

WEBINAIRE TRACCS

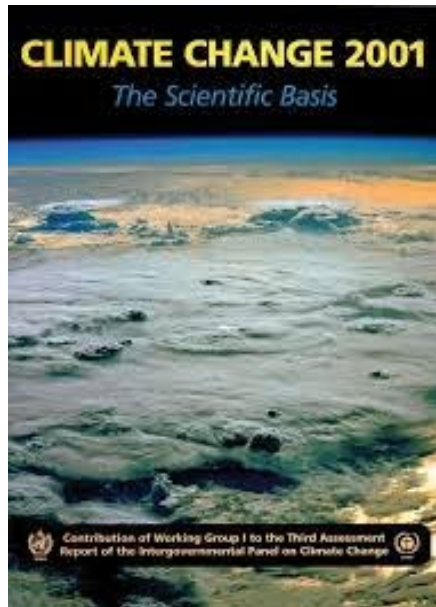
TRANSFORMER LA MODÉLISATION DU CLIMAT
POUR LES SERVICES CLIMATIQUES



" CALOTTES POLAIRES – POURQUOI INTÉGRER UNE
COMPOSANTE LENTE DU SYSTÈME CLIMATIQUE DANS
LES MODÈLES DU SYSTÈME TERRE ? "

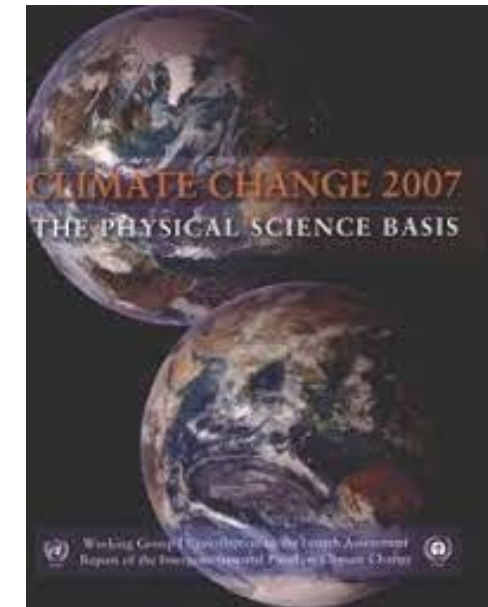
GAËL DURAND

Un changement de paradigme



Projections of global average sea level rise

Contributions	IPCC 2001	IPCC 2007
Thermal Expansion	+0.11 to +0.43 m	+0.13 to +0.32 m
Glaciers	+0.01 to +0.23 m	+0.08 to +0.15 m
Greenland	-0.02 to +0.09 m	+0.01 to +0.08 m
Antarctica	-0.17 to +0.02 m	-0.12 to -0.02 m
Total*	0.11 to 0.77 m	0.21 to 0.48 m



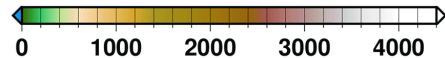
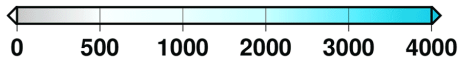
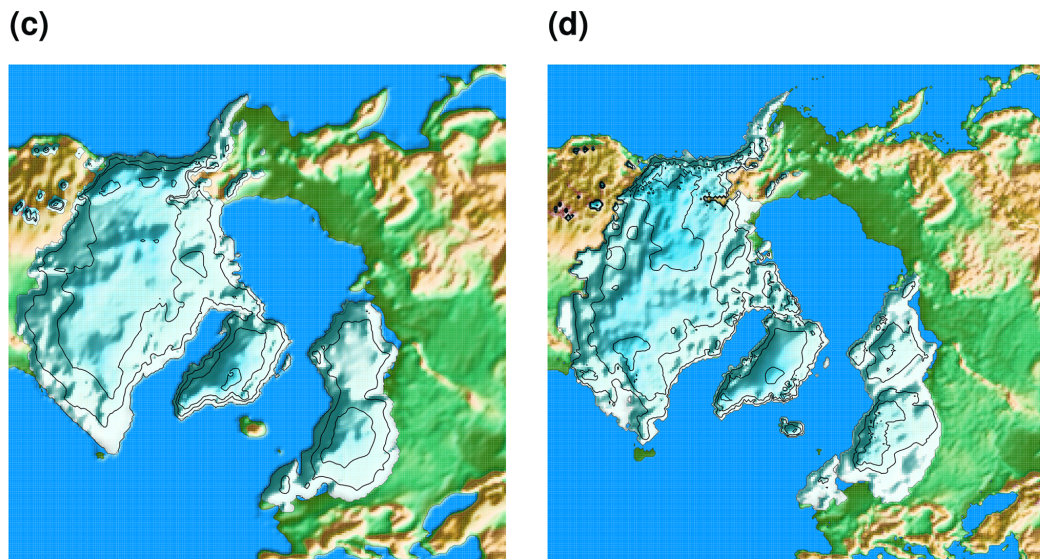
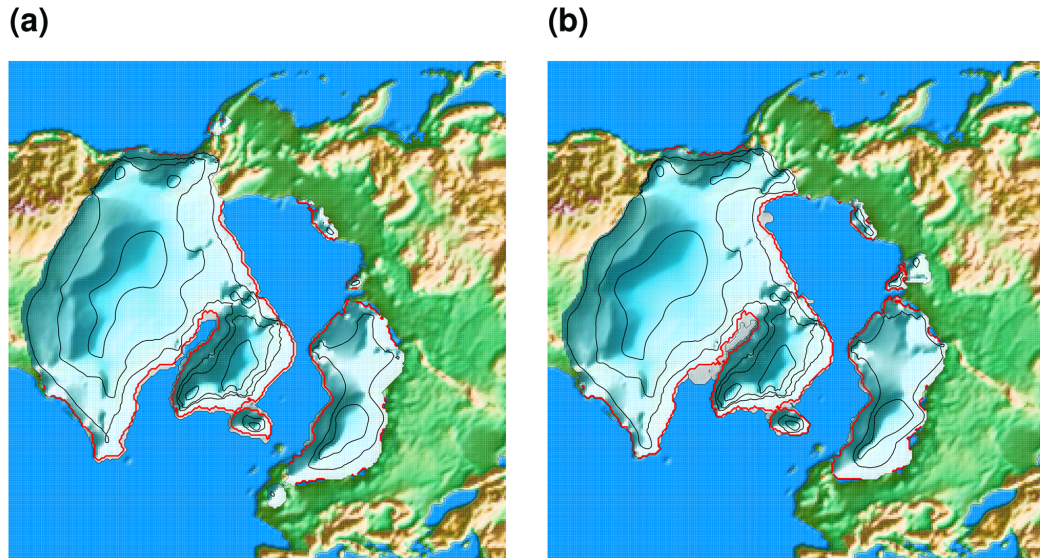
« No significant trend in the contribution of Ice Sheets on sea level rise during the 21st century »

« Larger values cannot be excluded, but understanding of these effects is too limited to assess their likelihood or provide a best estimate or an upper bound for sea level rise. »

- Grandes amplitudes et retraits rapides
- Fiat lux et facta est lux
- Une brève histoire de la modélisation des calottes polaires
- Quels fronts de sciences aujourd'hui
- TRACCS-PC9-ISCLIM : comment allons nous les attaquer ?

- **Larges amplitudes et retraits rapides**
- Fiat lux et facta est lux
- Une brève histoire de la modélisation des calottes polaires
- Quels fronts de sciences aujourd'hui
- TRACCS-PC9-ISCLIM : comment allons nous les attaquer ?

Aux longues échelles de temps...



Quiquet et al., 2021

Dernier maximum glaciaire

Calottes Fennoscandienne et Laurentide sur
l'hémisphère nord

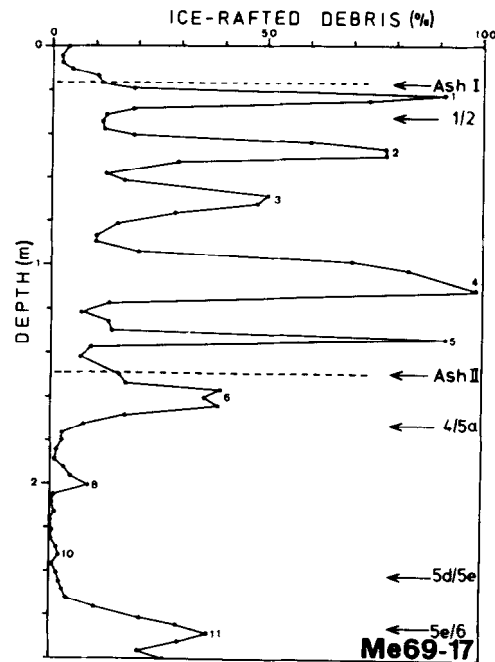
Le niveau de la mer est approx 130 m plus bas.

Des “purges” glaciaires

Des observations paleo, des mécanismes

Origin and Consequences of Cyclic Ice Rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the Past 130,000 Years

HARTMUT HEINRICH



Heinrich 1988

The problem of junction stability that Hughes' work has emphasized is important. Large shifts in the position of the ice sheet–ice shelf junction produce relatively large changes in the thickness of an ice sheet. In this paper we attempt to obtain, for the two dimensional problem, the basic equations that determine the position of the region in which an ice sheet turns into a floating ice shelf; we also examine the conditions that must be satisfied if the ice sheet is even to exist.

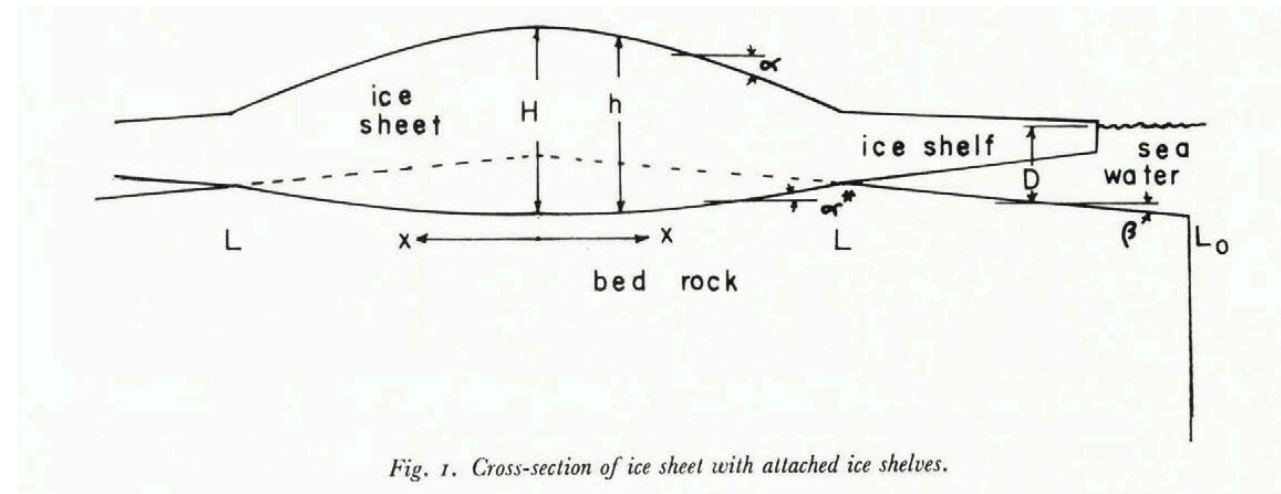


Fig. 1. Cross-section of ice sheet with attached ice shelves.

Weertman 1974

Une prophétie ?

West Antarctic ice sheet and CO₂ greenhouse effect: a threat of disaster

J. H. Mercer

If the global consumption of fossil fuels continues to grow at its present rate, atmospheric CO₂ content will double in about 50 years. Climatic models suggest that the resultant greenhouse-warming effect will be greatly magnified in high latitudes. The computed temperature rise at lat 80° S could start rapid deglaciation of West Antarctica, leading to a 5 m rise in sea level.

Mercer 1978

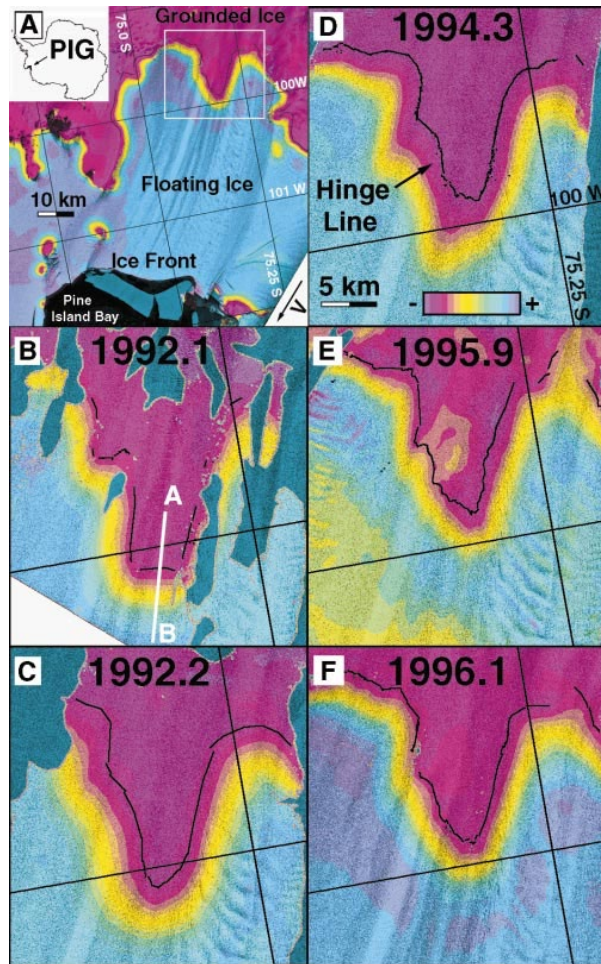
Nature Vol. 271 26 January 1978

believes that the quasi-cyclical pattern of climatic fluctuations in the recent past, which is shown by the oxygen isotope record from the Greenland Ice Sheet¹⁴, implies that this cooling will soon level out, to be followed by a period of rapid warming as the natural climatic trend is reinforced by the effects of increasing atmospheric CO₂. In fact, the cooling since 1940 seems to have been mainly confined to middle and high latitudes in the Northern Hemisphere, and some investigators believe that the southern part of the Southern Hemisphere has warmed during the same interval. Damon and Kunen¹⁵ have studied climatic records from 67 Southern Hemisphere stations that meet certain specifications and that have records that go back to 1954 or earlier. They find that since 1943 temperatures have changed little between the equator and lat 45° S, except in Australia and New Zealand which, as other workers also point out^{16,17}, have warmed by about 1° C since the 1940s. South of lat 45° S, however, they conclude that average annual temperatures increased between the 1960-64 and 1970-74 pentads, particularly in West Antarctica where they rose about 2° C at Argentine Island (lat 65° S), McMurdo (lat 78° S), and Byrd (lat 80° S) (Fig 2). Thomas^{18,19} observation

- Grandes amplitudes et retraits rapides
- **Fiat lux et facta est lux**
- Une brève histoire de la modélisation des calottes polaires
- Quels fronts de sciences aujourd'hui
- TRACCS-PC9-ISCLIM : comment allons nous les attaquer ?

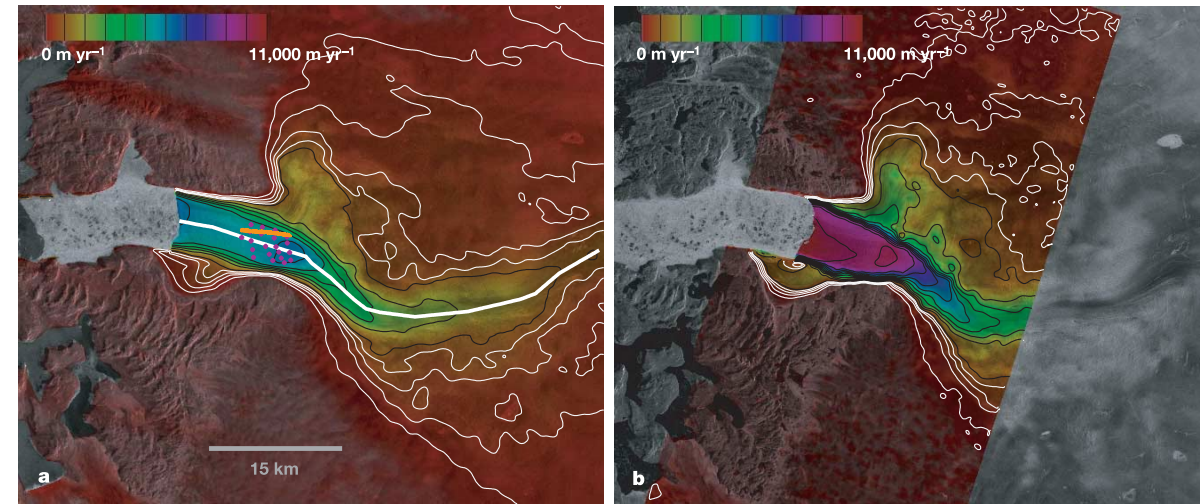
Antarctique & Groenland : des retraits, des démantellements

Pine Island Glacier, Antarctique



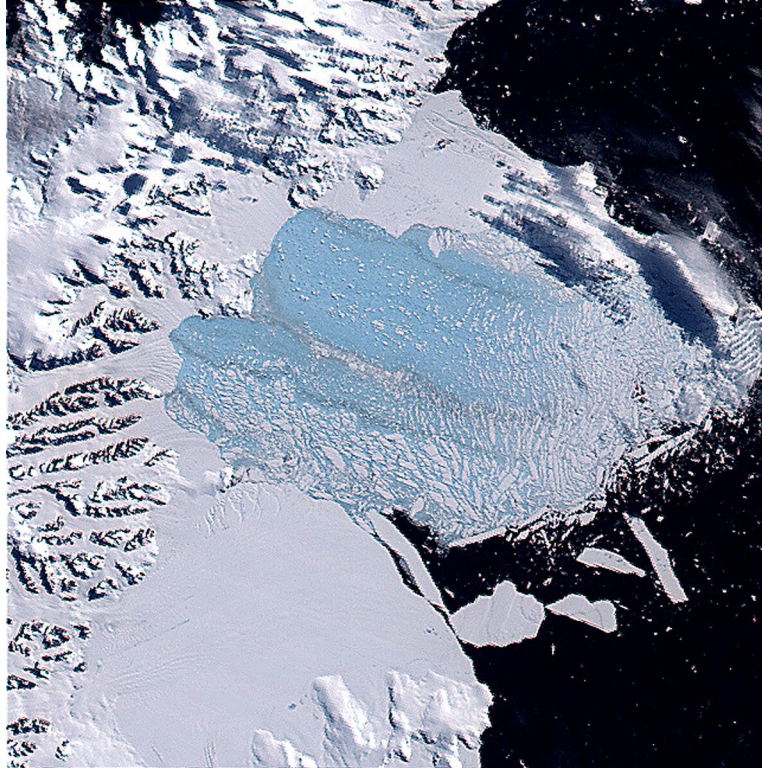
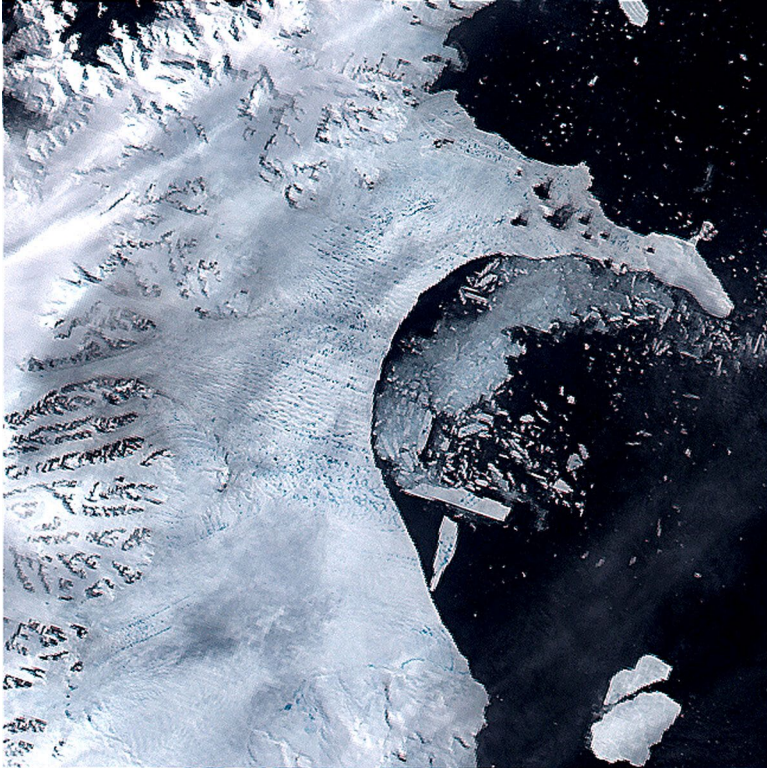
Rignot 1998

Jakobshavn Isbrae, Groenland



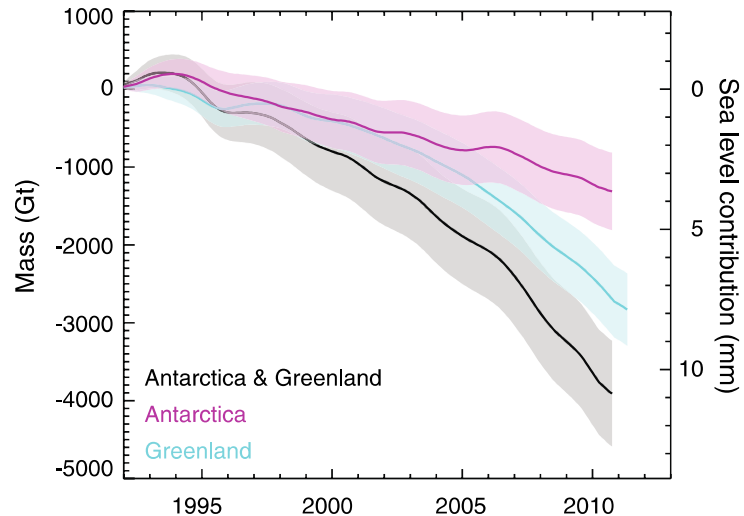
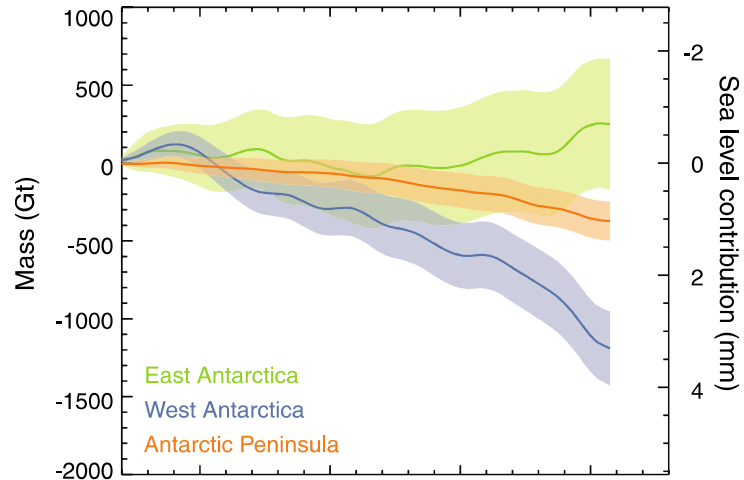
Joughin et al., 2004

Antarctique & Groenland : des retraits, des démantellements



Larsen B 2002

Une perte de masse avérée et grandissante



Year
Shepherd et al., 2012

A Reconciled Estimate of Ice-Sheet Mass Balance

Andrew Shepherd,^{1*} Erik R. Ivins,^{2*} Geruo A,³ Valentina R. Barletta,⁴ Mike J. Bentley,⁵ Srinivas Bettadpur,⁶ Kate H. Briggs,¹ David H. Bromwich,⁷ René Forsberg,⁴ Natalia Galin,⁸ Martin Horwath,⁹ Stan Jacobs,¹⁰ Ian Joughin,¹¹ Matt A. King,^{12,27} Jan T. M. Lenaerts,¹³ Jilu Li,¹⁴ Stefan R. M. Ligtenberg,¹³ Adrian Luckman,¹⁵ Scott B. Luthcke,¹⁶ Malcolm McMillan,¹ Rakia Meister,⁸ Glenn Milne,¹⁷ Jeremie Mouginot,¹⁸ Alan Muir,⁸ Julien P. Nicolas,⁷ John Paden,¹⁴ Antony J. Payne,¹⁹ Hamish Pritchard,²⁰ Eric Rignot,^{18,2} Helmut Rott,²¹ Louise Sandberg Sørensen,⁴ Ted A. Scambos,²² Bernd Scheuchl,¹⁸ Ernst J. O. Schrama,²³ Ben Smith,¹¹ Aud V. Sundal,¹ Jan H. van Angelen,¹³ Willem J. van de Berg,¹³ Michiel R. van den Broeke,¹³ David G. Vaughan,²⁰ Isabella Velicogna,^{18,2} John Wahr,³ Pippa L. Whitehouse,⁵ Duncan J. Wingham,⁸ Donghui Yi,²⁴ Duncan Young,²⁵ H. Jay Zwally²⁶

Contributeurs niveau des mers AR6 (2006-2018)

Groenland 0.91 mm/an

Antarctique 0.55 mm/an

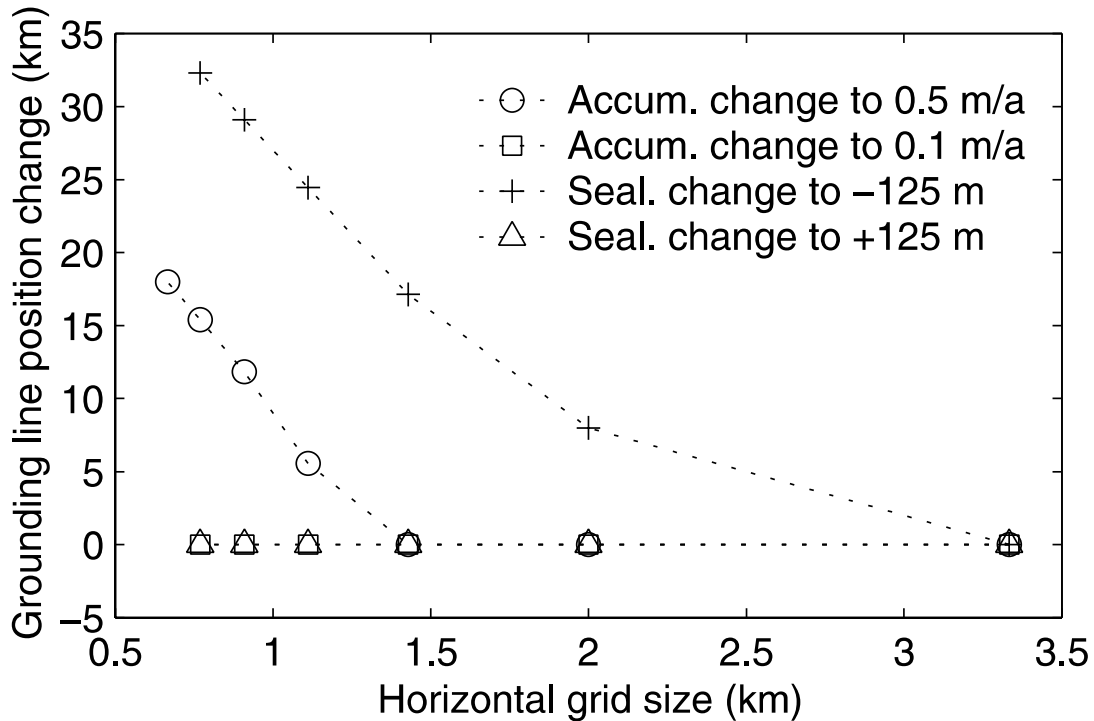
Glaciers 0.62 mm/an

Dilatation thermique 1.39 mm/an

Stockage continent 0.60 mm/an

- Grandes amplitudes et retraits rapides
- Fiat lux et facta est lux
- **Une brève histoire de la modélisation des calottes polaires**
- Quels fronts de sciences aujourd'hui
- TRACCS-PC9-ISCLim : comment allons nous les attaquer ?

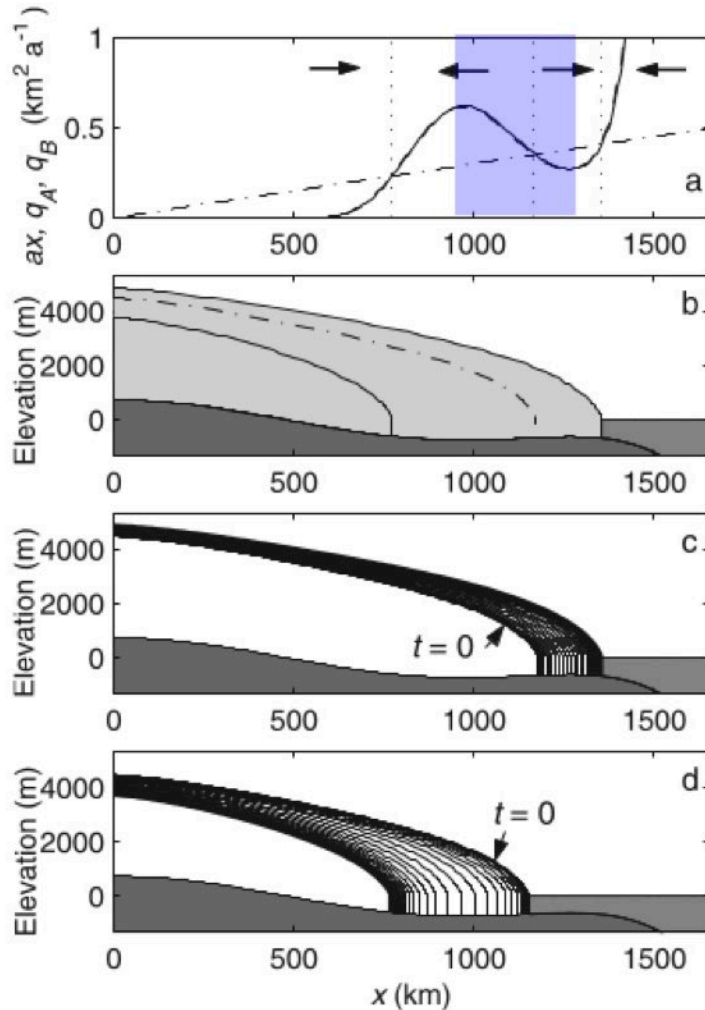
Un talon d'Achille : la ligne d'échouage



“We conclude that at present, no reliable model of the grounding line is available, and further model development is urgently needed”

Vieli and Payne, 2005

La solution en une équation



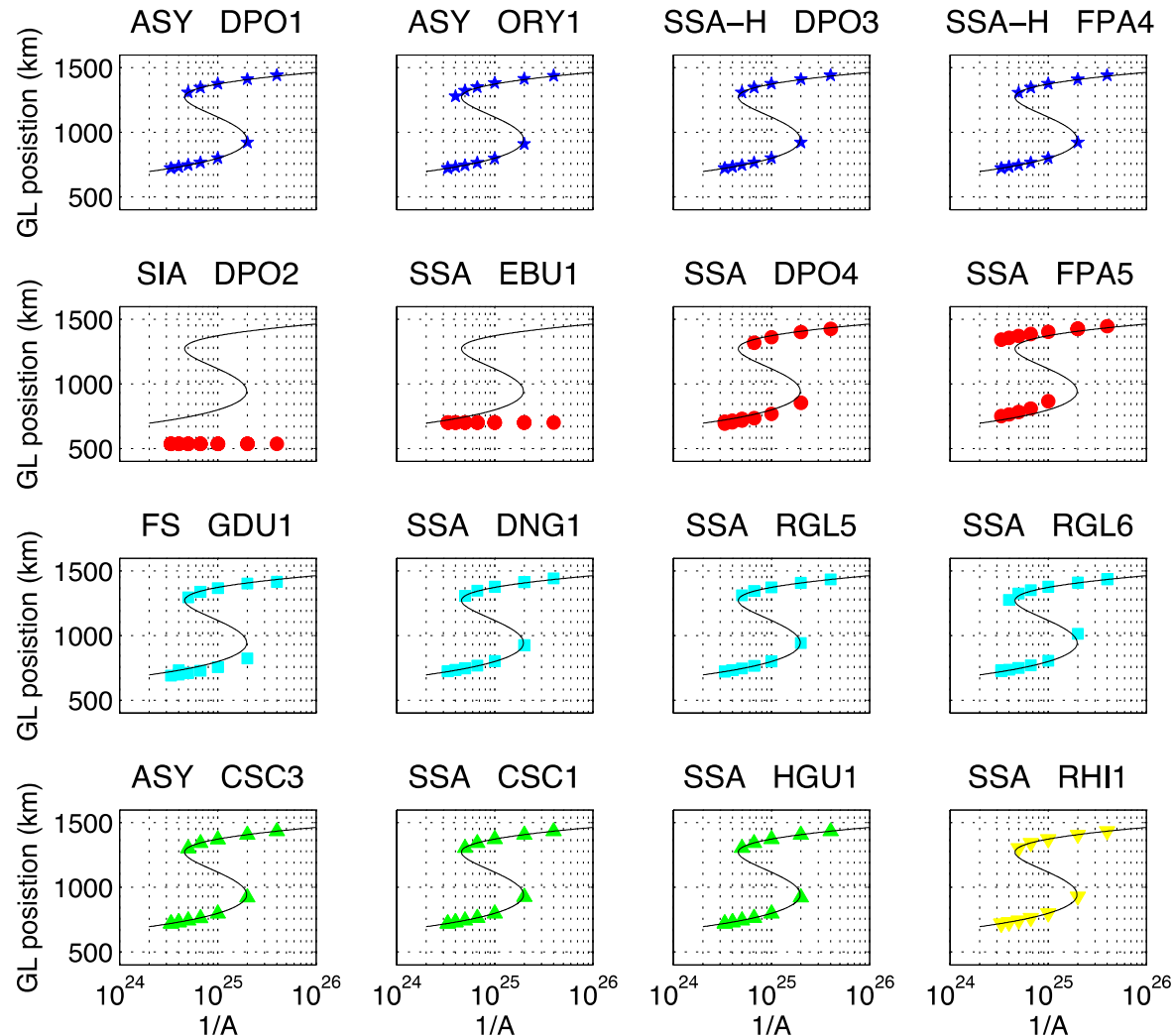
$$q(x_g) = \left(\frac{\bar{A}(\rho_i g)^{n+1} (1 - \rho_i/\rho_w)^n}{4^n C} \right)^{\frac{1}{m+1}} [h(x_g)]^{\frac{m+n+3}{m+1}}, \quad (16)$$

Ligne d'écoulement :

- solution unique sur une pente prograde
- Instable socle retrograde
- Hysteresis socle avec surcreusement

Une solution analytique, des modèles qui progressent

Un MIP, des MIPs

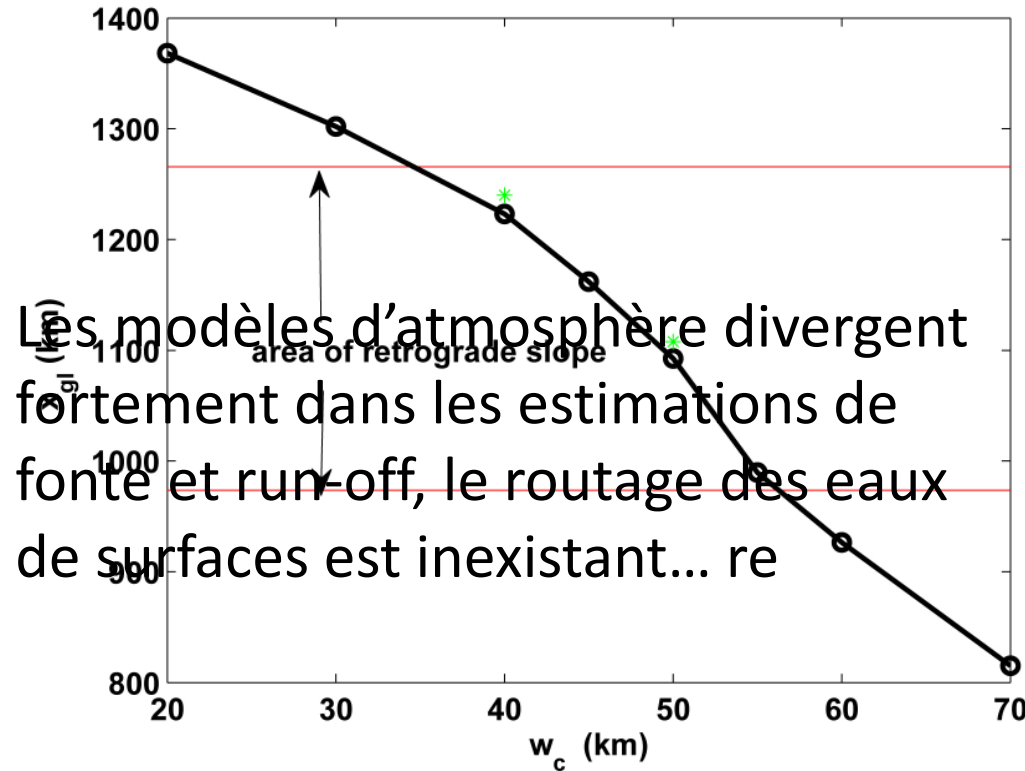
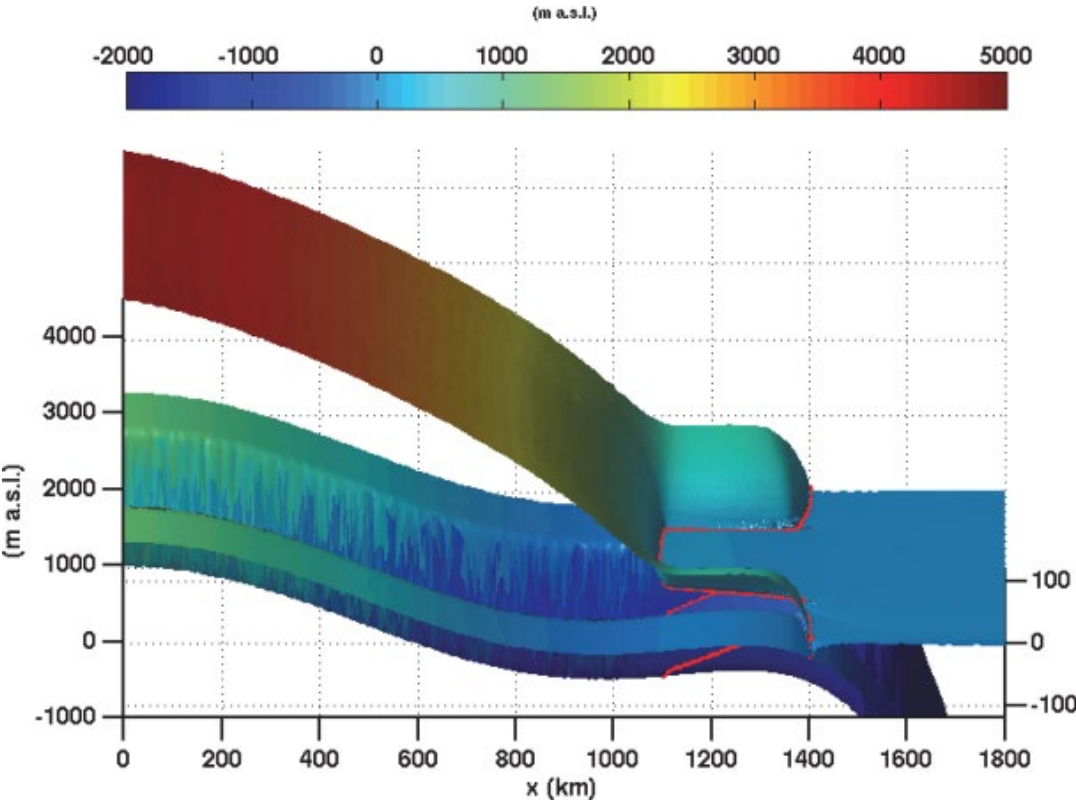


MISMIP puis MISMIP3D (2010s)
ligne d'échouage

MISOMIP (2015s)
Circulation cavité, ligne d'échouage, couplage

Calving MIP (2022...)
Vêlage

La subtilité est dans l'effet d'arc-boutant

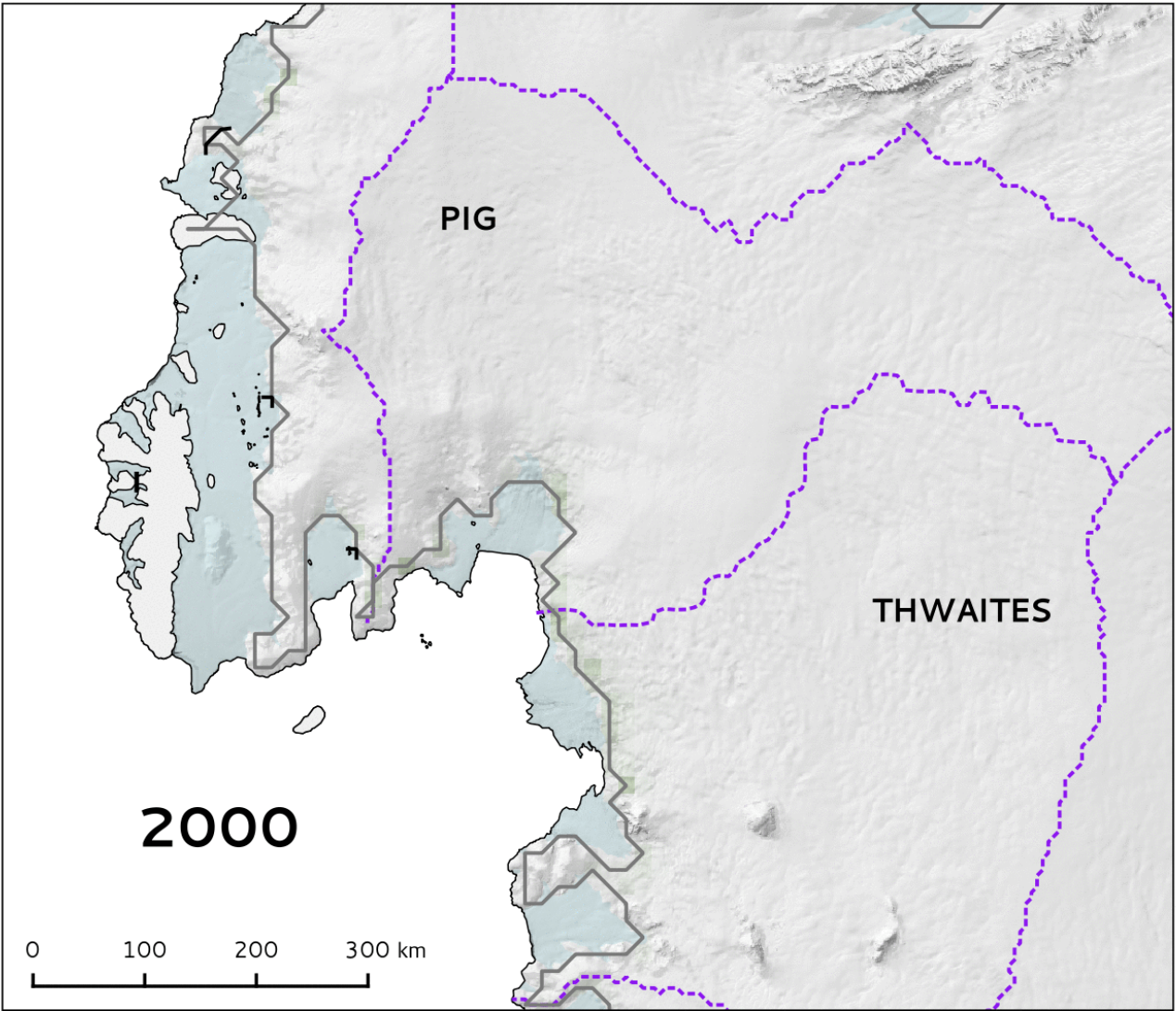


Les modèles d'atmosphère divergent fortement dans les estimations de fonte et run-off, le routage des eaux de surfaces est inexistant... re

Gudmundsson et al., 2012

Une pente retrograde n'est pas une condition suffisante pour avoir une instabilité

Marine Ice Sheet Instability – MISI



Mean height change (m)

- 700
- 600
- 500
- 400
- 300
- 200
- 100
- 50
- 0
- 100

Height change contour -100 m

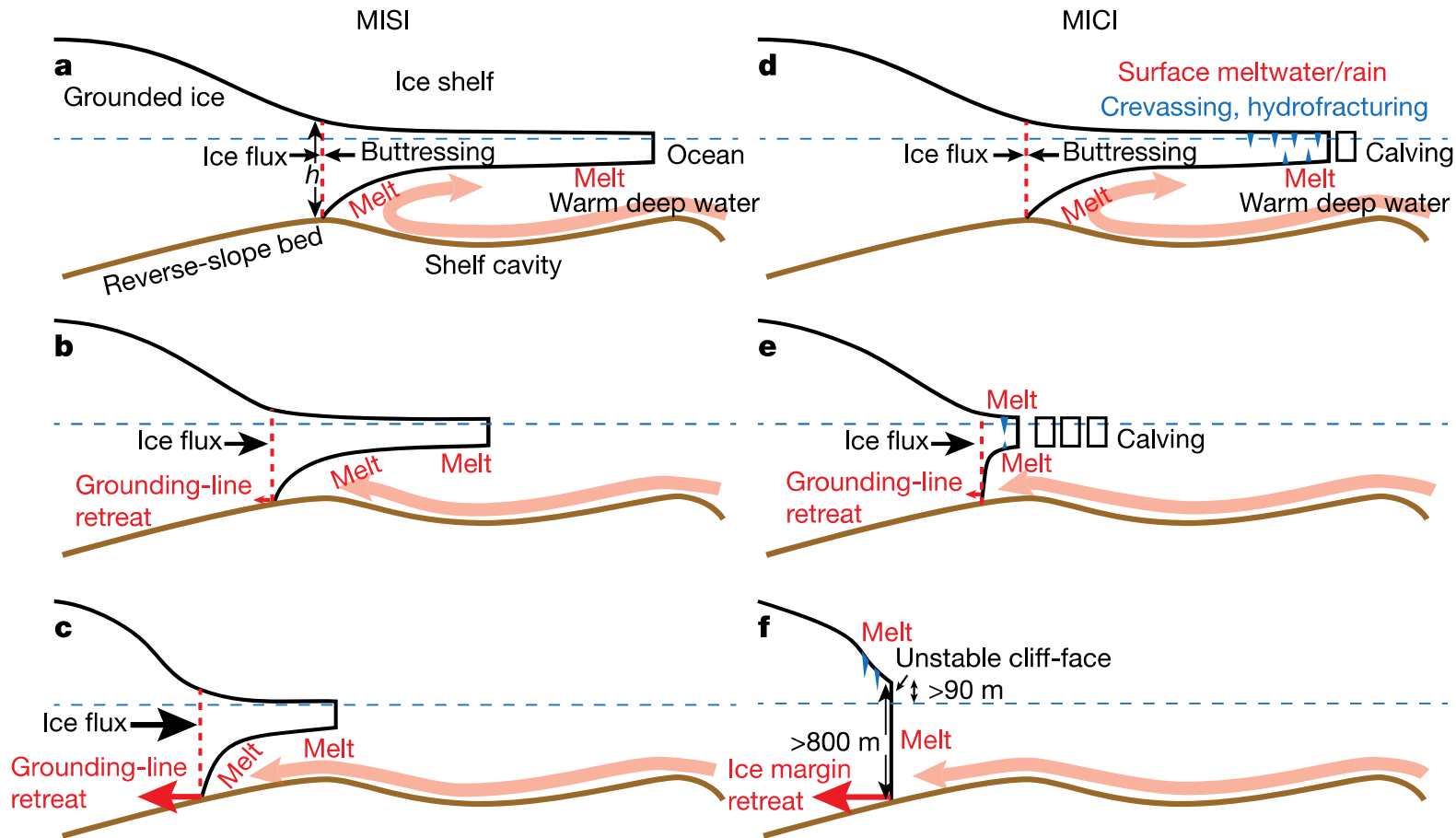
- Initial GRISLI grounding line
- Median grounding line

Le secteur d'Admundsen
reste la region vulnérable
et impactante au cours du
XXIeme siècle

Jusqu'à 30 cm de
contribution de
l'Antarctique en 2100, 80
cm en 2200.

Marine Ice Cliff Instability – MICI

Le cygne noir



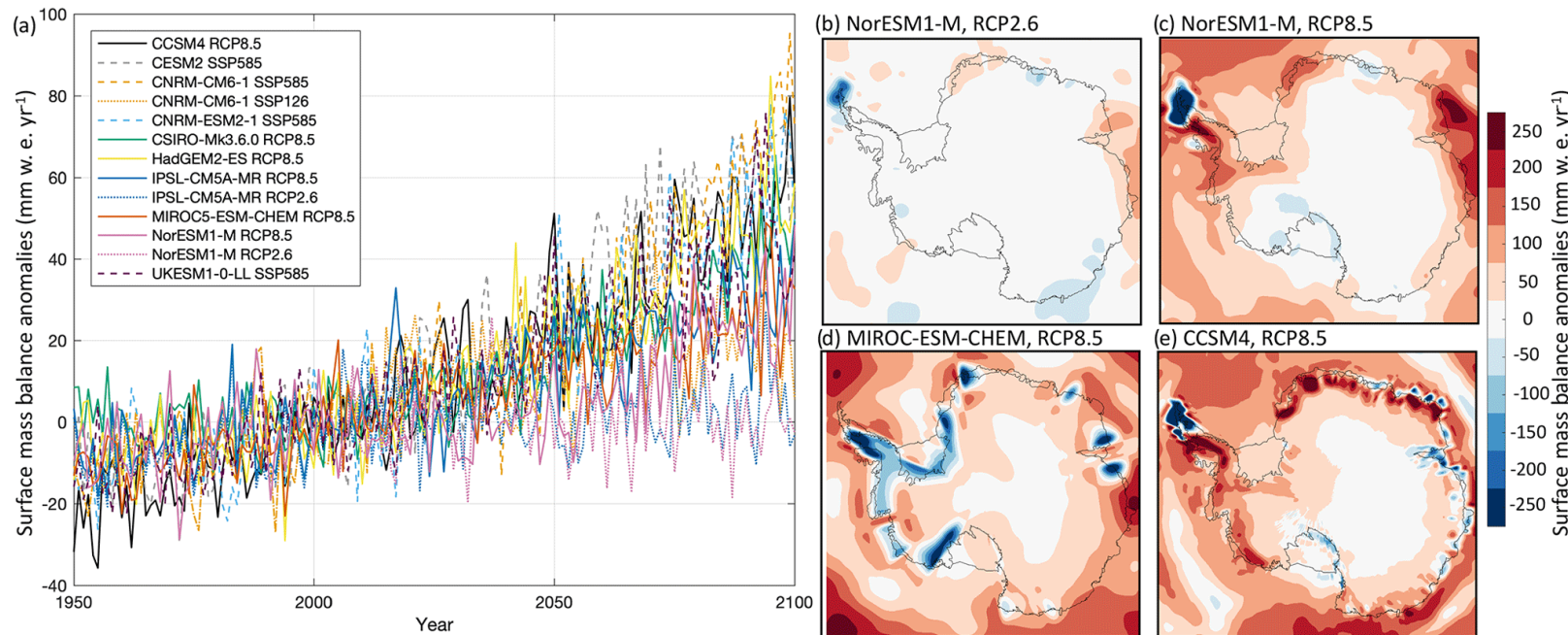
Des contributions de l'Antarctique de l'ordre du mètre par siècle

Experimental protocol for sea level projections from ISMIP6 stand-alone ice sheet models

Sophie Nowicki¹, Heiko Goelzer^{2,3}, Hélène Seroussi⁴, Anthony J. Payne⁵, William H. Lipscomb⁶, Ayako Abe-Ouchi⁷, Cécile Agosta⁸, Patrick Alexander^{9,10}, Xylar S. Asay-Davis¹¹, Alice Barthel¹¹, Thomas J. Bracegirdle¹², Richard Cullather¹, Denis Felikson¹, Xavier Fettweis¹³, Jonathan M. Gregory^{14,15,16}, Tore Hattermann^{17,18}, Nicolas C. Jourdain¹⁹, Peter Kuipers Munneke², Eric Larour⁴, Christopher M. Little²⁰, Mathieu Morlighem²¹, Isabel Nias^{1,22}, Andrew Shepherd²³, Erika Simon¹, Donald Slater²⁴, Robin S. Smith^{14,15}, Fiammetta Straneo²⁴, Luke D. Trusel²⁵, Michiel R. van den Broeke², and Roderik van de Wal^{2,26}

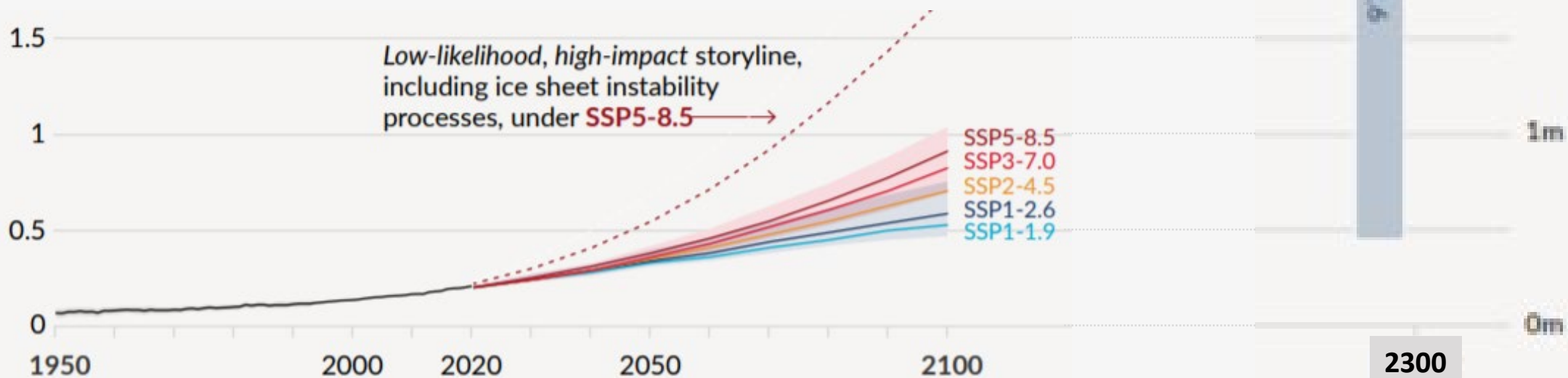
ISMIP6 a nourri les projections SLR de l'AR6

ISMIP7 va démarrer sous peu



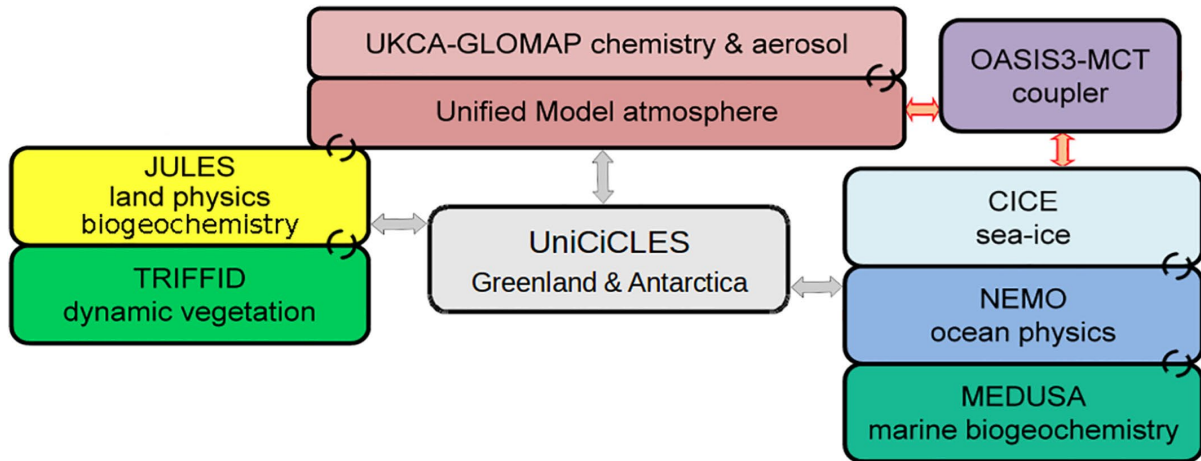
L'élévation du niveau de la mer se poursuivra pendant des siècles

- Elle sera d'autant plus rapide que les émissions seront élevées
- On ne peut pas exclure un scénario d'élévation du niveau de la mer très rapide



- Grandes amplitudes et retraits rapides
- Fiat lux et facta est lux
- Une brève histoire de la modélisation des calottes polaires
- **Quels fronts de sciences aujourd'hui**
- TRACCS-PC9-ISCLIM : comment allons nous les attaquer ?

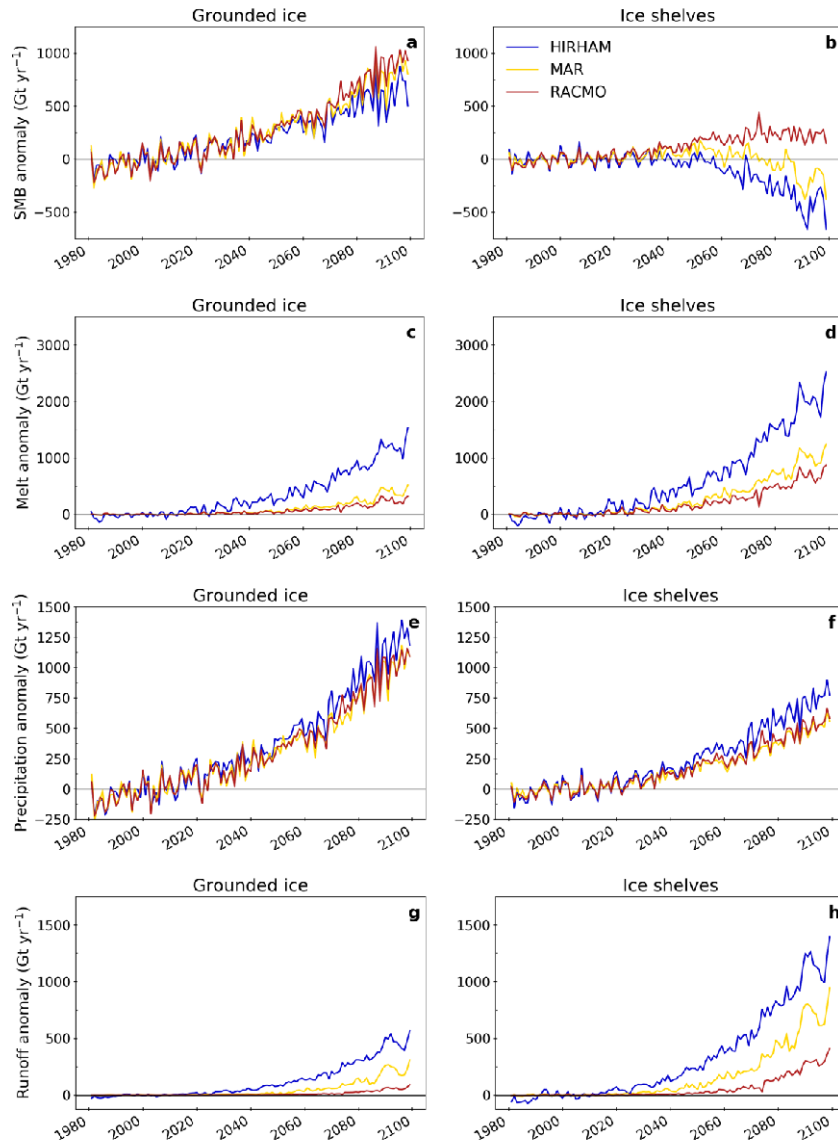
Implémentation (balbutiante) des calottes dans les ESM



Première (et unique) réalisation d'un ESM avec calottes interactives

Smith et al 2021

Des progrès nécessaires pour chaque composante - Atmosphere



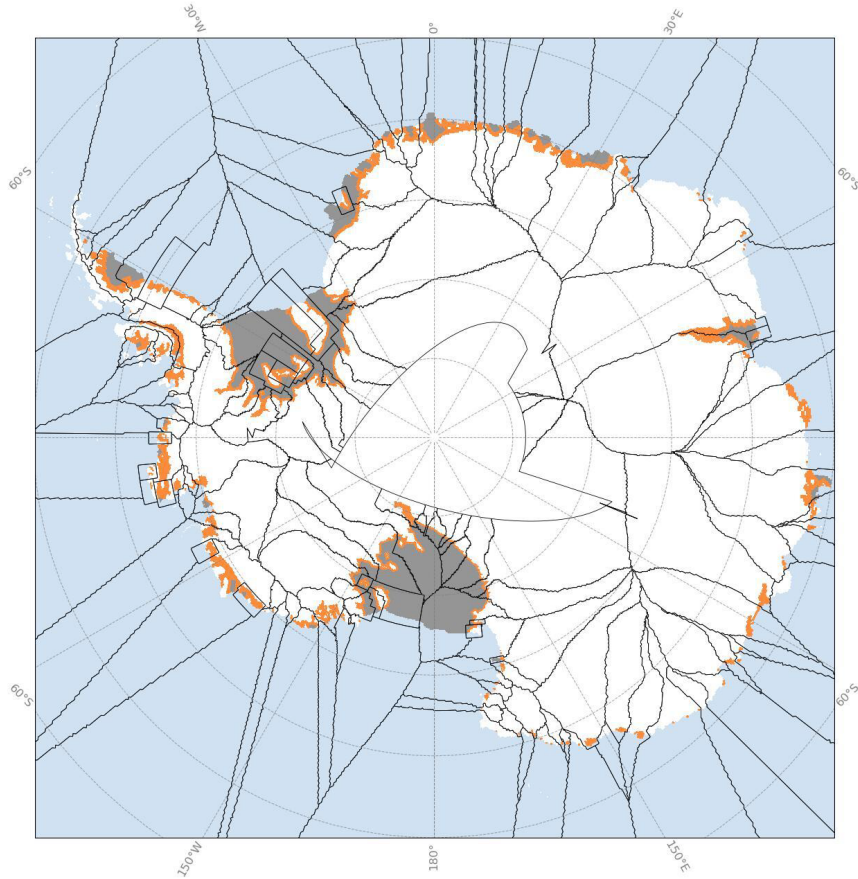
Les modèles d'atmosphère divergent fortement dans les estimations de fonte et run-off le routage des eaux de surfaces est inexistant...

Des progrès nécessaires pour chaque composante - Océan



Couplage océan-calotte : des réalités très différentes à des échelles très différentes

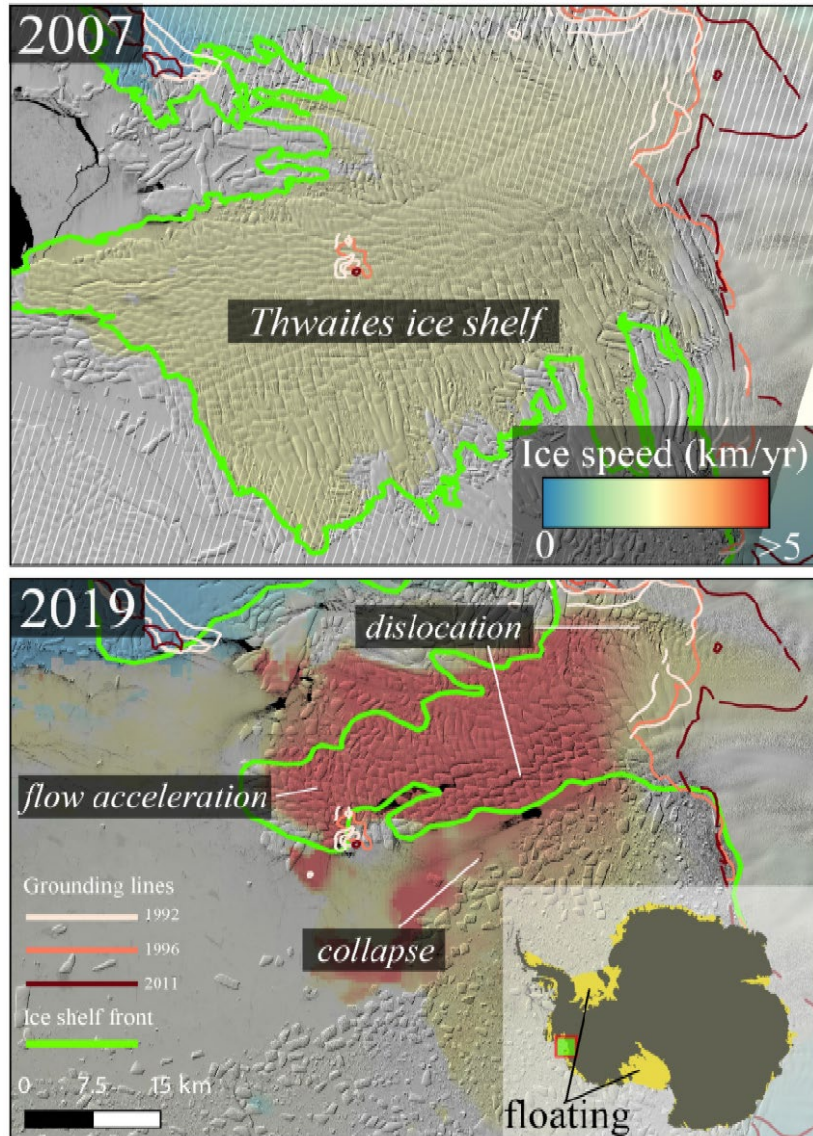
Des progrès nécessaires pour chaque composante - Océan



Couplage océan-calotte : des réalités très différentes à des échelles très différentes

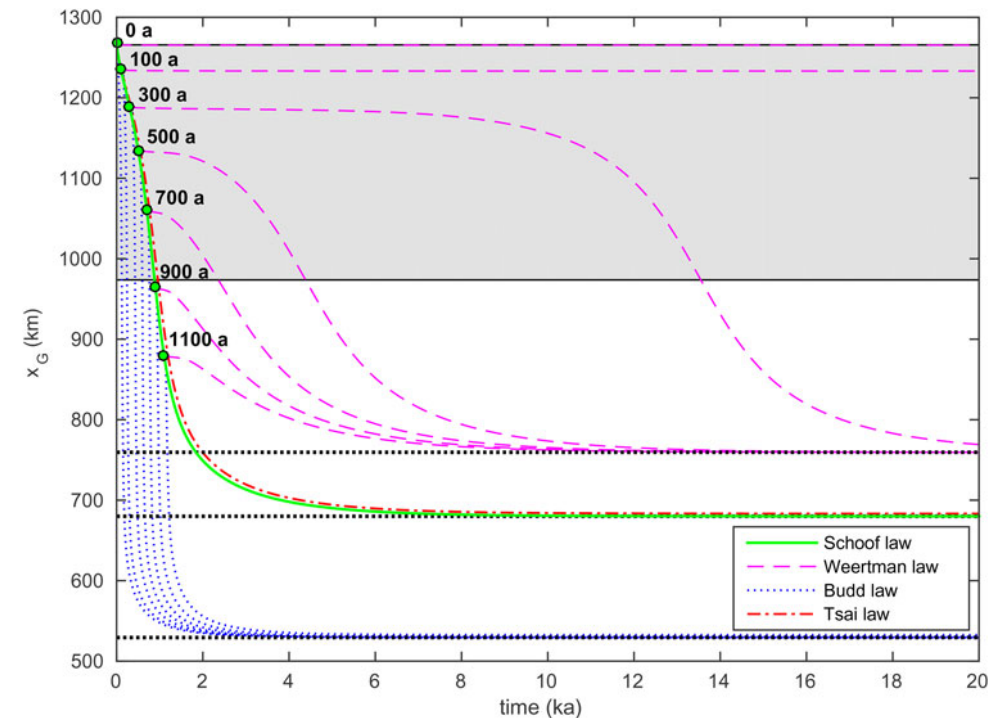
Des progrès nécessaires pour chaque composante - Calotte

Endommagement/Vêlage



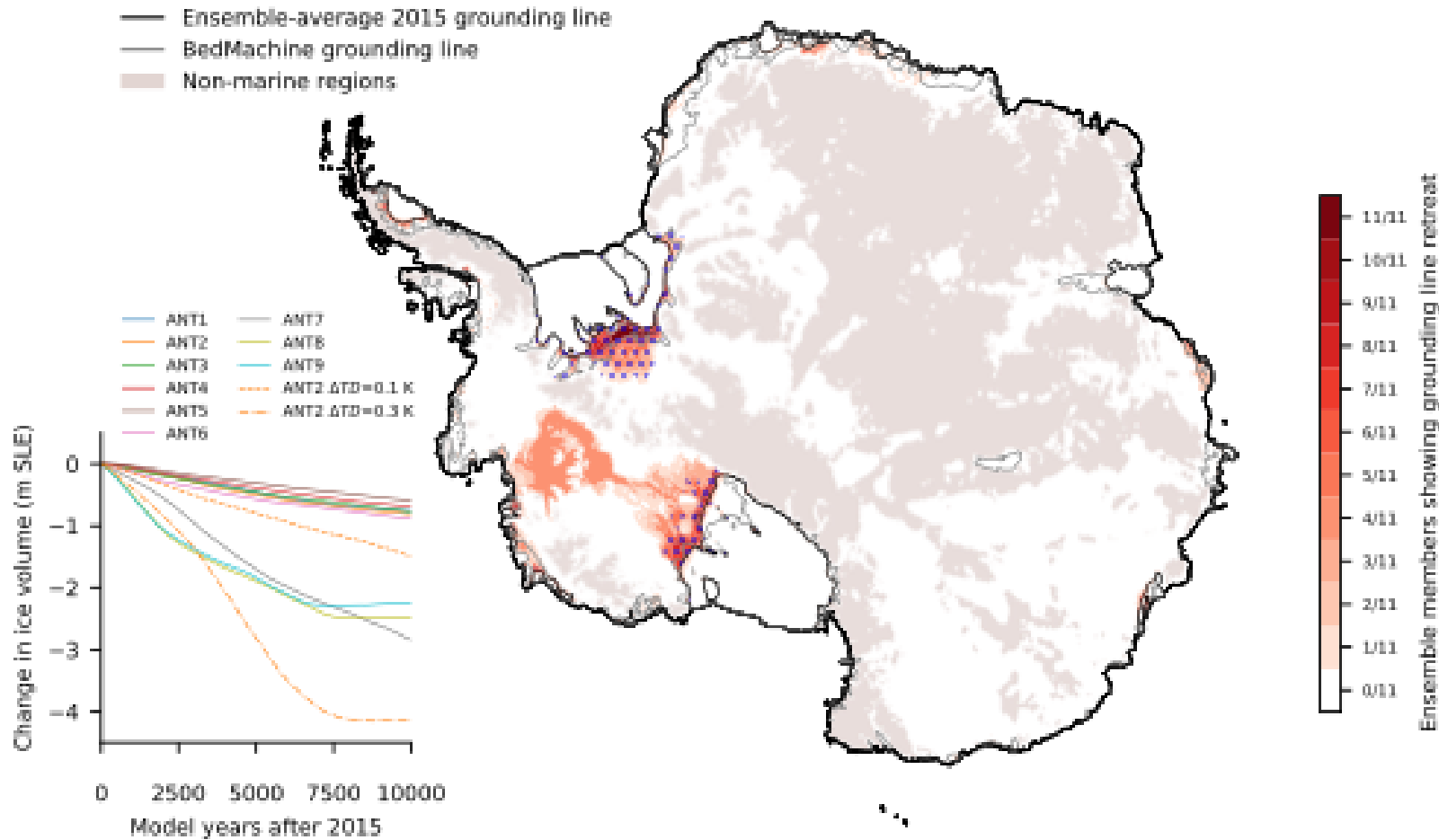
Millan, from NASA Landsat imagery

Loi de Frottement



Brondex et al 2017

Des progrès nécessaires pour chaque composante - Calotte



MISI engagé
ou
pas engagé ?

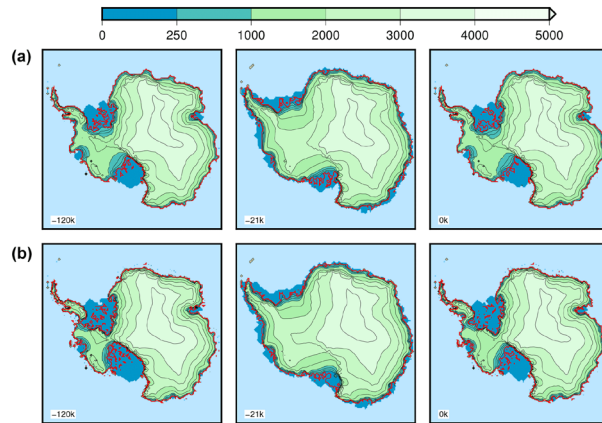
La réponse dépend de
l'initialisation

- Grandes amplitudes et retraits rapides
- Fiat lux et facta est lux
- Une brève histoire de la modélisation des calottes polaires
- Quels fronts de sciences aujourd'hui
- **TRACCS-PC9-ISCLim : comment allons nous les attaquer ?**

Communauté nationale

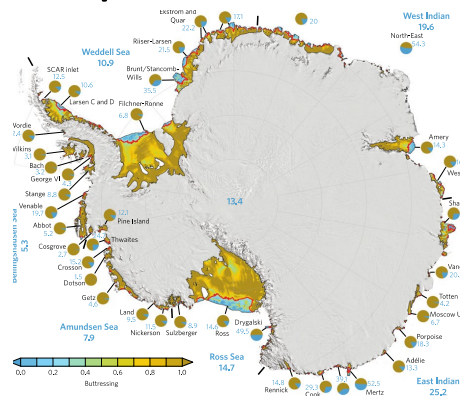
Ce que l'on a, ce qui nous manque, ce que TRACCS apporte

GRISLI



- Deux modèles de calottes GRISLI & Elmer/Ice aux capacités complémentaires
- Une expertise internationale reconnue et des acteurs clés, en modélisation de l'atmosphère polaire, des océans polaires, des calottes et de leurs interfaces

Elmer/Ice



VS

Une capacité de développement numérique de maintenance insuffisante et non pérenne

*TRACCS-PC9-ISCLim établira **une hiérarchie d'approches numériques** pour mieux évaluer les impacts et les rétroactions des calottes glaciaires dans le système climatique.*

Cela nécessite la mise en oeuvre de quatre actions :

*(i) **développer des modèles de calottes polaires** capables de reproduire aussi fidèlement que possible les changements actuellement observés, établir des projections sur 100 ans tout comme simuler les grandes déglaciations quaternaires et les événements rapides.*

*(ii) **améliorer la description de la circulation océanique** dans les cavités sous-glaciaires et les fjords et ses interactions avec les glaciers émissaires.*

*(iii) **améliorer la description des processus atmosphériques et de surface** et leur relation avec l'évolution des propriétés physiques de la couverture neigeuse et de l'élévation de la surface.*

*(iv) **représenter les rétroactions des calottes avec l'océan et l'atmosphère par des approches présentant différents niveaux de complexité, allant de paramétrisations au couplage explicite d'un modèle de calotte quelle que soit la résolution utilisée dans les modèles du système Terre.***

ISCLim Development team

- 2 IR ice sheet
- 1 IR couplage Océan
- 1 IR couplage atmosphère

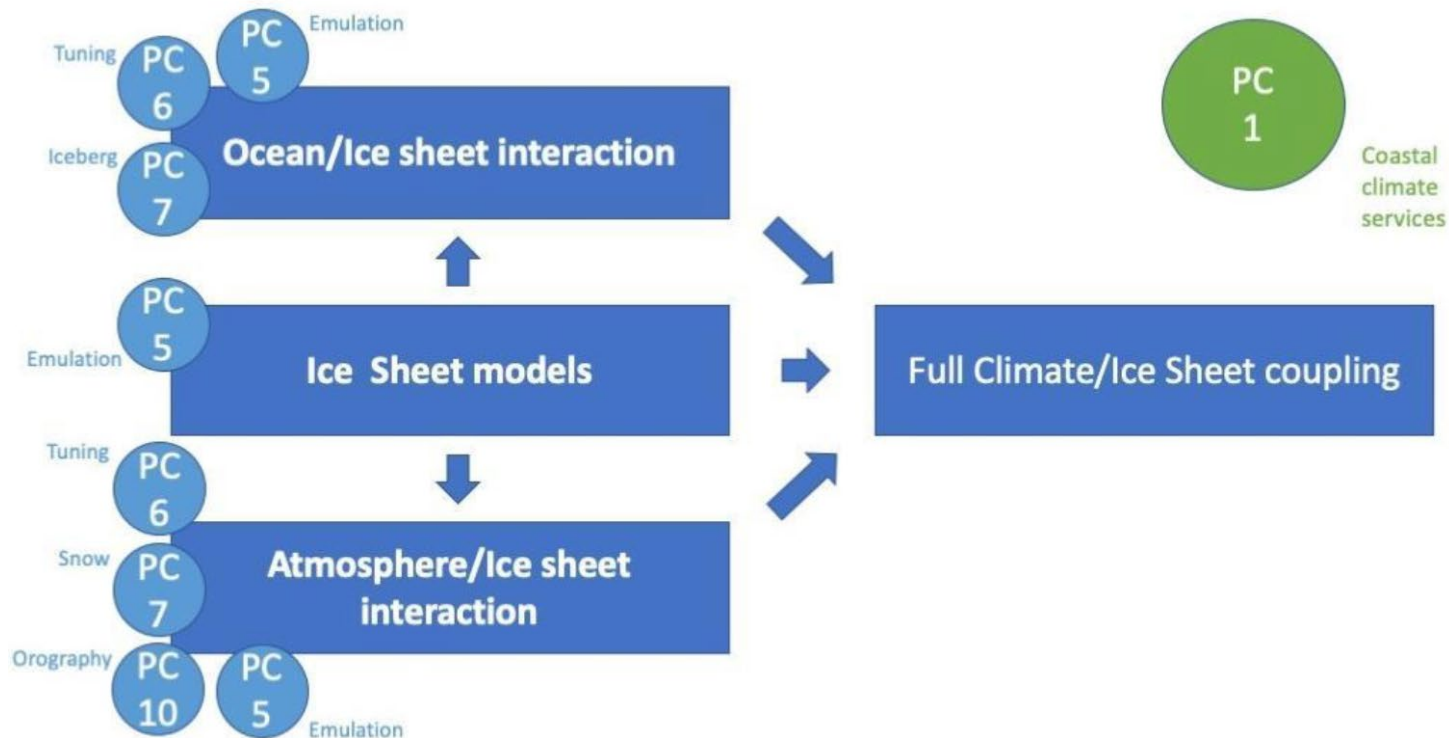
ISCLim Scientific Steering Committee

Coordinateurs scientifiques des WP et tâche, représentation de tous les partenaires

Hiérarchie d'approches

Démarrage automne 2023 (1/10?)

KO Meeting (vraisemblablement) en Novembre



Bibliographie

- Quiquet et al. 2021 - <https://doi.org/10.5194/cp-17-2179-2021>
- Heinrich 1988 - [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90057-9)
- Weertman 1974 - <https://doi.org/10.3189/S0022143000023327>
- Mercer 1978 - <https://doi.org/10.1038/271321a0>
- Rignot 1998 - <https://doi.org/10.3189/172756402781817950>
- Joughin 2004 - <https://doi.org/10.1038/nature03130>
- Shepherd 2012 - <https://doi.org/10.1126/science.1228102>
- Vieli and Payne 2005 - <https://doi.org/10.1029/2004JF000202>
- Schoof 2007 - <https://doi.org/10.1029/2006JF000664>
- Pattyn et al. 2012 - <https://doi.org/10.5194/tc-6-573-2012>
- Gudmundsson et al. 2012 - <https://doi.org/10.5194/tc-6-1497-2012>
- Ritz et al. 2015 - <https://doi.org/10.1038/nature16147>
- DeConto and Pollard 2016 - <https://doi.org/10.1038/nature17145>
- Nowicki et al 2020 <https://doi.org/10.5194/tc-14-2331-2020>
- Brondex et al 2017 <https://doi.org/10.1017/jog.2017.51>
- Smith et al 2021 <https://doi.org/10.1029/2021MS002520>
- Quiquet et al 2018 <https://doi.org/10.5194/gmd-11-5003-2018>
- Fürst et al. 2016 - <https://doi.org/10.1038/nclimate2912>



WEBINAIRE TRACCS

TRANSFORMER LA MODÉLISATION DU CLIMAT POUR LES SERVICES CLIMATIQUES



Save The Date

Prochain webinaire TRACCS le
22 Septembre 2023 à 11h00

Plus d'informations vous seront communiquées prochainement.



Pour en savoir plus sur TRACCS :



Pour vous abonner à la newsletter et recevoir les actualités et les prochains rendez-vous :

contacts-traccs@listes.ipsl.fr