



Variations spatio-temporelles des propriétés de la couche de mélange dans la région polaire Arctique

*Master des Sciences de la Terre, des Planètes et de l'Environnement (STPE),
Parcours Atmosphère, Climat, et Surfaces Continentales (ACSC)*

Stage encadré par Camille Lique.

Sommaire

*Variations spatio-temporelles des propriétés de la couche de mélange
dans la région polaire Arctique*

I: Particularités de l'Arctique

II: Instrument et traitement des données

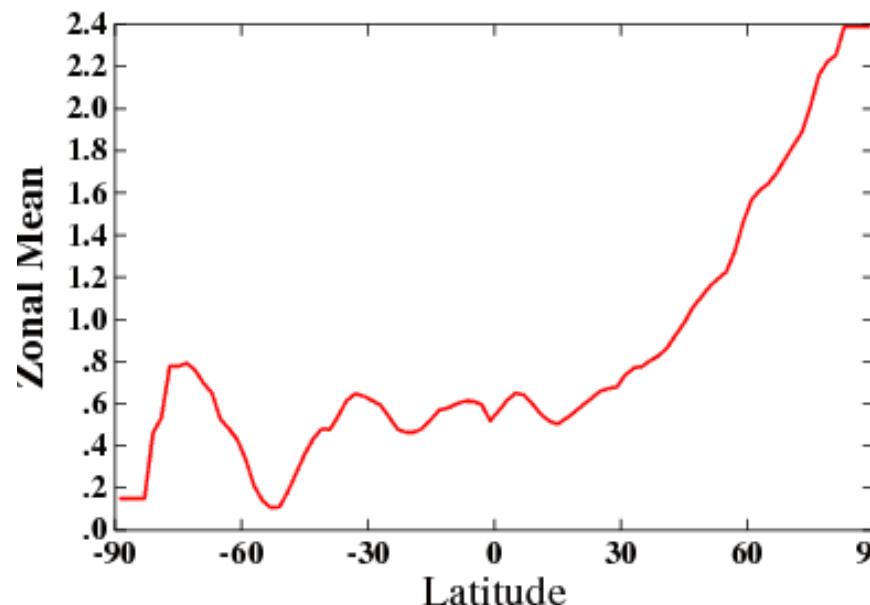
III: Variabilité saisonnière

IV: Mécanismes conduisant la variabilité saisonnière

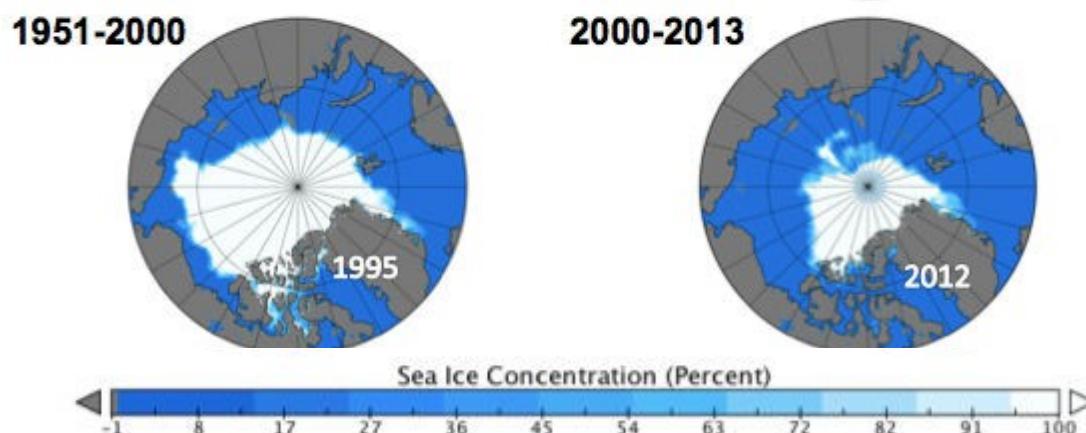
V: Température de la couche de mélange et fonte de la glace de mer

I. Particularités de l'Arctique

I.a) L'Arctique: une région polaire en pleine mutation



Anomalie par rapport à 1960
Credit: NASA GISS [2011]



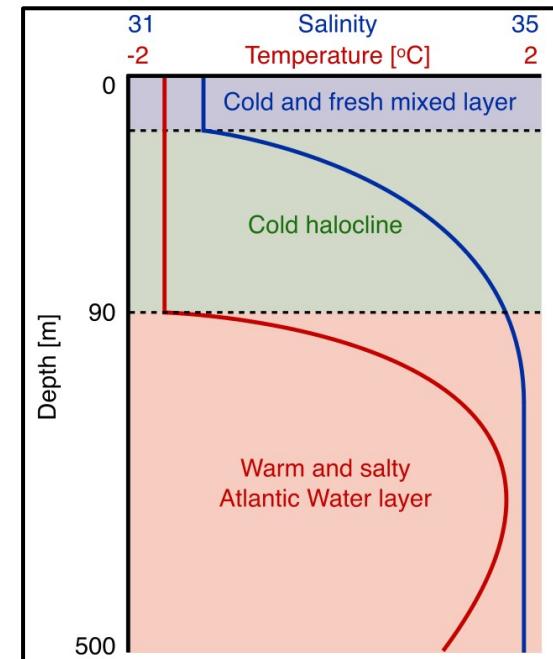
Extention de glace estivale
[Walsh et al, 2016]

Région particulièrement sensible aux changements climatiques.

- Augmentation de la température de l'air en surface ($>2^{\circ}\text{C}$).
- Diminution de l'extention de glace estivale (~40%).

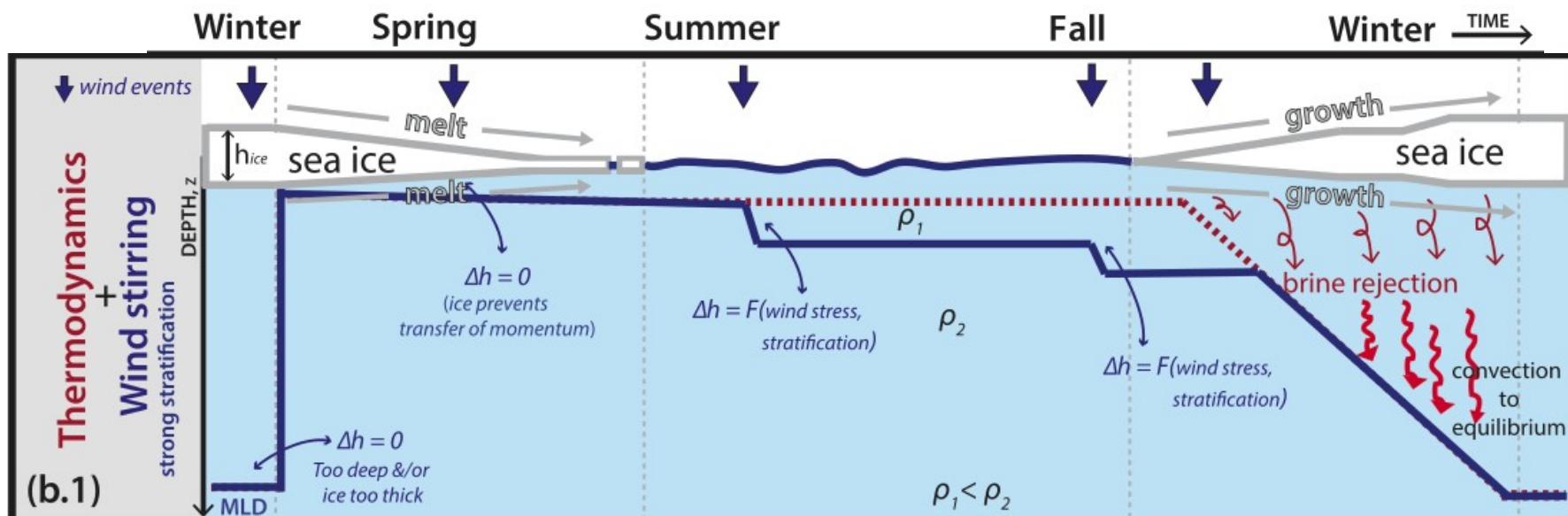
I.2) La couche de mélange en Arctique

- Couche d'eau mélangée par le vent et les forces de flotabilité.
- Gradient vertical de température et de salinité très faible.
- Opposé à la halocline où la salinité varie brutalement.



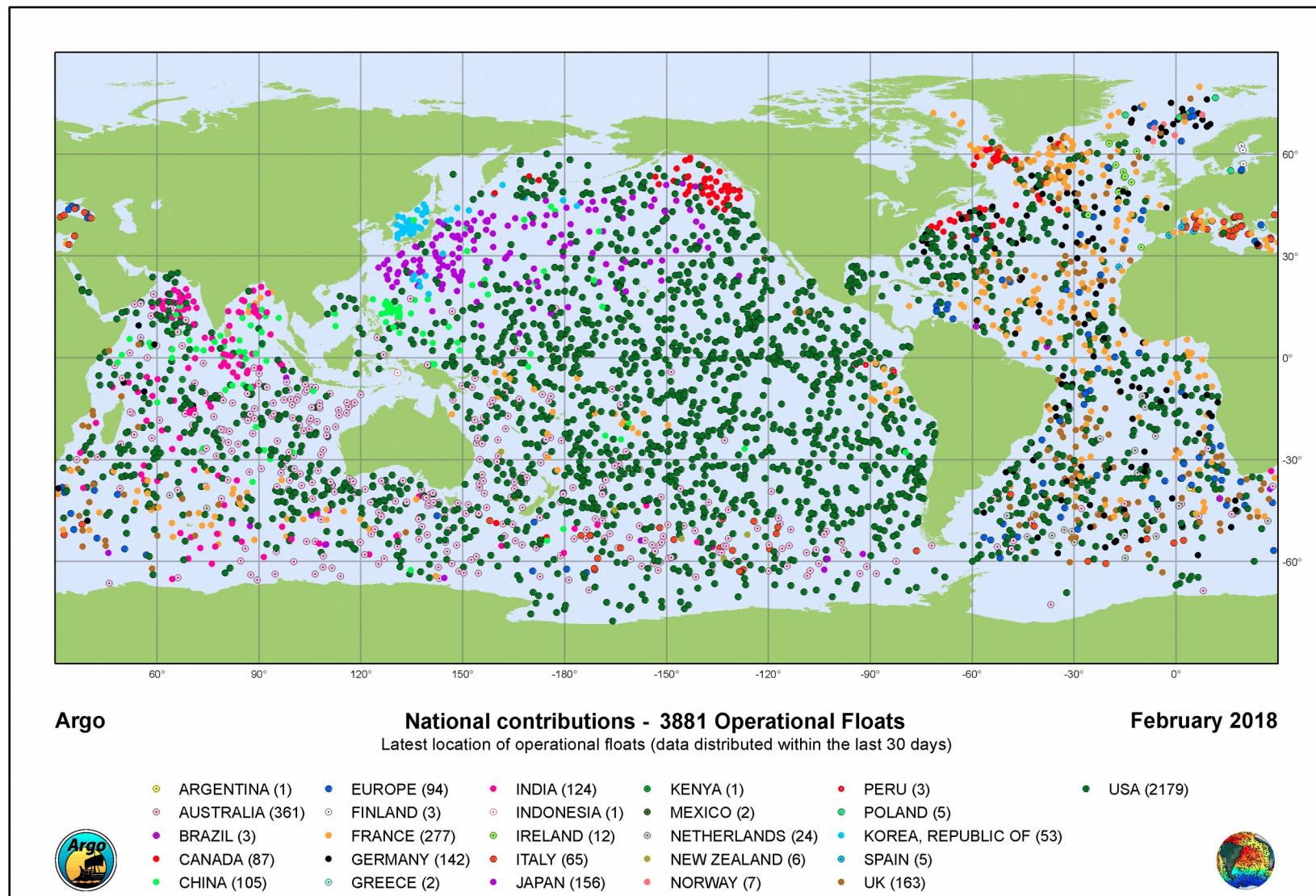
[Davis.P et al, 2016]

Quels sont les vecteurs conduisant la profondeur de la couche de mélange en Arctique ?



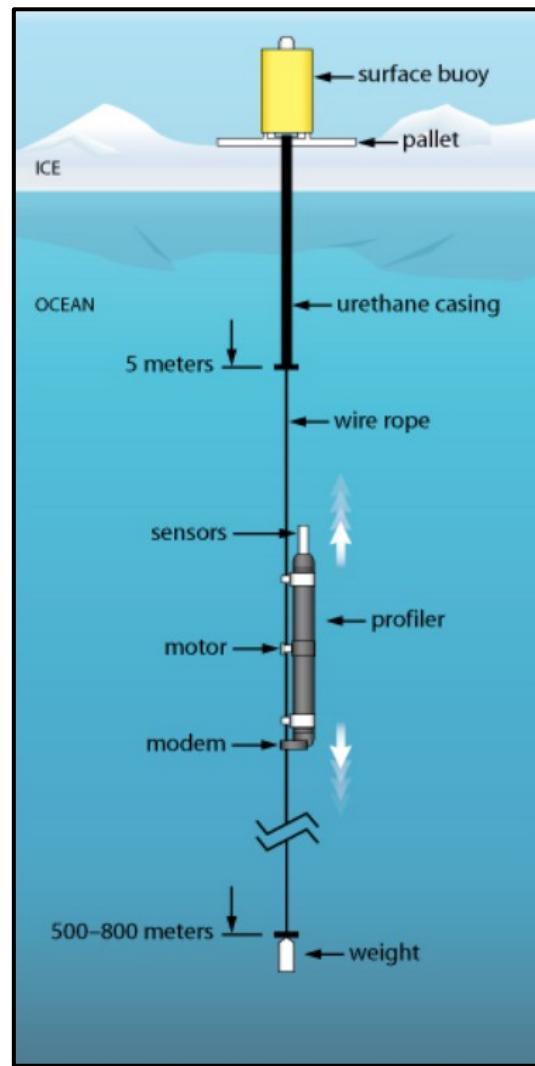
[Peralta-Ferriz et Woodgate, 2015]

I.c) L'Arctique: une zone d'étude difficile d'accès



II: Instruments et traitement des données

II.a) Instruments et zone d'étude



<https://www.whoi.edu/website/itp/overview>

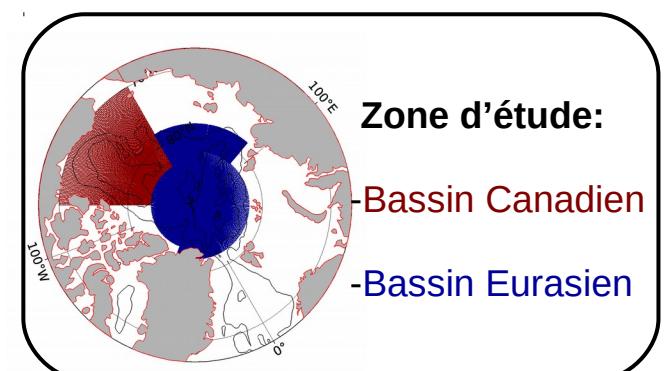
L'instrument dérive avec la banquise et réalise des mesures:

- de température
- de salinité
- de pression
- sous la glace
- à partir de 5 mètres de profondeur
- jusqu'à 800 m de profondeur
- avec une résolution verticale de 2m
- avec une résolution temporelle de 12h

=> 85 000 profils



Chris Linder, WHOI



II.a) Traitement des données

ITP

Pression, Température, Salinité

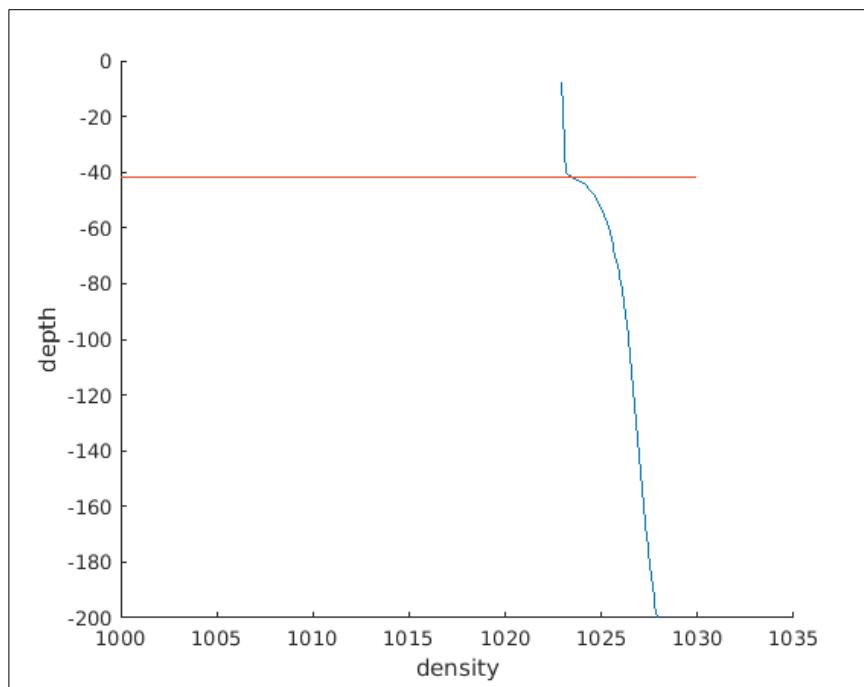
Fonction d'état

Profil de densité

Profil= Mesures le long d'une colonne d'eau

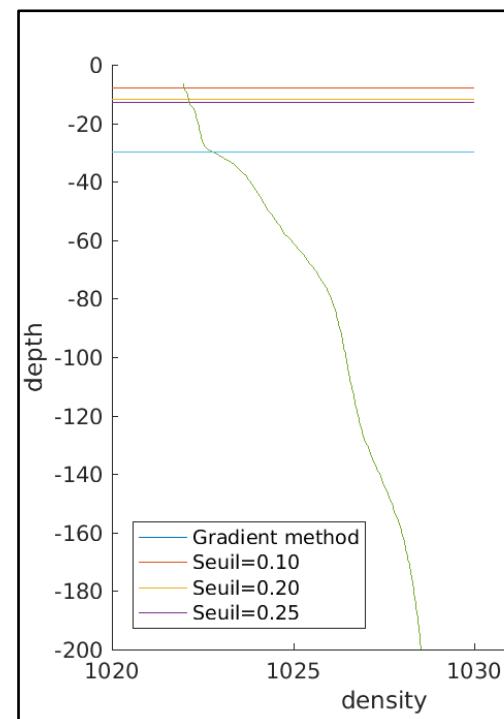
MLD= Mixed Layer Depth

Procédure de détection de la
mld

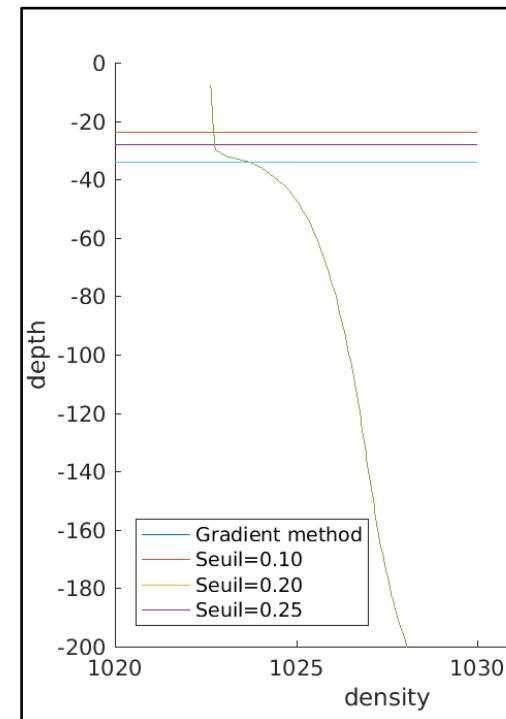


Exemple de profil
[ITP 74 profil 87]

Valeur seuil vs Méthode du gradient



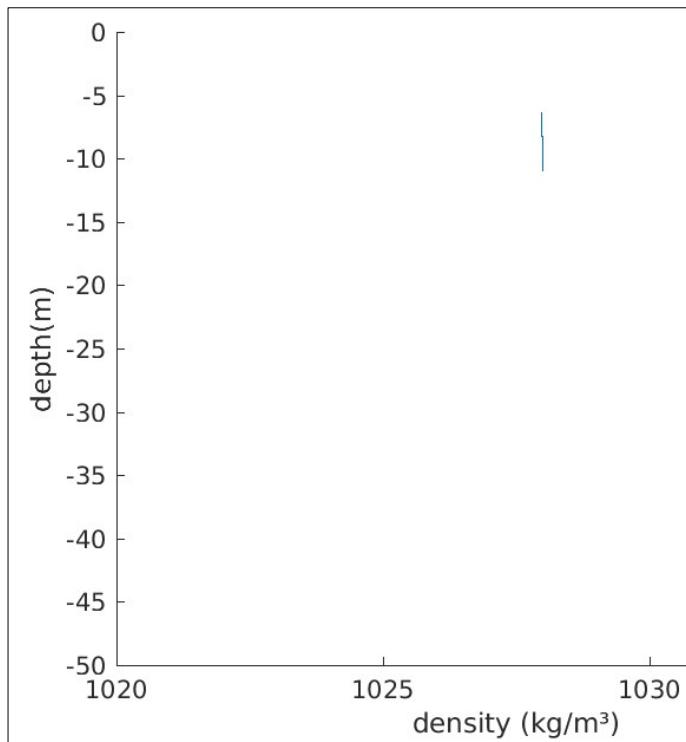
Exemple de profil
[ITP 8 profil 167]



Exemple de profil
[ITP 100 profil 86]

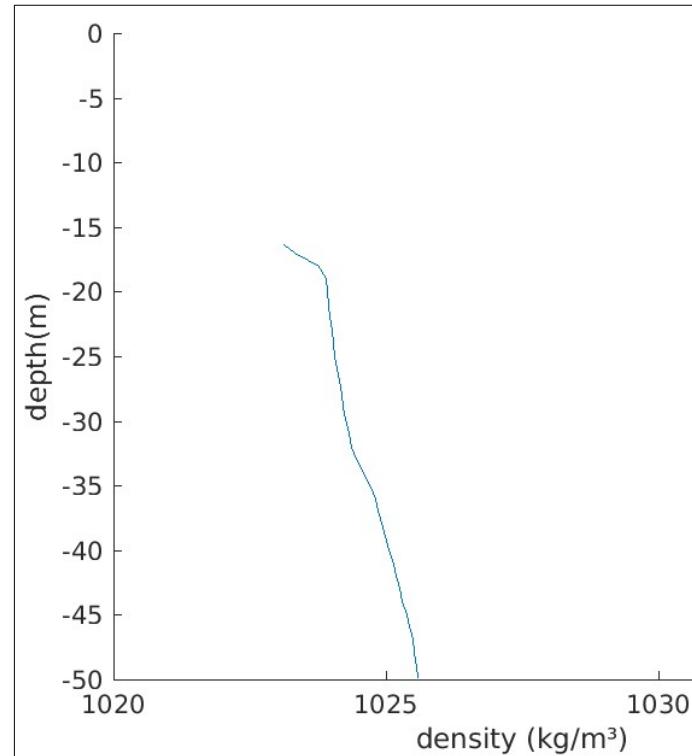
II.b) Traitement des données

Critères supprimant les profils non pertinents



Exemple de profil
[ITP 56 profil 1529]

Les profils doivent contenir plus de 10 mesures.



Exemple de profil
[ITP 2 profil 170]

Les premières mesures doivent débuter au-dessus de 10 mètres de profondeur.

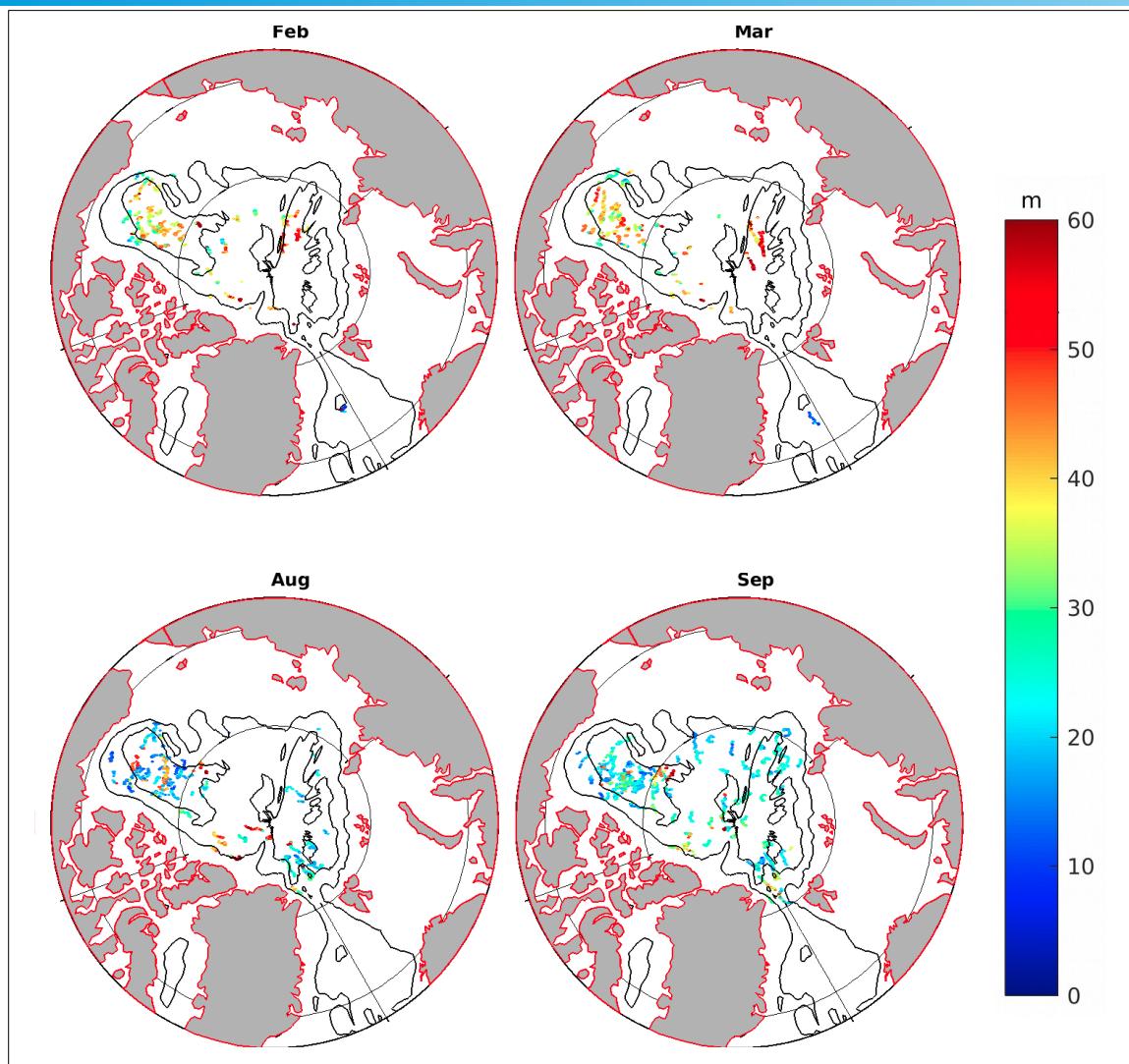
85390 profils initiaux



50011 profils retenus

III. Variabilité saisonnière des paramètres de la couche de mélange

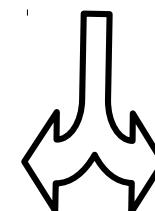
III.a) Variabilité saisonnière et spatiale de la MLD



50011 profils de MLD



MLD mensuelle calculée
entre 2004 et 2018

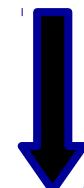


MLD hivernale



Profonde

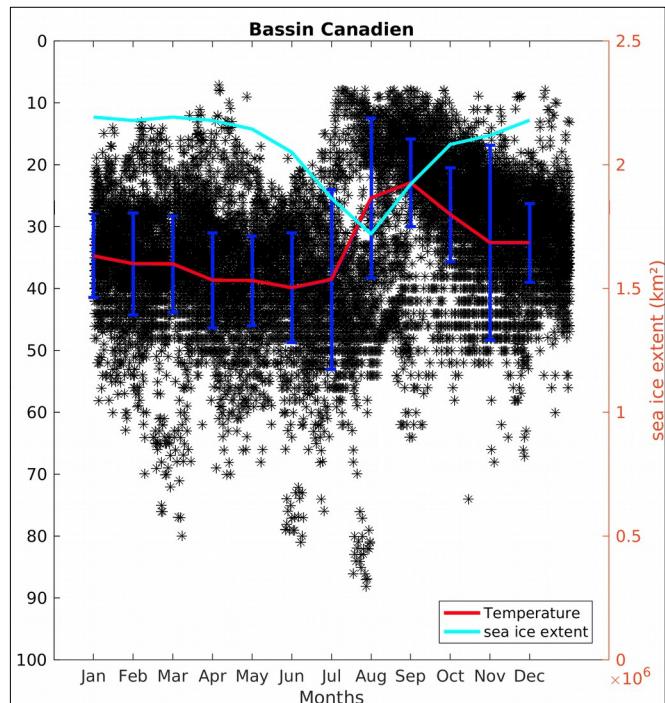
MLD estivale



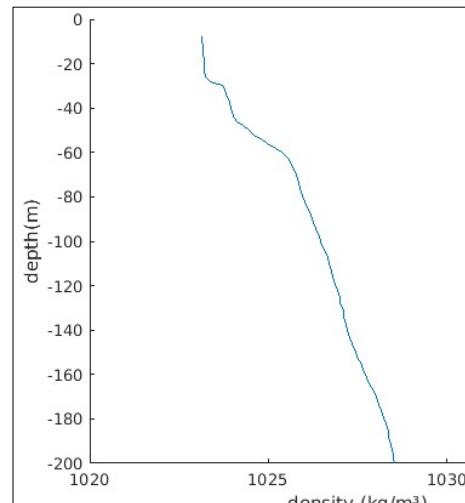
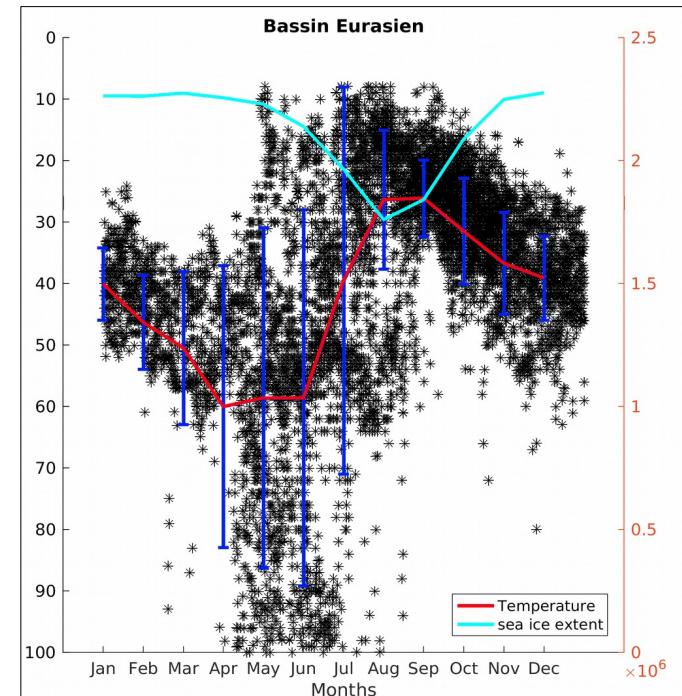
Peu profonde

III.a) Variabilité saisonnière et spatiale de la MLD

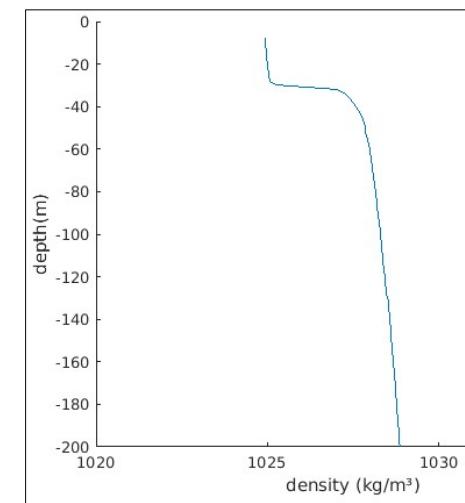
Bassin Canadien



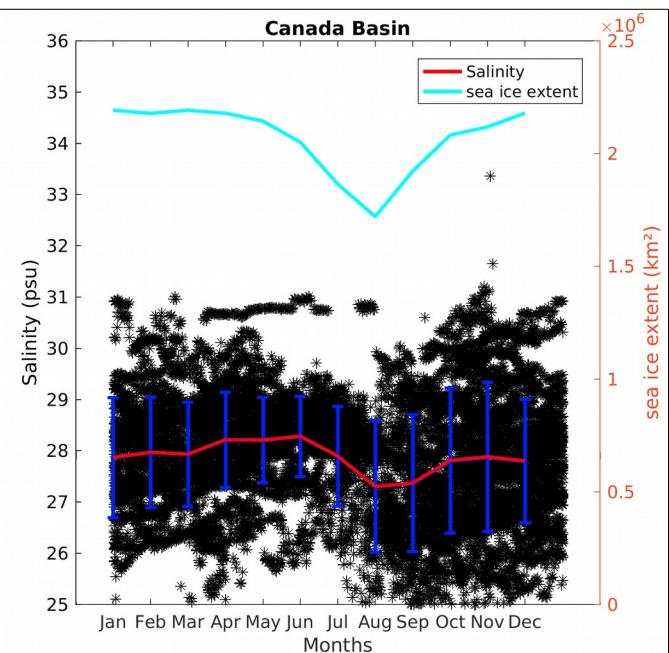
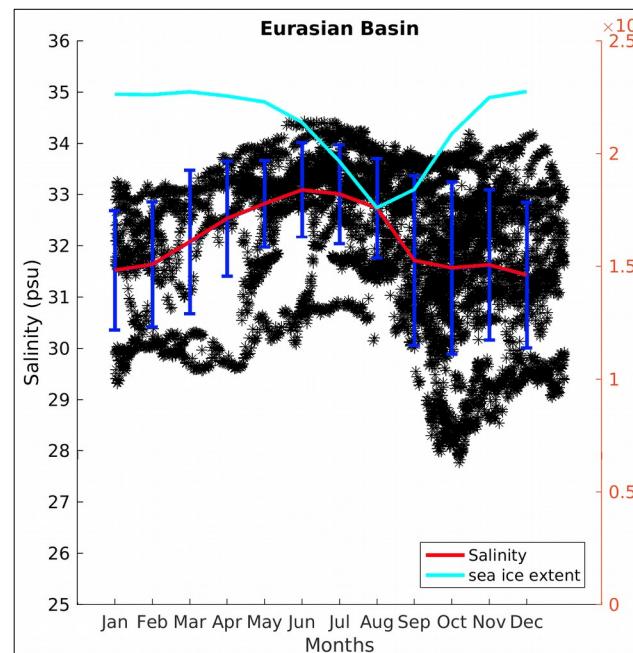
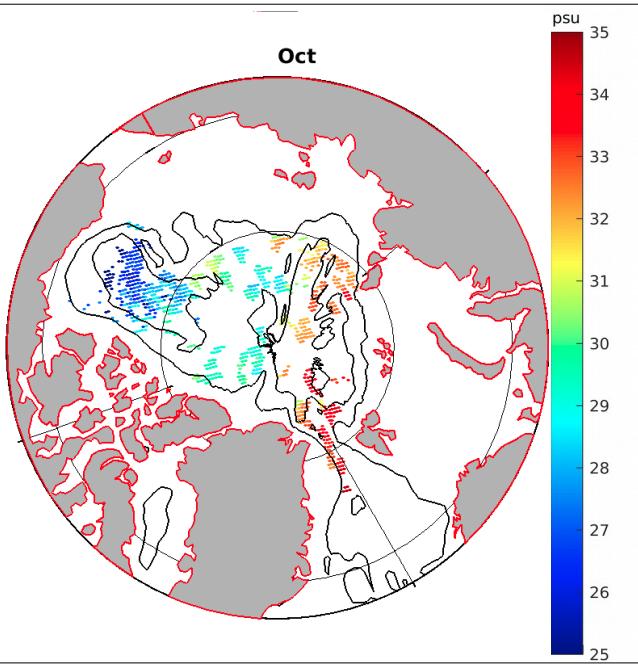
Bassin Eurasien



Stratification ≠

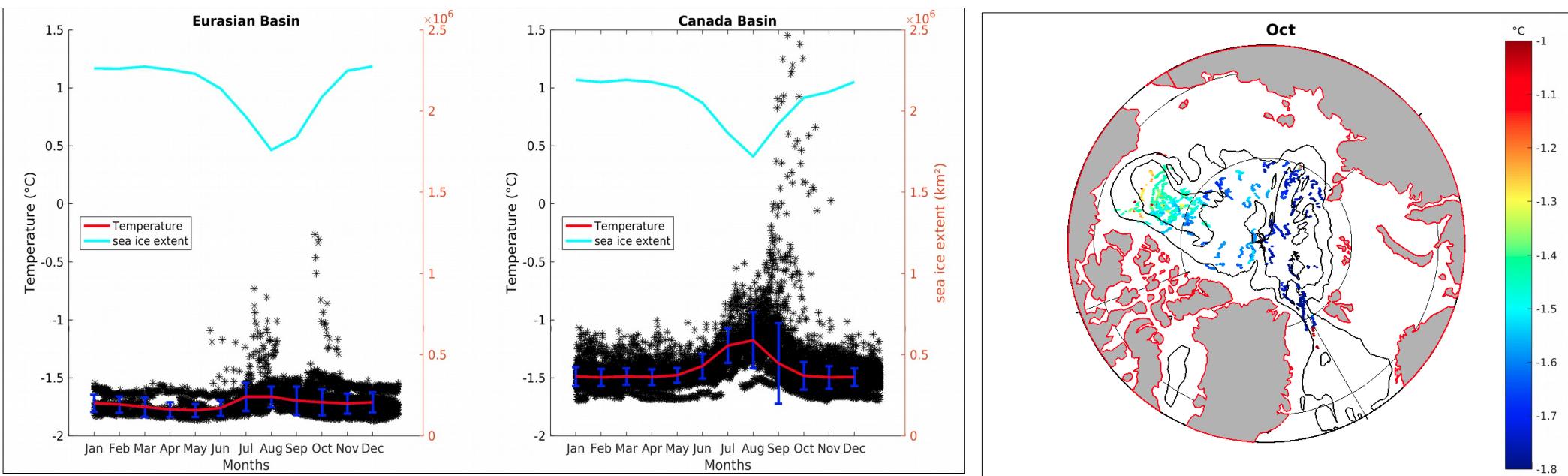


III.b) Variabilité saisonnière et spatiale de la salinité



- Gradient spatial des valeurs de salinité
- Corrélation entre l'extension de glace et la salinité
- Valeur de salinité très dispersées

III.c) Variabilité saisonnière et spatiale de la température



- Gradient spatial des valeurs de température
- Température proche du point de congélation
- Corrélation entre l'extension de glace et la température

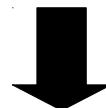
IV. Mécanismes conduisant la variabilité saisonnière de la MLD

IV.a) Etude de l'effet du vent

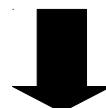
$$D_E = \frac{\pi \rho_a C_d}{\sqrt{2} \rho_w \Omega \alpha} \frac{1}{\sqrt{\sin(\theta)}} W \sim 4.3W$$

[Peralta-Ferriz, C., & Woodgate, 2015]

Forçage du vent

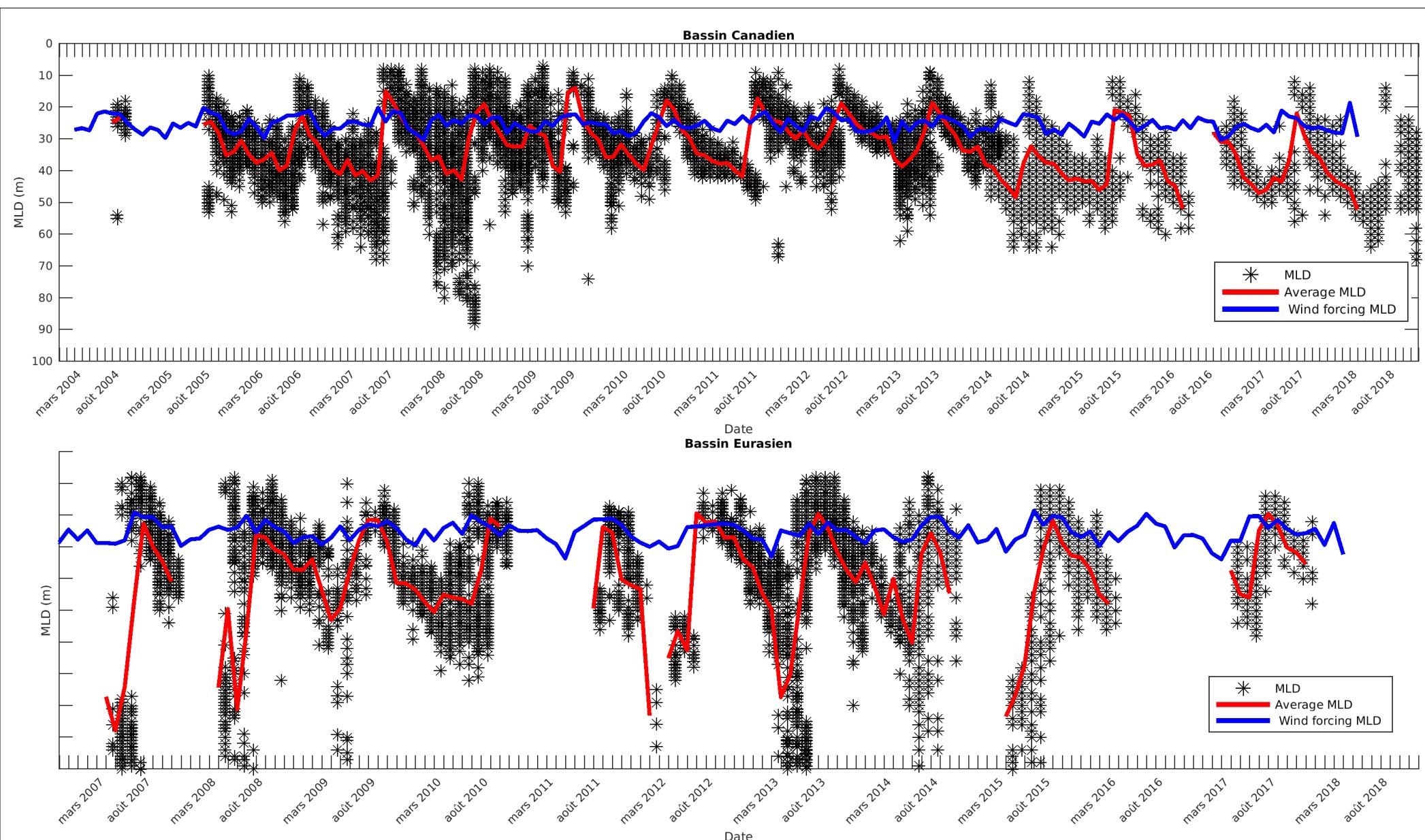


Calcul d'une MLD théorique



Comparaison avec les valeurs de MLD issues des observations

IV.a) Etude de l'effet du vent



IV.b Effet de la glace de mer

La fonte de la glace de mer est-elle la seule source de rafraîchissement de la couche de mélange ?

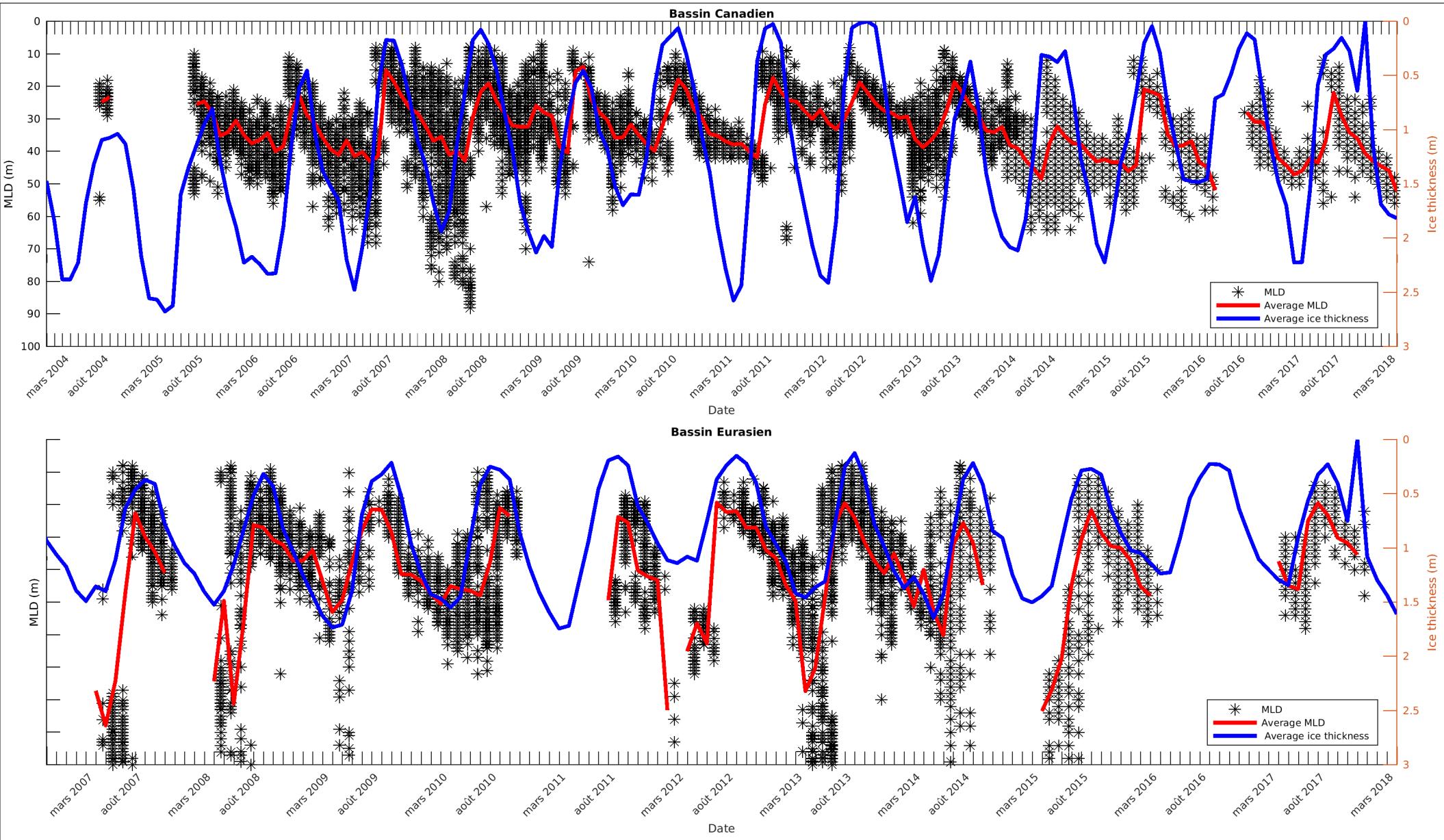
$$t_{profile} = \int_{bottom}^{surface} \frac{\rho_{ww}(z)}{\rho_i} \frac{(S_w(z) - S_s(z))}{(S_s(z) - S_i)} dz$$

[Peralta-Ferriz, C., & Woodgate, 2015]

	Δ Épaisseur théorique (m)	Δ Épaisseur observée (m)
Bassin Canadien	0.98 ± 0.3	1.08
Bassin Eurasien	2.5 ± 0.3	1.053

IV.b Effet de la glace de mer

Épaisseur de glace : Modèle Piomas



V. Contribution de la température de la couche de mélange à la fonte de la glace de mer

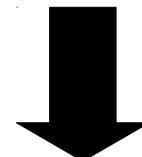
Contenu thermique de la couche de mélange

$$\Delta h_I = \frac{\Delta H_c}{\rho_I L_I}$$

Où : $\Delta H_c = \rho_o \cdot C_p \cdot (T - T_f) \cdot z_{mld}$

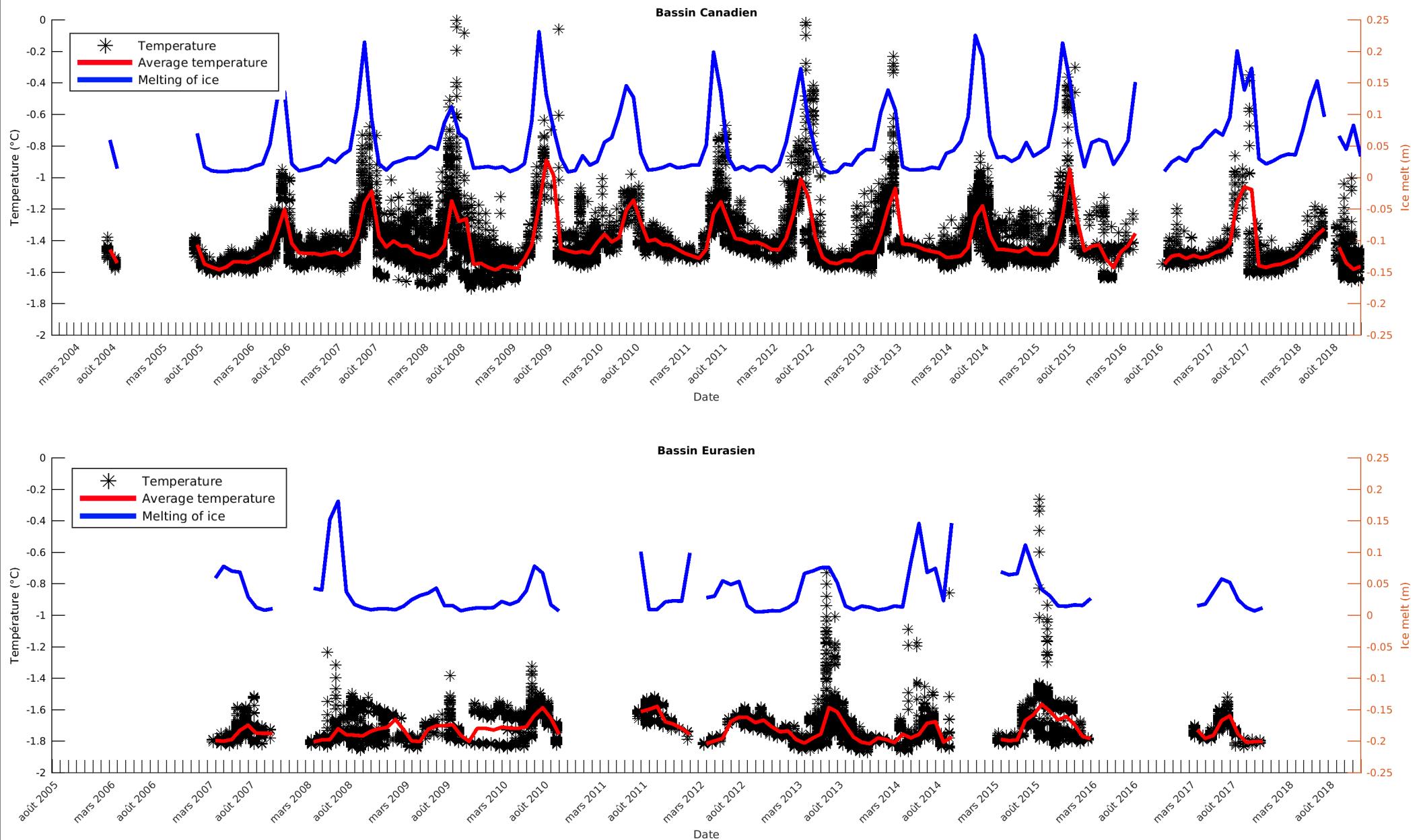
[Peralta-Ferriz, C., & Woodgate, 2015]

Calcul du contenu thermique de la couche de mélange



Calcul d'une épaisseur théorique de glace fondue

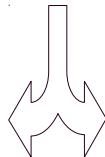
V: Température de la couche de mélange et fonte de la glace de mer



Conclusion

Cette étude se base sur un jeu de données unique

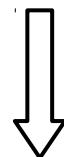
>85000 profils



Mesures sous la glace

Méthode du gradient + Critères

>50000 profils



Production d'une climatologie moyenne

- La température de la couche de mélange peut expliquer entre 15 et 20 % de la fonte de glace de mer.

· Variabilité spatiale

	MLD (m)	Température (C°)	Salinité (psu)
Eurasien	[27, 59]	[-1.8, -1.6]	[31.1, 32.8]
Canadien	[22, 40]	[-1.5, -1.2]	[27.3, 28.2]

· Variabilité saisonnière

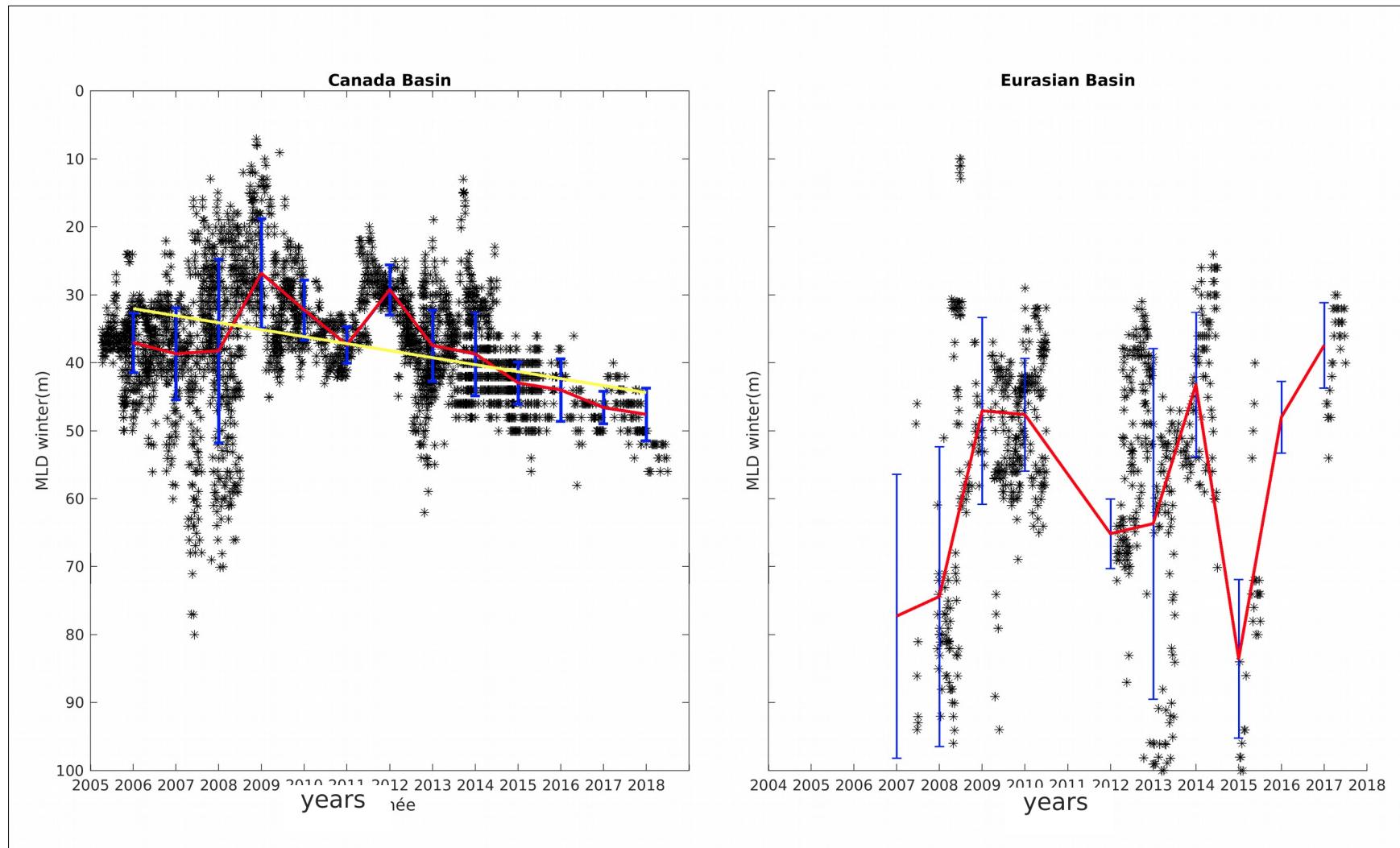
Intensité du vent : non robuste

Cycle de la glace de mer : robuste

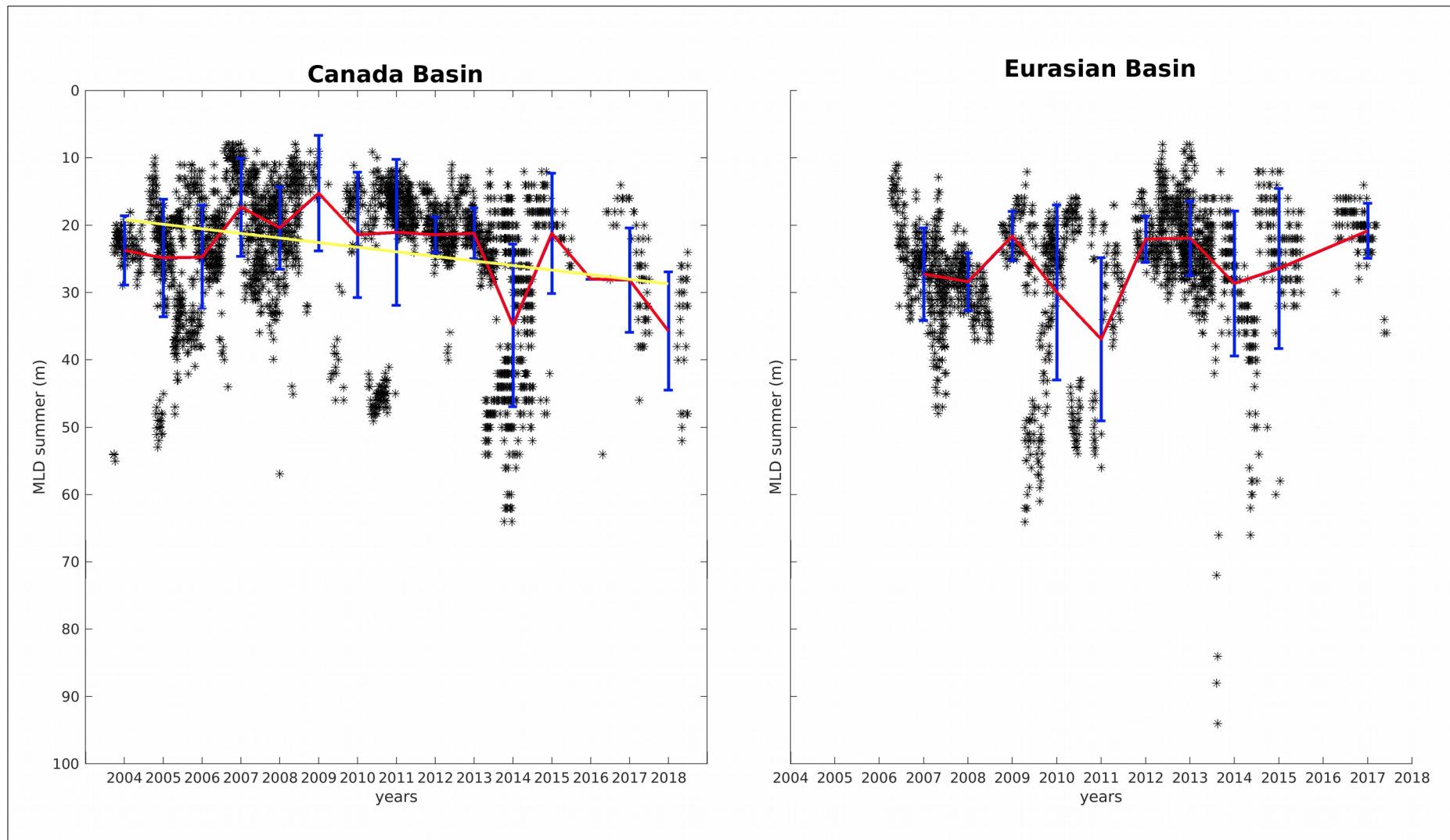
Référence

- Arrigo, K. R., & van Dijken, G. L. (2011). Secular trends in Arctic Ocean net primary production. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C9).
- Davis, P. E., Lique, C., Johnson, H. L., & Guthrie, J. D. (2016). Competing effects of elevated vertical mixing and increased freshwater input on the stratification and sea ice cover in a changing Arctic Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 46(5), 1531-1553.
- Llort, J., Lévy, M., Sallée, J. B., & Tagliabue, A. (2015). Onset, intensification, and decline of phytoplankton blooms in the Southern Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 72(6), 1971-1984.
- Pelichero, V., J.-B. Sallée, S. Schmidtko, F. Roquet, and J.-B. Charrassin (2017), The ocean mixed layer under Southern Ocean sea-ice: Seasonal cycle and forcing, *J. Geophys. Res. Oceans*, 122, doi:10.1002/2016JC011970.
- Peralta-Ferriz, C., & Woodgate, R. A. (2015). Seasonal and interannual variability of pan-Arctic surface mixed layer properties from 1979 to 2012 from hydrographic data, and the dominance of stratification for multiyear mixed layer depth shoaling. *Progress in Oceanography*, 134, 19-53.
- Stroeve, J., Holland, M. M., Meier, W., Scambos, T., & Serreze, M. (2007). Arctic sea ice decline: Faster than forecast. *Geophysical research letters*, 34(9).
- Timmermans, M. L., Cole, S., & Toole, J. (2012). Horizontal density structure and restratification of the Arctic Ocean surface layer. *Journal of Physical Oceanography*, 42(4), 659-668.
- Walsh, J. E., Fetterer, F., Stewart, J. S. and Chapman, W. L. (2016) A database for depicting Arctic sea ice variations back to 1850. *Geographical Review*, doi:10.1111/j.1931-0846.2016.12195.x

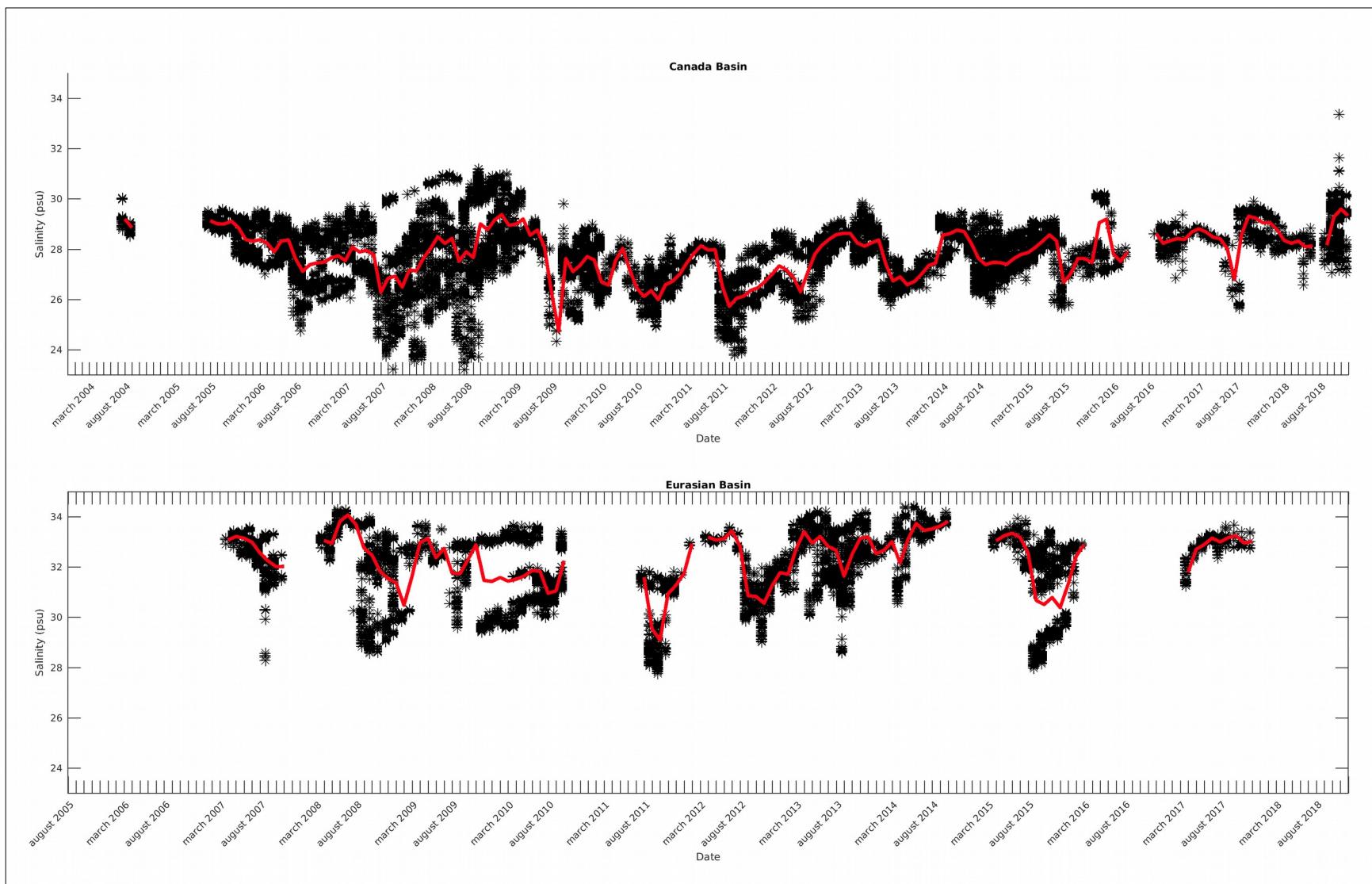
Variabilité interannuelle de la MLD (en hiver)



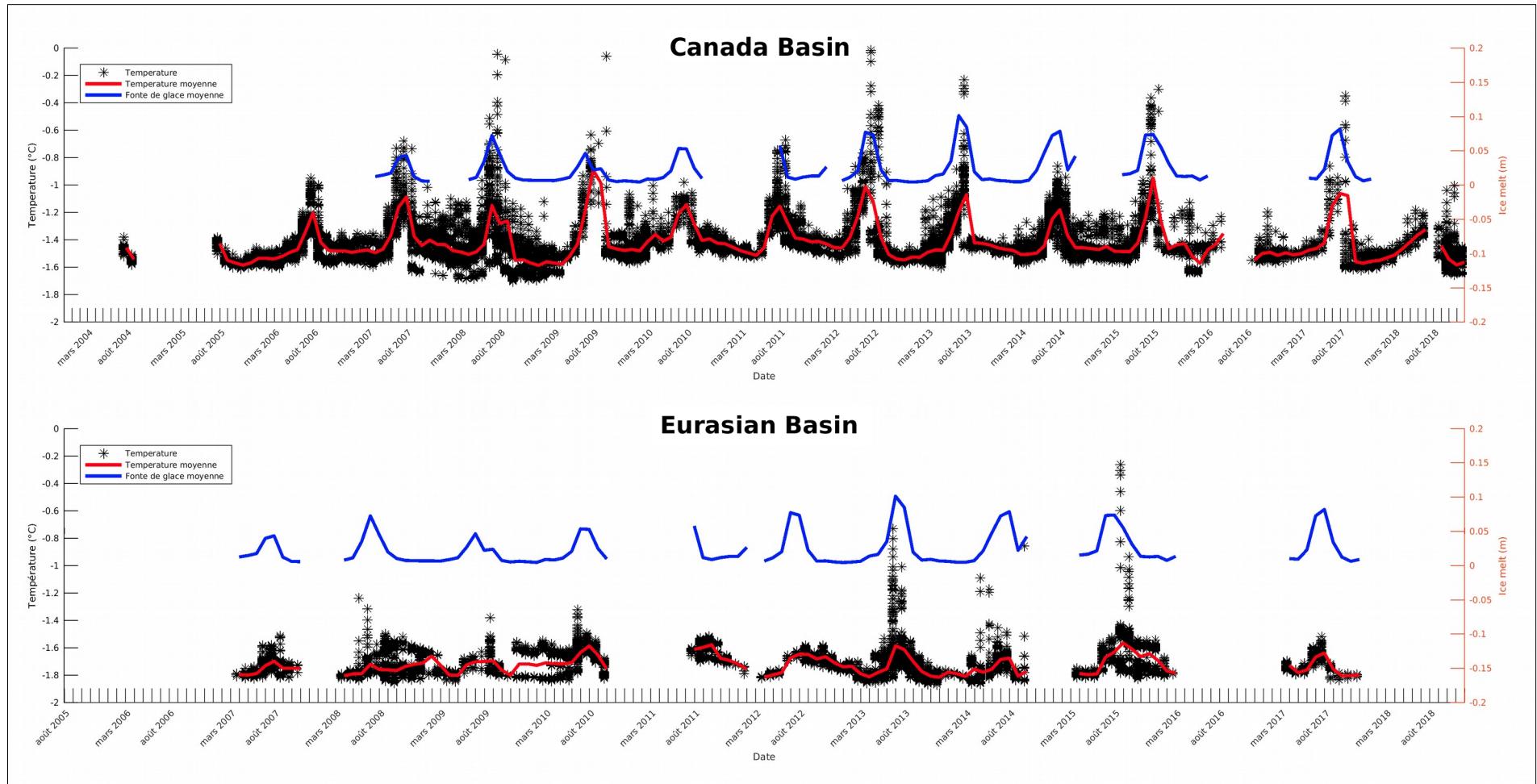
Variabilité interannuelle de la MLD (en été)

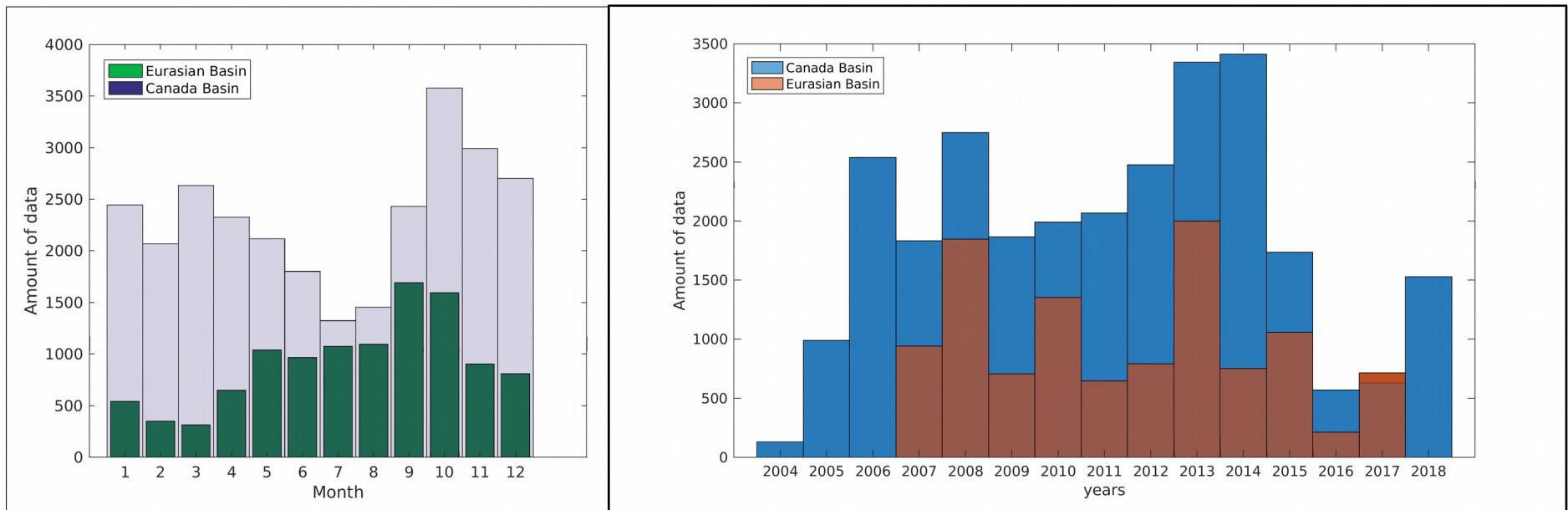


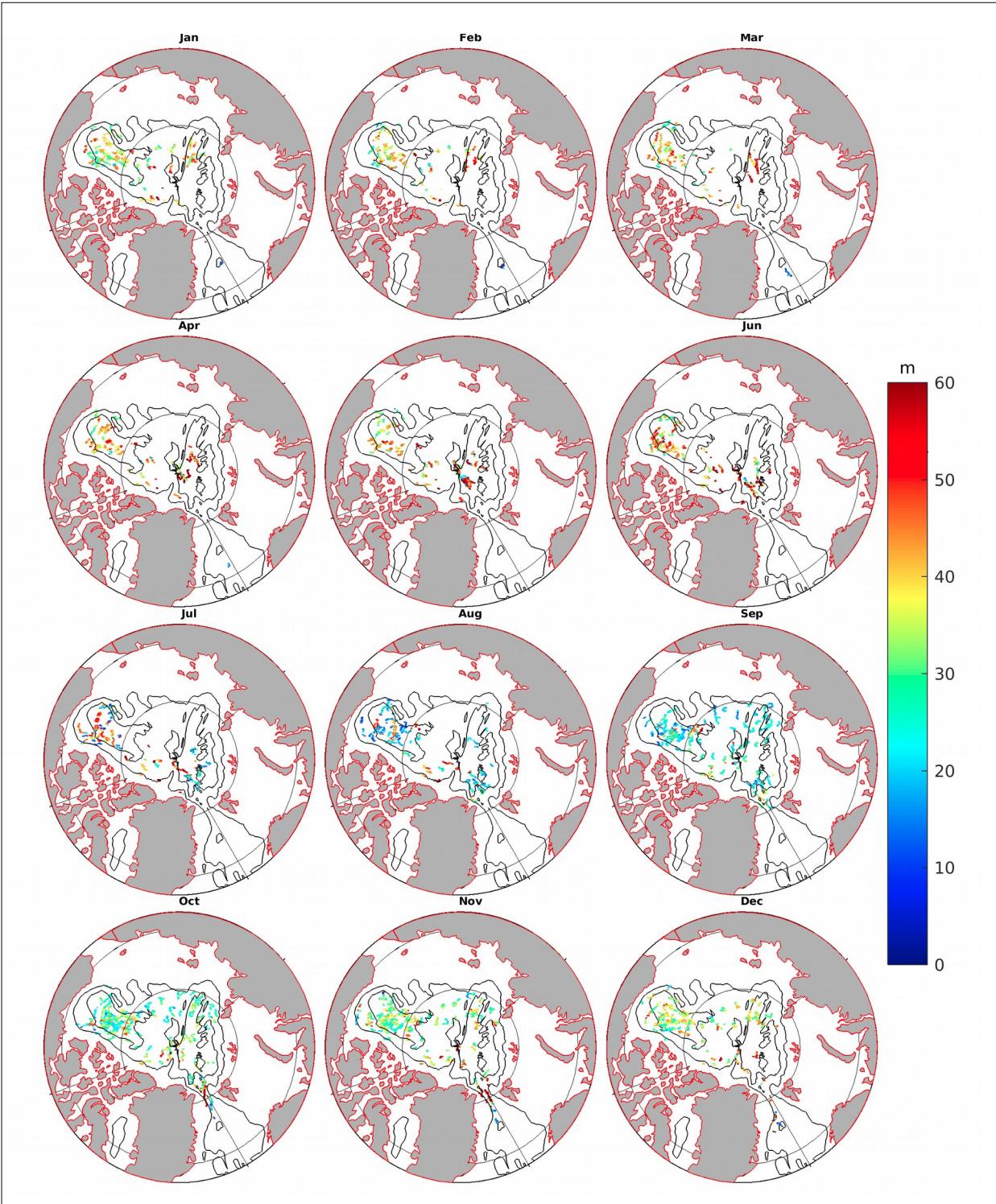
Variabilité interannuelle de la salinité

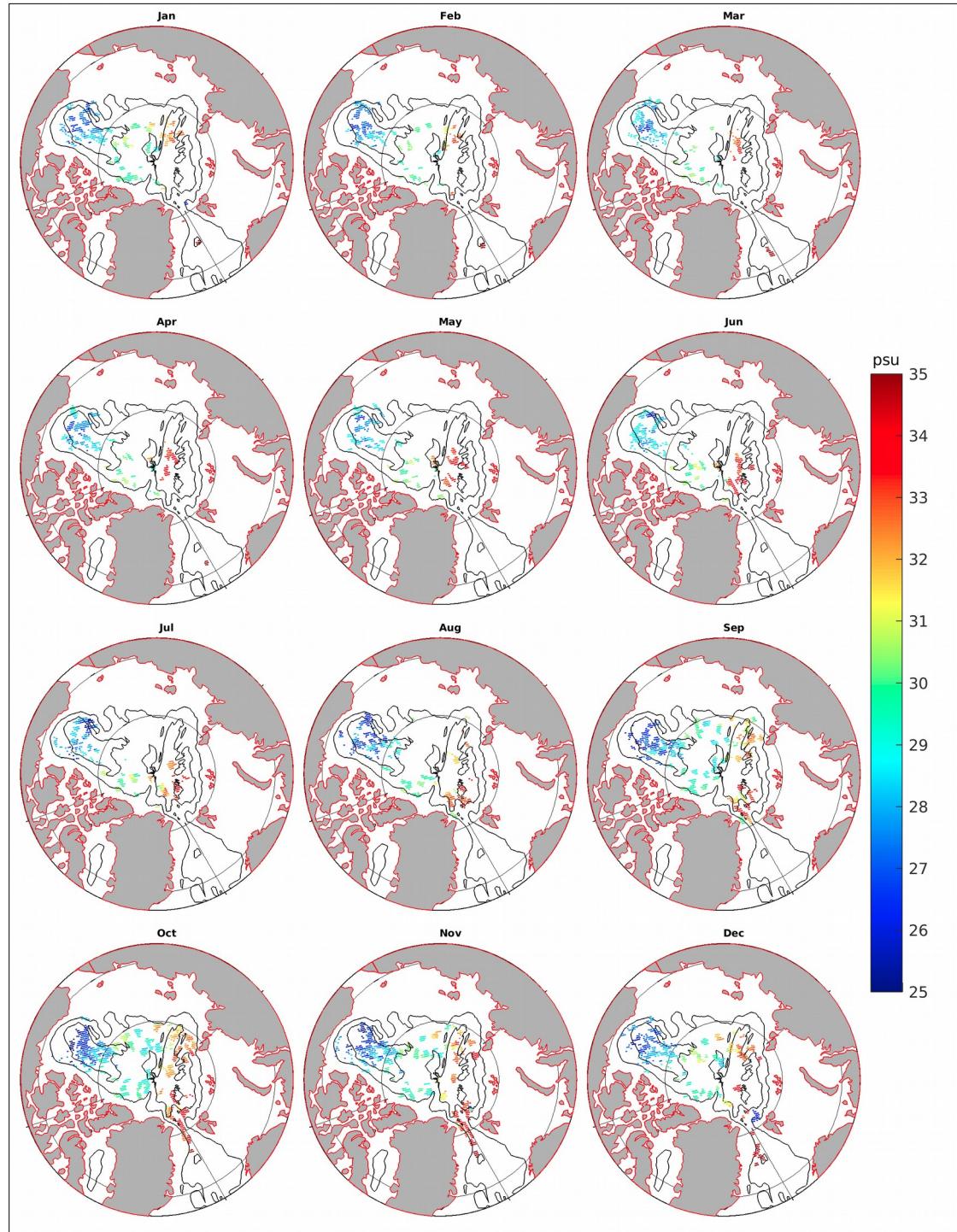


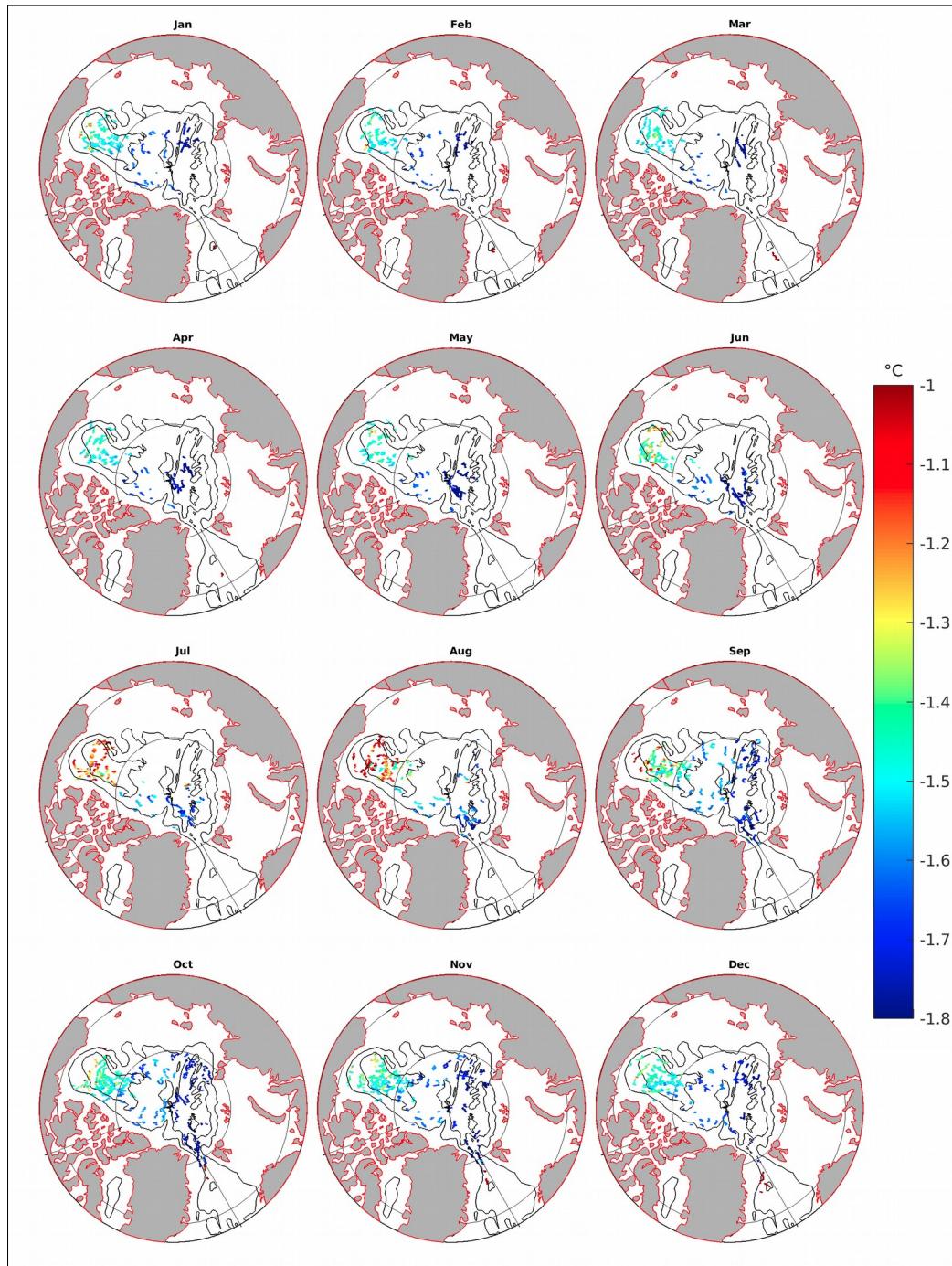
Contenu thermique de la couche de mélange











Contenu thermique de la couche de mélange

$$\Delta h_I = \frac{\Delta H_c}{\rho_I L_I}$$

Où : $\Delta H_c = \rho_o \cdot Cp \cdot (T - Tf) \cdot z_{mld}$

[Peralta-Ferriz, C., & Woodgate, 2015]

avec : $\rho_o = 1027 \text{ kg/m}^3$ est la masse volumique de l'eau de mer.

$\rho_i = 900 \text{ kg/m}^3$ est la densité de la glace de mer.

$L_i = 3 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ est la chaleur latente de fusion.

$Cp = 3985 \text{ J/kg/K}$ est la capacité calorifique spécifique.

z_{mld} est la profondeur de la couche de mélange.

T est la température moyenne de la couche de mélange

Tf est la température de congélation de l'eau dépendant de la pression moyenne et de la salinité moyenne au sein de la MLD.

$$D_E = \frac{\pi \rho_a C_d}{\sqrt{2} \rho_w \Omega \alpha} \frac{1}{\sqrt{\sin(\theta)}} W \sim 4.3W$$

[Peralta-Ferriz, C., & Woodgate, 2015]

Avec : D_E : Profondeur de la couche de mélange (m)

ρ_a : Densité de l'air = 1.3 (kg/m³)

ρ_w : Densité de l'eau = (1025 kg/m³)

C_d : Coefficient de résistance (1.4.10⁻³)

Ω : Rotation de la terre= 2*pi/(24*3600)= 7.3.10⁻³ (radians/s)

a : Constante empirique= 0.0127

Θ : Latitude

W : Vitesse du vent à 10 mètres (m/s)