



# Désagrégation du bilan de masse de surface de la calotte polaire Antarctique, application pour le 21<sup>ème</sup> siècle



Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

Cécile AGOSTA

Vincent Favier, Christophe Genthon, Hubert Gallée, Gerhard Krinner

---

AMA- 9 Février 2011



# Désagrégation du bilan de masse de surface de la calotte polaire Antarctique, application pour le 21<sup>ème</sup> siècle



Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

Cécile AGOSTA

Vincent Favier, Christophe Genthon, Hubert Gallée, Gerhard Krinner

---

AMA- 9 Février 2011

# Bilan de Masse Antarctique & Niveau des mers

---

## Futur :

- ➔ Quelle augmentation des flux de glace ?
- ➔ Quelle évolution du Bilan de Masse de Surface (BMS) ?

# Bilan de Masse Antarctique & Niveau des mers

---

## Futur :

- ➔ Quelle augmentation des flux de glace ?
- ➔ Quelle évolution du Bilan de Masse de Surface (BMS) ?

Incertitudes importantes sur le Bilan de Masse

# Bilan de Masse Antarctique & Niveau des mers

## Futur :

- ➔ Quelle augmentation des flux de glace ?
- ➔ Quelle évolution du Bilan de Masse de Surface (BMS) ?

Incertitudes importantes sur le Bilan de Masse. *Exemple :*

Rignot et al., 2008	<b>BMS</b>	$2055 \pm 122$ Gt/an	[ $5,7 \pm 0,3$ ]
	<b>Flux de glace</b>	$2193 \pm 30$ Gt/an	[ $6,1 \pm 0,1$ ]
<u>Année 2000</u>	<b>Bilan net</b>	$-138 \pm 92$ Gt/an	[ $+0,4 \pm 0,25$ mm/an eq. océan ]

# Bilan de Masse Antarctique & Niveau des mers

## Futur :

- ➔ Quelle augmentation des flux de glace ?
- ➔ Quelle évolution du Bilan de Masse de Surface (BMS) ?

Incertitudes importantes sur le Bilan de Masse. *Exemple :*

Rignot et al., 2008	<b>BMS</b>	$2055 \pm 122$ Gt/an	[ $5,7 \pm 0,3$ ]
	<b>Flux de glace</b>	$2193 \pm 30$ Gt/an	[ $6,1 \pm 0,1$ ]
<u>Année 2000</u>	<b>Bilan net</b>	$-138 \pm 92$ Gt/an	[ $+0,4 \pm 0,25$ mm/an eq. océan ]

BMS : contribution potentiellement importante au niveau des mers

# Bilan de Masse Antarctique & Niveau des mers

## Futur :

- ➔ Quelle augmentation des flux de glace ?
- ➔ Quelle évolution du Bilan de Masse de Surface (BMS) ?

Incertitudes importantes sur le Bilan de Masse. *Exemple :*

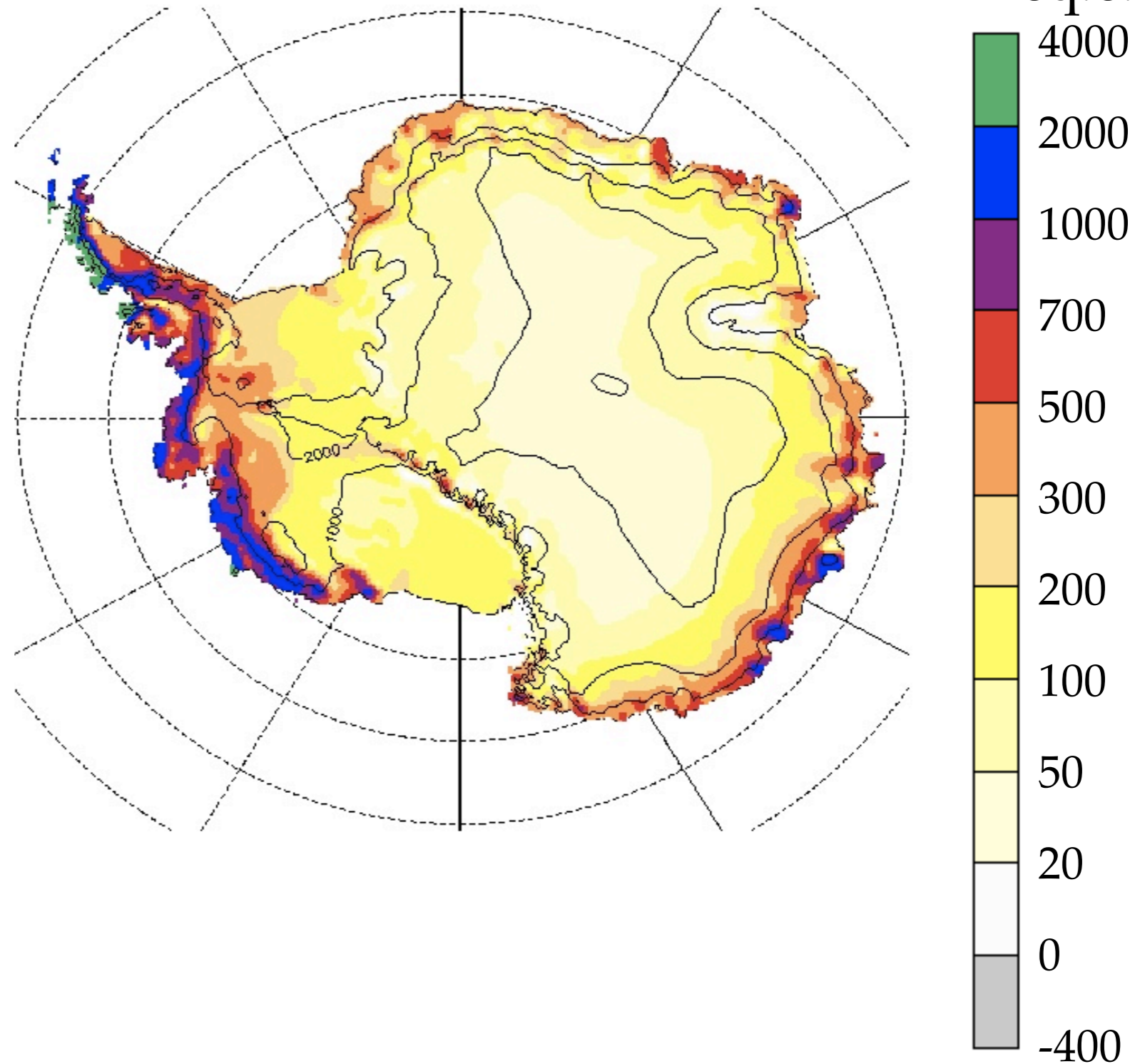
Rignot et al., 2008	BMS	2055 ± 122 Gt/an	[ 5,7 ± 0,3 ]
	Flux de glace	2193 ± 30 Gt/an	[ 6,1 ± 0,1 ]
	<u>Année 2000</u>	Bilan net	-138 ± 92 Gt/an

BMS : contribution potentiellement importante au niveau des mers

Krinner et al., 2007	1980-2000	2038 Gt/an	[ 5,6 ]
	<u>BMS</u>	2080-2100	2470 Gt/an [ 6,8 ]
	↳ 21 <sup>ème</sup> siècle	+432 Gt/an	[ - 1,2 mm/an eq. océan ]

# Bilan de Masse de Surface Antarctique

mm eq.e. a<sup>-1</sup>



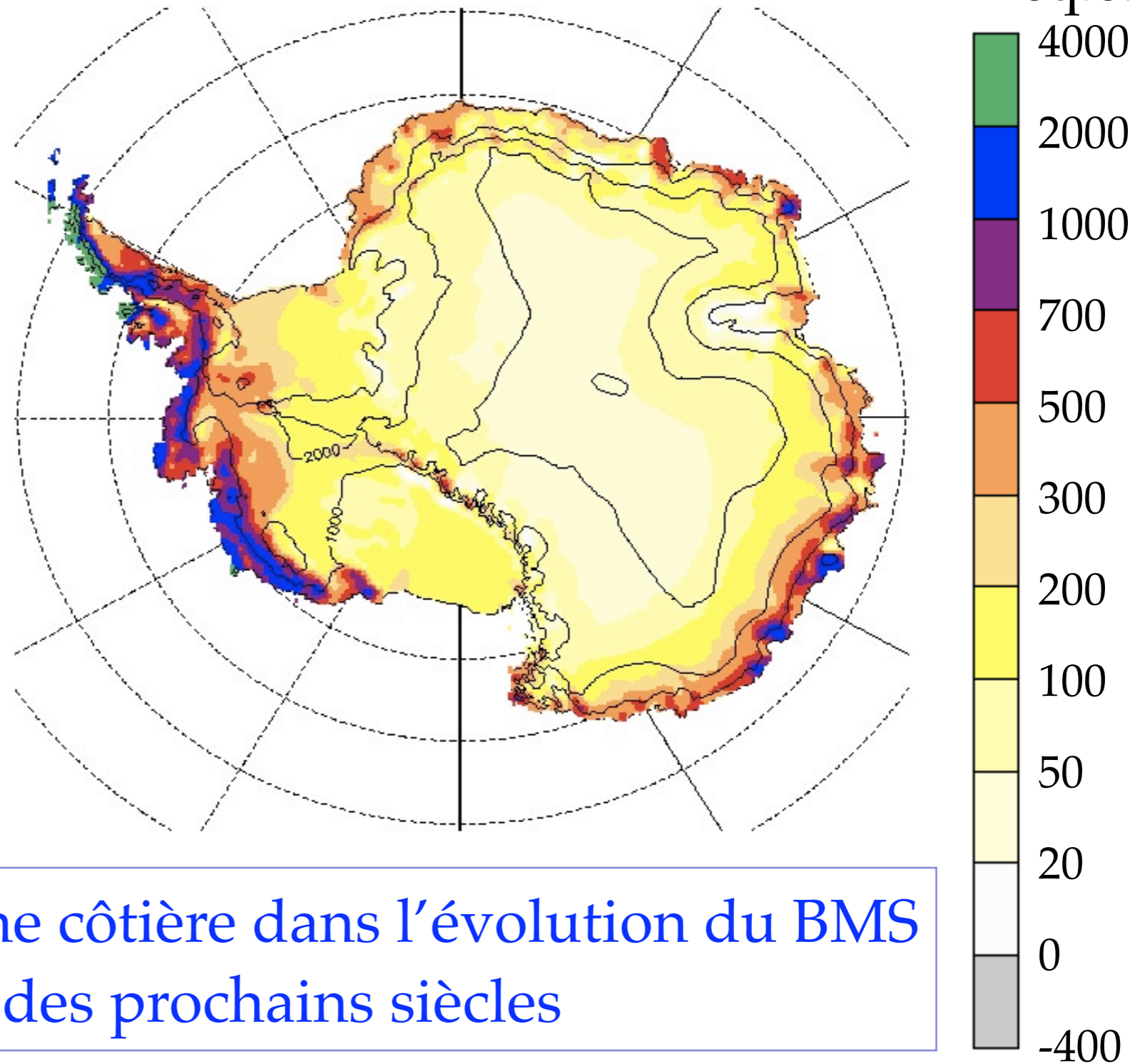
- ▶ Zones côtières  
enneigée et ventées
- ▶ Plateau intérieur  
froid et aride

(van de Berg et al., 2006)



# Bilan de Masse de Surface Antarctique

mm eq.e. a<sup>-1</sup>



- ▶ Zones côtières  
enneigée et ventées
- ▶ Plateau intérieur  
froid et aride

(van de Berg et al., 2006)

- ▶ Importance de la zone côtière dans l'évolution du BMS  
au cours des prochains siècles

# Caractéristiques des simulations

---

Estimation du BMS

Précipitation, Sublimation, Fonte, Neige soufflée

Domaine spatial

Antarctique (5600 km x 5600 km)

Echelle de temps

~ 100 ans (2000-2100)

Résolution actuelle : ~ 60 km

Résolution désirée :  $\leq 15$  km

→ Modèle à temps de calcul réduit

# Le modèle HiDEP

High-Resolution Downscaling of surface Energy balance and Precipitation

## ENTRÉES

Sorties de Modèles  
de Circulation  
Atmosphérique :

$P, T, Q_v, U, V, W$

Champs 3D

Pdt : 6H

Champs de surface

Pdt : 3H

Topographie Haute-Résolution

*Précipitations*

HiDEP

*Bilan d'Énergie de Surface*

## SORTIES

Pluie<sub>HiDEP</sub>

Neige<sub>HiDEP</sub>

Sublimation<sub>HiDEP</sub>

Fonte<sub>HiDEP</sub>

Regel<sub>HiDEP</sub>

# Précipitation :

## Modèle de précipitation orographique

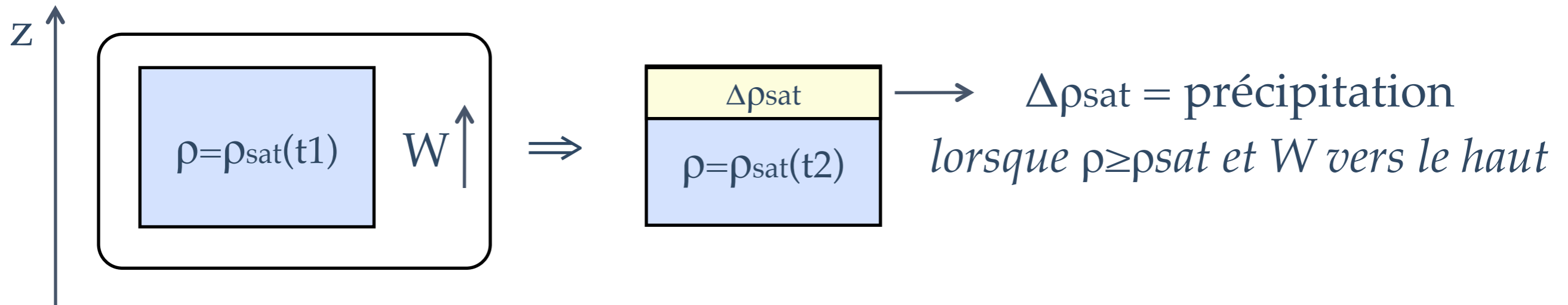
---

Ascendance  $\rightarrow$  Refroidissement adiabatique  $\rightarrow \rho_{\text{sat}} \downarrow$

Intégration de Clausius-Clapeyron à **saturation** :

$$\Delta\rho_{\text{sat}} = F \times W \times \Delta t \text{ avec } F = \text{fonction}(\rho_{\text{sat}}, T, P)$$

*lorsque  $\rho \geq \rho_{\text{sat}}$  et  $W$  vers le haut*



# Précipitation :

## Modèle de précipitation orographique

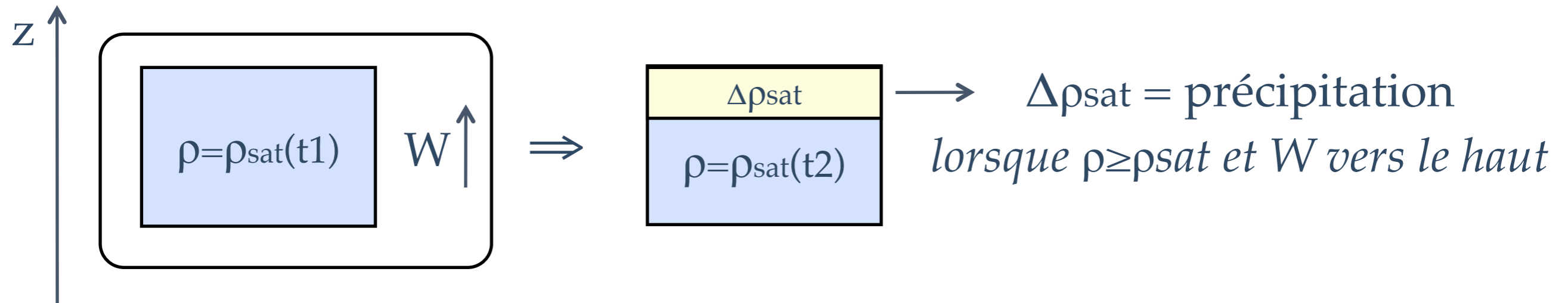
---

Ascendance  $\rightarrow$  Refroidissement adiabatique  $\rightarrow \rho_{\text{sat}} \downarrow$

Intégration de Clausius-Clapeyron à **saturation** :

$$\Delta\rho_{\text{sat}} = F \times W \times \Delta t \text{ avec } F = \text{fonction}(\rho_{\text{sat}}, T, P)$$

*lorsque  $\rho \geq \rho_{\text{sat}}$  et  $W$  vers le haut*



- $\rightarrow$  Rétroaction sur T,P (sous-pdt)
- $\rightarrow$  Temps de formation des hydrométéores
- $\rightarrow$  Advection pendant la chute

# Précipitation :

## Modèle de précipitation orographique

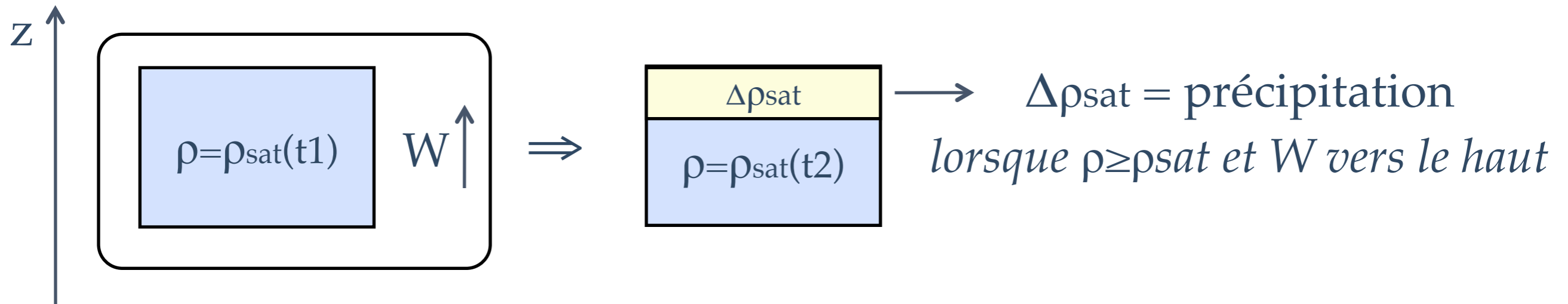
---

Ascendance  $\rightarrow$  Refroidissement adiabatique  $\rightarrow \rho_{\text{sat}} \downarrow$

Intégration de Clausius-Clapeyron à **saturation** :

$$\Delta \rho_{\text{sat}} = F \times W \times \Delta t \text{ avec } F = \text{fonction}(\rho_{\text{sat}}, T, P)$$

*lorsque  $\rho \geq \rho_{\text{sat}}$  et  $W$  vers le haut*



- $\rightarrow$  Rétroaction sur T,P (sous-pdt)
- $\rightarrow$  Temps de formation des hydrométéores
- $\rightarrow$  Advection pendant la chute

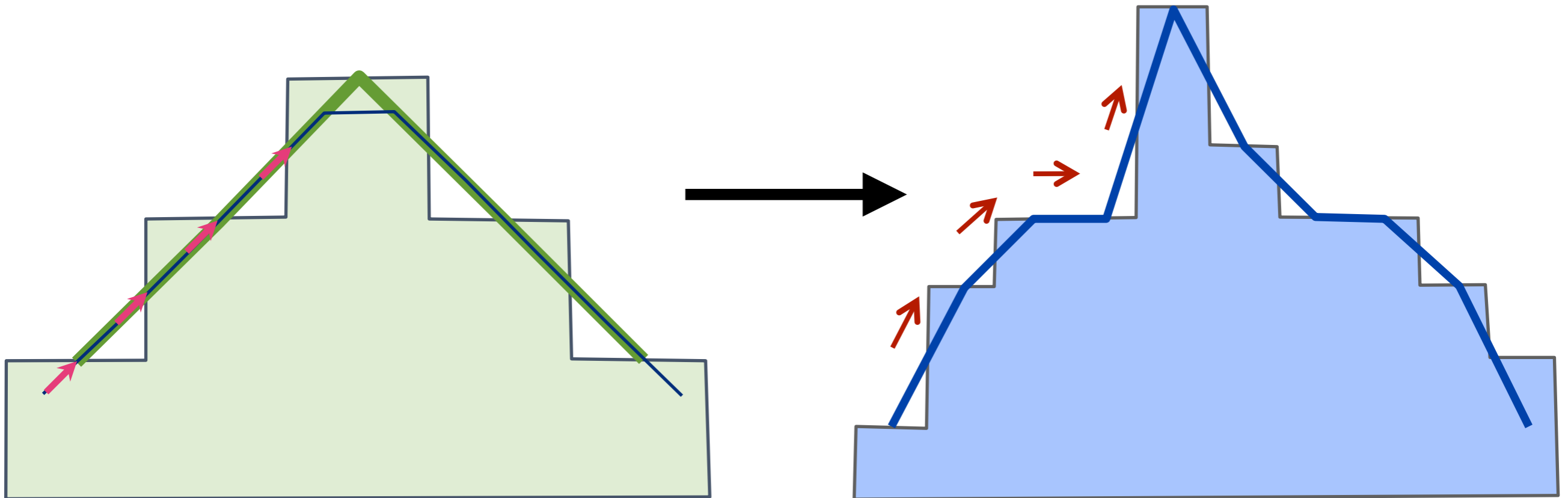
# Précipitation orographique : Détermination du vent vertical $W$

---

$W_{\text{Int}}$  : vitesse verticale grande échelle interpolée

En surface : vent tangent à la topographie

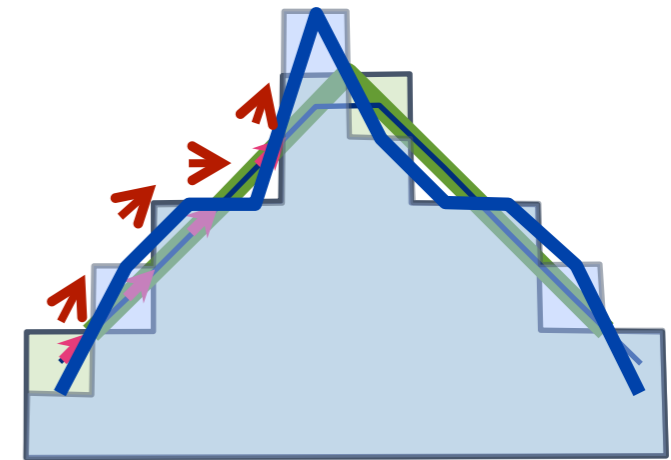
→ nouvelle vitesse verticale en surface



# Précipitation orographique :

## Détermination du vent vertical $W$

Conservation de la quantité de mouvement  
 + Continuité  
 + Conservation de l'énergie  
 + Gaz Parfait, non rotationnel, adiabatique



- + Hypothèses pour simplification et linéarisation des équations :
- Petites perturbations autour de l'équilibre hydrostatique
  - Vent horizontal  $\gg$  Vent vertical
  - Variables moyennes variant peu horizontalement
  - 2D
  - Paramètre de Scorer  $l(z)=f(T(z),P(z))$  variant lentement

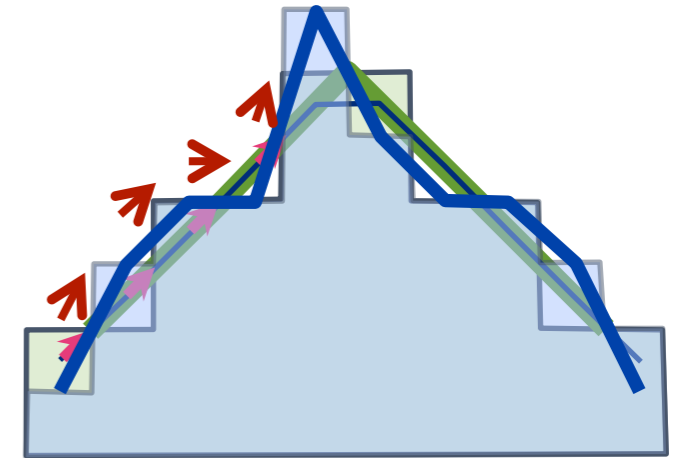
→ Equation d'onde sur  $W$  (Ondes de gravité) :  $WG$



# Précipitation orographique :

## Détermination du vent vertical $W$

Conservation de la quantité de mouvement  
 + Continuité  
 + Conservation de l'énergie  
 + Gaz Parfait, non rotationnel, adiabatique



+ Hypothèses pour simplification et linéarisation des équations :

- Petites perturbations autour de l'équilibre hydrostatique
- Vent horizontal  $\gg$  Vent vertical
- Variables moyennes variant peu horizontalement
- 2D
- Paramètre de Scorer  $l(z)=f(T(z),P(z))$  variant lentement

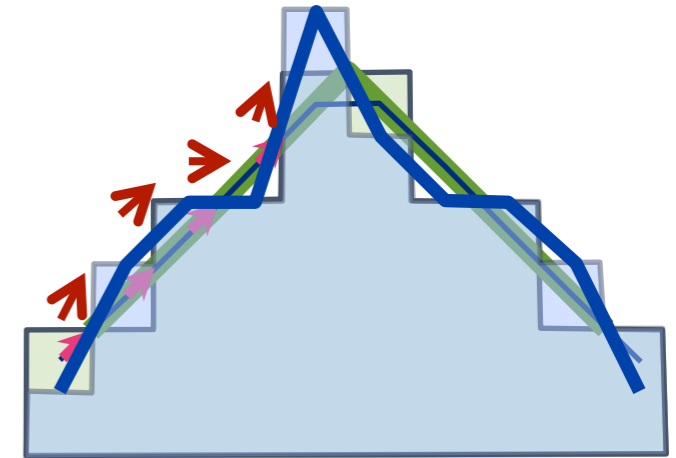
→ Equation d'onde sur  $W$  (Ondes de gravité) :  $WG$

$$W = W_{\text{Interpolé}} - W_G(\text{Topo Interpolée}) + W_G(\text{Topo Haute-Résolution})$$

# Précipitation orographique :

## Détermination du vent vertical $W$

Conservation de la quantité de mouvement  
 + Continuité  
 + Conservation de l'énergie  
 + Gaz Parfait, non rotationnel, adiabatique

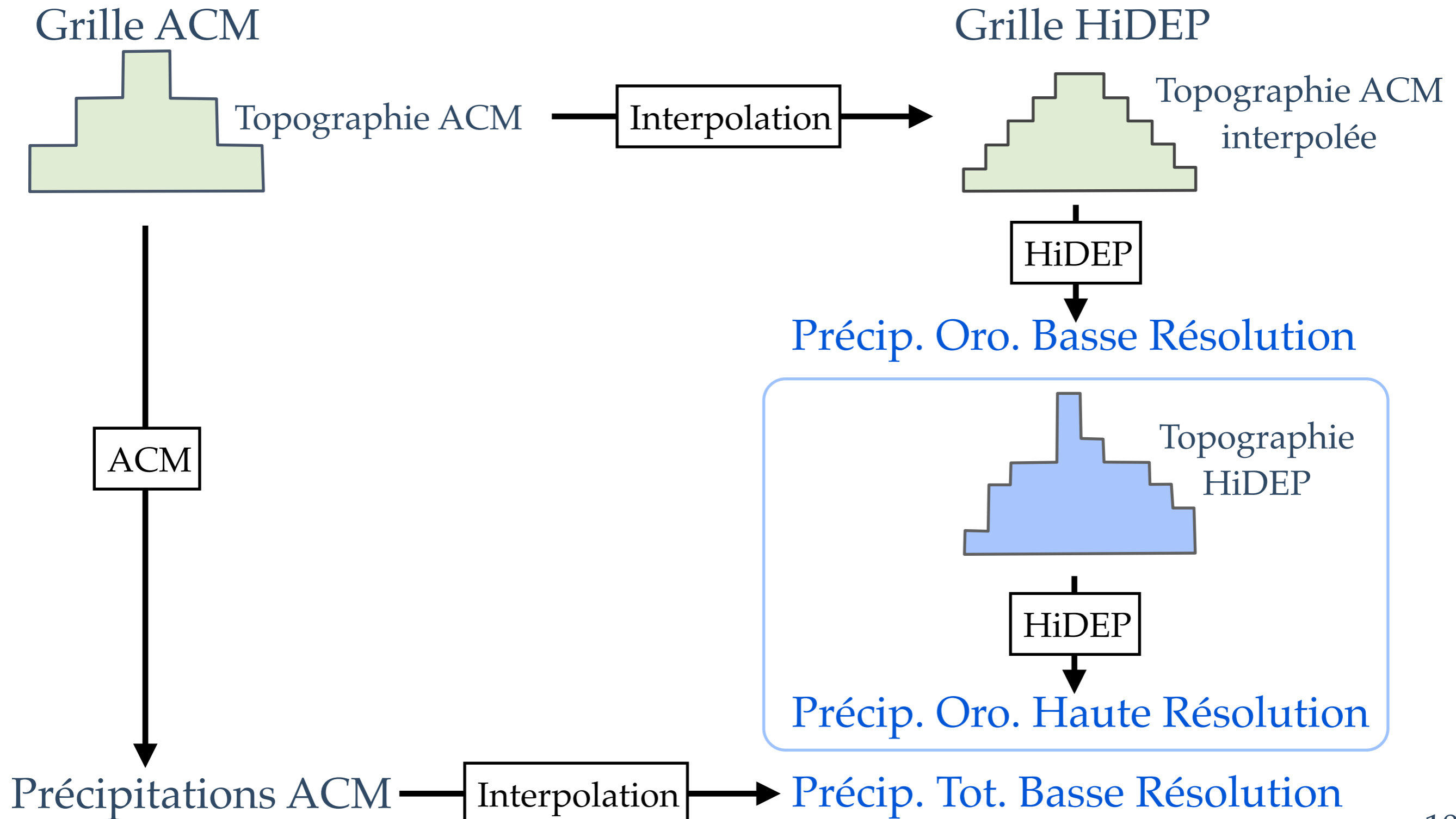


- + Hypothèses pour simplification et linéarisation des équations :
- Petites perturbations autour de l'équilibre hydrostatique
  - Vent horizontal  $\gg$  Vent vertical
  - Variables moyennes variant peu horizontalement
  - $2D \rightarrow 3D$  (FFT + résolution numérique) EN COURS
  - Paramètre de Scorer  $l(z)=f(T(z),P(z))$  variant lentement

$\rightarrow$  Equation d'onde sur  $W$  (Ondes de gravité) :  $WG$

$$W = W_{\text{Interpolé}} - W_{G(\text{Topo Interpolée})} + W_{G(\text{Topo Haute-Résolution})}$$

# Précipitation totale : Méthode des anomalies



# Précipitation totale : Méthode des anomalies

---

---

*Précip. NON Orographique*

Précip. Totale Basse Résolution (*Interpolée*)  
– Précip. Orographique Basse Résolution  
+ Précip. Orographique Haute Résolution

---

Précip. Totale Haute Résolution

# Bilan d'énergie de surface

Extrapolation des champs de surface avec la topographie

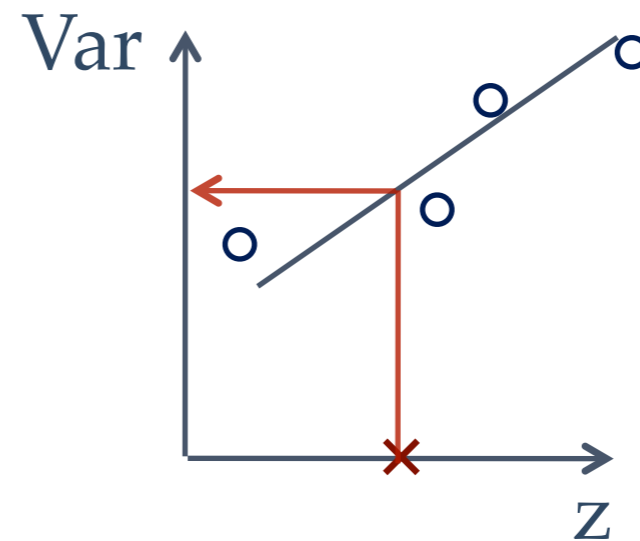
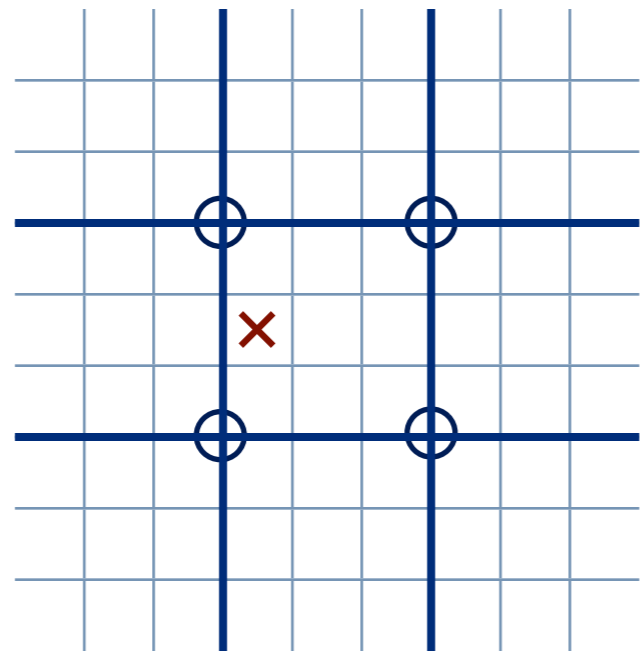


Schéma de surface

Sublimation

Fonte

Regel

# Bilan d'énergie de surface

Extrapolation des champs de surface avec la topographie

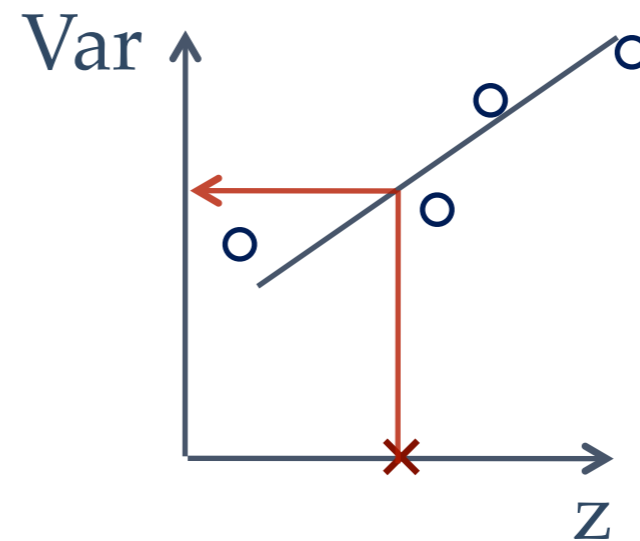
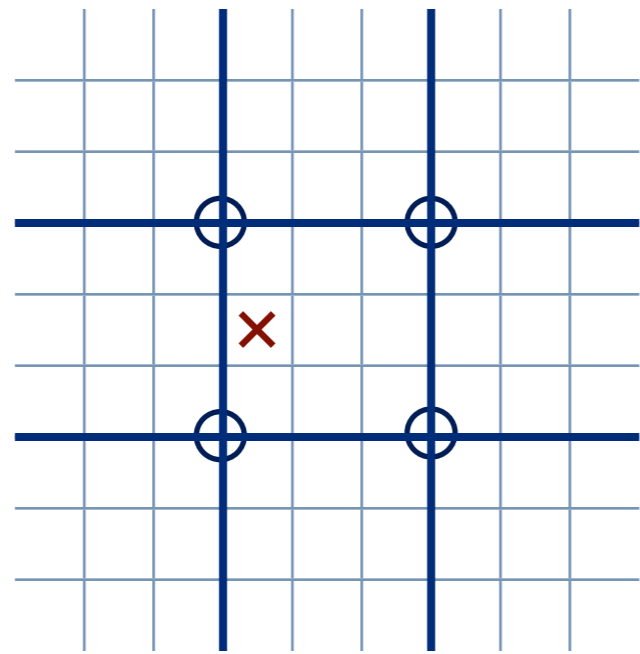


Schéma de surface

Actuellement : celui d'**LMDZ4**  
Prochainement : **SISVAT (MAR)**

Sublimation

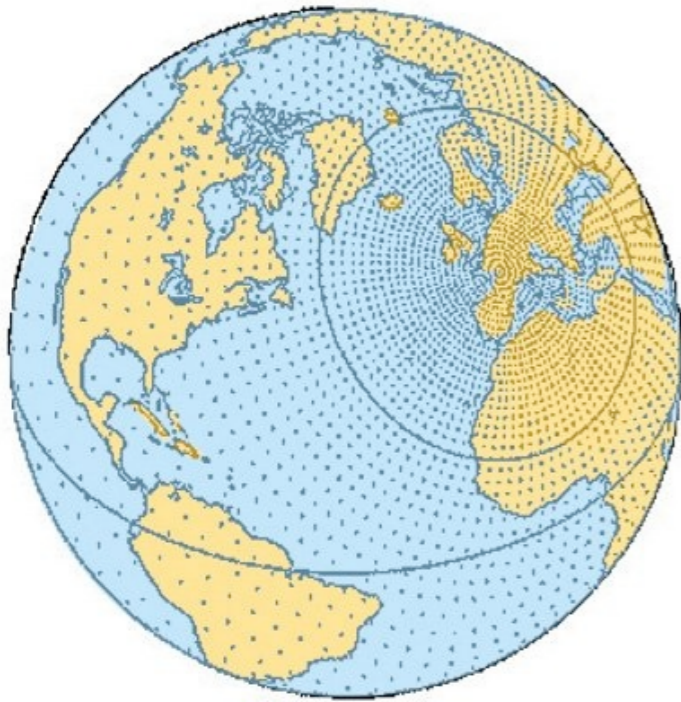
Fonte

Regel

# Interpolation horizontale

---

Modèle Grande-échelle : Maillage quelconque

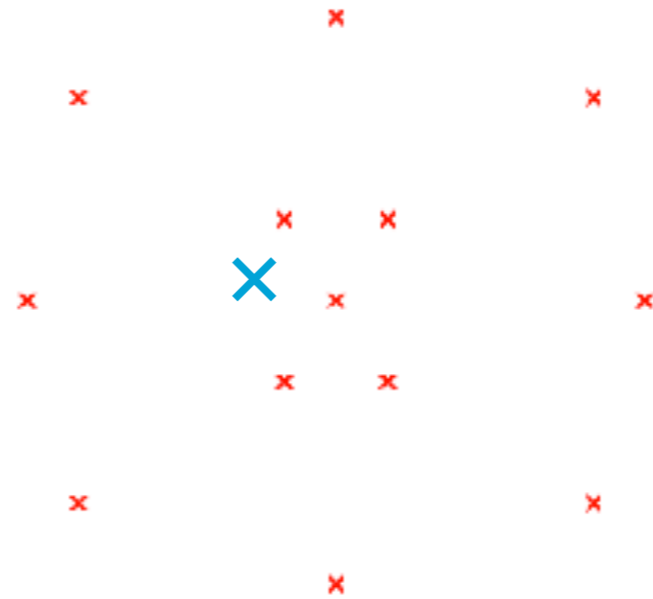
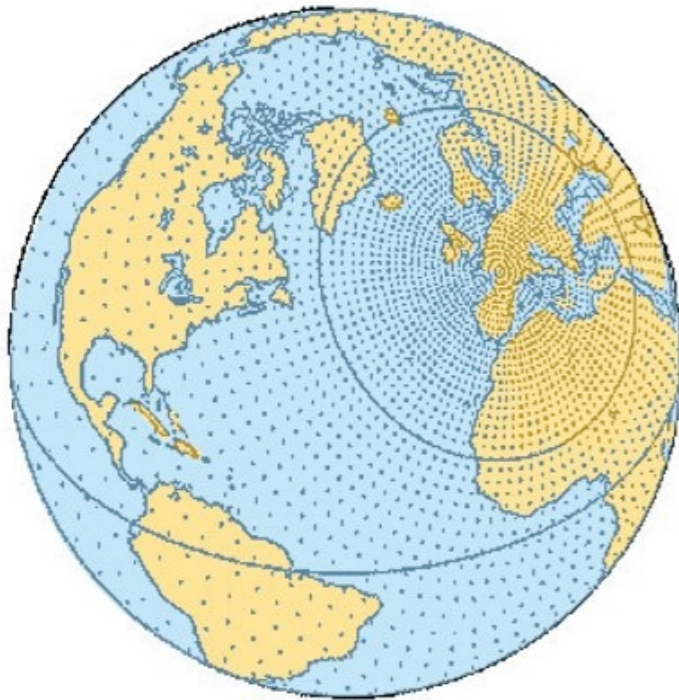


# Interpolation horizontale

---

Modèle Grande-échelle : Maillage quelconque

↙  
Projection dans le plan stéréographique polaire





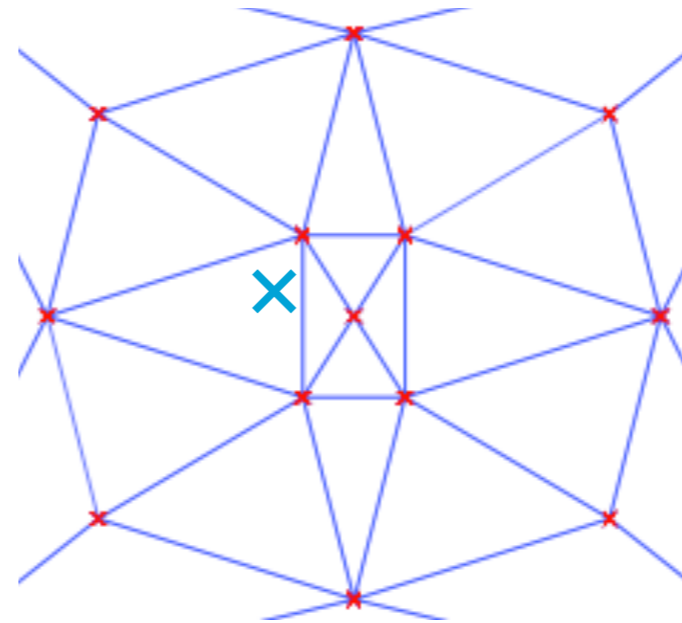
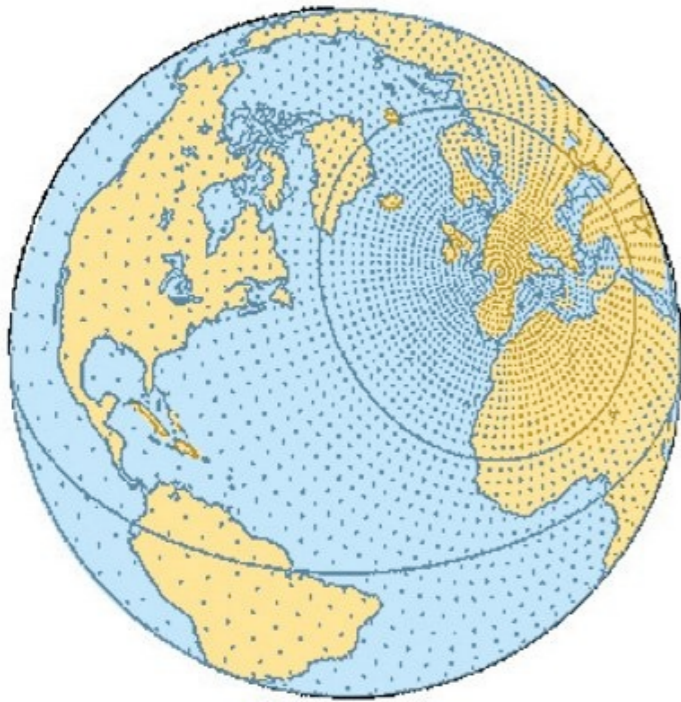
# Interpolation horizontale

---

Modèle Grande-échelle : Maillage quelconque

↓  
Projection dans le plan stéréographique polaire

↓  
Triangulation de Delaunay



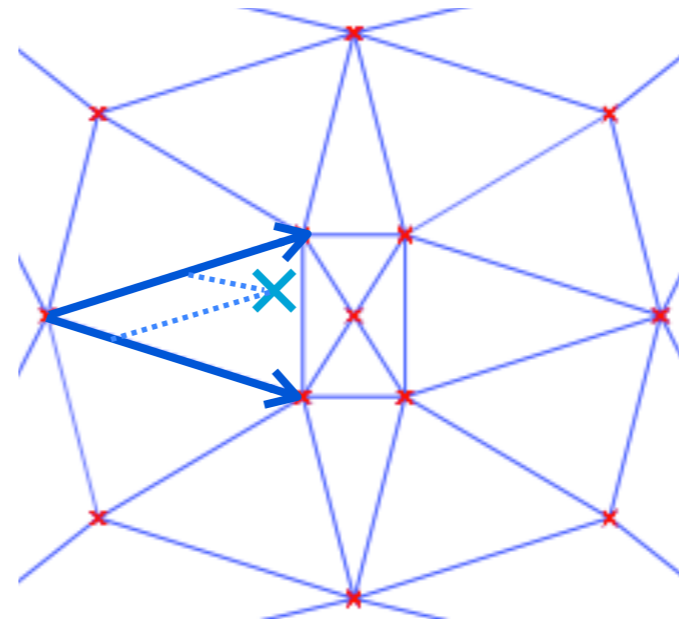
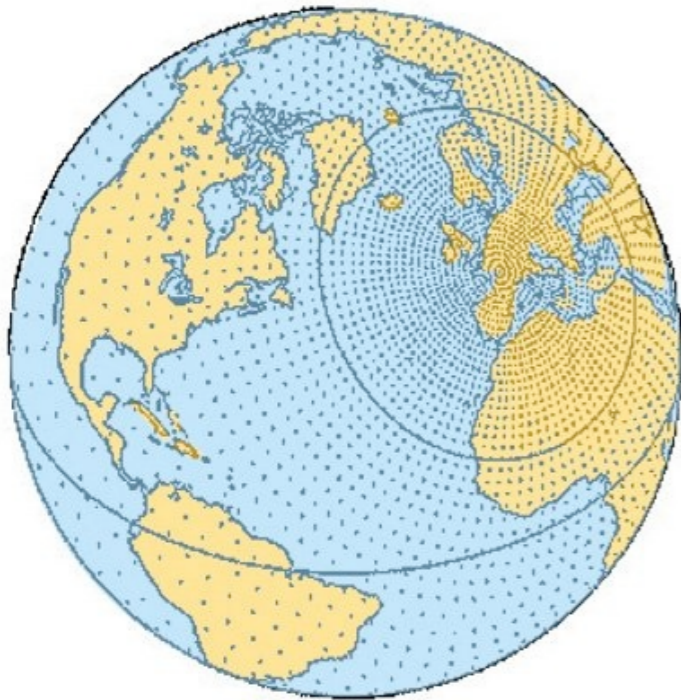
# Interpolation horizontale

---

Modèle Grande-échelle : Maillage quelconque

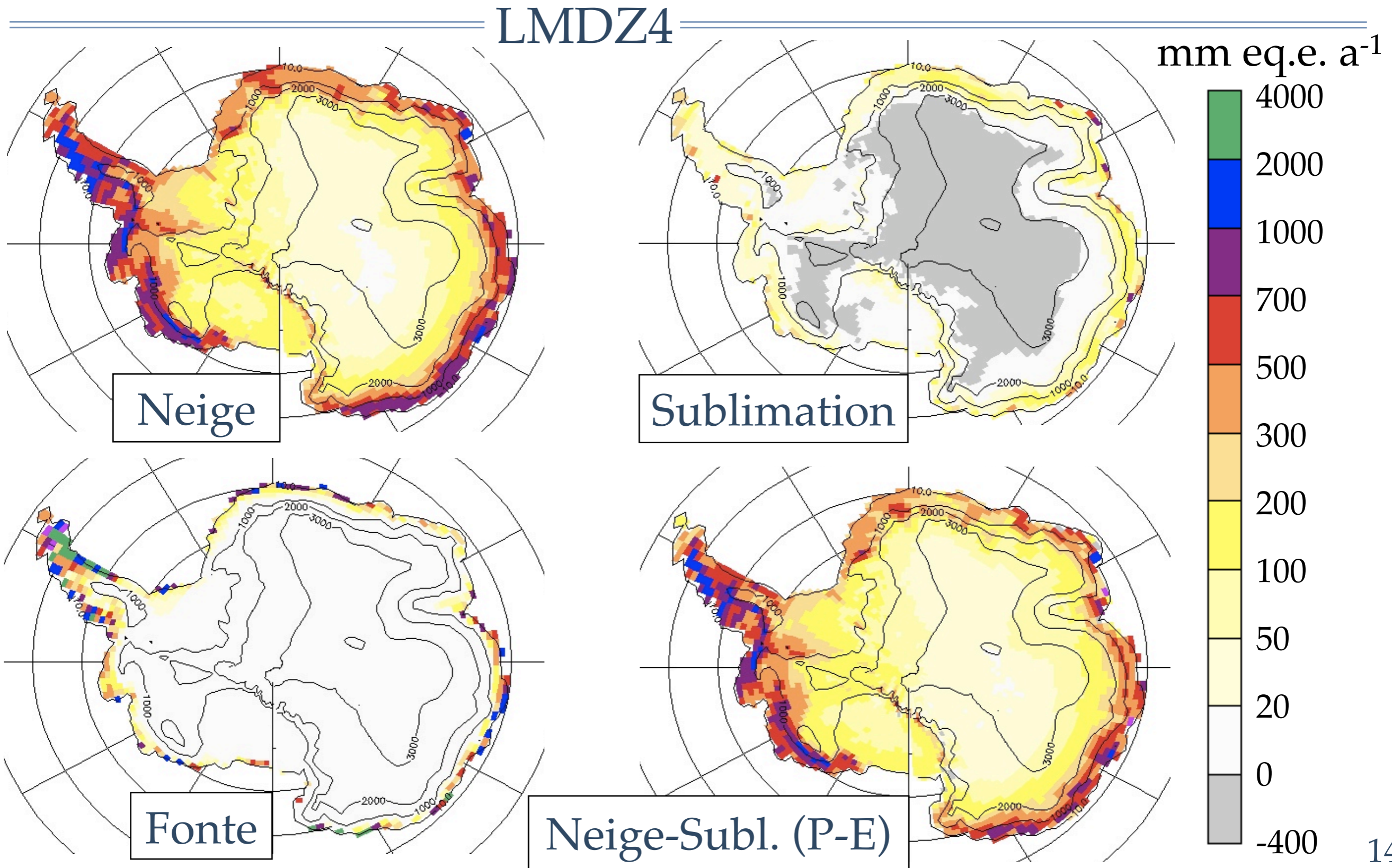
↓  
Projection dans le plan stéréographique polaire

↓  
Triangulation de Delaunay



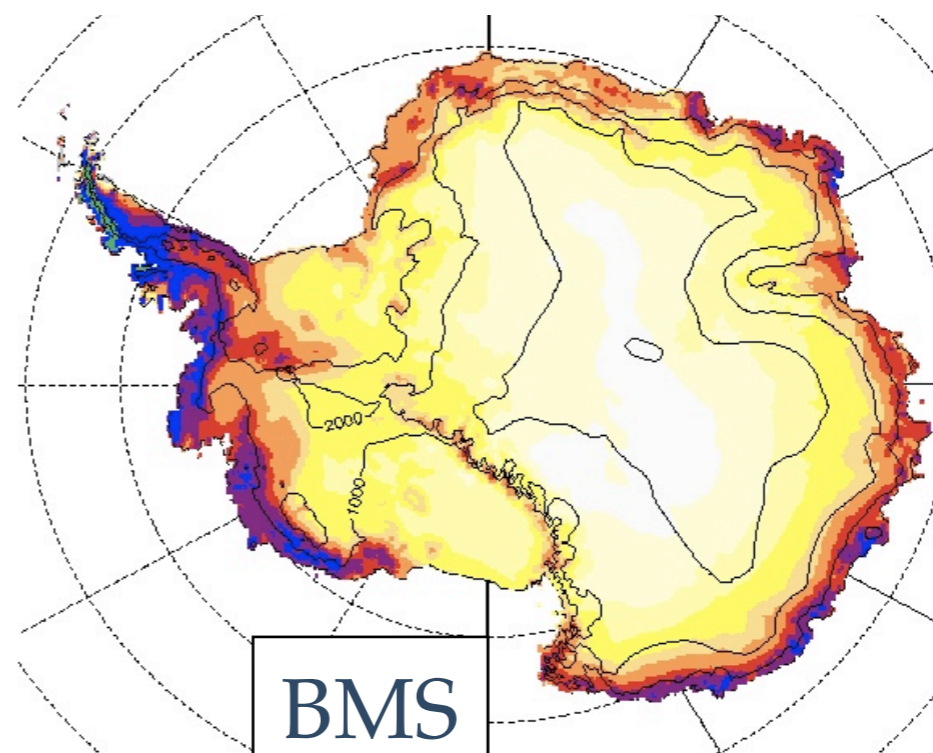
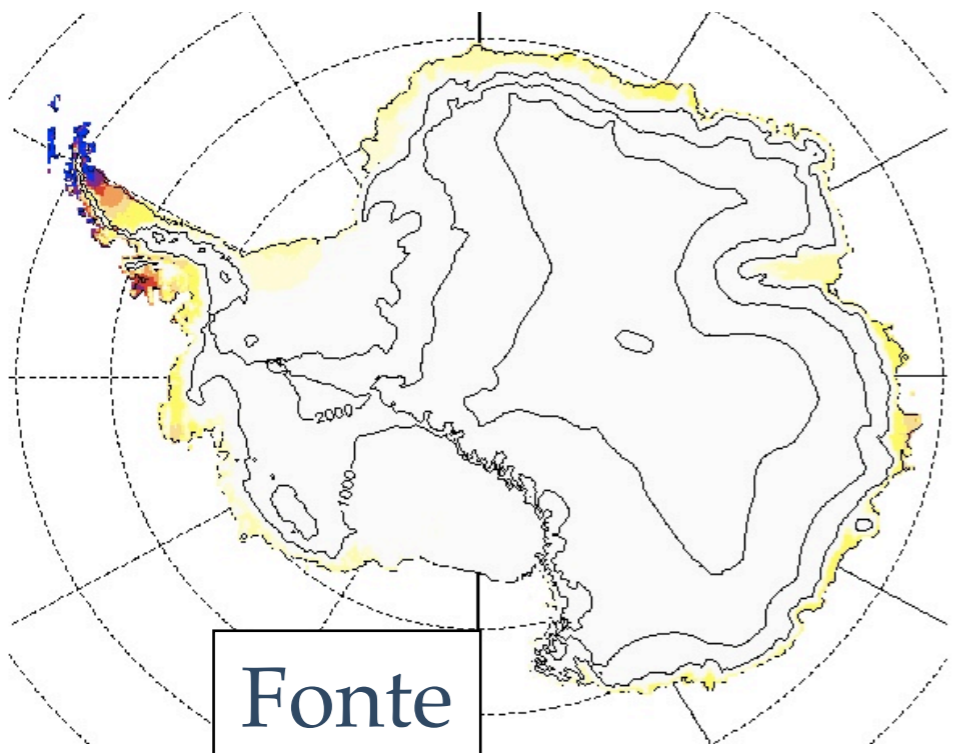
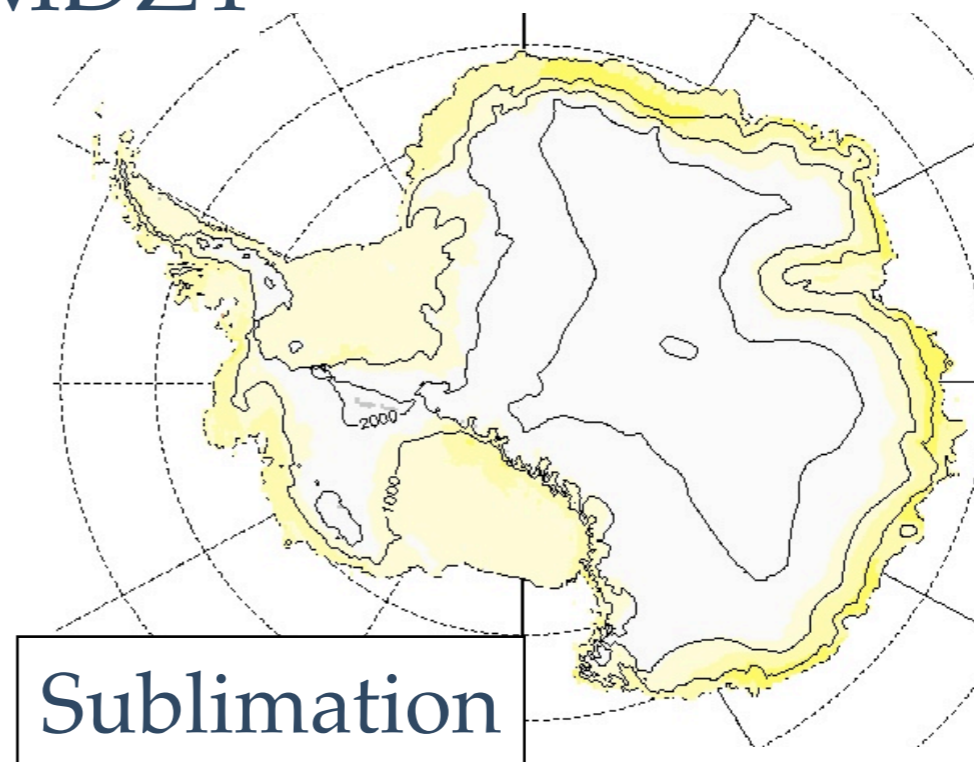
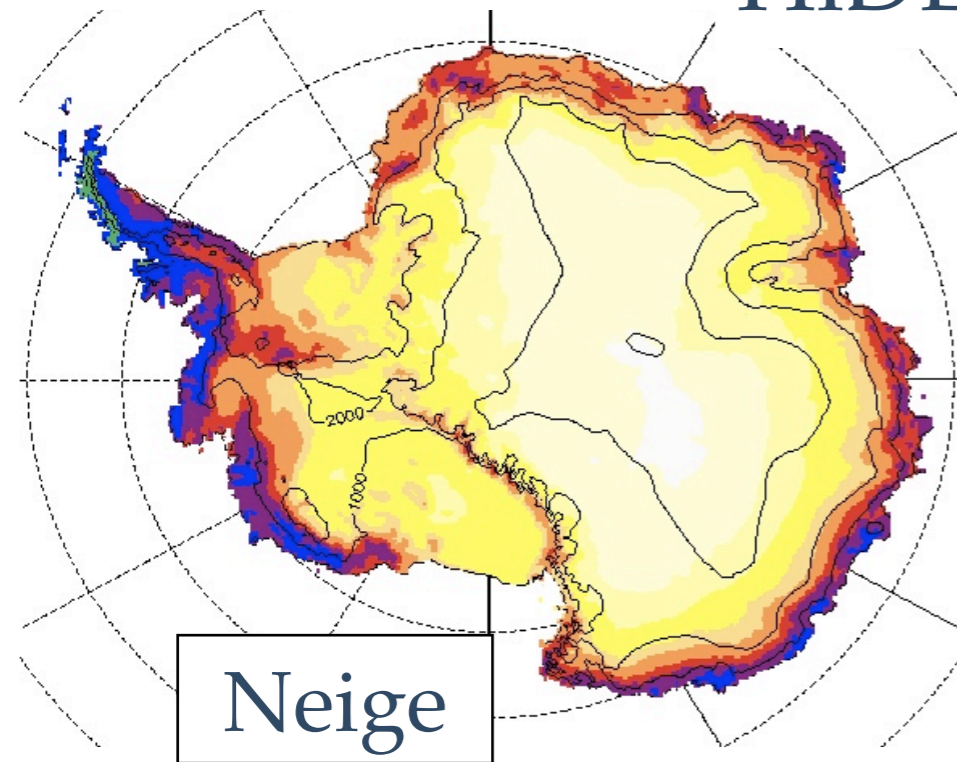
↓  
Interpolation barycentrique dans les triangles de Delaunay

# Application à LMDZ4 : 1980-2007

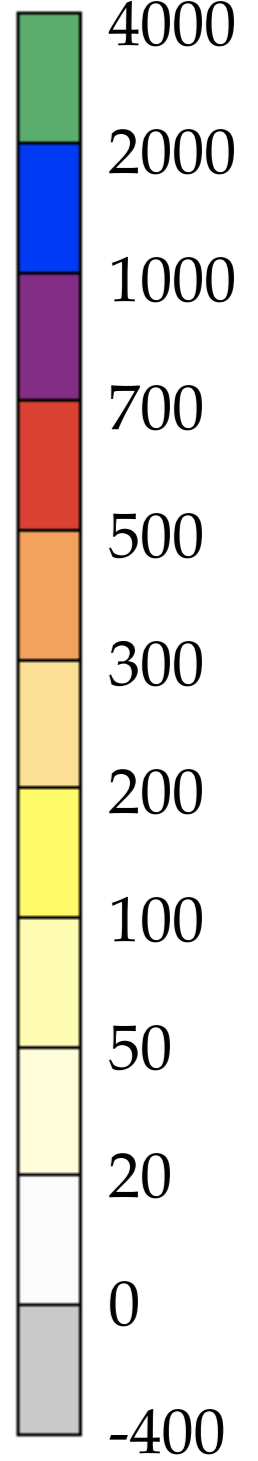


# Application à LMDZ4 : 1980-2007

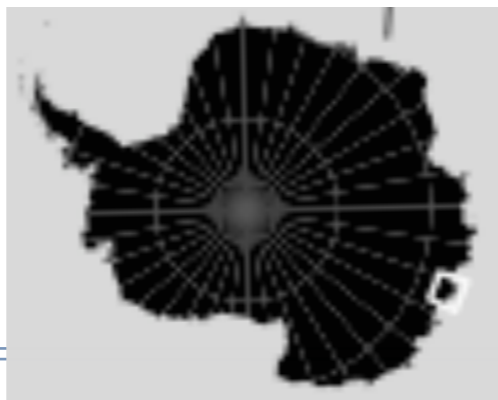
## HiDEP-LMDZ4



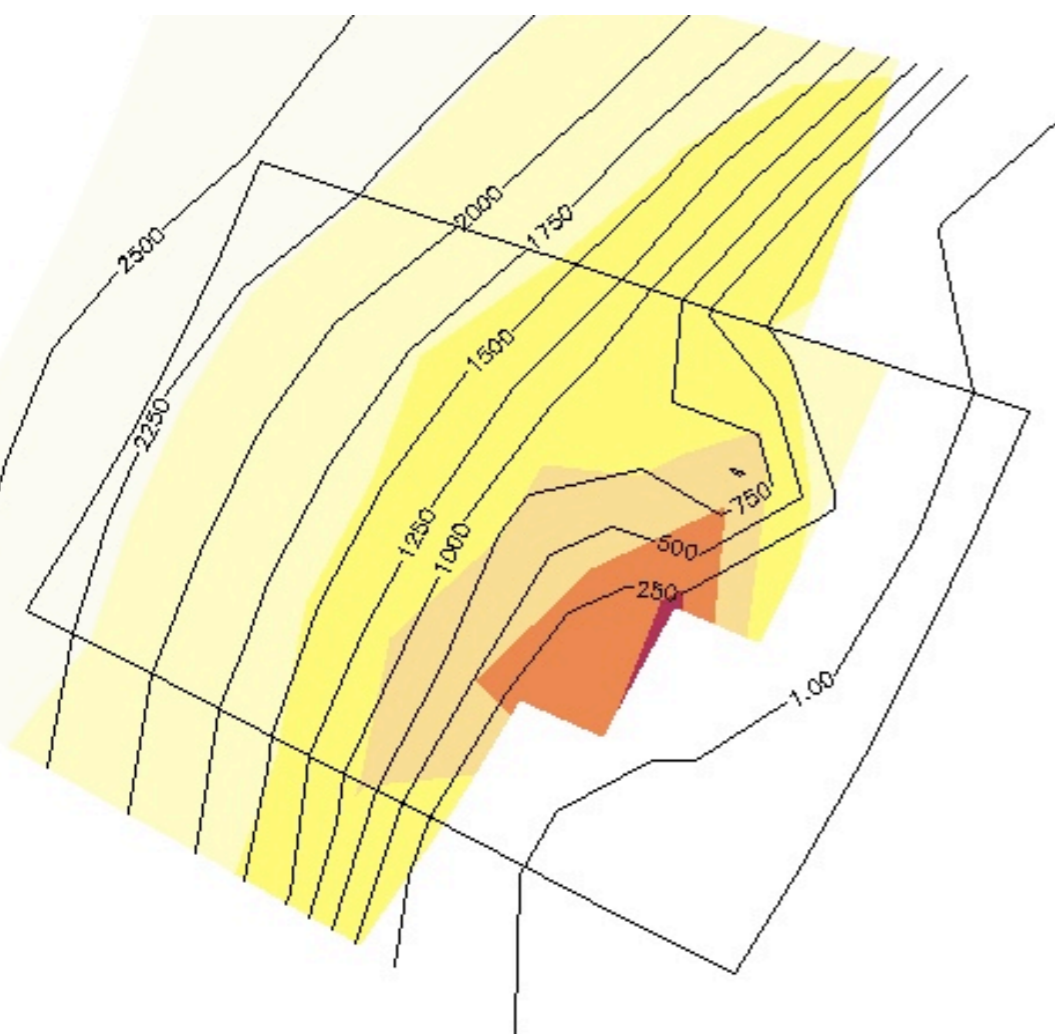
mm eq.e. a<sup>-1</sup>



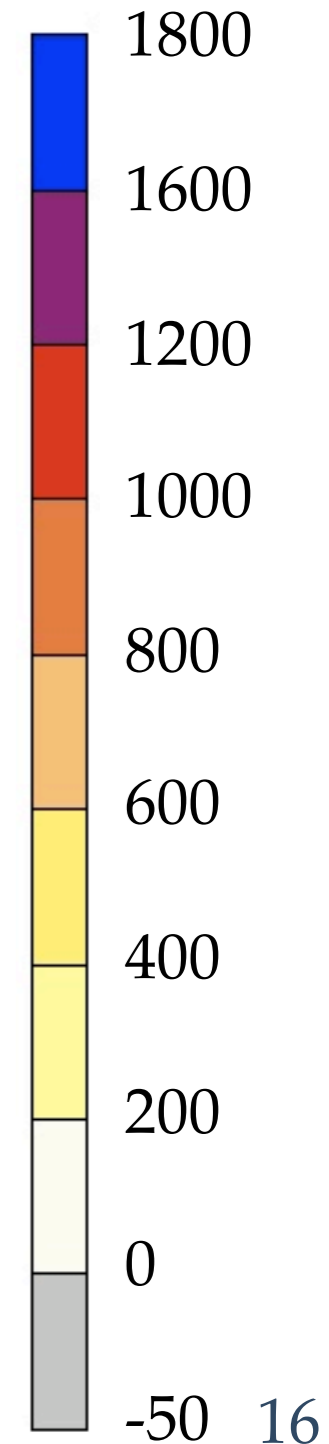
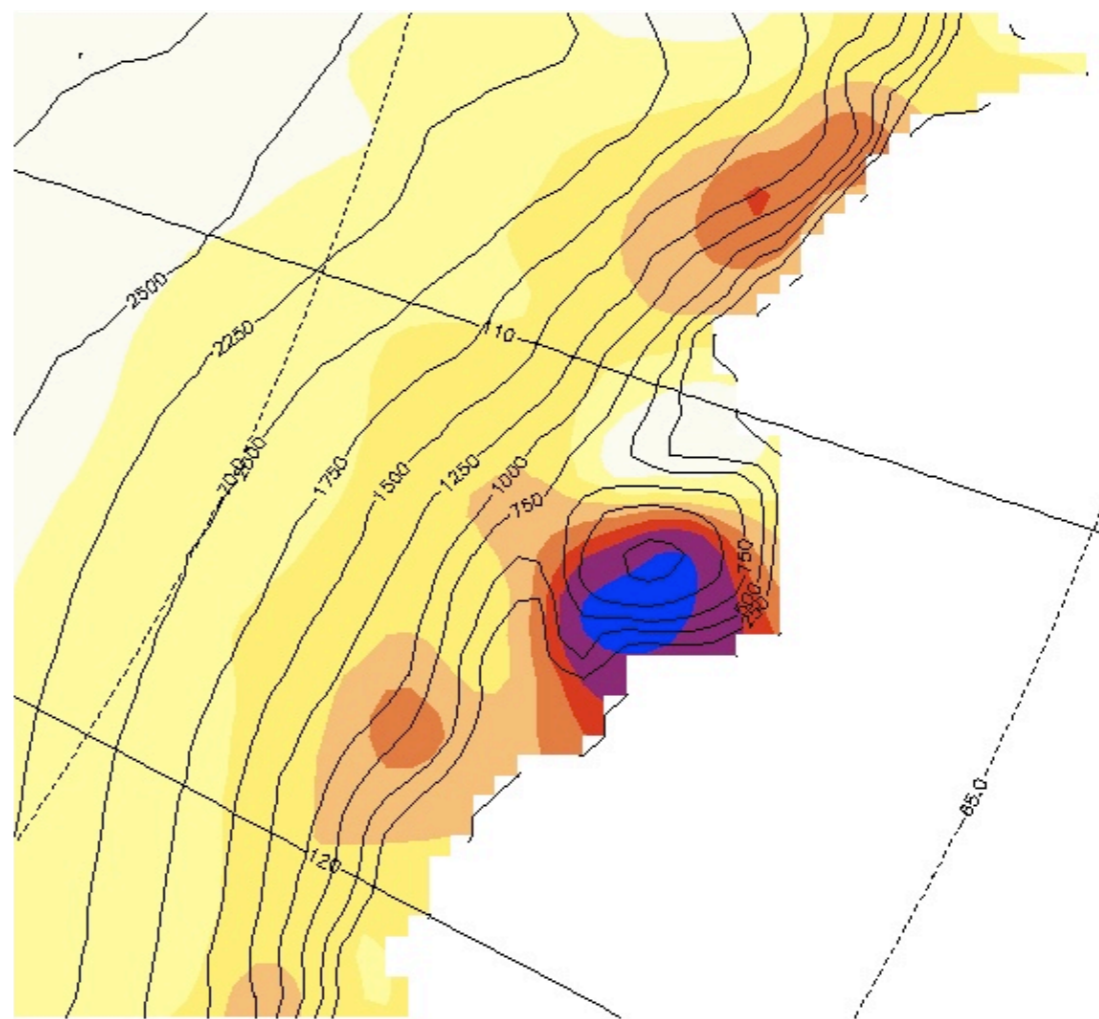
# Law Dome



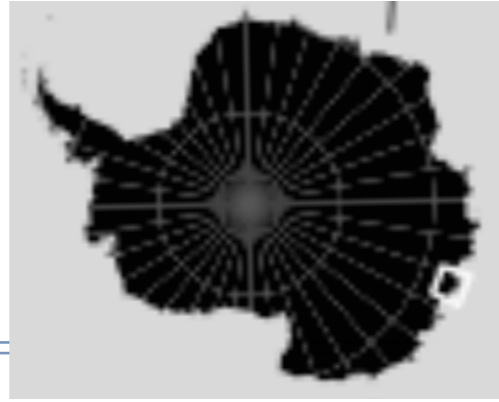
LMDZ4  
SMB 1980-2007



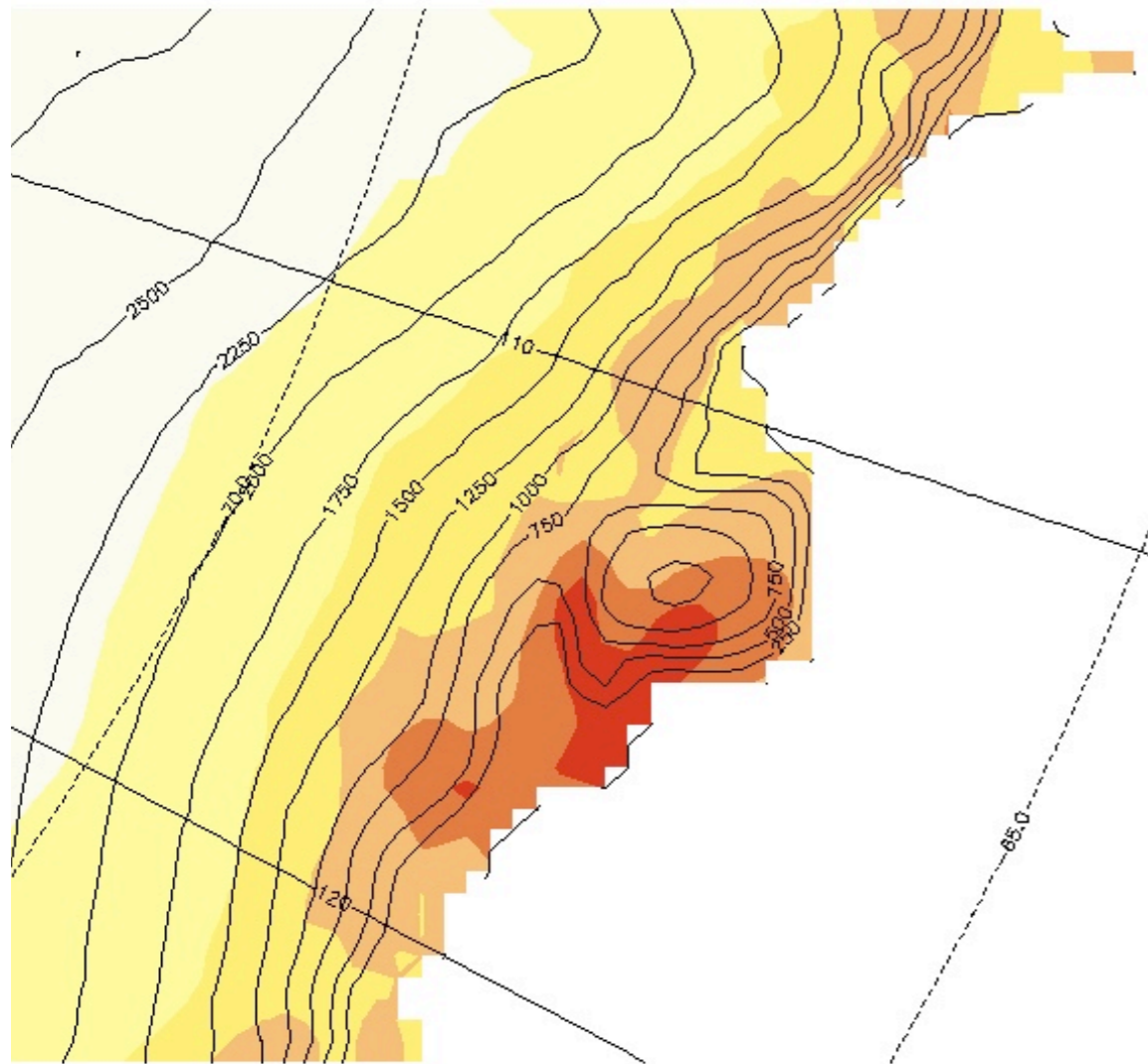
Climatologie SMB mm eq.e. a<sup>-1</sup>  
van de Berg et al., 2006



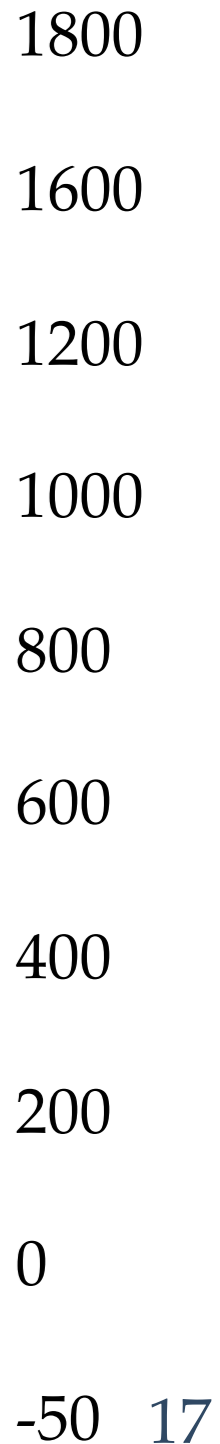
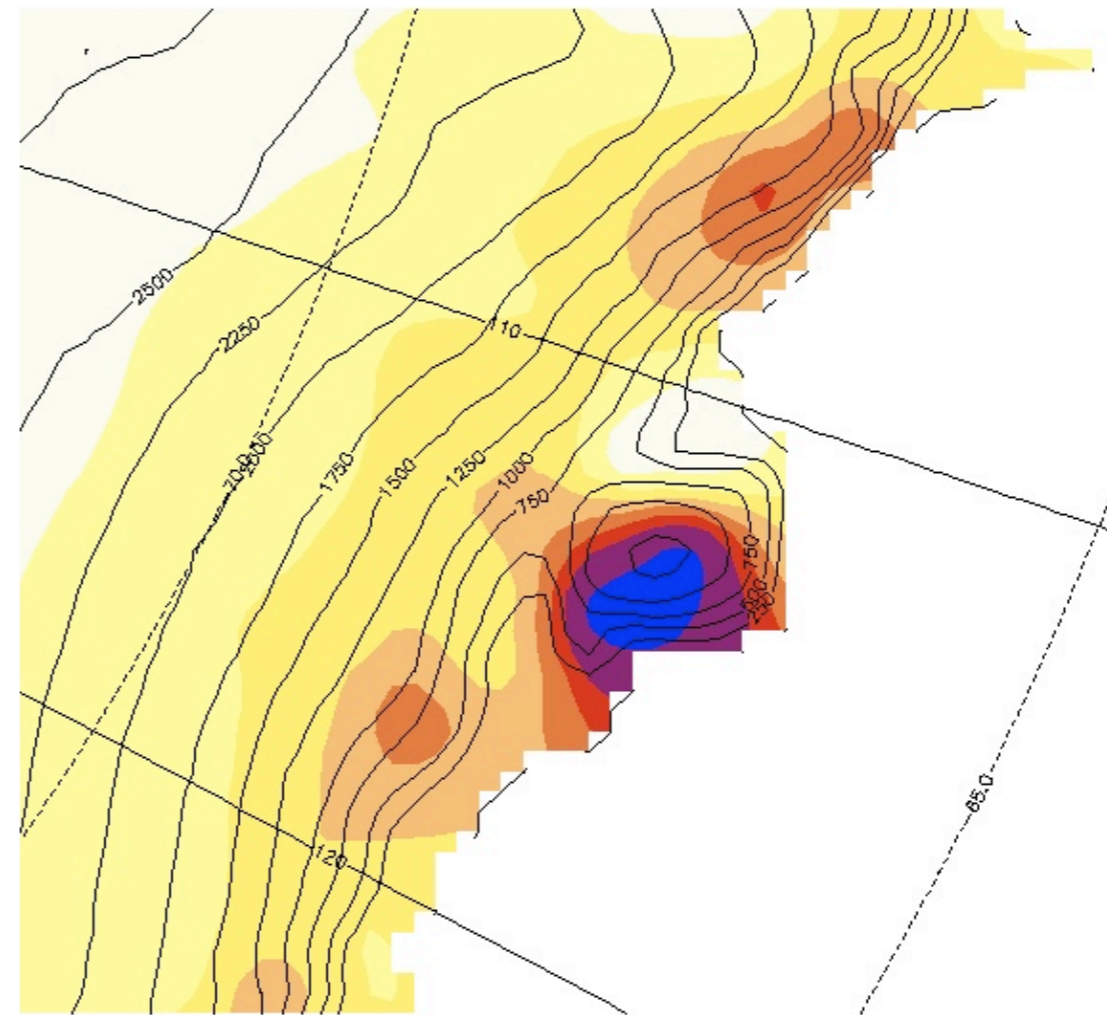
# Law Dome



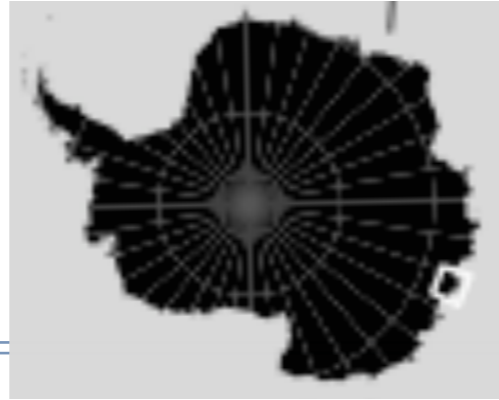
HiDEP-LMDZ4  
SMB 1980-2007



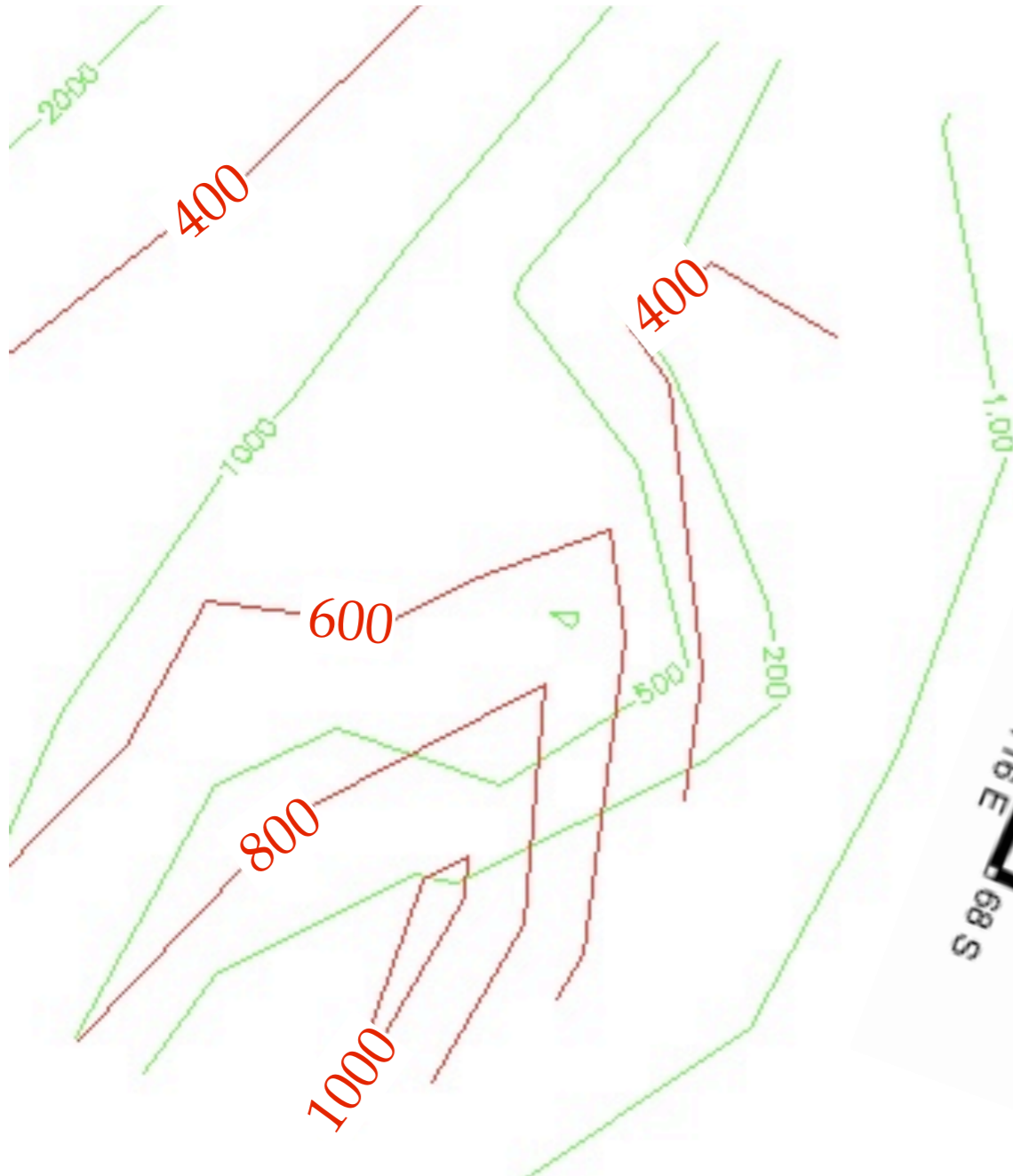
Climatologie SMB mm eq.e. a<sup>-1</sup>  
van de Berg et al., 2006



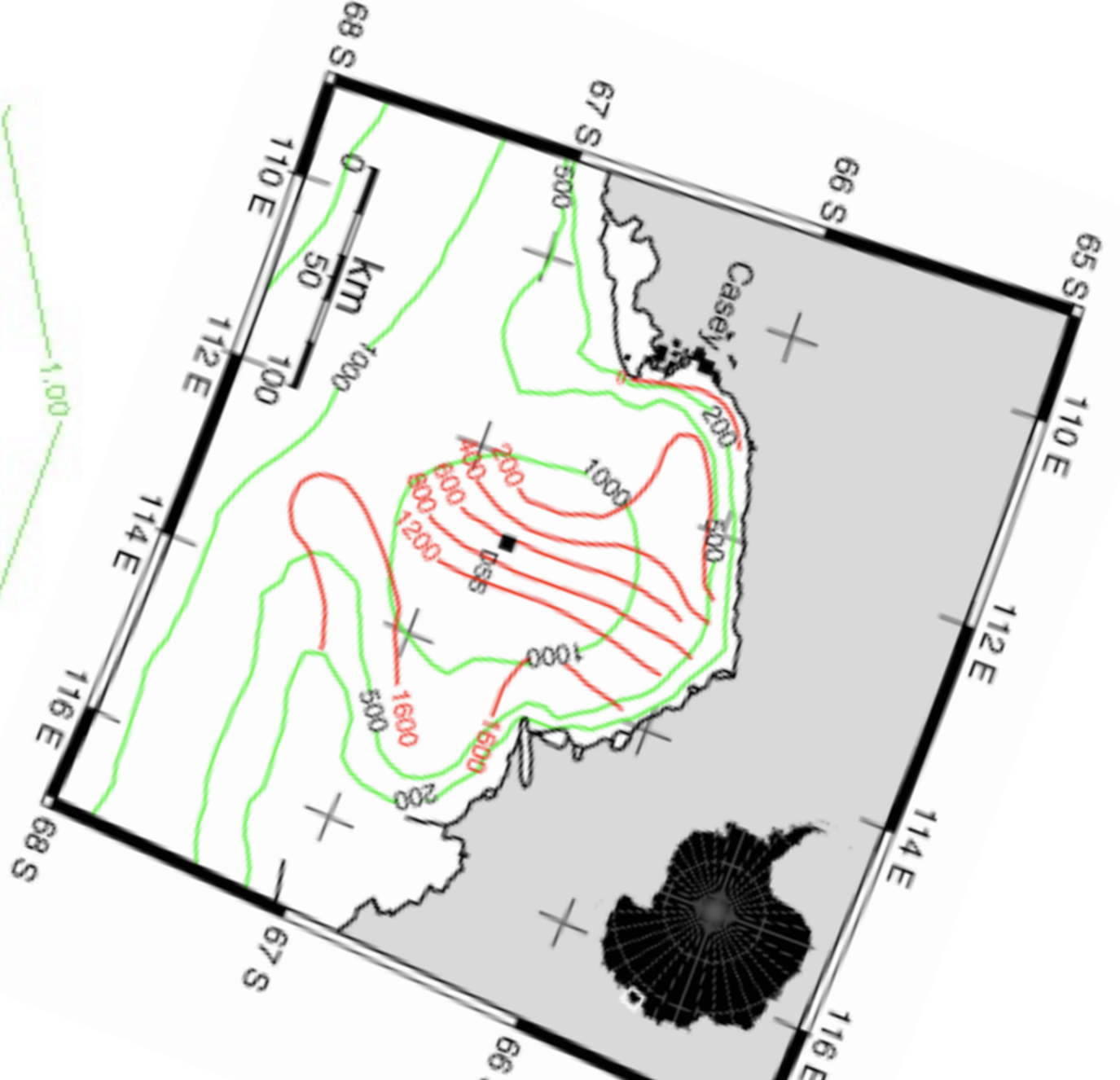
# Law Dome



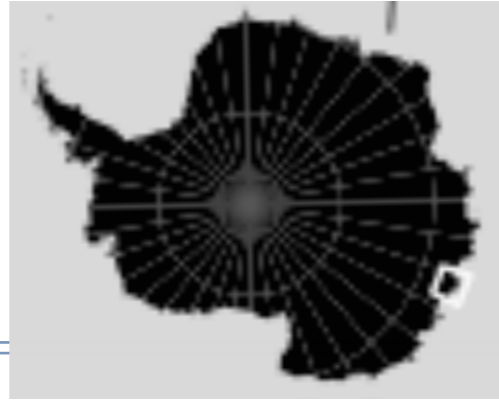
LMDZ4  
SMB 1980-2007



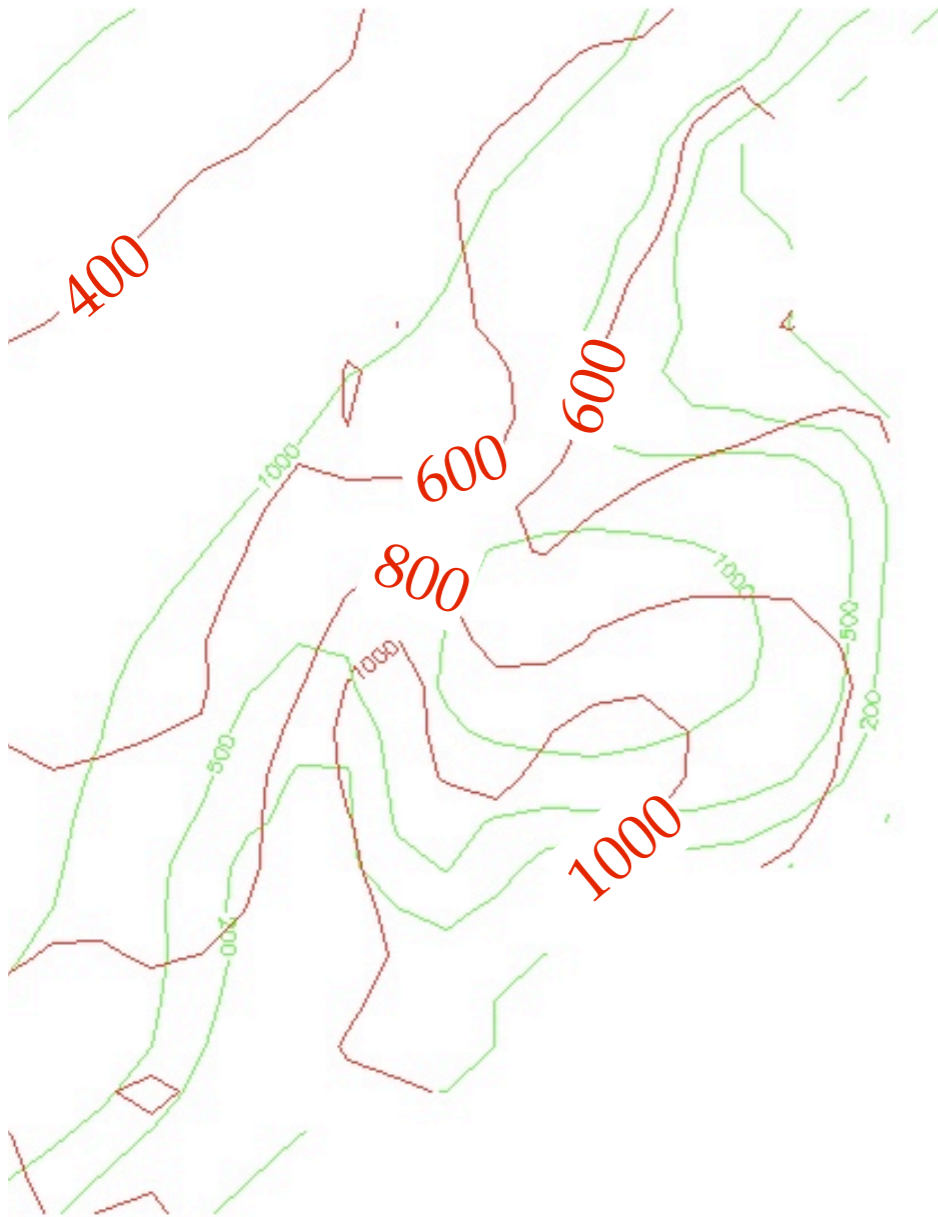
Climatologie SMB  
van Ommen et al., 2004



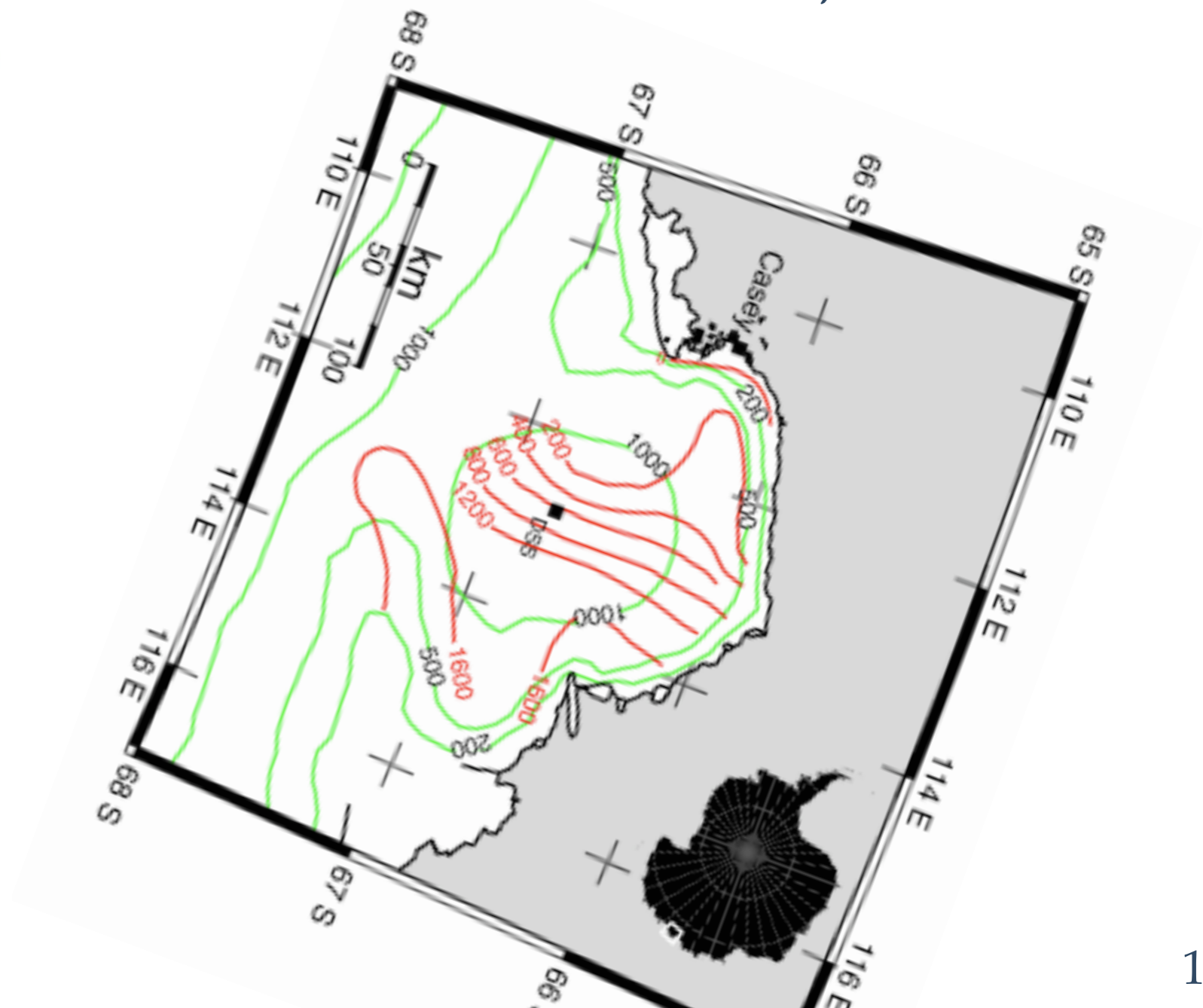
# Law Dome



HiDEP-LMDZ4  
SMB 1980-2007



Climatologie SMB  
van Ommen et al., 2004





# Bilan de Masse de Surface 1980-2007

**LMDZ4**  
**P-E**

175.2 mm / an = kg / m<sup>2</sup> / an  
⇔ 2159 Gt / an  
⇔ 6.0 mm / an équivalent niveau des mers

**HiDEP-LMDZ4**  
**BMS**

208 mm / an = kg / m<sup>2</sup> / an  
⇔ 2410 Gt / an  
⇔ 6.7 mm / an équivalent niveau des mers

BMS Présent (1950-2000) :

- ▶ Gamme : 1475 à 2331 Gt / an [Monaghan et al., 2006]

# À venir

---

## Validations :

- Mesures de BMS :
  - Ligne de balise GLACIOCLIM-SAMBA (Terre Adélie)
  - Lieux documenté à topographie complexe (LD, Amery ice-schelf)
  - Base de donnée BMS Antarctique (en cours de MAJ au LGGE)
- Comparaison à des runs RACM haute-résolution

## Développement de code :

- Ondes de gravité 3D
- Schéma de surface SISVAT

## Runs prévus :

- LMDZ4 21<sup>ème</sup> siècle et 22<sup>ème</sup> siècle
- ERA-Interim → Pour validation de HiDEP



Merci pour votre attention

# Désagrégateur de précipitation

## Limites du désagrégateur de précipitation

---

Pas de dynamique (coûteux en temps de calculs)

- Pas de rétro-action de la physique sur la dynamique
- Pas de contournement du relief
- Pas d'effet de blocage