

Modélisation des calottes polaires, quels challenges?

GILLET-CHAULET Fabien, Equipe EDGe

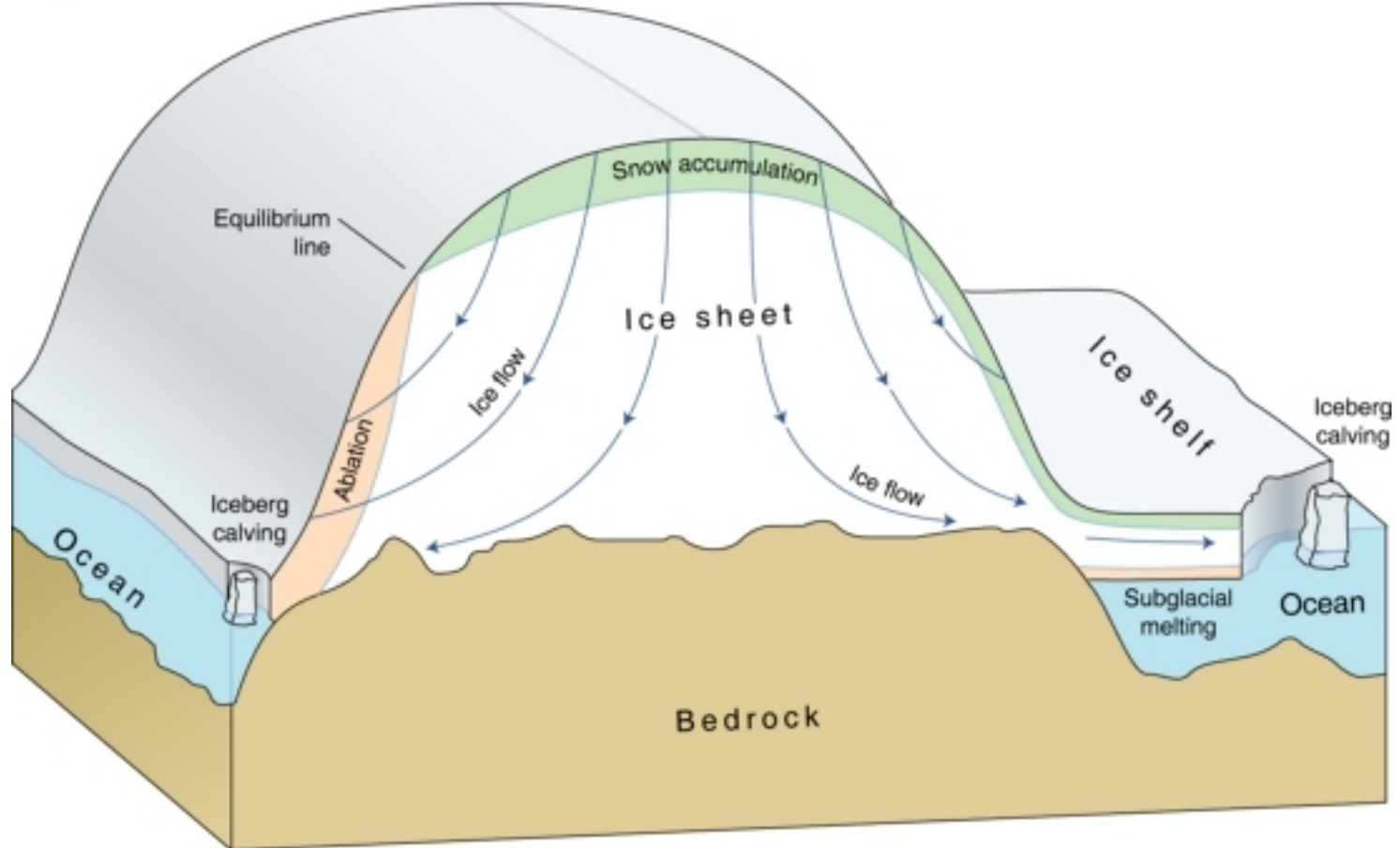
LGGE, CNRS/UJF-Grenoble



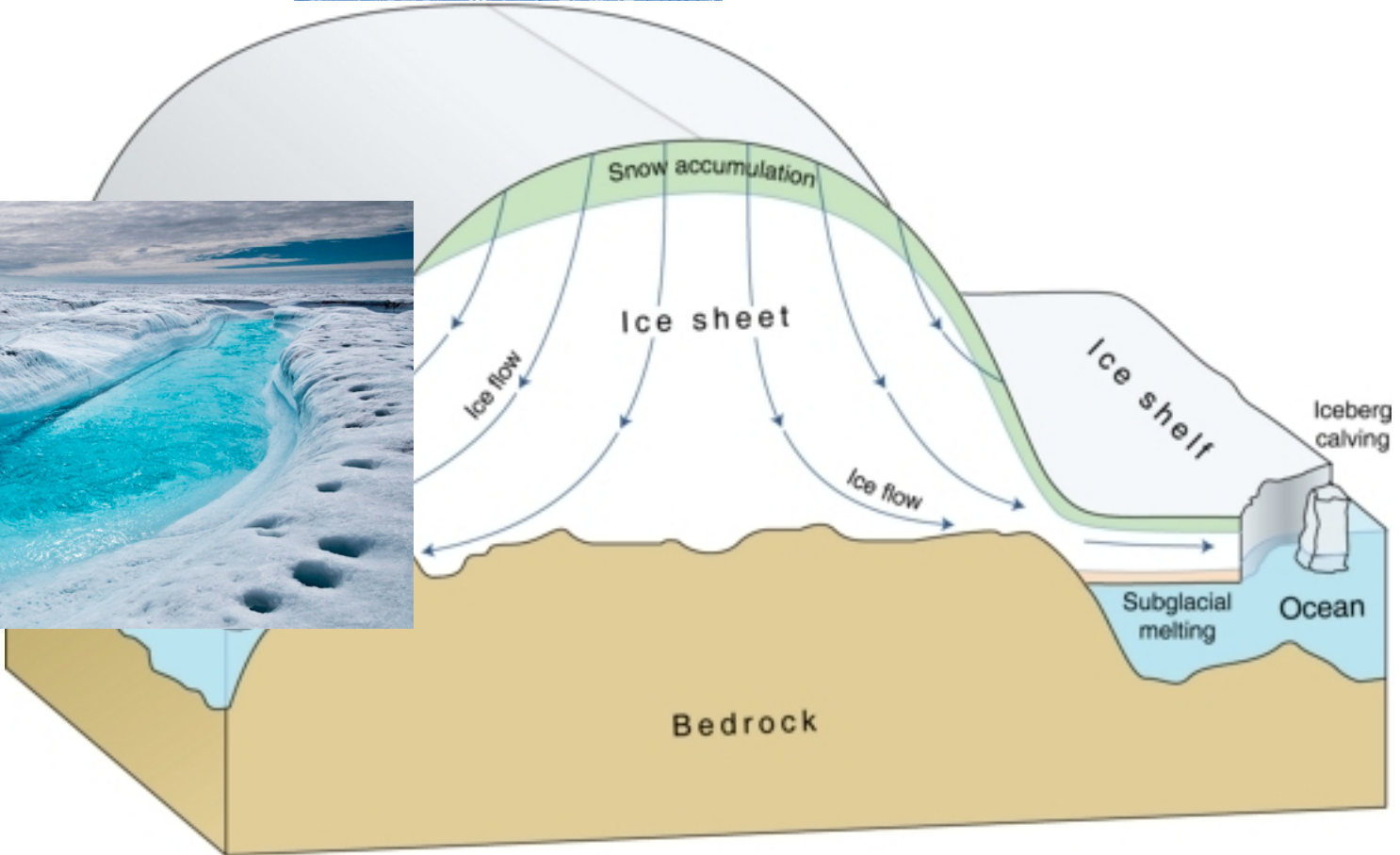
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement



Accumulation de neige



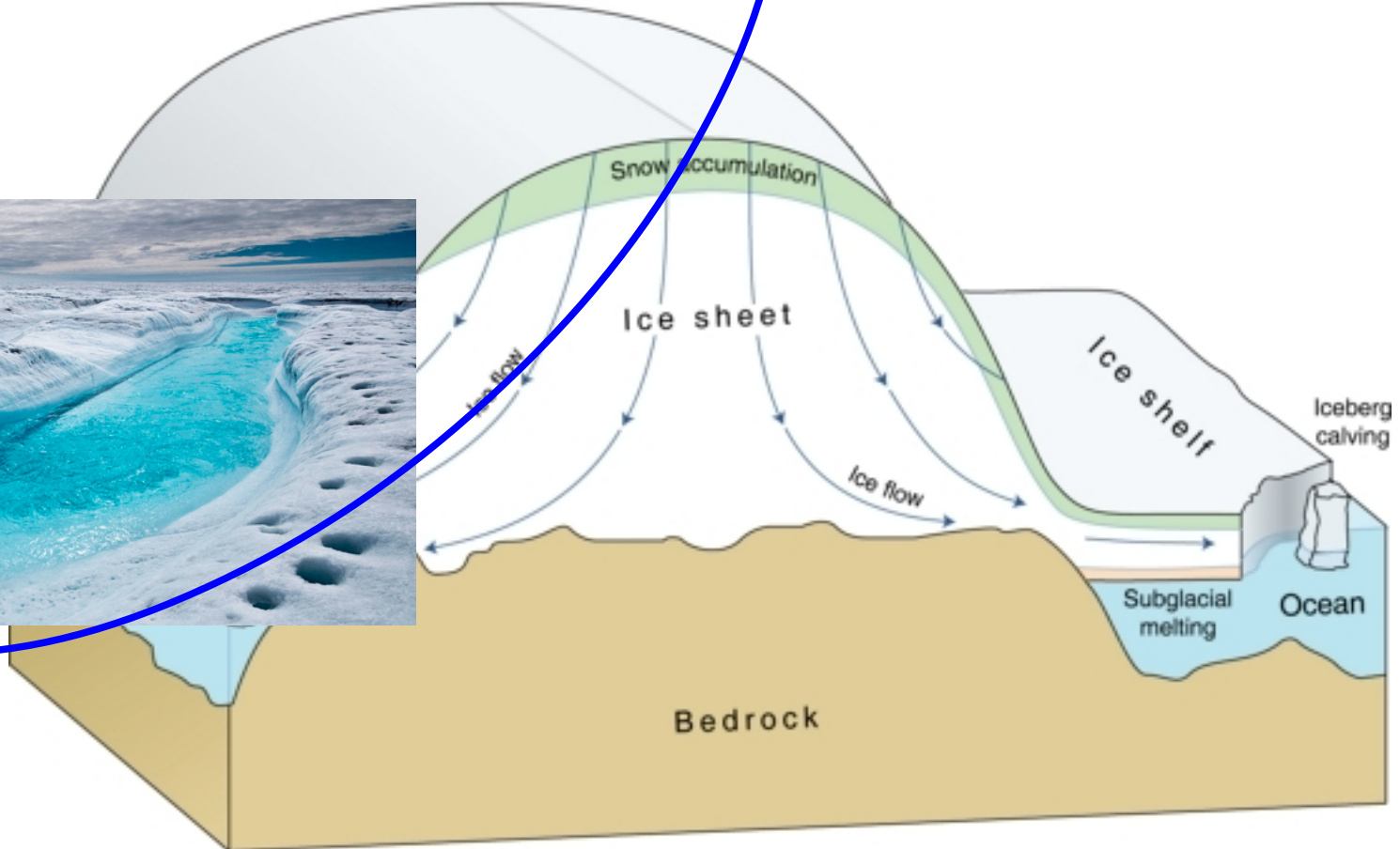
Fonte de surface



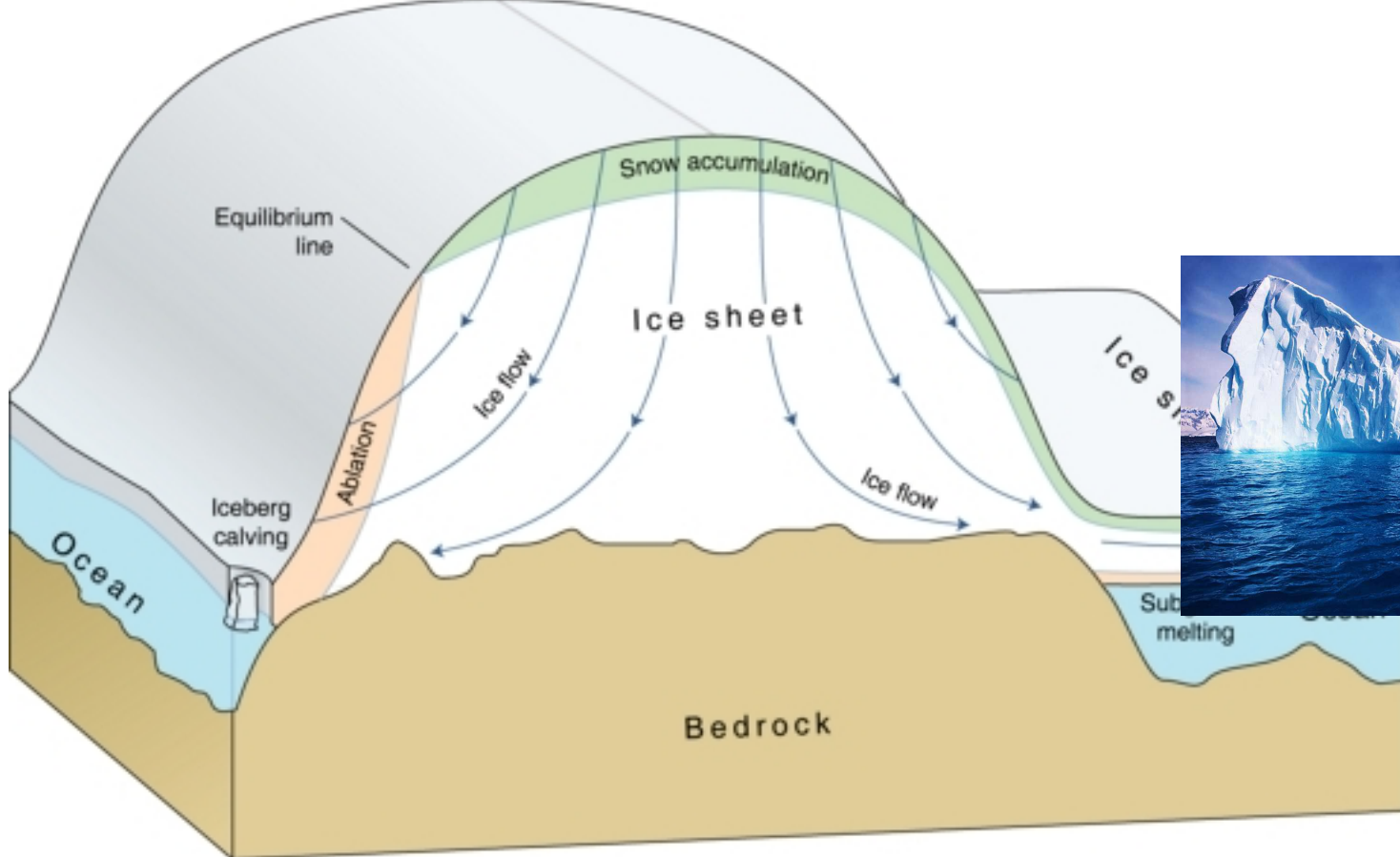
Bilan de masse de surface



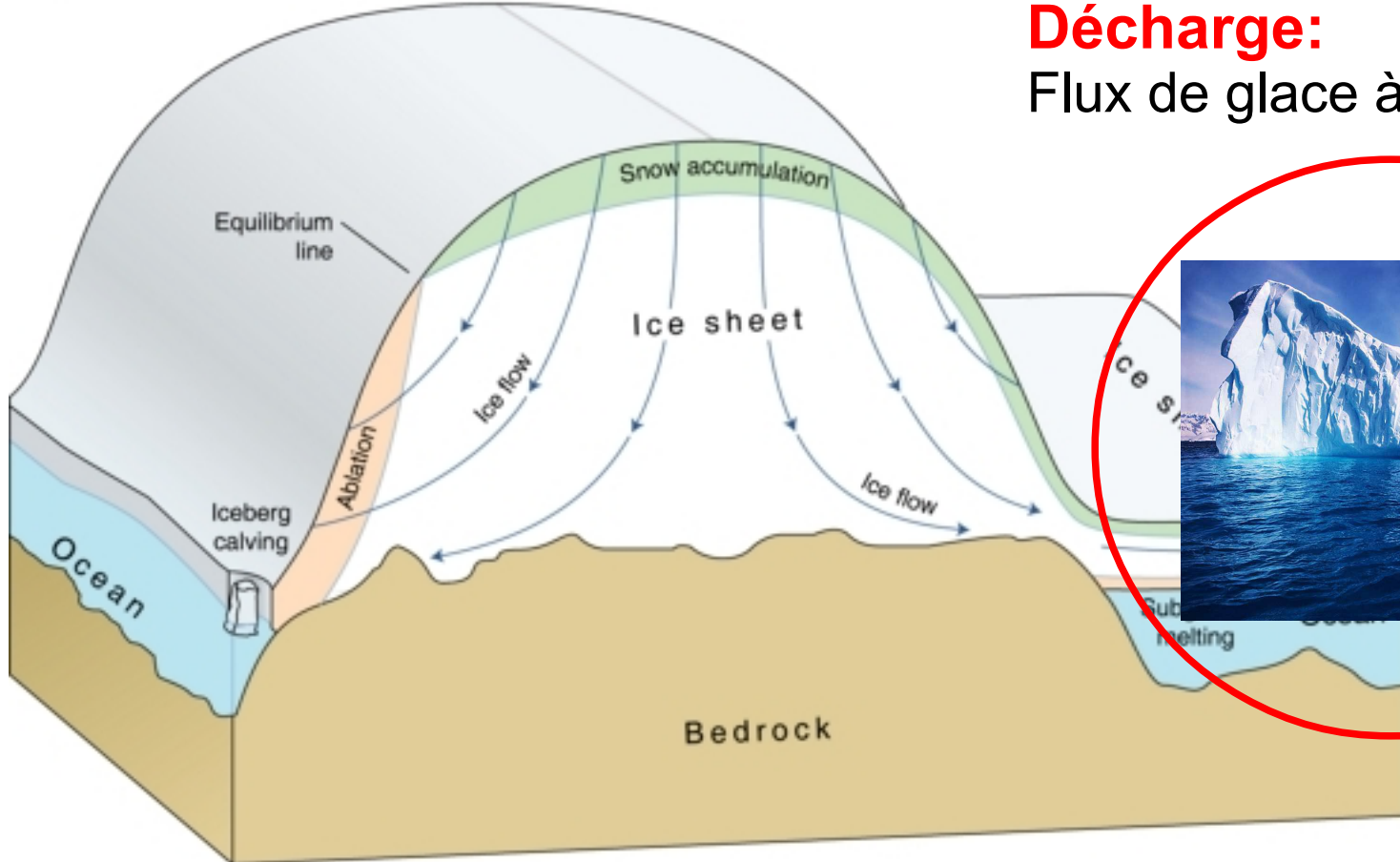
Bilan de masse de surface:
échange avec l'atmosphère



Vêlage d'icebergs



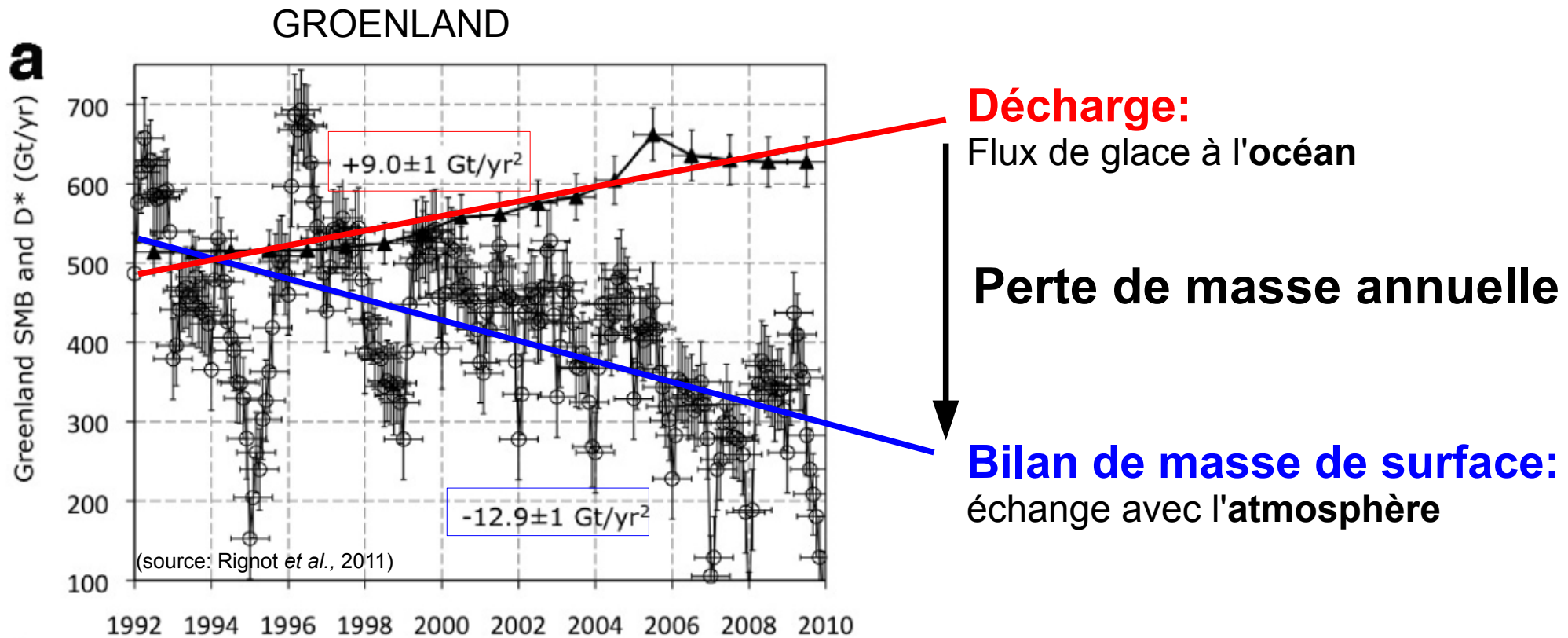
Vêlage d'icebergs



Décharge:
Flux de glace à l'océan

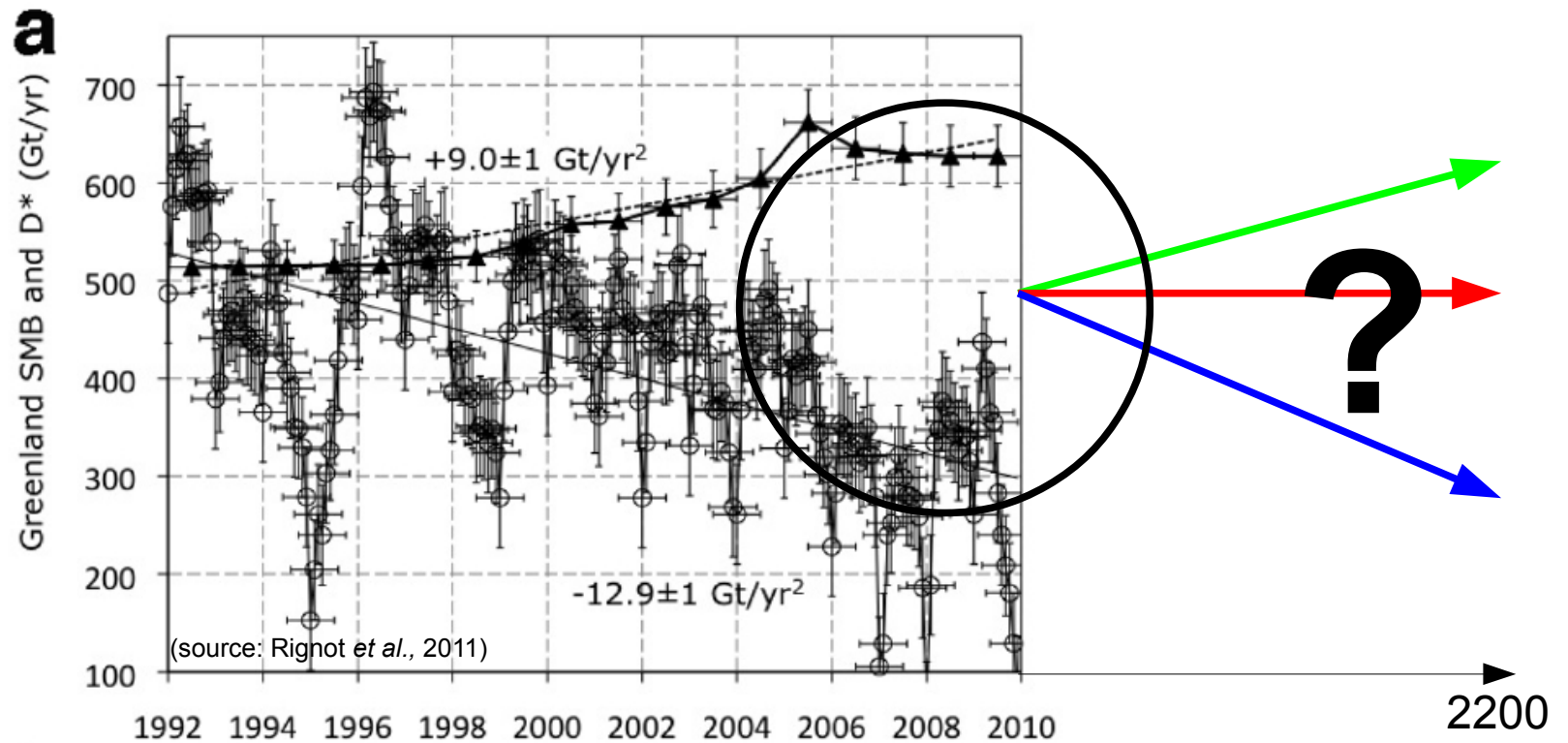


Contexte récent: perte de masse accélérée



Objectifs

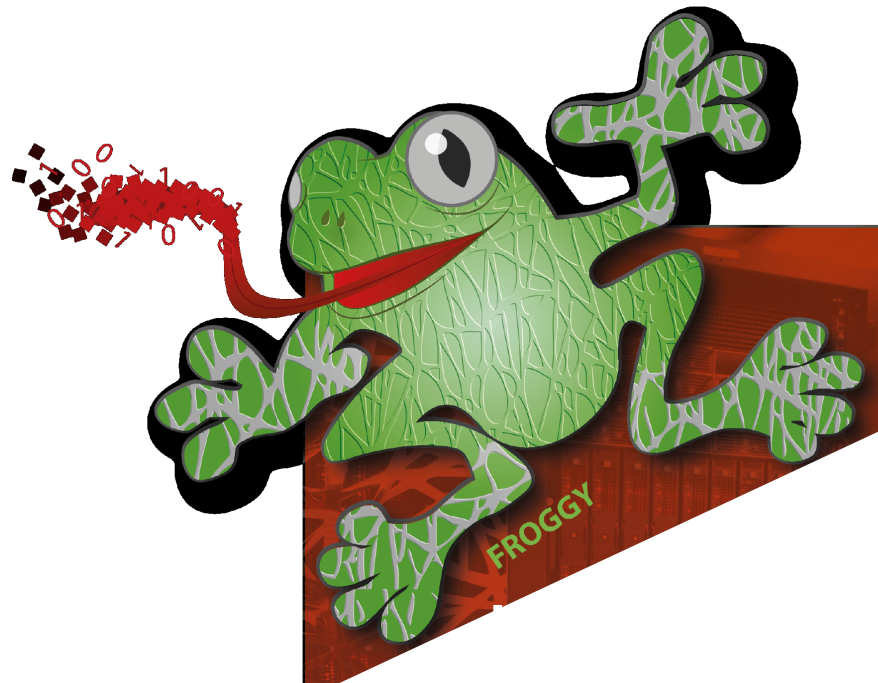
- **Comprendre** les observations actuelles
- **Prévoir** l'évolution des calottes à l'échelle centennale



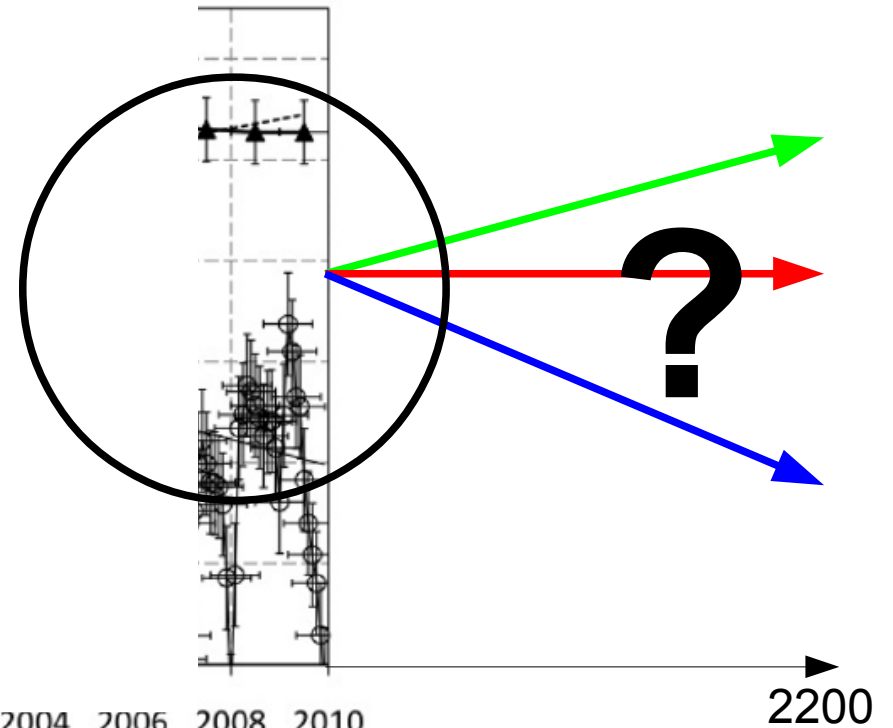
Objectifs

- Comprendre les observations actuelles
- Prévoir l'évolution des calottes à l'échelle centennale

**=> modélisation numérique
de l'écoulement des calottes polaires**



1992 1994 1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010

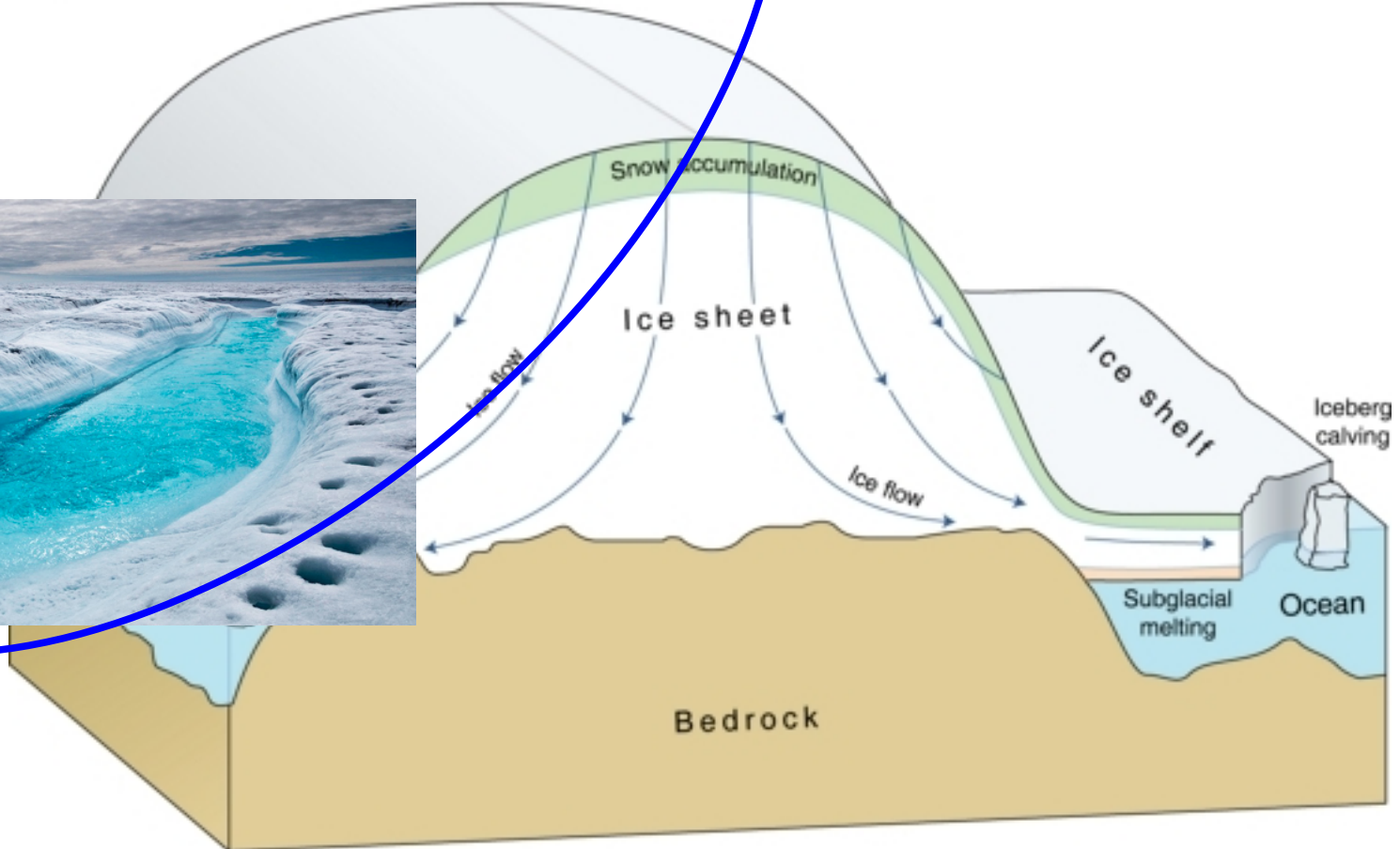


2200

Bilan de masse de surface

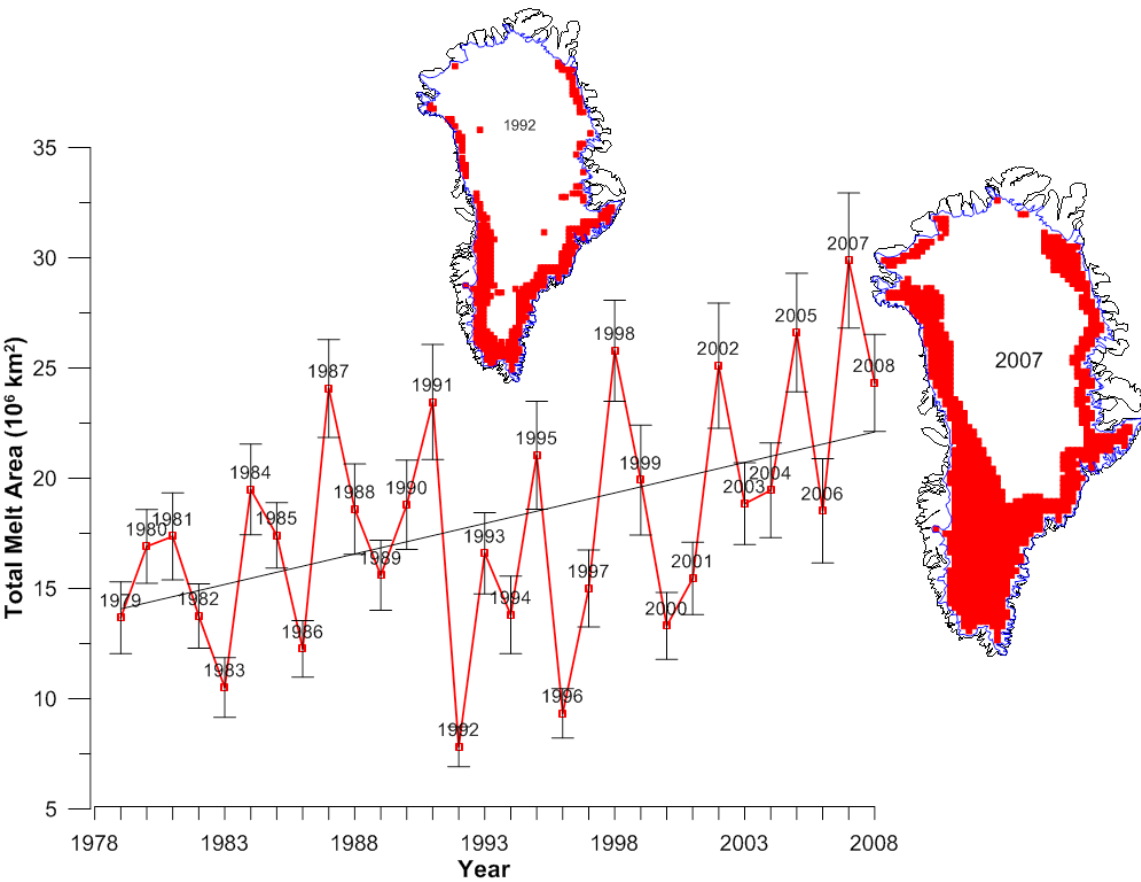


Bilan de masse de surface:
échange avec l'atmosphère



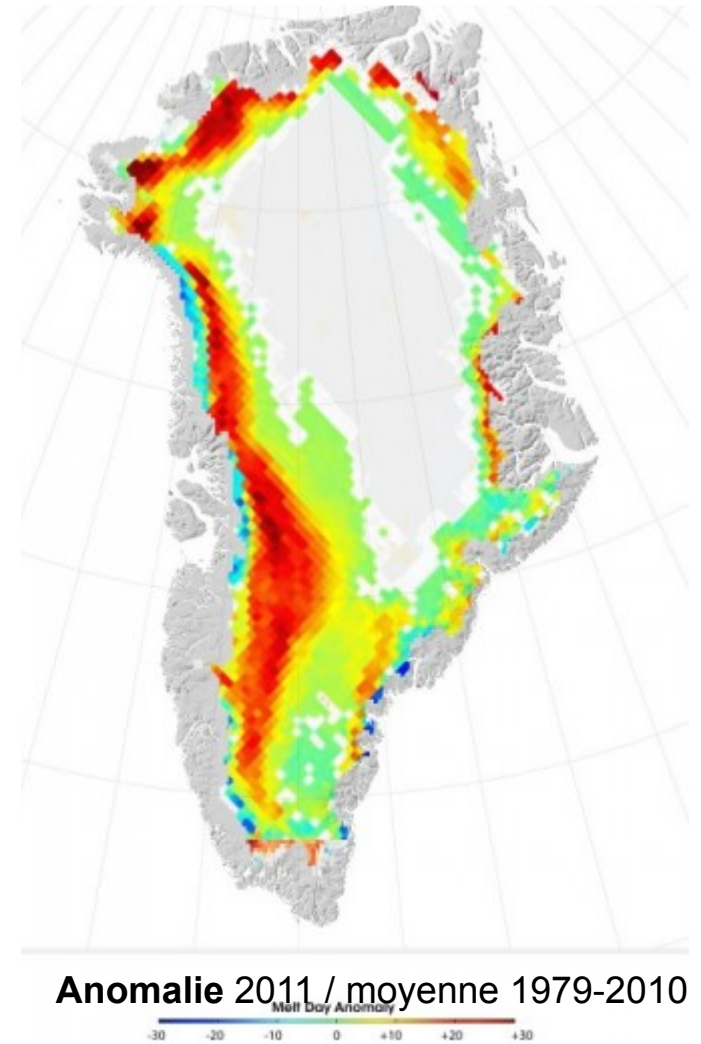
Augmentation récente de la fonte

Extension de l'aire sujette à la fonte estivale



Source: Allison et al., 2009

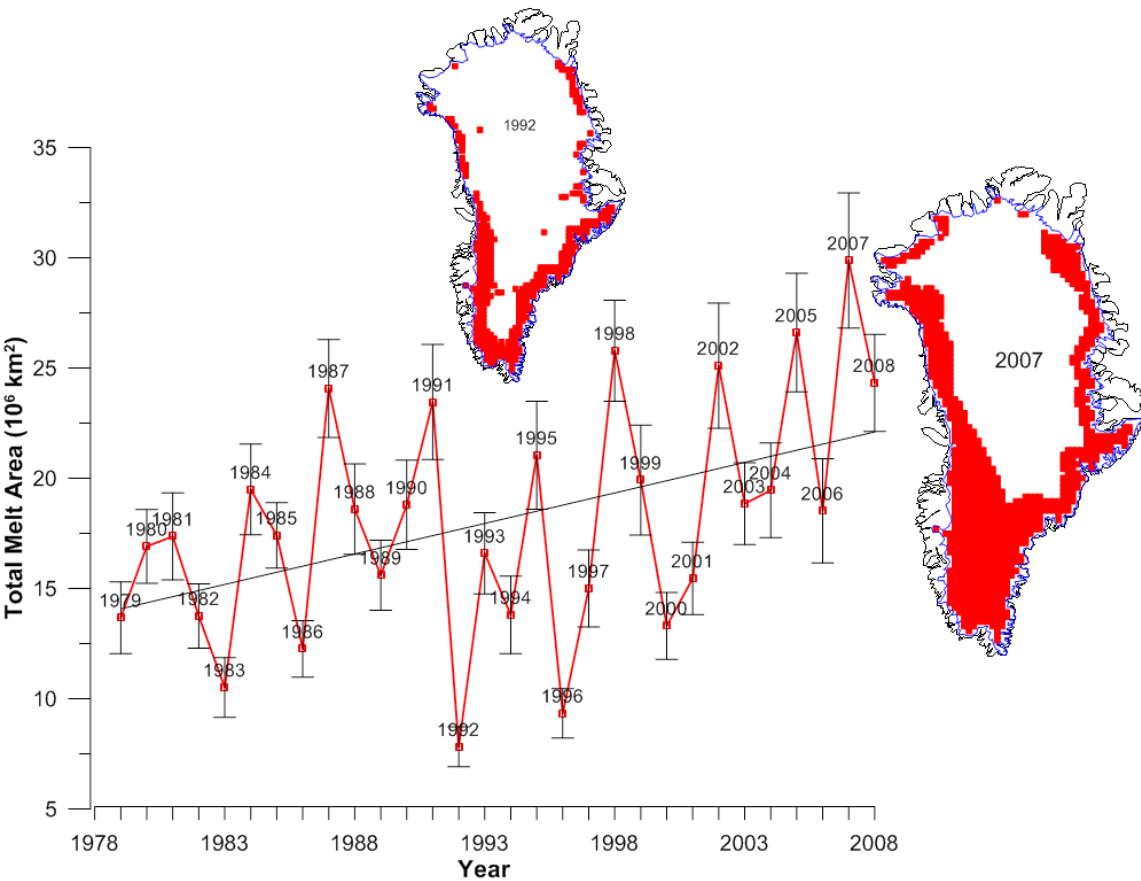
Extension de la durée de fonte estivale



Source: Tedesco et al.

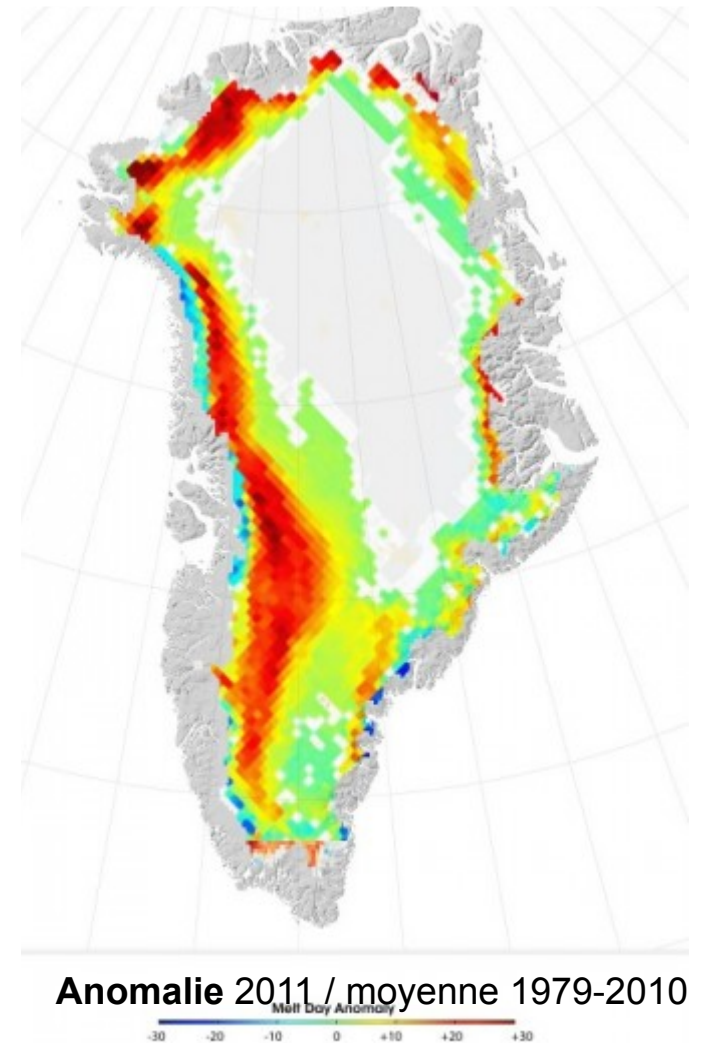
Augmentation récente de la fonte

Extension de l'aire sujette à la fonte estivale



Source: Allison et al., 2009

Extension de la durée de fonte estivale



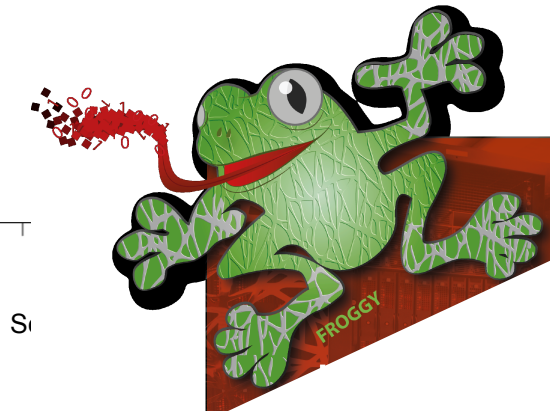
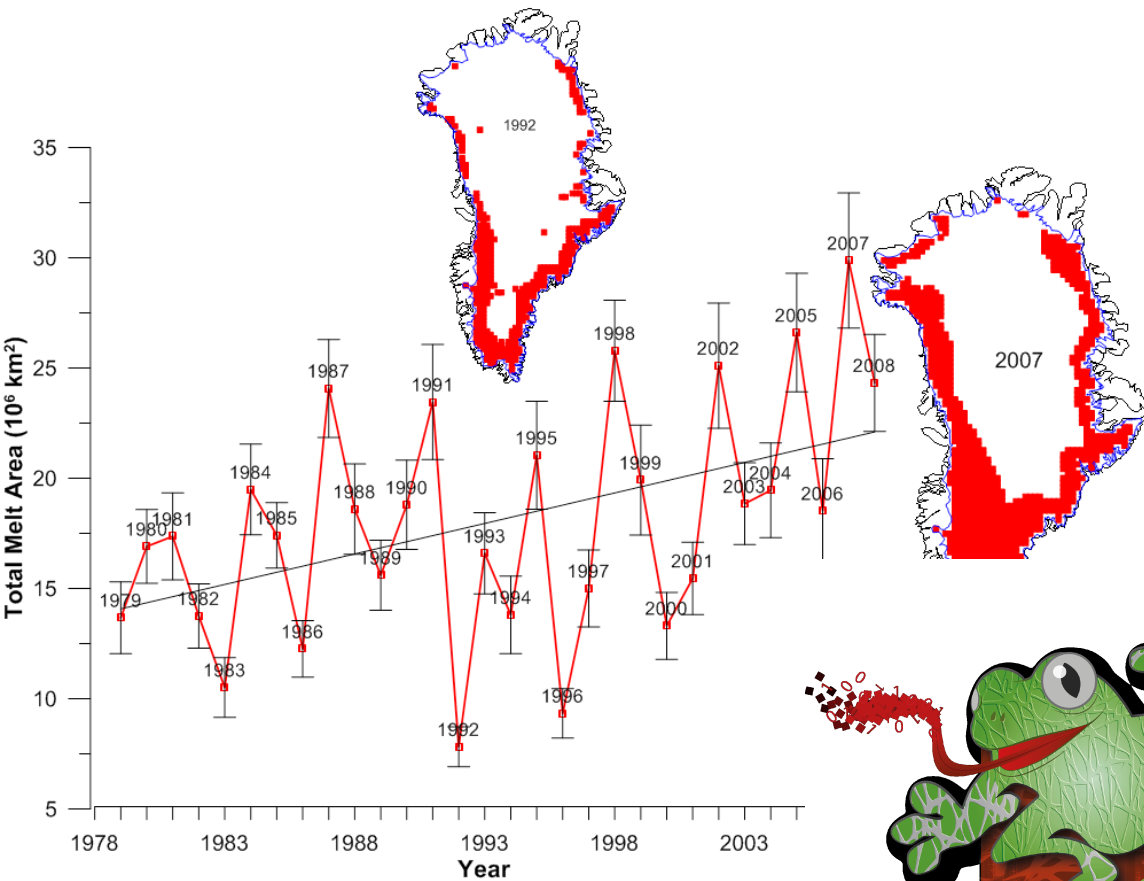
Source: Tedesco et al.

Qualité des prévisions dépend de :

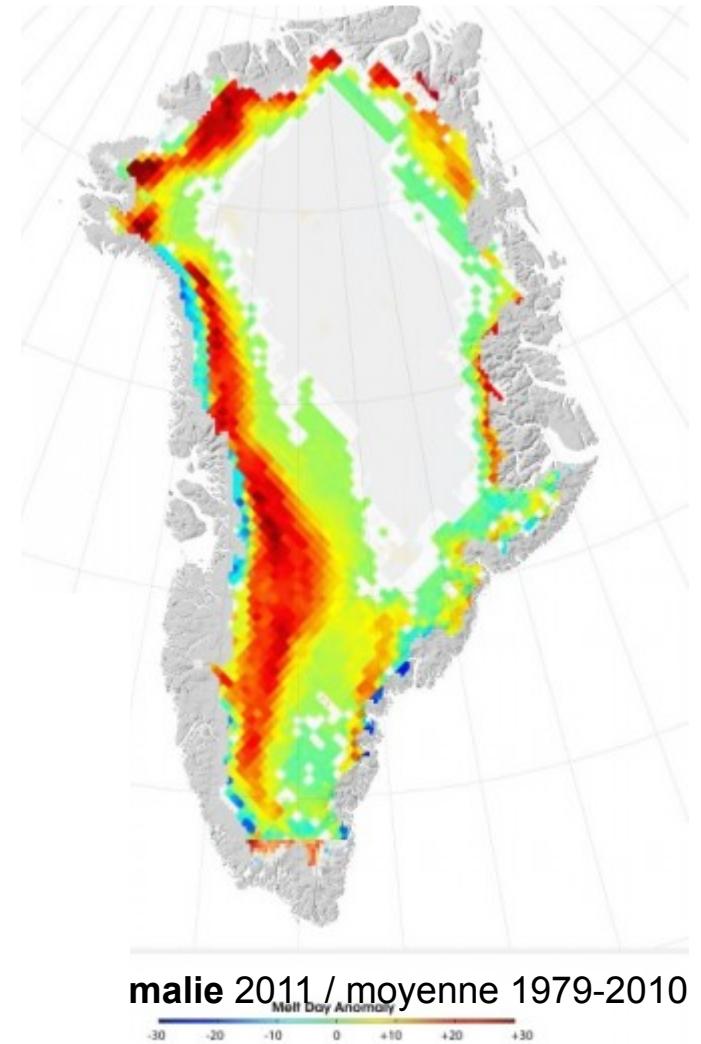
(1) la **qualité du forçage climatique** (scenario futur + **modèle climatique** +/- complexe)

Augmentation récente de la fonte

Extension de l'aire sujette à la fonte estivale



Extension de la durée de fonte estivale



Source: Tedesco et al.

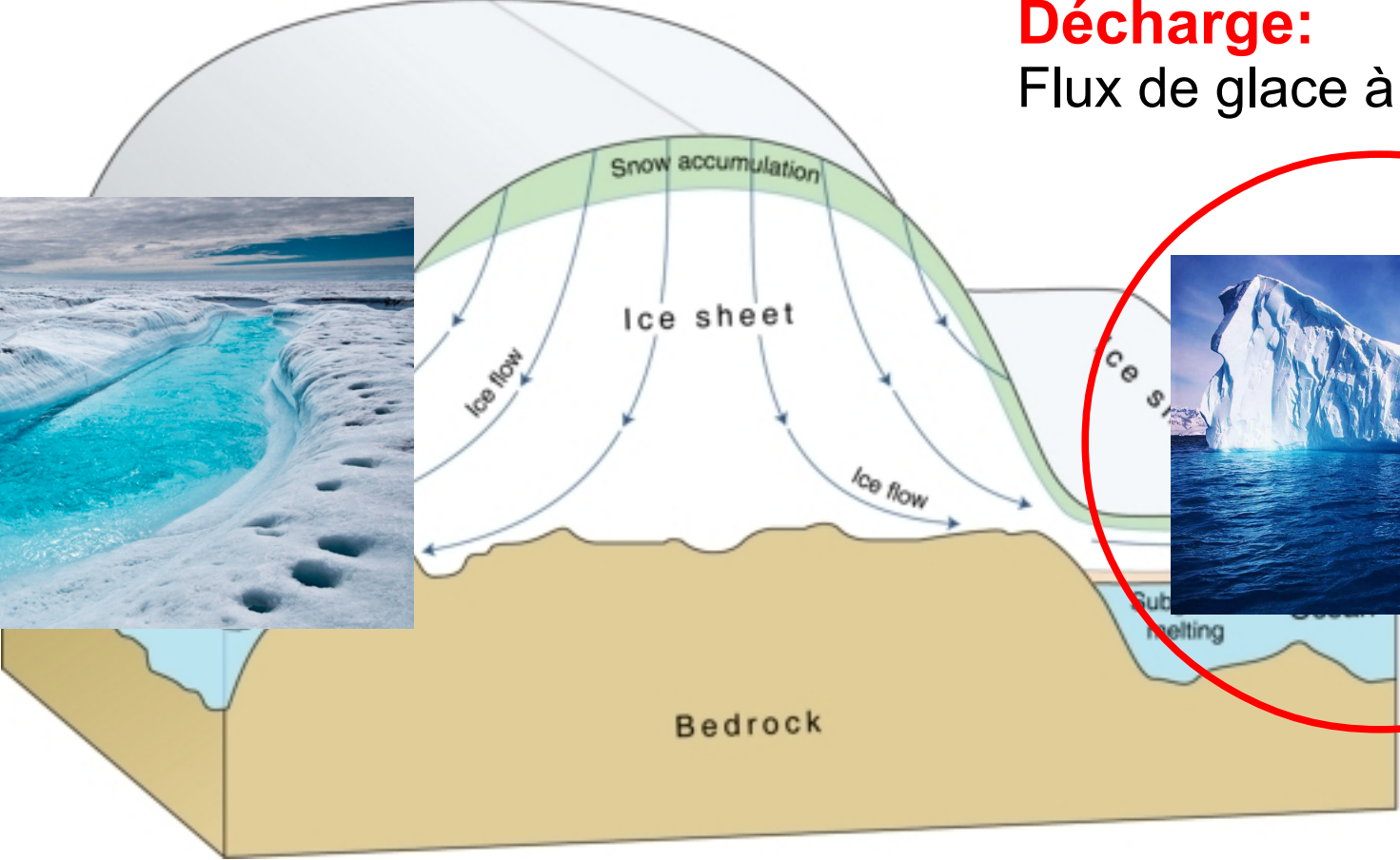
Qualité des prévisions dépend de :

- (1) la **qualité du forçage climatique** (scenario futur + **modèle climatique** +/- complexe)
- (2) la qualité du **modèle d'écoulement** (transport/topographie)

Décharge

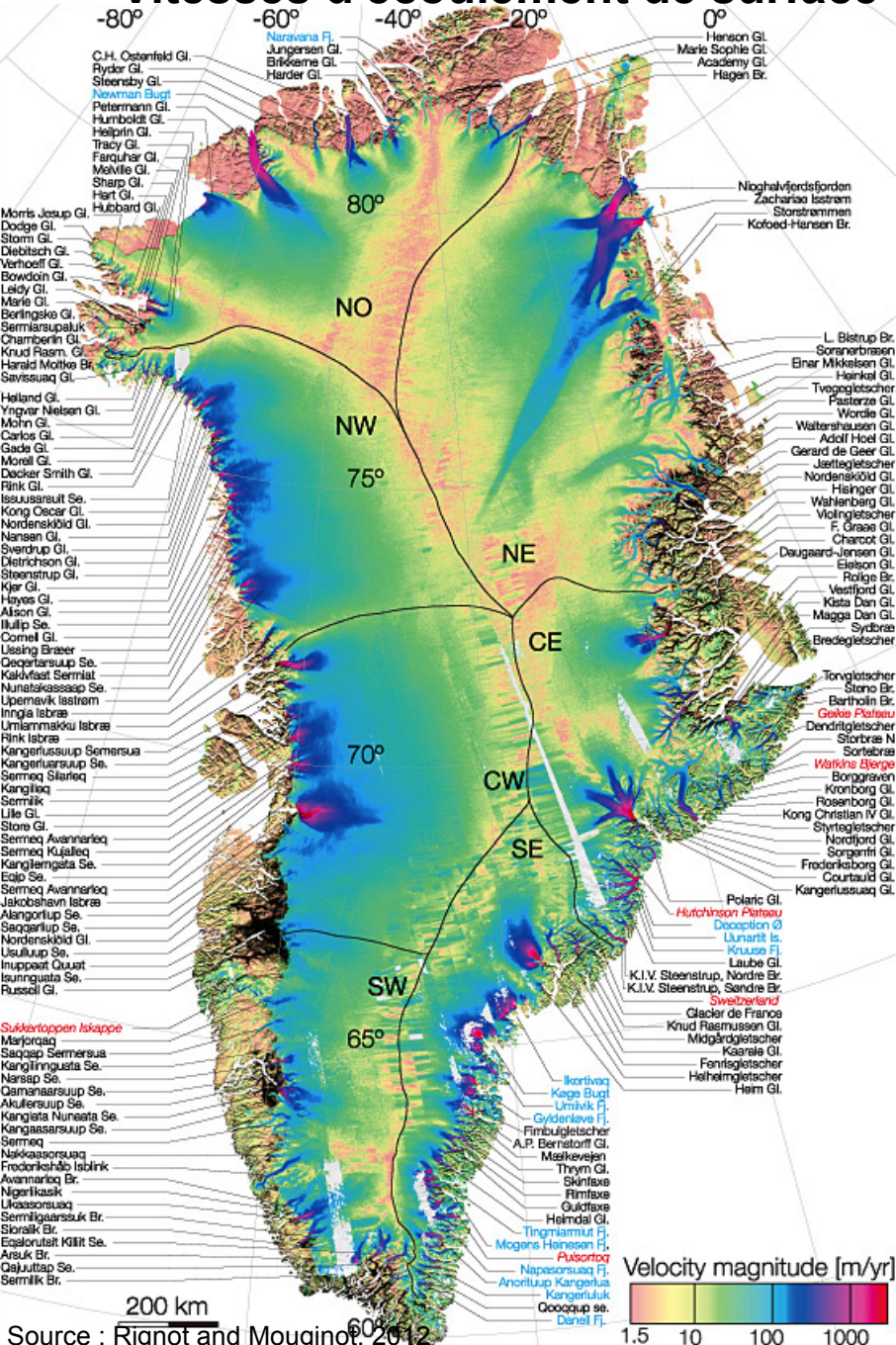


Décharge:
Flux de glace à l'océan



Décharge: Rôle de la dynamique rapide

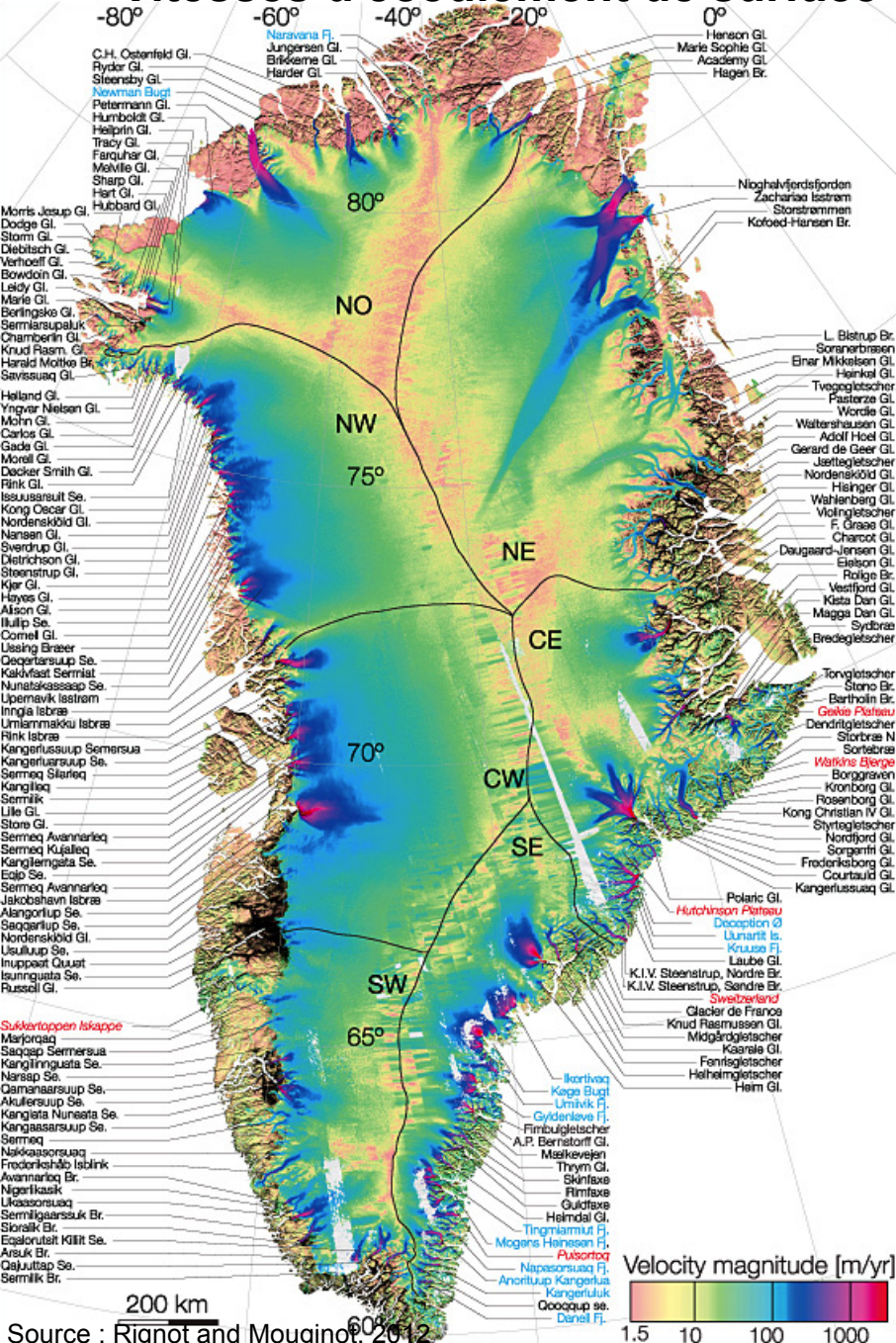
Vitesses d'écoulement de surface



La glace est drainée vers la côte par de nombreux fleuves de glace, très rapides et très étroits

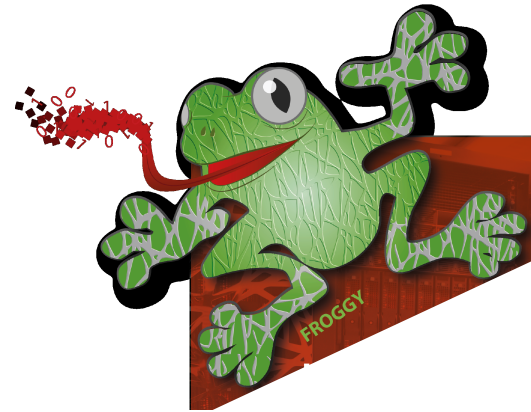
Décharge: Rôle de la dynamique rapide

Vitesses d'écoulement de surface



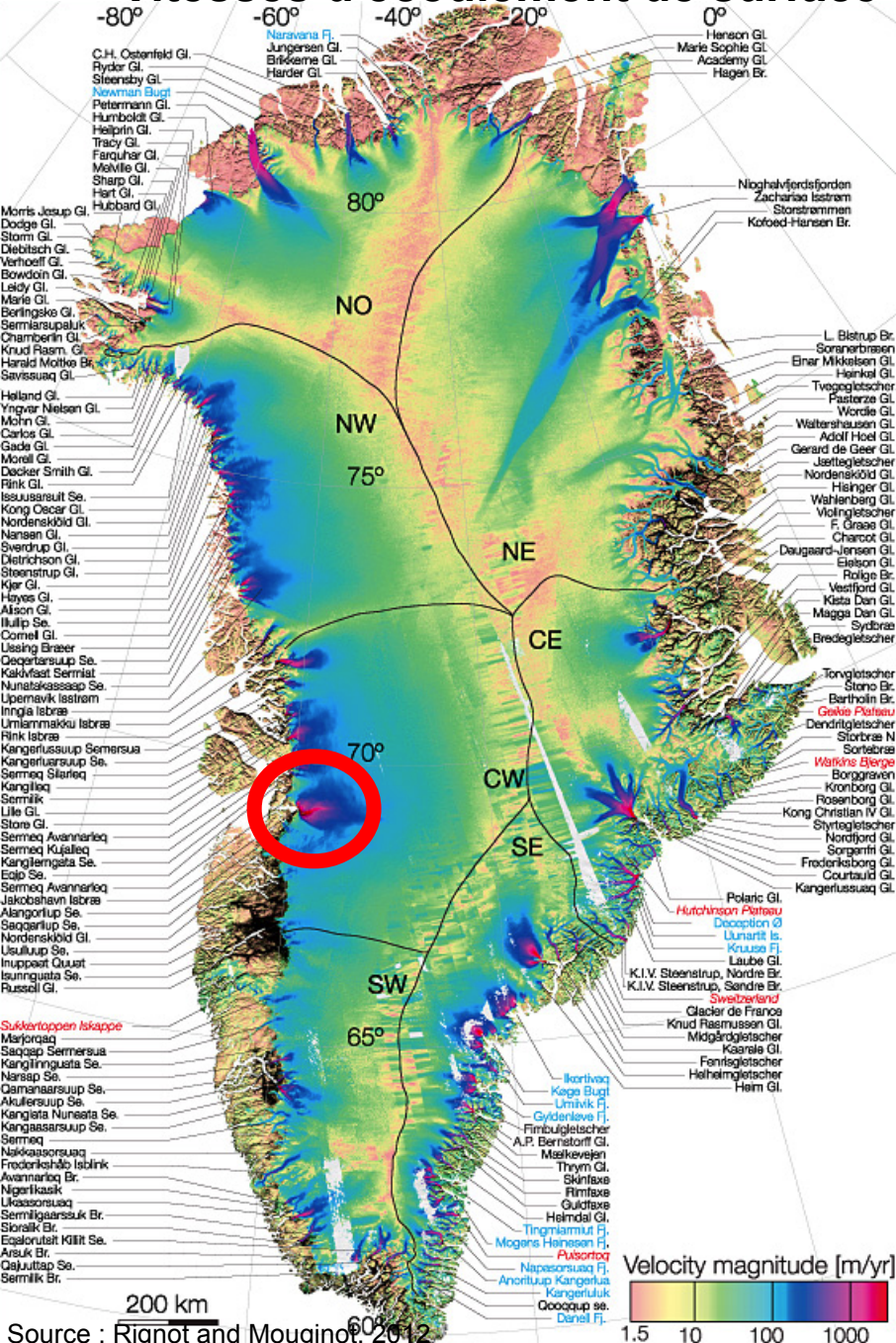
La glace est drainée vers la côte par de nombreux fleuves de glace, très rapides et très étroits

Qualité des prévisions dépend de :
(1) la **qualité des modèles d'écoulement** à représenter la dynamique rapide



Décharge: Rôle de la dynamique rapide

Vitesses d'écoulement de surface

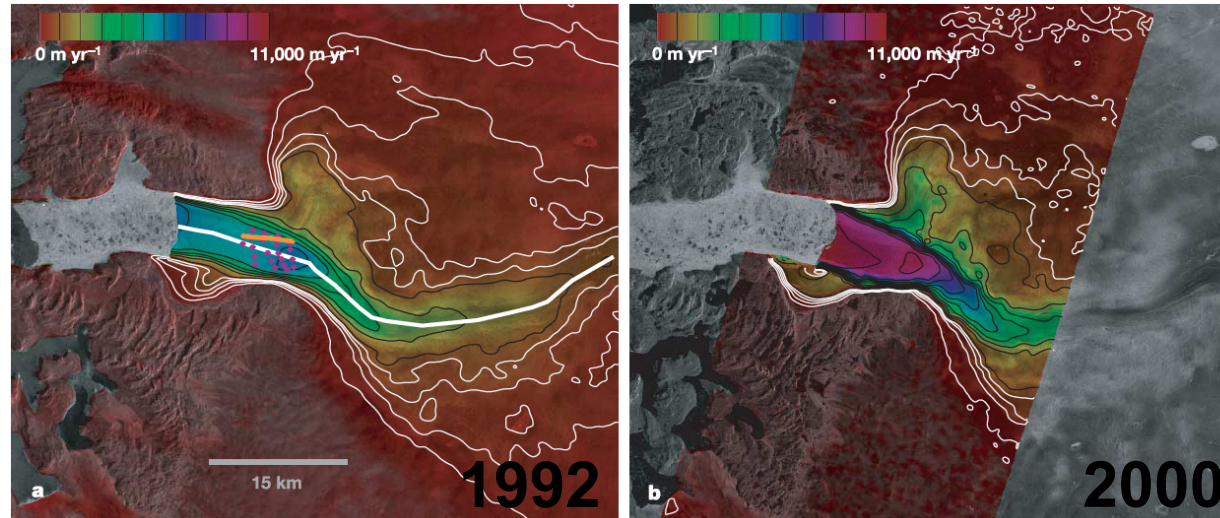


La glace est drainée vers la côte par de nombreux fleuves de glace, très rapides et très étroits

Qualité des prévisions dépend de :
(1) la **qualité des modèles d'écoulement** à représenter la dynamique rapide

Décharge: Rôle de la dynamique rapide

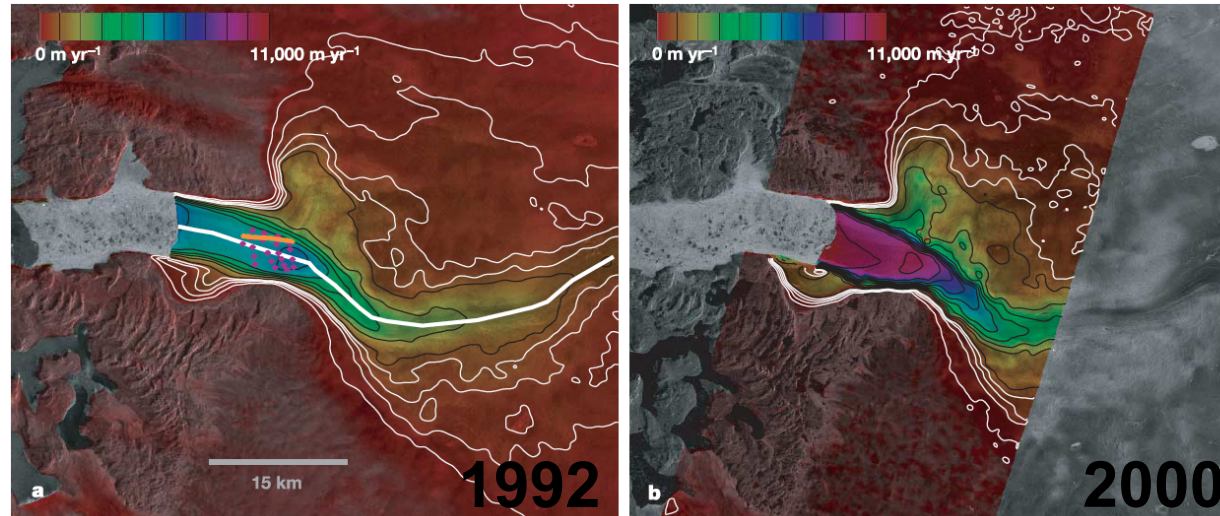
Retrait + accélération



source: Joughin et al., 2004

Décharge: Rôle de la dynamique rapide

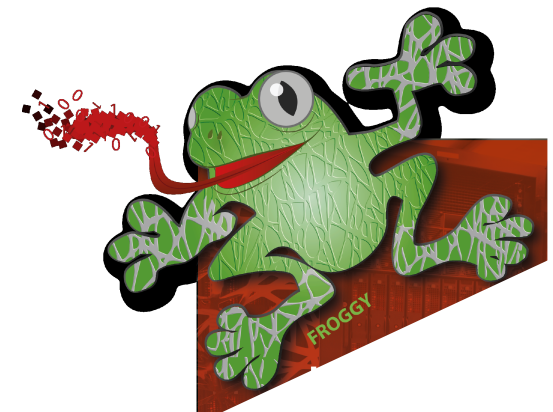
Retrait + accélération



source: Joughin et al., 2004

Qualité des prévisions dépend de :

(2) capacité à **comprendre/modéliser** les processus responsables des accélérations et retraits



Modélisation des calottes : contexte international

... des changements survenus dans la dynamique glaciaire pourraient augmenter la contribution du Groenland comme de l'Antarctique à l'élévation du niveau de la mer au XXI^e siècle...

La compréhension de ces effets est trop limitée pour pouvoir évaluer leur probabilité ou pour leur fixer une meilleure-estimation

GIEC 2007 - Rapport du Groupe de travail I - Les éléments scientifiques

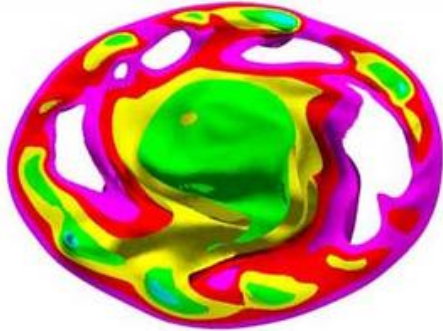
- Des efforts internationaux (SeaRISE (US), ice2sea (UE)) pour améliorer les modèles de calottes polaires et réaliser des projections à court terme
- Implication du LGGE dans



• *“The **ice2sea** programme is **engaged in making projections** of the contribution of ice sheets to sea-level rise, over the next 200 years.*

• *Because there is no single ice-sheet model which is accepted as being the most accurate, **ice2sea needs to use several models** driven by the same climate forcing to **establish the degree of certainty** that can be put on our projections.”*

Elmer/Ice, un modèle de nouvelle génération



ELMER: <http://www.elmerfem.org/>

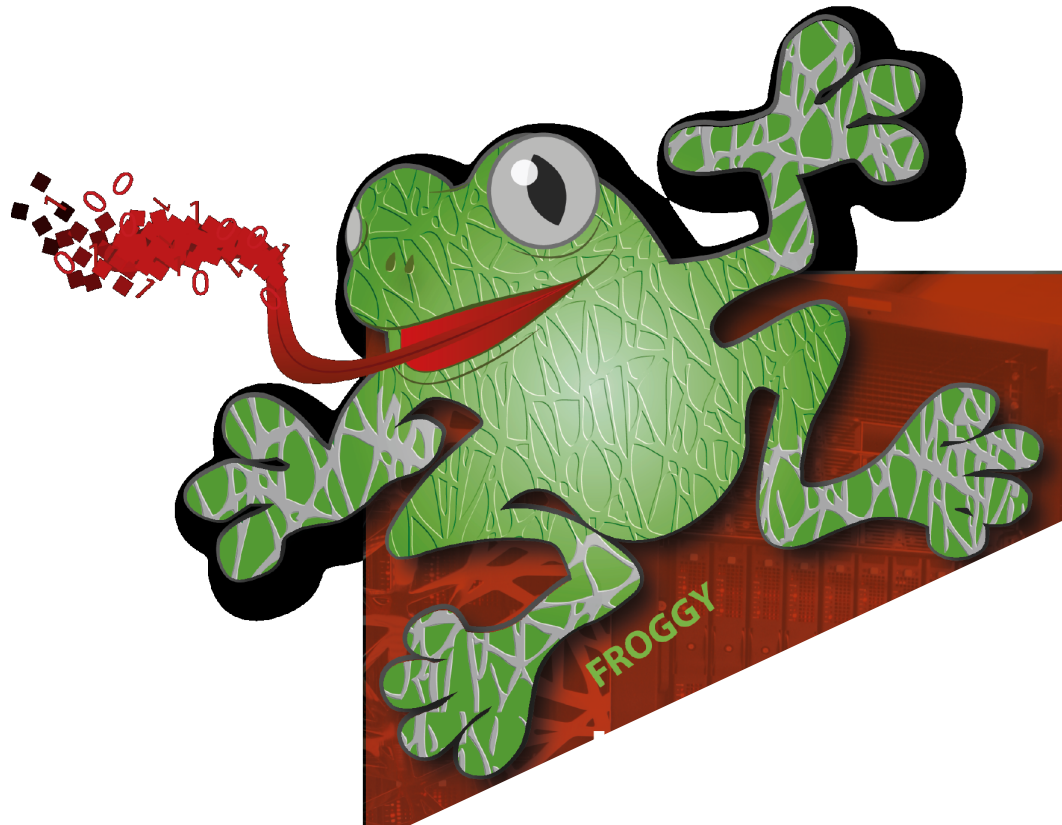
- Open Source Finite Element Software for Multiphysical Problems
- Développé par le CSC – IT Center for Science – Finlande
- Essentiellement Fortran 90
- Parallèle (MPI (partitionnement de domaine) + OpenMP (en cours))



ELMER/Ice : <http://elmerice.elmerfem.org/>

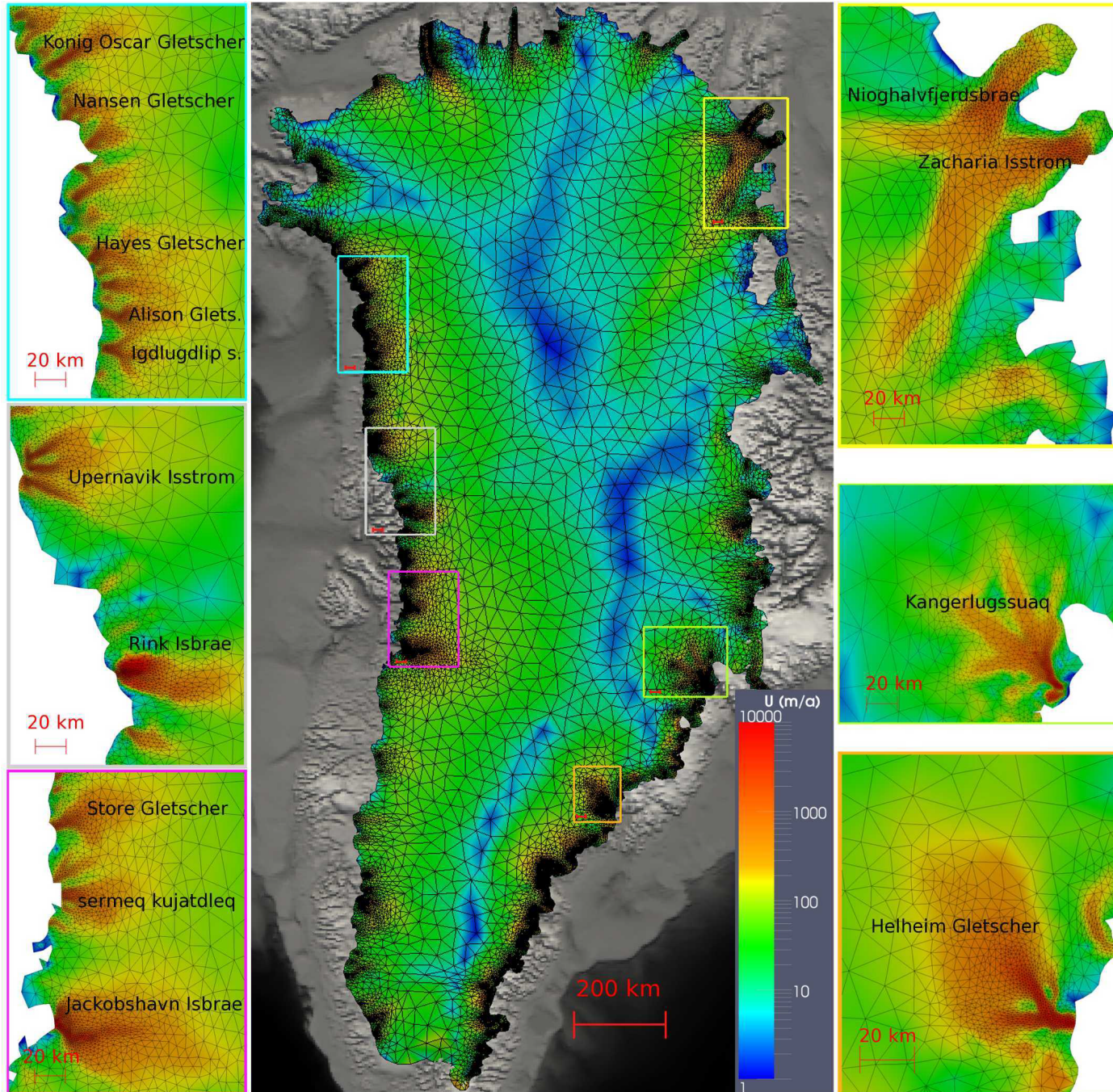
- Développé en grande partie au LGGE
- Communauté d'utilisateurs pour des applications **glaciologiques**
- **Equations de Stokes**
- **Initialisation du modèle** (assimilation de données)
- **Résolution**

Challenge 1



qualité des modèles d'écoulement
à représenter la dynamique rapide

Elmer/Ice, un modèle de nouvelle génération



- Résolution: 1km → 30km
- $2 \cdot 10^6$ inconnues
- 15 000 h cpu / 200ans (freeride 300 000 h cpu)

Projections: Rétroaction élévation – bilan de surface

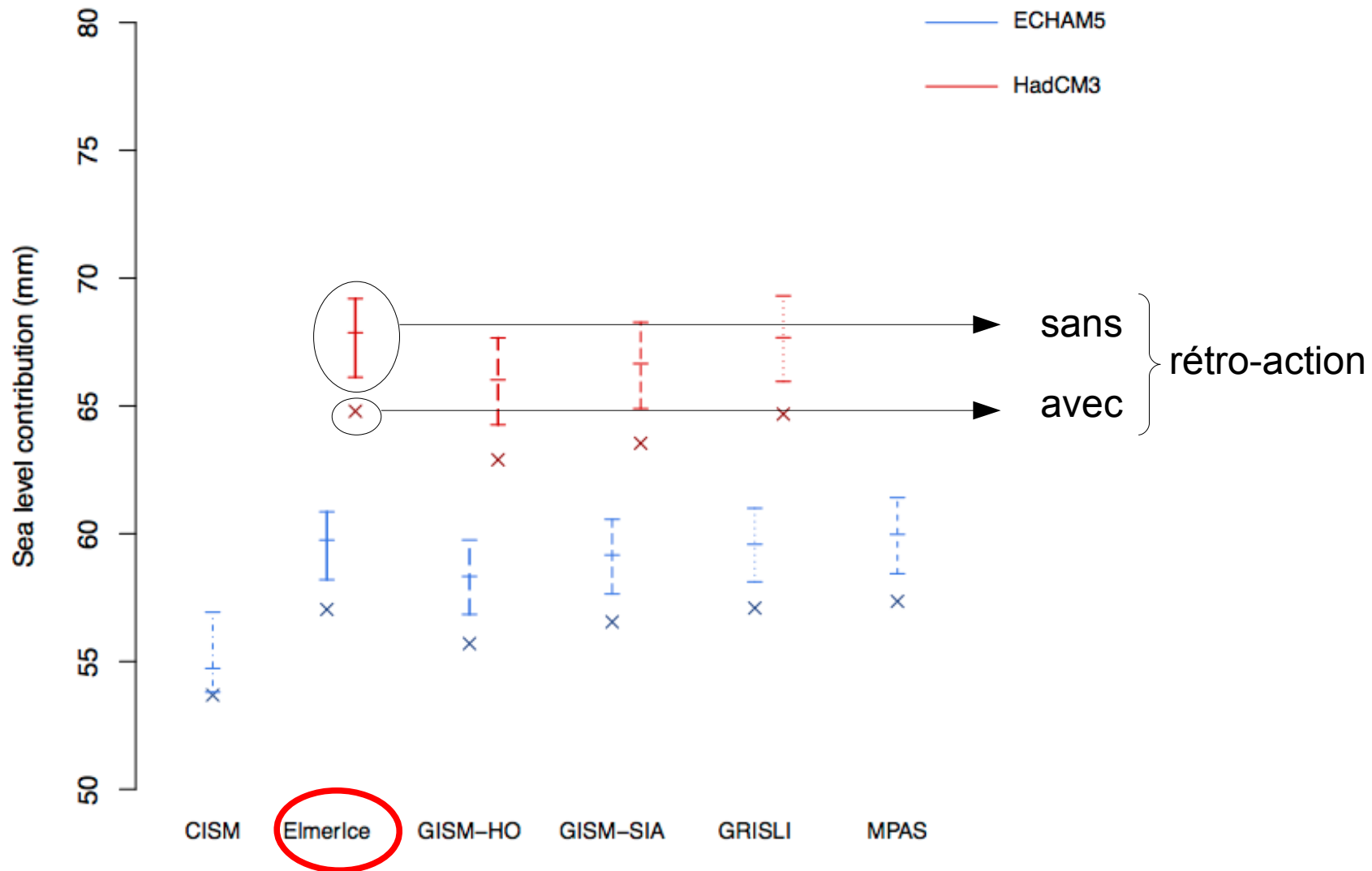
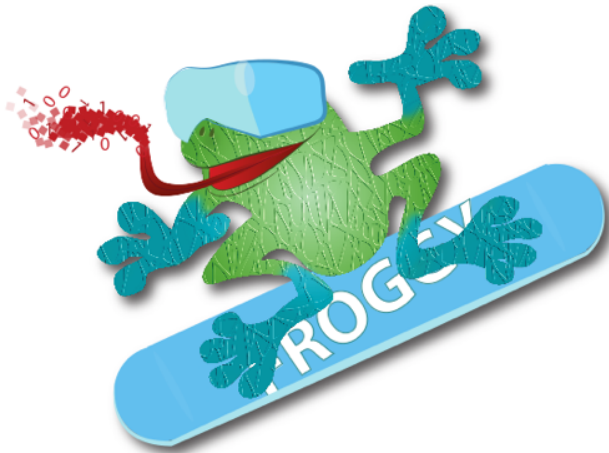


Fig. 1. Projected cumulative GrIS sea level contributions for the ECHAM5 and HadCM3 A1B projections at 2100. Crosses mark simulations with no elevation feedback. Bars mark the estimated 95% credibility intervals and (central tick) best estimates of the elevation feedback parameterisation.

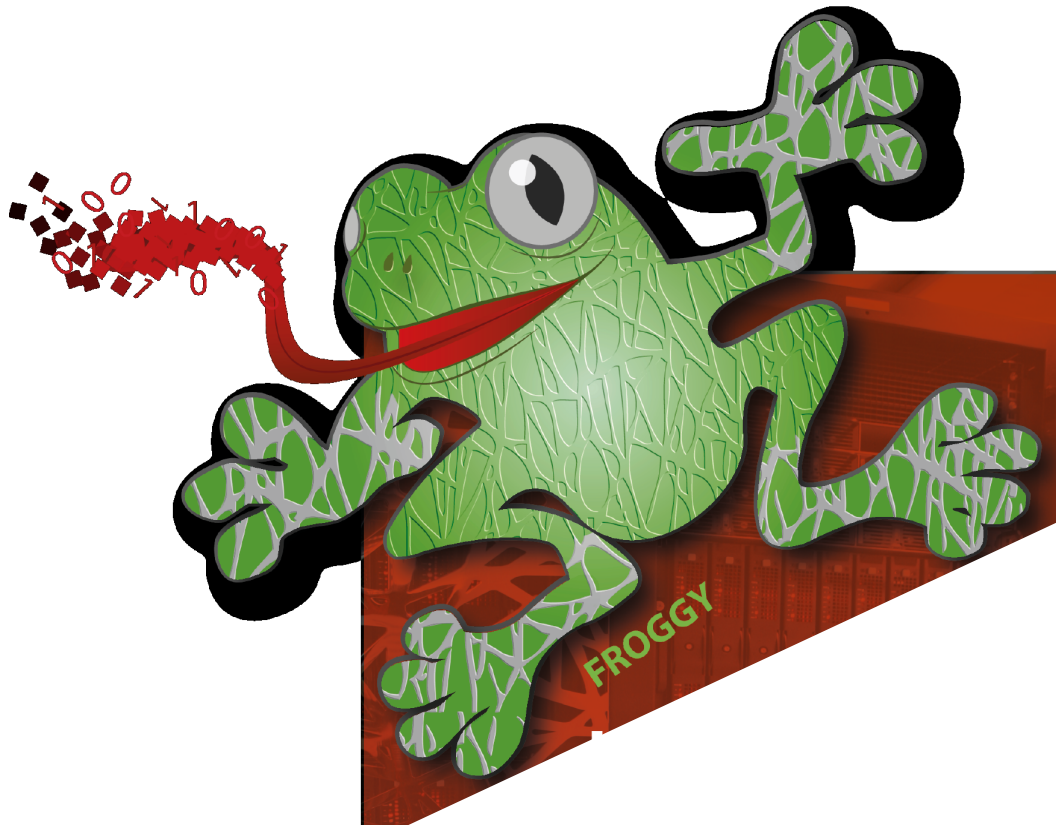
Challenge 1: Perspectives

- Améliorer l'efficacité des méthodes numériques utilisées (parallélisation)



Nouveau schéma numérique de résolution testé pendant la période freeride

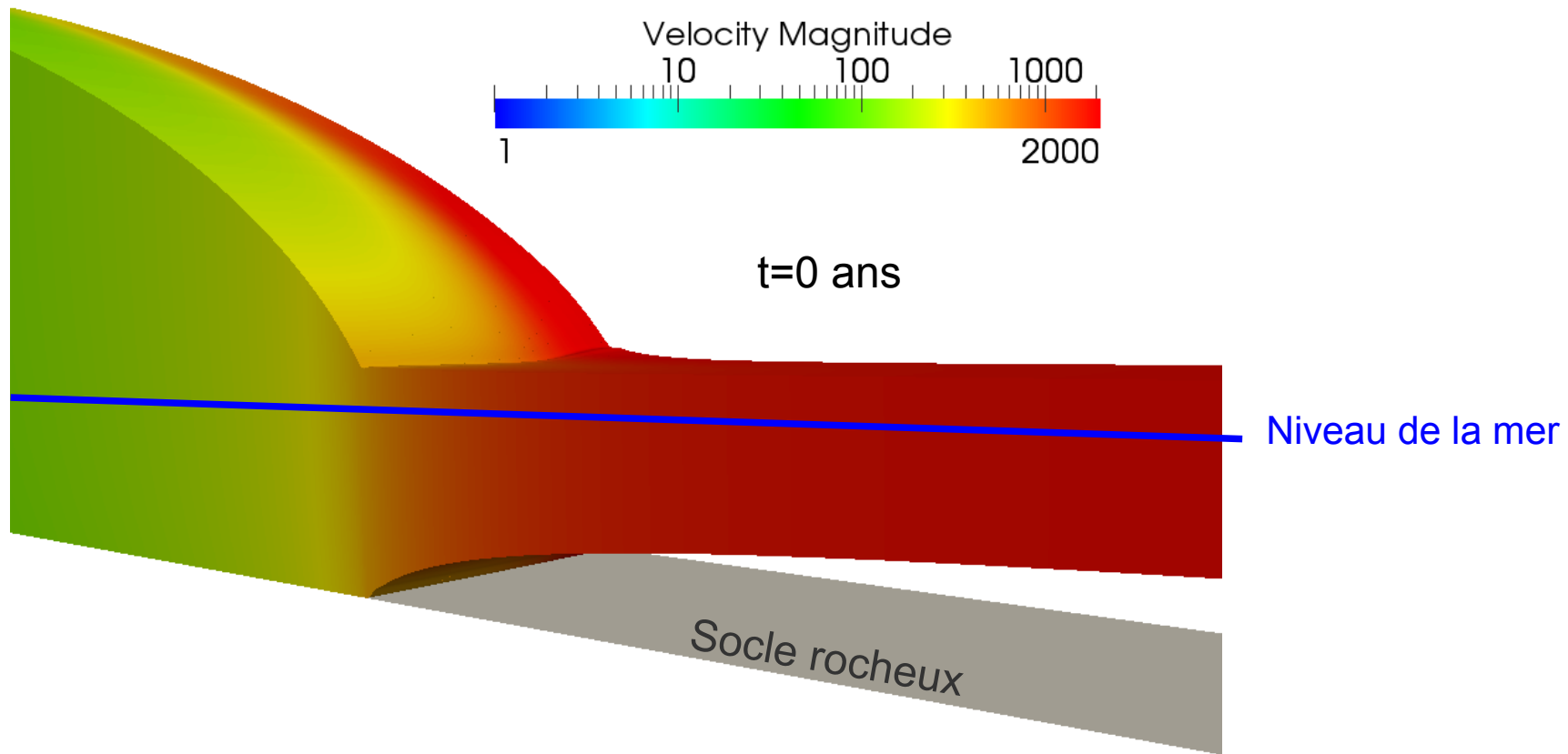
Challenge 2



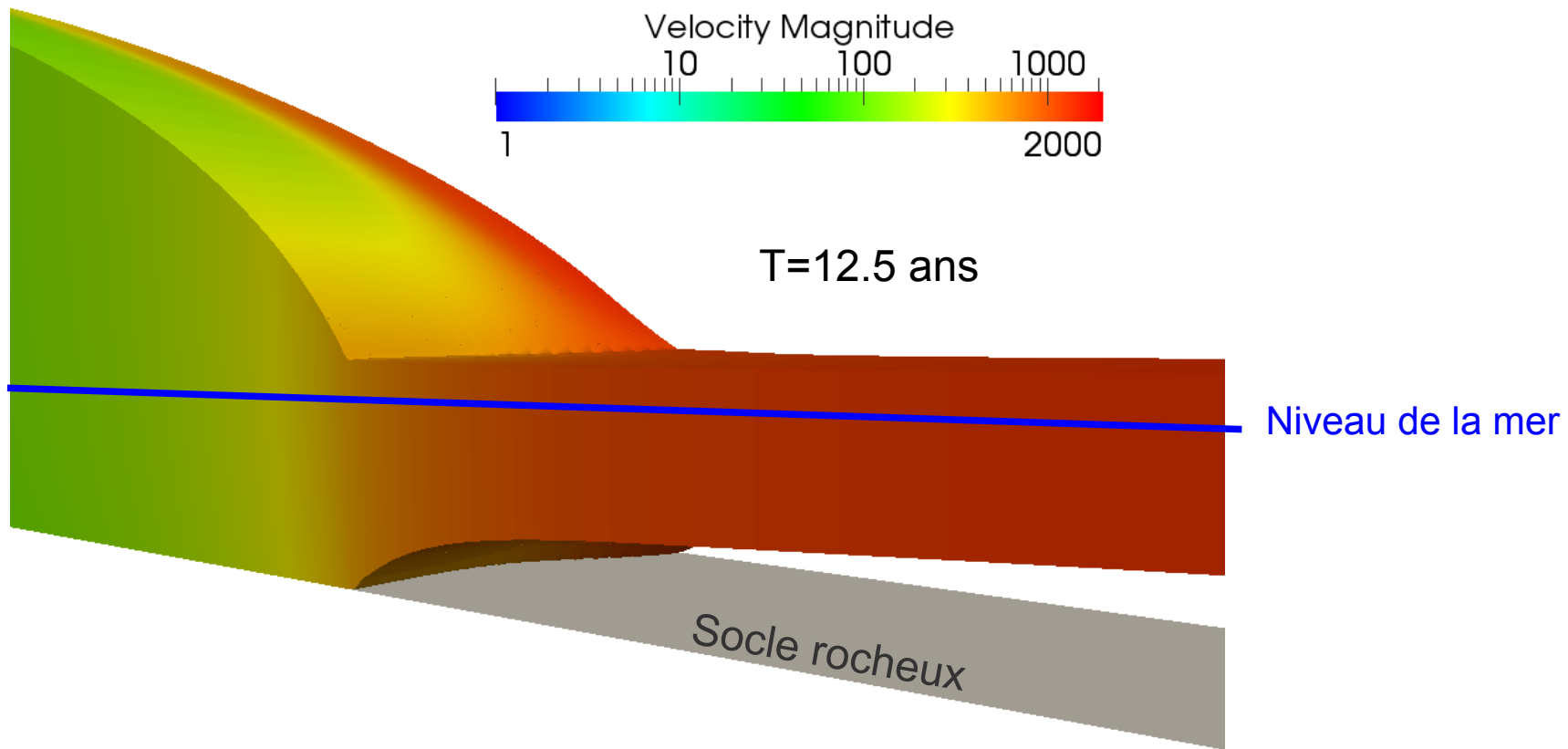
capacité à **comprendre/modéliser**
les processus responsables des accélérations et retraits

Problème de contact de la glace sur son socle rocheux

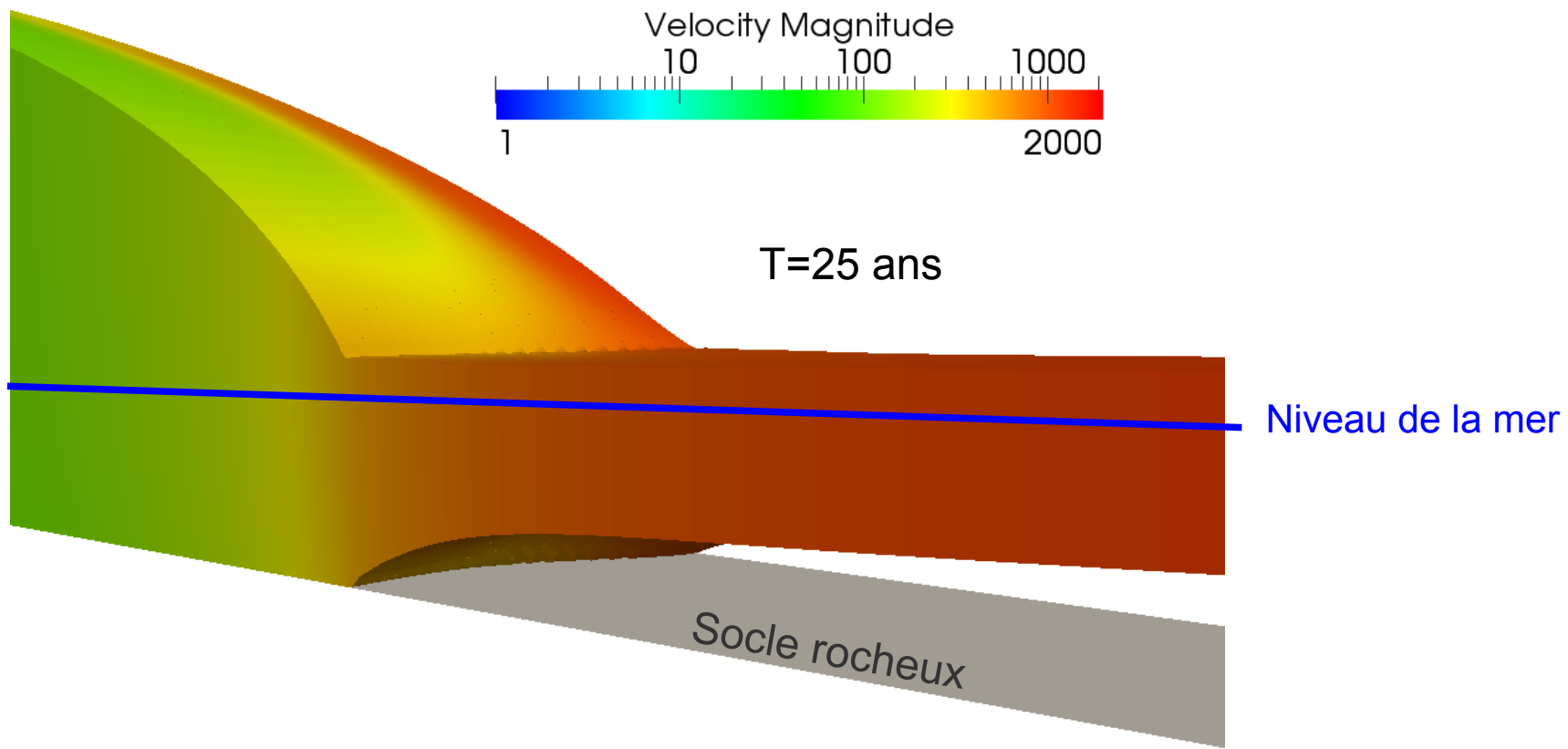
Elmer/Ice est le modèle de référence pour le traitement de la ligne d'ancrage



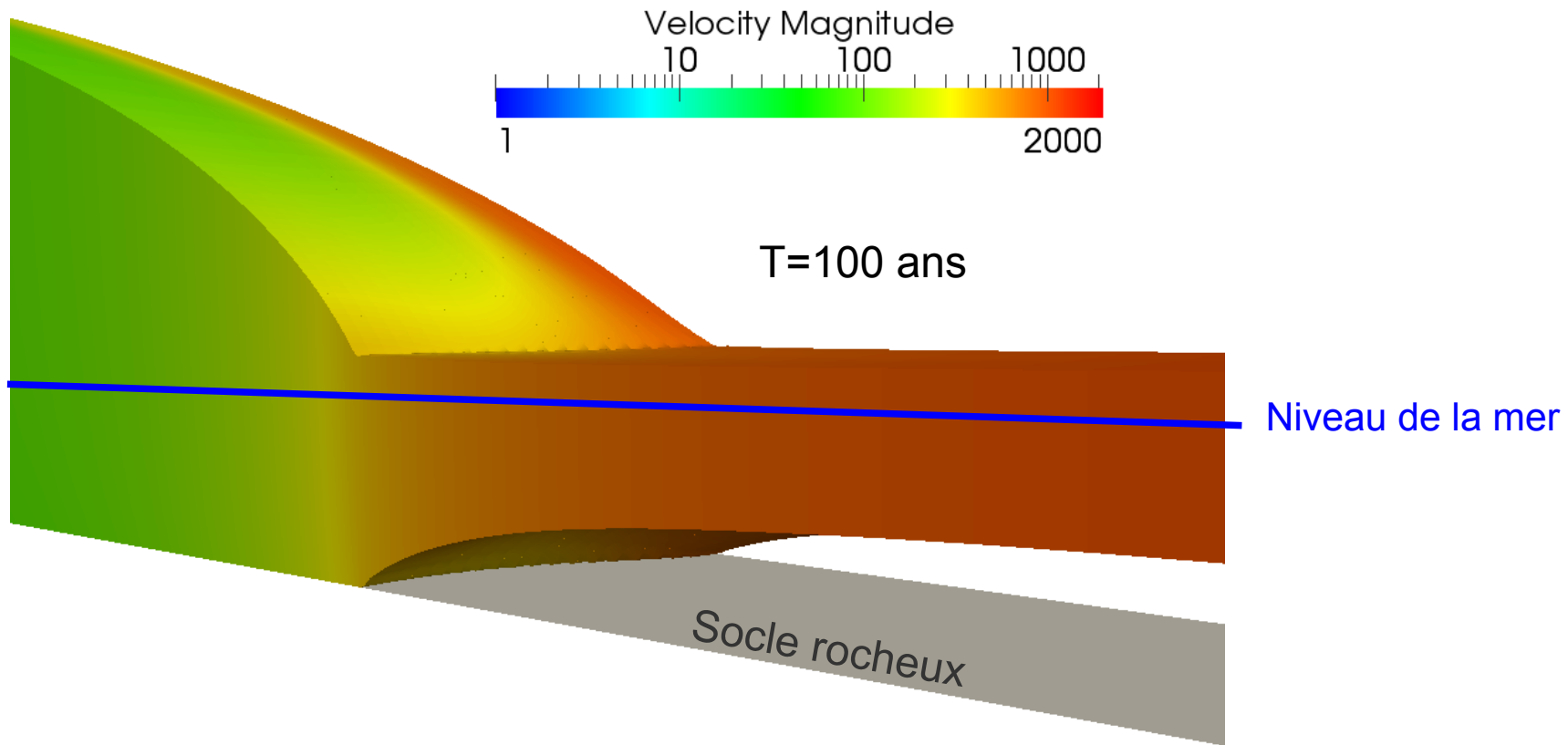
Problème de contact de la glace sur son socle rocheux



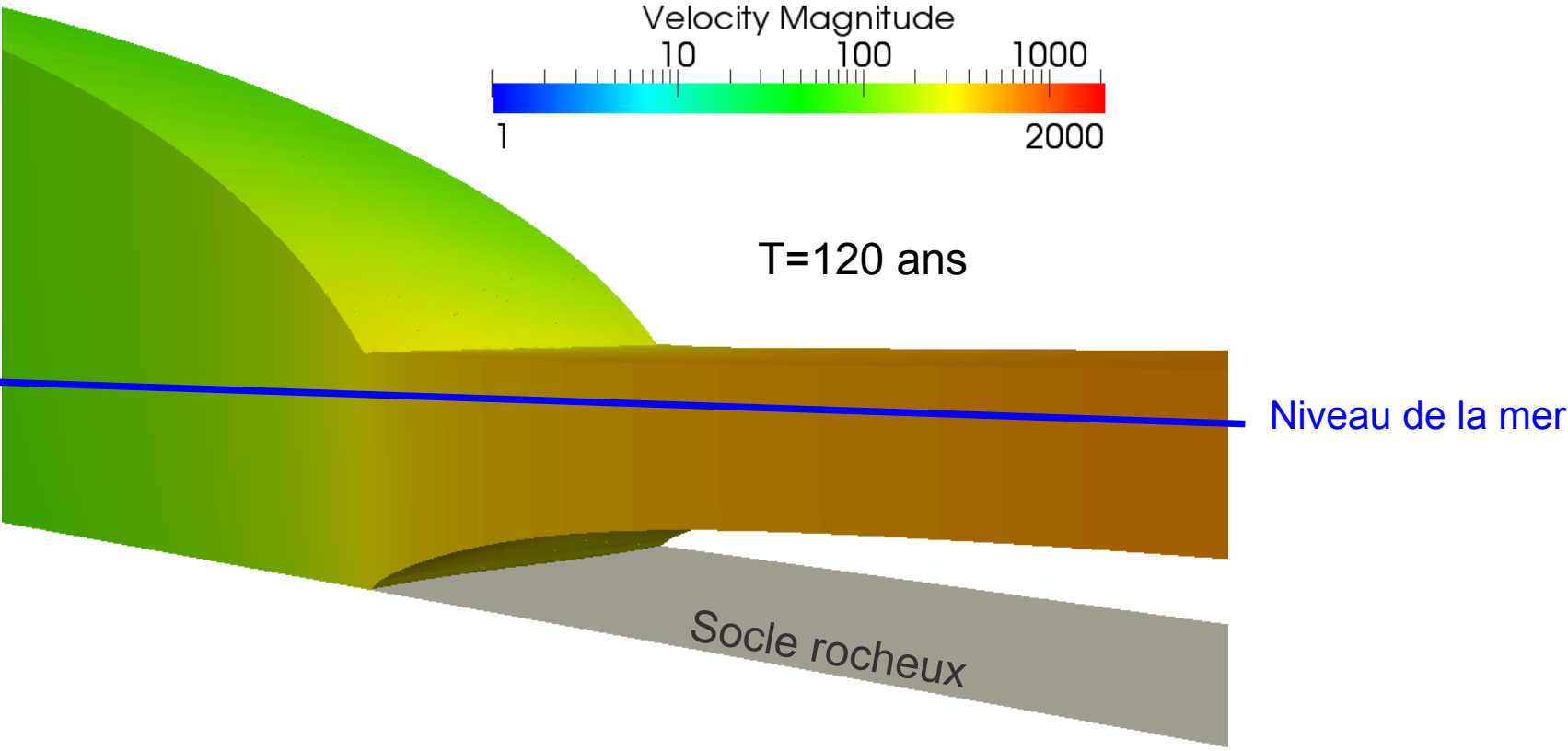
Problème de contact de la glace sur son socle rocheux



Problème de contact de la glace sur son socle rocheux

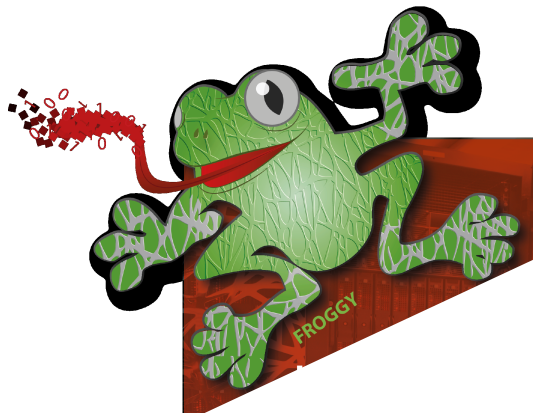


Problème de contact de la glace sur son socle rocheux



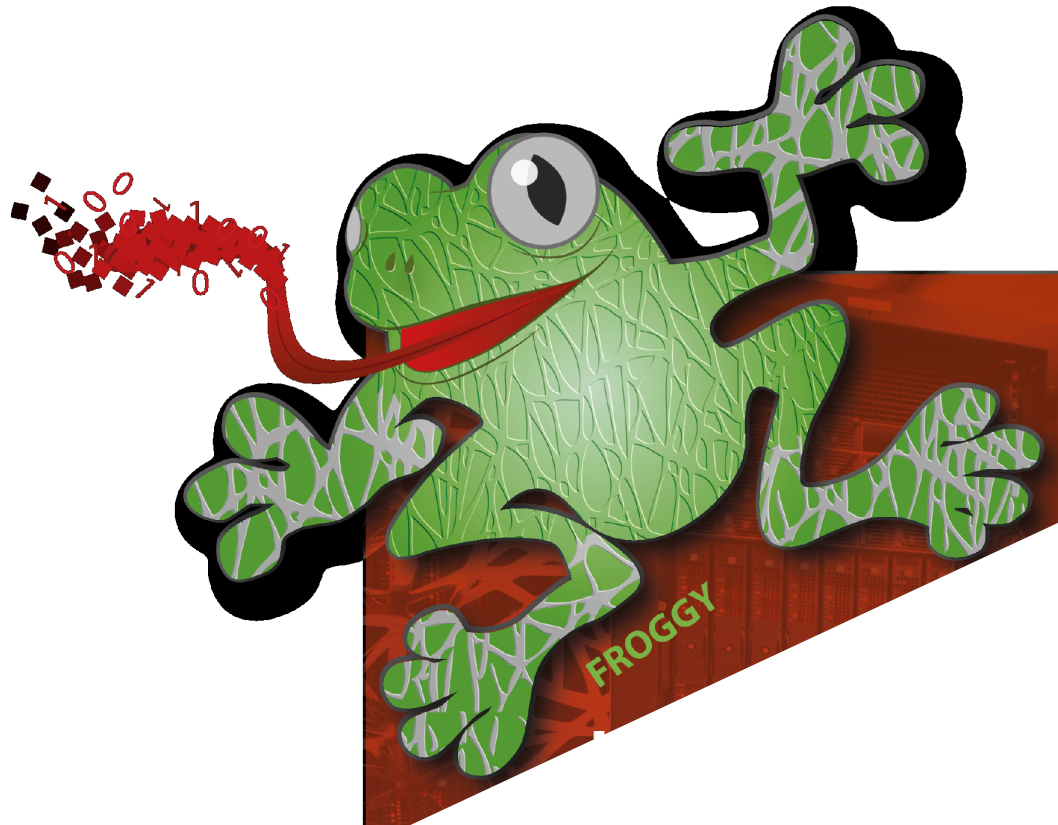
Challenge 2: Perspectives

- Améliorer la prise en compte des processus qui gouvernent l'écoulement des glaciers émissaires (endommagement, vêlage, hydrologie sous glaciaire,)



Besoin d'un calculateur local pour développer et tester les processus

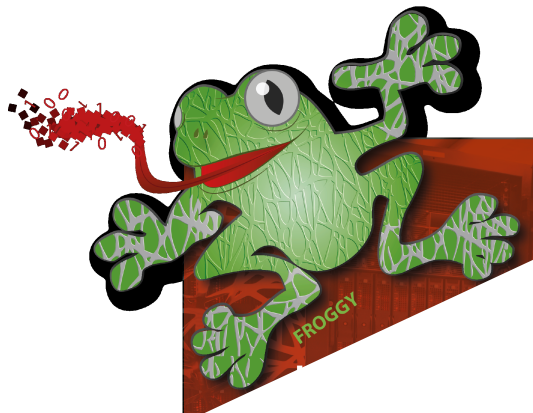
Challenge 3



**Couplages avec les autres composantes du climat
(atmosphère et océan)**

Challenge 3: Perspectives

- 1 thèse fin 2013 sur le couplage avec l'océan
- 1 CR fin 2013 sur les processus aux interfaces glace/atmosphère – glace/océan et couplage



Besoin d'un calculateur local pour mettre en place les couplages

Conclusions



- De réels progrès des modèles de calottes polaires ces dernières années (initialisation, processus, couplages,...)
- En contrepartie, des modèles de plus en plus couteux en moyens de calculs
- Elmer/Ice, un modèle de référence dans la communauté, avec de nombreux développements et applications menées au LGGE par EDGe

Calculer avec Elmer/Ice au LGGE

PRACE – Tier 0 (Lindgren): 36340 coeurs

1 000 000 h cpu en 2012



CINES (Jade) : 23040 coeurs

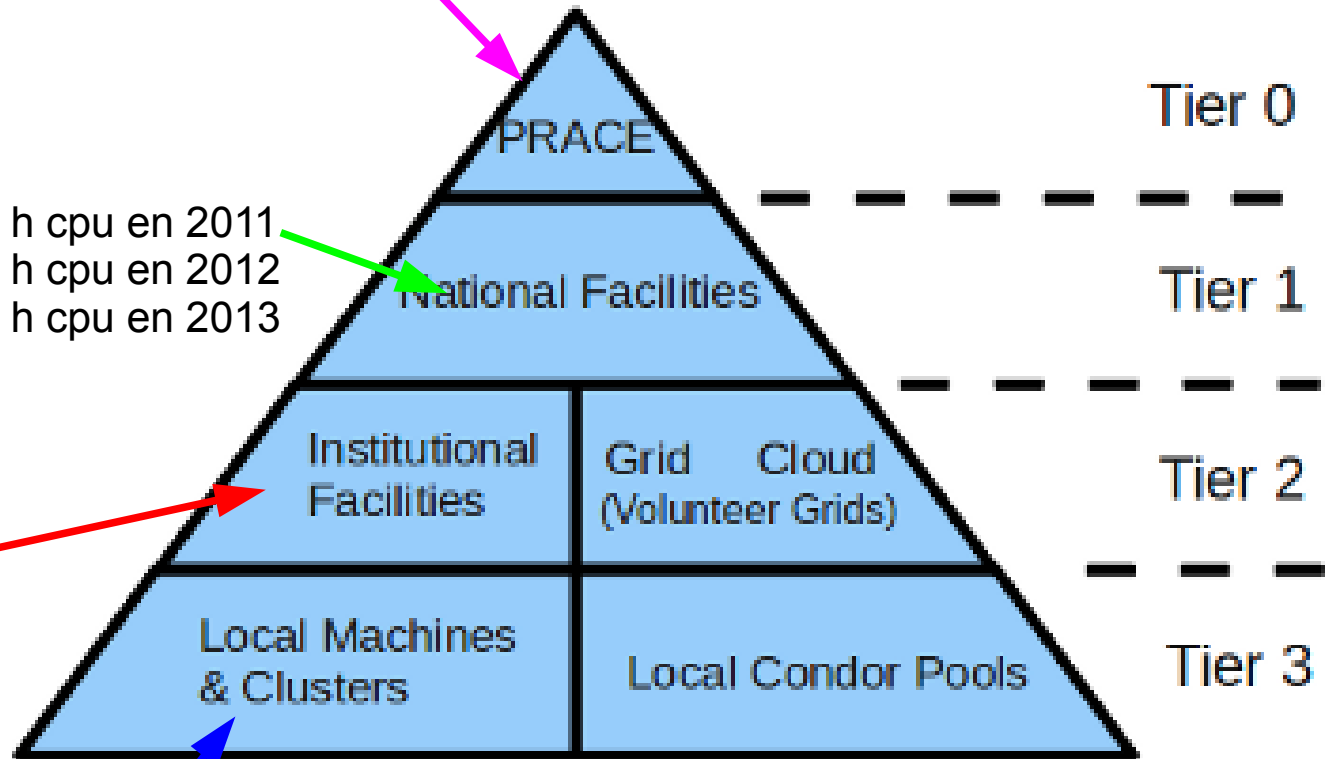
500 000 h cpu en 2011
1 000 000 h cpu en 2012
1 500 000 h cpu en 2013



CIMENT (Foehn): 128 coeurs



LGGE (Lachouf): 128 coeurs



Calculer avec Elmer/Ice au LGGE

PRACE – Tier 0 (Lindgren): 36340 coeurs

1 000 000 h cpu en 2012



CINES (Jade) : 23040 coeurs

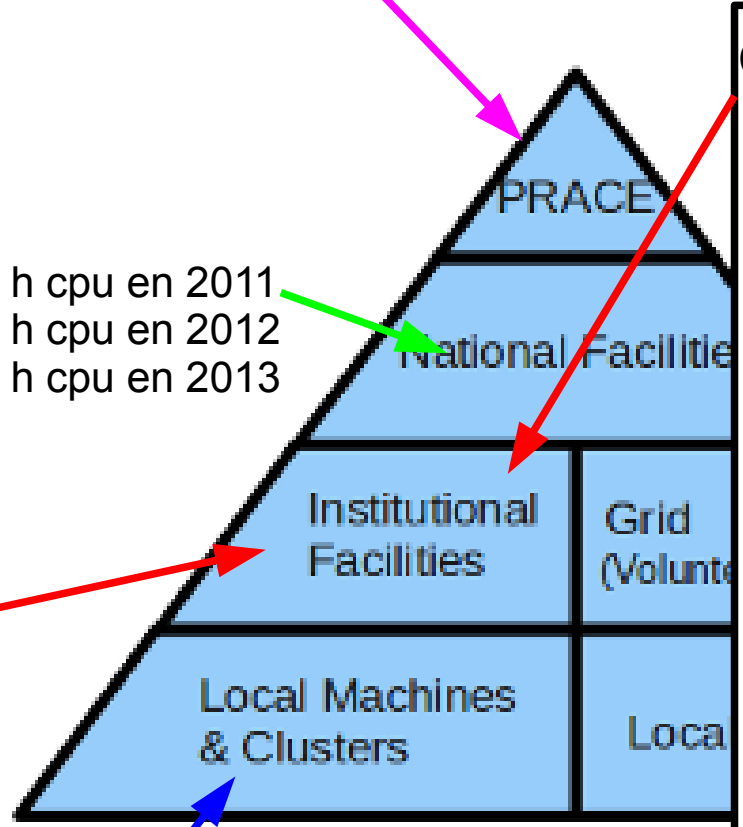
500 000 h cpu en 2011
1 000 000 h cpu en 2012
1 500 000 h cpu en 2013



CIMENT (Foehn): 128 coeurs



LGGE (Lachouf): 128 coeurs



CIMENT (Froggy): 2176 coeurs

