^{n+1}\right)\right] \\
 & & - \Delta t\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\alpha h^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)h^{n+1,*}\right)\left(\alpha\, v^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, v^{n+1}\right)\right] \\
(1+ft\beta_2\Delta t)u^{n+1} & = & u^{n+\frac{1}{2}} - g\Delta t\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\,\zeta^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\,\zeta^{n+1}\right) + \Delta t f v^{n+1} - \Delta t f t\beta_1 u^{n+\frac{1}{2}} \\
 & & - \Delta t u^{n+1,*}\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\, u^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, u^{n+1,*}\right) \\
 & & - \Delta t v^{n+1,*}\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\, u^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)\, u^{n+1,*}\right) \\
 & & + \Delta t\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial u^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial u^{n+\frac{1}{2}}}{\partial y}\right]\right\} \\
 & & + \Delta t\frac{\tau_{sx}}{\rho\left(\alpha h^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha)h^{n+1,*}\right)} - \frac{\Delta t}{\rho}\frac{\partial Pa}{\partial x}
\end{array}
\right.
$$

Résolution équation du mouvement (u) et continuité
Estimation semi-implicite

Nouveau schéma temporel 3D (1)

Δt=dt/2

$$\left\{ \bar{v}^{n+\frac{1}{2},*} = \bar{v}^n - \Delta t \left[\bar{G}_v\left(u^{n-\frac{1}{2}}, v^{n-\frac{1}{2}}\right) + g\frac{\partial \zeta^n}{\partial y} \right] \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \zeta^{n+\frac{1}{2},*} & = & \zeta^n - \Delta t \left[\frac{\partial}{\partial x}\left(h^n \bar{u}^{n+\frac{1}{2}}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h^n \bar{v}^{n+\frac{1}{2},*}\right) \right] \\ \bar{u}^{n+\frac{1}{2}} & = & \bar{u}^n - \Delta t \left[g\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\zeta^n + (1-\alpha)\zeta^{n+\frac{1}{2},*}\right) + G_u\left(u^n, v^n\right) \right] \\ u^{n+\frac{1}{2}}(k) & = & u^n(k) - \Delta t \left[g\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\zeta^n + (1-\alpha)\zeta^{n+\frac{1}{2},*}\right) + G_u\left(u^n, v^n\right)(k) \right] \\ & & + \Delta t \frac{\partial}{\partial z}\left[k_z \frac{\partial}{\partial z}\left(u^{n+\frac{1}{2}}(k)\right) \right] \end{array} \right.$$

$$\left\{ u^{n+\frac{1}{2}}(k) = u^{n+\frac{1}{2}}(k) - \overline{u^{n+\frac{1}{2}}(k)} + \bar{u}^{n+\frac{1}{2}} \right.$$

couplage 3D

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \zeta^{n+\frac{1}{2}} & = & \zeta^n - \Delta t \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\alpha h^n + (1-\alpha)\, h^{n+\frac{1}{2},*}\right) \bar{u}^{n+\frac{1}{2}} \right] \right. \\ & & \left. + \frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\alpha h^n + (1+\alpha)\, h^{n+\frac{1}{2},*}\right) \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} \right] \right\} \\ \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} & = & \bar{v}^n - \Delta t \left[g\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\zeta^n + (1-\alpha)\zeta^{n+\frac{1}{2}}\right) + \bar{G}_v\left(u^{n+\frac{1}{2}}, v^n\right) \right] \\ v^{n+\frac{1}{2}}(k) & = & v^n(k) - \Delta t \left[g\frac{\partial}{\partial y}\left(\alpha\zeta^n + (1-\alpha)\zeta^{n+\frac{1}{2}}\right) + G_v\left(u^{n+\frac{1}{2}}, v^n\right)(k) \right] \\ & & + \Delta t \frac{\partial}{\partial z}\left[k_z \frac{\partial}{\partial z}\left(v^{n+\frac{1}{2}}(k)\right) \right] \end{array} \right.$$

$$\left\{ v^{n+\frac{1}{2}}(k) = v^{n+\frac{1}{2}}(k) - \overline{v^{n+\frac{1}{2}}(k)} + \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} \right.$$

couplage 3D

$$\left\{ \begin{array}{lcl} h^{n+\frac{1}{2}}T^{n+\frac{1}{2}} & = & h^n T^n - \Delta t \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\alpha h^n + (1-\alpha)\, h^{n+\frac{1}{2},*}\right) u^{n+\frac{1}{2}} T^n \right] \right. \\ & & + \frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\alpha h^n + (1-\alpha)\, h^{n+\frac{1}{2},*}\right) v^{n+\frac{1}{2}} T^n \right] \\ & & \left. + \frac{\partial}{\partial z}\left[h^{n+\frac{1}{2}} w^{n+\frac{1}{2}} T^n \right] \right\} \end{array} \right.$$

Nouveau schéma temporel 3D (2)

Δt=dt/2

$$\left\{ \bar{u}^{n+1,*} = \bar{u}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \left[\bar{G}_u (u^n, v^n) + g \frac{\partial \zeta^{n+\frac{1}{2}}}{\partial x} \right] \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \zeta^{n+1,*} & = & \zeta^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h^{n+\frac{1}{2}} \bar{u}^{n+1,*} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^{n+\frac{1}{2}} \bar{v}^{n+1} \right) \right] \\ \bar{v}^{n+1} & = & \bar{v}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \left[g \frac{\partial}{\partial y} \left(\alpha \zeta^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) \zeta^{n+1,*} \right) + \bar{G}_v \left(u^{n+\frac{1}{2}}, v^{n+\frac{1}{2}} \right) \right] \\ v^{n+1}(k) & = & v^{n+\frac{1}{2}}(k) - \Delta t \left[g \frac{\partial}{\partial y} \left(\alpha \zeta^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) \zeta^{n+1,*} \right) + G_v \left(u^{n+\frac{1}{2}}, v^{n+\frac{1}{2}} \right)(k) \right] \\ & & + \Delta t \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \frac{\partial}{\partial z} \left(v^{n+1}(k) \right) \right] \end{array} \right.$$

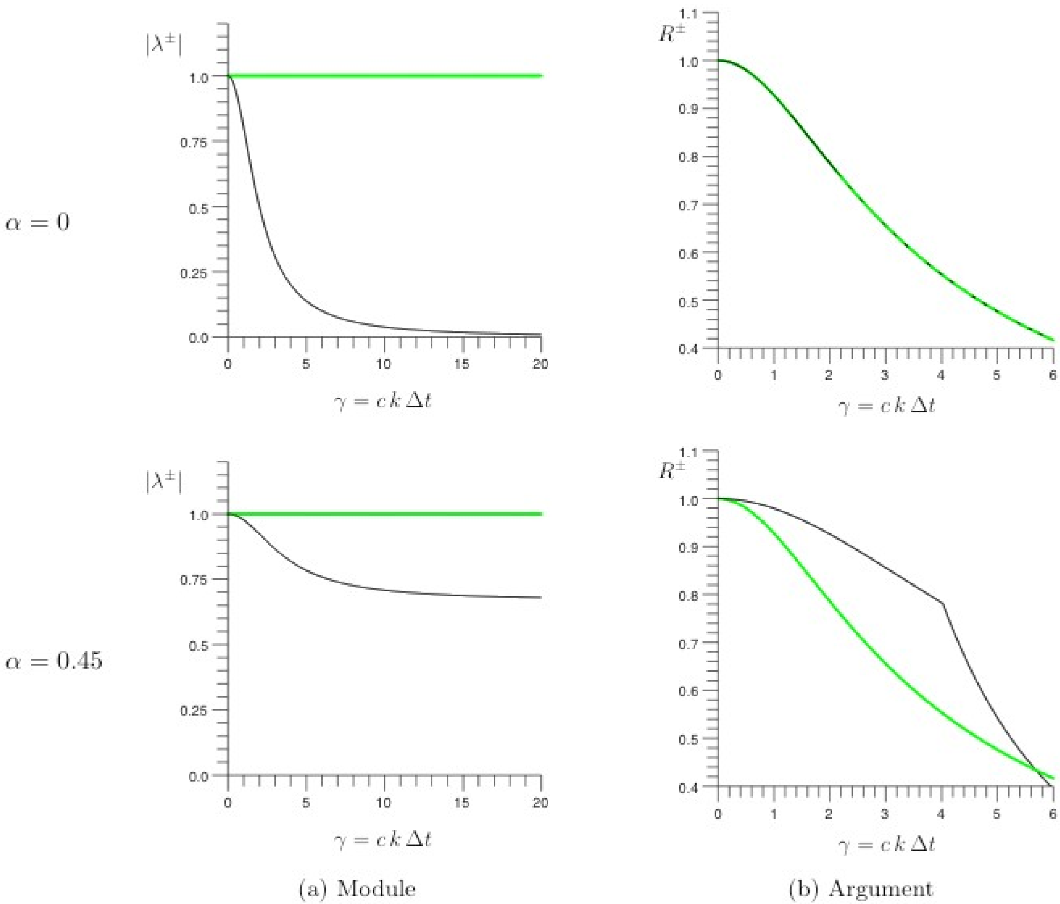
$$\left\{ v^{n+1}(k) = v^{n+1}(k) - \overline{v^{n+1}(k)} + \bar{v}^{n+1} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \zeta^{n+1} & = & \zeta^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\alpha h^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) h^{n+1,*} \right) \bar{u}^{n+1} \right] \right. \\ & & \left. + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\alpha h^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) h^{n+1,*} \right) \bar{v}^{n+1} \right] \right\} \\ \bar{u}^{n+1} & = & \bar{u}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \left[g \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \zeta^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) \zeta^{n+1} \right) + \bar{G}_u \left(u^{n+\frac{1}{2}}, v^{n+1} \right) \right] \\ u^{n+1}(k) & = & u^{n+\frac{1}{2}}(k) - \Delta t \left[g \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \zeta^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) \zeta^{n+1} \right) + G_u \left(u^{n+\frac{1}{2}}, v^{n+1} \right)(k) \right] \\ & & + \Delta t \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \frac{\partial}{\partial z} \left(u^{n+1}(k) \right) \right] \end{array} \right.$$

$$\left\{ u^{n+1}(k) = u^{n+1}(k) - \overline{u^{n+1}(k)} + \bar{u}^{n+1} \right.$$

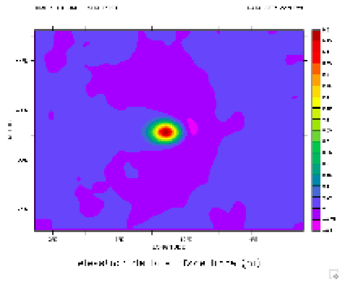
$$\left\{ \begin{array}{lcl} h^{n+1} T^{n+1} & = & h^{n+\frac{1}{2}} T^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\alpha h^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) h^{n+1,*} \right) u^{n+1} T^{n+\frac{1}{2}} \right] \right. \\ & & + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\alpha h^{n+\frac{1}{2}} + (1-\alpha) h^{n+1,*} \right) v^{n+1} T^{n+\frac{1}{2}} \right] \\ & & \left. + \frac{\partial}{\partial z} \left[h^{n+1} w^{n+1} T^{n+\frac{1}{2}} \right] \right\} \end{array} \right.$$

Impact sur le caractère dispersif et dissipatif du modèle (Froude nul)

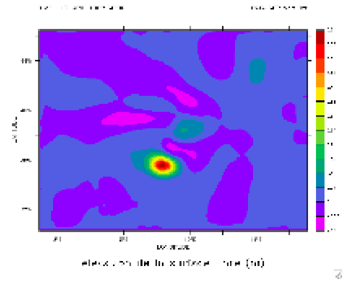


- Pour α=0.5 le schéma est globalement d'ordre 2, d'ordre 1 sinon
- Une condition nécessaire de stabilité est α < 0.5 sinon une des trois VP a un module > 1 (instable)

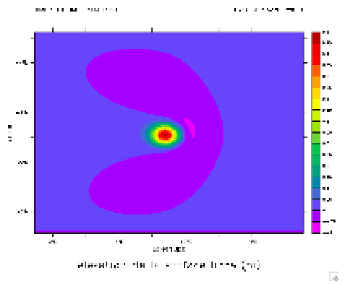
Cas-test vortex barocline.



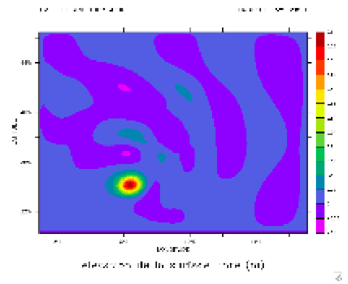
(a) Jour 10 MARS



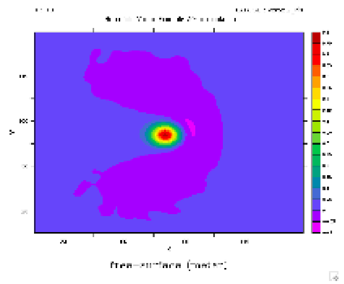
(b) Jour 100 MARS



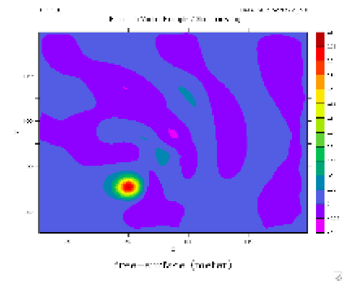
(c) Jour 10



(d) Jour 100

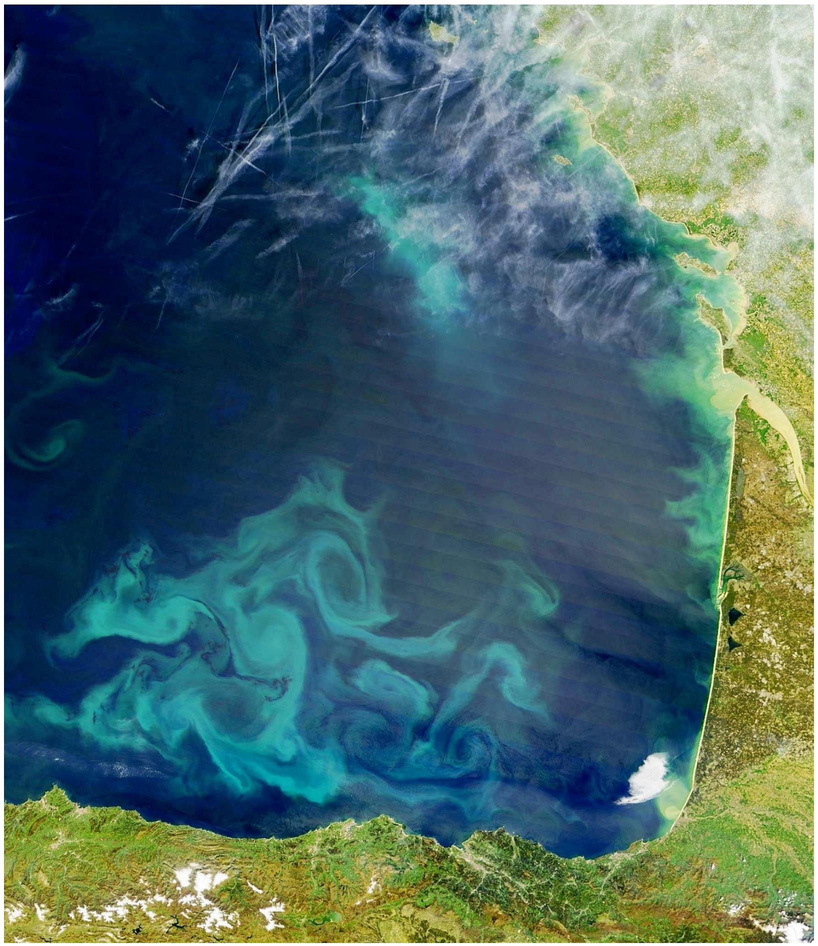


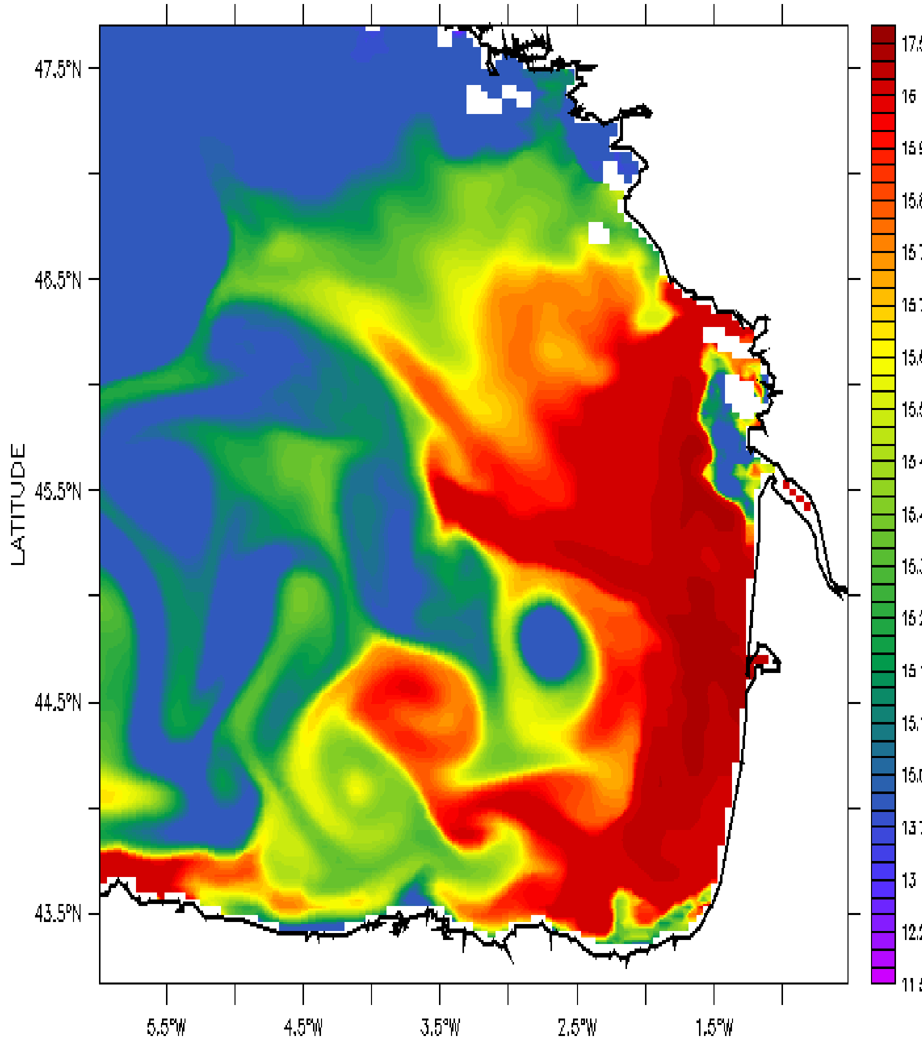
(e) Jour 10 ROMS



(f) Jour 100 ROMS

Activité tourbillonnaire plus réaliste (viscosité numérique)





Evaluation des simulations réalistes

- Nouveau schéma temporel
- Introduction des schémas QUICKEST (moment) et ULTIMATE QUICKEST MACHO (traceurs)
- Coordonnées sigma généralisées
- Schémas de turbulence
- Formulations bulk des flux
- …

Modélisation des processus physiques observés dans le golfe de Gascogne

- Observations hydrologiques, physiques et dynamiques
- Hypothèse et établissement de cas schématiques
- Analyse du « réalisme » des simulations schématiques
- Interprétation physique et dynamique, évaluation des processus impliques à partir de diagnostiques de conservation d'énergie…
- Interactions entre différents mécanismes
- Analyse numérique : impact résolution statiale, repésentation verticale, schémas numériques
- Améliorer les performances de MARS, énoncer les capacités et contraintes du code à reproduire chaque phénomène

Modélisation des processus physiques observés dans le golfe de Gascogne

- Bourrelet d'eau froide
- Langue d'eau chaude et courant automnal côtier
- Plumes d'eau douce
- Ondes internes
- Front de Ouessant
- Upwellings
- Tourbillons mésoéchelles
- Courant de pente
- Renouvellement des masses d'eau du plateau
- Propagation marée barotrope