

Validation et variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace de mer en Arctique dans le modèle NEMO-LIM 1/4°

A. Daudin, G. Garric, M. Drévilion, C. Regnier, E. Greiner

Stage de Master 2
Avril – Septembre 2011

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère
23 au 26 janvier 2012



**Mercator
Ocean**
Ocean Forecasters

Plan

1. Contexte
2. Objectifs
3. Validation de l'épaisseur de glace en Arctique de 1992 à 2009
4. Etude de la variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace de 1992 à 2009
5. Bilan et perspectives

Plan

1. **Contexte**
2. Objectifs
3. Validation de l'épaisseur de glace en Arctique de 1992 à 2009
4. Etude de la variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace de 1992 à 2009
5. Bilan et perspectives

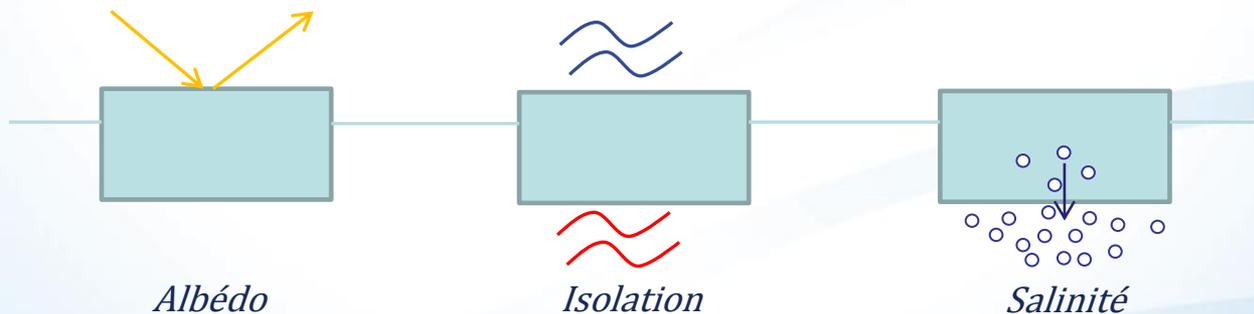
1. Contexte

Glace de mer

Formation : congélation de l'eau de mer (eau salée) \neq glace continentale

Rôle essentiel dans le climat :

- Fort albédo \rightarrow renvoie jusqu'à 80% du rayonnement solaire incident
- Isolation océan/atmosphère \rightarrow limite les échanges de chaleur
- Augmentation de la salinité des eaux \rightarrow un des moteurs de la circulation thermohaline

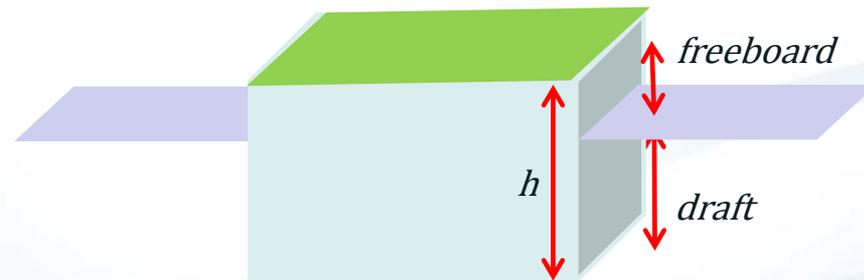


1. Contexte

Glace de mer

Epaisseur de glace de mer

- Bonne connaissance de la couverture de glace (2D) mais pas du volume 3D → caractérisation du volume grâce à l'épaisseur
- Une des variables pronostiques du modèle NEMO-LIM
- Données récentes (*in situ* dès 1975 et satellites dès 2003 avec ICESat)



1. Contexte

Océan Arctique

- Entouré de terres
- 2 courants majeurs : la Gyre de Beaufort et la dérive transpolaire
- Glace de « première année » et « pluri-annuelle »
- Glace plus épaisse en Arctique qu'en Antarctique
- Peu d'observations disponibles



Carte des mers et courants principaux de l'Océan Arctique

Plan

1. Contexte
- 2. Objectifs**
3. Validation de l'épaisseur de glace en Arctique de 1992 à 2009
4. Etude de la variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace de 1992 à 2009
5. Bilan et perspectives

2. Objectifs

- **Valider la variable épaisseur de glace du modèle de glace NEMO-LIM sur l'Arctique de 1992 à 2009**
 - Sachant que les variables concentration et vitesse de glace sont déjà validées
 - Observations disponibles de 1975 à 2009
 - Réanalyses GLORYS2V1 de 1992 à 2009 (forçages ERA Interim)
 - Comparaison observations / Equivalents modèle

→ Evaluer la qualité des variables pronostiques du modèle de glace
- **Etude des mécanismes à l'origine des variations interannuelles de l'épaisseur de glace en Arctique de 1992 à 2009**
 - Etude des indicateurs climatiques : NAO, AO, DA, PDO
 - Recherche des principaux modes de variabilité de l'épaisseur de glace avec la méthode des EOF (extension à d'autres variables : concentration, vitesse vent ...)

→ Mieux comprendre les phénomènes ayant un rôle dans la variabilité interannuelle de la glace pour expliquer le passé et améliorer la prévision en bâtissant des indices

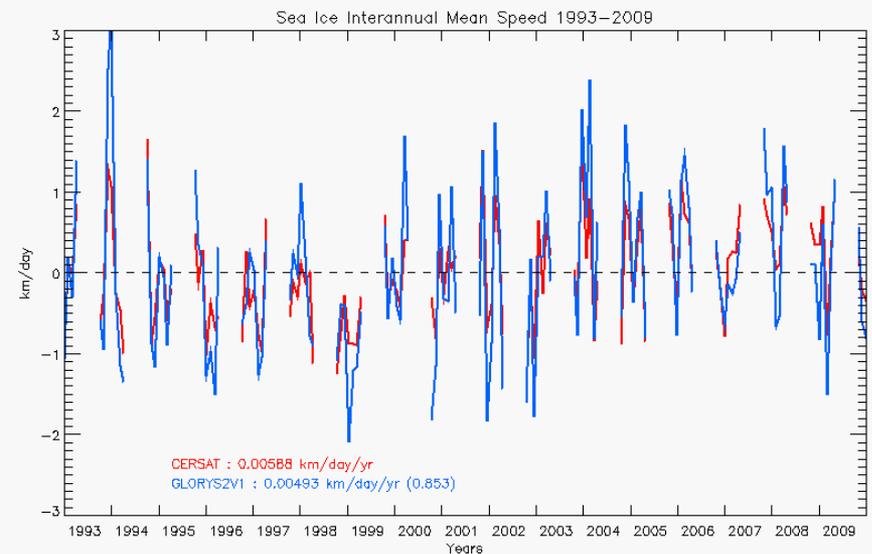
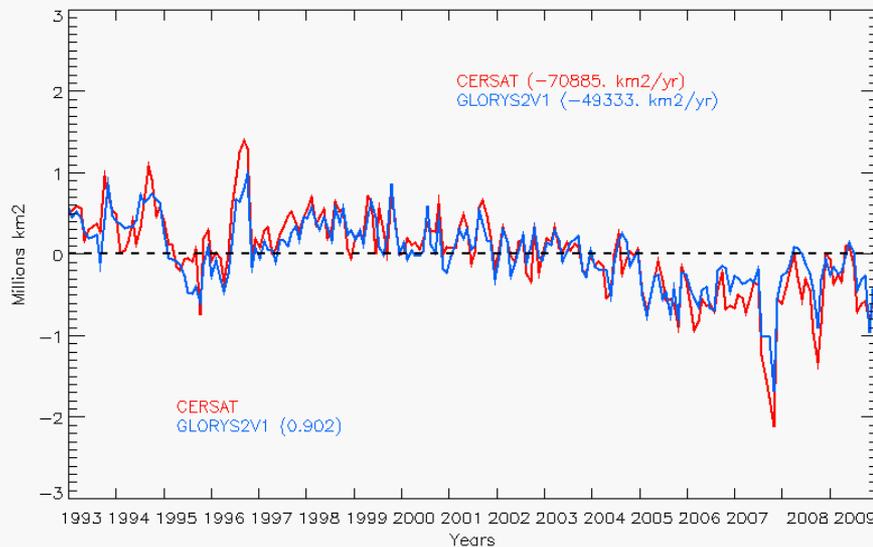
Plan

1. Contexte du stage
2. Objectifs du stage
- 3. Validation de l'épaisseur de glace en Arctique de 1992 à 2009**
4. Etude de la variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace de 1992 à 2009
5. Bilan et perspectives

4. Validation de l'épaisseur de glace

Deux variables de glace du modèle déjà validées :

- Concentration de glace
- Vitesse de glace

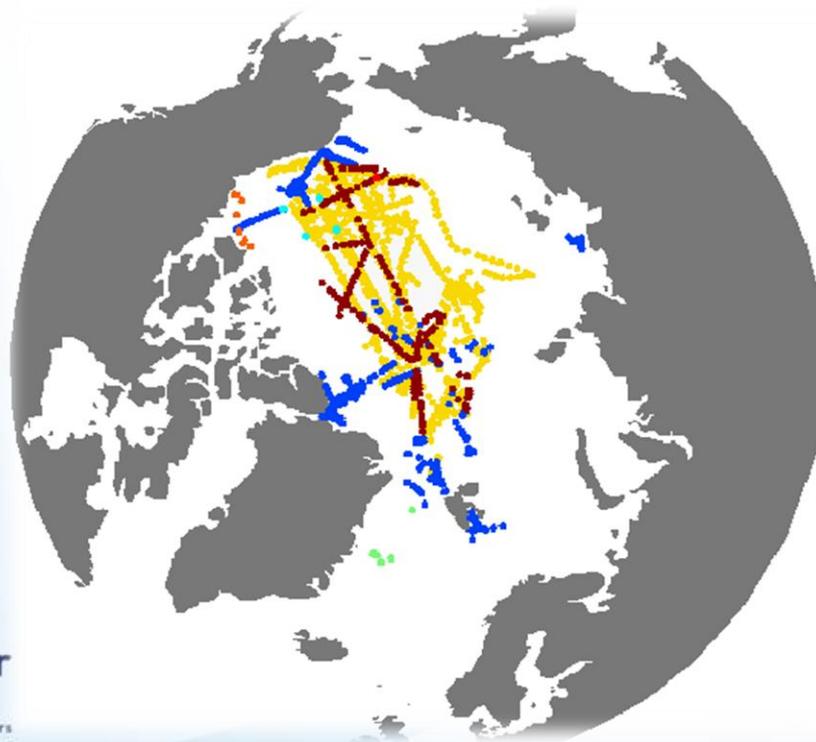


4. Validation de l'épaisseur de glace

Les observations sur l'Arctique de 1975 à 2009

→ 8 campagnes : données d'épaisseur, de draft et de freeboard

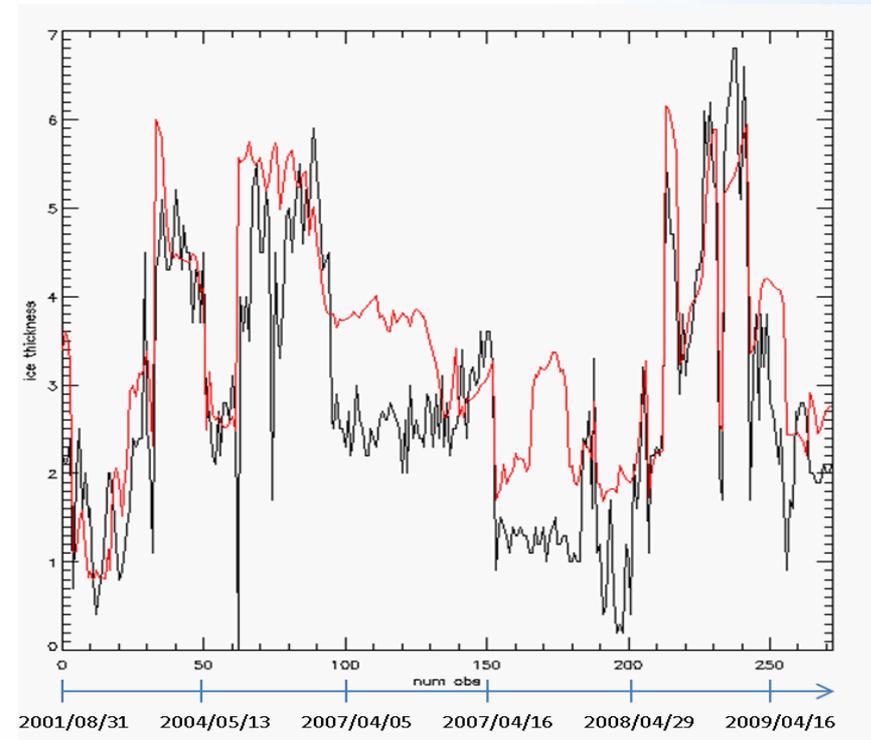
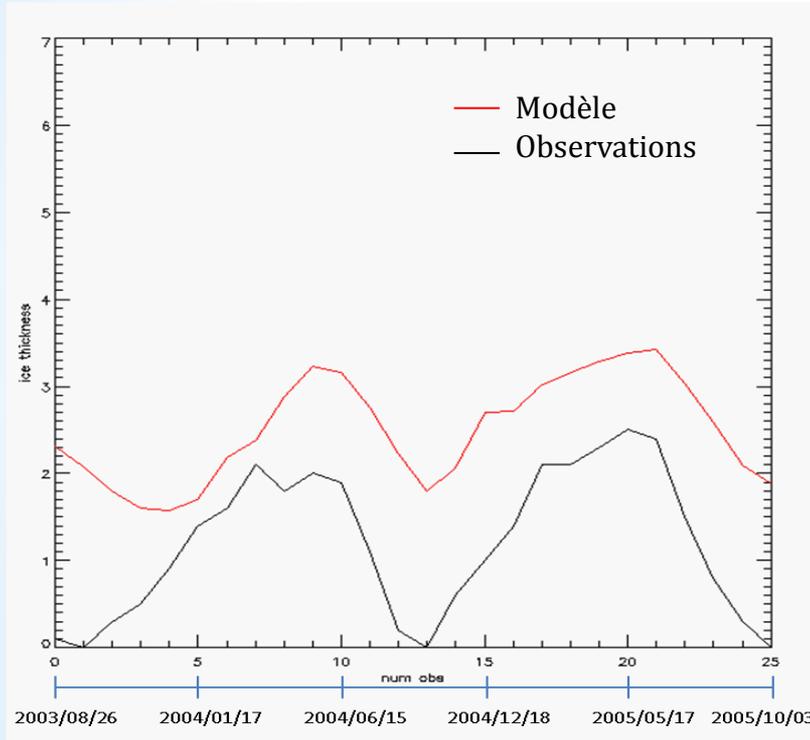
- 2 campagnes sous-marines : US-Subs-An et Us-Subs-Dg
- 1 campagne par hélicoptère : Air-EM
- 4 campagnes en bateau : IOS-EBS, IOS-CHK, AWI-GS, BGEP
- 1 campagne satellite : ICESat



- US-Subs-Dg (1992-1999)
- US-Subs-An (1992-2000)
- Air-EM (2001-2009)
- IOS-EBS (1992-2003)
- AWI-GS (1992-2002)
- IOS-CHK (2003-2005)
- BGEP (2003-2008)

4. Validation de l'épaisseur de glace

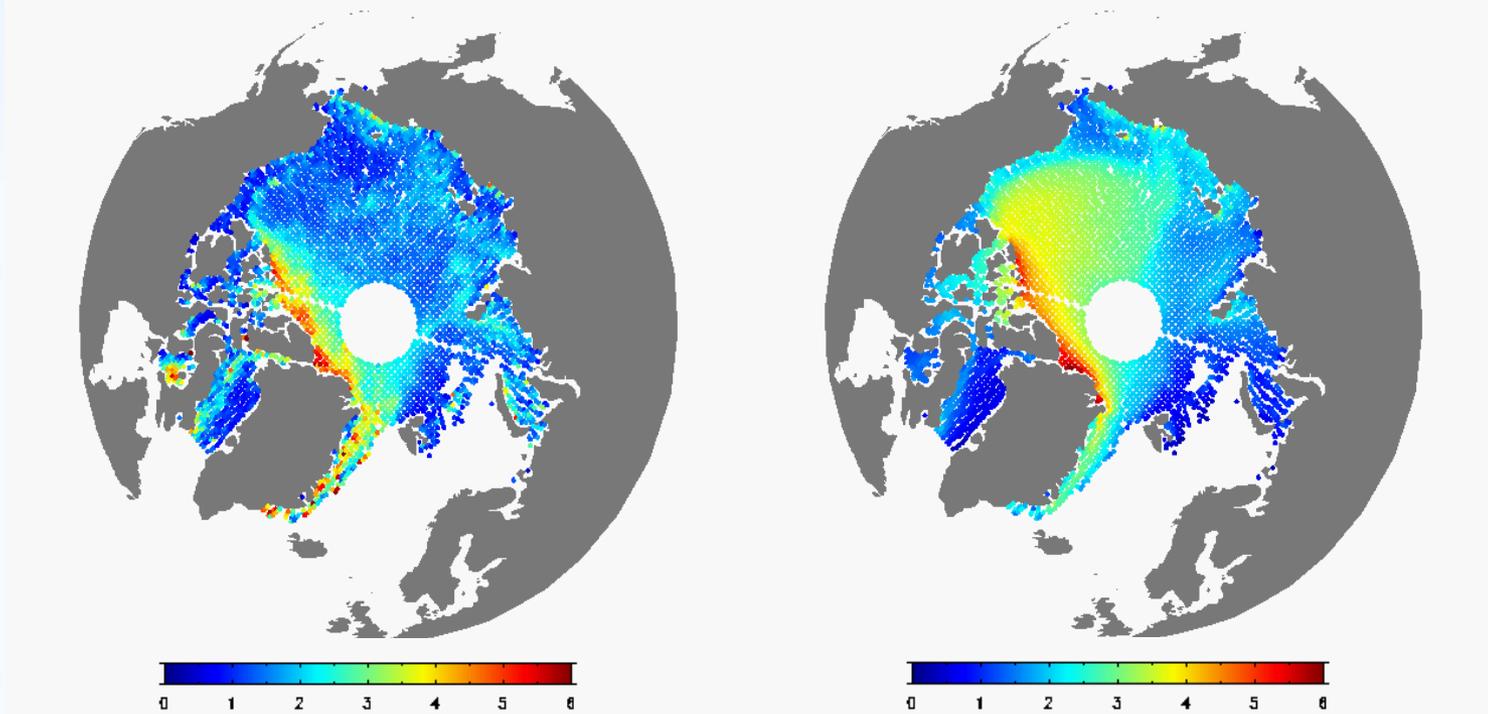
Comparaison observations / équivalents modèle :



Série temporelle du draft IOS-CHK et de l'épaisseur pour Air-EM

- Surestimation du modèle très marquée pour IOS-EBS, plus proche des observations pour Air-EM sauf en 2007 (minimum historique)

4. Validation de l'épaisseur de glace

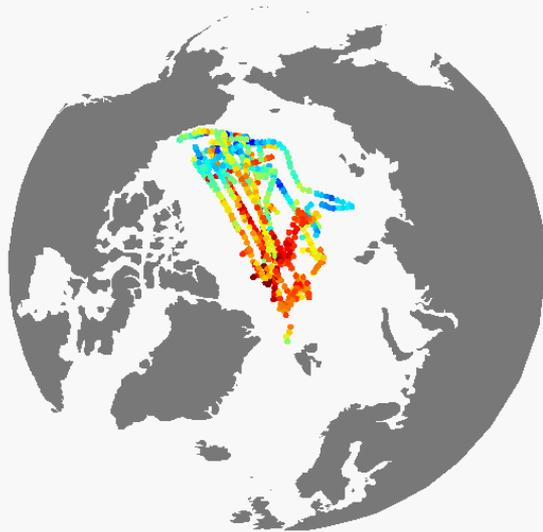


Visualisation du draft pour la campagne ICESat du 12 mars au 14 avril 2007 (observations et modèle)

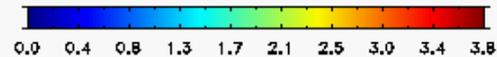
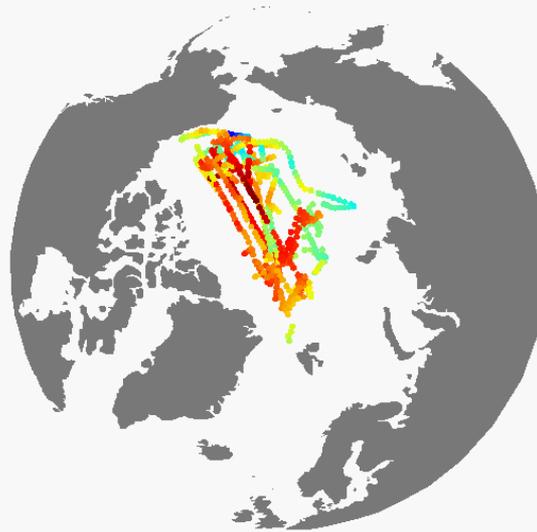
- Bonne estimation des maximums de glace le long de l'Archipel Canadien
- Bon comportement sur la côte Est (Mer de Kara, Mer de Laptev)
- Importante surestimation dans le Bassin Canadien
- Problème d'écoulement dans le détroit entre Ellesmere et Groenland

4. Validation de l'épaisseur de glace

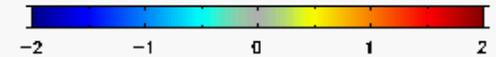
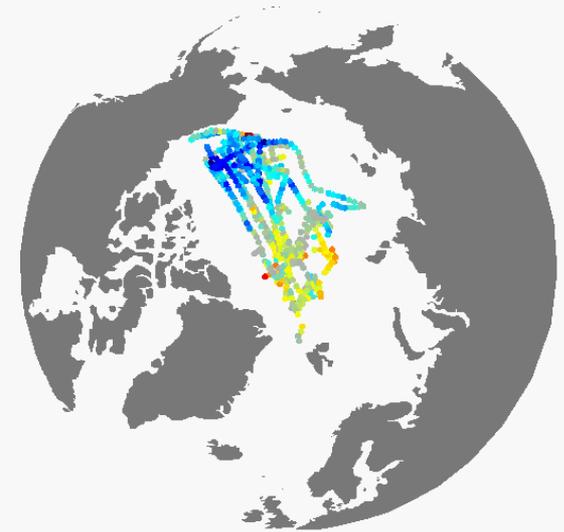
Draft observé



Draft modèle



Ecart du modèle aux observations



Visualisation du draft de la campagne US-Subs-An (Observations, modèle, écart aux observations)

➤ 2 comportements du modèle :

- Bon comportement avec légère sous-estimation au centre
- Nette surestimation dans la Gyre de Beaufort

Plan

1. Contexte
2. Objectifs
3. Validation de l'épaisseur de glace en Arctique de 1992 à 2009
- 4. Etude de la variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace de 1992 à 2009**
5. Bilan et perspectives

5. Variabilité spatio-temporelle de l'épaisseur de glace

Indicateurs climatiques : NAO, AO, DA

Calcul des EOF sur différentes variables :

- Issues des réanalyses GLORYS sans assimilation : épaisseur, concentration, vitesse de glace, vitesse du vent, pression de surface (ERA Interim)
- Issues des observations CERSAT : Concentration, vitesse de glace

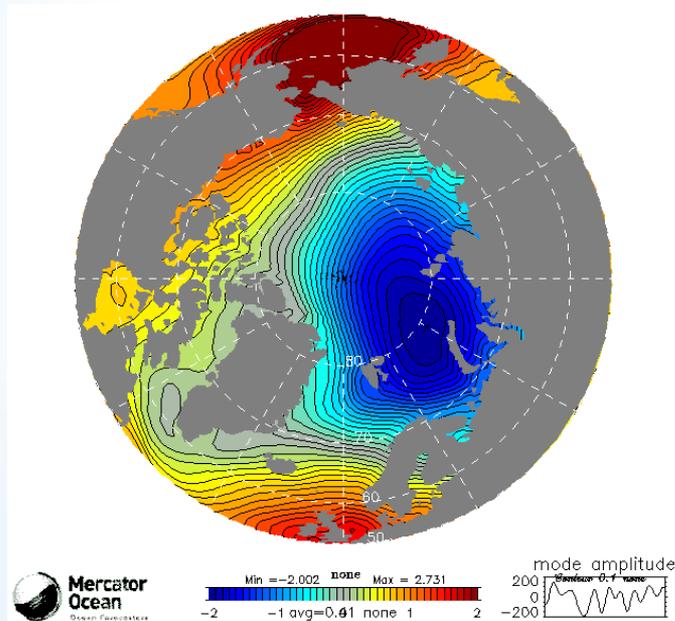
Avec filtrage du cycle saisonnier (18 mois)

→ Mettre en évidence des modes de variabilité communs entre les variables, en particulier le rôle du forçage atmosphérique sur la glace de mer.

5. Variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace

Pression :

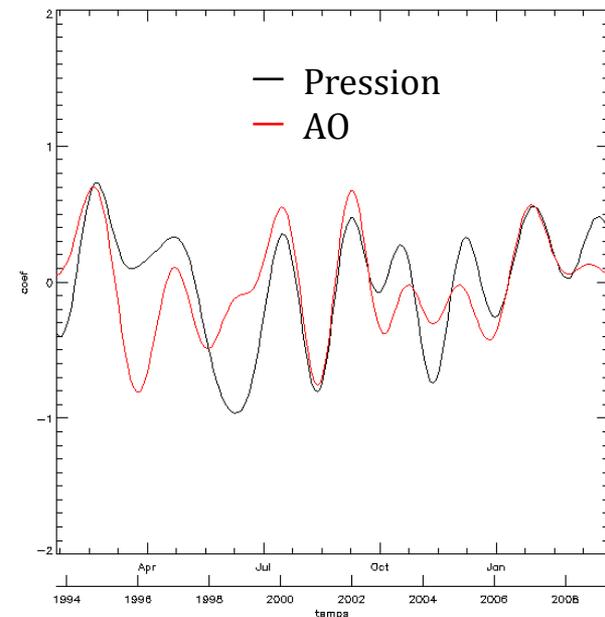
- 1^{er} mode de variabilité : l'AO



EOF Pression **Mode 1** 34% variance



60 % de
corrélation
avec l'AO

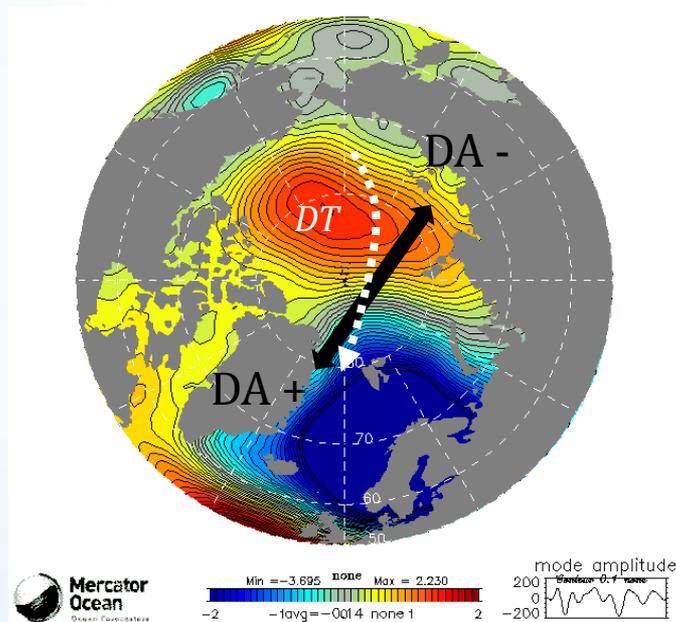


Séries temporelles de Pression et de l'AO de 1993 à 2009

5. Variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace

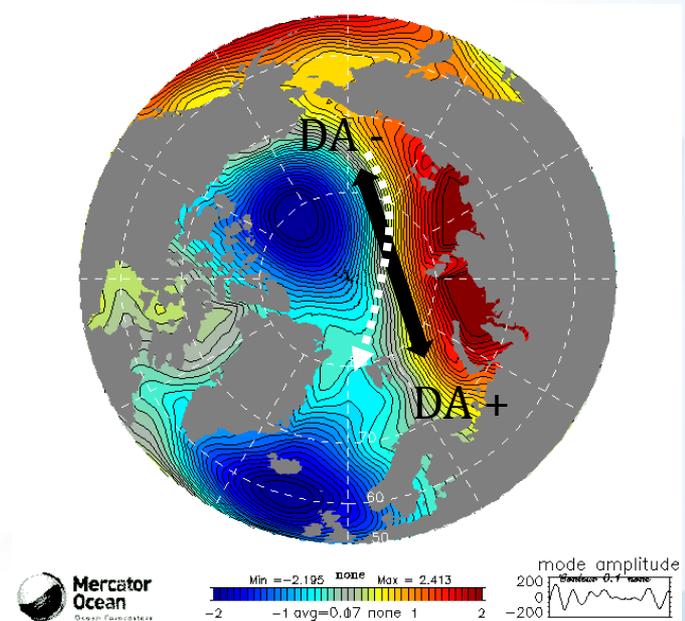
Pression :

- 2^{ème} mode : DA Eté



EOF Pression **Mode 2** 21% variance

- 3^{ème} mode : DA Hiver

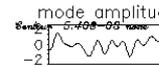
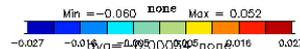
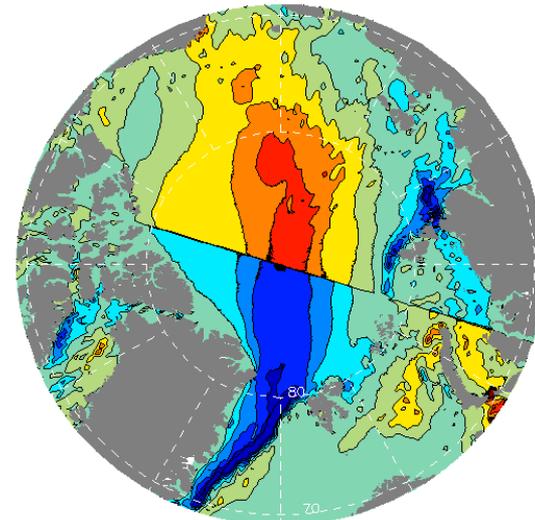
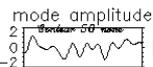
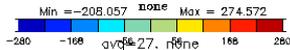
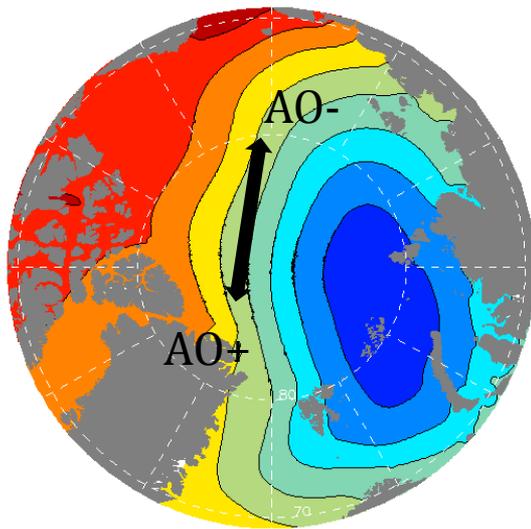


EOF Pression **Mode 3** 15% variance

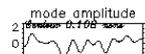
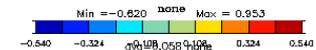
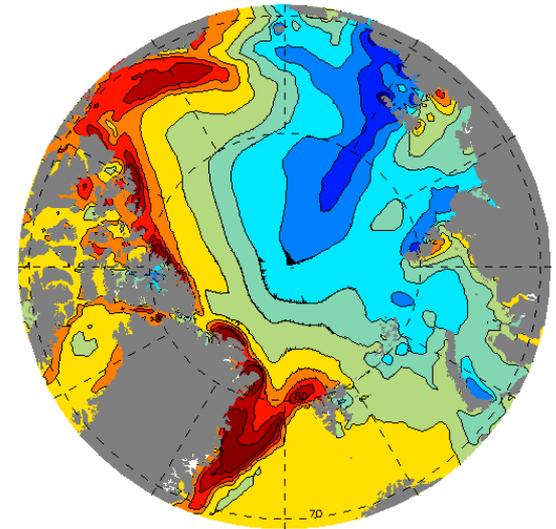
- Accélération des vents le long de la dérive transpolaire en DA+
- Fort export de glace par le détroit de Fram.
- Décélération en DA-, export de glace restreint.

5. Variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace

EOF multivarié Pression/Vitesse de glace/Epaisseur :



EOF Multivarié *Vitesse glace composante j*
Mode 1 31% variance

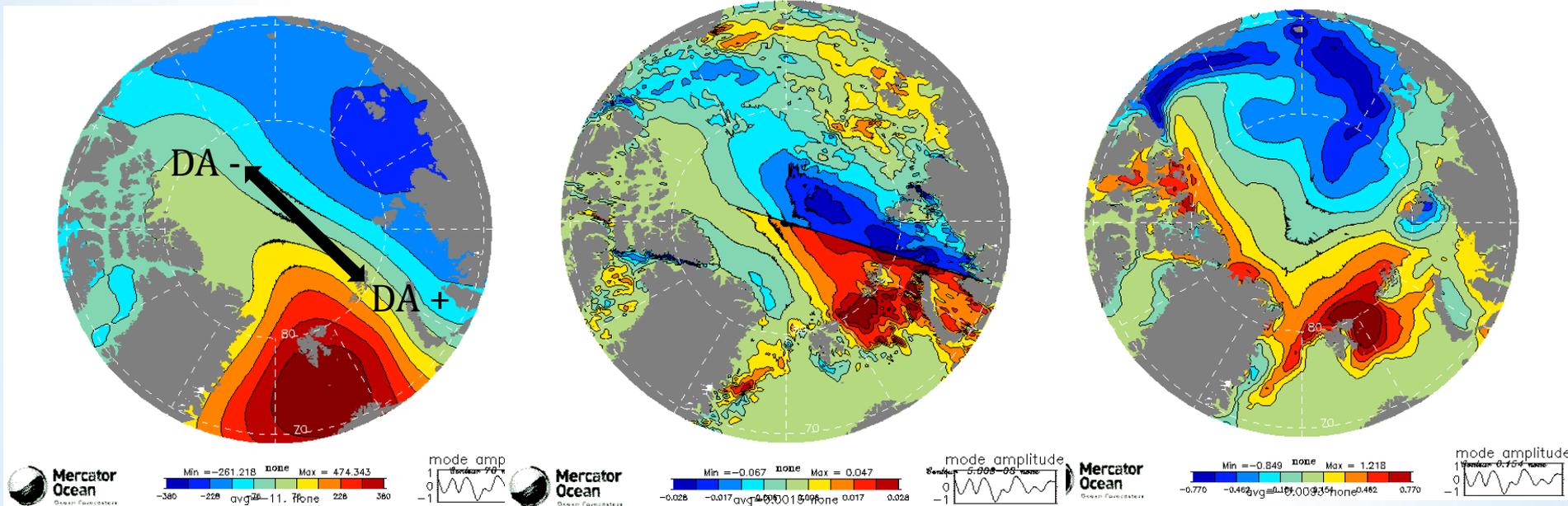


EOF Multivarié *Epaisseur*
Mode 1 31% variance

- Mode 1 caractéristique de l'AO.
- AO+ : BP → accélération des vents le long de la DT → augmentation de la vitesse de glace le long de la DT → Accumulation de glace dans le détroit de Fram et le long des côtes de la mer de Beaufort et Archipel canadien.
- AO- : davantage de HP → décélération DT → moins d'export de glace.

5. Variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace

EOF multivarié Pression/Vitesse de glace/Epaisseur :



EOF Multivarié **Pression**
Mode 3 14% variance

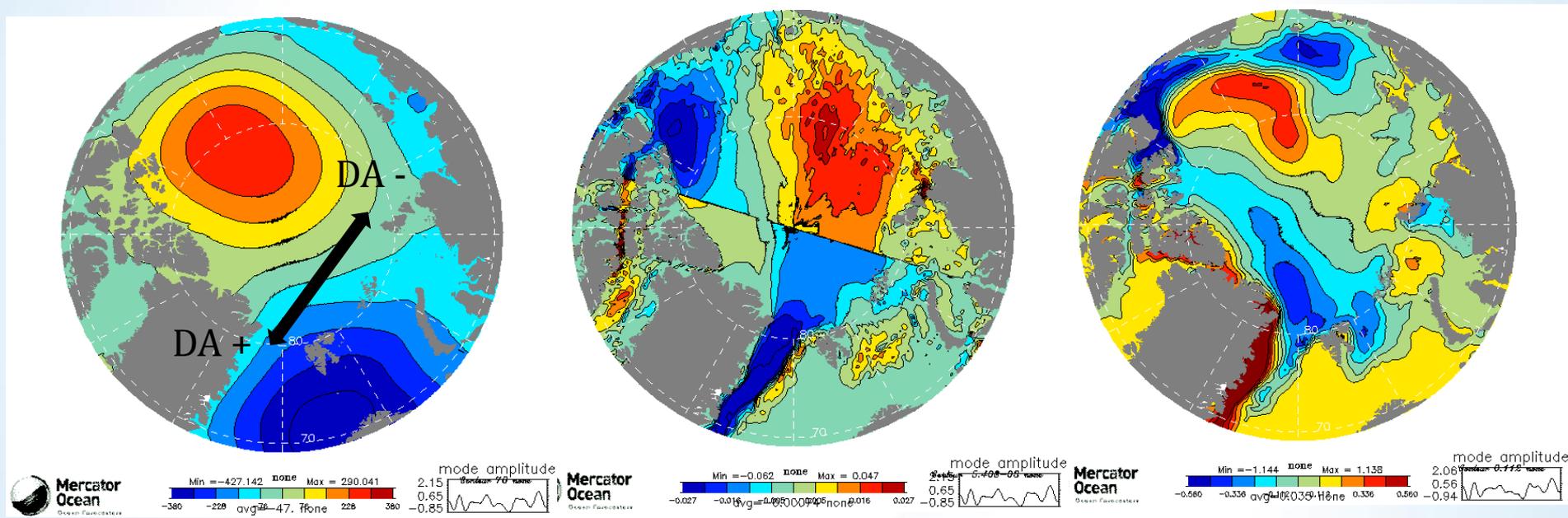
EOF Multivarié **Vitesse glace composante i**
Mode 3 14% variance

EOF Multivarié **Epaisseur**
Mode 3 14% variance

- Mode 3 caractéristique du **DA hiver**.
- 1 centre sur la mer du Groenland et 1 centre sur la mer de Laptev
- Epaisseur élevée Archipel Canadien et Spitzberg. Distribution de l'épaisseur caractéristique de 2007.

5. Variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace

EOF multivarié Pression/Vitesse de glace/Épaisseur :



EOF Multivarié **Pression**
Mode 2 19% variance

EOF Multivarié **Vitesse glace** composante *j*
Mode 2 19% variance

EOF Multivarié **Épaisseur**
Mode 2 19% variance

- Mode 2 se rapproche du **DA Été**.
- **DA +** : Accélération DT et Gyre de Beaufort.
 Forte épaisseur dans la Gyre et accumulation dans détroit de Fram. Glace centrale, plus fine, suit un mouvement circulaire (fonte et advection).

Plan

1. Contexte
2. Objectifs
3. Validation de l'épaisseur de glace en Arctique de 1992 à 2009
4. Etude de la variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace de 1992 à 2009
5. **Bilan et perspectives**

6. Bilan et perspectives

Bilan

- Surestimation du modèle avec un biais systématique (entre 1m et 2m) en particulier dans la Gyre de Beaufort.
- Bon comportement au centre et à l'Est avec légère sous-estimation (Mer Est Sibérienne, Mer de Laptev, Mer de Kara, Mer de Barents)
- Problème d'écoulement au niveau des détroits au $\frac{1}{4}^\circ$
- Principaux modes de variabilité interannuelle de l'épaisseur de glace sur 1992-2009: AO et DA . Rôle important du forçage atmosphérique sur l'épaisseur de glace.

6. Bilan et perspectives

Perspectives :

- Signaux climatiques différents selon la saison :
 - EOF en séparant les saisons Eté/Hiver
- Changement de régime des signaux climatiques (DA) récemment (années 2000)
 - EOF sur 1992-1999 et 2000-2009.
- Approfondissement des mécanismes de l'AO et du DA.
- Impact sur les couches superficielles océaniques (contenu thermique et bilan d'eau douce).
- Utilisation d'autres données (Cryosat...) pour la validation et d'autres variables (ex : température de surface) pour la variabilité interannuelle.