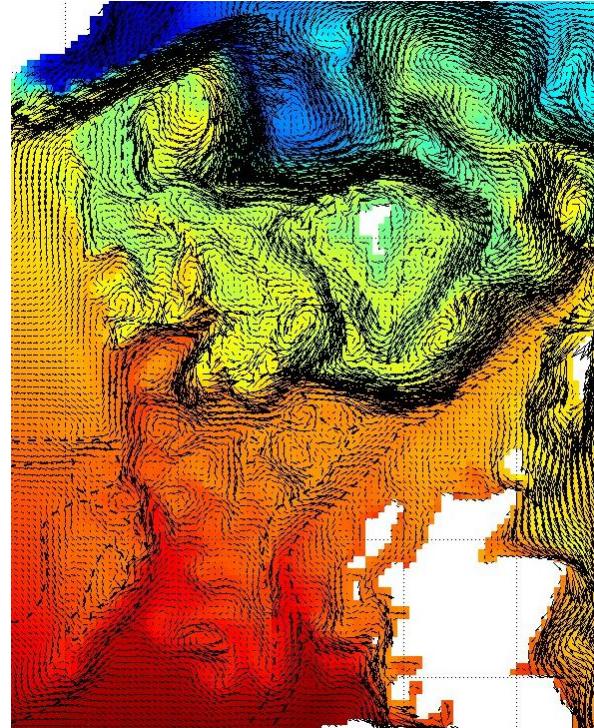


Etude des flux de l'Atlantique Nord vers les Mers Nordiques entre l'Ecosse et l'Islande à l'aide du modèle CROCO



Modélisation 3D Océanique OPB205

Présenté par Nolan Le Goff

Encadré par Andrea Doglioli

2024/2025, Master 1 sciences de la Mer parcours Océanographie et physique et biogéochimique

- Bathymétrie et intérêt océanographique de cette zone

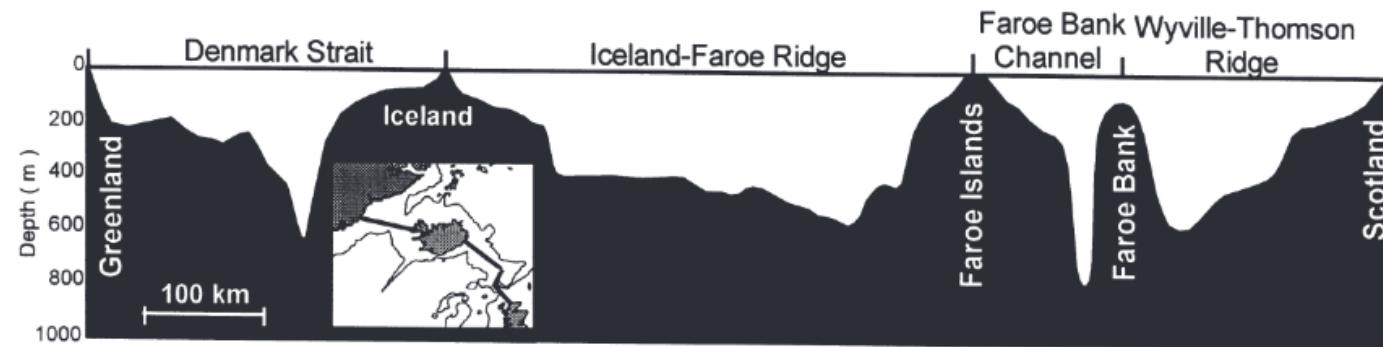


Figure 1. Relief sous-marin induit par la Dorsale Groenland-Ecosse (Hansen & Østerhus, 2000)

- Zone géographique : Ecosse-Islande
- Front et tourbillons de méso-échelle
- Bathymétrie peu profonde et étroite
- Flux Océan Atlantique → Mers Nordiques
- Océan Arctique

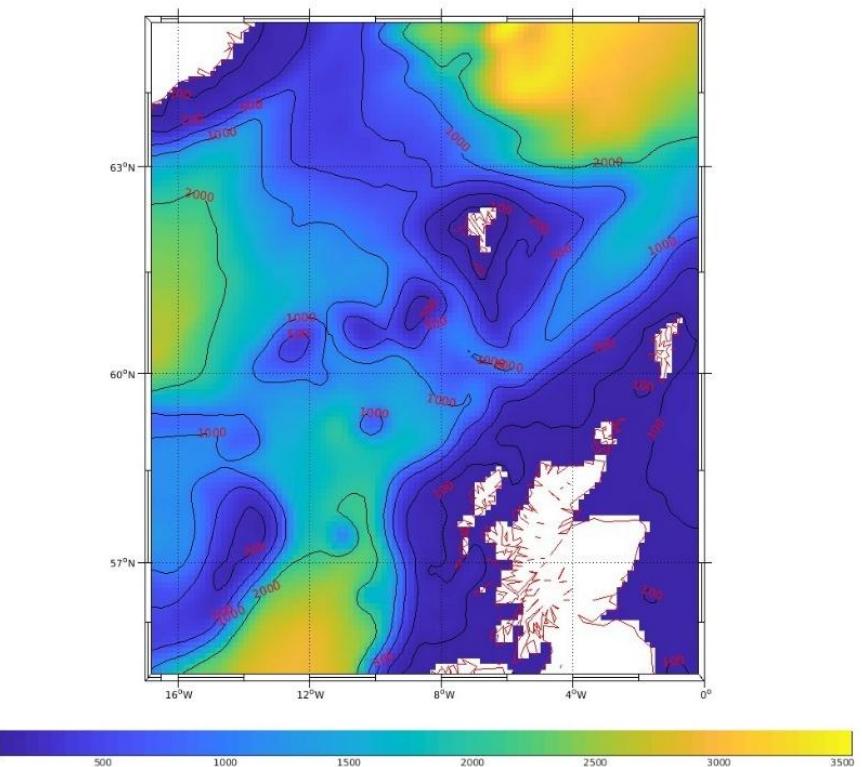


Figure 2. Topographie du modèle (entre l'Islande et l'Ecosse)

- Equations primitives

Hypothèses : Hydrostatique, Approximation de Boussinesq, fluide incompressible

Equation de Navier-Stokes :

Sur l'horizontale

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + f v - \frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} - f u - \frac{\partial \bar{v}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \quad (2)$$

Sur la verticale

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_o g \quad (3)$$

- Equations primitives

Hypothèses : Hydrostatique, Approximation de Boussinesq, fluide incompressible

Equation de Navier-Stokes :

Sur l'horizontale

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + f v - \frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} - f u - \frac{\partial \bar{v}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \quad (2)$$

Sur la verticale

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_o g \quad (3)$$

Equation de conservation de la température et de la salinité :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T = -\frac{\partial \bar{(T'u')}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{(T'v')}}{\partial y} - \frac{\partial \bar{(T'w')}}{\partial z} + \frac{H_c}{\rho_o C_p} \frac{\partial I}{\partial z} \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} S = -\frac{\partial \bar{(S'u')}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{(S'v')}}{\partial y} - \frac{\partial \bar{(S'w')}}{\partial z} \quad (5)$$

- Equations primitives

Hypothèses : Hydrostatique, Approximation de Boussinesq, fluide incompressible

Equation de Navier-Stokes :

Sur l'horizontale

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + f v - \frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} - f u - \frac{\partial \bar{v}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \quad (2)$$

Sur la verticale

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_o g \quad (3)$$

Equation de conservation de la température et de la salinité :

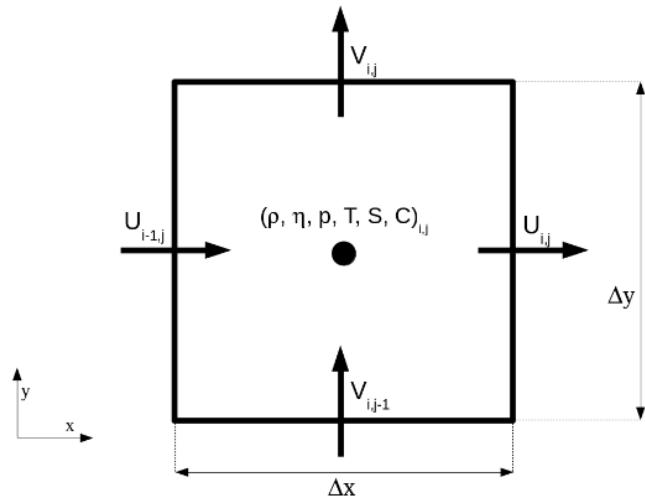
$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T = -\frac{\partial \bar{(T'u')}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{(T'v')}}{\partial y} - \frac{\partial \bar{(T'w')}}{\partial z} + \frac{H_c}{\rho_o C_p} \frac{\partial I}{\partial z} \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} S = -\frac{\partial \bar{(S'u')}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{(S'v')}}{\partial y} - \frac{\partial \bar{(S'w')}}{\partial z} \quad (5)$$

Equation d'état de l'eau de mer (TEOS 10):

$$\rho = \rho(T, S, P) \quad (6)$$

- Grilles et conditions aux frontières

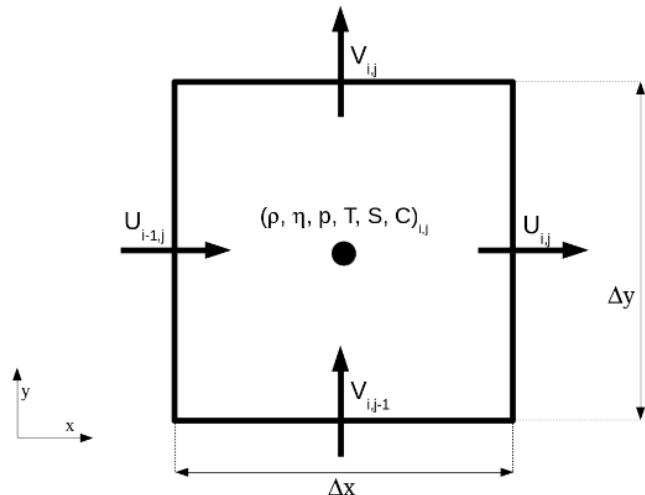


Discretisation des équations primitives

→ Vitesses horizontales et autres variables

Figure 3. Grille d'Arakawa-C

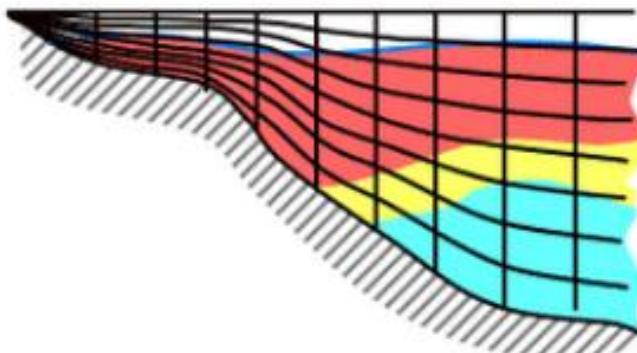
- Grilles et conditions aux frontières



Discretisation des équations primitives

→ Vitesses horizontales et autres variables

Figure 3. Grille d'Arakawa-C



→ Vitesse verticale en suivant la topographie

Figure 4. Coordonnées σ généralisées

- Grilles et conditions aux frontières

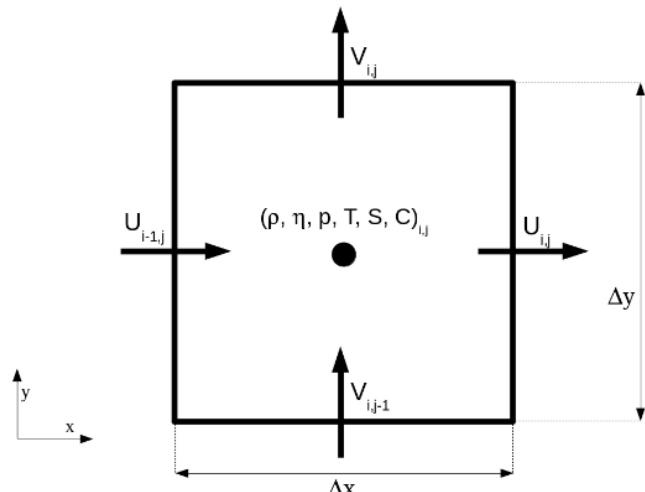


Figure 3. Grille d'Arakawa-C

Discretisation des équations primitives

→ Vitesses horizontales et autres variables

Critère CFL

$$\mathcal{C} = \frac{u \Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

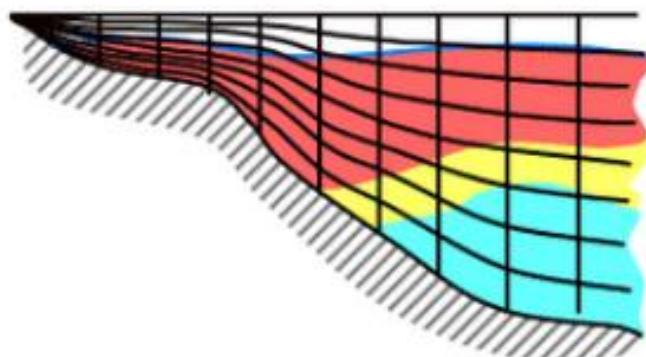


Figure 4. Coordonnées σ généralisées

→ Vitesse verticale en suivant la topographie

→ Vérifie la stabilité du schéma numérique

- Forçage du modèle

ETOPO : (script make_grid.m)

Topographie, bathymétrie et littoral → Données régionales et mondiales
→ Haute résolution de la surface de la Terre

ICOADS : (script make_forcing.m)

Interface Océan-Atmosphère → Surface océaniques annuelles et mensuelles
→ 3 siècles de données depuis 1800

WOA09 : (script make_clim.m)

Climatologie et mesures océanographiques → UAO, température, salinité, sels nutritifs,...
→ 50 ans de campagnes océanographiques (mailles de grille de 1°)

Fermeture turbulente : modèle KPP (Large et al. 1994),
(script cppdefs.h)

- Paramètres du modèle

Tableau 1. Coordonnées de la zone d'étude du modèle

Longitude minimale	Longitude maximale	Latitude minimale	Latitude maximale
-17 °W	0°W	55°N	65°N

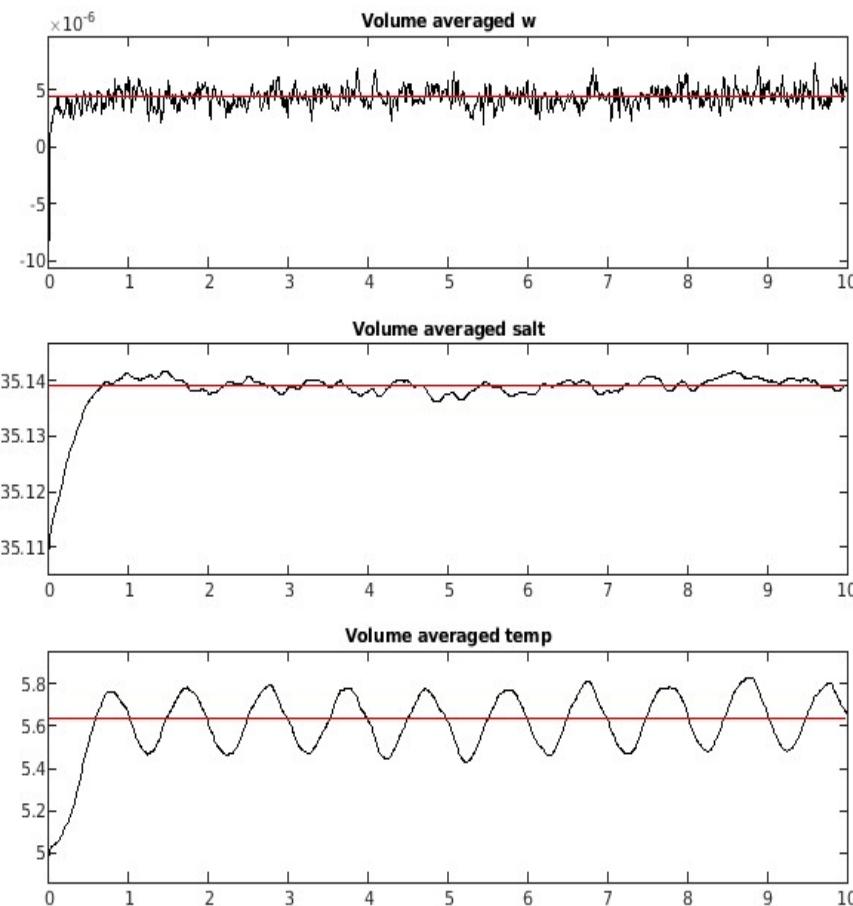
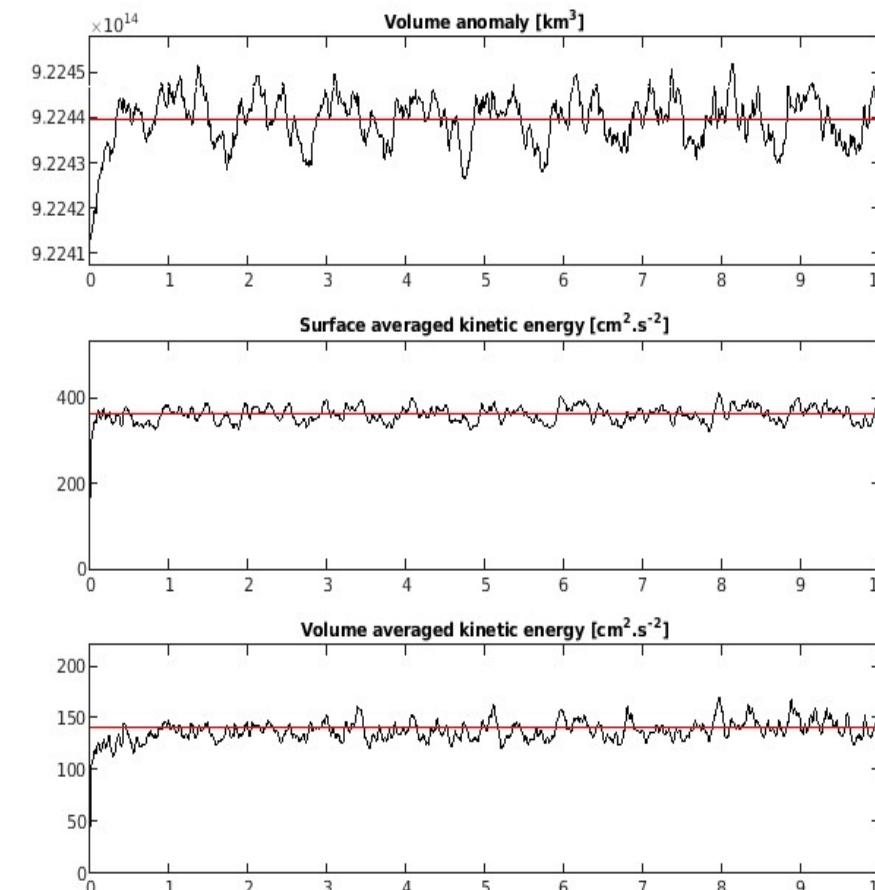
Tableau 2. Paramètres de la grille du modèle

<u>LLm</u>	<u>MMm</u>	<u>dxmin</u> (en km)	<u>dymin</u> (en km)	<u>dxmax</u> (en km)	<u>dymax</u> (en km)	Résolution	N
101	120	7.8264	7.8574	10.6239	10.6112	1/6	32

Tableau 3. Paramètres de temps du modèle

NDTFAST	DT	NTIMES	NWRT	NRST	NAVG
60	720	3600	3600	3600	360

- Variables diagnostiques



Stabilisation de la simulation

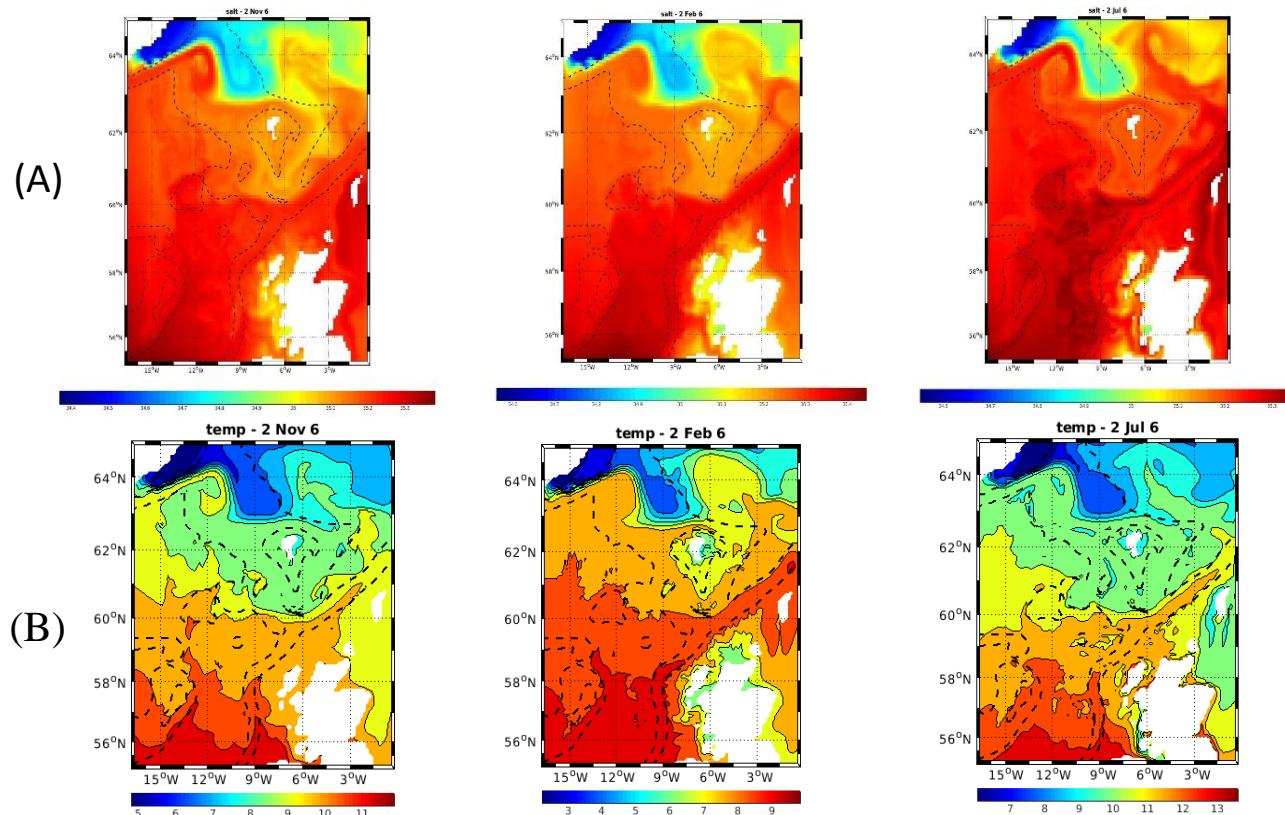
→ Temps de spin-up : 1 an

Analyse des résultats

→ À partir de la 2^{ème} année

Figure 5. Variables diagnostiques sur l'ensemble de la simulation sur 10 ans

- Saisonnalité de la région



- Saisonnalité marquée
- Influence la formation de :
 - Méandres
 - Tourbillons de méso-échelle
- Modification des flux de masses d'eaux
Nord Atlantique ←→ Mers nordiques

Figure 6. Salinité (A) et température (B) de surface respectivement novembre, février et juillet

- Flux Atlantique vers Mers Nordiques

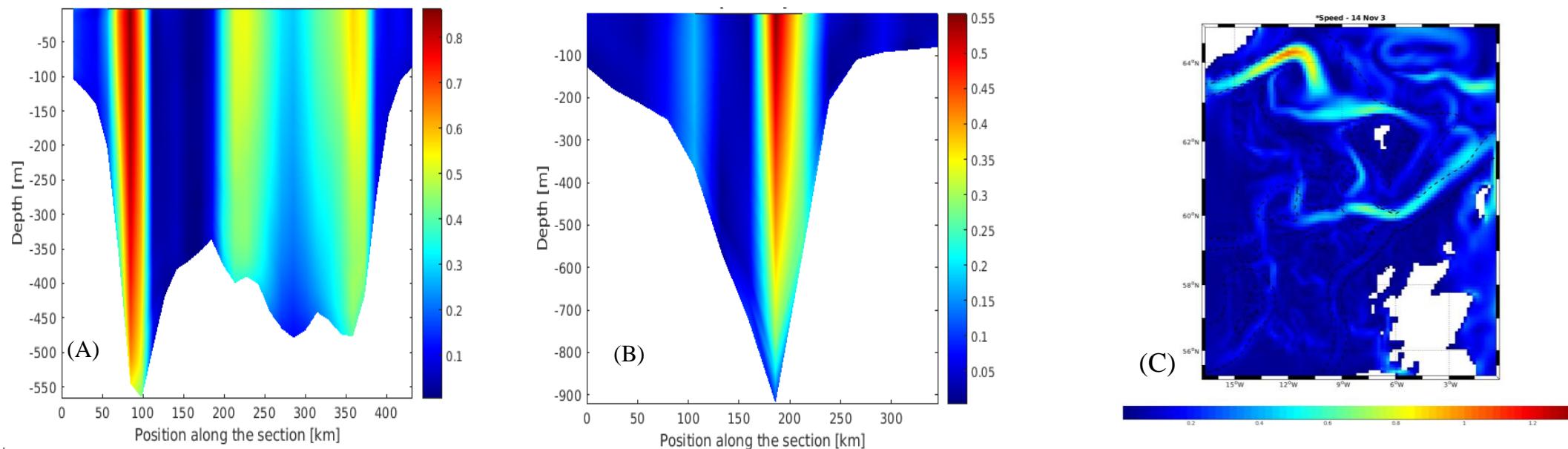


Figure 7 : Transects des vitesses des courants sur la verticale, entre l'Islande et les Iles Féroé (A) et entre les Iles Féroé et l'Ecosse (B) et vitesse des courants en surface.

Topographie → Pilotage bathymétrique

Flux Atlantique → **Deux branches** : Islande-Féroé = au niveau des côtes Islandaises
Féroé-Ecosse = au niveau du Canal Féroé-Shetland

- Front océanique entre l'Océan Atlantique et la Mer de Norvège

Zone de front

Mer de Norvège :

→ Eau froide et peu salée

Océan Atlantique :

→ Eau chaude et salée

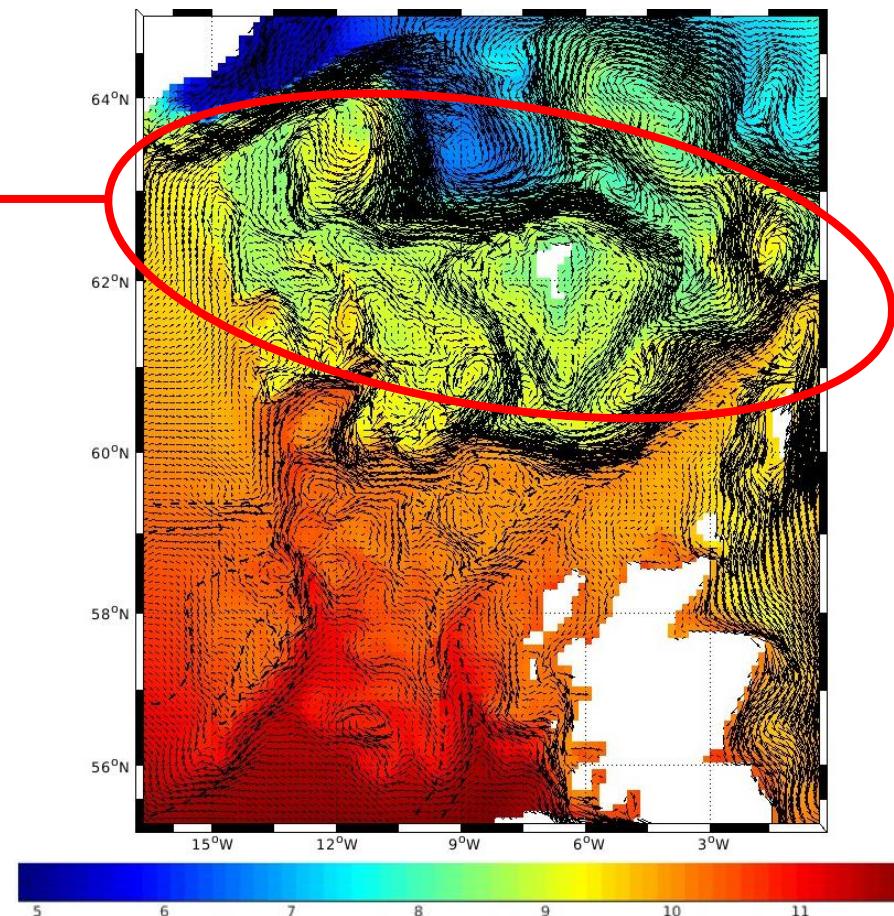


Figure 7. Vecteurs de vitesses et température simulée
durant le mois de novembre

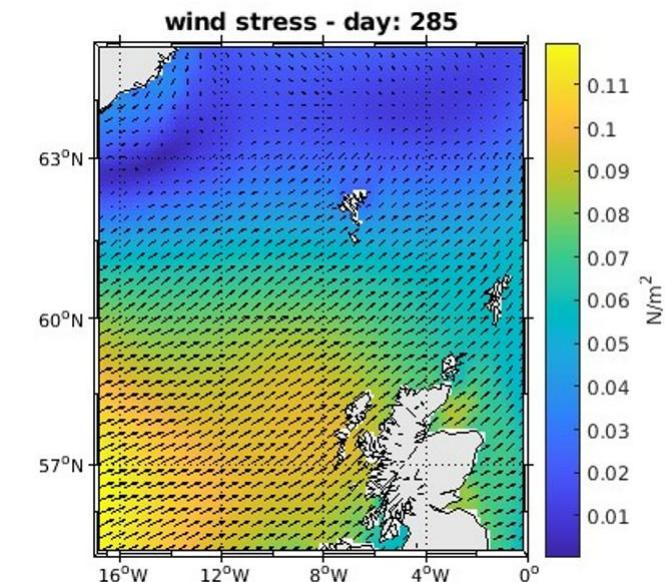


Figure 8. Vecteurs de vitesses du vent en fin d'année

- Echange des masses d'eaux de l'Atlantique Nord et des Mers Nordiques

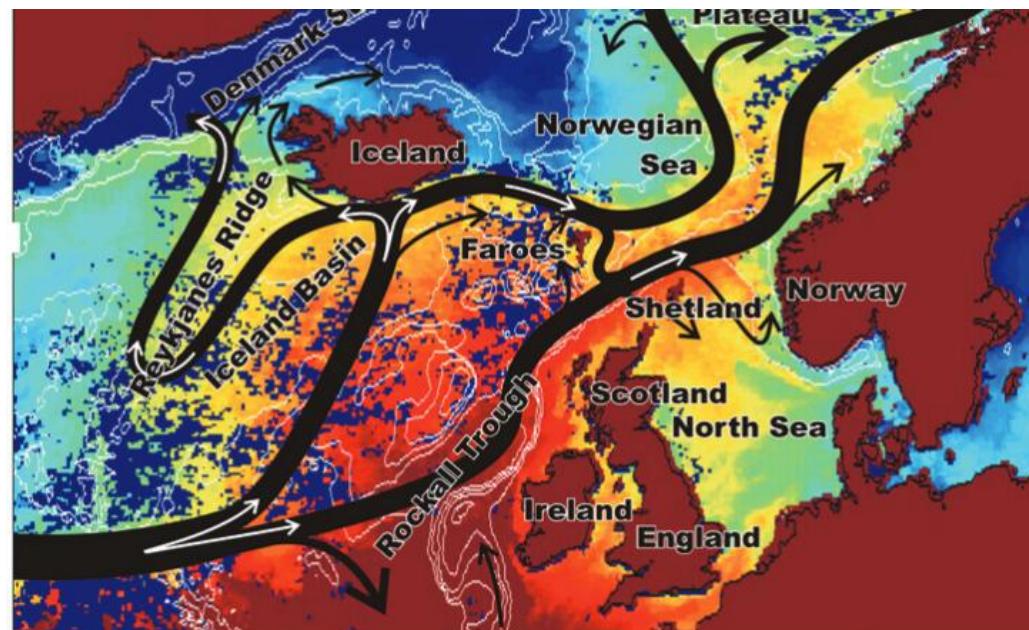


Figure 9. Passage majoritaires des bouées dérivantes en surface (Orvik & Niiler, 2002)

Processus affectant les masses d'eaux :

- Bathymétrie
- Vents
- Saisonnalité
- Méandres et gyres

Amélioration du modèle :

- Rajouter Détroit du Danemark
 - Tous les flux entre les deux régions
- Augmenter la résolution
 - Déterminer courants sortant et entrant en Atlantique Nord

Bibliographie

1. Hansen, B., & Østerhus, S. (2000). North atlantic–nordic seas exchanges. *Progress in oceanography*, 45(2), 109-208.
2. Large, W. G., McWilliams, J. C., & Doney, S. C. (1994). Oceanic vertical mixing: A review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Reviews of geophysics*, 32(4), 363-403.
3. Orvik, K. A. & Niiler, P. (2002). Major pathways of Atlantic water in the northern North Atlantic and Nordic Seas toward Arctic. *Geophysical research letters*. 29,19,2-1-2-4. doi-org.lama.univ-amu.fr/10.1029/2002GL015002.