

Fonte irréversible de la calotte du Groenland en 2100 ?

Xavier Fettweis

Géographie, UR SPHÈRES
Liège, 20/02/2020



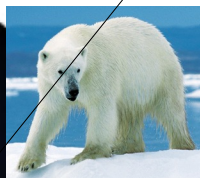
Plan

1. Introduction
2. Climat présent
3. Climat futur
4. Rétroactions positives
5. Incertitudes
6. Points de non-retour

1. Introduction

Arctique

Antarctique



Glacier

Sea ice

Ice sheet

Ice cap

Ice cap

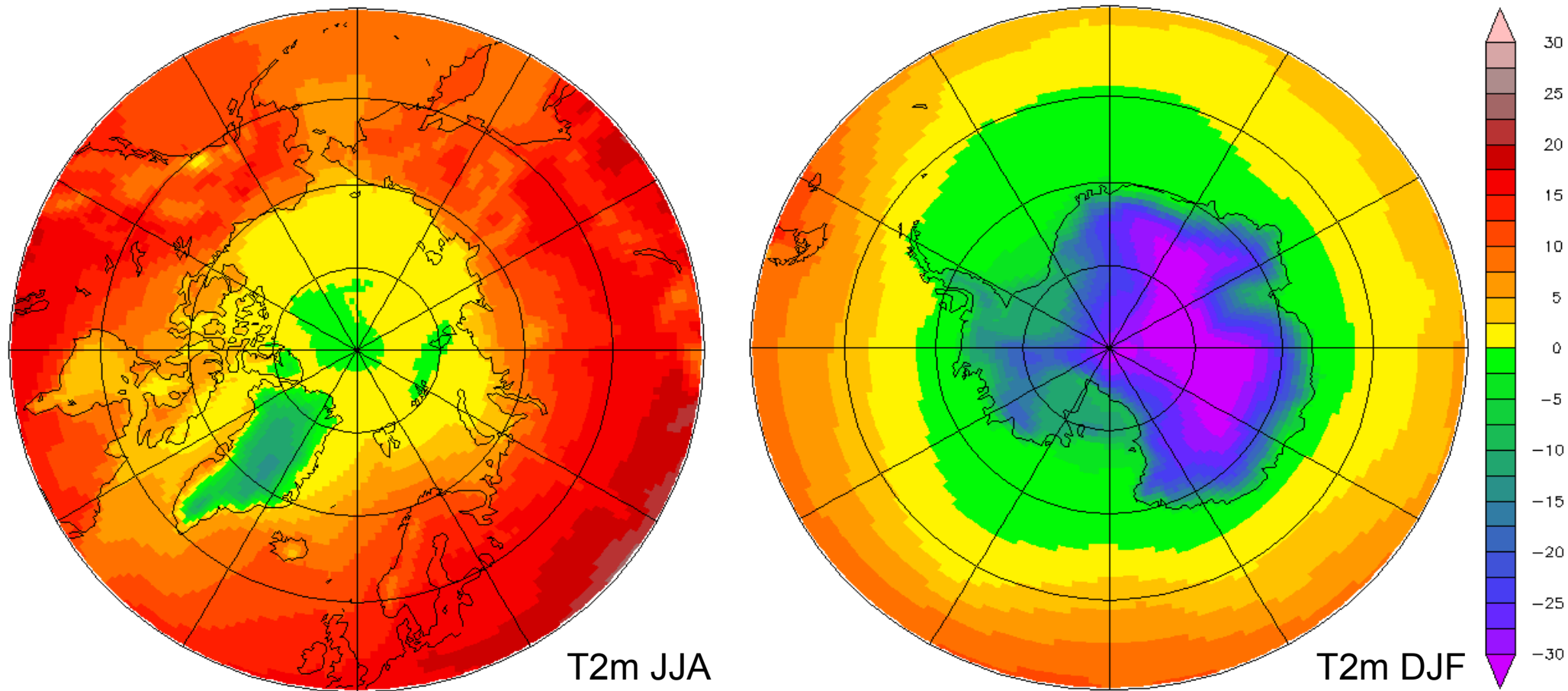
*Groenland
(3 x France)*

*Glace de mer
(≠ calotte)*

*Antarctique
(20 x France)*

1. Introduction

Climat plus chaud en été au Groenland qu'en Antarctique

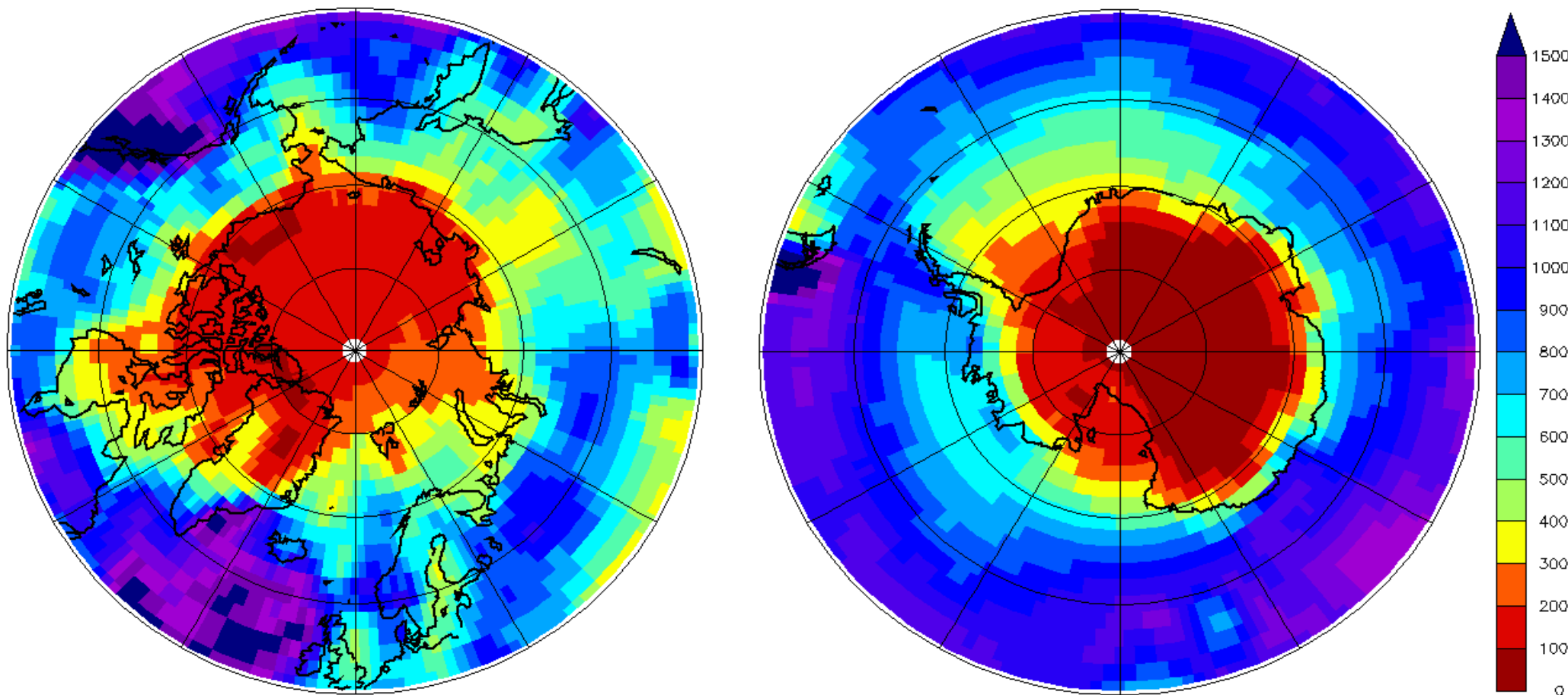


Data : ERA-Interim (1979-2013)

Température moyenne en été à 2m (°C)

1. Introduction

Mais plus humide qu'en Antarctique...

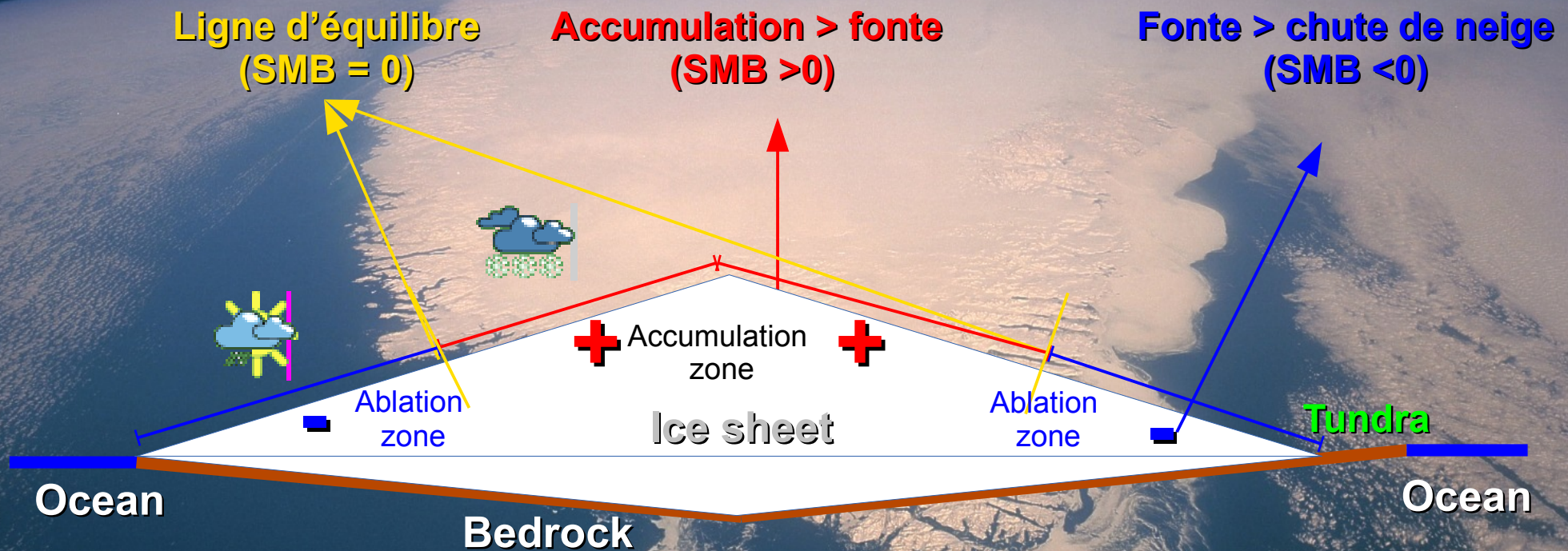


Data : NCEP-NCAR v2 (1979-2013)

Précipitation annuelle (mm/an)
(Bruxelles : ~ 800mm/an)

1. Introduction

Bilan de masse en surface (SMB) $\sim$ accumulation – fonte



1. Introduction

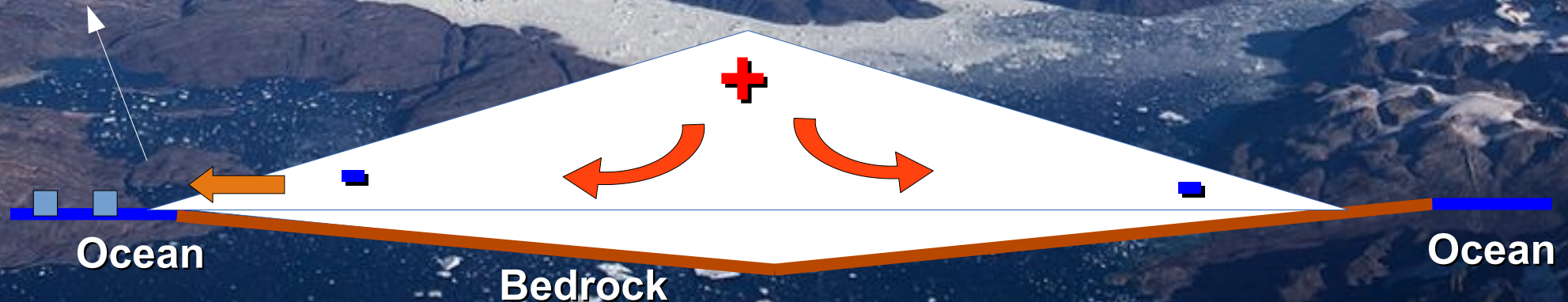
Bilan de masse total (IMB) $\simeq$ accumulation – fonte – iceberg

IMB $\sim 0 \sim 700$ GT/yr - 350 GT/yr - 350 GT/yr

dans les années 90 !

Iceberg
discharge
and basal
melting

Avec la dynamique glaciaire



1. Introduction

Modèle Atmosphérique Régionale



- ~ 130 publications sur le Groenland
- ~ 10 publi's sur l'Antarctique
- ~ 10 publi's sur la Belgique
- ~ 5 publi's sur le Svalbard, Patagonie,...
- ~ 10 Nature/Science

Un des meilleurs modèles régionaux sur les régions polaires

<https://doi.org/10.5194/tc-2019-321>
Preprint. Discussion started: 14 January 2020
© Author(s) 2020. CC BY 4.0 License.



GrSMBMIP: Intercomparison of the modelled 1980-2012 surface mass balance over the Greenland Ice sheet

Xavier Fettweis¹, Stefan Hofer^{1,2}, Uta Krebs-Kanzow³, Charles Amory¹, Teruo Aoki^{4,5}, Constantijn J. Berends⁶, Andreas Born^{7,8}, Jason E. Box⁹, Alison Delhasse¹, Koji Fujita¹⁰, Paul Gierz³, Heiko Goelzer^{6,11}, Edward Hanna¹², Akihiro Hashimoto⁴, Philippe Huybrechts¹³, Marie-Luise Kapsch¹⁴, Michalea D. King¹⁵, Christoph Kittel¹, Charlotte Lang¹, Peter L. Langen^{16,17}, Jan T. M. Lenaerts¹⁸, Glen E. Liston¹⁹, Gerrit Lohmann³, Sebastian H. Mernild^{20,21,22,23}, Uwe Mikolajewicz¹⁴, Kameswarrao Modali¹⁴, Ruth H. Mottram¹⁶, Masashi Niwano⁴, Brice Noël⁶, Jonathan C. Ryan²⁴, Amy Smith²⁵, Jan Streffing³, Marco Tedesco²⁶, Willem Jan van de Berg⁶, Michiel van den Broeke⁶, Roderik S. W. van de Wal^{6,27}, Leo van Kampenhout⁶, David Wilton²⁸, Bert Wouters²⁹, Florian Ziemann¹⁴, Tobias Zolles^{7,8}

<https://doi.org/10.5194/tc-2019-333>
Preprint. Discussion started: 28 January 2020
© Author(s) 2020. CC BY 4.0 License.



What is the Surface Mass Balance of Antarctica? An Intercomparison of Regional Climate Model Estimates

Ruth Mottram¹, Nicolaj Hansen^{1,2}, Christoph Kittel³, Melchior van Wessem⁴, Cécile Agosta⁵, Charles Amory³, Fredrik Boberg¹, Willem Jan van de Berg⁵, Xavier Fettweis³, Alexandra Gossart⁶, Nicole P.M. van Lipzig⁶, Erik van Meijgaard⁷, Andrew Orr⁸, Tony Phillips⁸, Stuart Webster⁹, Sebastian B. Simonsen², and Niels Souverijns^{6,10}

¹DMI, Lyngbyvej 100, Copenhagen, 2100, Denmark

²DTU-Space, Kongens Lyngby, Denmark

³Laboratory of Climatology, Department of Geography, SPHERES, University of Liège, Liège, Belgium

⁴Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht, Utrecht University, Utrecht, the Netherlands

⁵Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE-IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France

⁶Department of Earth and Environmental Sciences, KU Leuven, Belgium

⁷Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt, the Netherlands

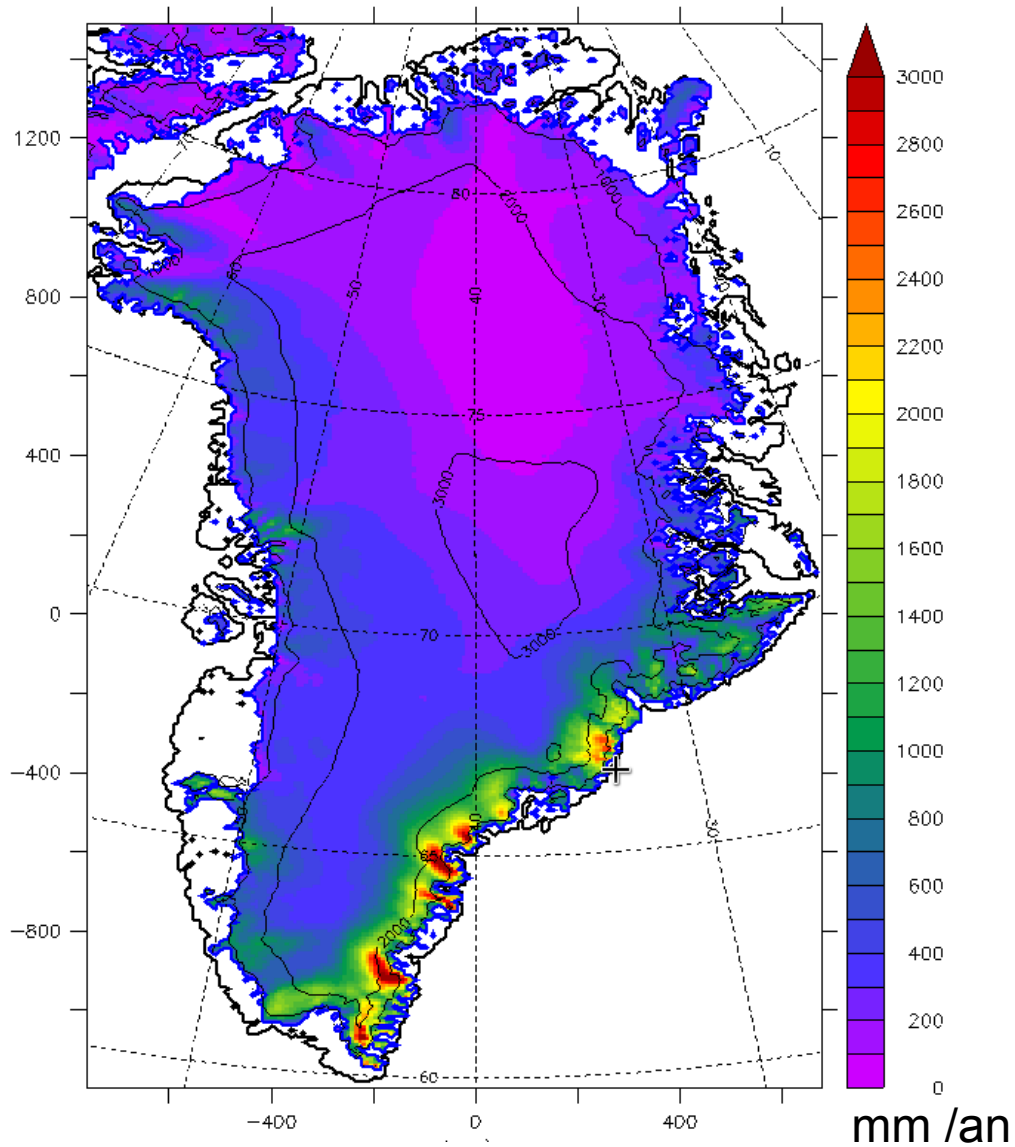
⁸British Antarctic Survey, High Cross, Madingley Road, Cambridge, UK

⁹UK Met Office, FitzRoy Road, Exeter, Devon, EX1 3PB, UK

¹⁰Unit Remote Sensing and Earth Observation Processes, Flemish Institute for Technological Research (VITO), Mol, Belgium

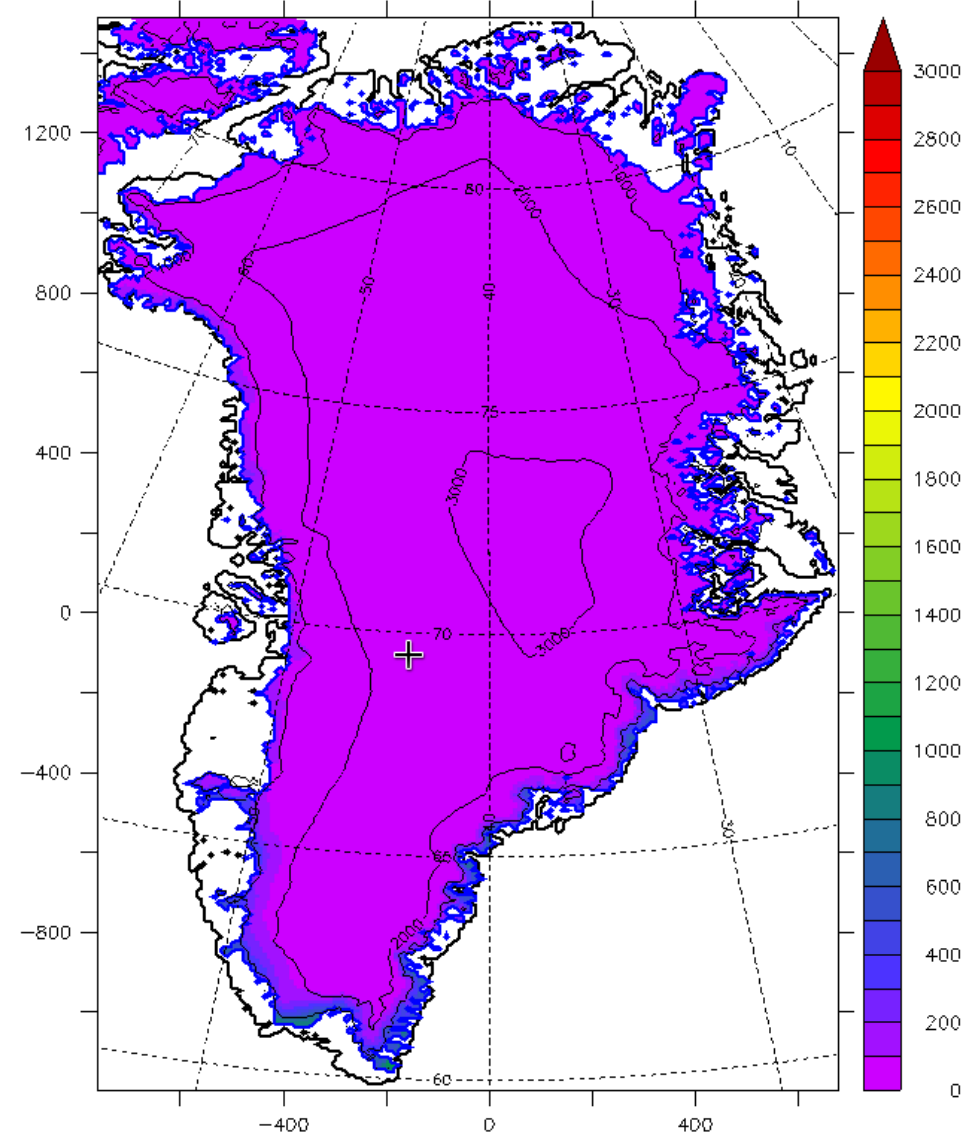
Correspondence: Ruth Mottram (rum@dmu.dk)

2. Climat présent



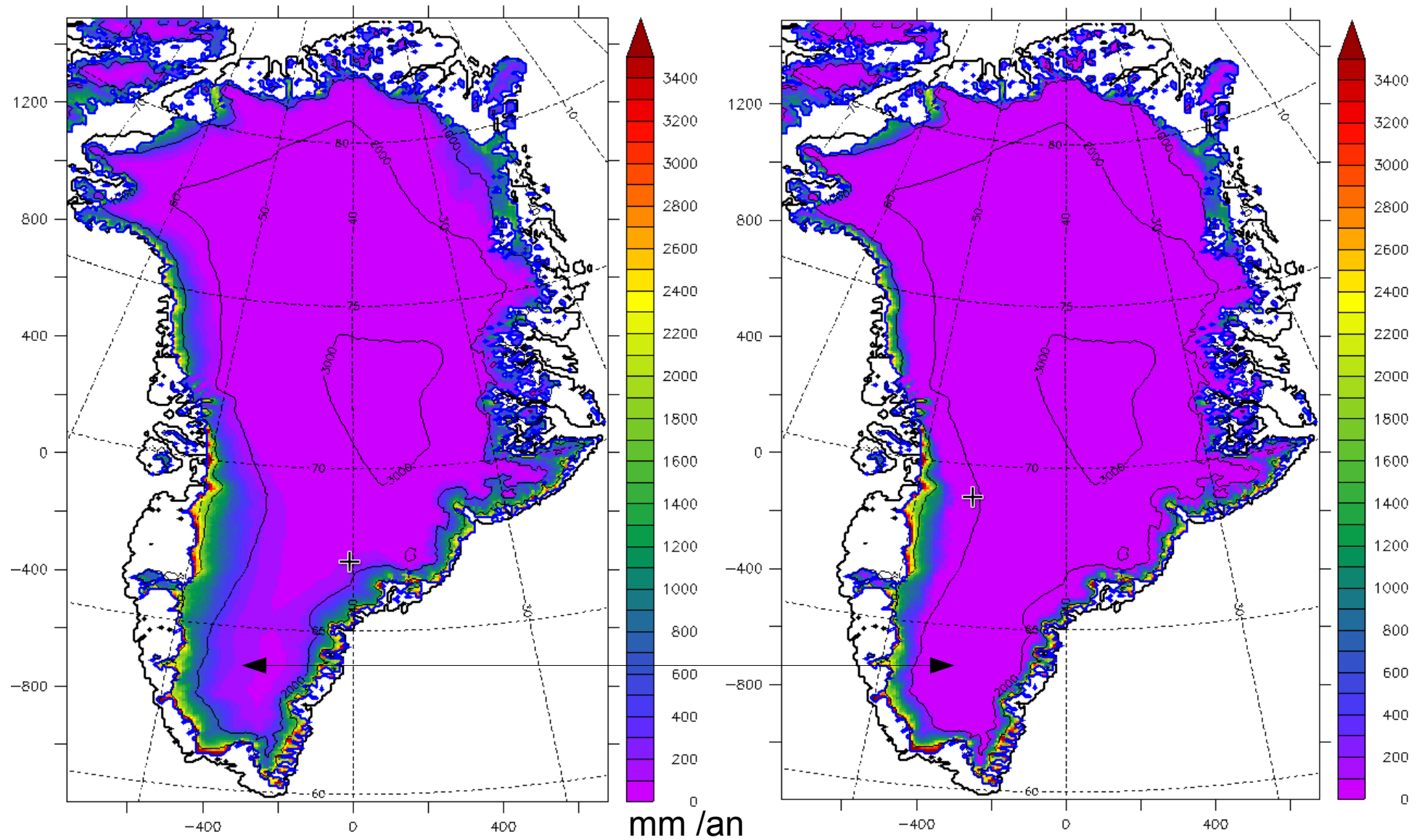
Chute de neige
(moyenne 1980-2010)

(Bruxelles ~ 800 mm/an)



Pluie

2. Climat présent

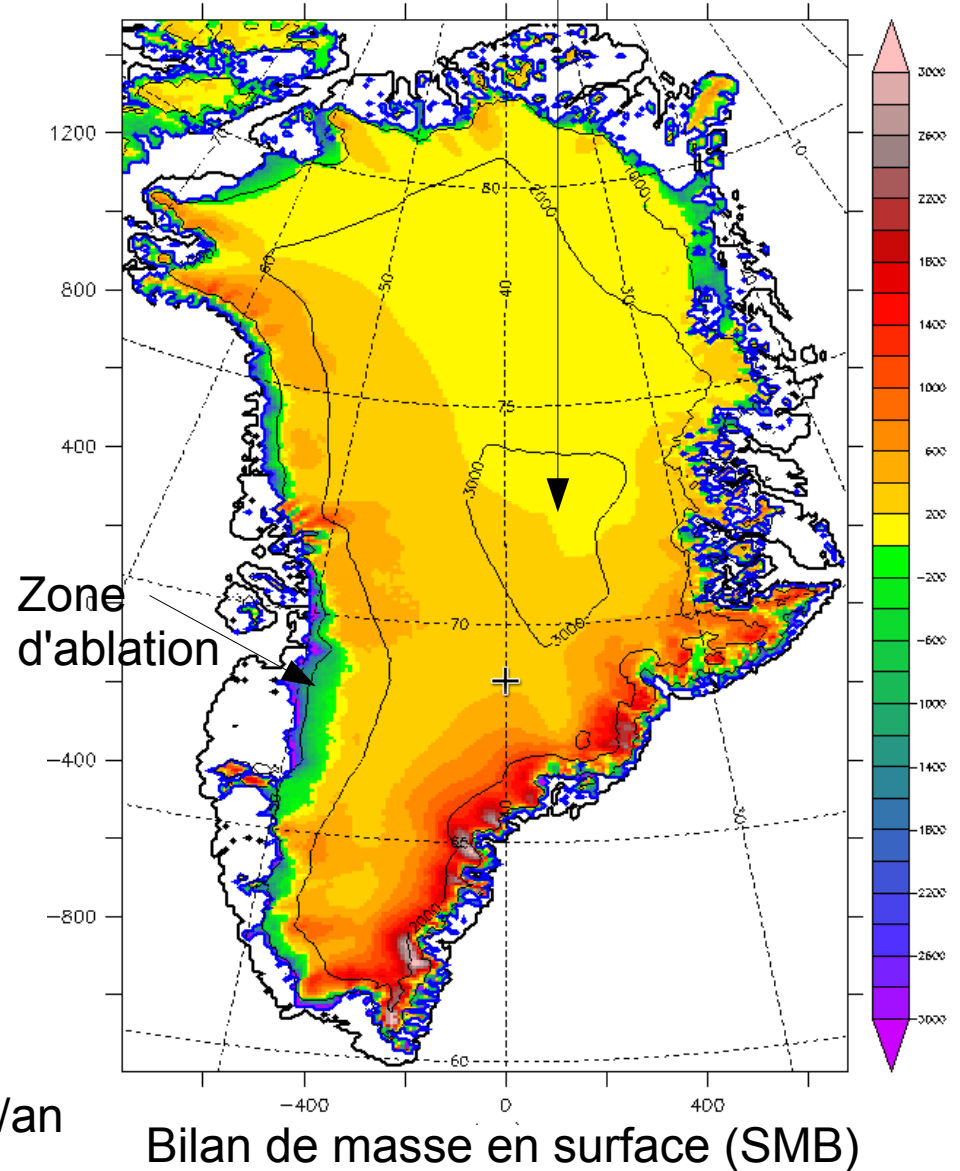
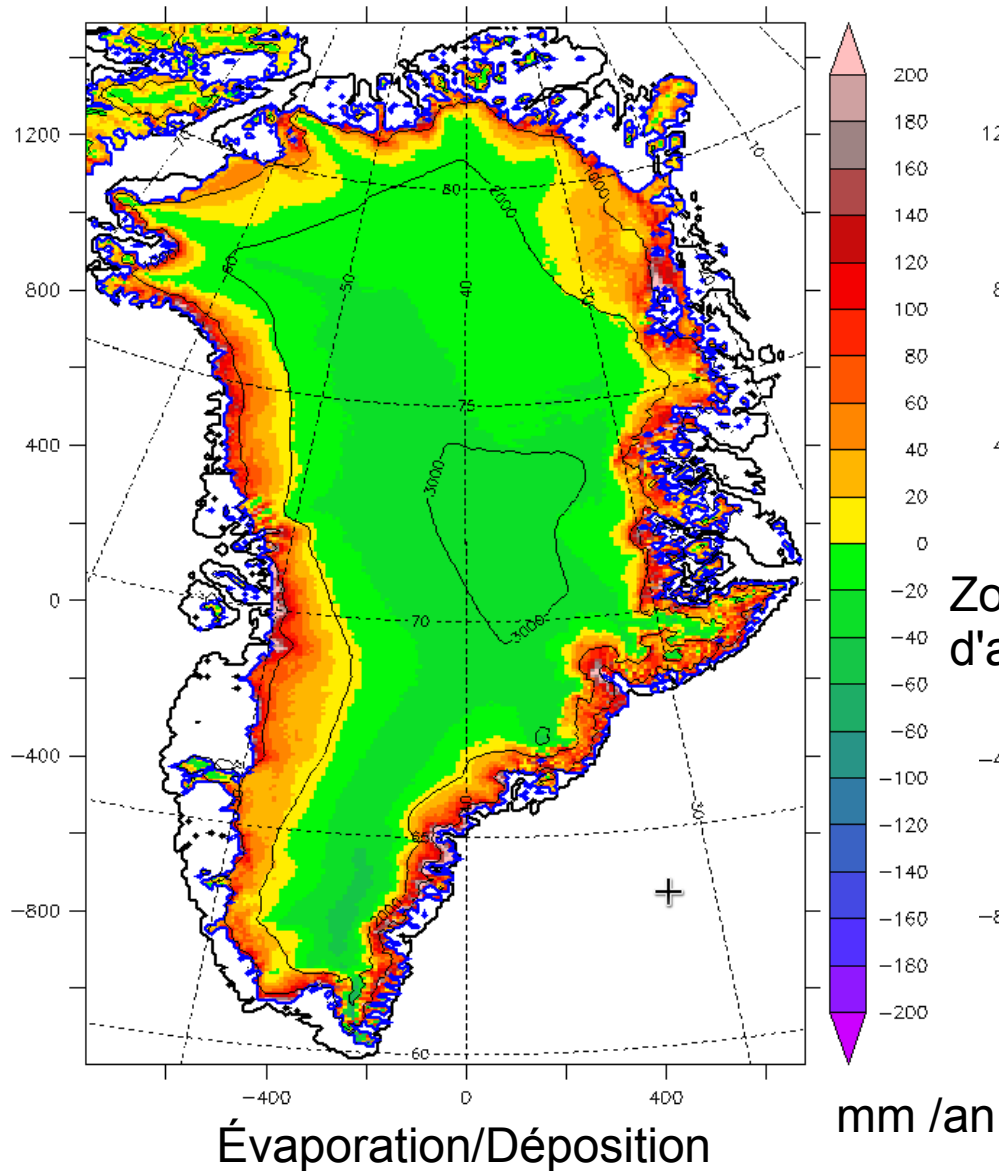


Eau de fonte

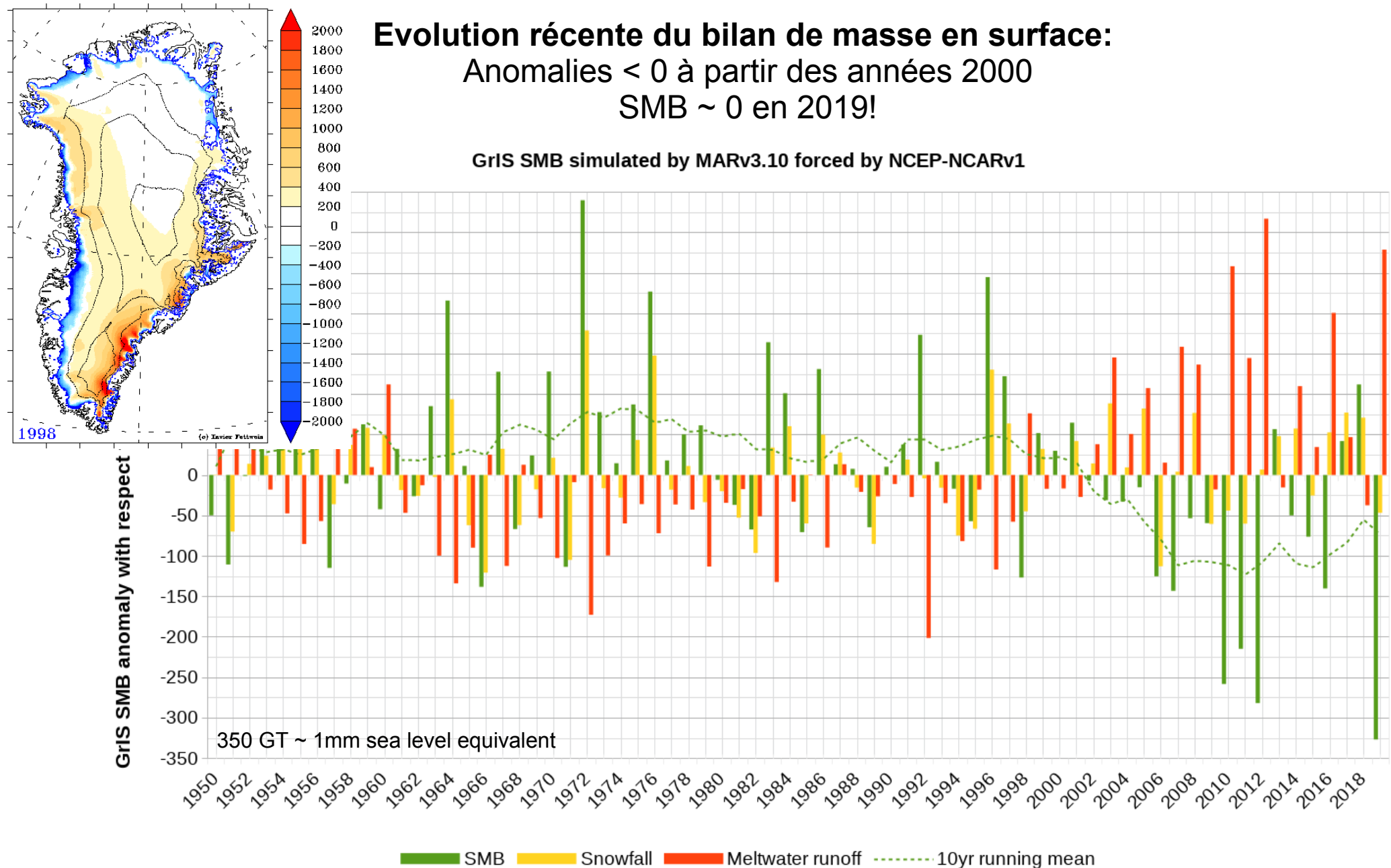
Runoff (eau de fonte qui arrive à l'océan)

2. Climat présent

Zone d'accumulation (70-80%)

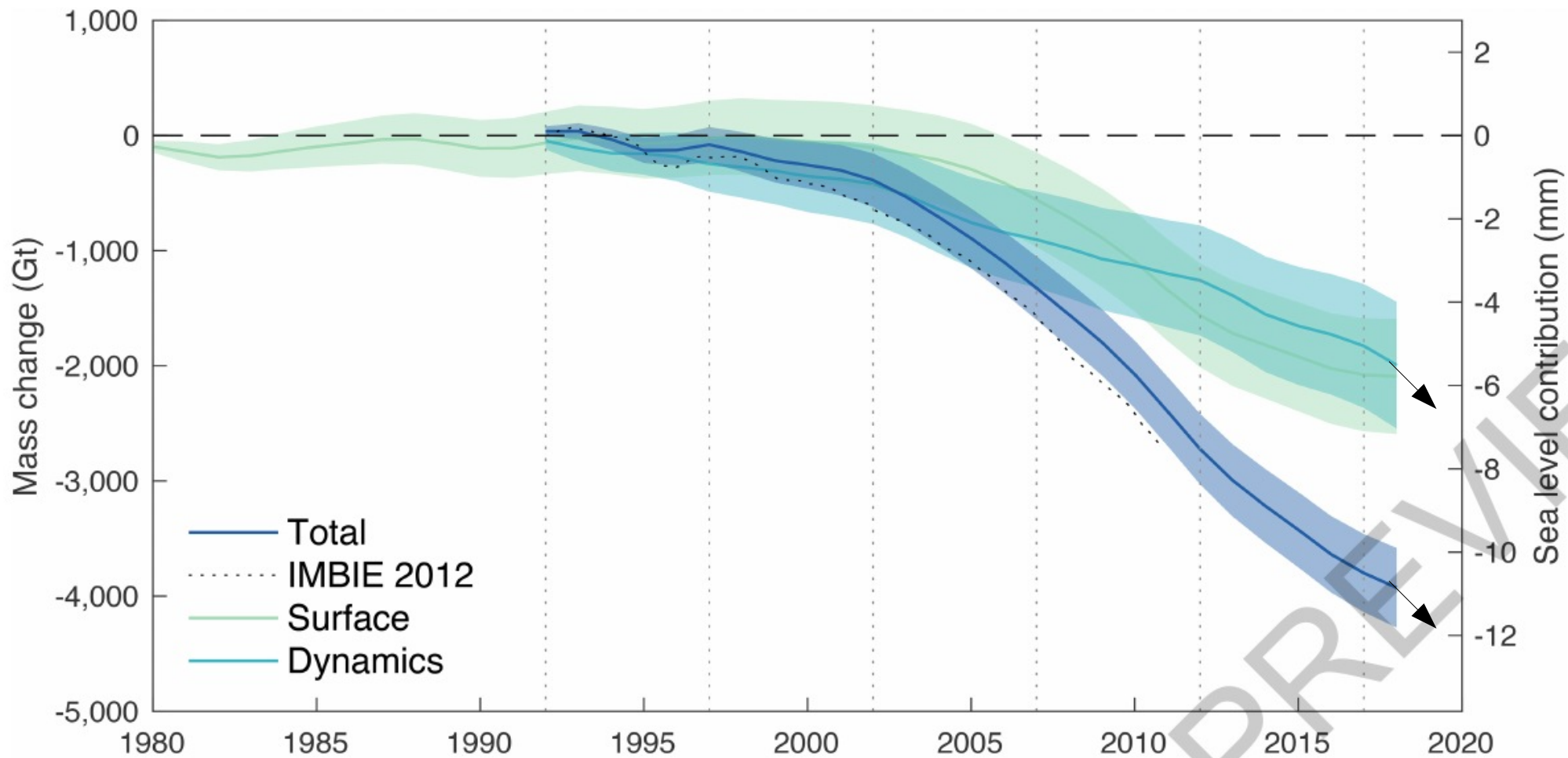


2. Climat présent



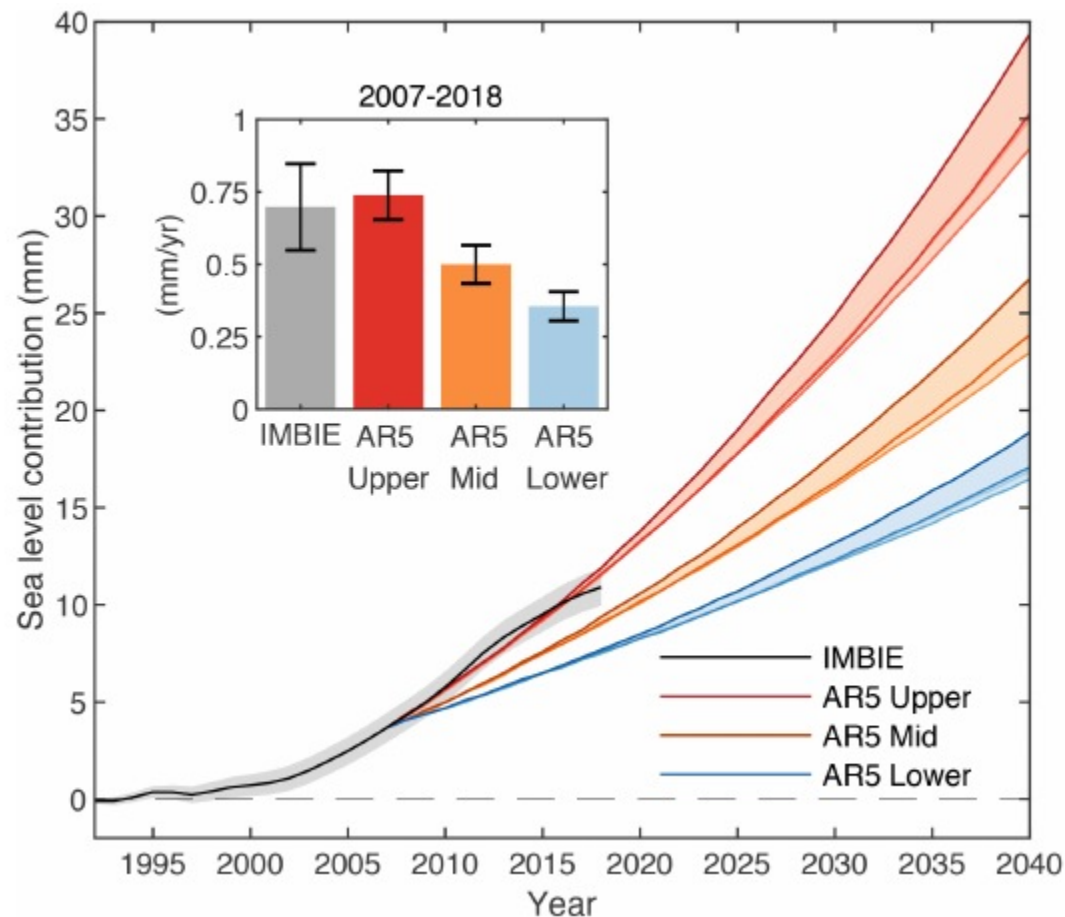
2. Climat présent

Evolution du bilan de masse total (1980-2018):



2. Climat présent

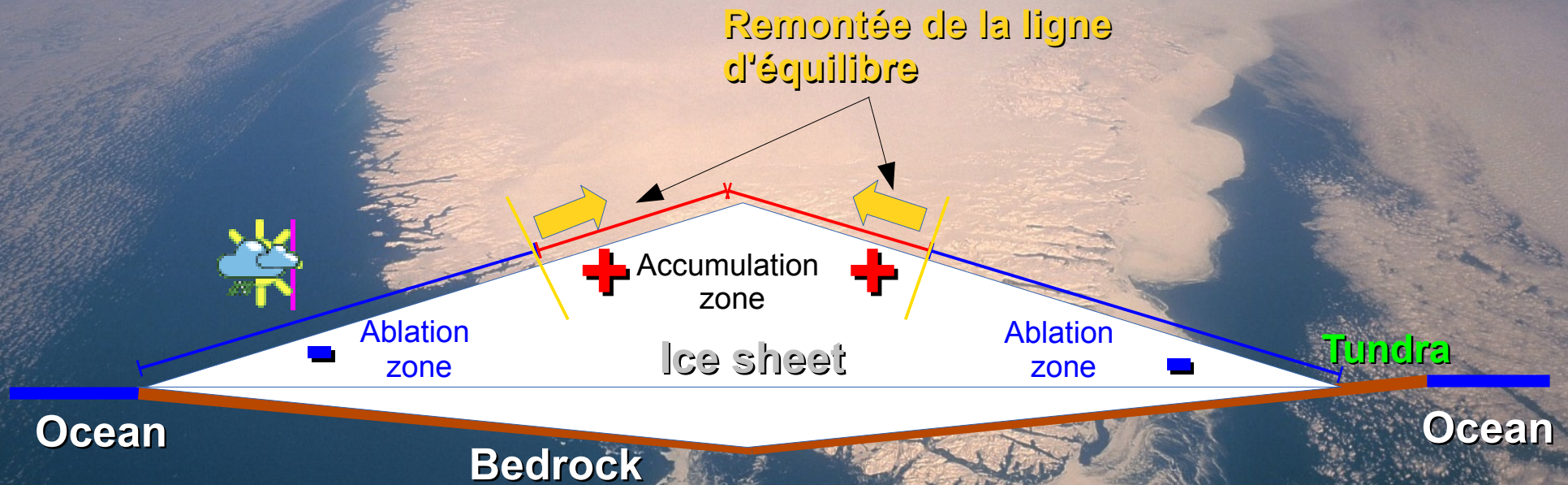
Evolution du bilan de masse total (1980-2018) (par rapport à ce qu'on projette)



On suit actuellement le pire des scénarios et avec 2019, on est au-delà.

3. Climat futur

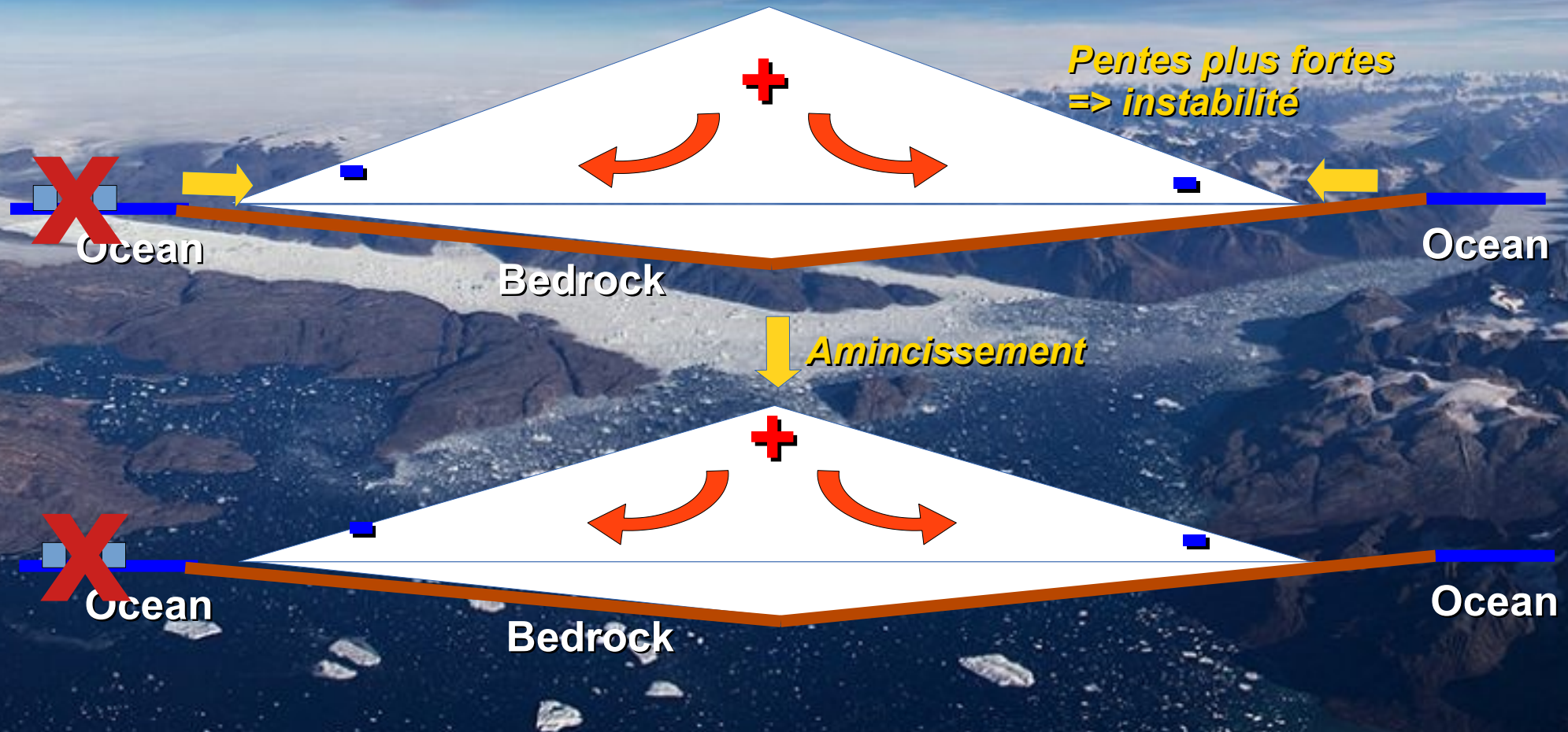
Dans un climat plus chaud: chute de neige + 5% par degré
fonte + 25% par degré



3. Climat futur

Avec la dynamique glaciaire

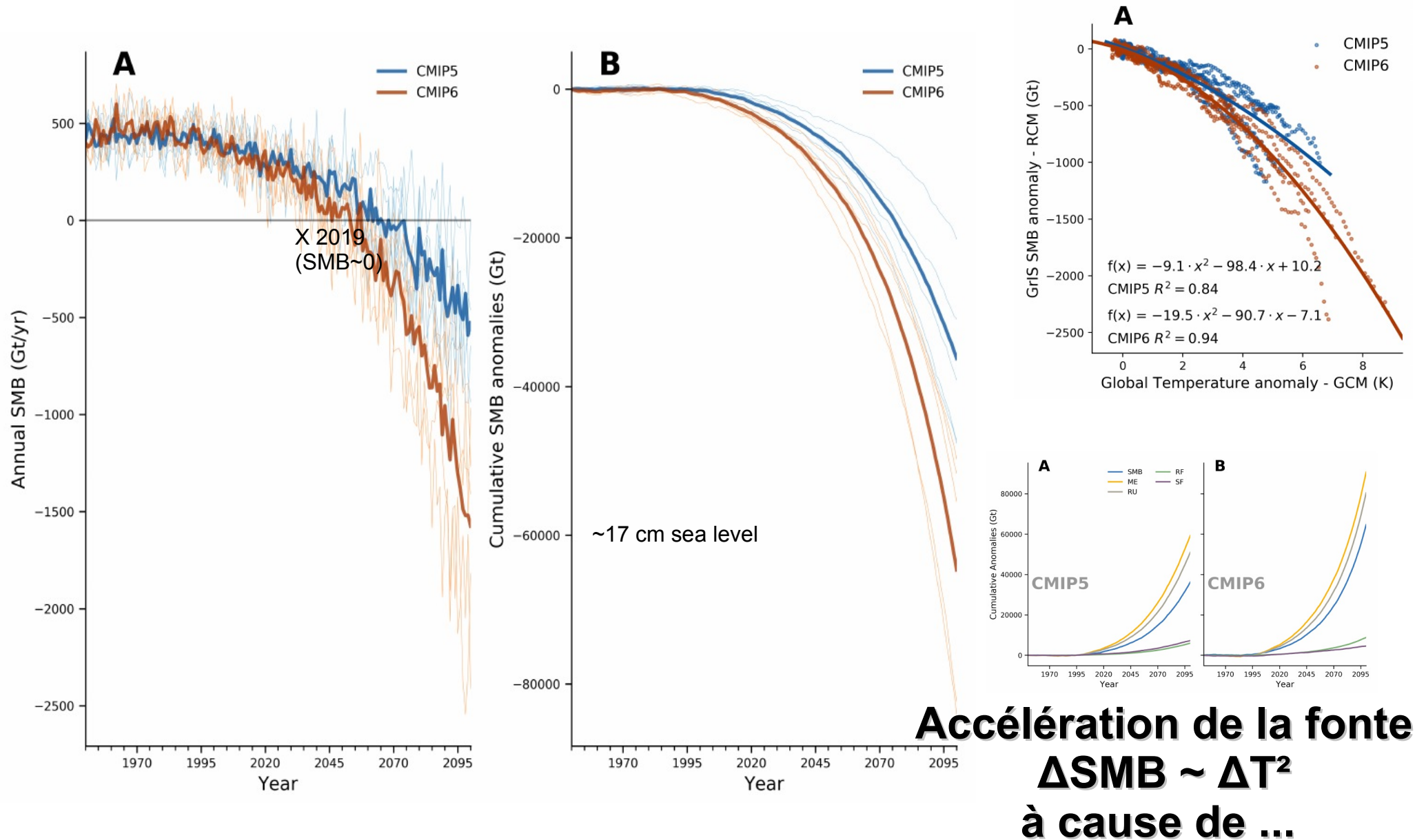
Retrait de la calotte des côtes (plus d'icebergs)
et amincissement de la calotte...



3. Climat futur

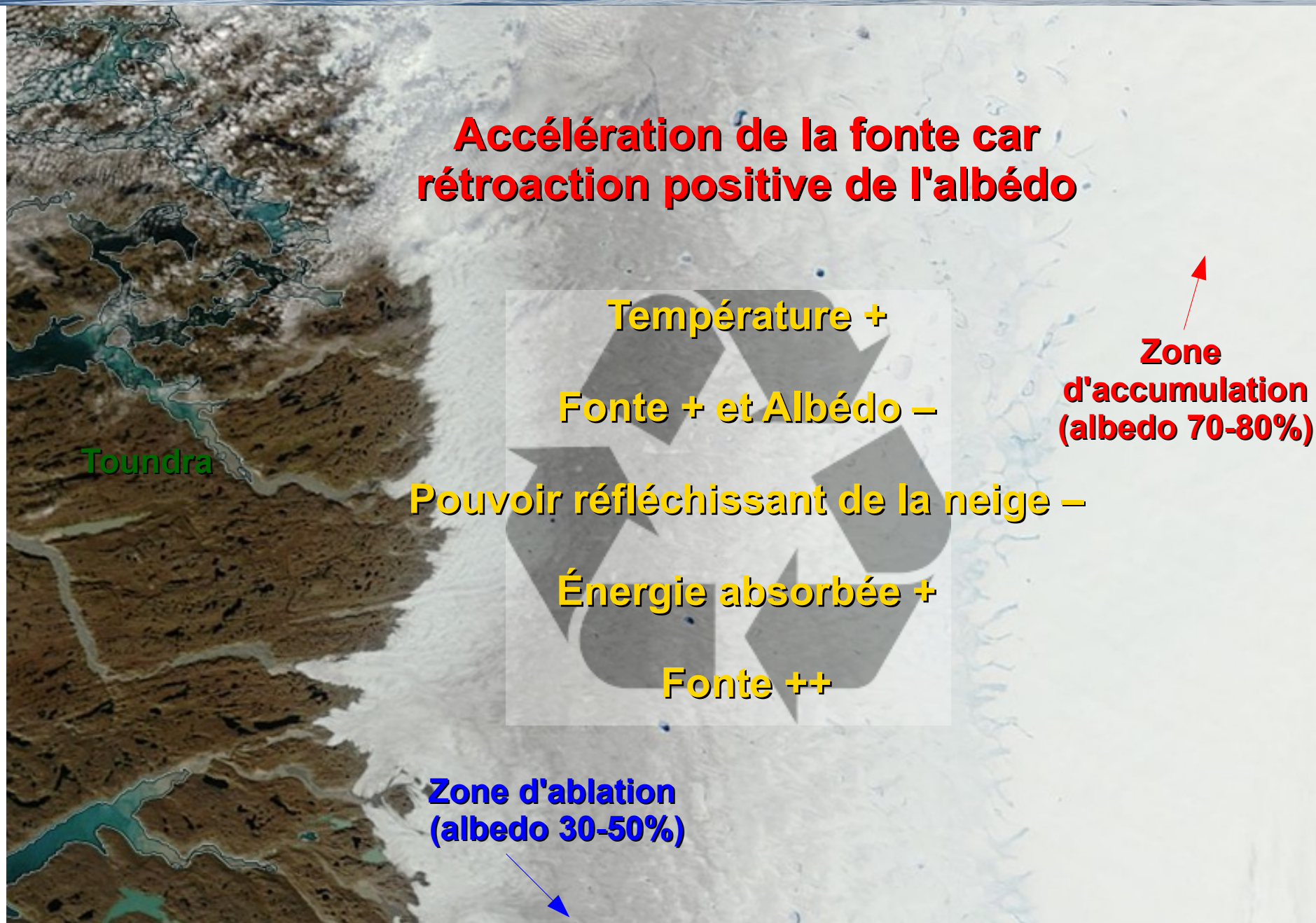
CMIP5: 5ème rapport du GIEC (2013)

CMIP6: 6ème rapport du GIEC (2021)



Source: Hofer et al., Nature CC, 2020

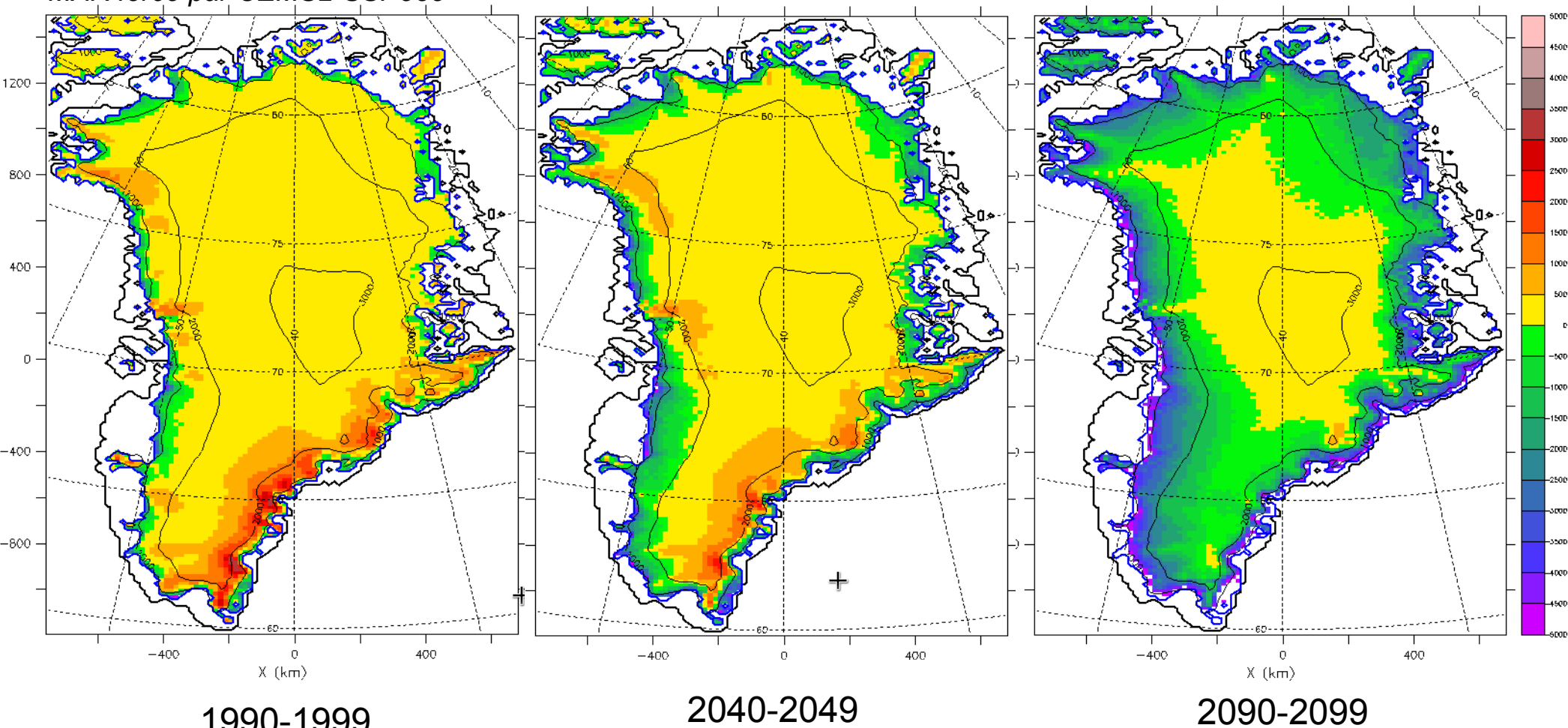
3. Climat futur



3. Climat futur

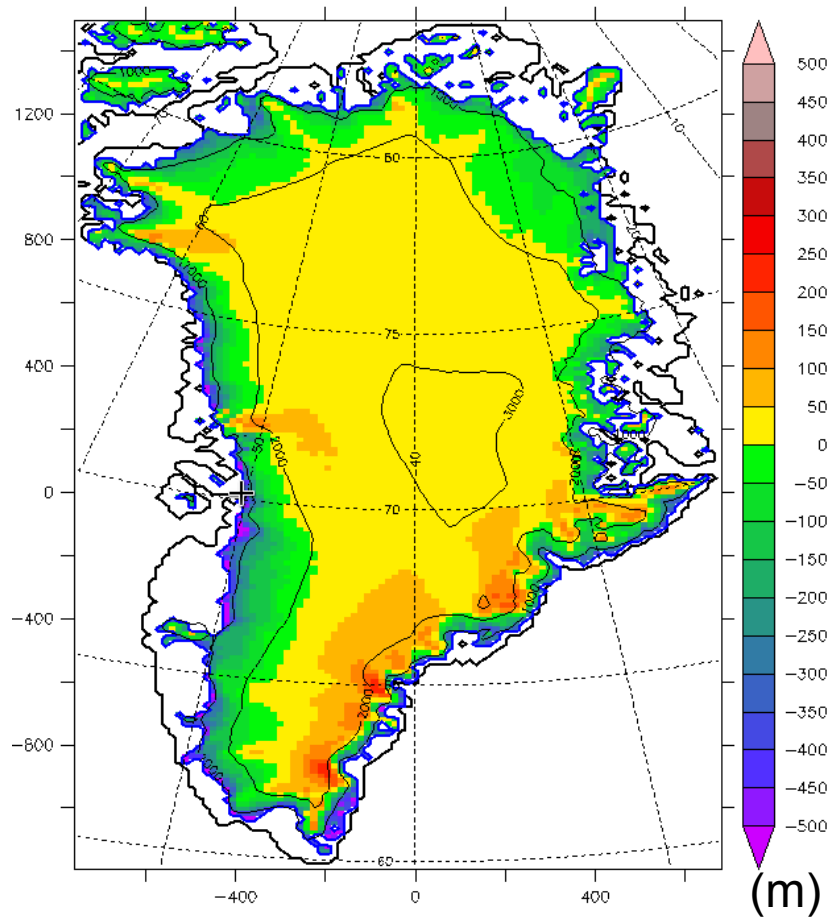
Bilan de masse en surface en

MAR forcé par CEMS2-SSP585



Emballlement de la fonte et disparition progressive de la zone d'accumulation

4. Rétroactions: fonte - élévation



Changement de hauteur cumulée de 2000 à 2100 suite à des anomalies de SMB

Température +
Fonte +
Élévation –
Température ++ (+1°C/100m)

En couplant MAR à un modèle de calotte, on a estimé que cela augmenterait la fonte de 10% mais en utilisant un scénario moyen
(Le Clech't et al., 2019)

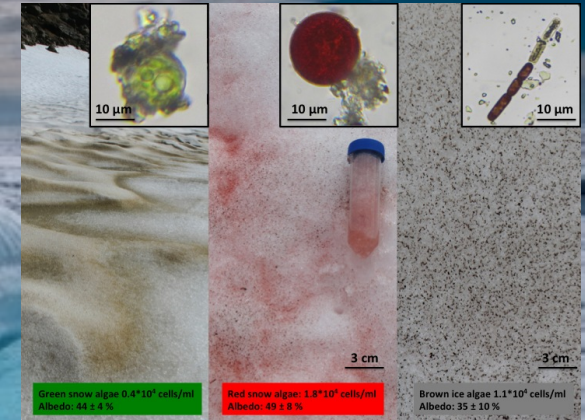
4. Rétroactions: fonte - albédo



Sous-estimation de la rétroaction albédo-fonte dans les modèles ??

Processus manquants dans les modèles

1. Écoulement de l'eau de fonte
2. Tenir compte des impuretés et formation d'algues



Glace couvert de particules fines "Carbone" ou de petites algues



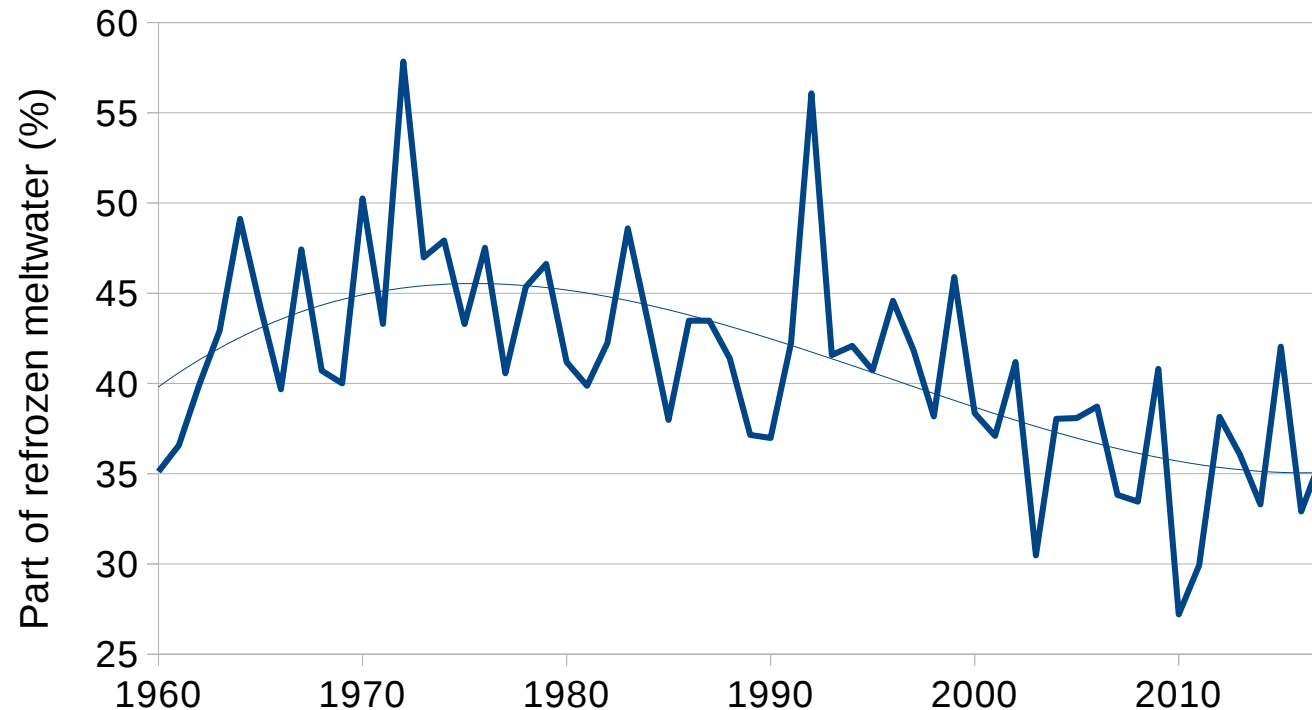
5. Incertitudes: rétention de l'eau de fonte

LETTER

doi:10.1038/nature11566

Greenland ice-sheet contribution to sea-level rise buffered by meltwater storage in firn

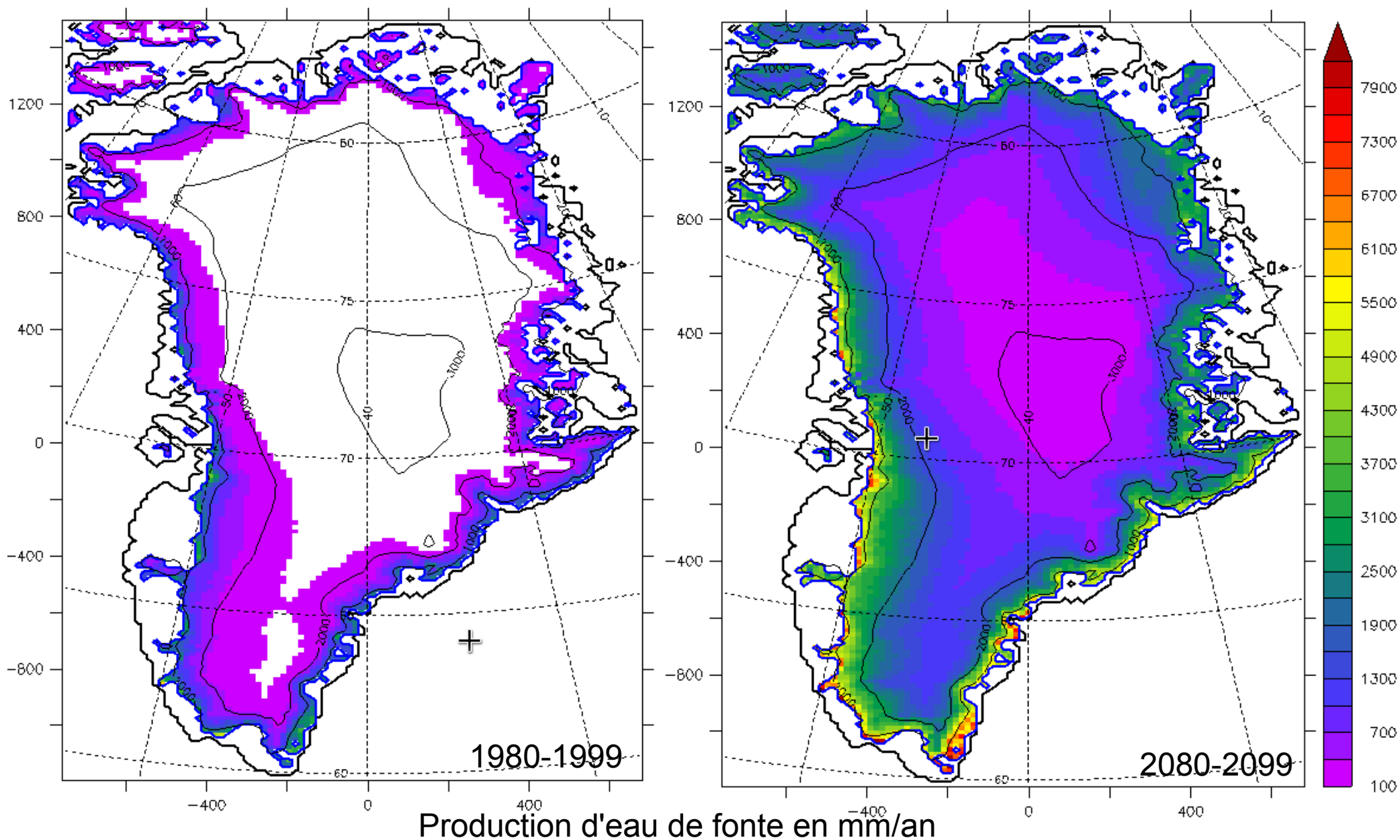
J. Harper¹, N. Humphrey², W. T. Pfeffer³, J. Brown¹ & X. Fettweis⁴



Jusqu'à présent, ~ 40% de l'eau de fonte est retenue par le manteau neigeux et regel pendant l'hiver sans contribuer à la hausse du niveau des mers.

=> Cette capacité de rétention est entrain de diminuer ...

5. Incertitudes: rétention de l'eau de fonte



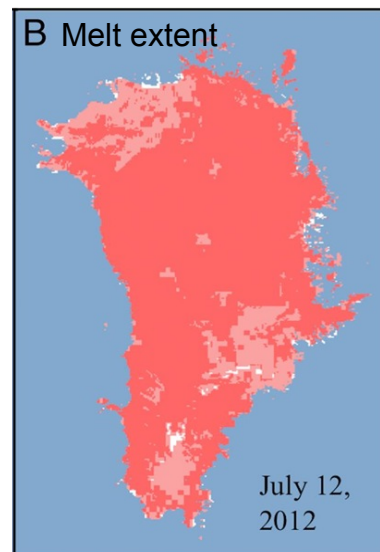
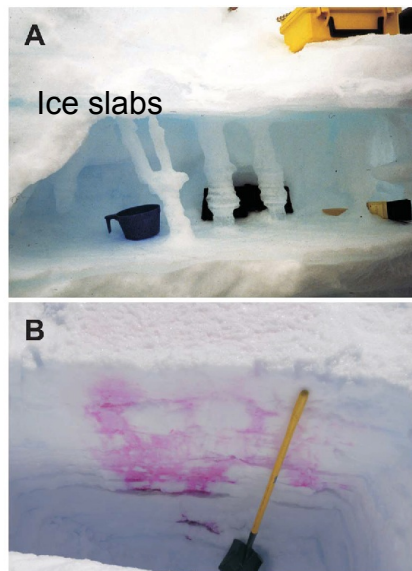
5. Incertitudes: rétention de l'eau de fonte

LETTER

<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1550-3>

Rapid expansion of Greenland's low-permeability ice slabs

M. MacFerrin^{1*}, H. Machguth^{2,3}, D. van As⁴, C. Charalampidis⁵, C. M. Stevens⁶, A. Heilig^{7,8,9}, B. Vandecrux^{4,10}, P. L. Langen¹¹, R. Mottram¹¹, X. Fettweis¹², M. R. van den Broeke¹³, W. T. Pfeffer¹⁴, M. S. Moussavi^{1,15} & W. Abdalati¹



=> formation de lentilles de glace

=> effet de mémoire dans le manteau neigeux

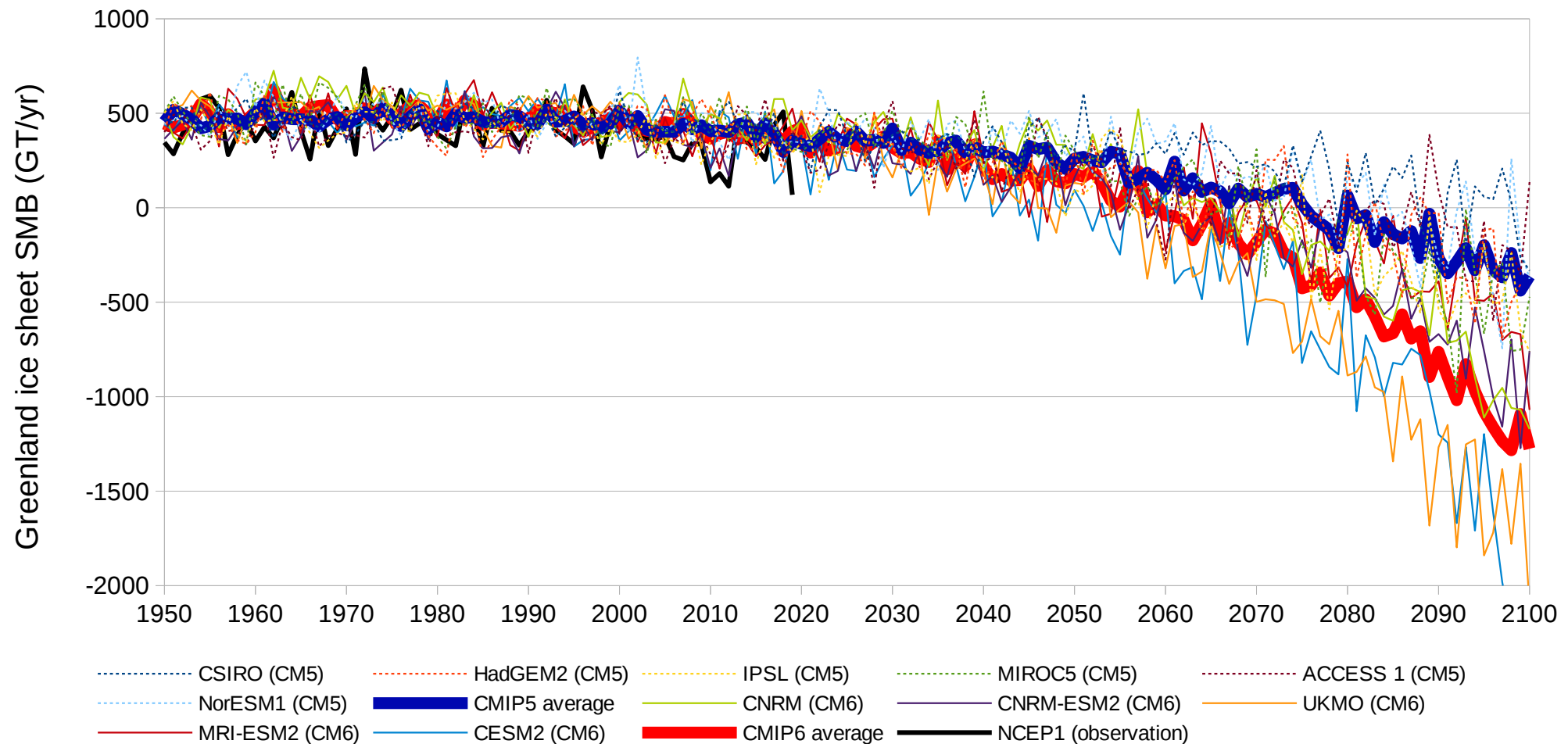
Est-ce que les modèles sur-estiment ou sous-estiment la capacité de rétention??

Décalage dans les projections de niveau des mers ?

5. Incertitudes: rétention de l'eau de fonte

Greenland ice sheet SMB (GT/yr)

as simulated by the MAR model from Uliège (X. Fettweis)



La variabilité observée du climat est plus grande que celle des modèles globaux.
2 années de fonte élevée ≠ année record puis année normale

5. Incertitudes: rôle des nuages ?

Dans la zone d'accumulation, la fonte est dirigée par le rayonnement infrarouge.

Dans la zone d'ablation, la fonte est dirigée par le rayonnement solaire.

Rôle des nuages:

- réchauffement dans la zone d'accumulation (effet de serre)**
- refroidissant dans la zone d'ablation (effet parasol)**

+ Nuages liquides (gris) vs nuages solides (blanc)

5. Incertitudes: rôle des nuages ?

27/41

5. Incertitudes: rôle des nuages ?

nature
climate change

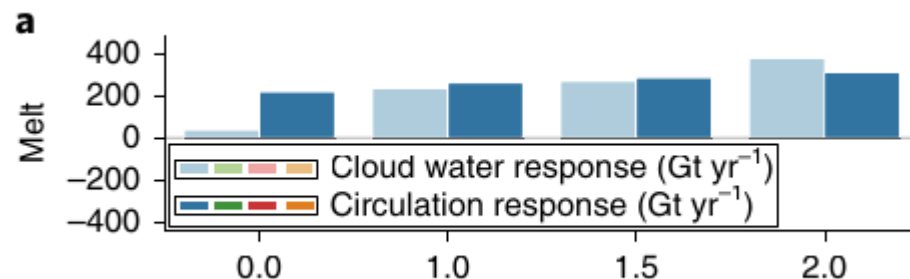
LETTERS

<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0507-8>

Cloud microphysics and circulation anomalies control differences in future Greenland melt

Stefan Hofer ^{1,2*}, Andrew J. Tedstone¹, Xavier Fettweis ² and Jonathan L. Bamber ¹

Les projections futures sont très sensibles aux changements de phases des nuages!



5. Incertitudes: changements de circulation ?

Clim Dyn (2011) 36:139–159
DOI 10.1007/s00382-010-0772-8

The Cryosphere, 12, 3287–3292, 2018
<https://doi.org/10.5194/tc-12-3287-2018>
© Author(s) 2018. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



The Cryosphere
Open Access
EGU

The 1958–2009 Greenland ice sheet surface melt and the mid-tropospheric atmospheric circulation

Xavier Fettweis · Georges Mabilie ·
Michel Erpicum · Samuel Nicolay ·
Michiel Van den Broeke

The Cryosphere, 7, 241–248, 2013
www.the-cryosphere.net/7/241/2013/
doi:10.5194/tc-7-241-2013
© Author(s) 2013. CC Attribution 3.0 License.



Brief communication: Recent changes in summer Greenland blocking captured by none of the CMIP5 models

Edward Hanna¹, Xavier Fettweis², and Richard J. Hall¹

¹School of Geography and Lincoln Centre for Water and Planetary Health, University of Lincoln, Lincoln, UK

²Laboratory of Climatology, Department of Geography, University of Liège, Liège, Belgium

Brief communication

“Important role of the mid-tropospheric atmospheric circulation in the recent surface melt increase over the Greenland ice sheet”

X. Fettweis¹, E. Hanna², C. Lang¹, A. Belleflamme¹, M. Erpicum¹, and H. Gallée³

¹Laboratory of Climatology, Department of Geography, University of Liège, n°2 Allé du 6 Aout, 4000, Liège, Belgium

²Department of Geography, University of Sheffield, Winter Street, S10 2TN, Sheffield, UK

³Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE), n°54 Rue Molière, 38402, Grenoble, France

The Cryosphere, 12, 3409–3418, 2018
<https://doi.org/10.5194/tc-12-3409-2018>
© Author(s) 2018. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



<https://doi.org/10.5194/tc-2019-332>
Preprint. Discussion started: 10 February 2020
© Author(s) 2020. CC BY 4.0 License.



The Cryosphere
Discussions
Open Access
EGU

Brief communication: Impact of the recent atmospheric circulation change in summer on the future surface mass balance of the Greenland Ice Sheet

Alison Delhasse¹, Xavier Fettweis¹, Christoph Kittel¹, Charles Amory¹, and Cécile Agosta^{1,2}

¹Laboratory of Climatology, Department of Geography, University of Liège, Liège, Belgium

²Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette, France

Brief communication: CMIP6 does not suggest any circulation change over Greenland in summer by 2100

Alison Delhasse¹, Edward Hanna², Christoph Kittel¹, and Xavier Fettweis¹

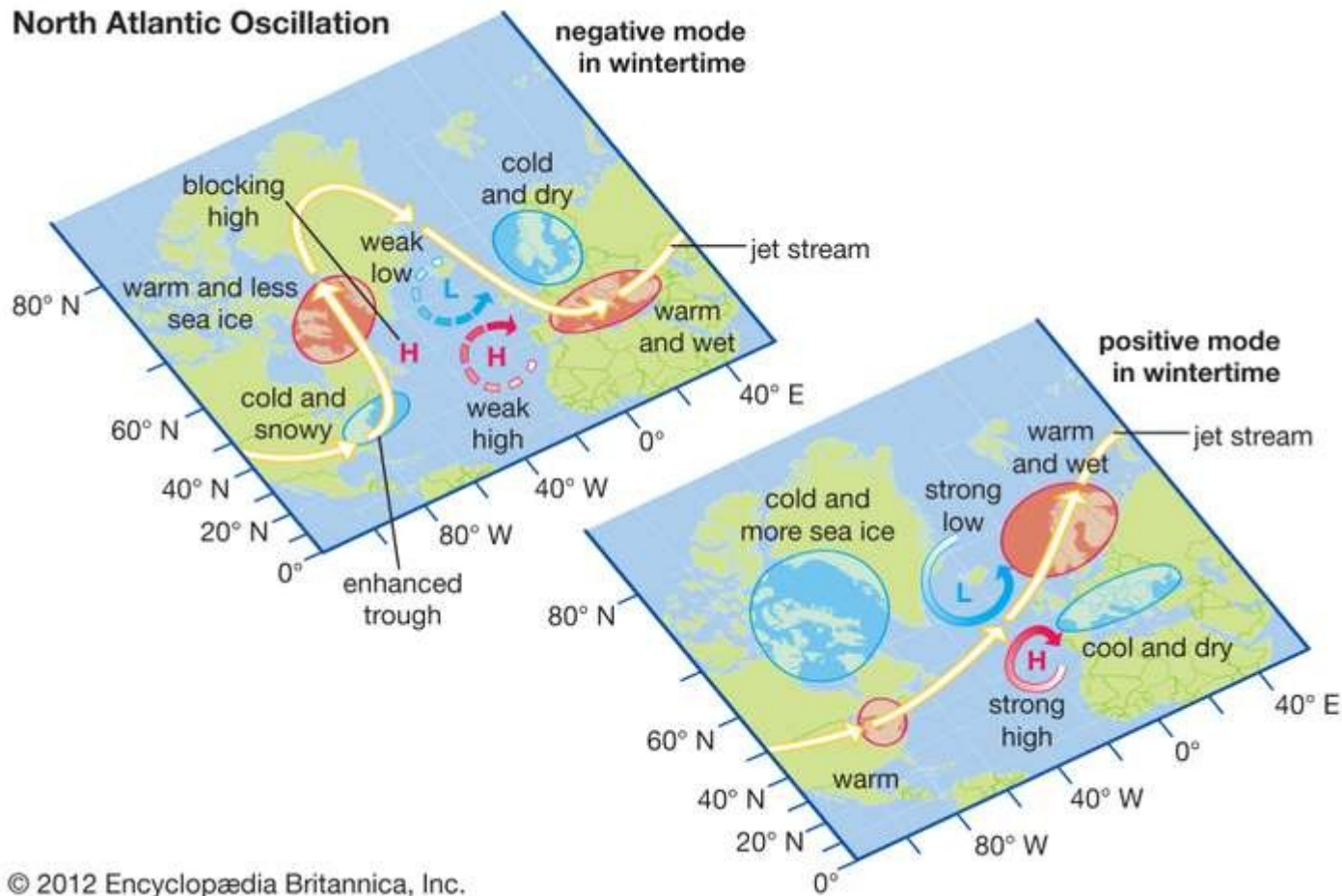
¹Laboratory of Climatology, Department of Geography, SPHERES, University of Liège, Liège, Belgium

²School of Geography and Lincoln Centre for Water and Planetary Health, University of Lincoln, Lincoln, UK

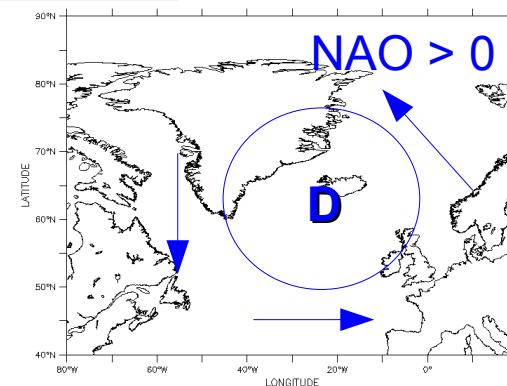
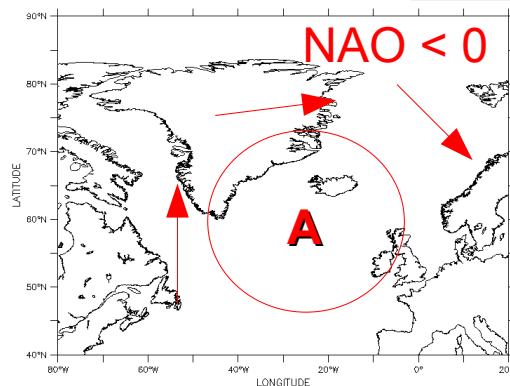
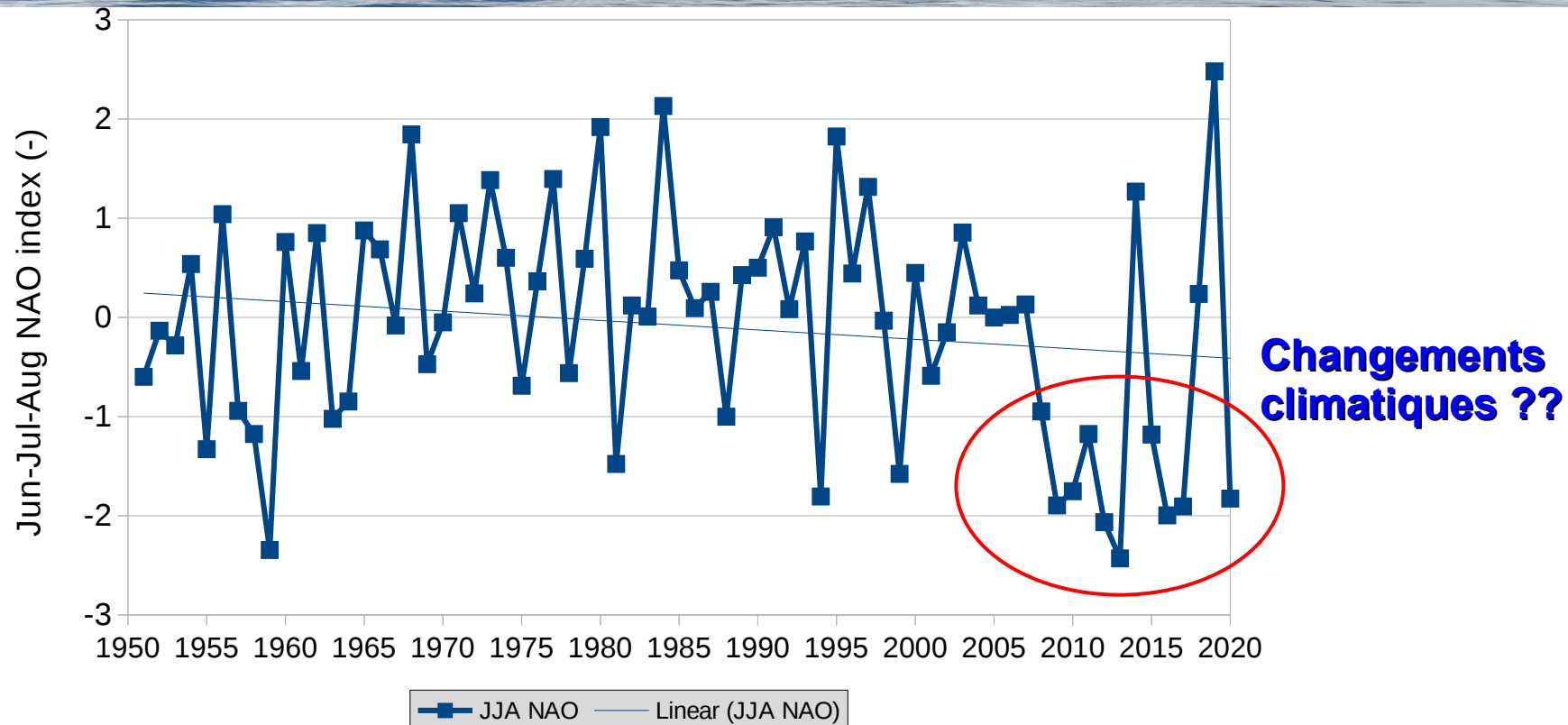
Correspondence to: Alison Delhasse (alison.delhasse@uliege.be)

5. Incertitudes: changements de circulation ?

Indice NAO: différence normalisée entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande.



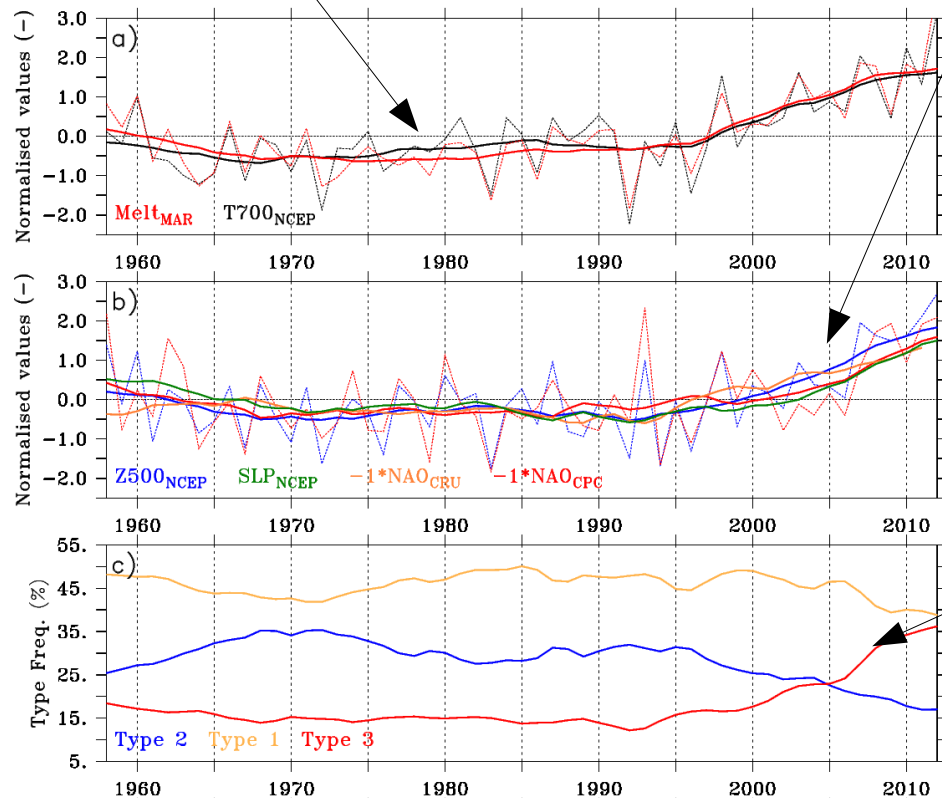
5. Incertitudes: changements de circulation ?



NAO = Oscillation Nord Atlantique = différence normalisée entre la Dépression d'Islande et l'Anticyclone des Açores

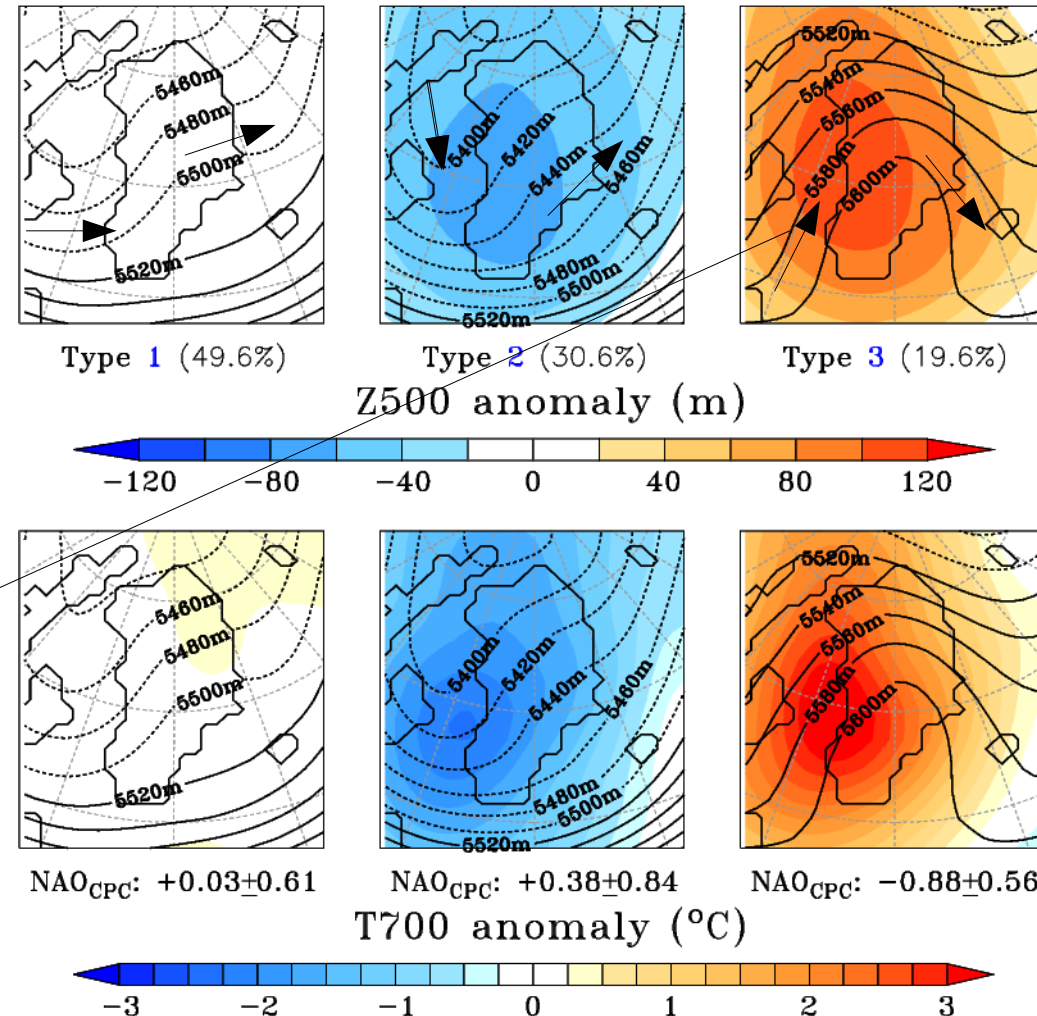
5. Incertitudes: changements de circulation ?

fonte ~ JJA T700



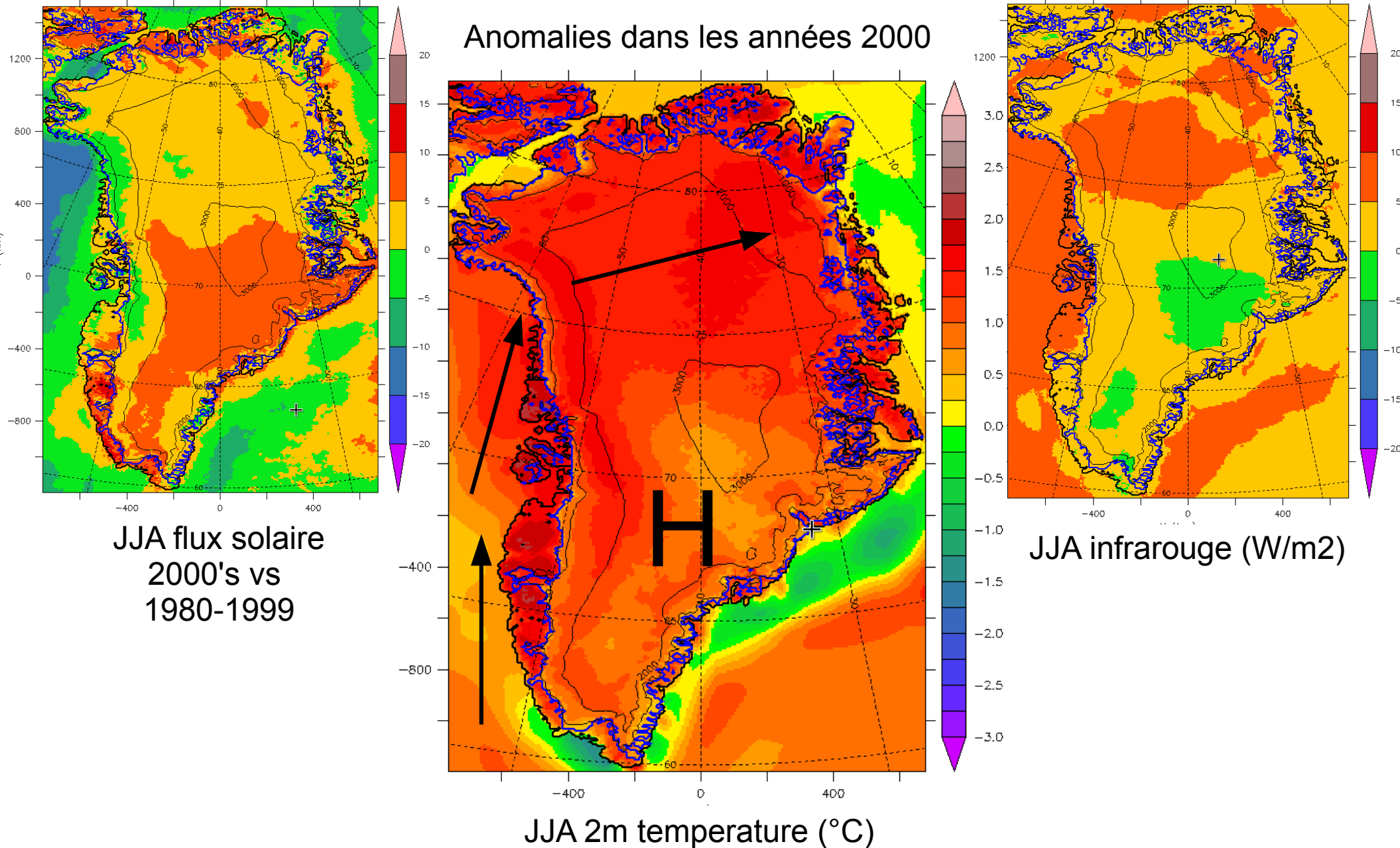
Fonte anti-corrélée à la NAO!

Classification des types de temps



T700 = température à 700hPa (~3000m)
 Z500 = géopotentiel à 500hPa (~5000m)
 = altitude du champ de pression 500hPa

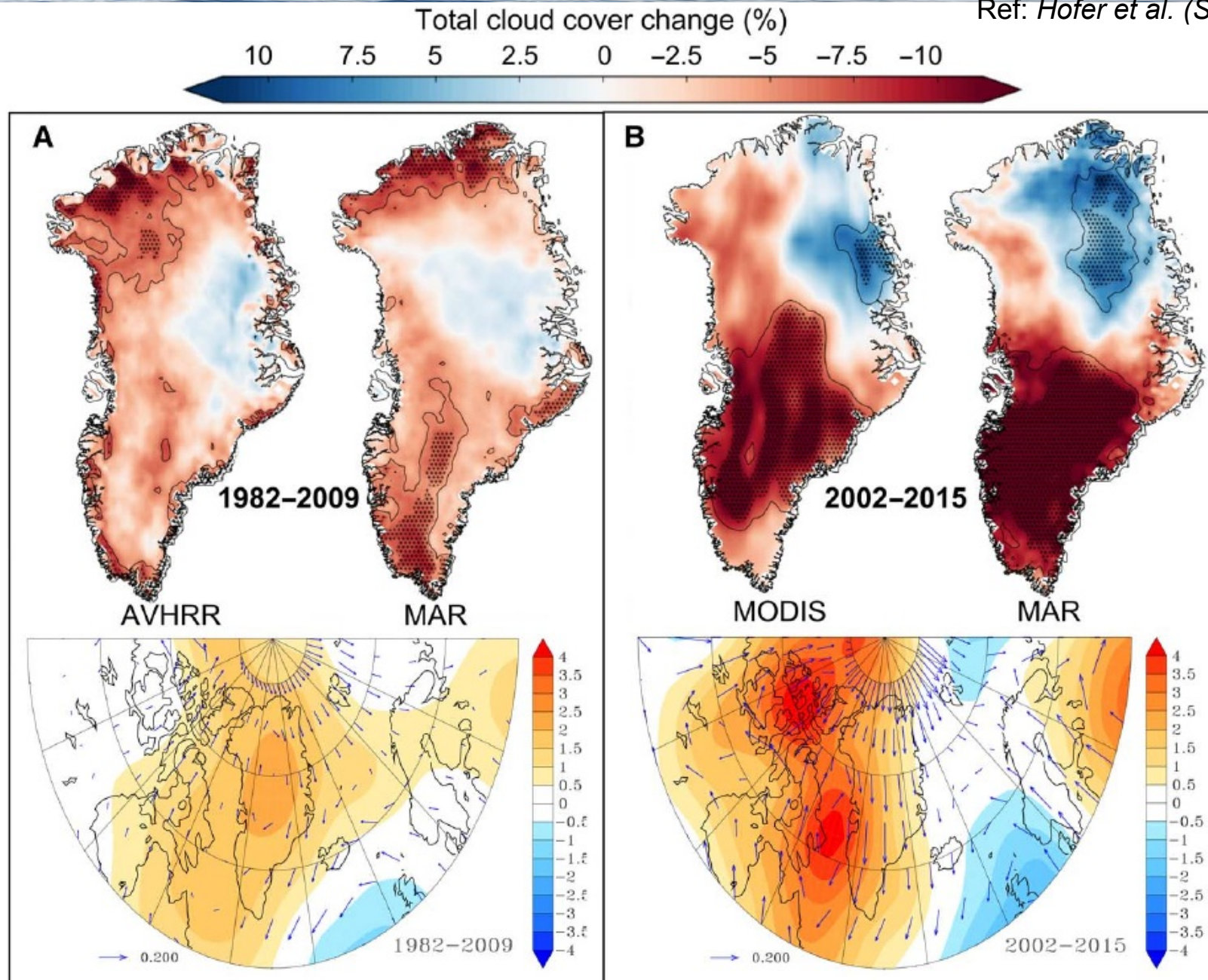
5. Incertitudes: changements de circulation ?



5. Incertitudes: changements de circulation ?

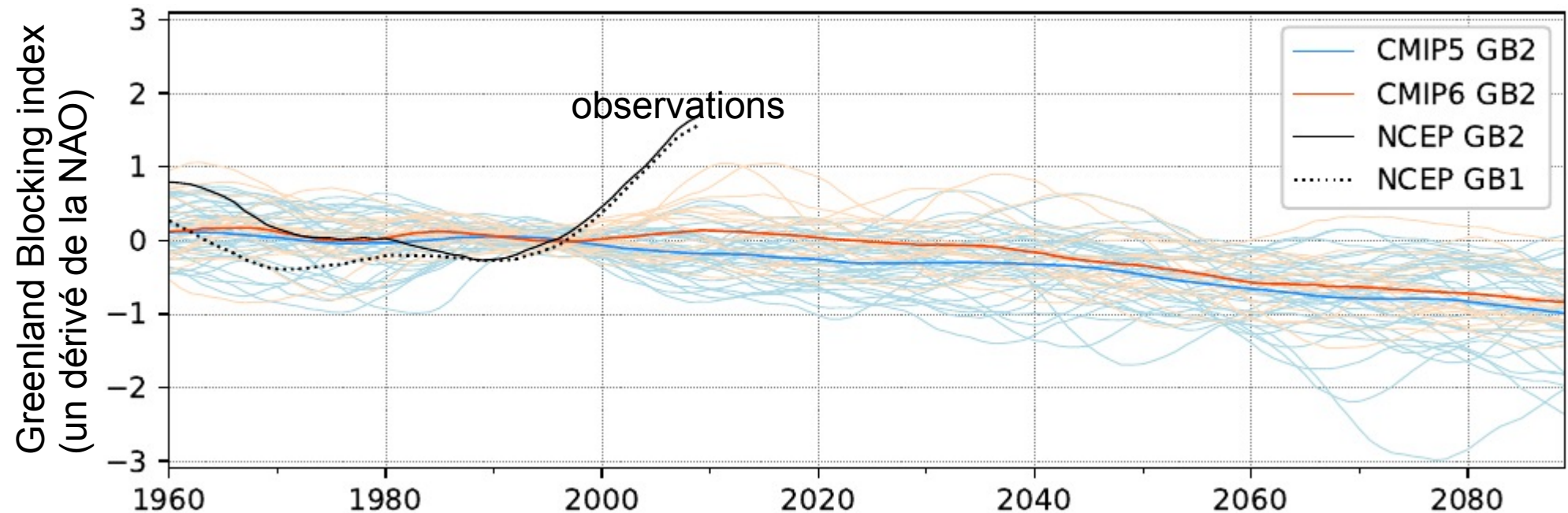
Ref: Hofer et al. (Sciences, 2017)

Tendance de la nébulosité et du JJA Z500



5. Incertitudes: changements de circulation ?

Ces changements de circulations ne sont à priori pas prévus par les modèles!



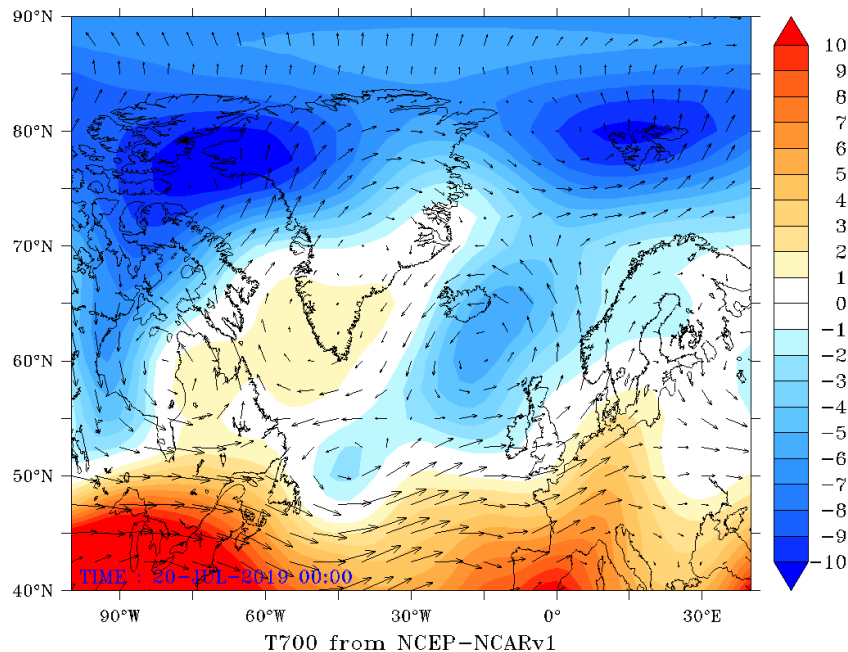
Qui a raison ?

Est-ce dû à la variabilité du climat ou induit par le réchauffement global ?

5. Incertitudes: changements de circulation ?

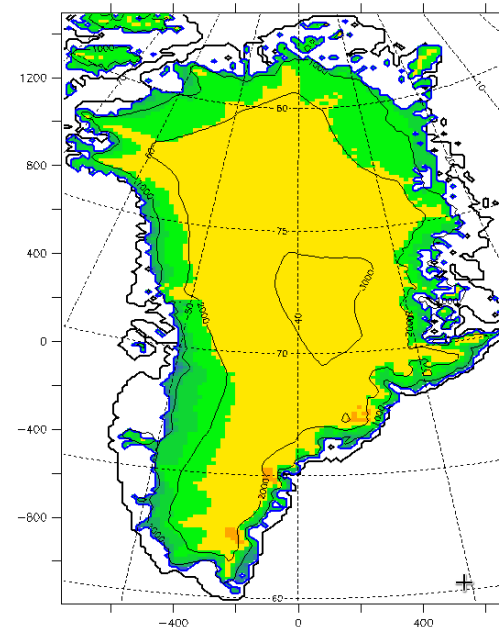
**Si les changements de circulation continuent en été,
le fonte du Groenland est à multiplier par 2 (Delhasse et al., 2019)!**

Juillet 2019:
40°C en Belgique puis
fonte record au Groenland

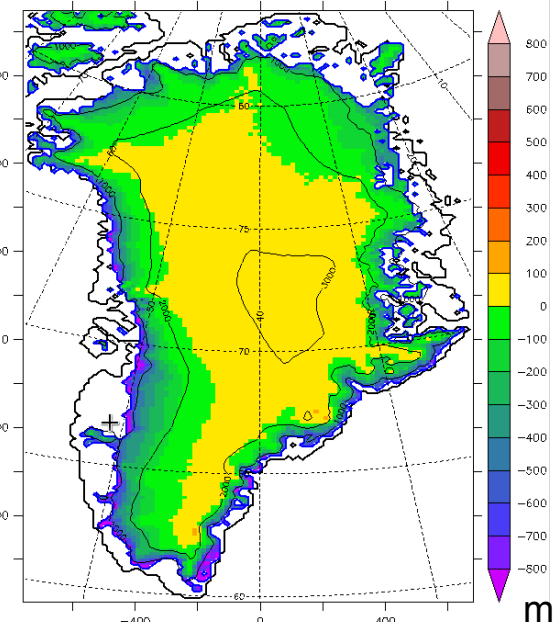


Changements d'altitude en 2100:

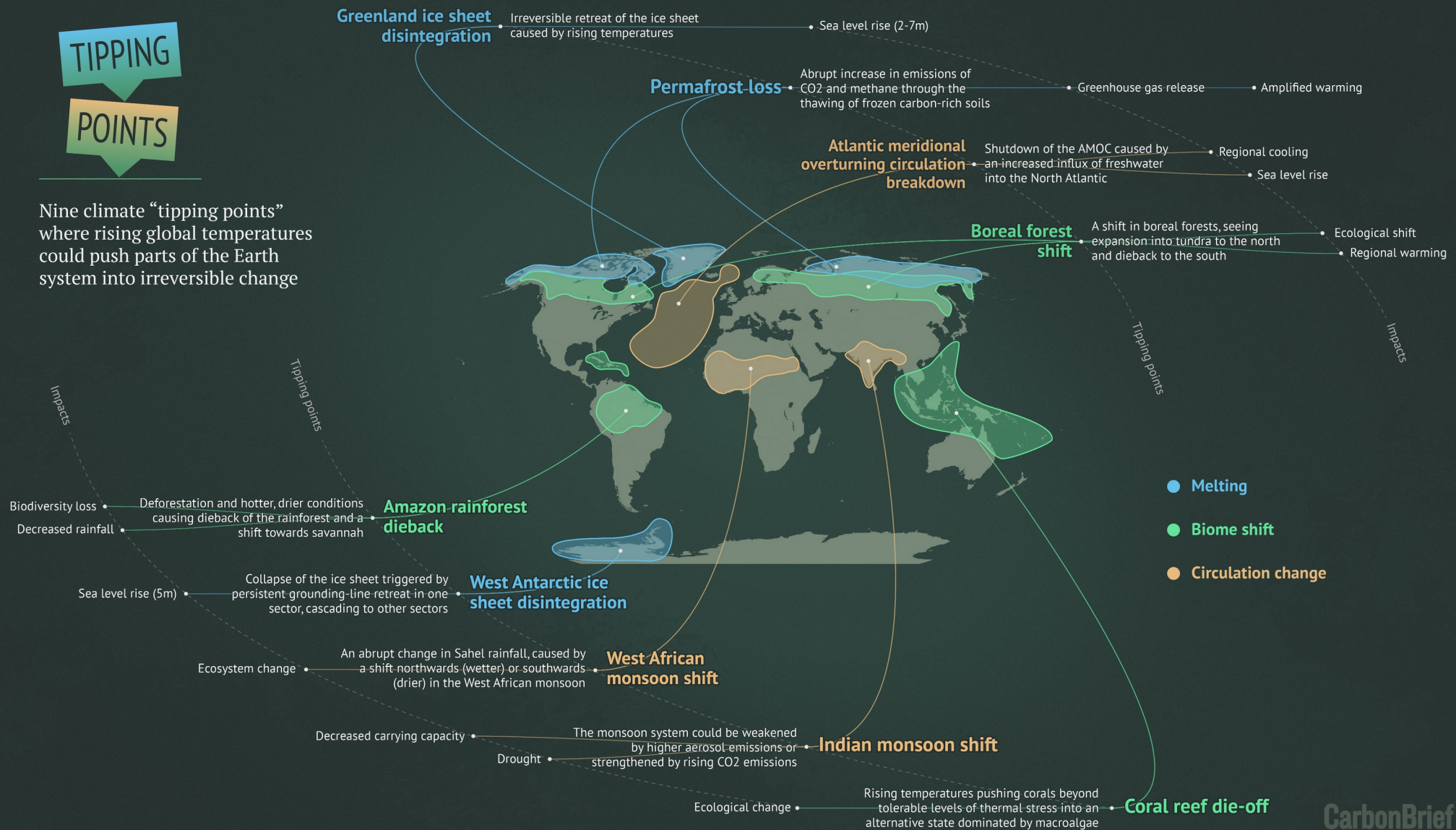
Circulation normale



Circulation actuelle

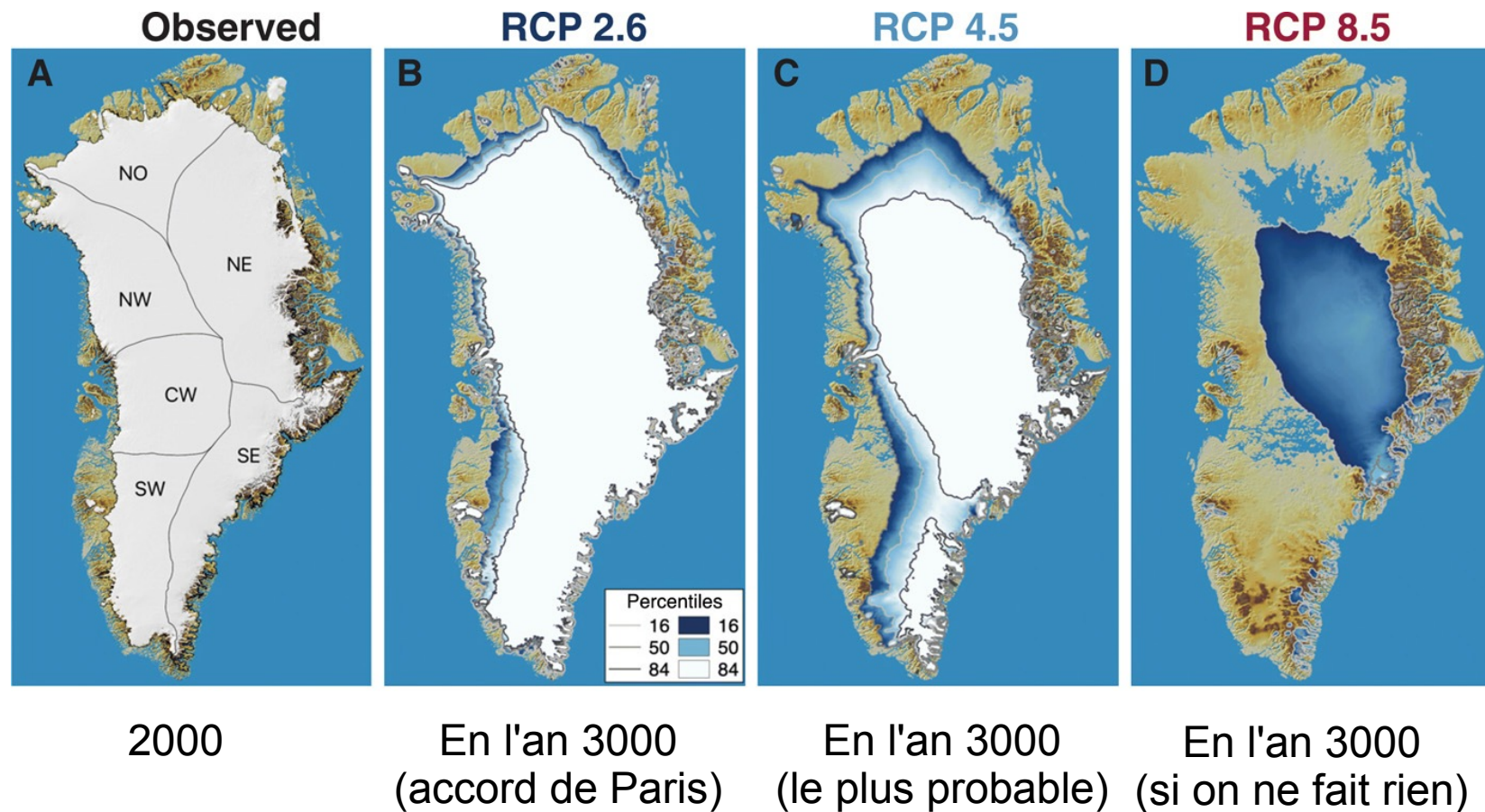


6. Points de non-retour



6. Points de non-retour

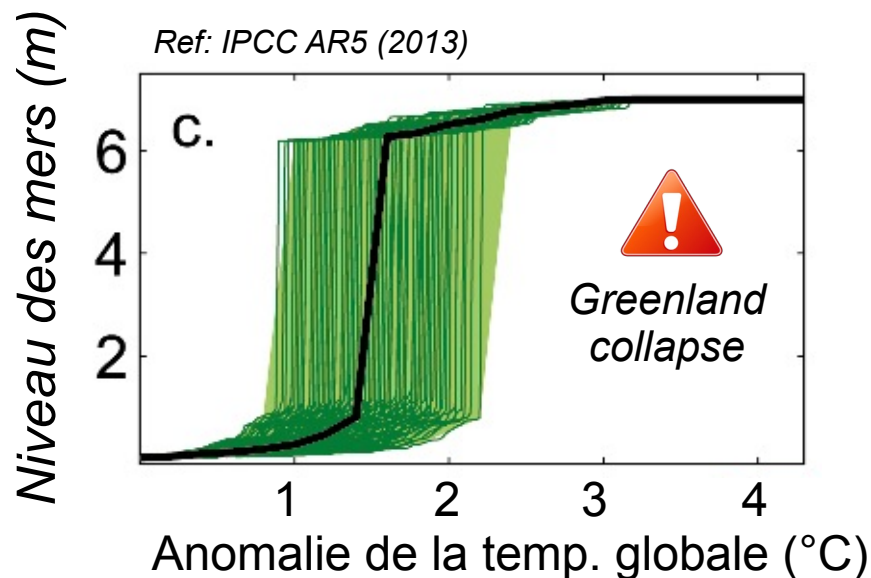
Point de non-retour de la calotte = si la calotte fond de trop, elle ne pourra plus se reconstruire même si on revient à un climat "normal"



Ref: Aschwanden et al. (2019)

6. Points de non-retour

Température seuil = $\sim +1-2^{\circ}\text{C}$ pendant 1000 ans (IPCC AR5)
= $\sim +2-3^{\circ}\text{C}$ pendant 1000 ans (dernières estimations)



Point de non-retour atteint avant 2100 ?

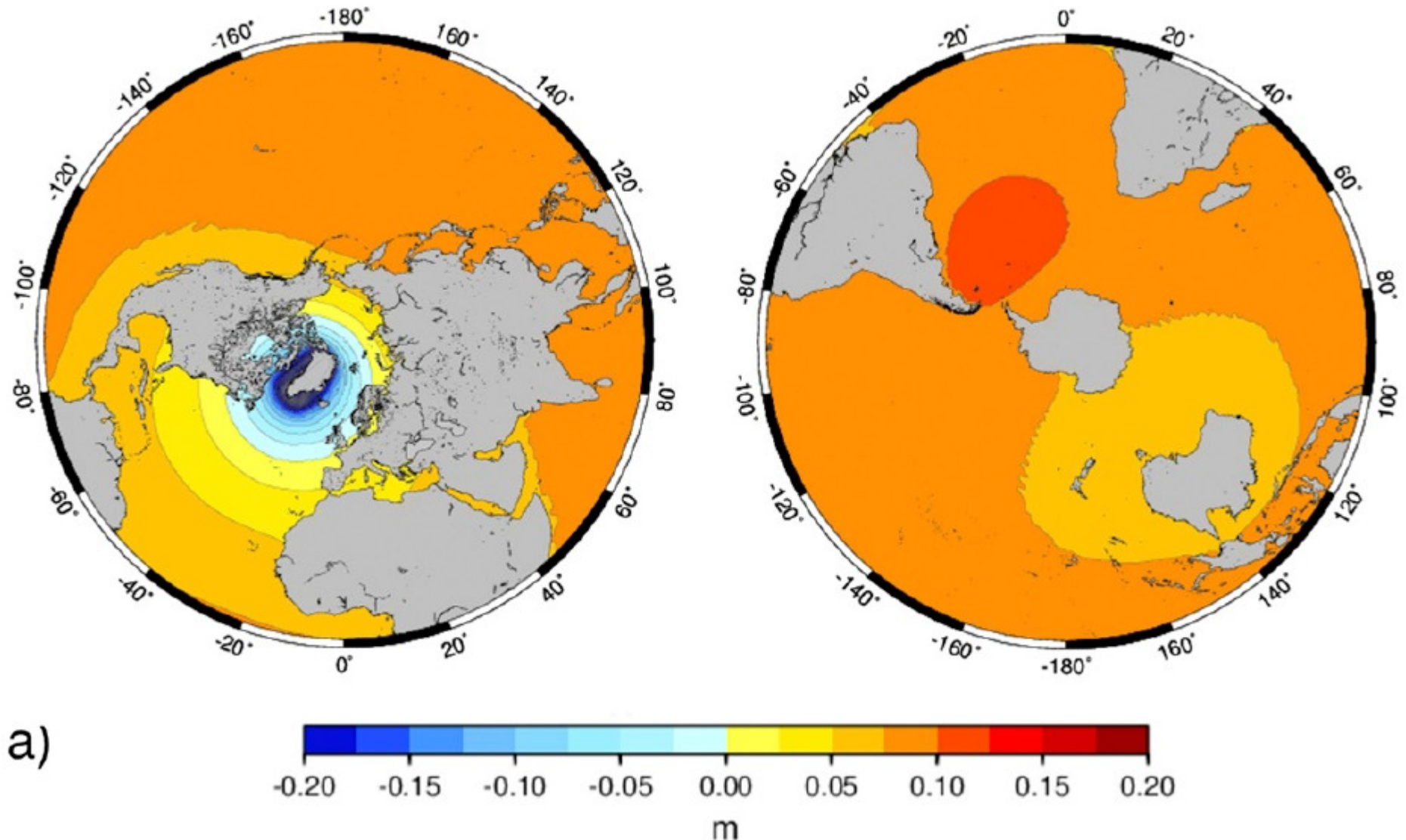
oui c'est très probable si on ne fait rien (scénario SSP585).

Point de non-retour atteint en 2050 ??

oui c'est possible si changements de circulation et si les modèles surestiment la capacité de rétention et l'albédo de la glace vive.

6. Points de non-retour

Où va aller l'eau de fonte du Groenland?



La Flandre sous eau si le seuil est atteint ? A priori pas à cause du Groenland ...

La fonte (partielle) de la calotte du Groenland est inévitable et risque de s'emballer!

Un seuil de non-retour pourrait être atteint avant 2100 dans le pire des cas! Mais tout OK si on se limite à $< +2^{\circ}\text{C}$.

Mais quid de

- la capacité de rétention de la calotte?
- des nuages?
- des changements de circulation?
- de la durée du réchauffement climatique?
- de la variabilité du climat?

Bref, beaucoup reste encore à découvrir pour diminuer toutes ces incertitudes et préparer notre future.



Merci pour votre attention

(...et pour vos actions en faveur du climat!)