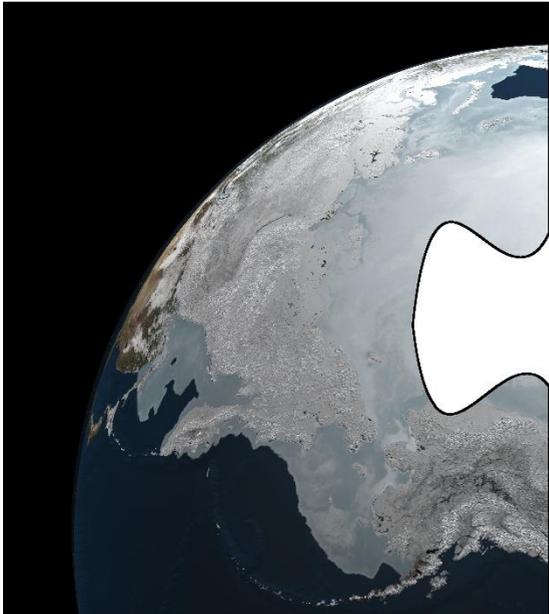
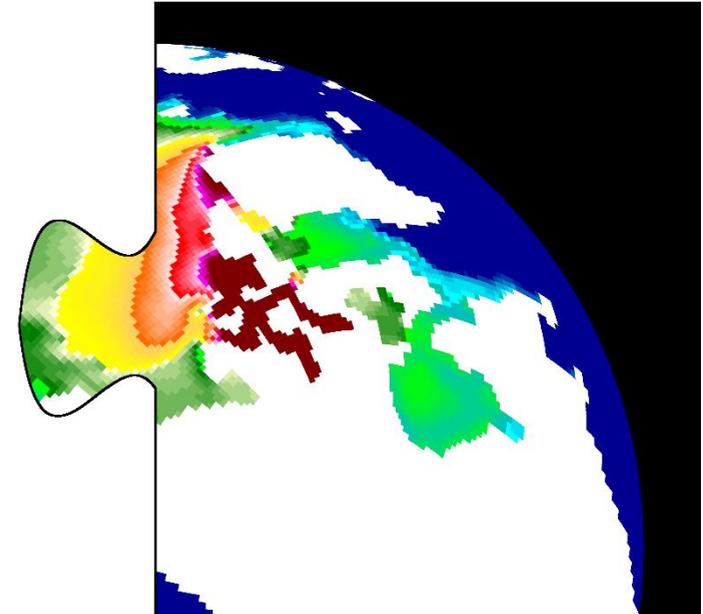


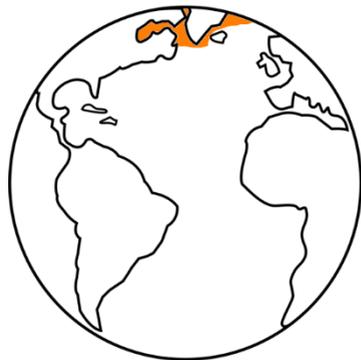
Evaluation et amélioration des simulations climatiques de la banquise



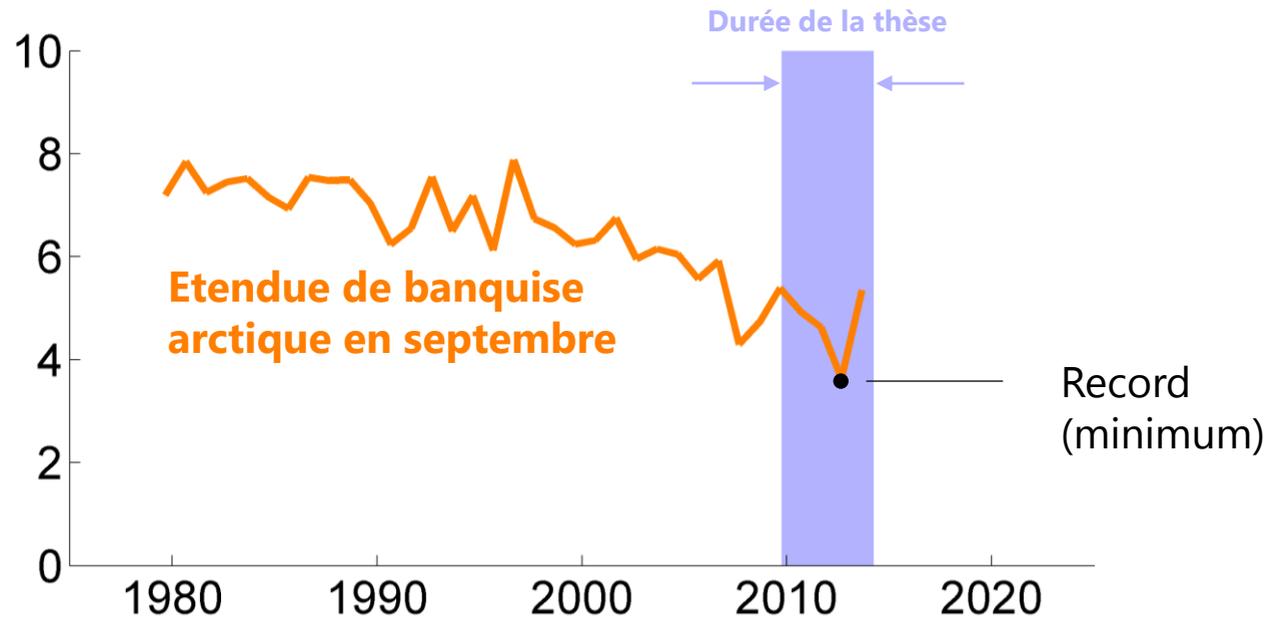
François Massonnet

Thèse de doctorat présentée en
vue de l'obtention du grade de
docteur en sciences



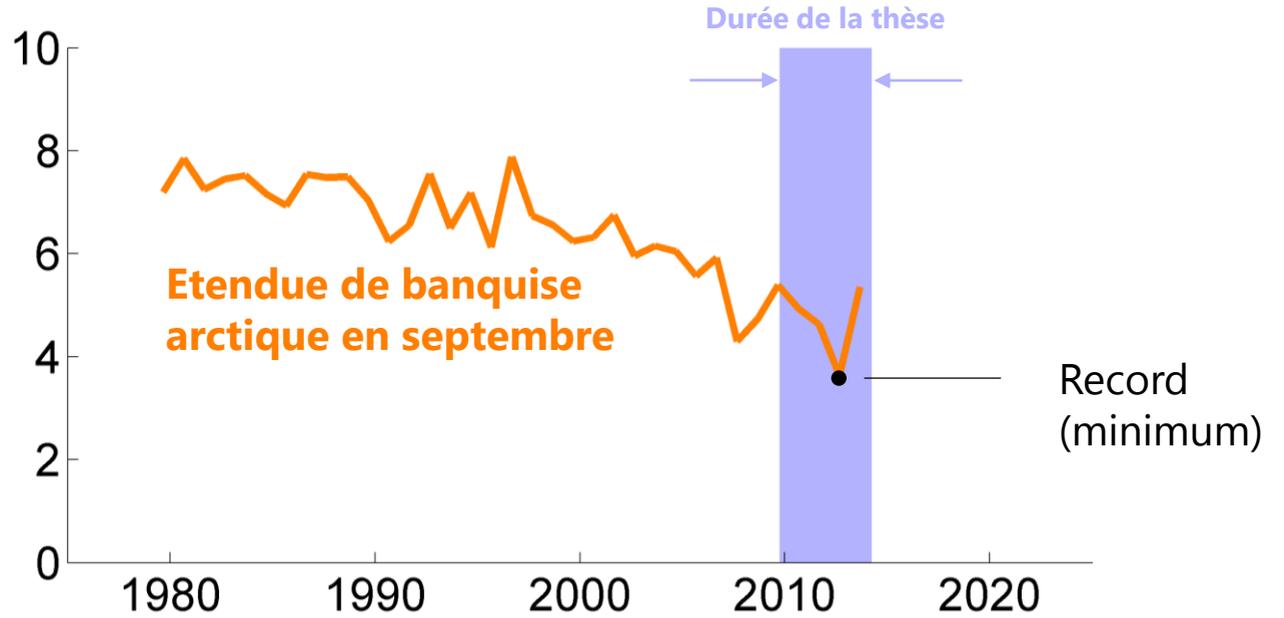


millions
de km²

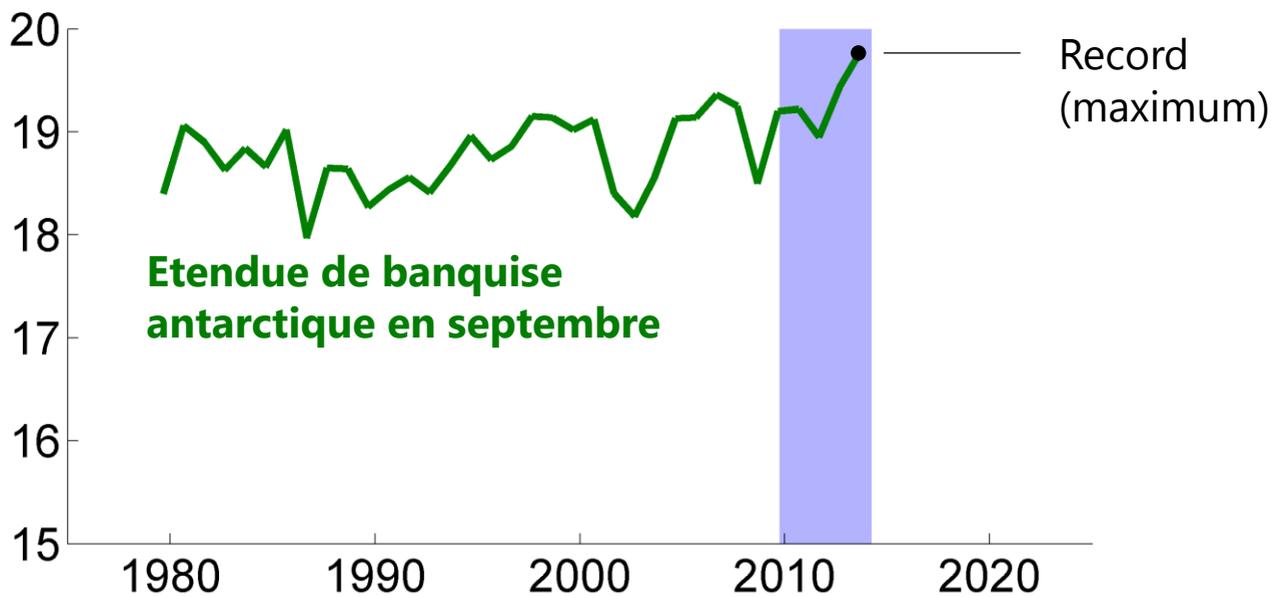




millions
de km²



millions
de km²





A. Observations et modèles de la banque

B. Trois exemples d'utilisation constructive

A. Observations et modèles de la banquise

B. Trois exemples d'utilisation constructive



[Photo: Jan Lieser]

La banquise est une mince et vaste
couche de glace se formant dans l'océan



La banquise est une mince et vaste
couche de glace se formant dans l'océan



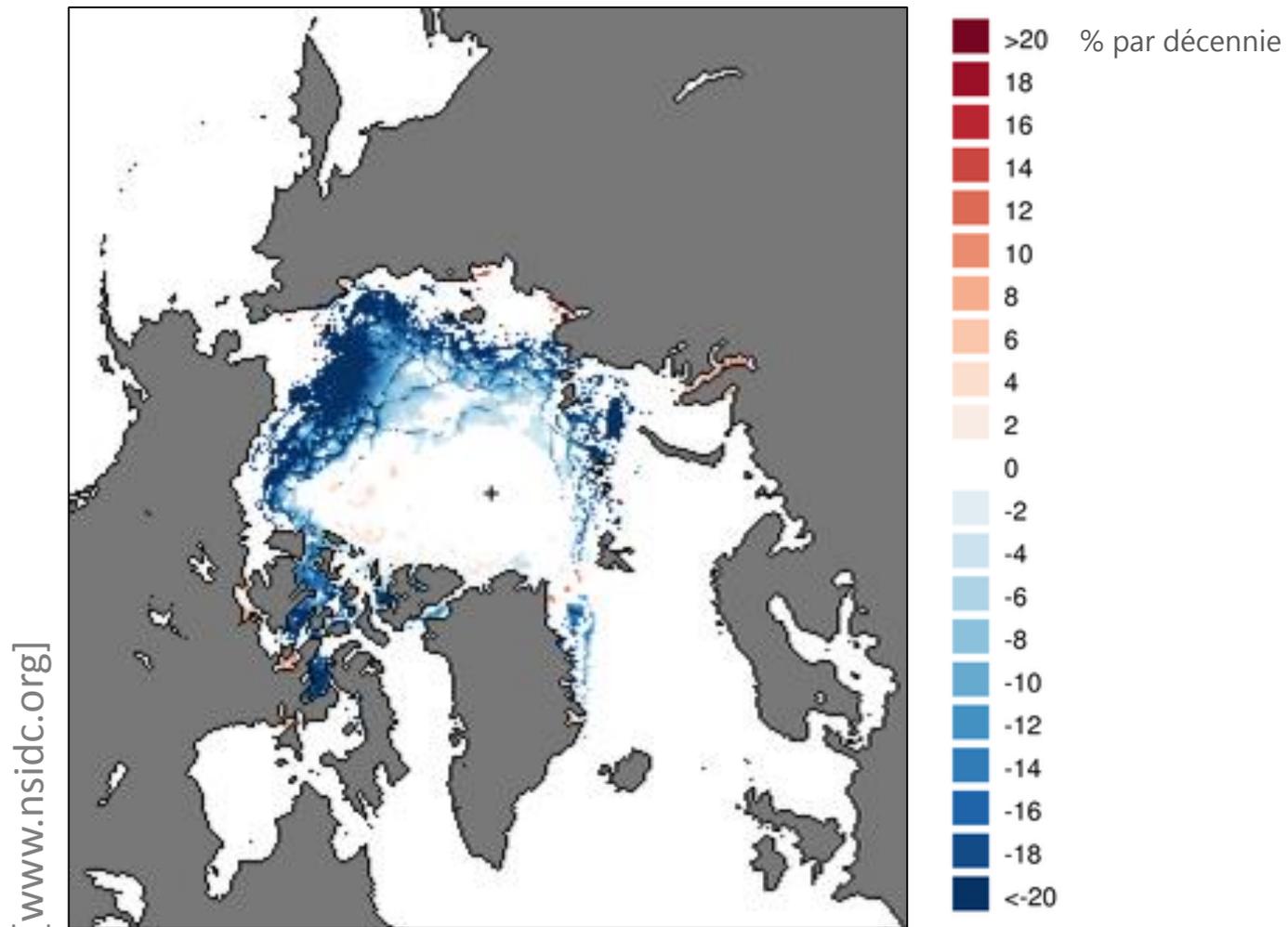
Concentration [0 ... 100 %]

Epaisseur [0 ... 1.5 ... 5 m]

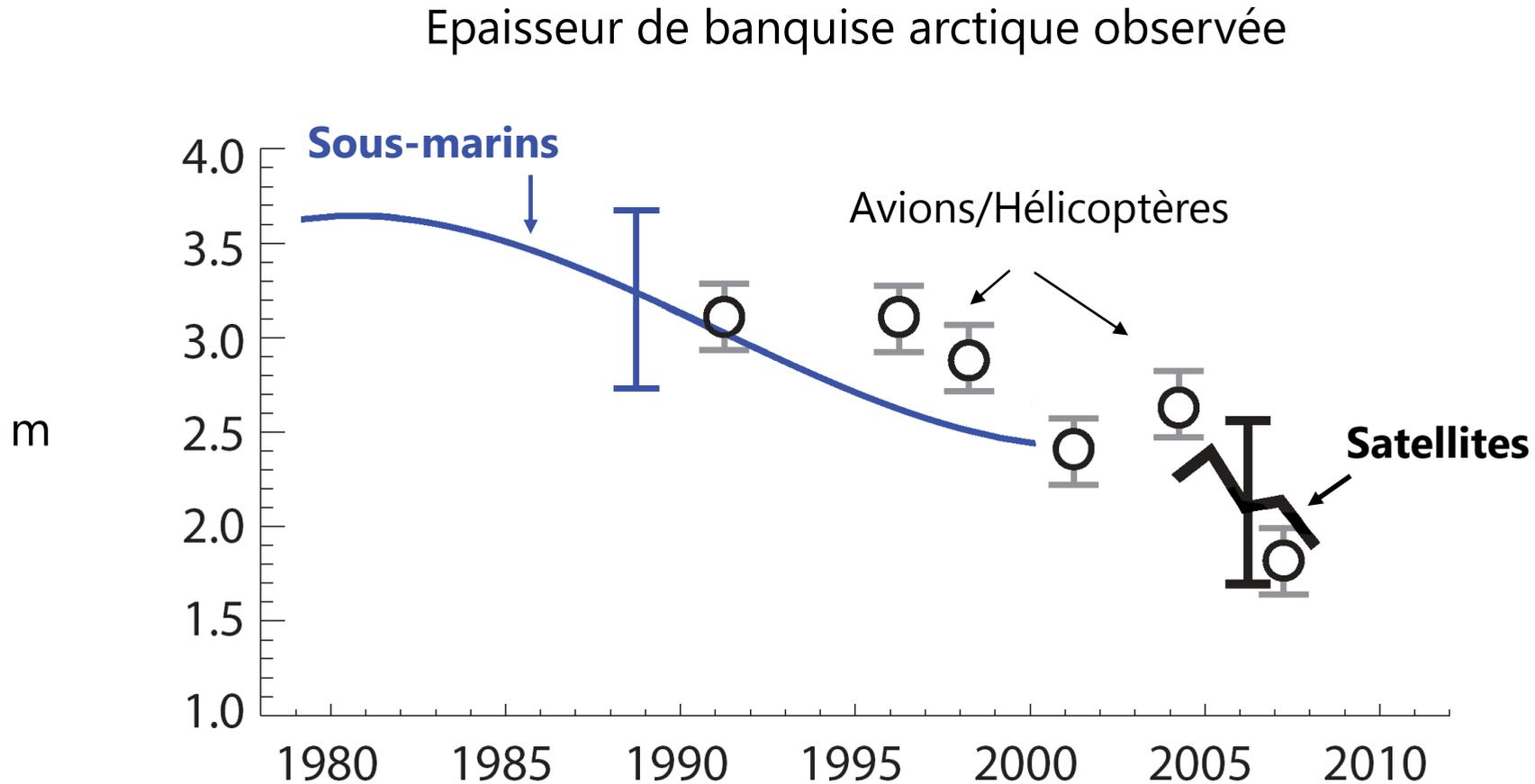
Vitesse de dérive [0 ... 20 km/jour]

En Arctique, la banquise présente des signaux forts

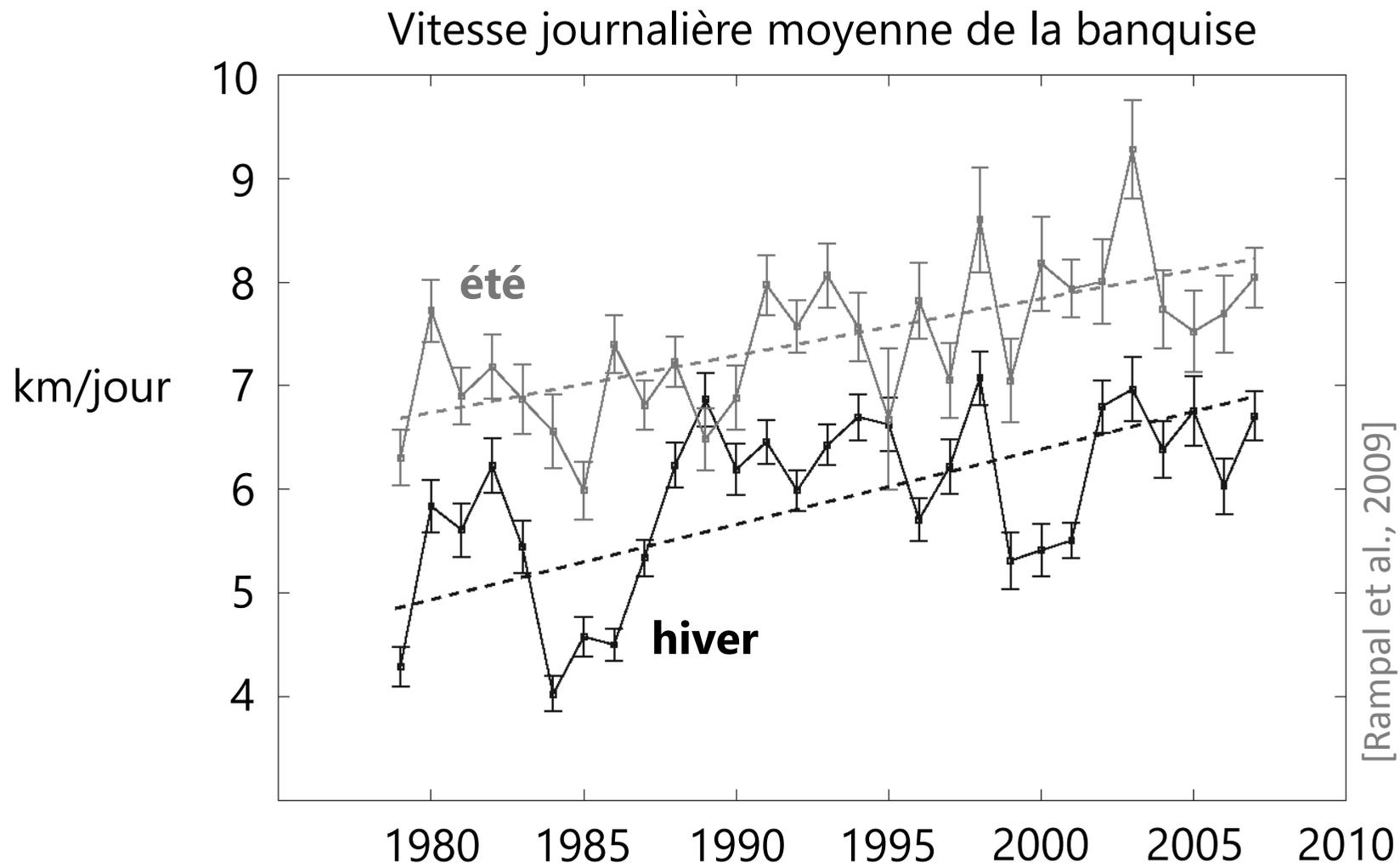
Changements observés (1979-2013) de concentration de banquise en septembre



En Arctique, la banquise présente des signaux forts



En Arctique, la banquise présente des signaux forts



En Arctique, la priorité est d'anticiper les changements futurs et leurs impacts

Echelle saisonnière

Ouverture du pack, réponse atmosphérique

Echelle décennale

Adaptation, écosystèmes, planification

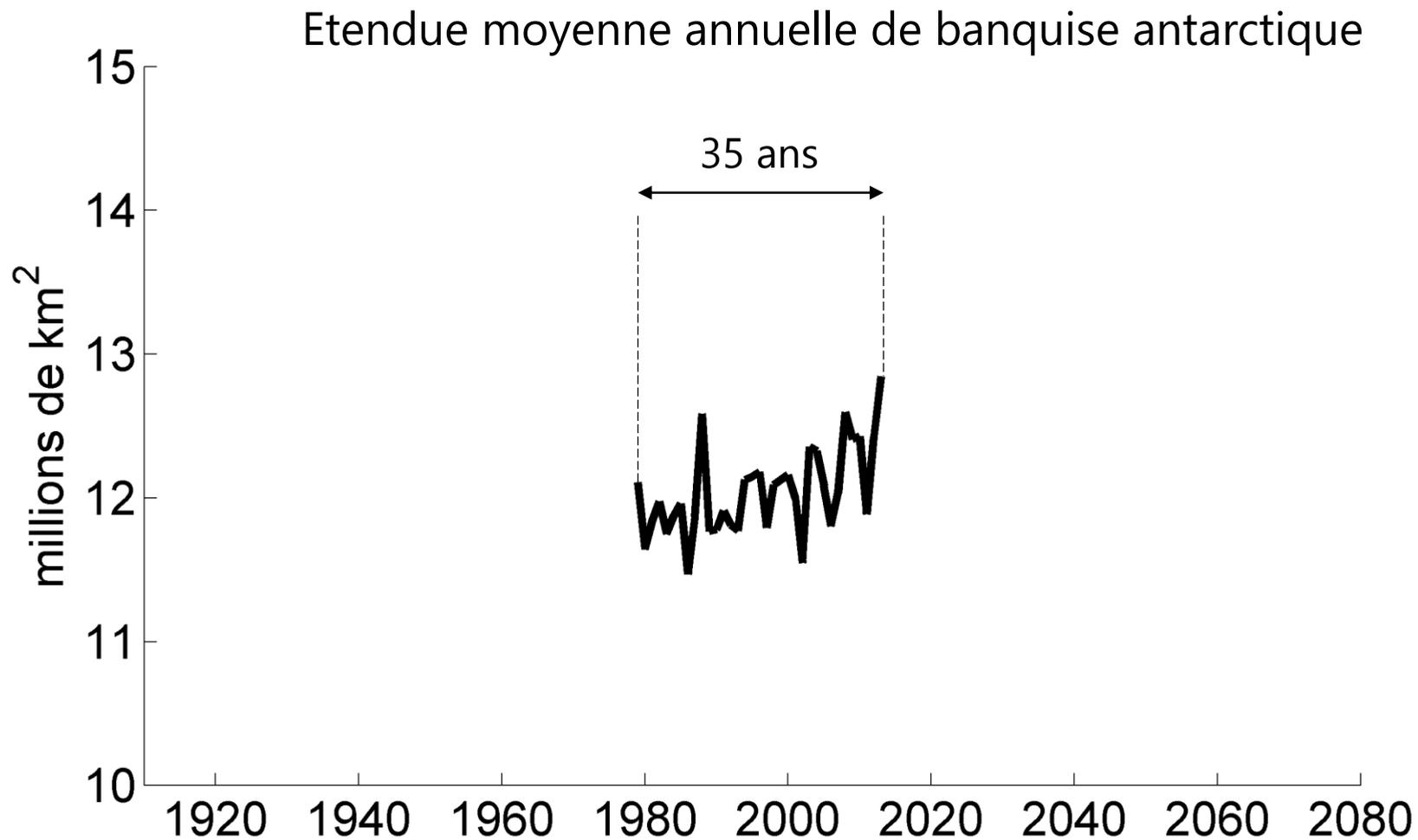
Echelle du siècle

Réponse climatique

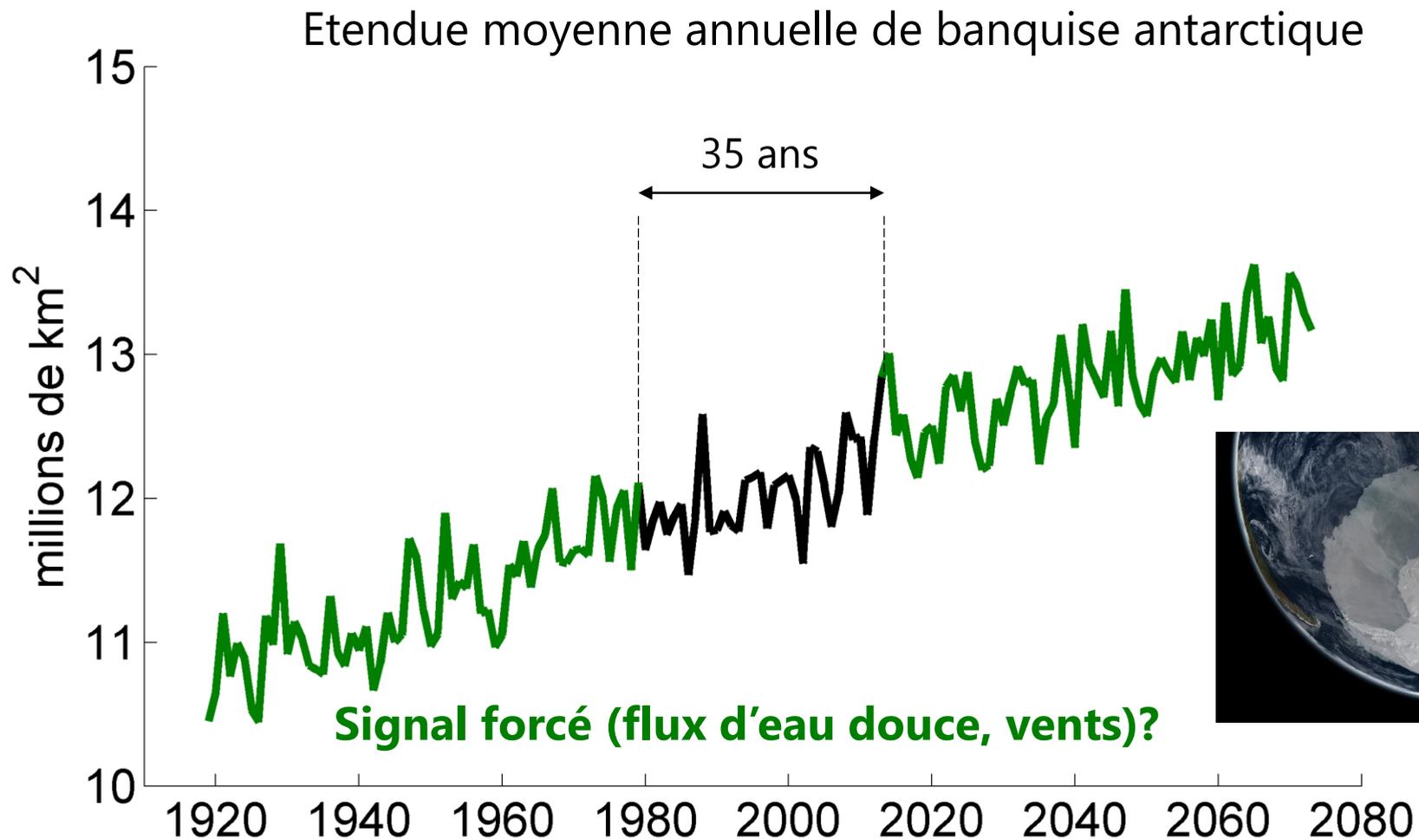




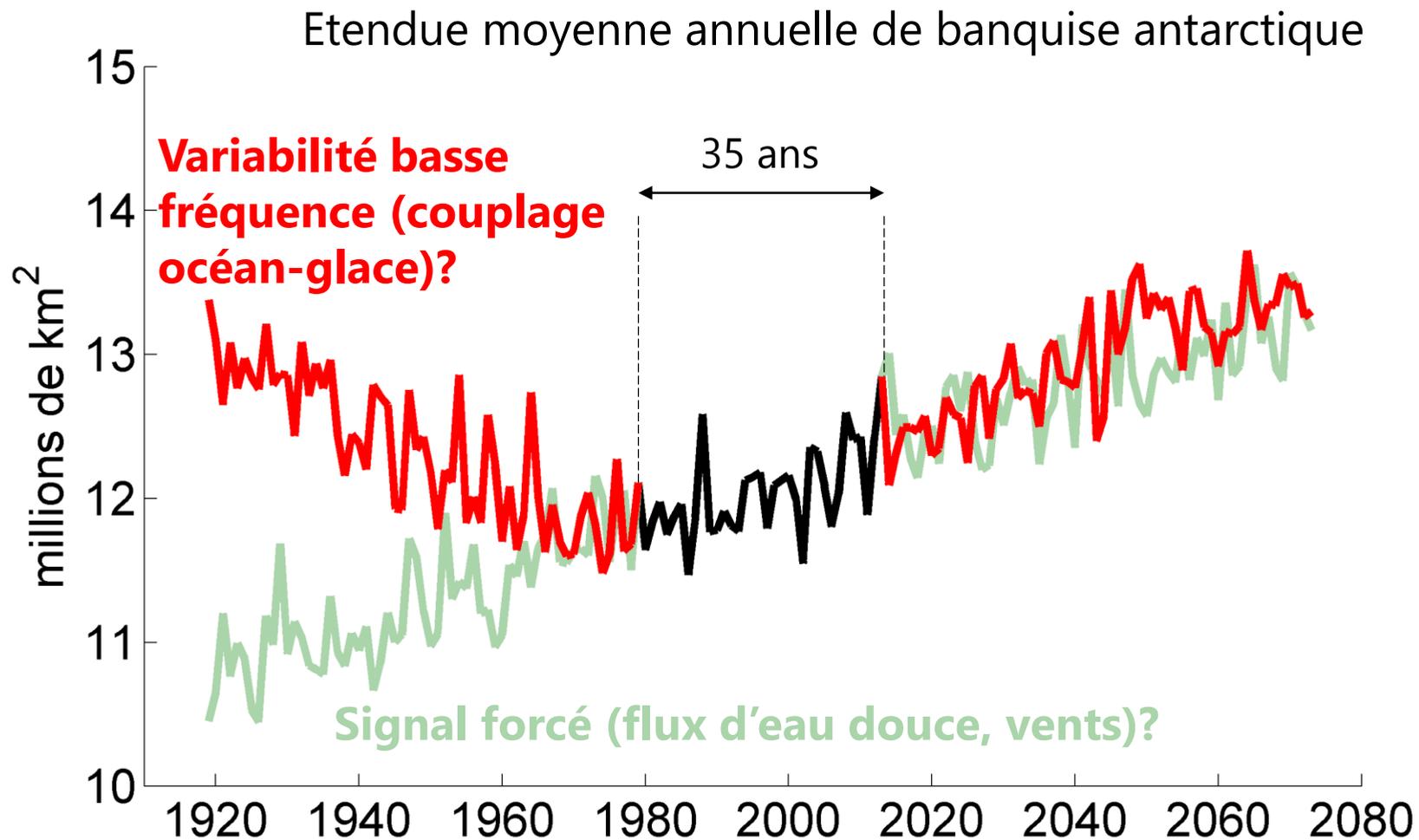
35 ans d'observations: trop peu pour comprendre l'augmentation de l'étendue de banquise antarctique



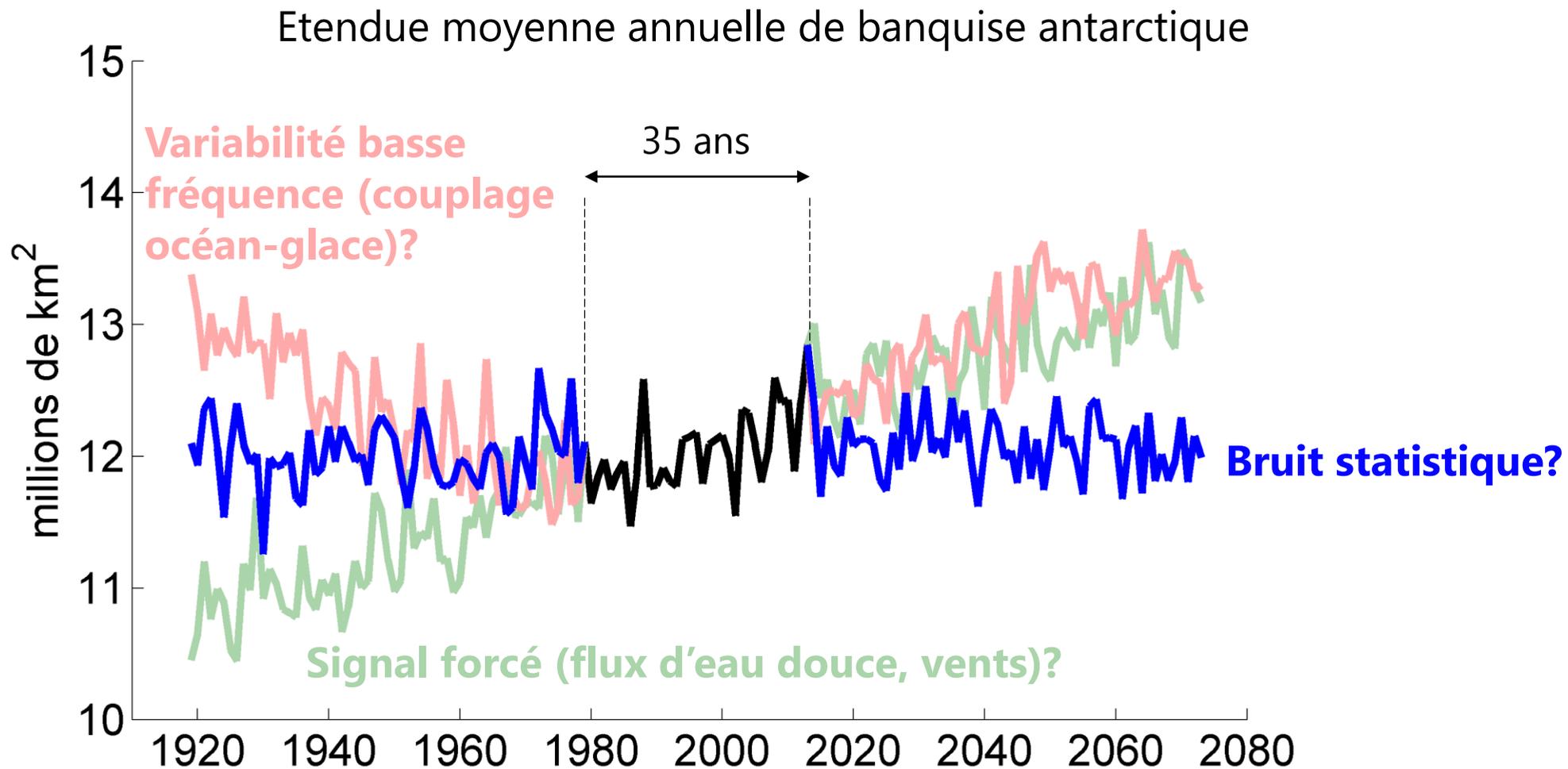
35 ans d'observations: trop peu pour comprendre l'augmentation de l'étendue de banquise antarctique



35 ans d'observations: trop peu pour comprendre l'augmentation de l'étendue de banquise antarctique

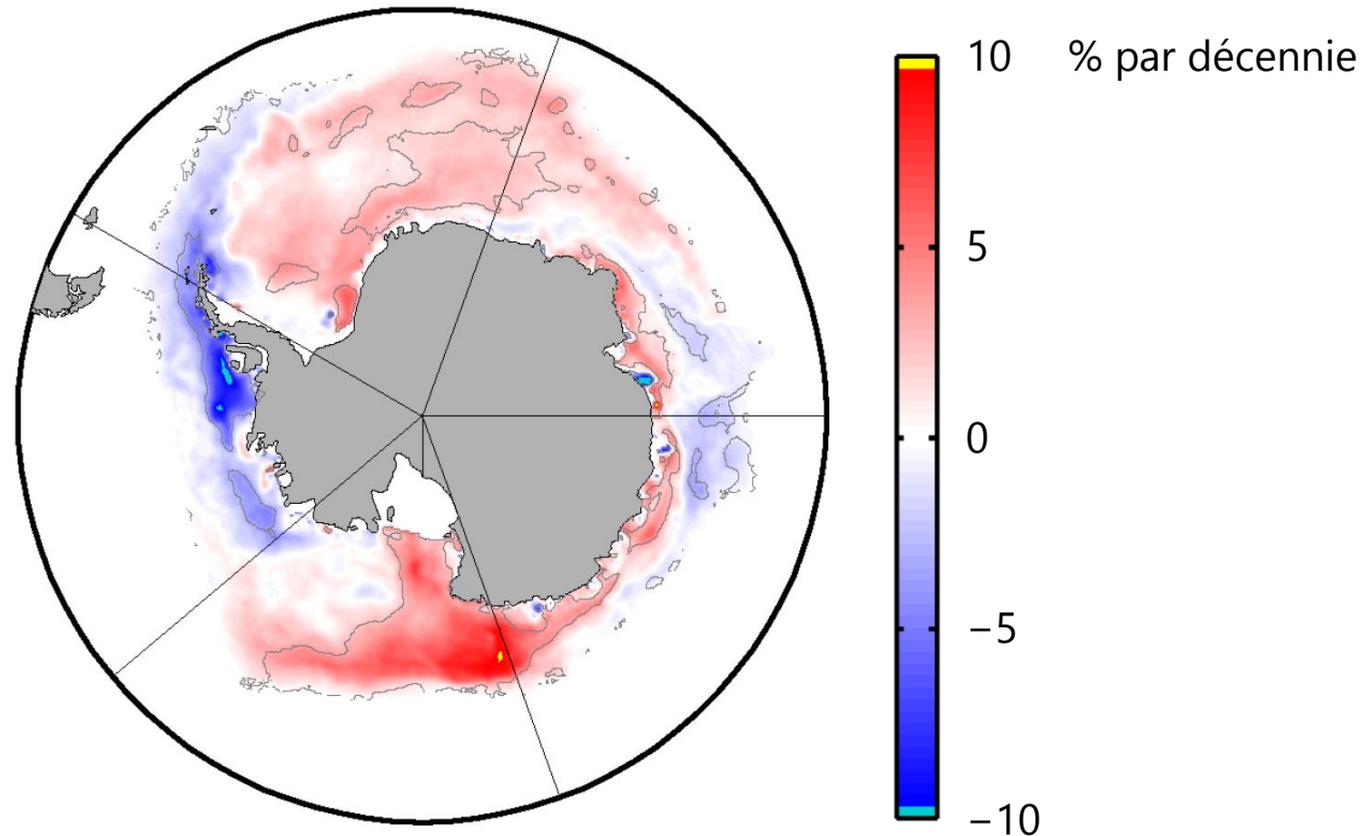


35 ans d'observations: trop peu pour comprendre l'augmentation de l'étendue de banquise antarctique



En Antarctique, la priorité est de comprendre l'origine de signaux fort régionalisés

Changements observés (1980-2008)
de concentration de banquise



Conclusion 1

Les observations de banquise soulèvent beaucoup de questions, mais sont insuffisantes pour y répondre

Observations

Proches de la réalité

Peu/pas de valeur prédictive

Couverture incomplète

Incertitudes

A. Observations et **modèles de la banque**

B. Trois exemples d'utilisation constructive

Un modèle est constitué

d'équations physiques...

$$\frac{\partial g}{\partial t} = -\nabla \cdot (vg) - \frac{\partial}{\partial h} (fg) + \psi$$

⋮

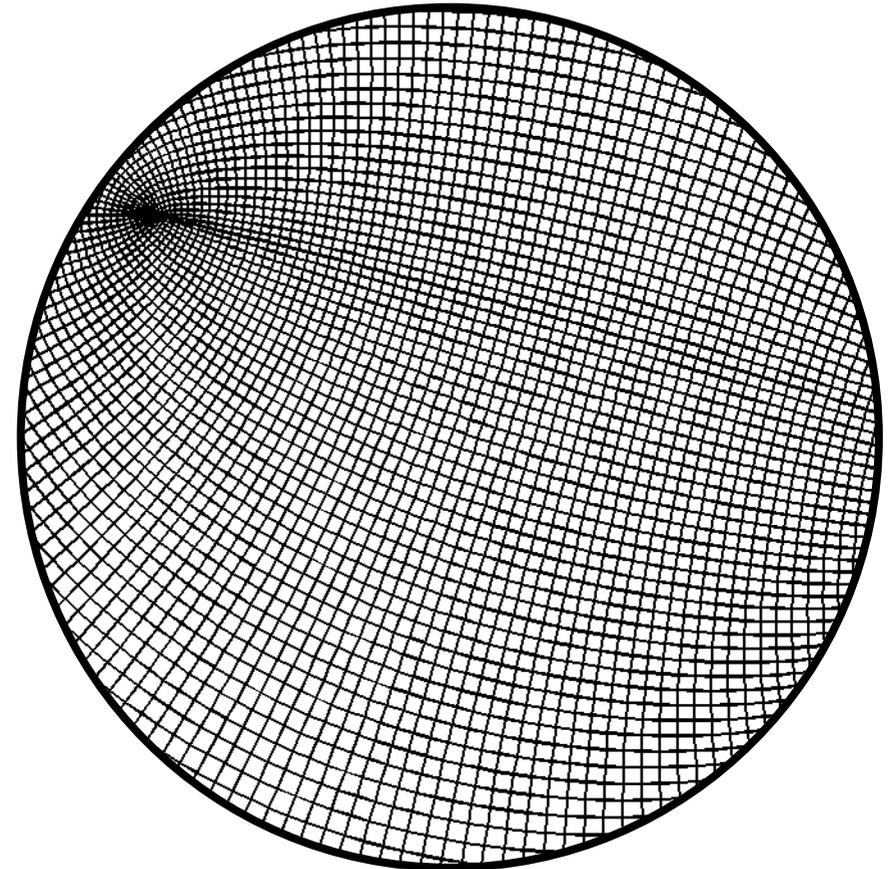
$$\frac{\partial g}{\partial t} = -\nabla \cdot (vg) - \frac{\partial}{\partial h} (fg) + \psi$$

⋮

Un modèle est constitué

d'équations physiques...

... discrétisées dans
l'espace et le temps ...



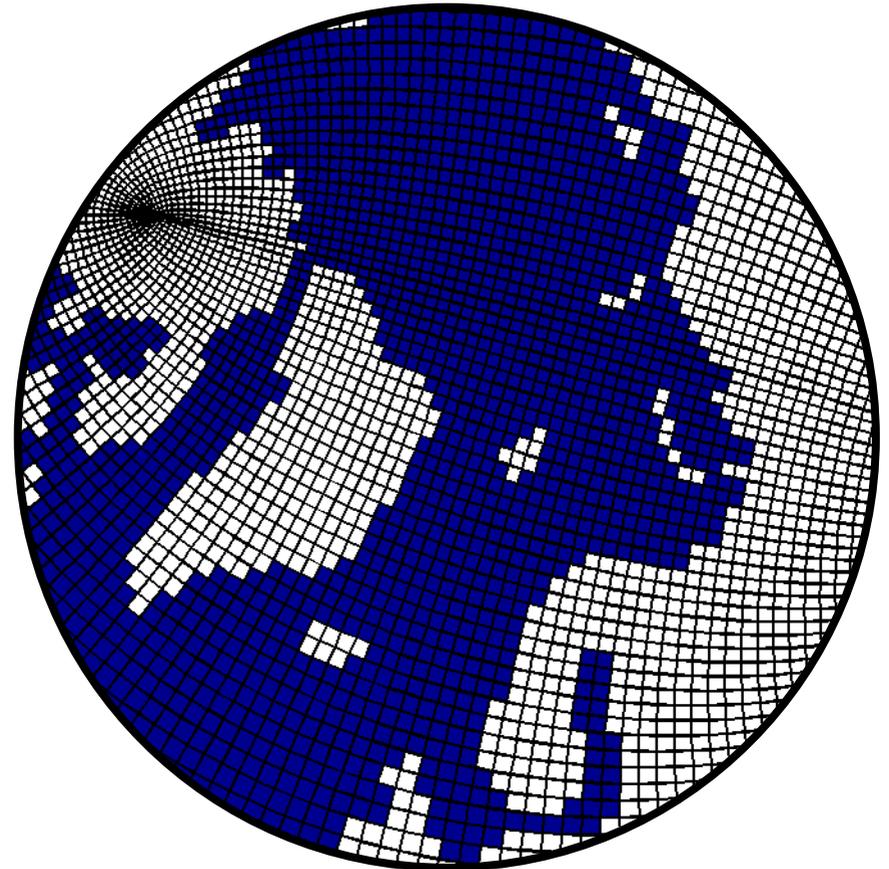
Un modèle est constitué

d'équations physiques...

... discrétisées dans
l'espace et le temps ...

... résolues numériquement
sur un domaine virtuel...

$$\begin{array}{c} \vdots \\ \frac{\partial g}{\partial t} = -\nabla \cdot (vg) - \frac{\partial}{\partial h} (fg) + \psi \\ \vdots \end{array}$$



⋮

$$\frac{\partial g}{\partial t} = -\nabla \cdot (vg) - \frac{\partial}{\partial h} (fg) + \psi$$

⋮

Un modèle est constitué

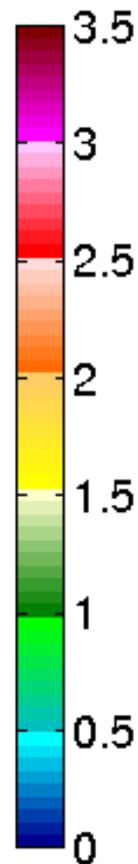
d'équations physiques...

... discrétisées dans
l'espace et le temps ...

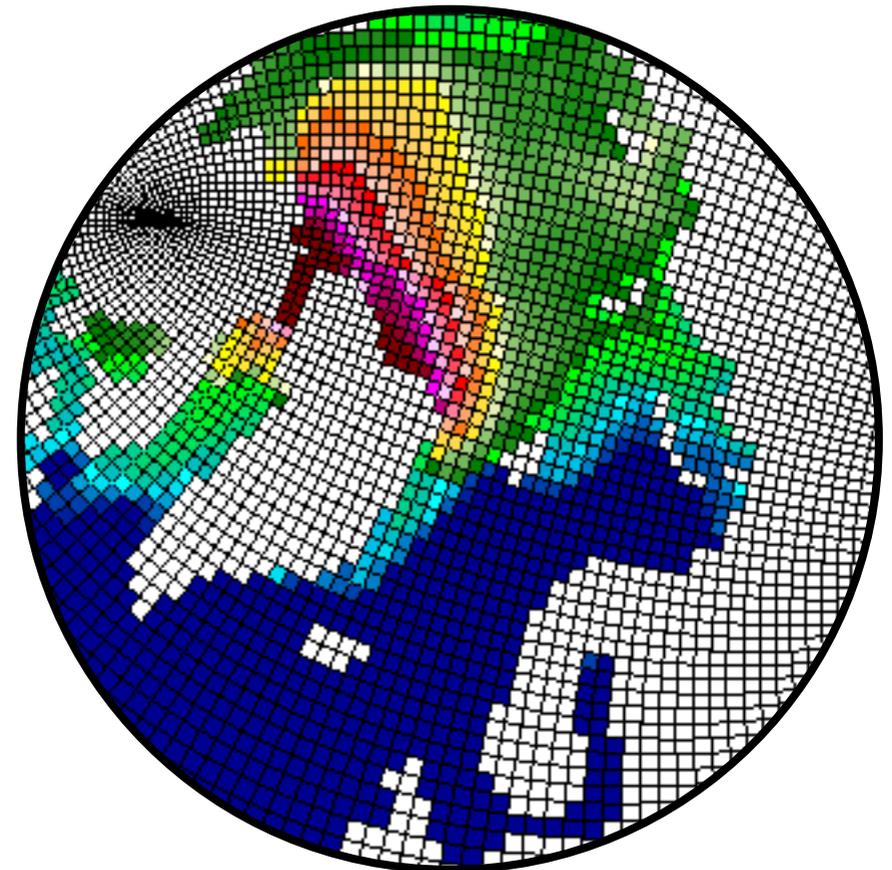
... résolues numériquement
sur un domaine virtuel...

... partout...

m



Epaisseur simulée de banquise



⋮

$$\frac{\partial g}{\partial t} = -\nabla \cdot (vg) - \frac{\partial}{\partial h} (fg) + \psi$$

⋮

Un modèle est constitué

d'équations physiques...

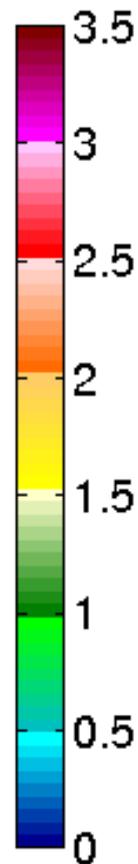
... discrétisées dans
l'espace et le temps ...

... résolues numériquement
sur un domaine virtuel...

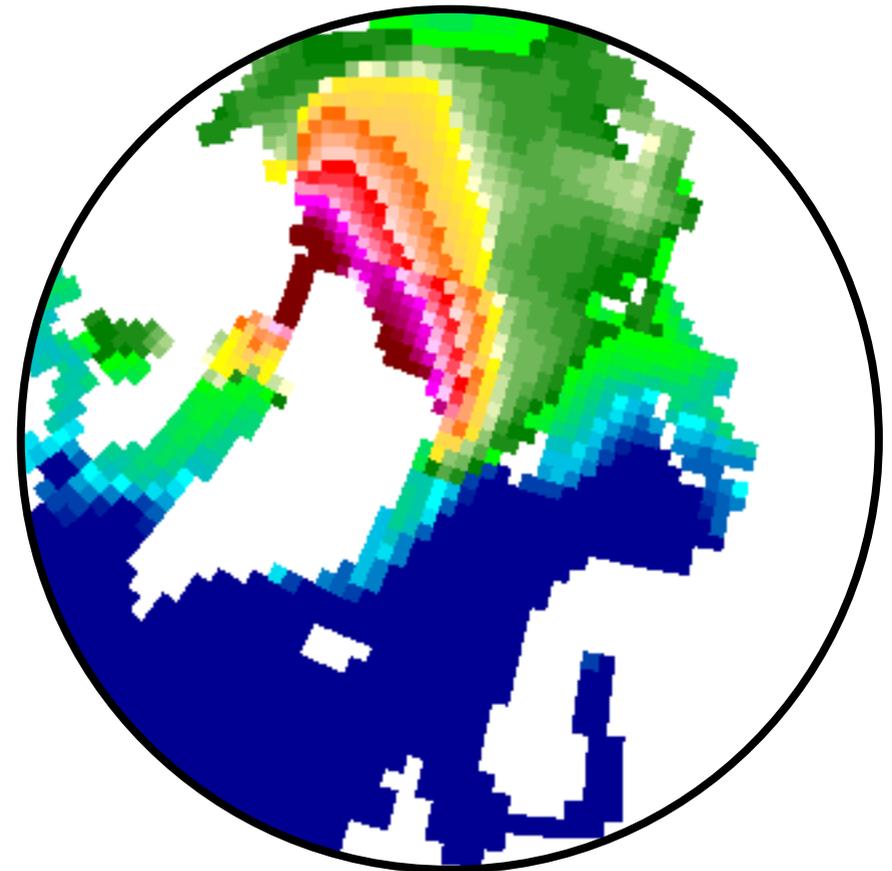
... partout...

... tout le temps.

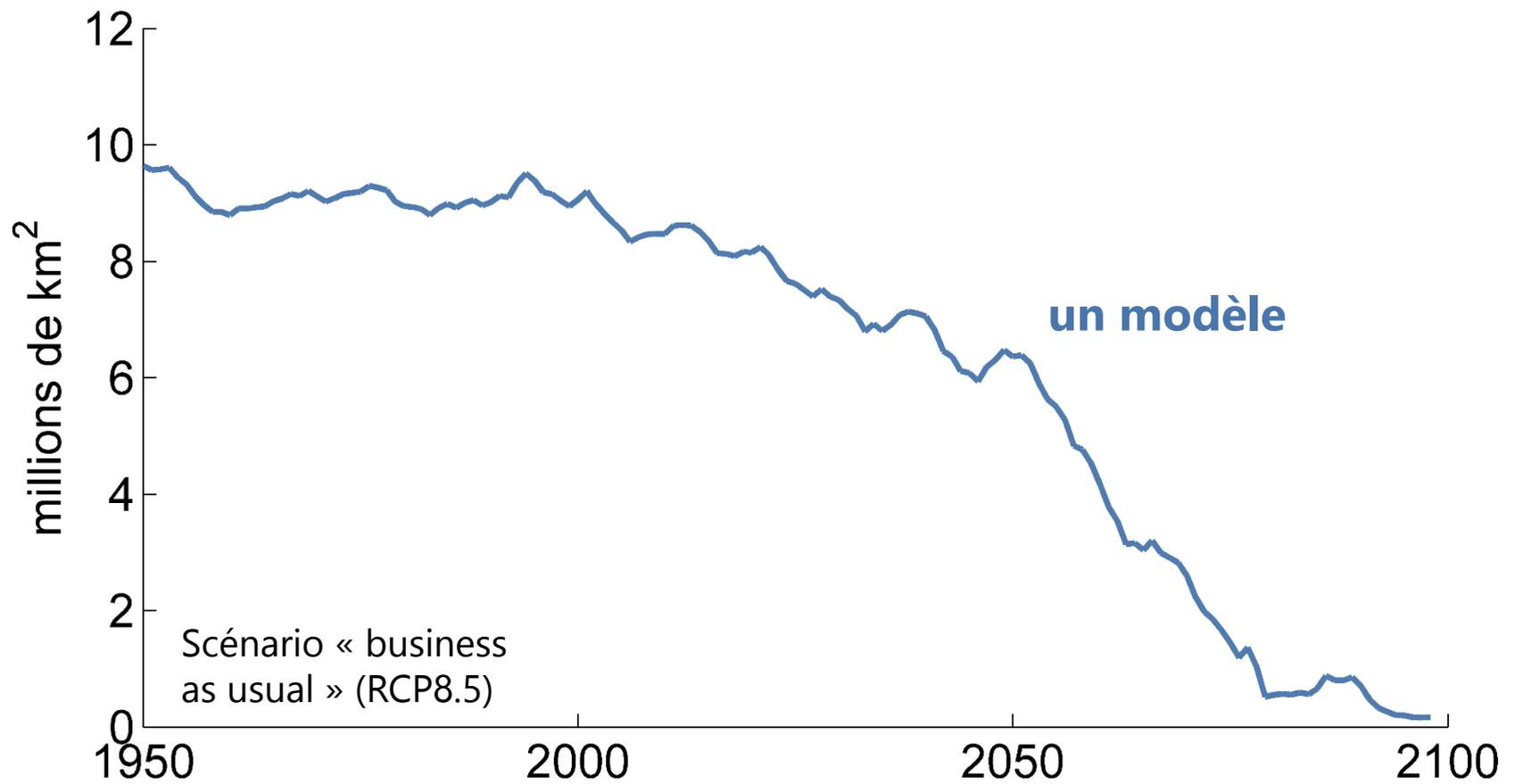
m



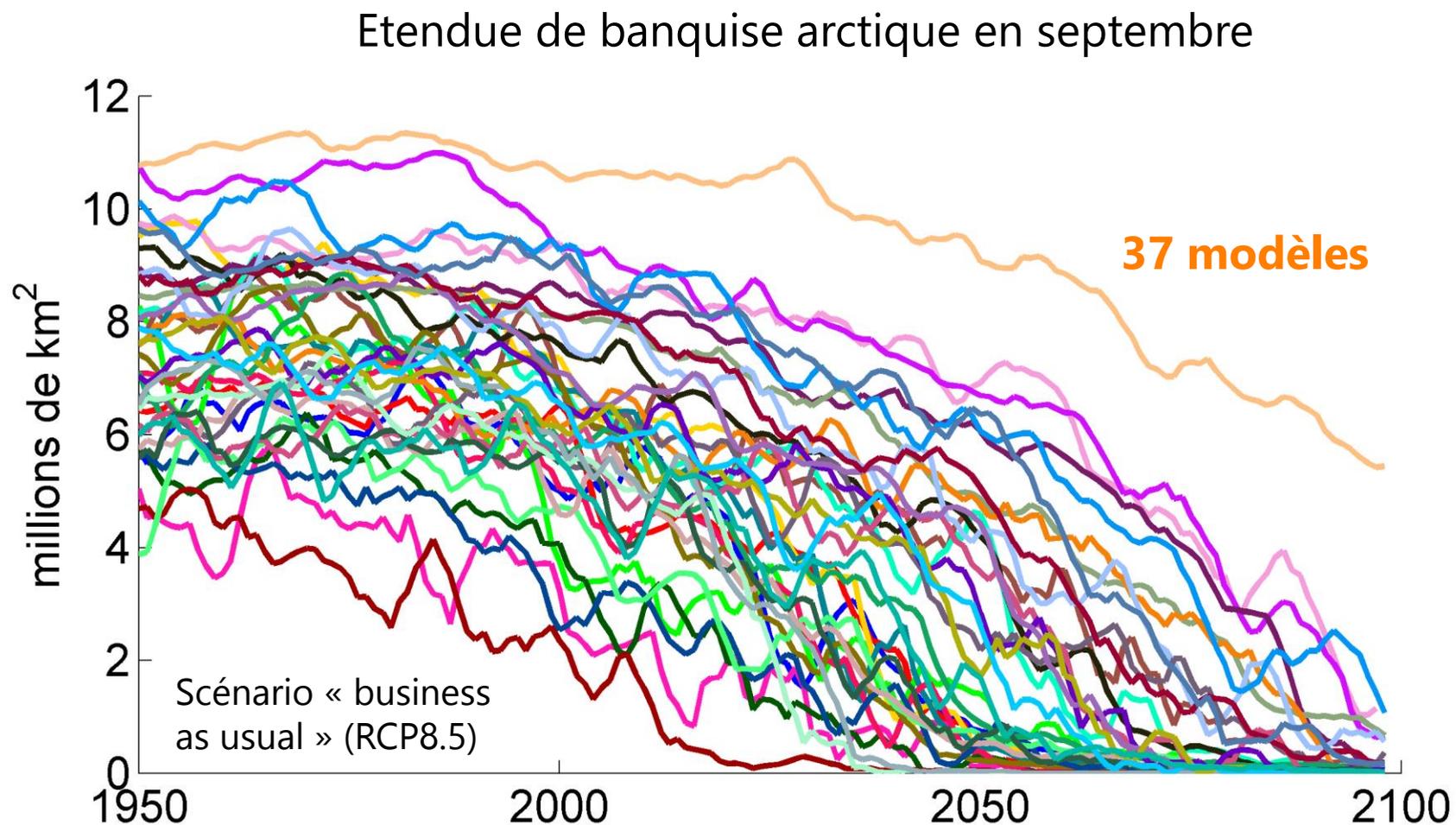
Epaisseur simulée de banquise



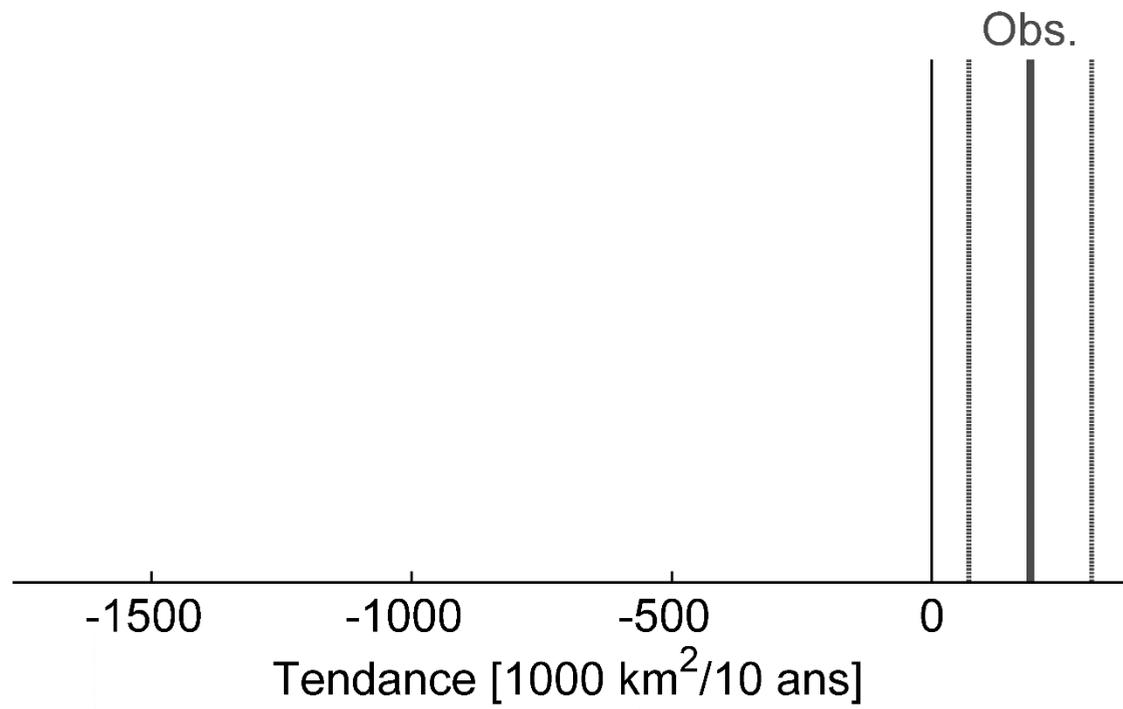
Etendue de banquise arctique en septembre



Arctique: réponse cohérente des modèles au forçage, timing incertain

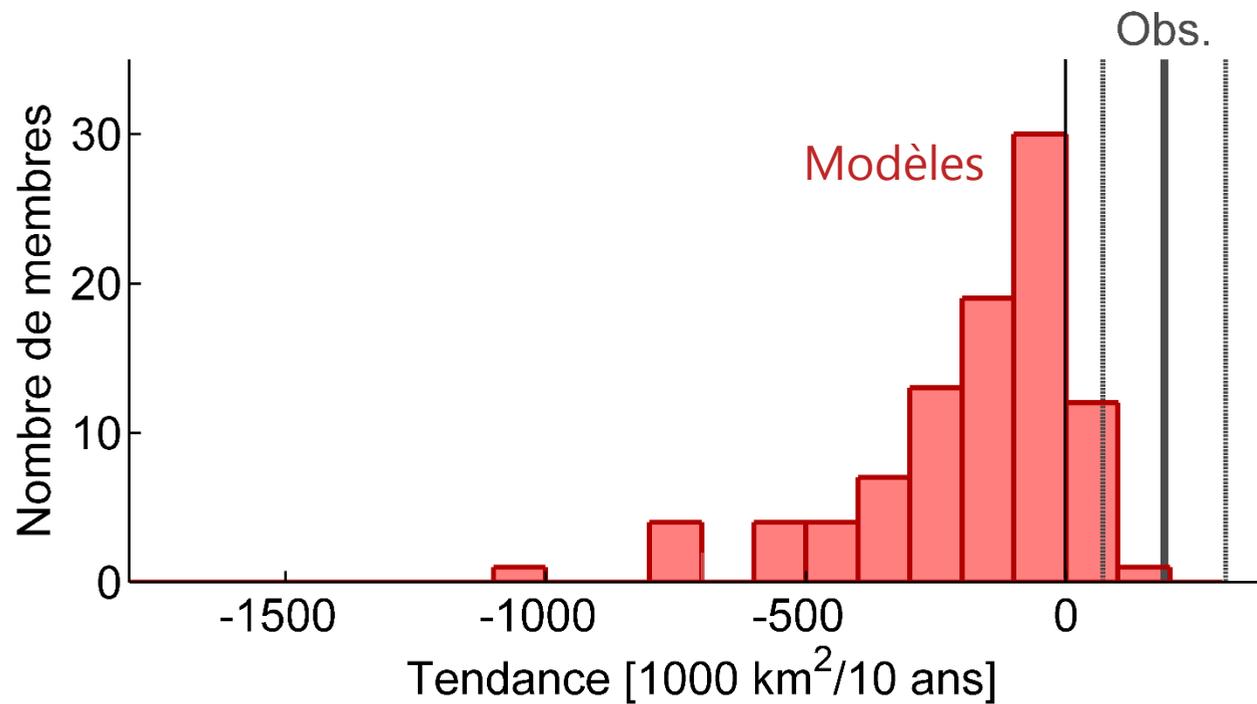


Tendance (1979-2012) d'étendue de
banquise antarctique en septembre



Antarctique: présence de biais systématiques dans les modèles

Tendance (1979-2012) d'étendue de banquise antarctique en septembre



Conclusion 2

Les modèles de banque sont pratiques mais souffrent d'incertitudes et de biais

Modèles

Approximations de la réalité

Valeur prédictive

Couverture complète

Incertainces, biais systématiques

Observations et modèles présentent des caractéristiques complémentaires

Observations

Proches de la réalité

Peu/pas de valeur prédictive

Couverture incomplète

Incertitudes

Modèles

Approximations de la réalité

Valeur prédictive

Couverture complète

Incertitudes, biais systématiques

A. Observations et modèles de la banquise
présentent des caractéristiques complémentaires

B. Trois exemples d'utilisation constructive

Trois exemples d'utilisation constructive des observations et des modèles

1. Contraindre des projections climatiques
2. Estimer l'état d'un système
3. Calibrer les paramètres d'un modèle

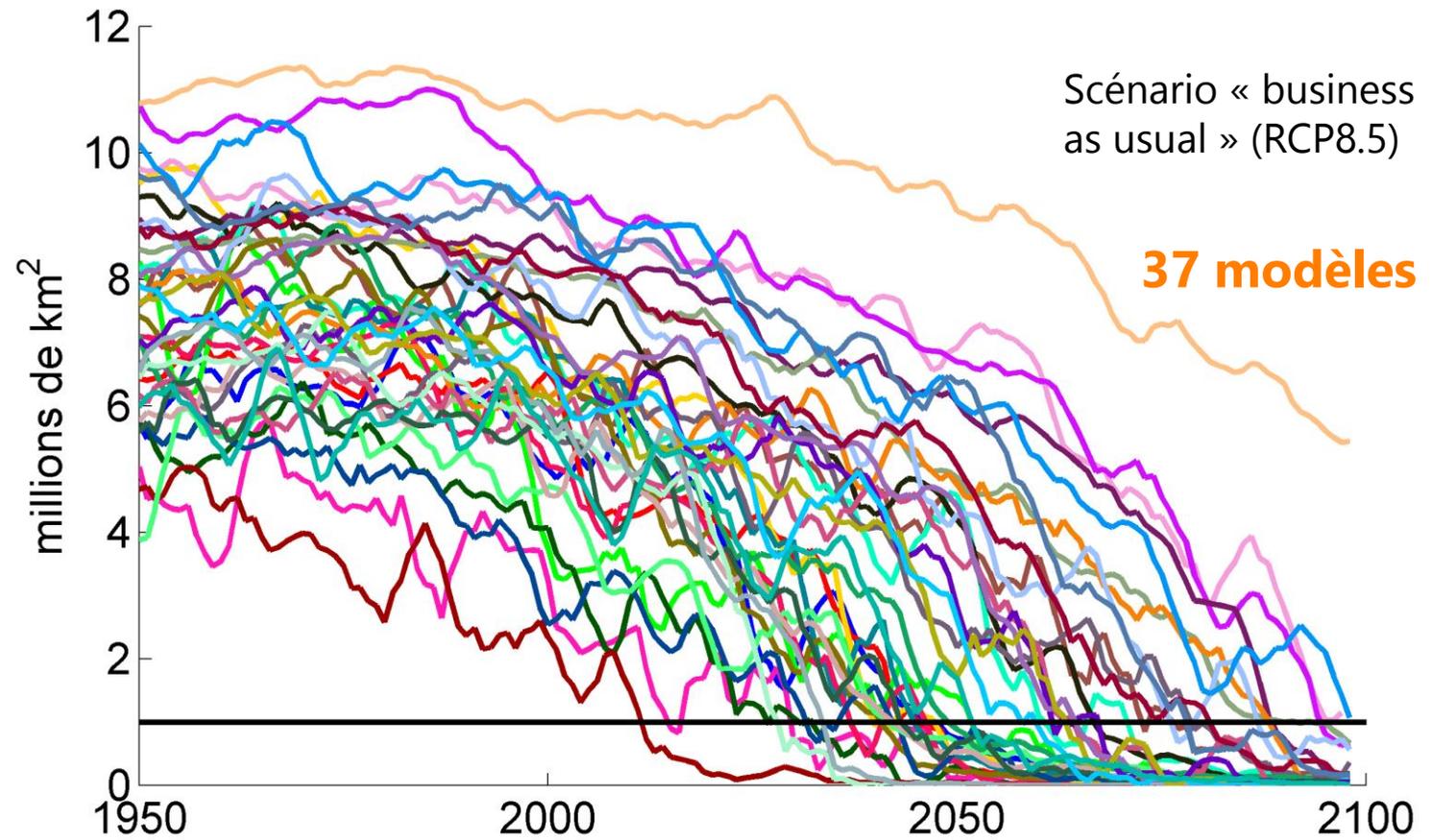
Trois exemples d'utilisation constructive des observations et des modèles

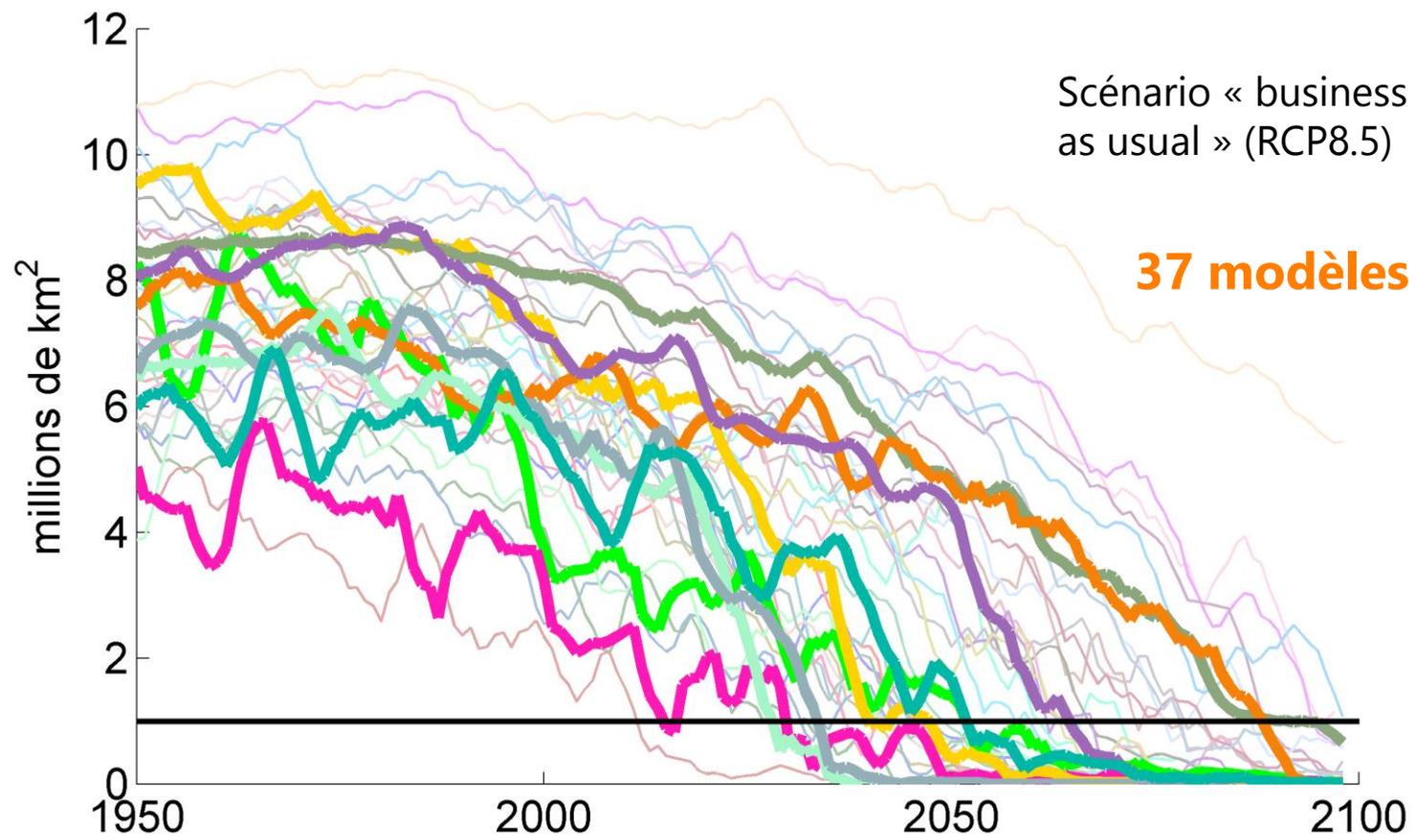
1. Contraindre des projections climatiques

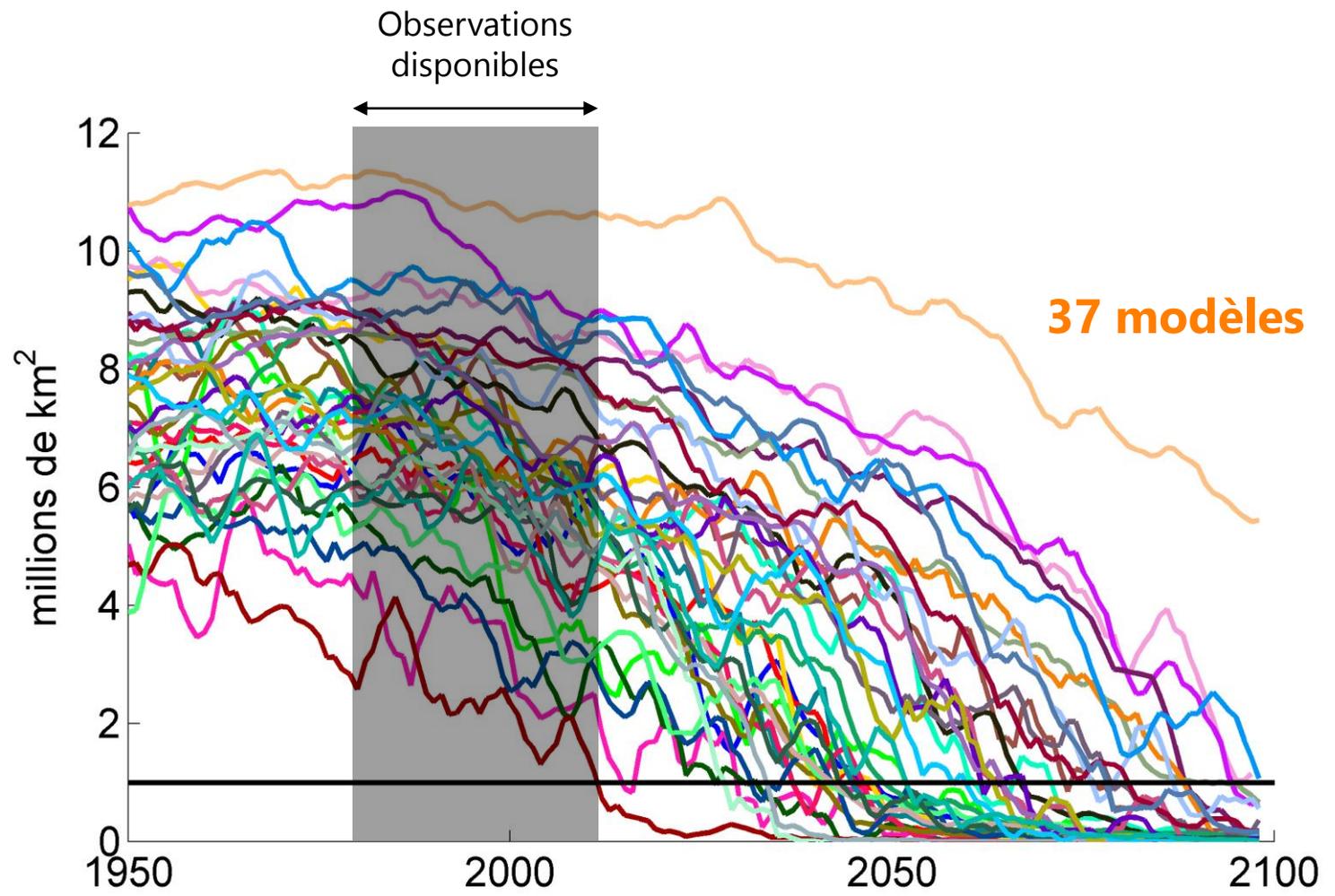
2. Estimer l'état d'un système

3. Calibrer les paramètres d'un modèle

Etendue de banquise arctique en septembre

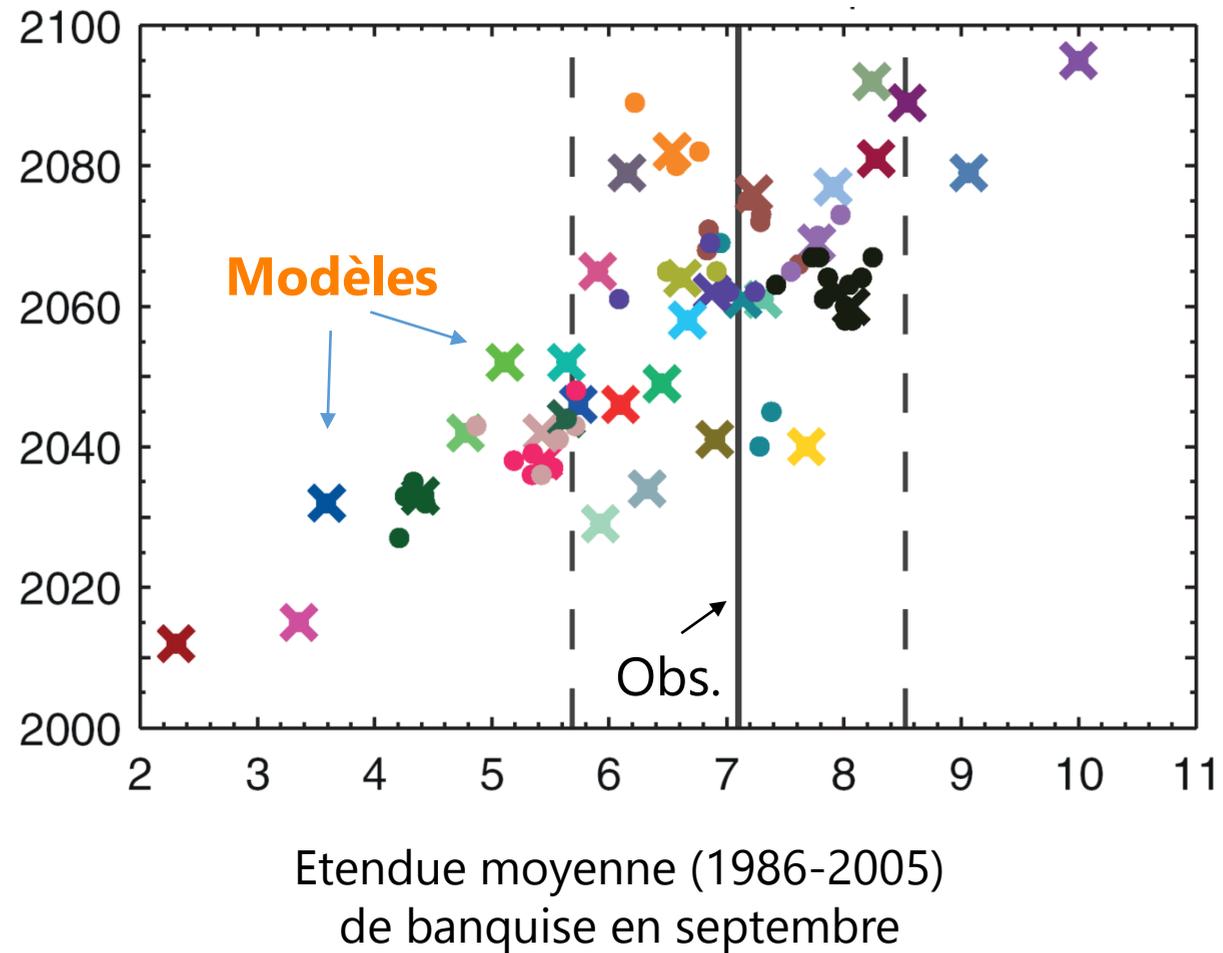




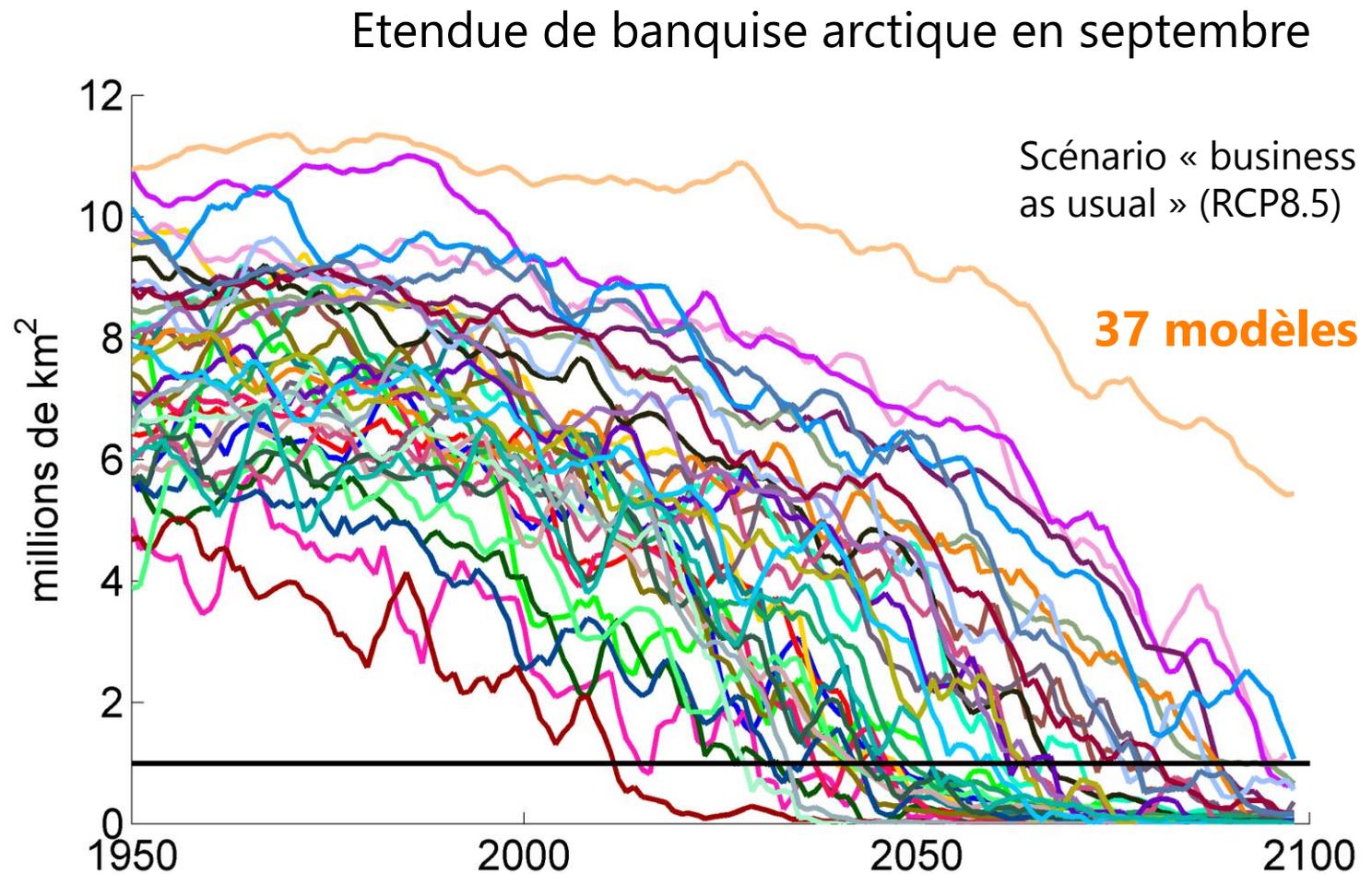


L'état passé peut servir de contrainte pour les projections de banquise arctique en été

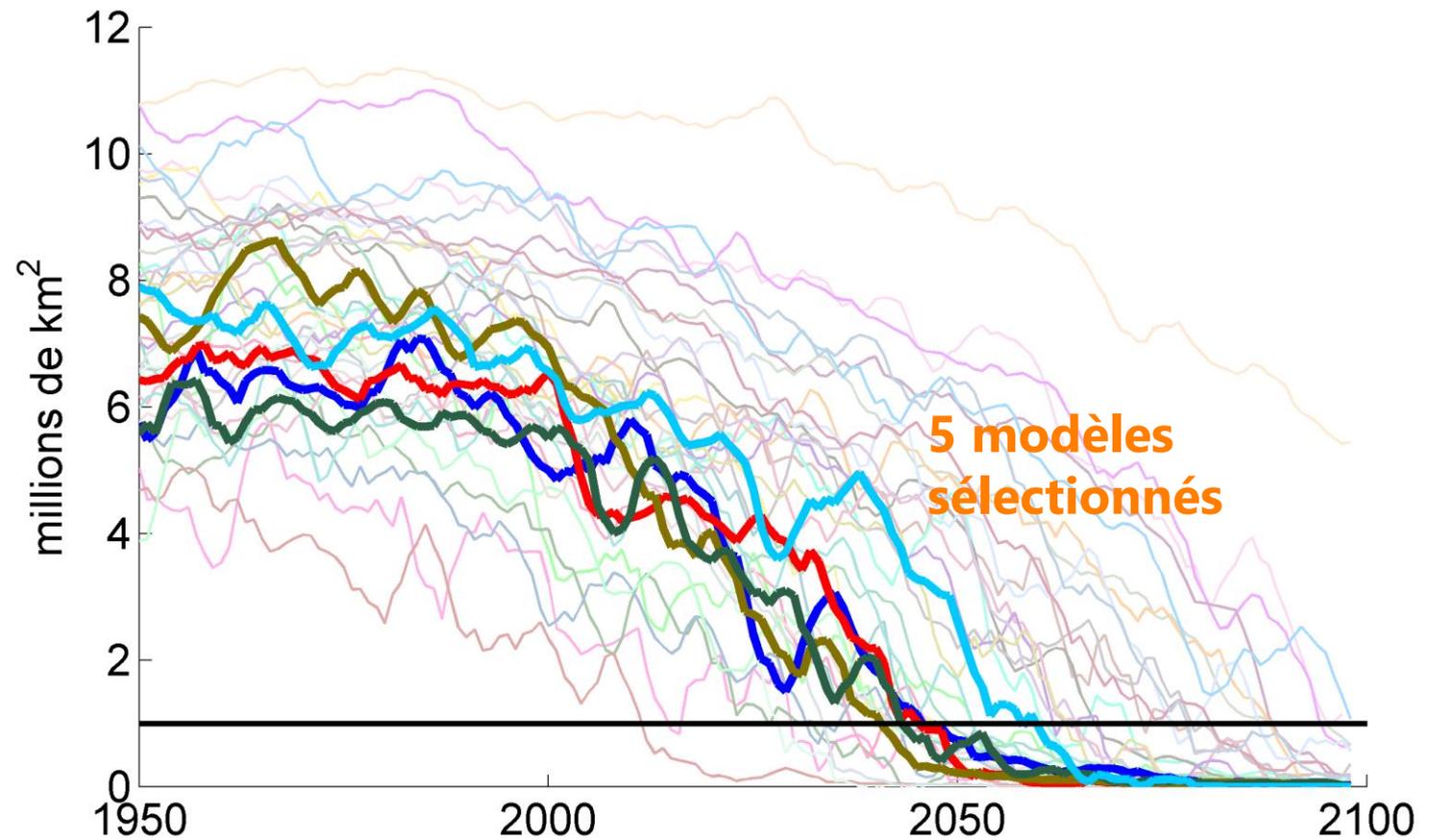
Première année de disparition de la banquise arctique en septembre



L'état passé peut servir de contrainte pour les projections de banquise arctique en été



L'état passé peut servir de contrainte pour les projections de banquise arctique en été



Trois exemples d'utilisation constructive des observations et des modèles

1. Contraindre des projections climatiques

2. Estimer l'état d'un système

3. Calibrer les paramètres d'un modèle

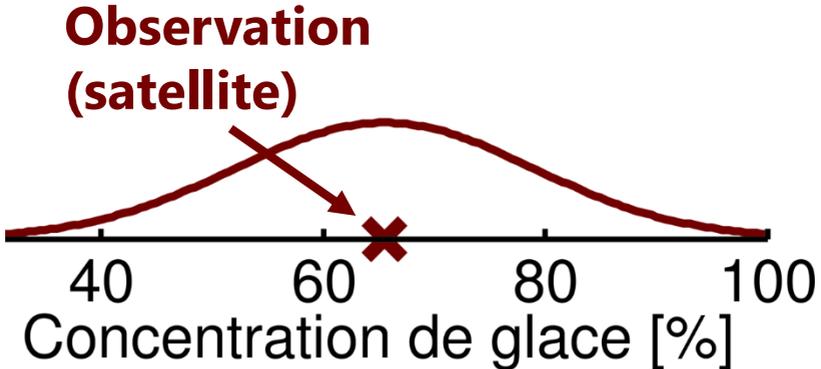
[www.damocles-eu.org]



7 septembre 2000

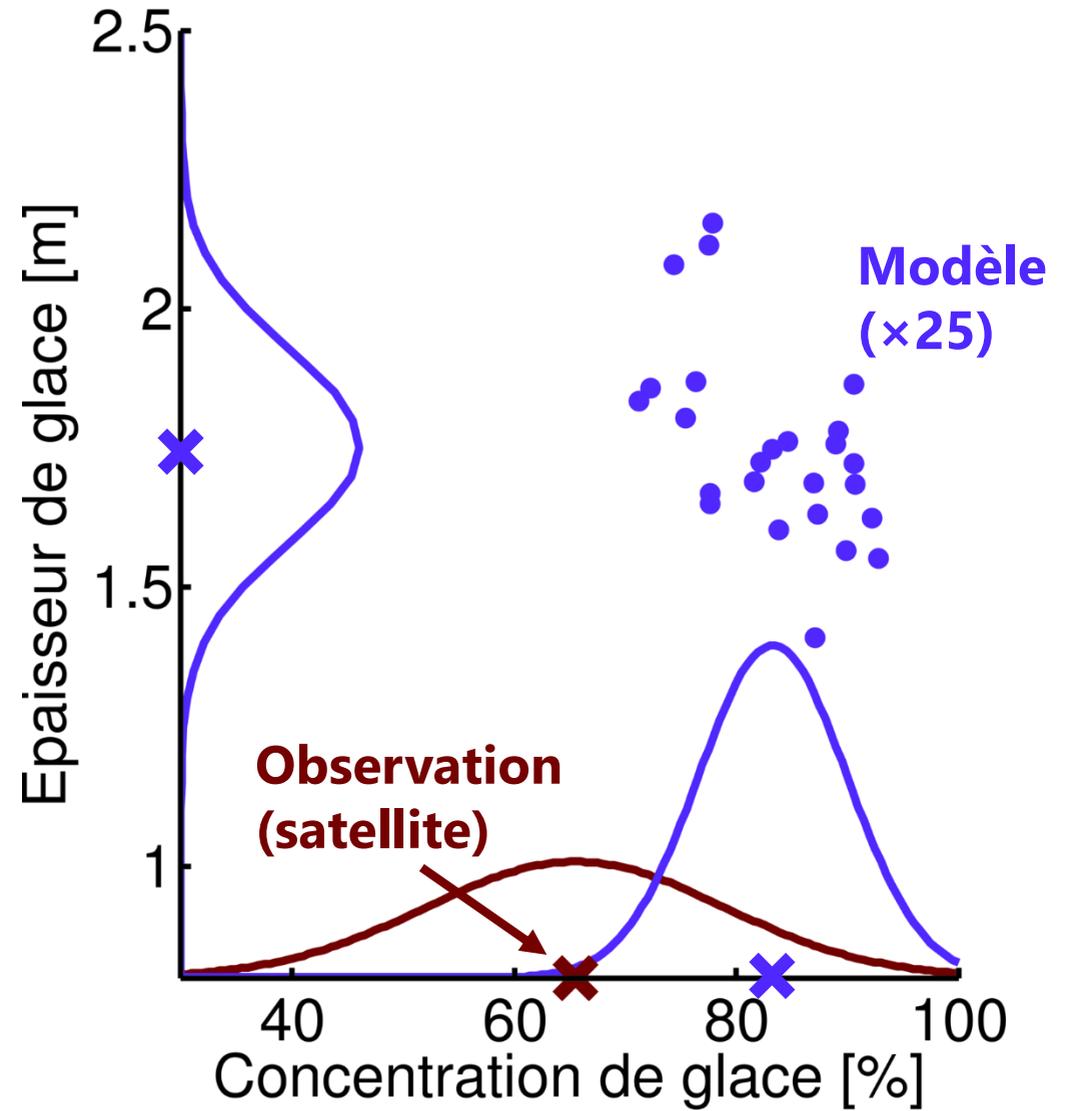


[www.damocles-eu.org]



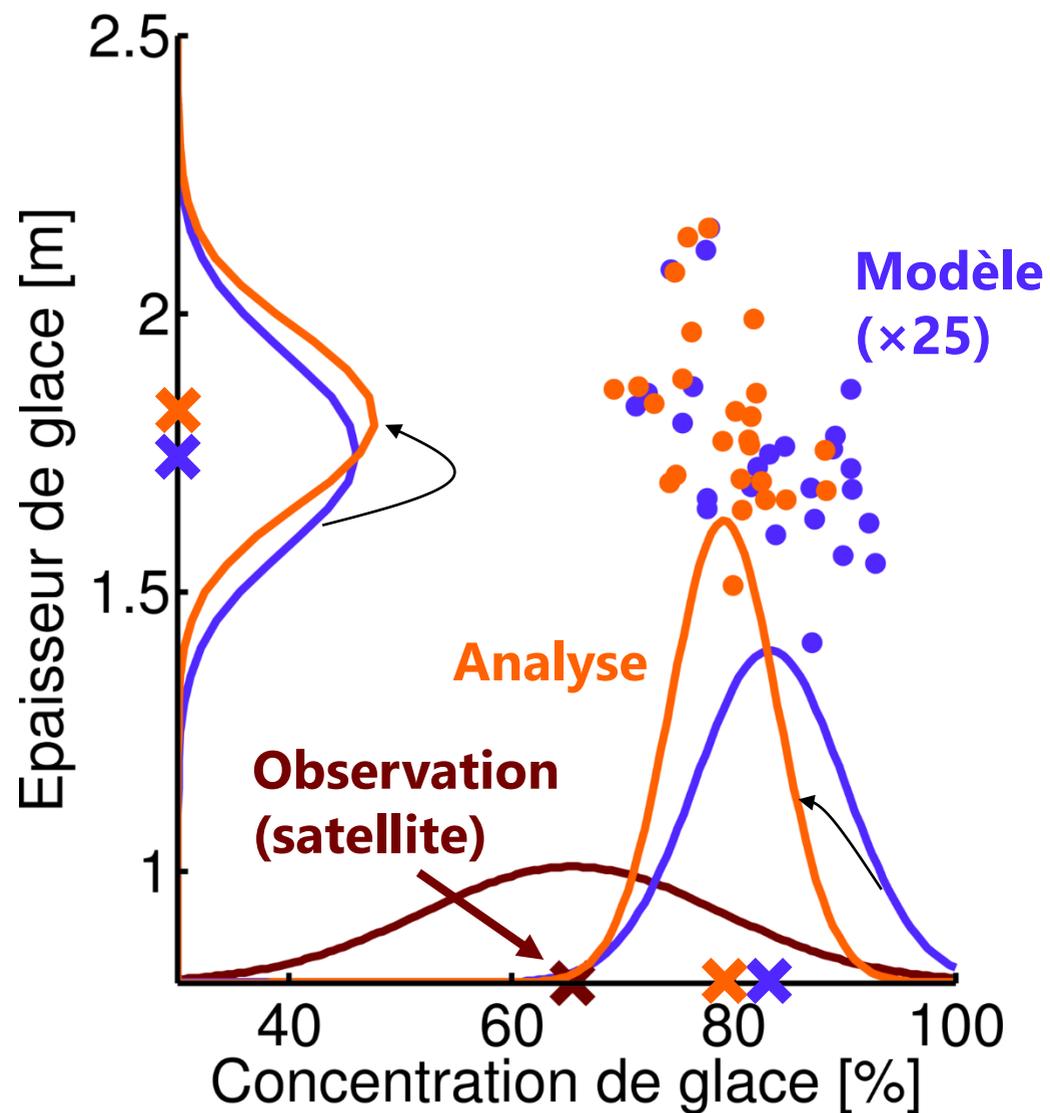


7 septembre 2000



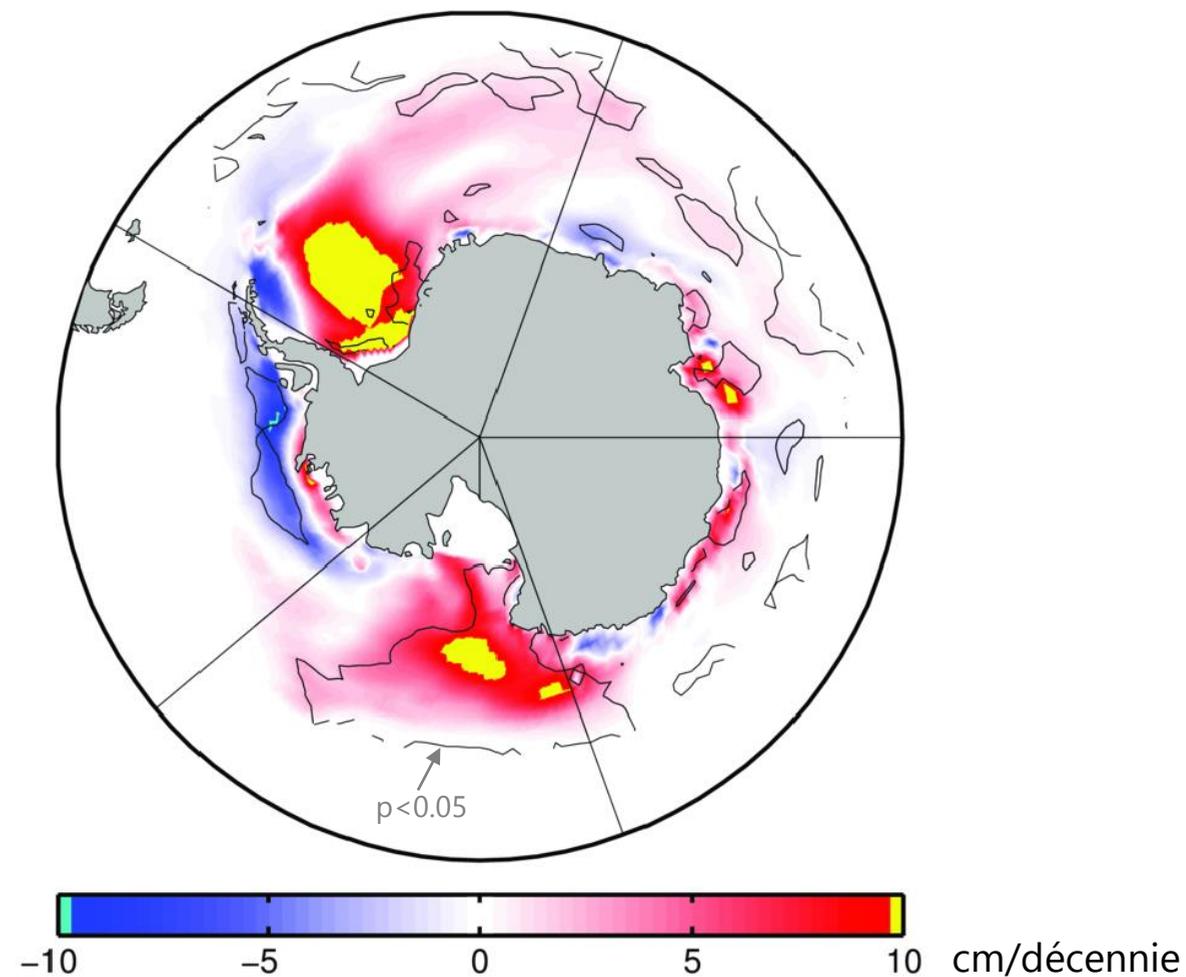
L'assimilation de données permet d'estimer des variables non-observées

7 septembre 2000



Reconstruction des changements d'épaisseur de banquise antarctique

Tendances d'épaisseur de la banquise (reconstruction, 1980-2008)



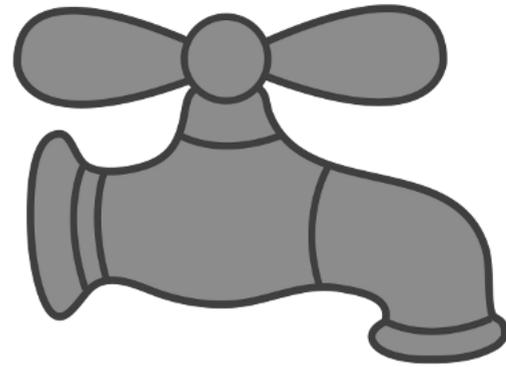
Trois exemples d'utilisation constructive des observations et des modèles

1. Contraindre des projections climatiques

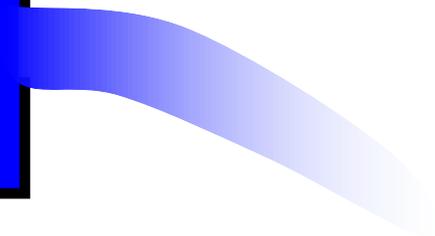
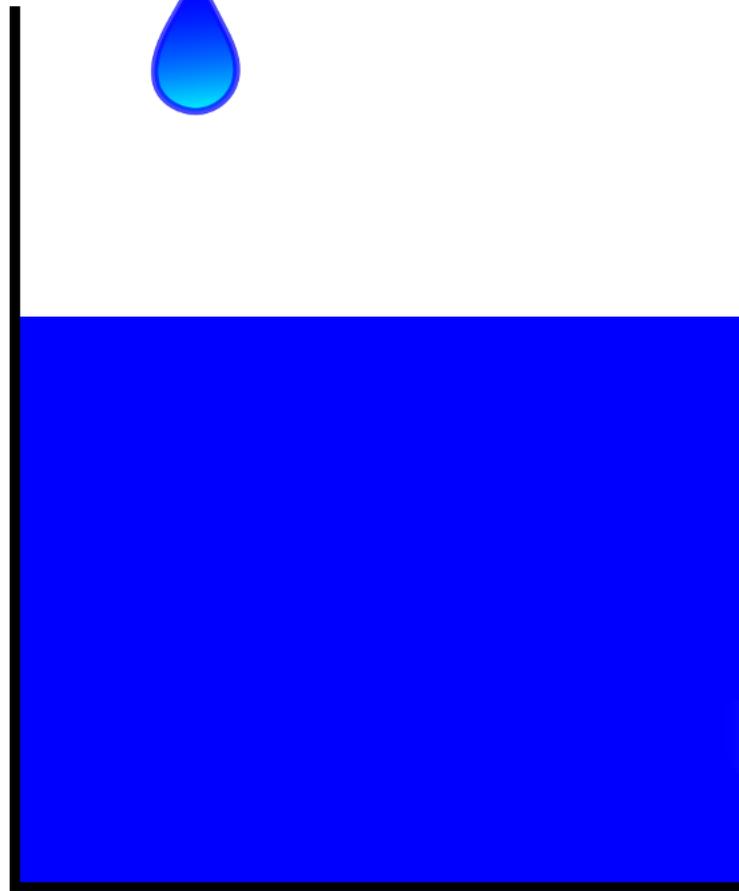
2. Estimer l'état d'un système

3. Calibrer les paramètres d'un modèle

Commande



h_0



```

clc; clear all; close all

g=9.81; % accélération de la gravité
h0=0.34; % hauteur initiale du niveau d'eau
dt=0.1; % pas de temps
tf=30; % durée de la simulation

h=zeros(length(0:dt:tf),1) % h(t), à trouver

...

alpha=1.34 % Coefficient de bidouillage

...

for t=1:dt:tf
    [a,b,c]=compute_gain(h(t-1))
    ...

```

```
clc; clear all; close all
```

```
g=9.81;
```

```
% accélération de la  
gravité
```

```
h0=0.34;
```

```
% hauteur initiale du  
niveau d'eau
```

```
dt=0.1;
```

```
% pas de temps
```

```
tf=30;
```

```
% durée de la  
simulation
```

```
h=zeros(length(0:dt:tf),1)
```

```
% h(t), à trouver
```

```
...
```

```
alpha=1.34
```

```
% Coefficient de  
% bidouillage
```

```
...
```

```
for t=1:dt:tf
```

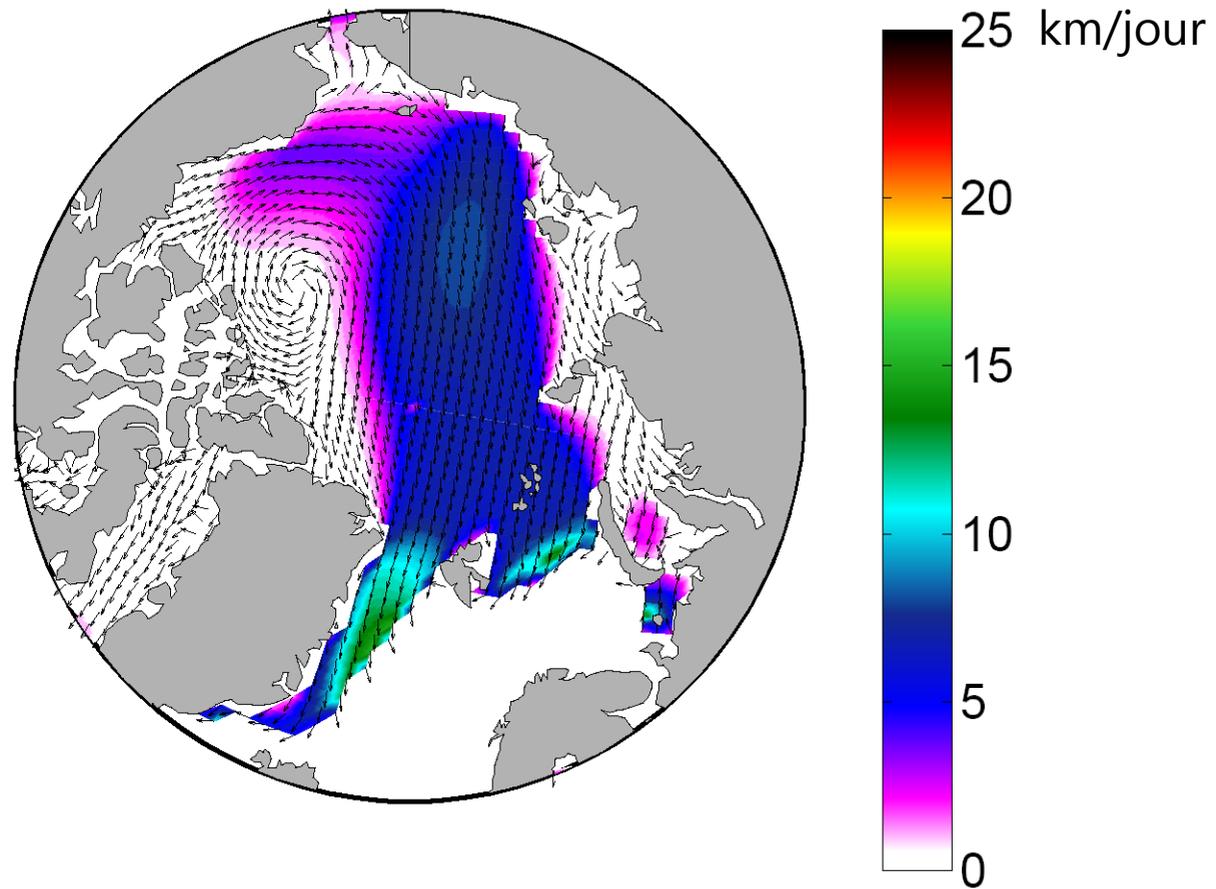
```
    [a,b,c]=compute_gain(h(t-1))
```

```
    ...
```

$$\vec{F}_{air/glace} + \vec{F}_{ocean/glace} + \vec{F}_{glace/glace} \approx 0$$

\downarrow \downarrow \downarrow
 C_a C_w ρ^*

Vitesse de dérive
(modèle)



$$\vec{F}_{air/glace} + \vec{F}_{ocean/glace} + \vec{F}_{glace/glace} \approx 0$$

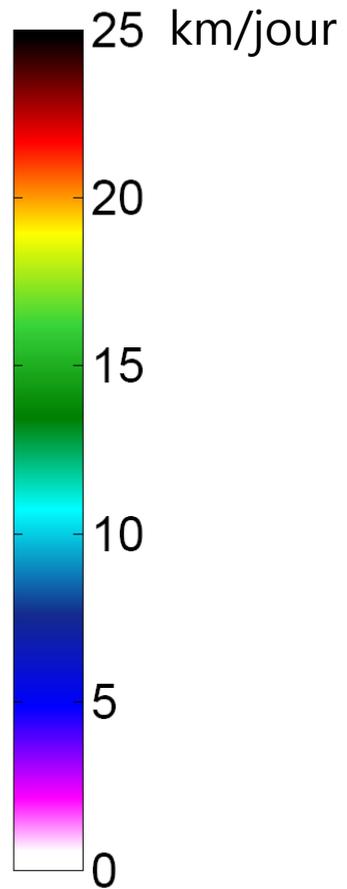
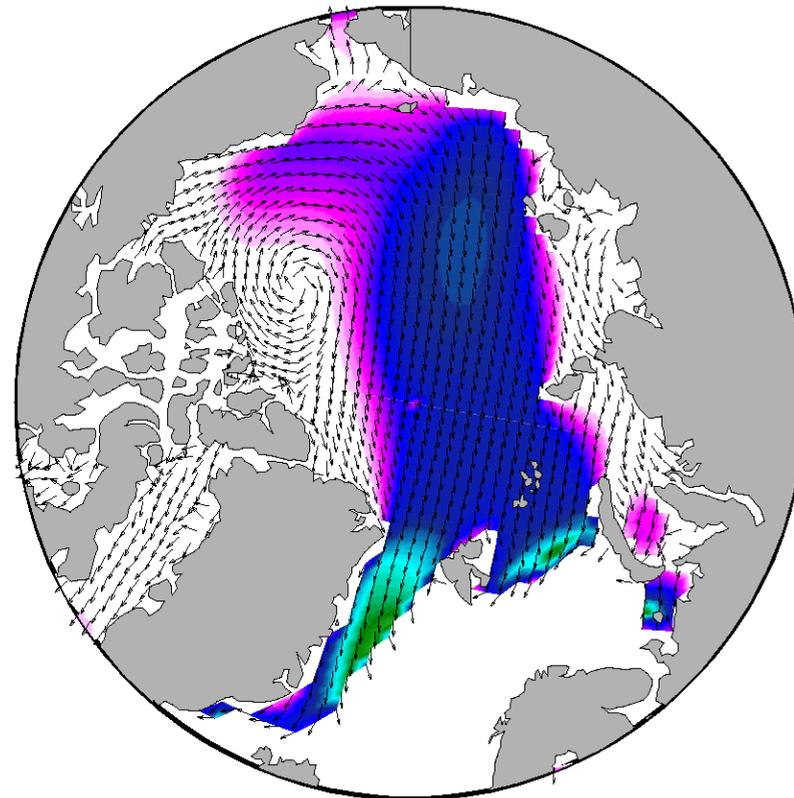
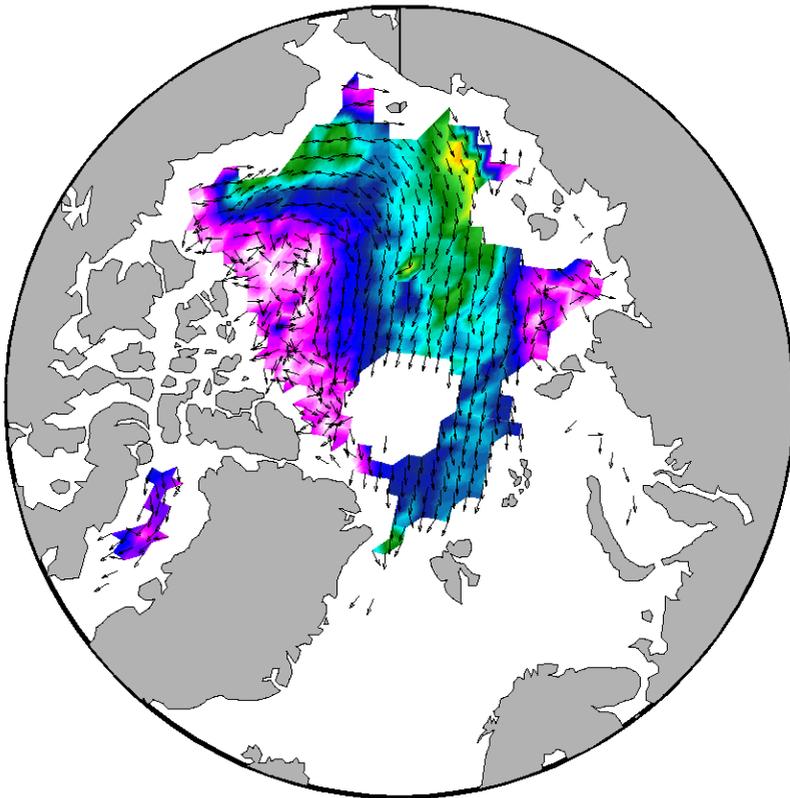
C_a

C_w

ρ^*

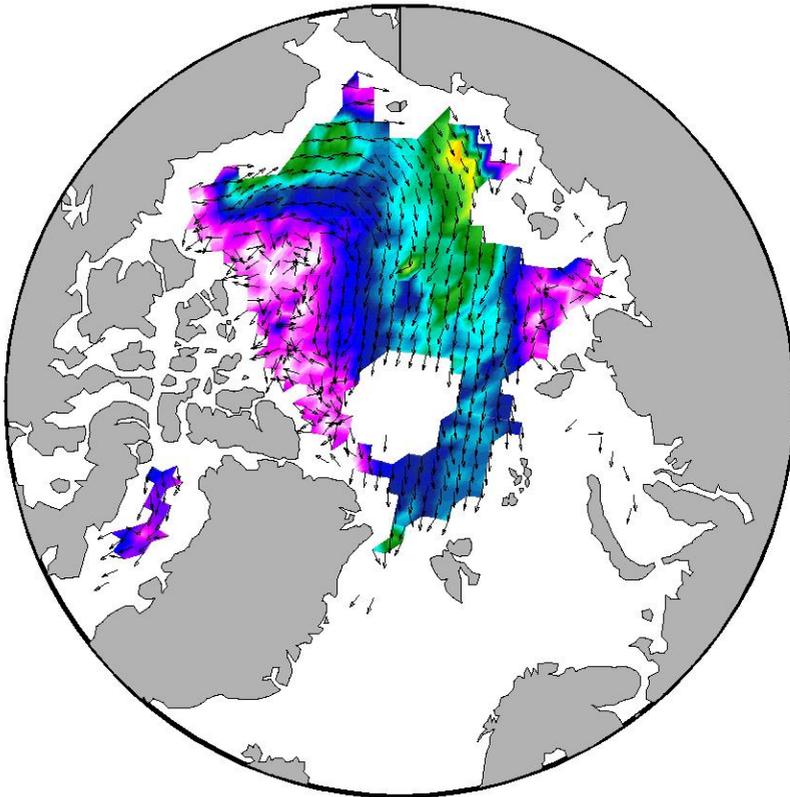
Vitesse de dérive
(observations)

Vitesse de dérive
(modèle)

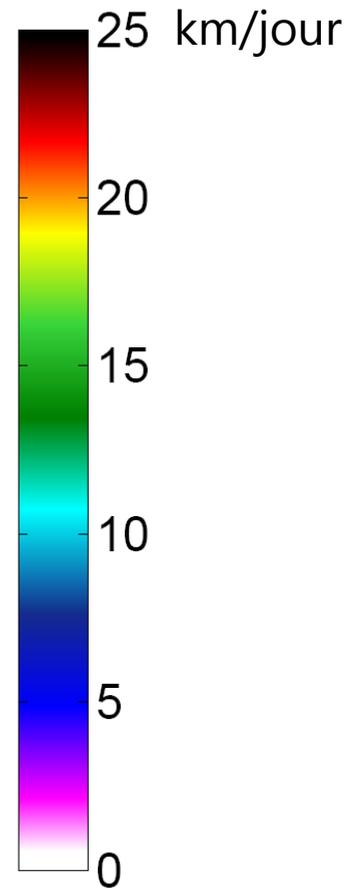
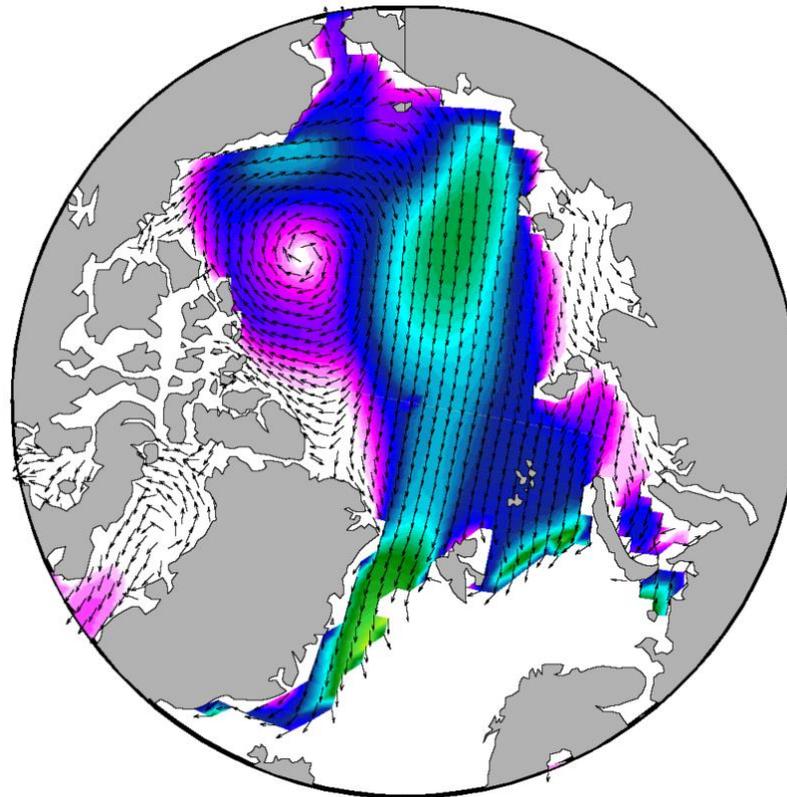


L'assimilation de données permet de calibrer les paramètres d'un modèle

Vitesse de dérive
(observations)



Vitesse de dérive
(modèle, paramètres calibrés)



Trois exemples d'utilisation constructive des observations et des modèles

1. Contraindre des projections climatiques
2. Estimer l'état d'un système
3. Calibrer les paramètres d'un modèle

What Is a Good Forecast?
An Essay on the Nature of Goodness in Weather Forecasting

ALLAN H. MURPHY

College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, Oregon

(Manuscript received 11 August 1992, in final form 20 January 1993)

Une « bonne » prévision est

- cohérente
par rapport à *l'a priori* du prévisionniste
- de qualité
par rapport aux observations
- utile
pour les bénéficiaires

What Is a Good Forecast? An Essay on the Nature of Goodness in Weather Forecasting

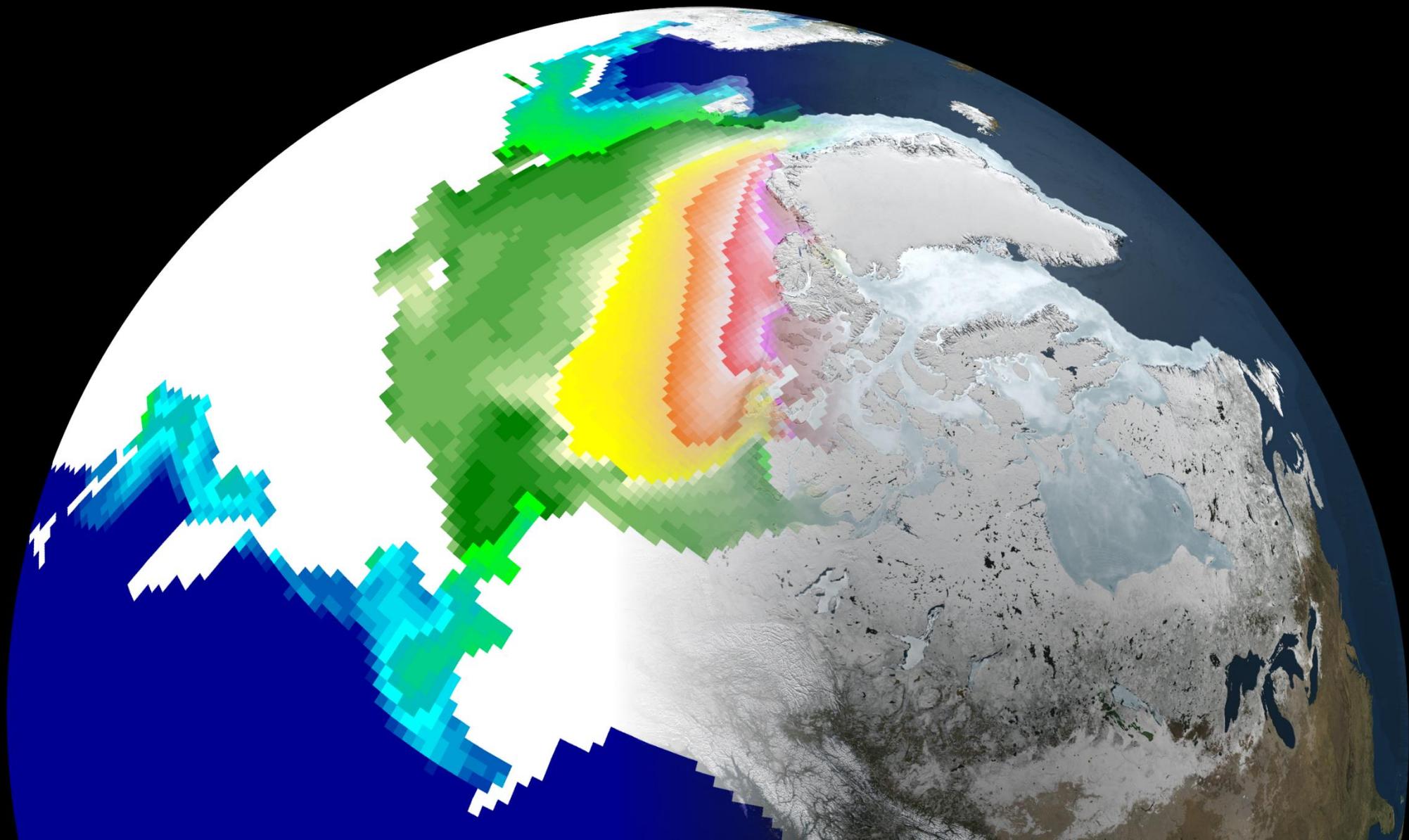
ALLAN H. MURPHY

College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, Oregon

(Manuscript received 11 August 1992, in final form 20 January 1993)

Une « bonne » ~~prévision est~~ **simulation climatique de la banquise**

- cohérente
par rapport à l'*a priori* du ~~prévisionniste~~ **modélisateur**
- de qualité
par rapport aux observations
- utile
pour les bénéficiaires



Merci pour votre attention!

