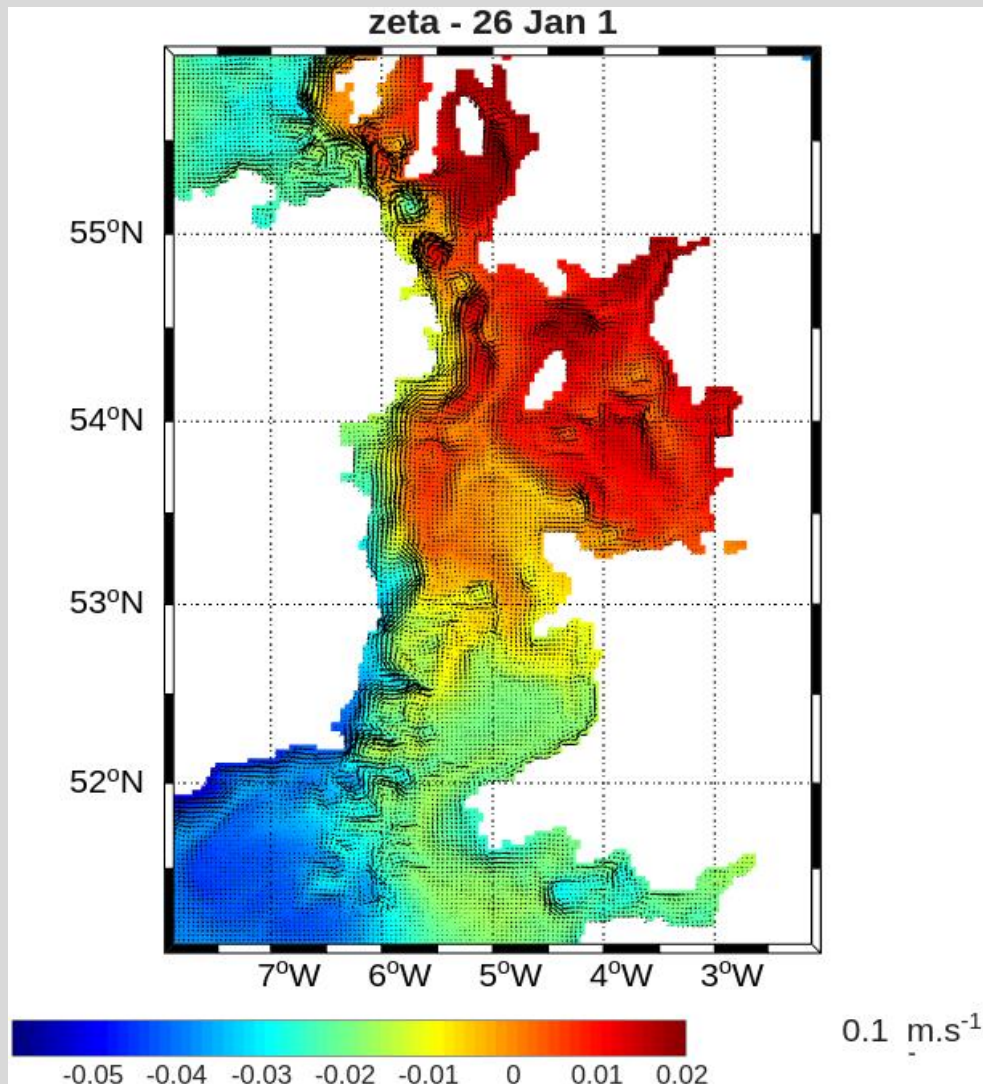




Simulation de la circulation en mer d'Irlande avec le modèle CROCO

-- 4 Mai 2026 --

UE [OPB205] : Modélisation 3D de la circulation océanique

Juliette Garnier

Master 1 Sciences de la Mer parcours OPB - Institut Pythéas

Aix – Marseille Université

Professeur référent : A. Doglioli

Année Universitaire - 2025/2026

Principales caractéristiques de la zone d'étude



Figure 1 : Carte bathymétrique de la mer d'Irlande (Wikipédia, 2026)

- **Mer épicontinentale :**
 - Irlande et Irlande du Nord (Ouest)
 - Pays de Galles, Ecosse et Angleterre (Est)
 - 300 km de long * 200 km de large (Superficie : 46 007 km²)
- **Faible bathymétrie** → 150 m au Sud et 250 m au Nord (dynamique complexe)
- **Apports d'eau Atlantique Nord :**
 - par la mer d'Ecosse (Canal du Nord)
 - par la mer Celtique (Canal de St. Georges)
- **Courantologie :**
 - caractéristique des mers continentales
 - courants à long terme dépendent de 3 composantes :
 - ★ le vent
 - ★ les marées
 - ★ la variation de densité et la stratification

} mélange vertical important

Facteurs d'influence en mer d'Irlande



- **Apports fluviaux :**

→ côte irlandaise : ~ **9 km³ / an** (légende figure 2 :)

→ côte de la Grande-Bretagne : ~ **5 km³ / an**

- **Contraintes atmosphériques :**

→ climat doux et humide due à la dérive Nord-Atlantique du Gulf Stream

- **Marées :**

→ marées importantes sur la **partie est** du bassin

Figure 2 : Carte des principaux apports fluviaux irlandais en mer d'Irlande (Wikipédia, 2026)

Pourquoi utiliser la modélisation numérique ?

- **Bref Historique :**

- Usines à prévoir le temps (Richardson, 1922)

- Avancées informatiques au XXe siècle → Première prévision numérique du temps (Charney, 1950)

- **Modèles en océanographie :**

- à l'échelle globale (NEMO,OPA-NEMO)

- à l'échelle régionale (ROMS, CROCO,HYCOM)

- **Intérêts :**

- appui aux campagnes de mesure *in situ*

- réalise des prédictions de l'état des océans à différentes échelles sous l'influence du changement climatique

→ *A quel degré de précision peut-on modéliser les processus physiques en mer d'Irlande caractérisée comme une zone épicontinentale ?*

Le modèle ROMS et les équations associées

- **ROMS** (*Regional Ocean Modeling System*) :

→ modèle régional à surface libre permettant de simuler une circulation océanique à l'interface air-mer

- **Les équations primitives implémentées :**

→ Equations du mouvement (Navier-Stokes et approximation hydrostatique) :

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + U \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + f v + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + U \cdot \nabla v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - f u + A_h \nabla_h^2 v + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \\ 0 = \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g \end{cases}$$

→ Equation de continuité : $\left\{ 0 = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right.$

→ Equations de la conservation de la chaleur et du sel : $\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} + U \cdot \nabla T = K_h \nabla_h^2 T + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \\ \frac{\partial S}{\partial t} + U \cdot \nabla S = K_h \nabla_h^2 S + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \end{cases}$

→ Equation d'état de l'eau de mer : $\left\{ \rho = \rho(T, S, z) \right.$

Equations de
conservation

- **Hypothèses de simplification :**

→ approximation de Boussinesq, approximation hydrostatique, approximation d'incompressibilité, fermeture Newtonienne de la turbulence

Conditions Limites, aux Frontières et Discrétisation

- **Conditions Limites et aux Frontières :**
 - paramétrées selon des banques de données ("World Ocean Atlas 2009" (WOA09)) → courantologie, T, S, UAO
- **Forçages atmosphère-océan :**
 - provenant de "International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set" (ICOADS) → flux de chaleur, radiation solaire, apports fluviales, vitesse de vent
- **Discrétisation spatiale et temporelle :**
 - espace : Grille d'Arakawa-C (horizontale)
Grille en coordonnées sigma (verticale)
 - temps : schéma de progressif explicite (time splitting)
 - condition de stabilité : Courant – Friedrichs – Lewy (CFL) →

$$\Delta t \leq \frac{1}{\sqrt{gH}} \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)}$$

Implémentation de la zone d'étude

- **Coordonnées de la zone d'étude du modèle :**
 - Latitude min – max : 51°N - 56°N
 - Longitude min – max : 2°W - 8°W
- **Trois résolutions testées :**
 - Basse résolution : $1/8^\circ \sim \Delta x = 14 \text{ km}$ et $\Delta y = 8 \text{ km}$
 - Haute résolution : $1/24^\circ \sim \Delta x = 5 \text{ km}$ et $\Delta y = 23 \text{ km}$
- **Composante négligée :**
 - effets de marée

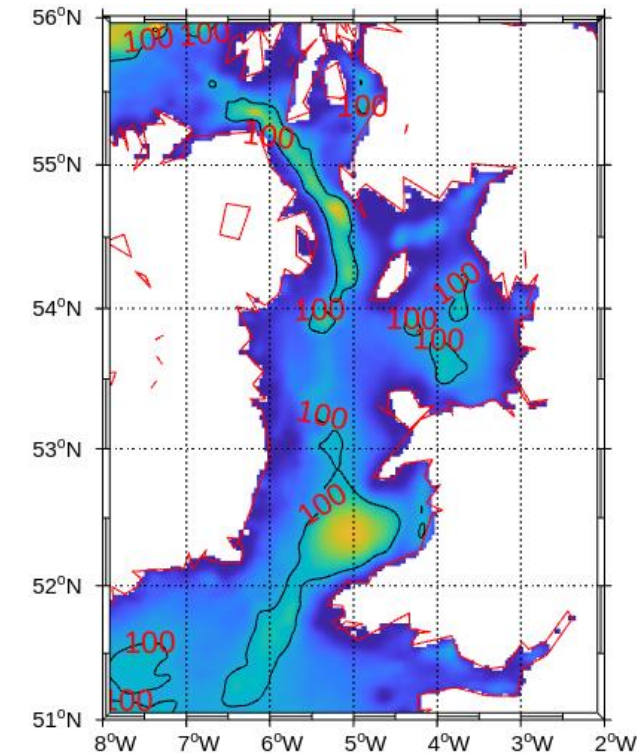
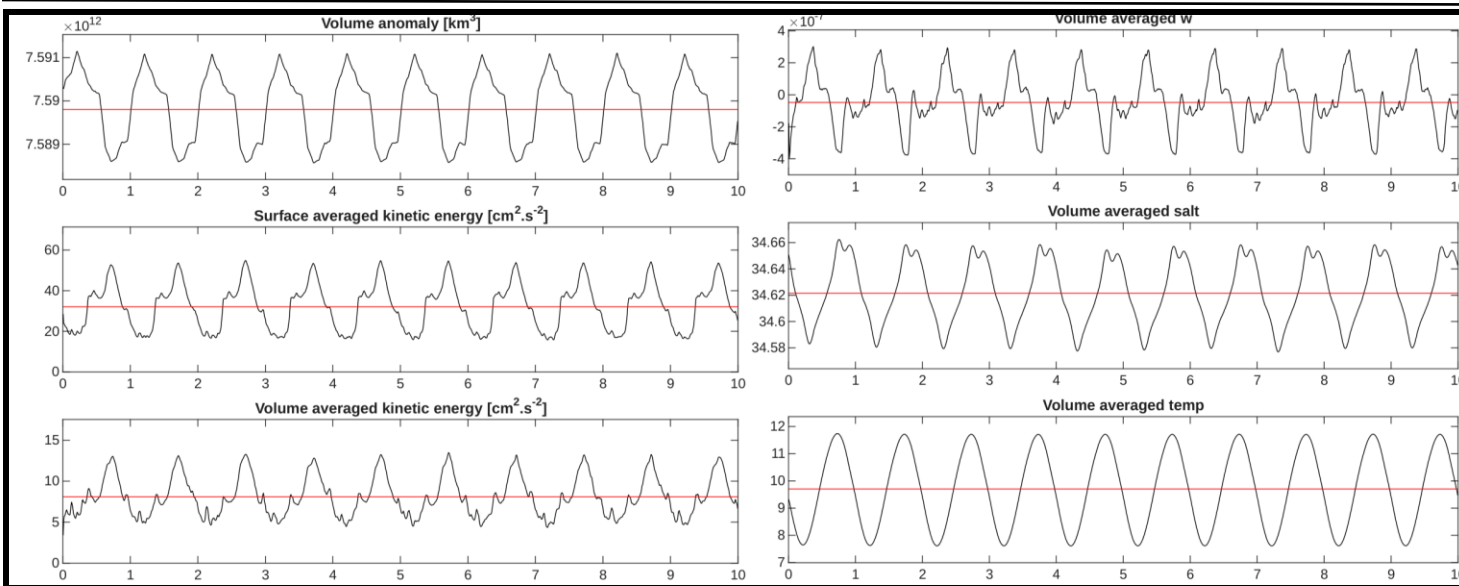
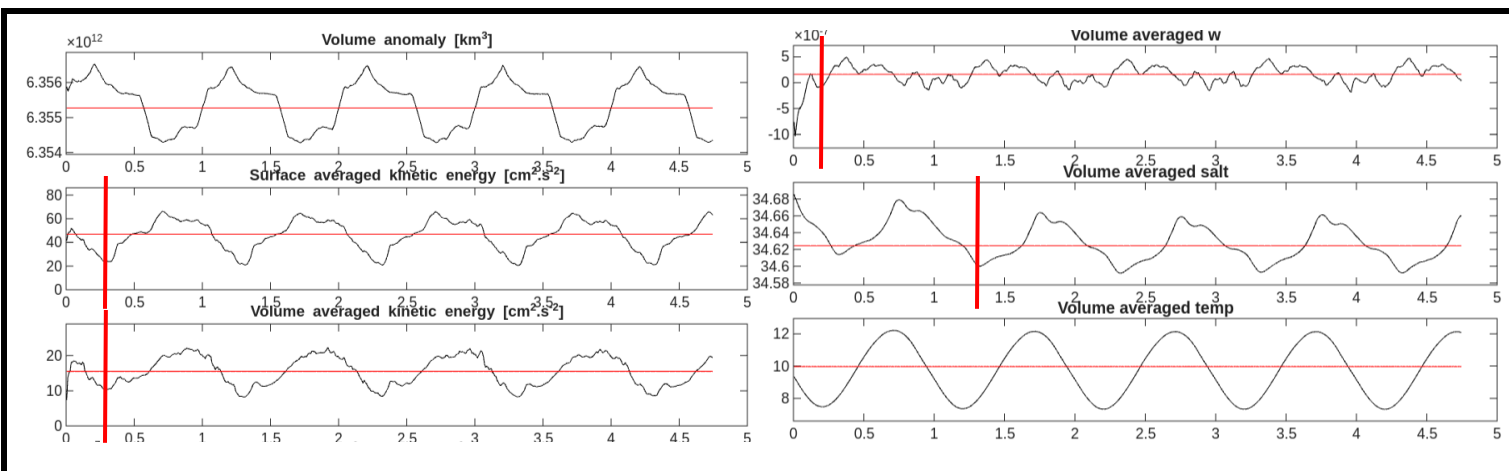


Figure 4 : Carte de la bathymétrie de la zone d'étude à $1/24^\circ$

Diagnostic des simulations effectuées



Simulation à Basse Résolution :
→ absence de phase de spin-up



Simulation à haute Résolution :
→ légère phase de spin-up : prise en compte des résultats à partir de 1 an et 3 mois (quantité de sel)

Figure 5 : Variables diagnostiques des simulations obtenues avec le cript `plot_diags`

Etude saisonnière des paramètres T et S

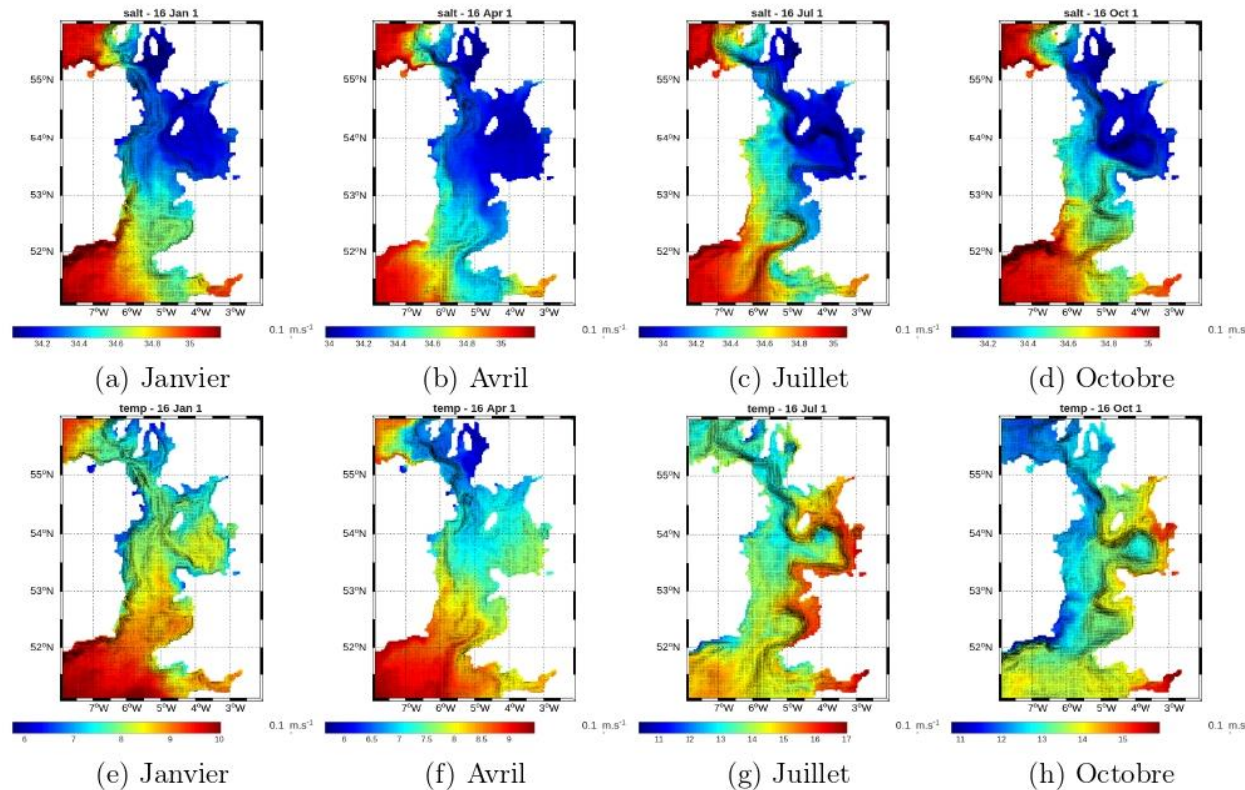


Figure 6 : Cartes de Salinité (PSU) → (a, b, c, d) et de la Température potentielle (°C) → (e, f, g, h) moyennées sur 5 ans de simulation à haute résolution

→ **Salinité faible** sur la partie nord : apports fluviaux

→ **Circulation thermohaline** dépend davantage des variations de température que de la salinité

→ **Limites du modèle** : circulation cyclonique accentuée au bord est du bassin non réaliste (effets de marée)

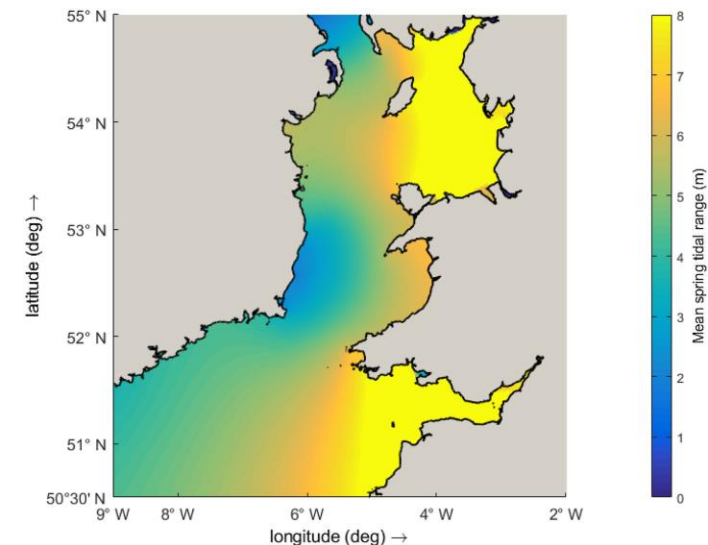


Figure 7 : Carte des effets de marée en mer d'Irlande (K.J Horsburgh et al, 2000)

Zoom sur la circulation de l'ouest de la mer d'Irlande

- Le Gyre Cyclonique de l'Ouest de la Mer d'Irlande :
 - Mécanismes d'apparition :
 - au printemps : **stratification colonne d'eau** car eaux de surface s'échauffent → mise en place d'une thermocline saisonnière (avril → septembre)
 - courants de marées** très inférieurs à 1m/s ~ 0,3 m/s
 - Création d'un front de mélange tidal

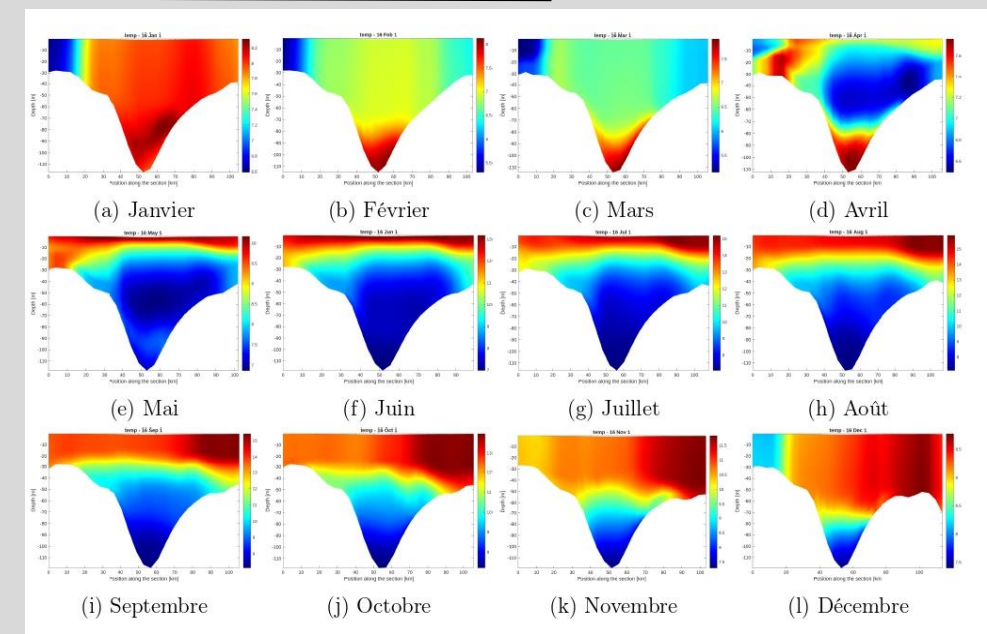
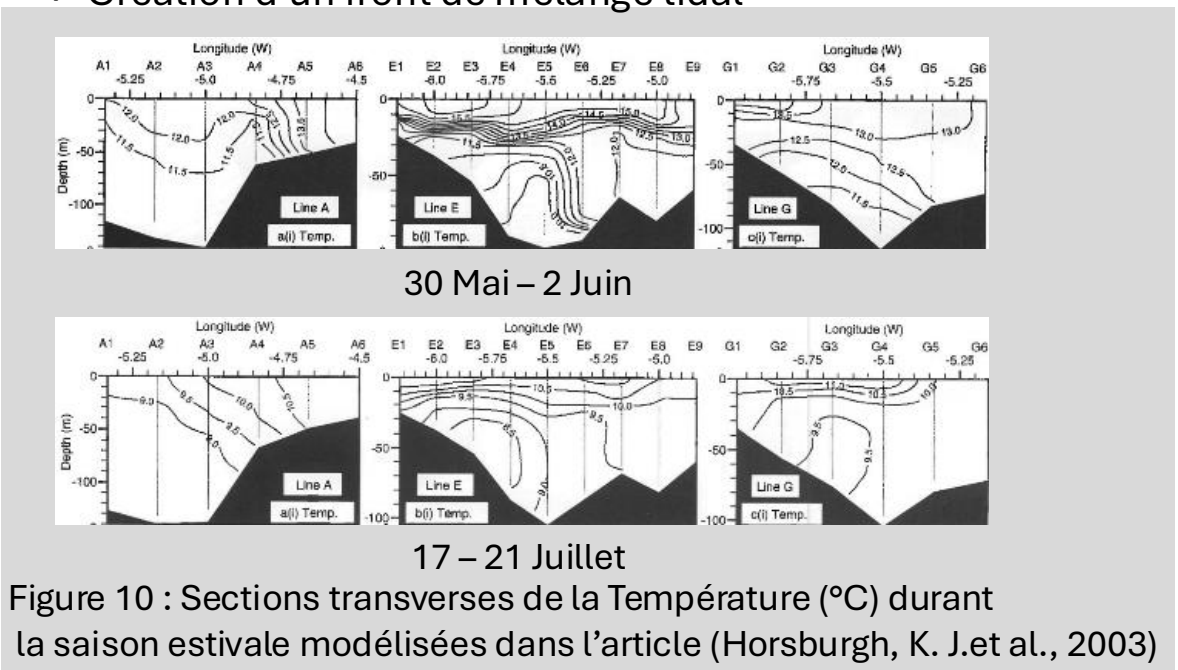


Figure 9 : Sections verticales de la température mensuelle (°C) moyennées sur 5 ans de simulation à haute résolution en fonction de la profondeur (m) au sein du gyre cyclonique de l'ouest de la mer d'Irlande

- Modèle ROMS → montre cette stratification saisonnière qui permet au gyre de se mettre en place
- Les deux modèles → même tendances des profils de température (Juillet) mais ROMS a des températures moins élevées pour les mois de Mai et Juin à 60m

Influence de la résolution sur les processus modélisés

- **Paramètre de turbulence verticale (Akt) :**
 - Basse résolution : très élevé → tout le bassin est homogène
 - Haute résolution : régulé au centre, faible proche des côtes
 - cas non réaliste car 0 – 50 m : marées
- **Champ de vitesses zonales :**
 - Basse résolution : très intense au Canal du Nord
 - Haute résolution : plus réaliste, résoud le problème de variations rapides de vitesse en basse résolution

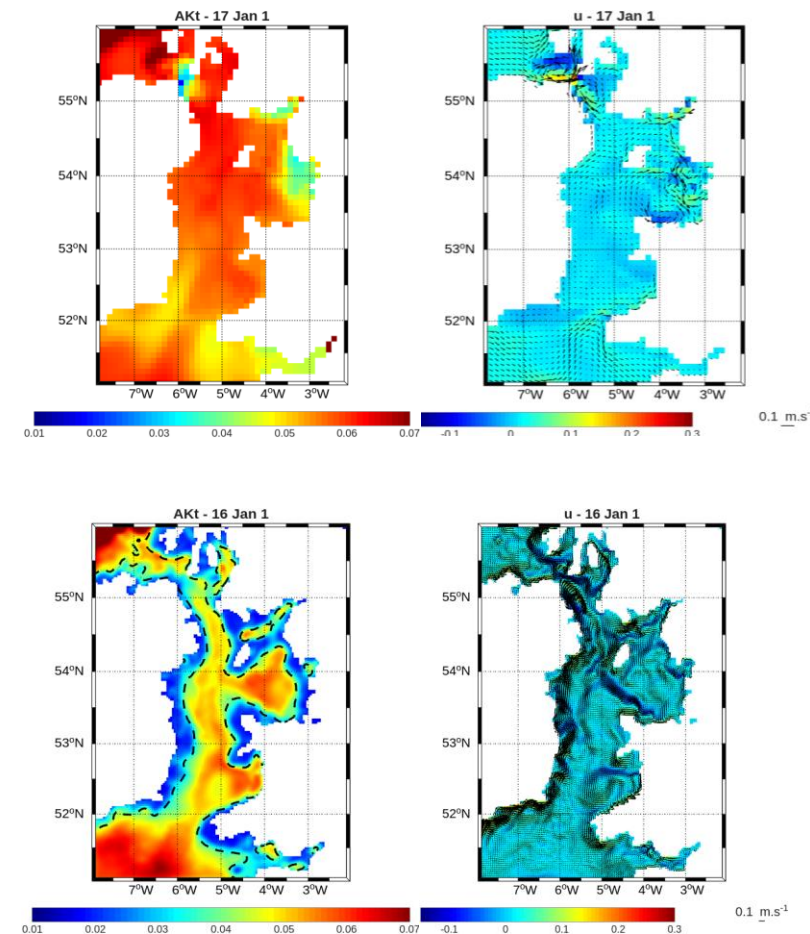


Figure 11 : Comparaison des sorties à basse et haute résolution respectivement 1ere et 2e ligne des paramètres de turbulence verticale (Akt) et de vitesse zonale, de gauche à droite pour les mois de janvier moyennées sur 5 ans de résolution

Conclusion et perspectives

- **Modèle de circulation ROMS** : atout pour réaliser des simulations à différents degrés de résolution
- **Partie est du bassin de la mer d'irlande** : mise en place d'une cellule de circulation cyclonique due aux simplifications de la circulation dans les paramètres du modèle
- **Effets de marée négligés** et les **apports fluviaux sous-estimés** → modèle à haute résolution représente la mise en place du gyre de la partie ouest de la mer d'Irlande (profils verticaux de température)

Perspective d'amélioration :

- Réaliser une simulation avec **activation du packages des effets de marées**
 - tester robustesse circulation générale
 - confirmer la présence du gyre cyclonique de la partie ouest

Bibliographie :

- [1] Andrea M. Doglioli. Notes de Cours et Travaux Dirigés de Modélisation 3D Océanique. Master d'Océanographie, dernière révision 3 avril 2019. 2019. url : https://people.mio.osupytheas.fr/doglioli.andrea/Doglioli_NotesCoursTD_Modelisation3DOceanique.pdf.
- [2] Kevin J. Horsburgh et A. Edward Hill. "A Three-Dimensional Model of Density-Driven Circulation in the Irish Sea". In : Journal of Physical Oceanography 33.2 (2003), p. 343-365. doi : 10 . 1175 / 1520 - 0485(2003) 033<0343 : ATDMOD > 2 . 0 . CO ; 2.
url: https://journals.ametsoc.org/view/journals/phoc/33/2/1520-0485_2003_033_0343_atdmod_2.0.co_2.xml.
- [3] "A comprehensive study of the tides around the Welsh coastal waters". In : Estuarine, Coastal and Shelf Science 254 (2021), p. 107326. issn : 0272-7714. doi : <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107326>.
- [4] K. J. Horsburgh et A. E. Hill. "A Three-Dimensional Model of Density-Driven Circulation in the Irish Sea". In : Journal of Physical Oceanography 33 (2003), p. 343-365. doi :10.1175/1520-0485(2003)033<0343:ATDMOD>2.0.CO;2.
- [5] Swen Jullien et al. CROCO Technical and Numerical Documentation. Juill. 2026. doi :10.5281/zenodo.19453285. url : <https://doi.org/10.5281/zenodo.19453285>.