

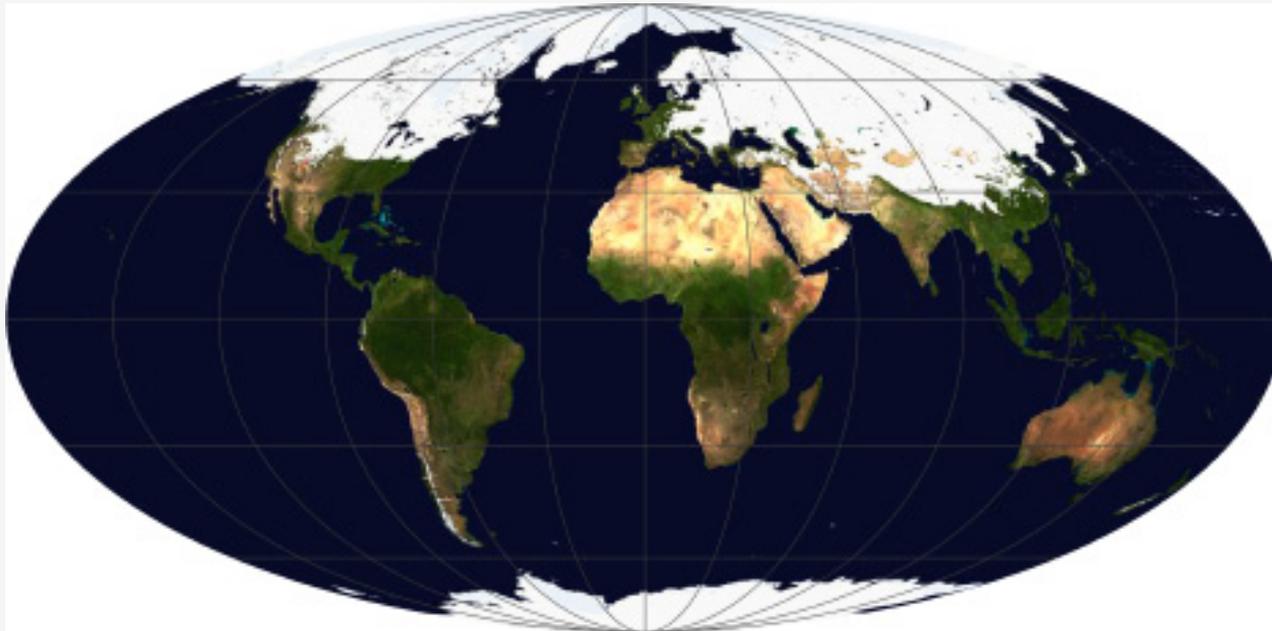
Simuler la sensibilité du couvert neigeux au dépôt d'aérosols avec un modèle global de climat

Martin Ménégoz,

en collaboration avec Gerhard Krinner, Yves Balkanski,
Olivier Boucher, Anne Cozic et Hans-Werner Jacobi



Problématique : le couvert neigeux



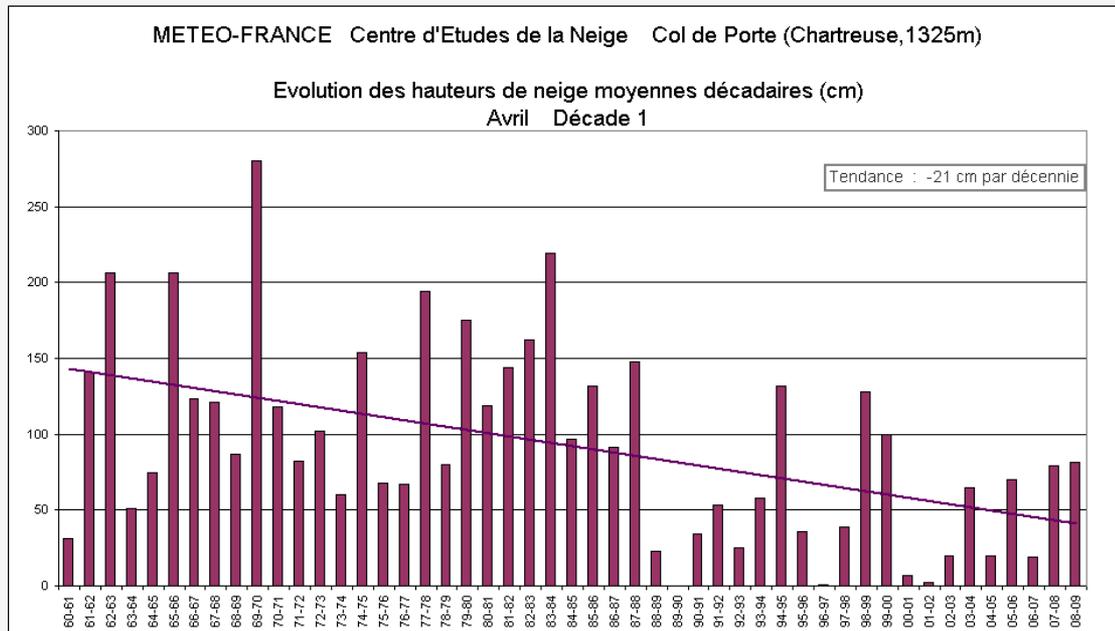
→ Jusqu'à 30% des surfaces continentales couvertes de neige à la fin de l'hiver boréal.

→ Composante clé du système climatique :

- ✓ Indicateur climatique, reflet des variations de température et de précipitations
- ✓ Impliqué dans des rétroactions majeures

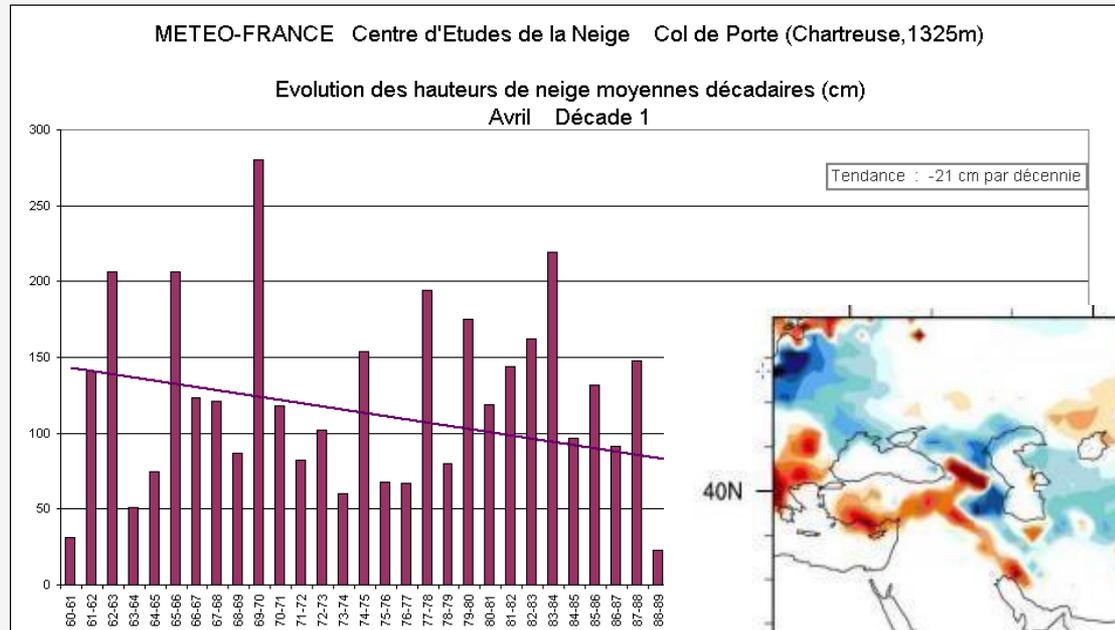
Outils

→ Observations locales

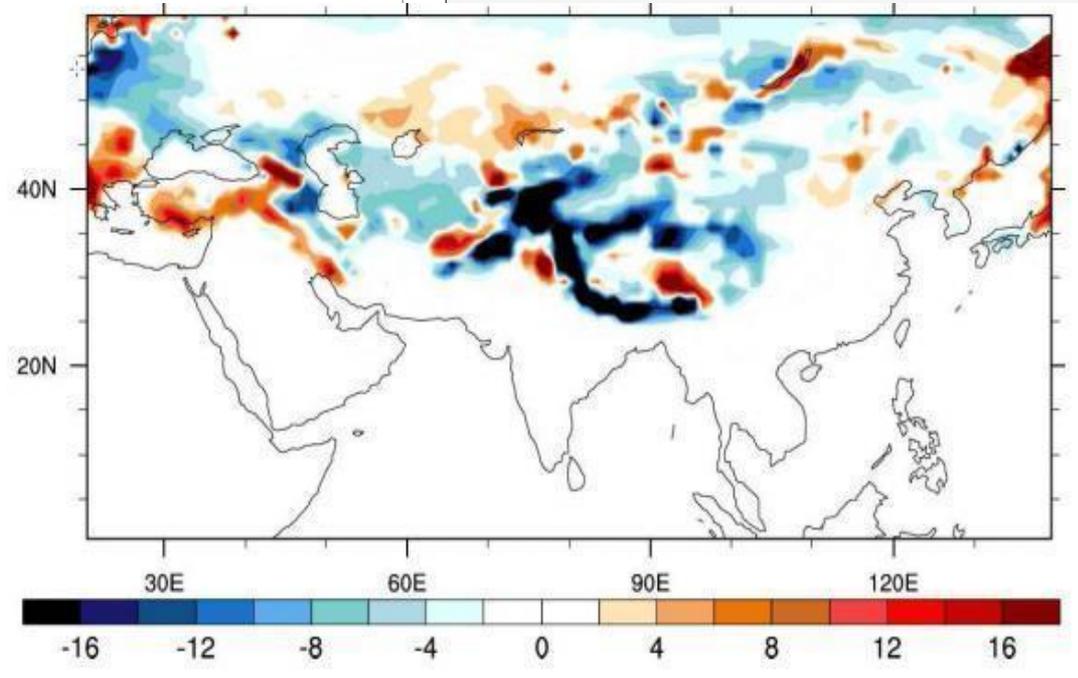


Outils

→ Observations locales



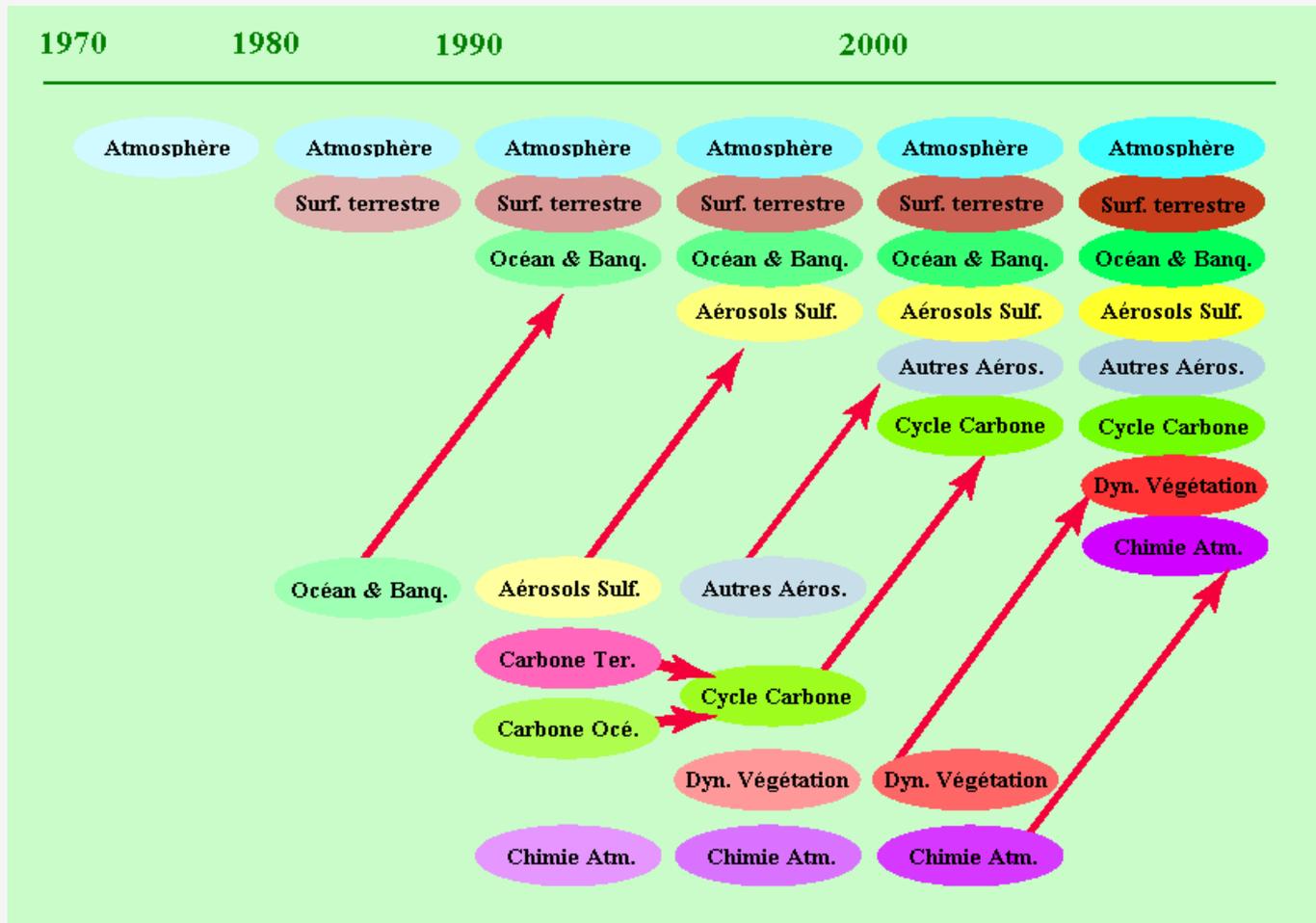
→ Observations satellite



Variations de l'étendue du couvert neigeux
(1990-2001, %, Menon et al., 2010)

Outils

→ Modèles de climat « couplés »

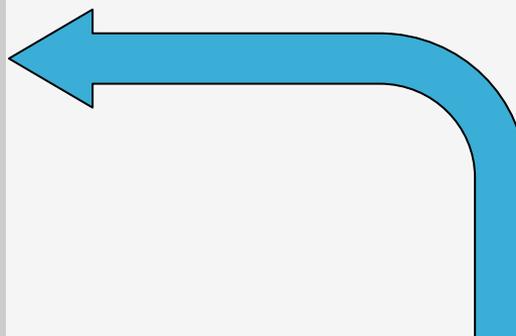
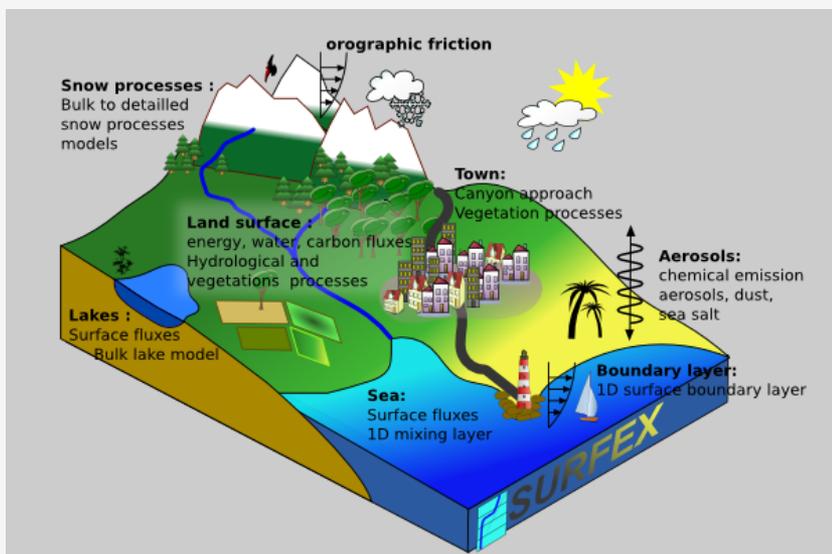


(Planton, com. pers.)

Outils

→ Modèles « forcés »

SURFEX



CROCUS

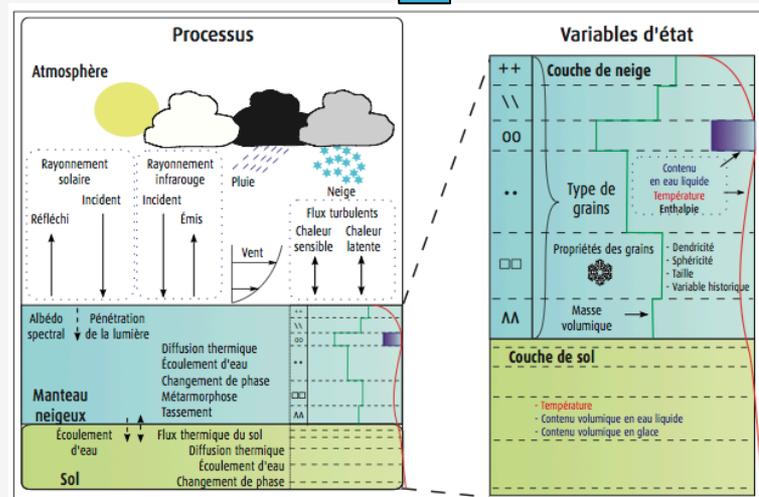
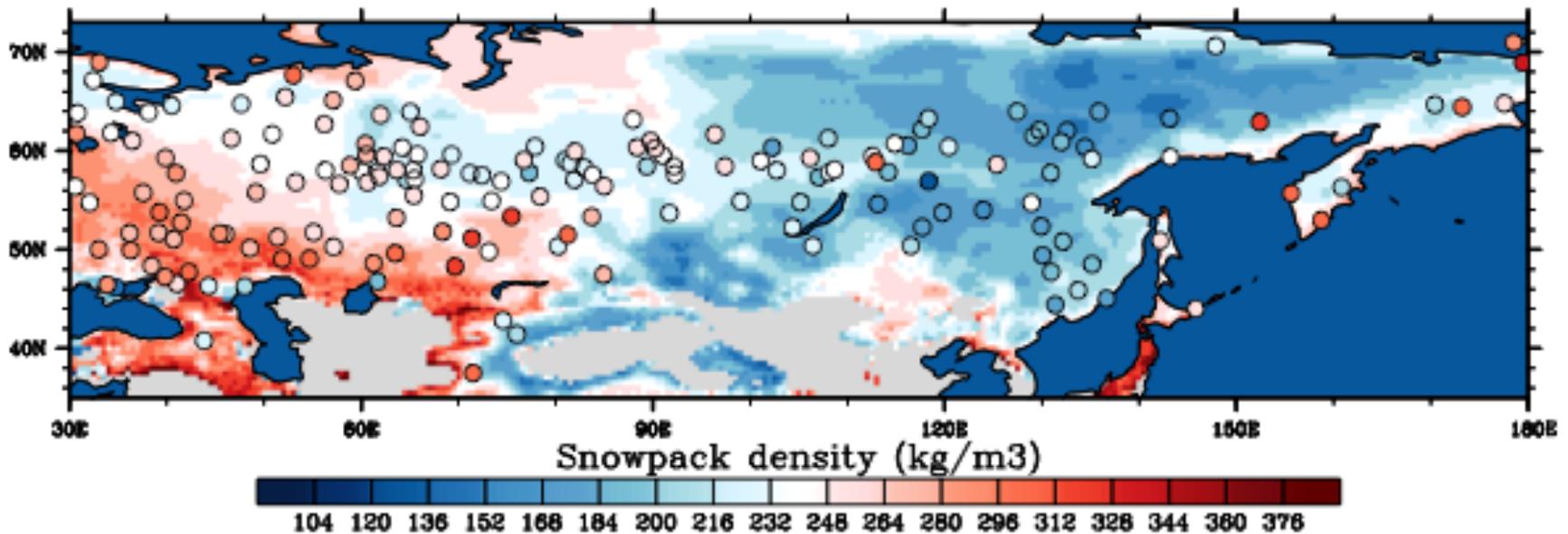


Figure 1 - Variables d'état du modèle CROCUS et principaux processus physiques simulés.

Outils

→ Modèles « forcés »

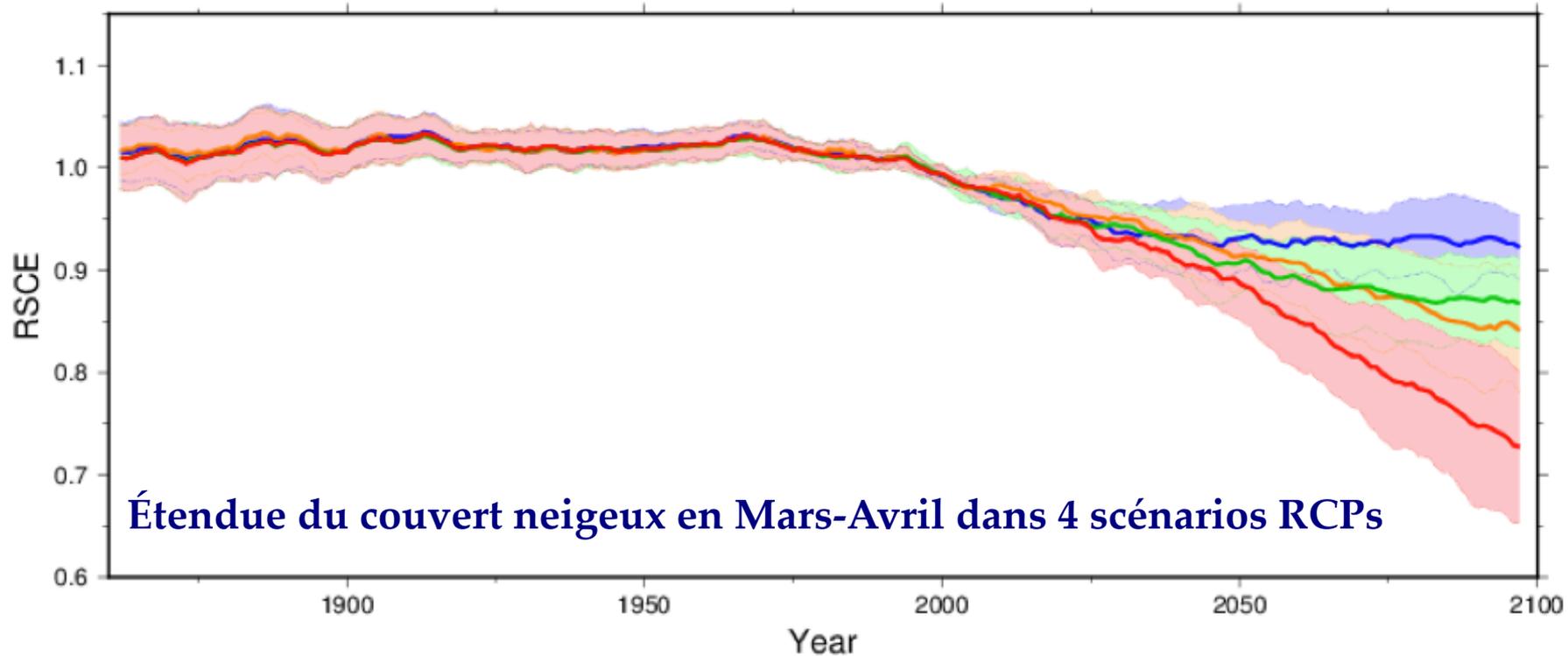
SURFEX



Densité de la neige simulée avec Surfex, mois de Mars, moyenne 1980-1993 – Expérience forcée par des réanalyses atmosphériques. Les cercles décrivent des observations locales. D'après Brun et al., 2013.

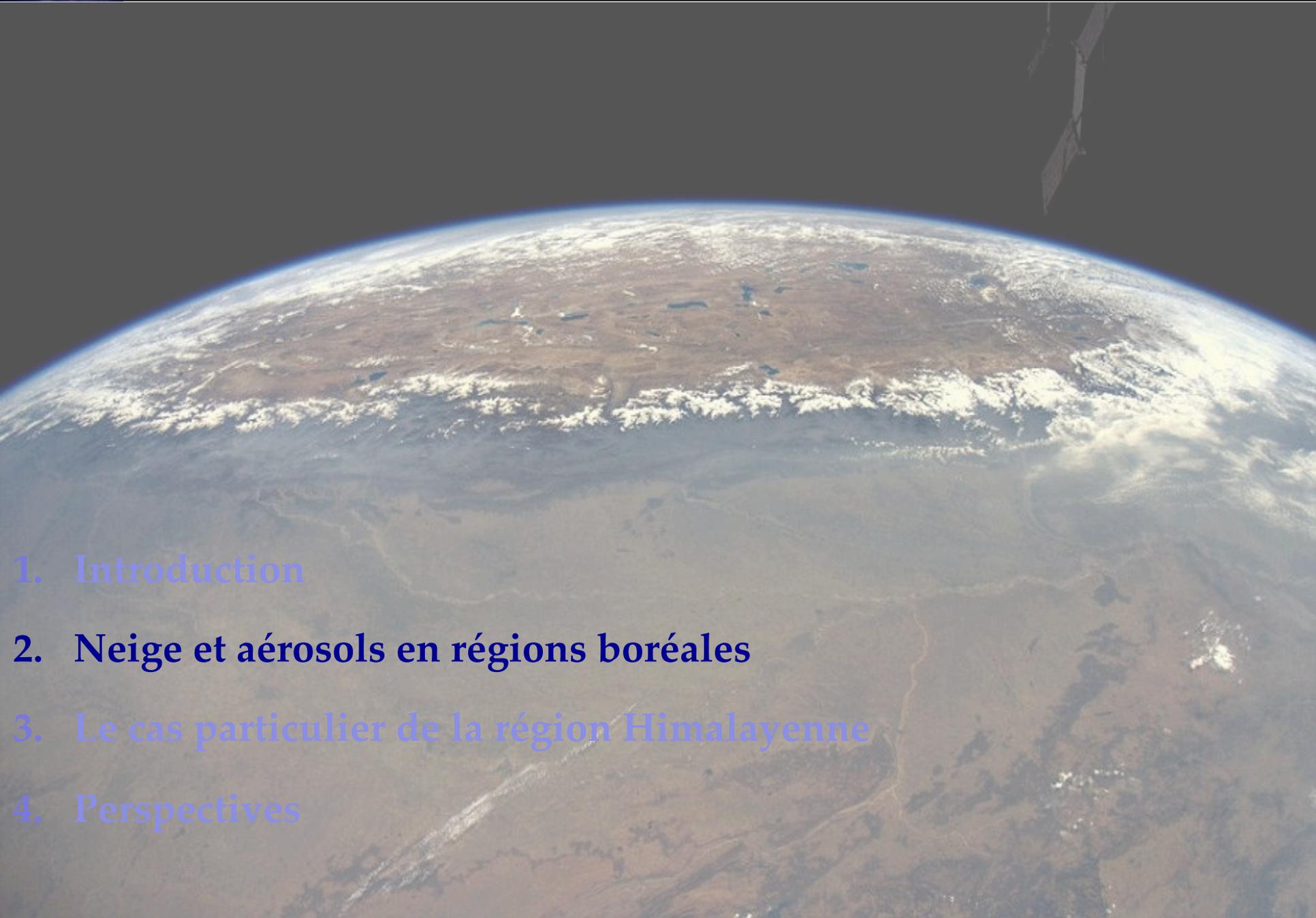
Scénarios futurs

→ Modèles « couplés »



Plan de la présentation

- 
- A satellite view of Earth from space, showing the curvature of the planet and the Himalayan region. The image is in grayscale, highlighting the terrain and cloud cover. The Himalayas are visible as a prominent mountain range, with snow-capped peaks and surrounding regions. The foreground shows the Earth's surface with various geographical features, and the background is the dark void of space.
1. Introduction
 2. Neige et aérosols en régions boréales
 3. Le cas particulier de la région Himalayenne
 4. Perspectives



1. Introduction
2. Neige et aérosols en régions boréales
3. Le cas particulier de la région Himalayenne
4. Perspectives

Problématique

Conditions de rentabilité de l'utilisation commerciale du passage du Nord-Ouest, de la mer de Beaufort et de l'océan Glacial Arctique

Par

Michel BROCHU,
Centre de Recherches arctiques,
École des Hautes Études commerciales.



Tiré à part de

L'ACTUALITÉ ÉCONOMIQUE

Revue trimestrielle de l'Institut d'Économie appliquée
École des Hautes Études commerciales

535, avenue Viger
MONTRÉAL

octobre-décembre 1969

Publication sortie des presses de l'Imprimerie Saint-Joseph, Montréal, Canada

« Il faudra bien, un jour prochain, avoir la détermination de s'attaquer au véritable obstacle, c'est-à-dire la glace »

« Il y a une méthode qui consiste à épandre, au printemps sur la glace, un film de particules mélanocrates minérales, dans le but d'activer la fonte de la glace grâce à la plus grande absorption des rayons solaires par les particules de teinte sombre »

« Il faudrait environ 1500 t. de matières minérales pour l'ensemencement de 1 km² de glace de mer »

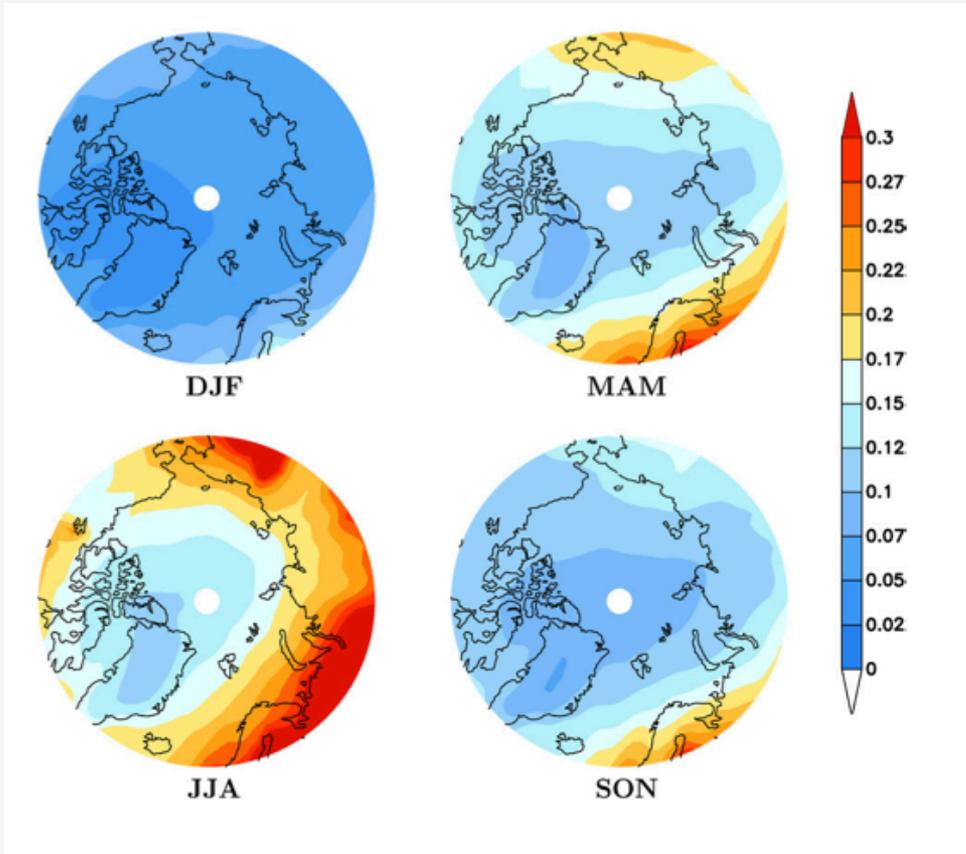
« L'enjeu en vaut incontestablement l'effort [...] rendre navigables ces étendues marines couverte de glaces sans utilité autour du pôle Nord »

Problématique

L'Arctique, une région affectée par la pollution particulaire

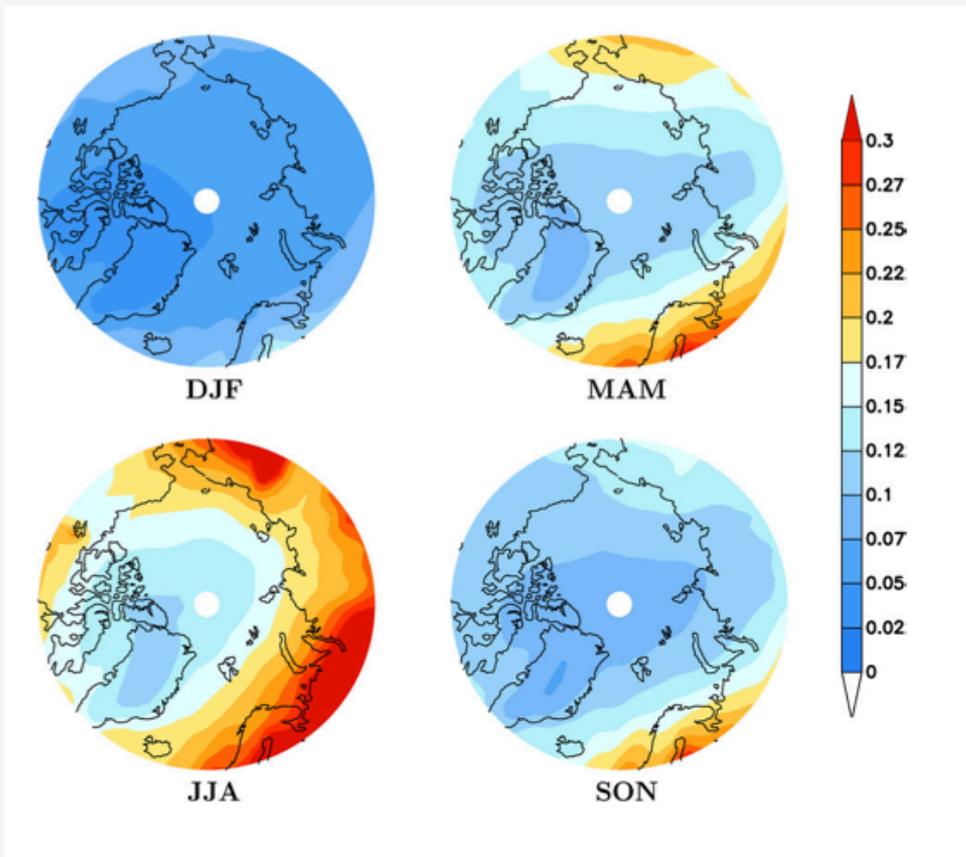


Problématique

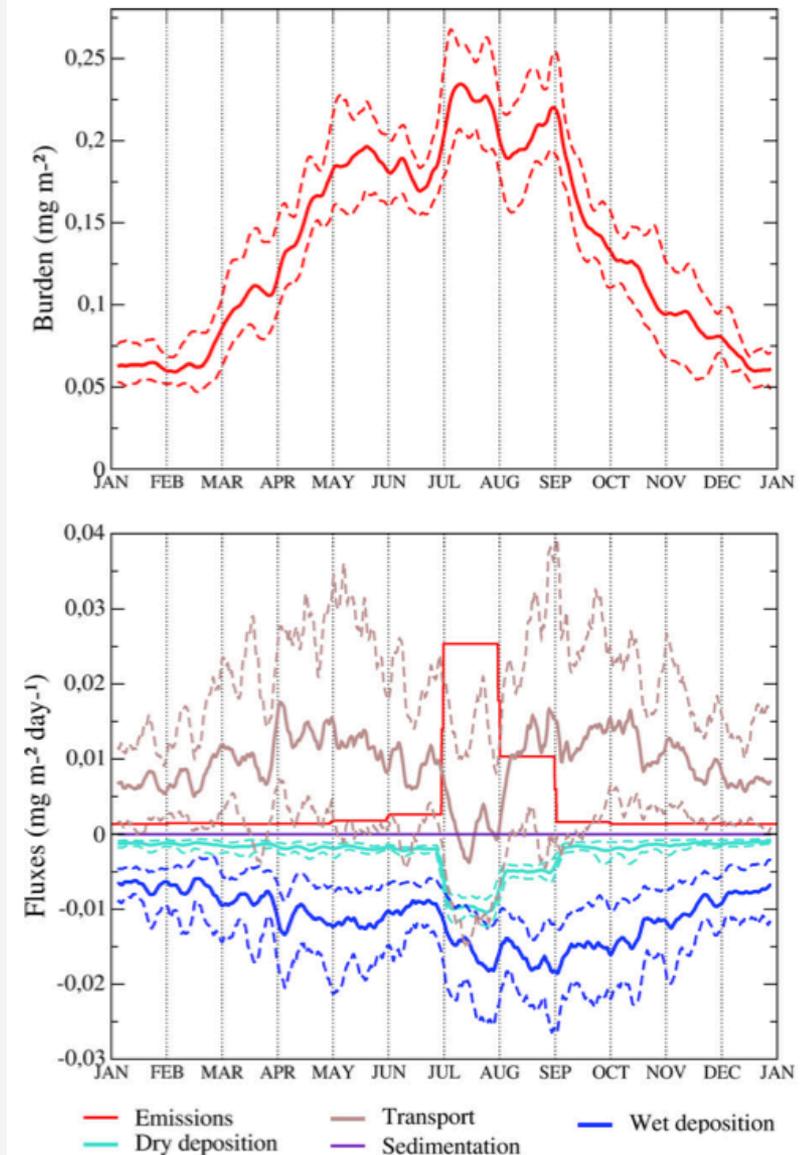


**Charge atmosphérique de carbone-suie (BC)
moyennée sur la période 2000-2005.
Simulation MOCAGE (Ménégoz et al., 2012)**

Problématique



Charge atmosphérique de carbone-suie (BC) moyennée sur la période 2000-2005. Simulation MOCAGE (Ménégoz et al., 2012)

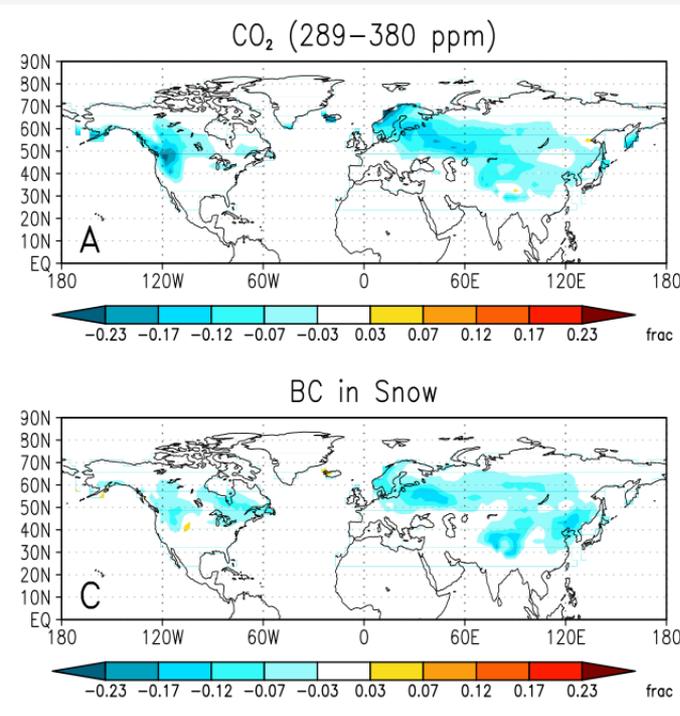


Problématique

→ Forçage radiatif du Carbone-Suie (BC) dans la neige : +0.04 (+0.02 to +0.09) $W m^{-2}$ (IPCC, 2013).

→ Le forçage radiatif lié au dépôt de BC est 2 à 4 fois plus efficace que celui du CO₂ pour augmenter la température de surface.

→ Il impacte autant le couvert neigeux que le CO₂ (Jacobson, 2004, Flanner et al, 2009, Koch et al., 2009).



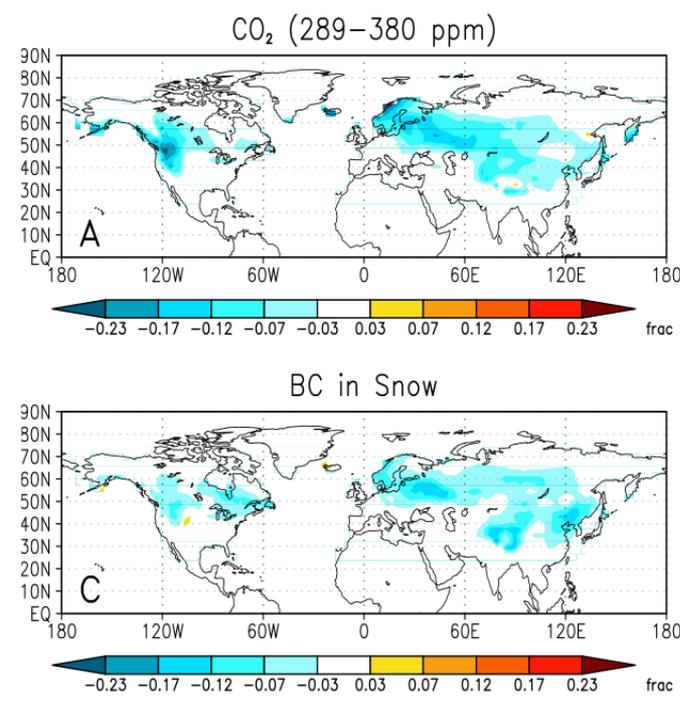
Réduction actuelle de la fraction du couvert neigeux induite par le CO₂ et le BC dans la neige; Flanner et al. (2009)

Problématique

→ Forçage radiatif du Carbone-Suie (BC) dans la neige : +0.04 (+0.02 to +0.09) $W m^{-2}$ (IPCC, 2013).

→ Le forçage radiatif lié au dépôt de BC est 2 à 4 fois plus efficace que celui du CO₂ pour augmenter la température de surface.

→ Il impacte autant le couvert neigeux que le CO₂ (Jacobson, 2004, Flanner et al, 2009, Koch et al., 2009).



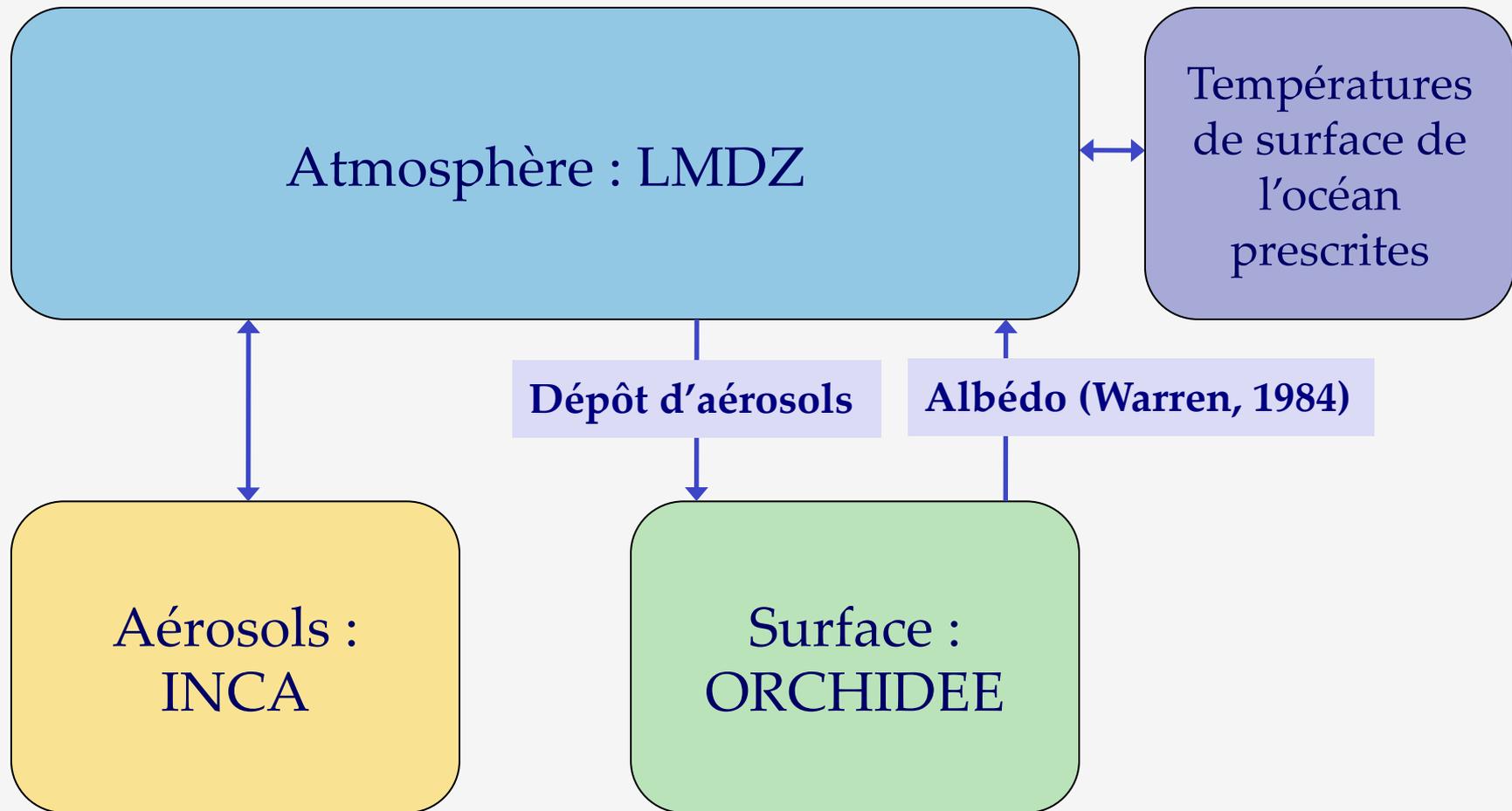
Réduction actuelle de la fraction du couvert neigeux induite par le CO₂ et le BC dans la neige; Flanner et al. (2009)

Questions :

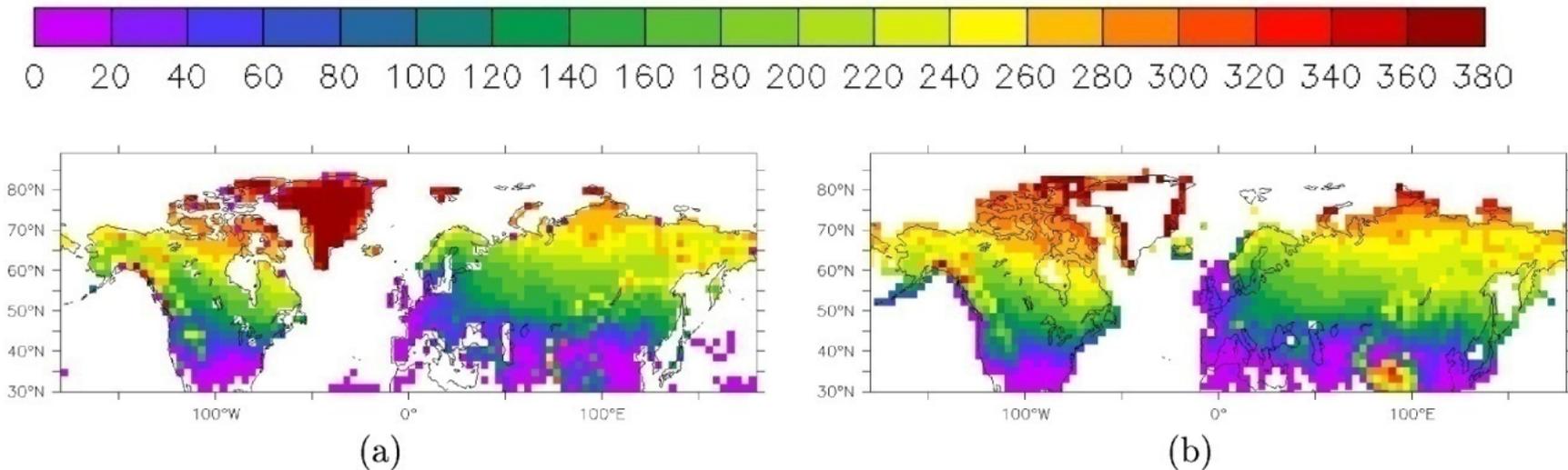
→ Quel est l'impact du dépôt de BC sur la durée d'enneigement des sols ?

→ Comment peut évoluer cet impact dans les prochaines décennies ?

LMDZ, ORCHIDEE et INCA

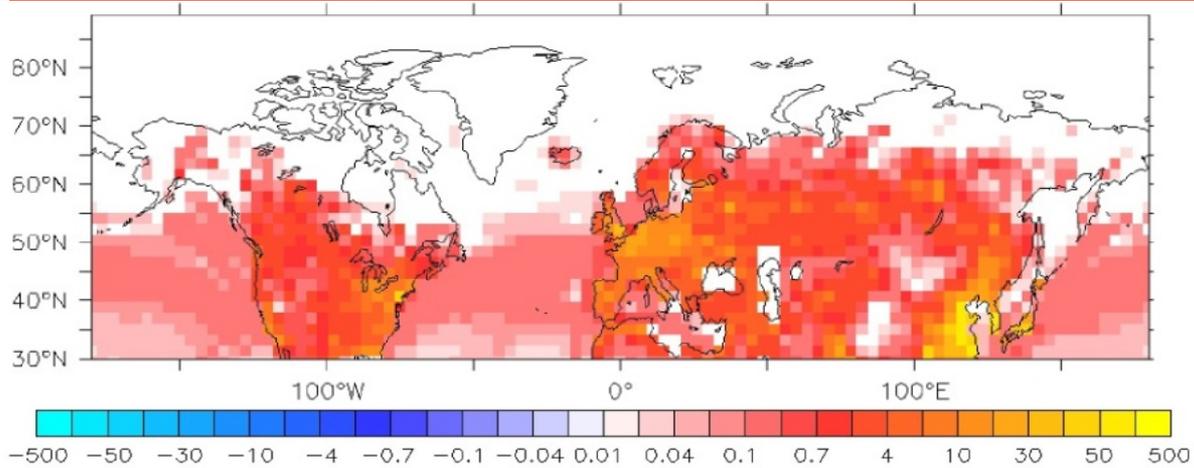


LMDZ, ORCHIDEE et INCA



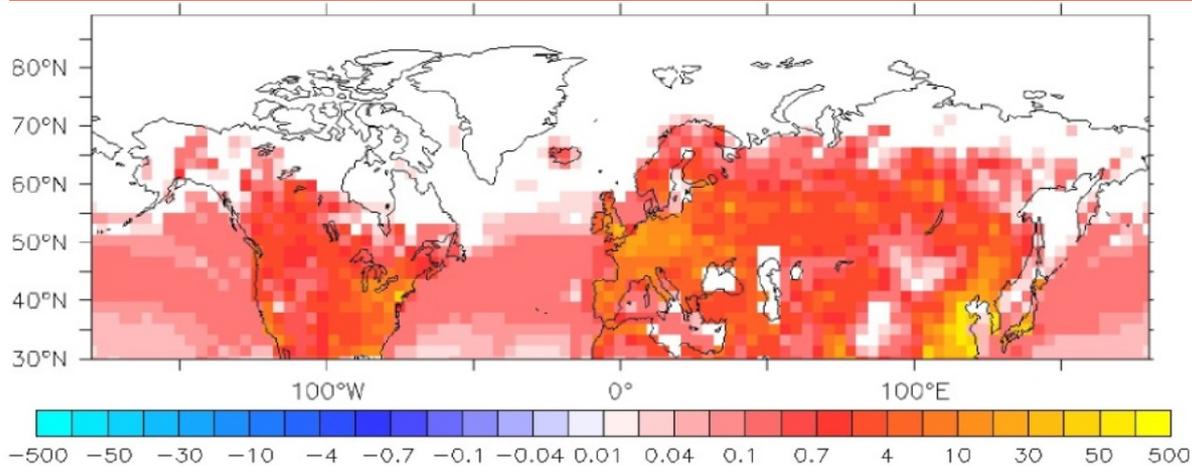
Nombre moyen de jours par an avec de la neige au sol (1997-2008) :
(a) Observation NSIDC; (b) Simulation LMDz

Variations actuelles du couvert neigeux induites par dépôt d'aérosols

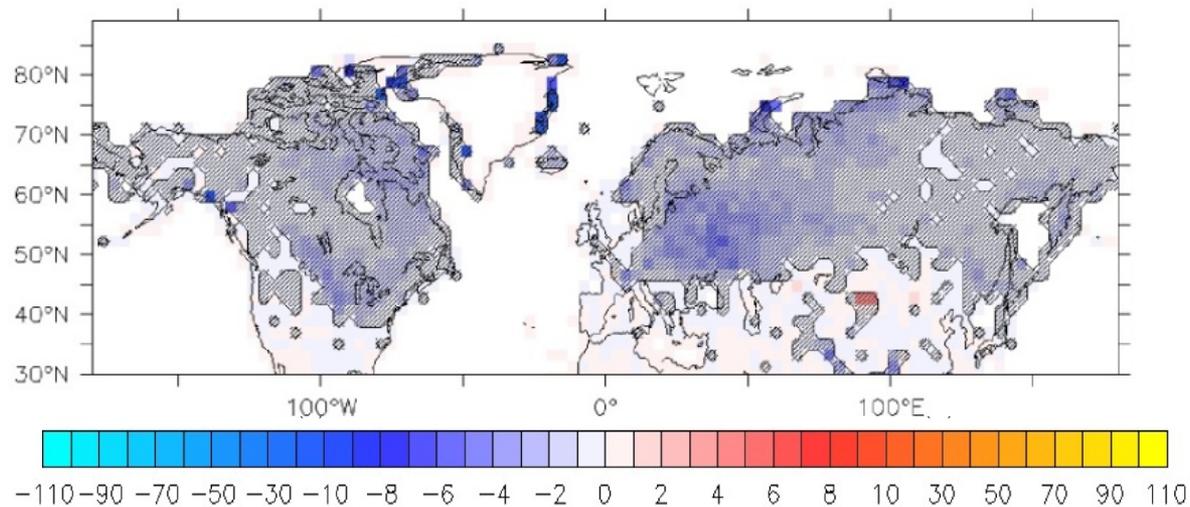


Emissions actuelles de BC (2878 Gg/an sur ce domaine)

Variations actuelles du couvert neigeux induites par dépôt d'aérosols

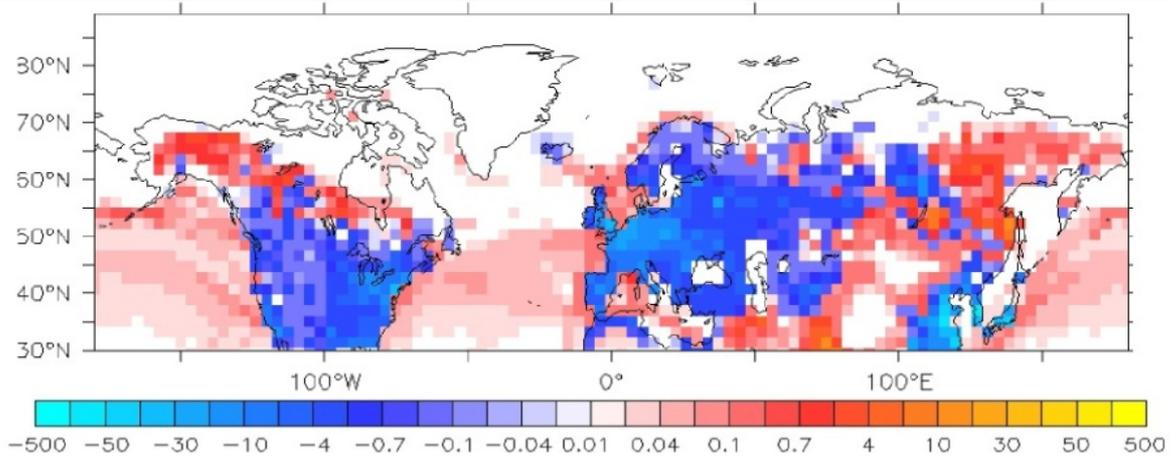


Emissions actuelles de BC (2878 Gg/an sur ce domaine)



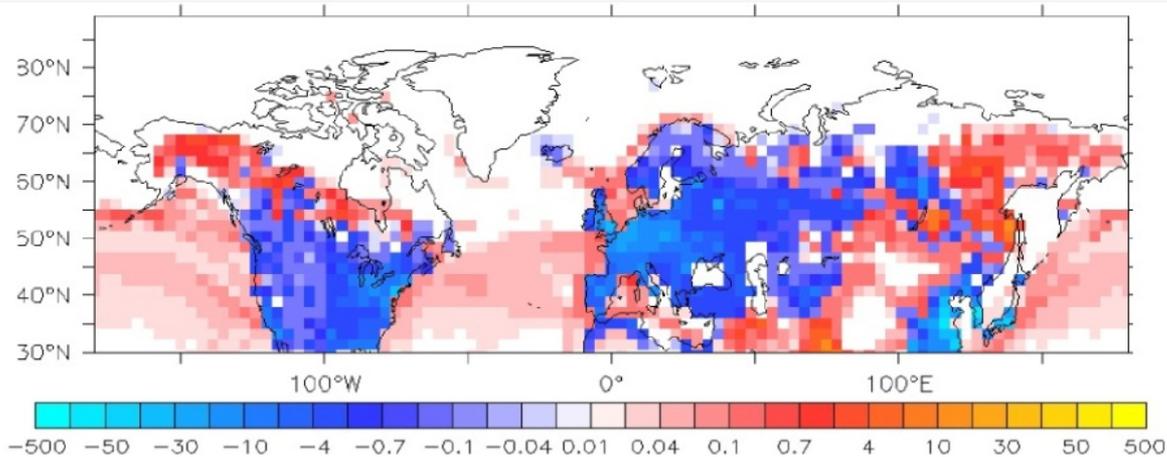
Variation du nombre de jours avec de la neige au sol induite par le dépôt de BC (Zones hachurées: variations significatives selon un t-test)

Scénarios futurs

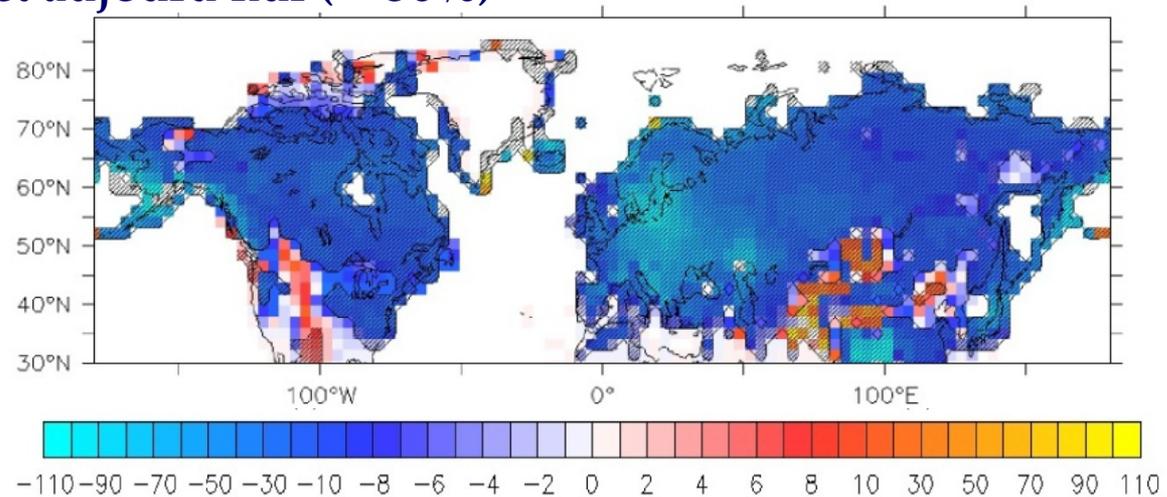


**Changement d'émissions de BC entre 2050
(scénario CMIP5, RCP8.5) et aujourd'hui (~ -50%)**

Scénarios futurs

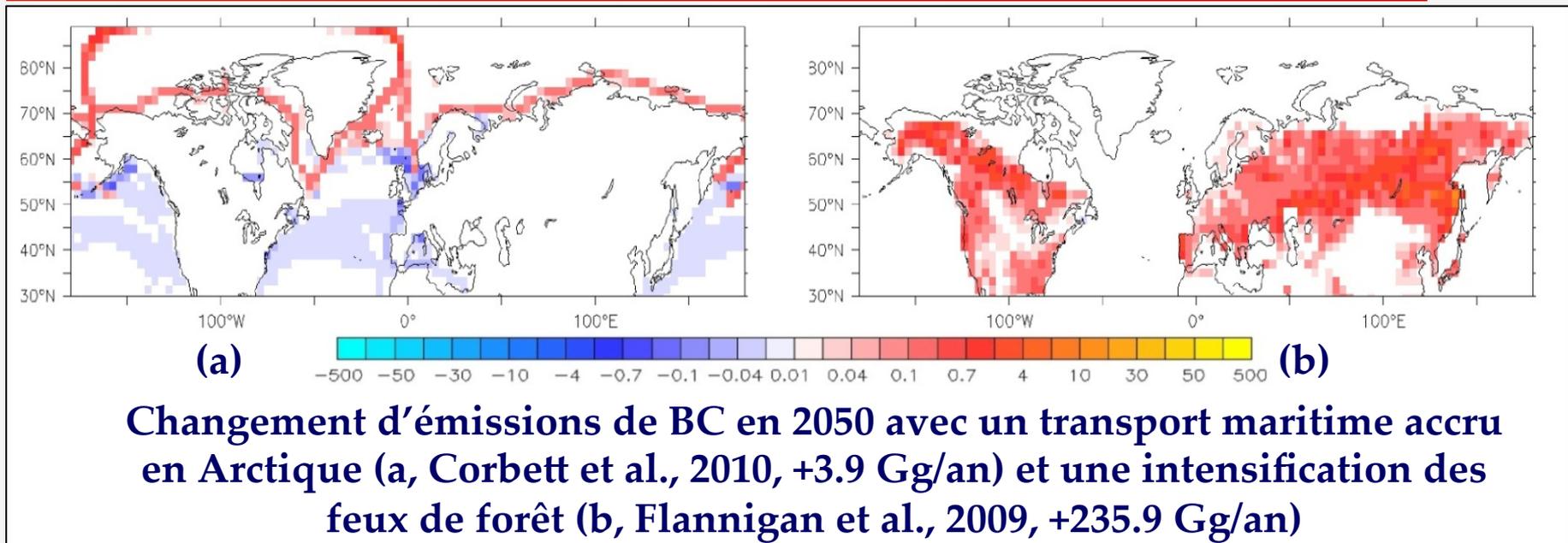


**Changement d'émissions de BC entre 2050
(scénario CMIP5, RCP8.5) et aujourd'hui (~ -50%)**



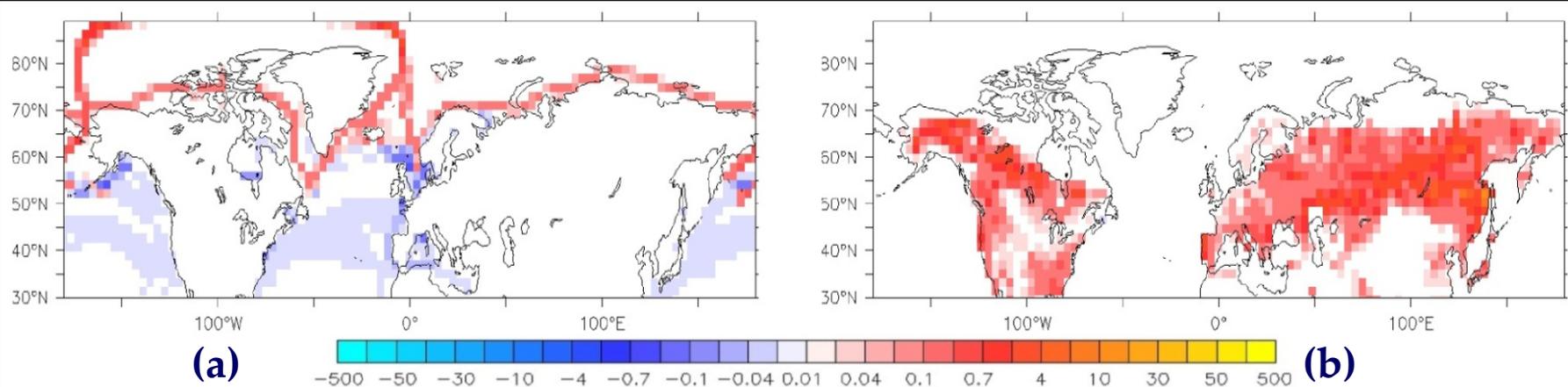
**Variation du nombre de jours avec de la neige au
sol entre 2050 (scénario RCP8.5) et aujourd'hui
(Zones hachurées: variations significatives selon un t-test)**

Scénarios futurs

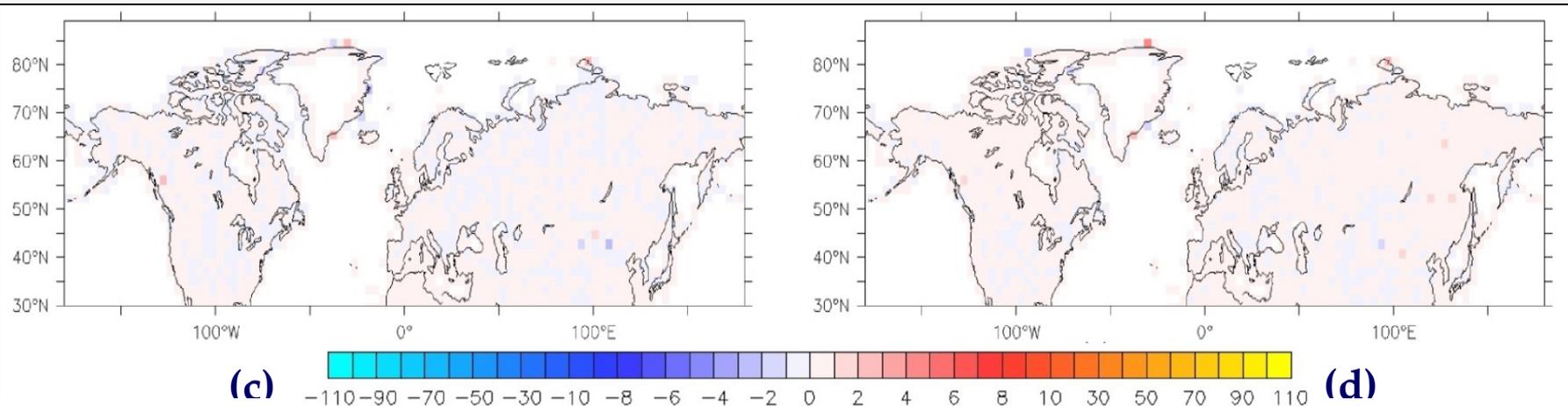


Scénarios futurs

Simulations « guidées »



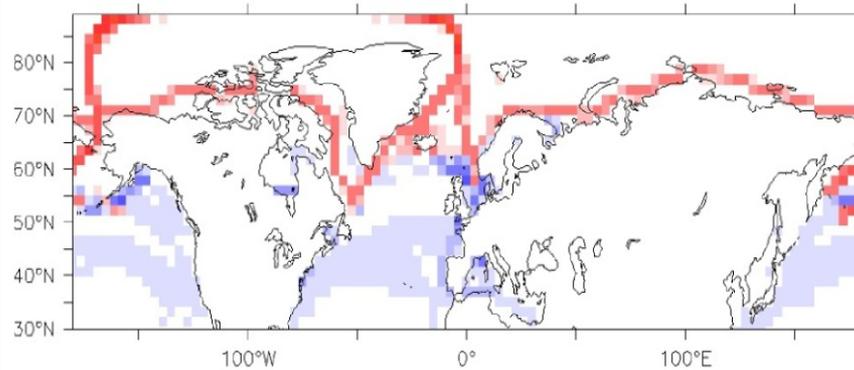
Changement d'émissions de BC en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (a, Corbett et al., 2010, +3.9 Gg/an) et une intensification des feux de forêt (b, Flannigan et al., 2009, +235.9 Gg/an)



Variation du nombre de jours avec de la neige au sol en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (c) et une intensification des feux de forêt (d)

Scénarios futurs

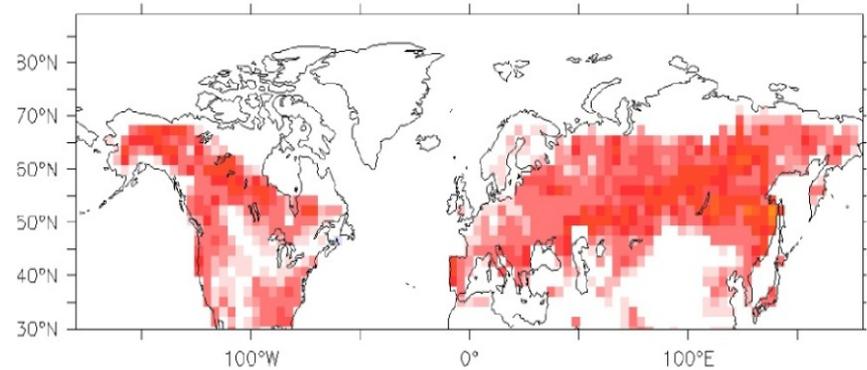
Simulations sans guidage



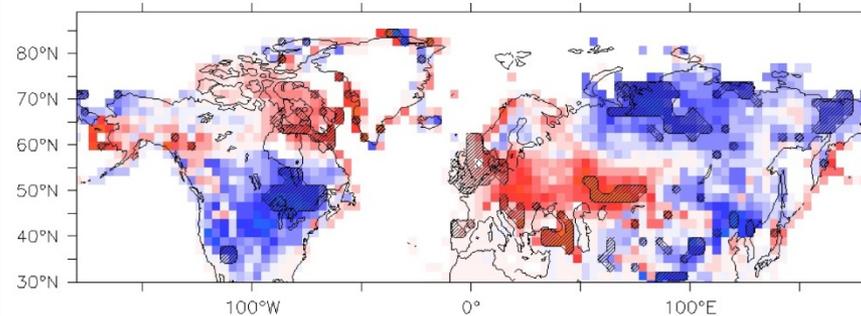
(a)

-500 -50 -30 -10 -4 -0.7 -0.1 -0.04 0.01 0.04 0.1 0.7 4 10 30 50 500

(b)



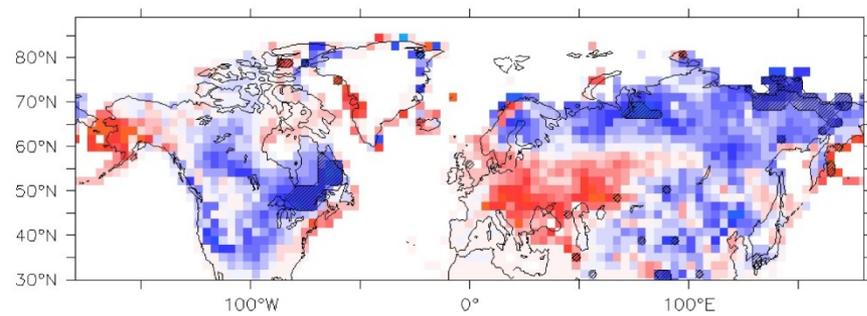
Changement d'émissions de BC en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (a, Corbett et al., 2010, +3.9 Gg/an) et une intensification des feux de forêt (b, Flannigan et al., 2009, +235.9 Gg/an)



(c)

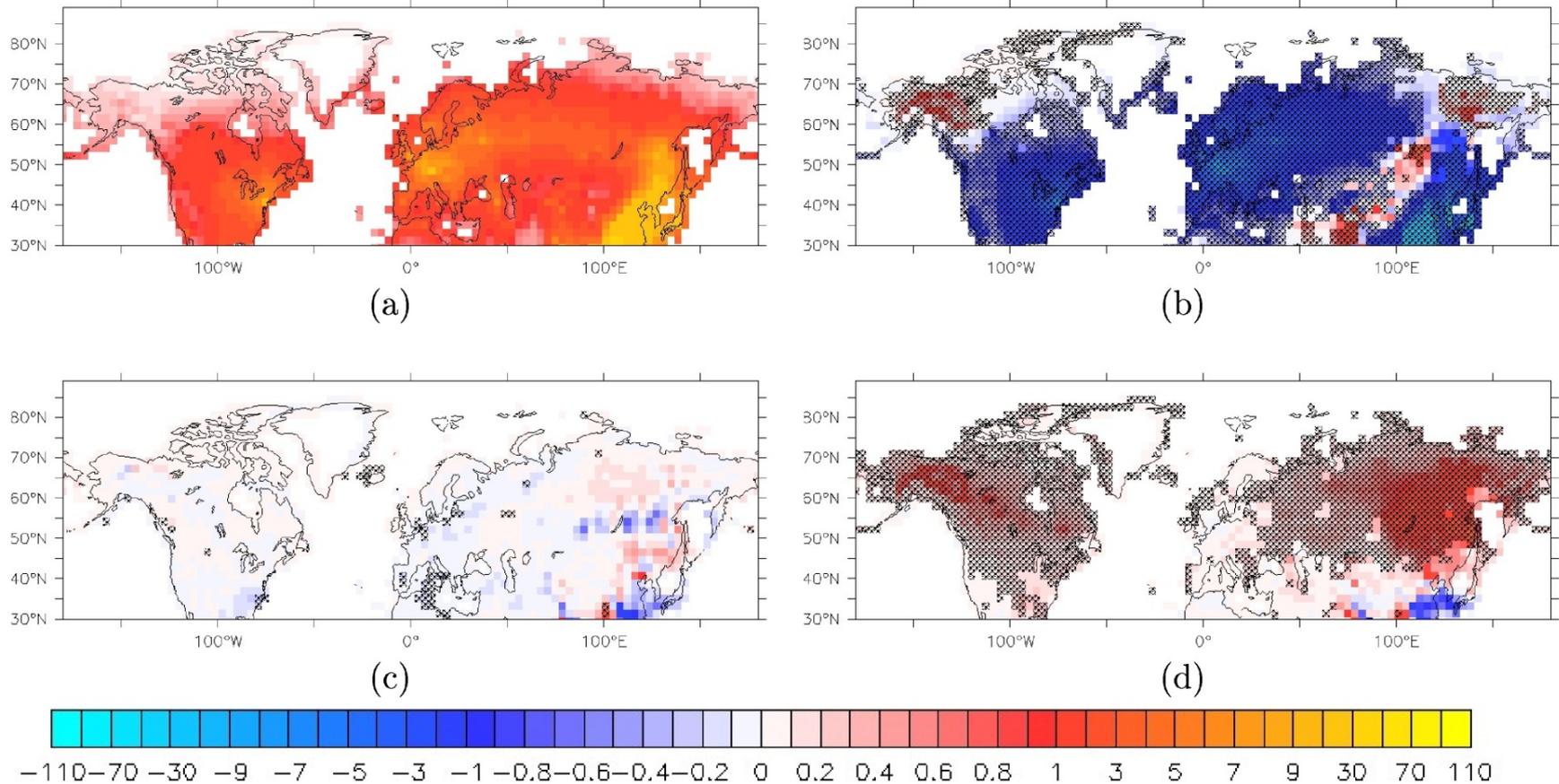
-110 -90 -70 -50 -30 -10 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 30 50 70 90 110

(d)



Variation du nombre de jours avec de la neige au sol en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (c) et une intensification des feux de forêt (d). Zones hachurées: variations significatives selon un t-test

Scénarios futurs



Dépôt continental de BC au printemps ($\text{mg m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$) ; (a) : actuel (total=222 Gg mois^{-1}); (b) : différence 2050 – actuel (différence=-110 Gg mois^{-1}); (c): différence induite par une augmentation du trafic maritime en Arctique (différence=-0.8 Gg mois^{-1}); (d) : différence induite par une intensification des feux de forêt (différence=+21 Gg mois^{-1}). Zones hachurées: variations significatives.

Conclusions (Ménégoz et al., 2013)

- Les émissions actuelles de BC induisent une diminution de la durée d'enneigement des sols de 2 à 5 jours par an (jusqu'à 10 jours maximum).
- La durée d'enneigement des sols diminue de une à plusieurs dizaines de jours par an dans une simulation appliquée en 2050 avec le scénario RCP8.5.
- La diminution des émissions de BC attendue pour les prochaines décennies ne compensera que très partiellement ces variations du couvert neigeux.

Conclusions (Ménégoz et al., 2013)

- Les émissions actuelles de BC induisent une diminution de la durée d'enneigement des sols de 2 à 5 jours par an (jusqu'à 10 jours maximum).
- La durée d'enneigement des sols diminue de une à plusieurs dizaines de jours par an dans une simulation appliquée en 2050 avec le scénario RCP8.5.
- La diminution des émissions de BC attendue pour les prochaines décennies ne compensera que très partiellement ces variations du couvert neigeux.
- Une augmentation du trafic maritime en Arctique induit une augmentation de la pollution locale. Mais elle n'induit pas de variations significatives du dépôt de BC sur la neige qui conduiraient à des modifications de son albédo.
- Une intensification des feux de forêt dans l'Hémisphère Nord induirait une augmentation significative du dépôt de BC sur la surface, mais sans impact direct sur le couvert neigeux.
- Ces deux sources potentielles d'aérosols sont susceptibles d'affecter la couverture neigeuse via des rétroactions climatiques.



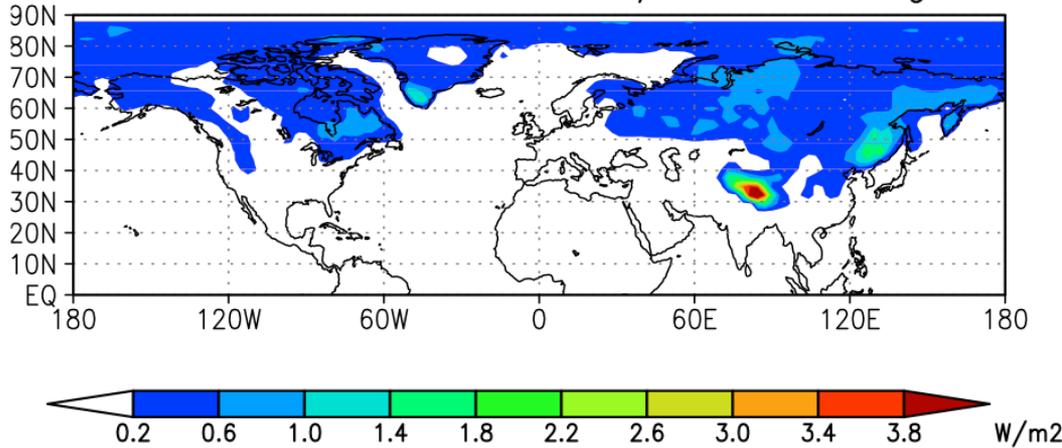
1. Introduction
2. Neige et aérosols en régions boréales
- 3. Le cas particulier de la région Himalayenne**
4. Perspectives

L'Himalaya, une région très polluée...



Les régions de montagne

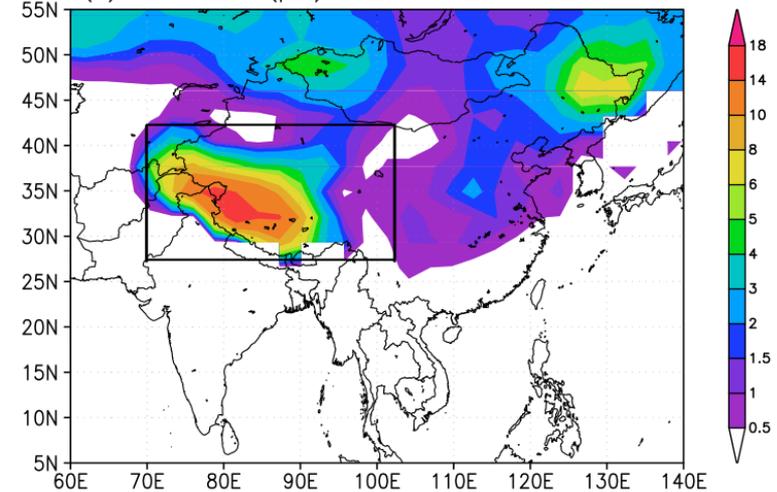
Gridcell Annual Mean BC/Snow Forcing



Forçage radiatif induit par le BC dans la neige Flanner et al. (2007)

(a) snobcfrc2l (pi4)

MAM



Forçage radiatif induit par le BC dans la neige Qian et al. (2011)

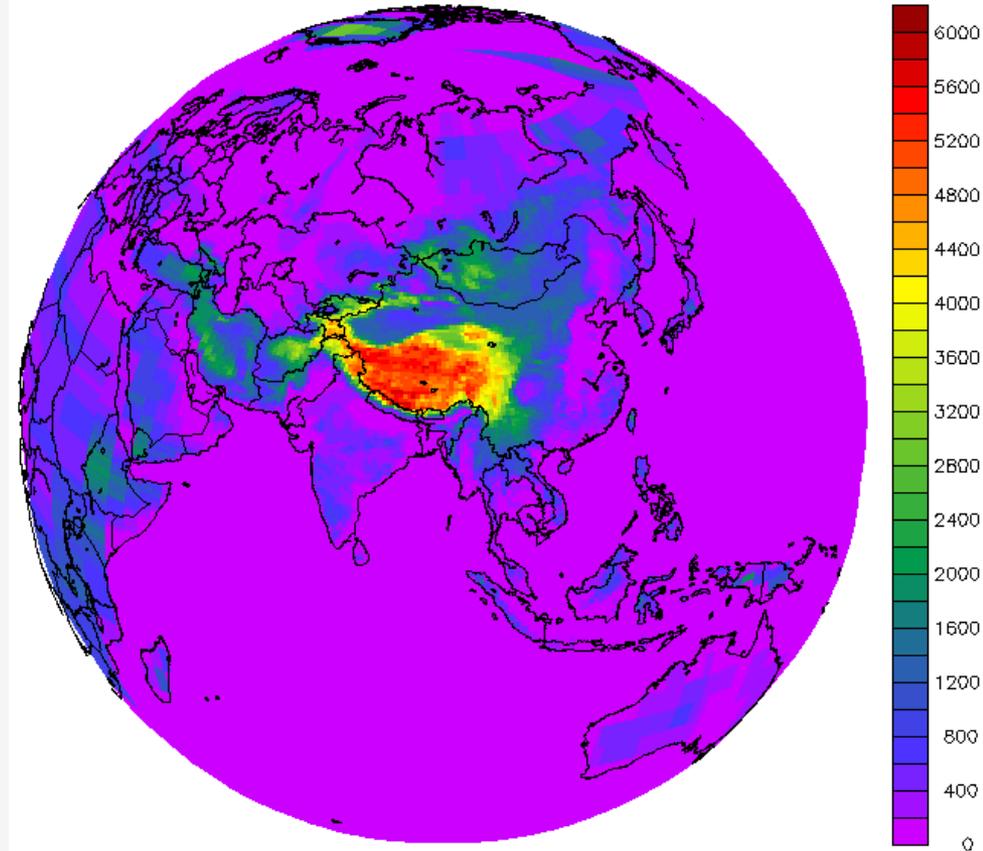
→ Appliquer une résolution plus fine dans les modèles permet d'étudier ces processus dans des régions à topographie complexe (Alpes, Himalaya, etc.).

Protocole expérimental

Simulations globales avec LMDZ

- Octobre 1997 – Octobre 2008
- Guidage vers les réanalyses ERA40
- Expériences avec et sans zoom :

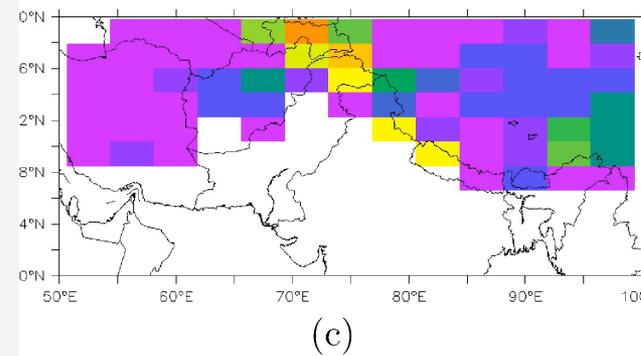
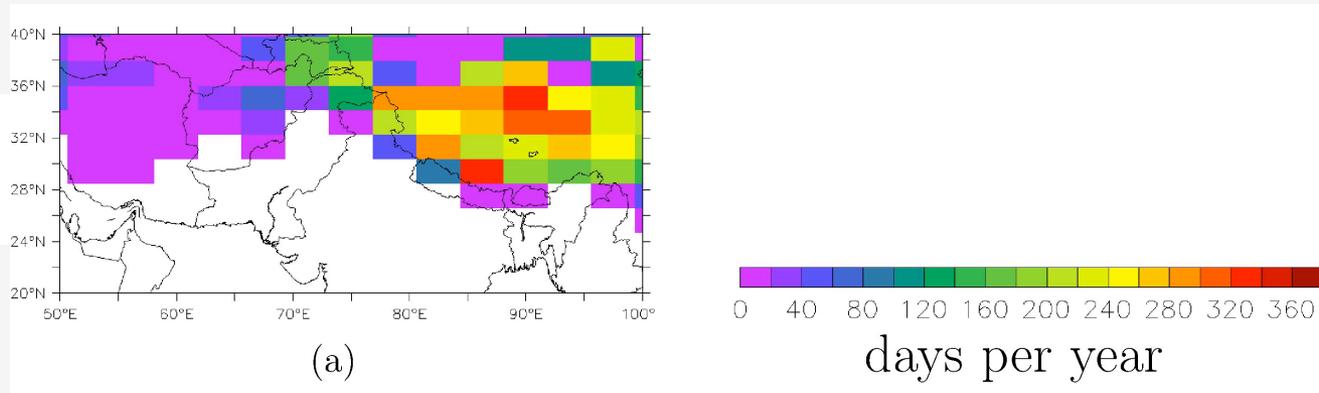
Simul.	Resolution	Snow albedo
1	96x95x19	Avec dépôt de BC
2	144x142x19 Zoom	Avec dépôt de BC
3	144x142x19 Zoom	Sans dépôt de BC



**Altitude (m) de la surface dans LMDZ
Simulation zoomée sur Himalaya**

Nombre de jours par an avec de la neige au sol

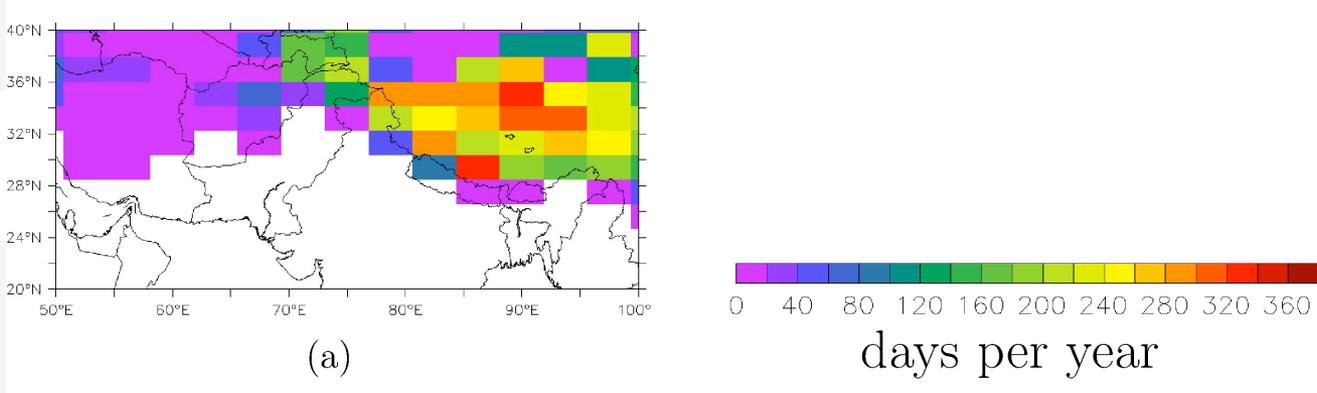
**LMDZ
sans zoom**



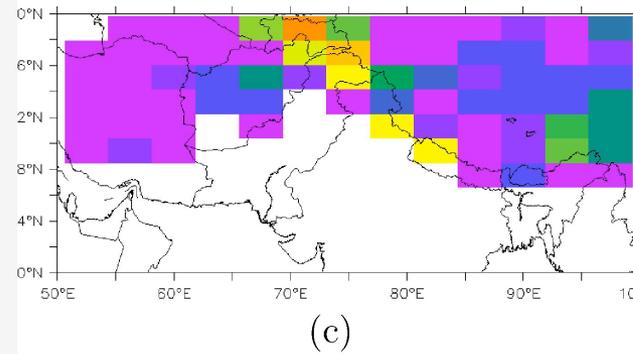
**Obs ->
interpolée
sur la grille
sans zoom**

Nombre de jours par an avec de la neige au sol

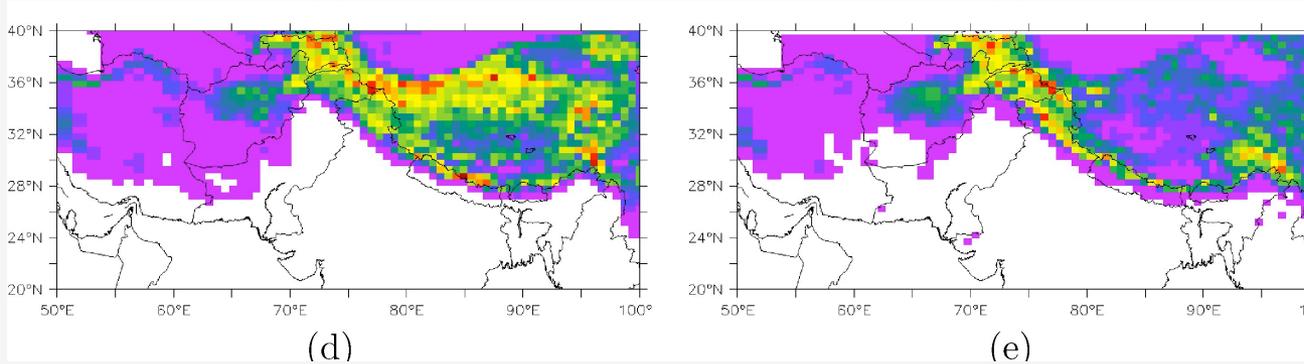
**LMDZ
sans zoom**



**Obs ->
interpolée
sur la grille
sans zoom**



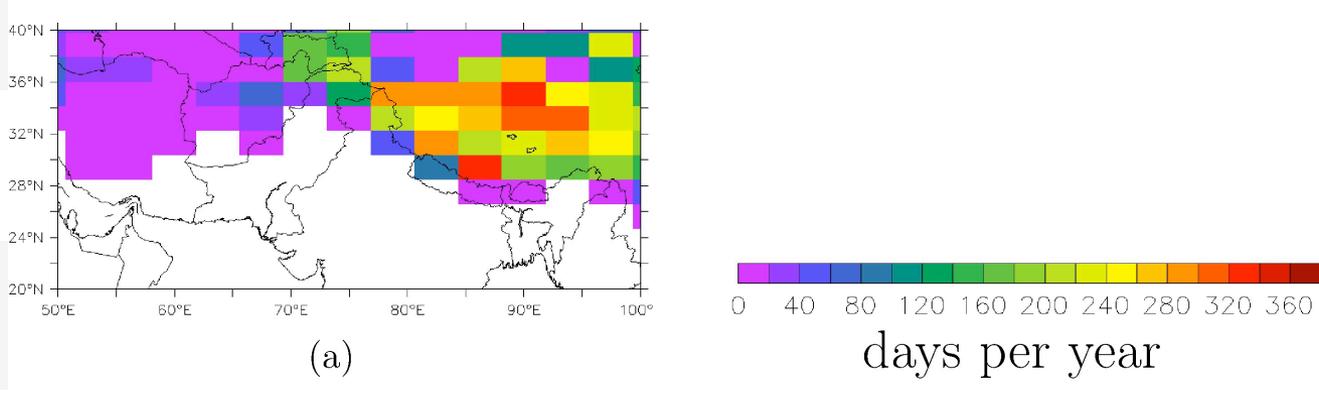
**LMDZ
avec zoom**



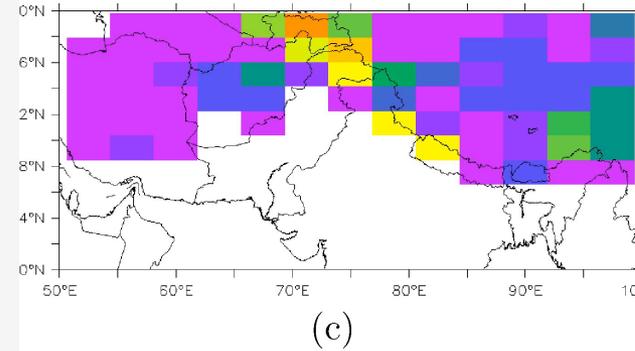
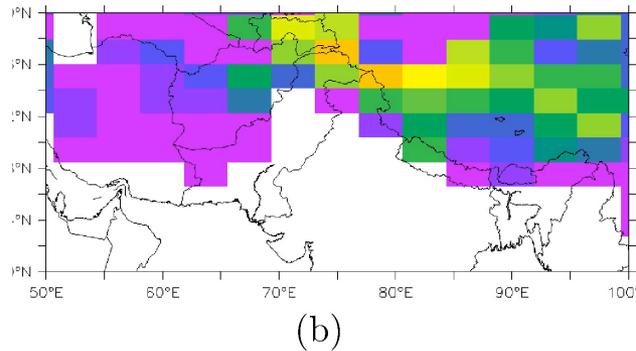
**Obs ->
interpolée
sur la grille
avec zoom**

Nombre de jours par an avec de la neige au sol

**LMDZ
sans zoom**

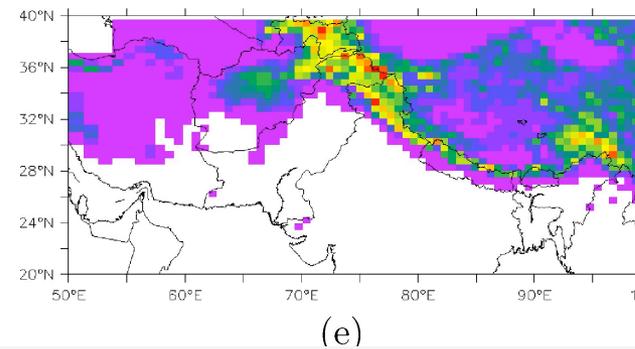
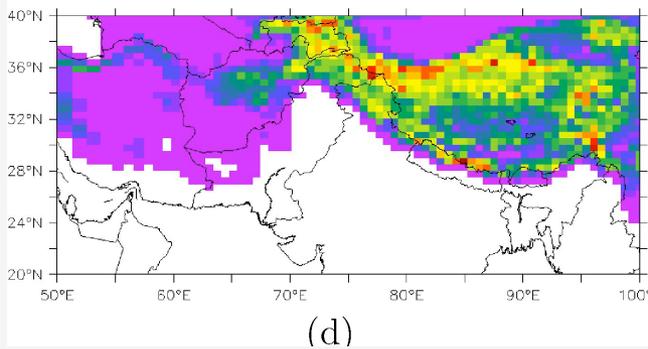


**LMDZ avec
zoom ->
interpolé sur
la grille sans
zoom**



**Obs ->
interpolée
sur la grille
sans zoom**

**LMDZ
avec zoom**

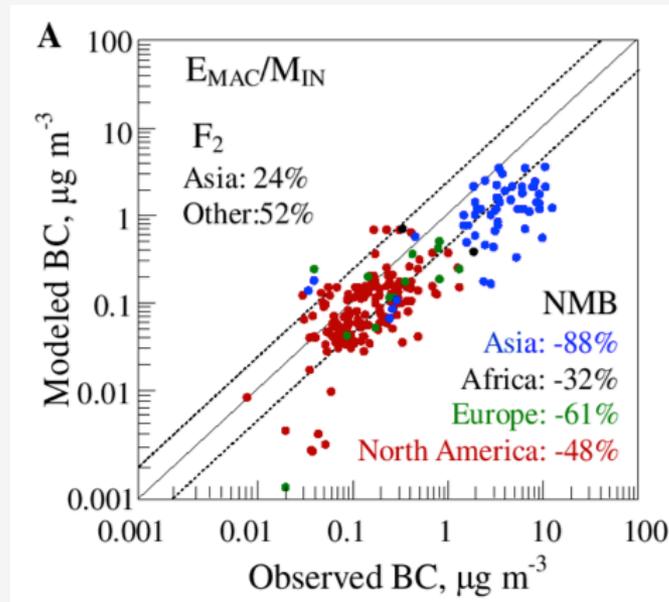


**Obs ->
interpolée
sur la grille
avec zoom**

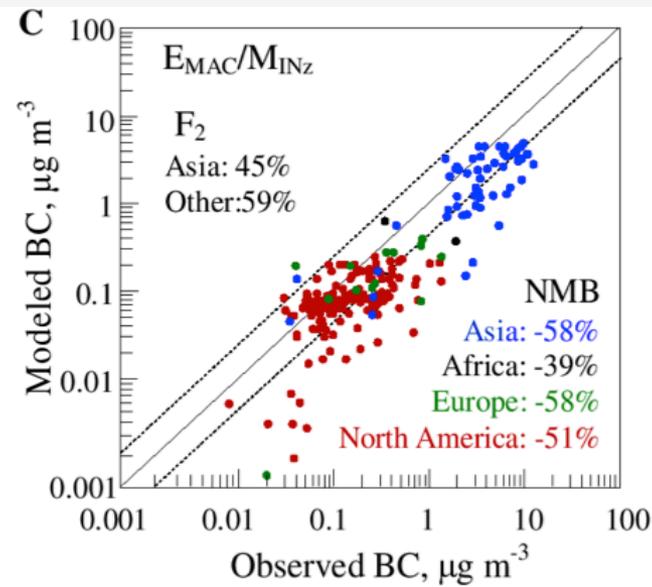
Concentration atmosphérique de carbone-suie

Validation de simulations INCA basées sur l'inventaire d'émissions IPCC avec et sans zoom (Wang et al., 2014)

Sans
zoom



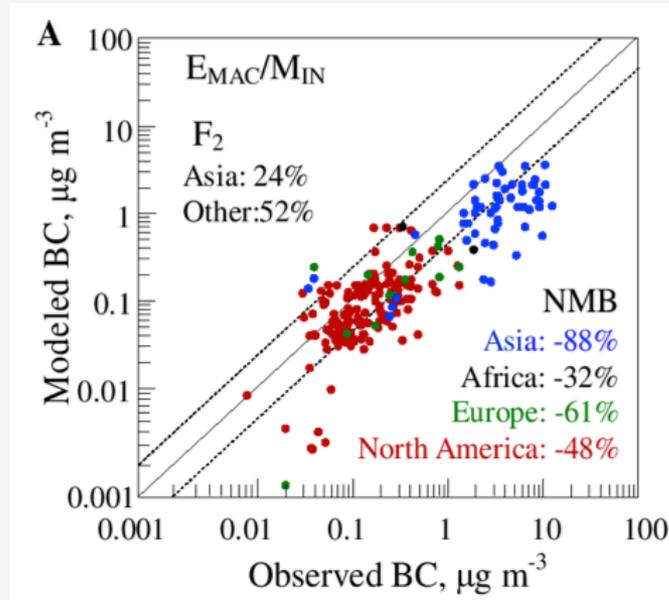
Avec
zoom



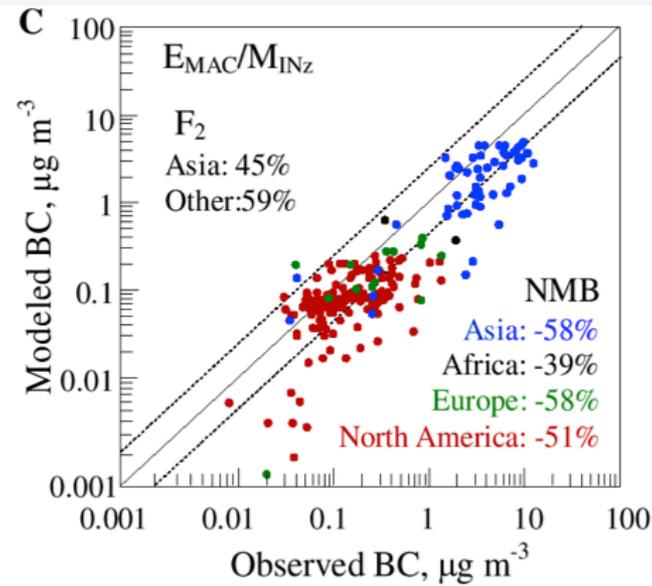
Concentration atmosphérique de carbone-suie

Validation de simulations INCA basées sur l'inventaire d'émissions IPCC avec et sans zoom (Wang et al., 2014)

Sans
zoom



Avec
zoom



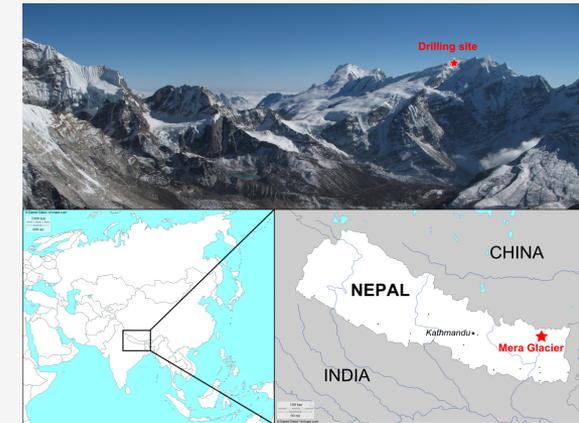
Comparaison avec les mesures à la Pyramide (5079 m, Népal, Bonasoni et al., 2010)

[BC] (ng.m ⁻³)	Pre-monsoon	Monsoon	Post-monsoon	Winter	Max.
Observation	316	50	135	119	2500
<i>Model</i>	206	76	224	138	550

Concentration de carbone-suie dans la neige

Glacier du Méra, 6400m, Ginot et al. (2013) :

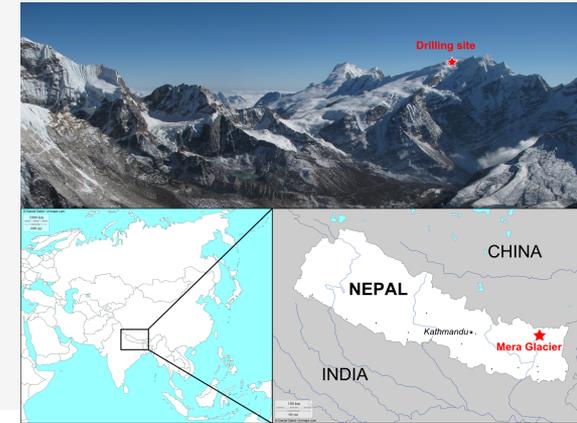
	Observation (black) - model (red)		
	Annual	Inter-monsoon	Monsoon
[BC] ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	3 - 201	9.25 - 285	1.06 - 27
Dépôt BC ($\text{mg.m}^{-2}.\text{yr}^{-1}$)	3.2 - 52	75% - 59%	25% - 41%



Concentration de carbone-suie dans la neige

Glacier du Méra, 6400m, Ginot et al. (2013) :

	Observation (black) - model (red)		
	Annual	Inter-monsoon	Monsoon
[BC] ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	3 - 201	9.25 - 285	1.06 - 27
Dépôt BC ($\text{mg.m}^{-2}.\text{yr}^{-1}$)	3.2 - 52	75% - 59%	25% - 41%



Glacier du Méra, observations à différentes altitudes, Kaspari et al. (2014) :

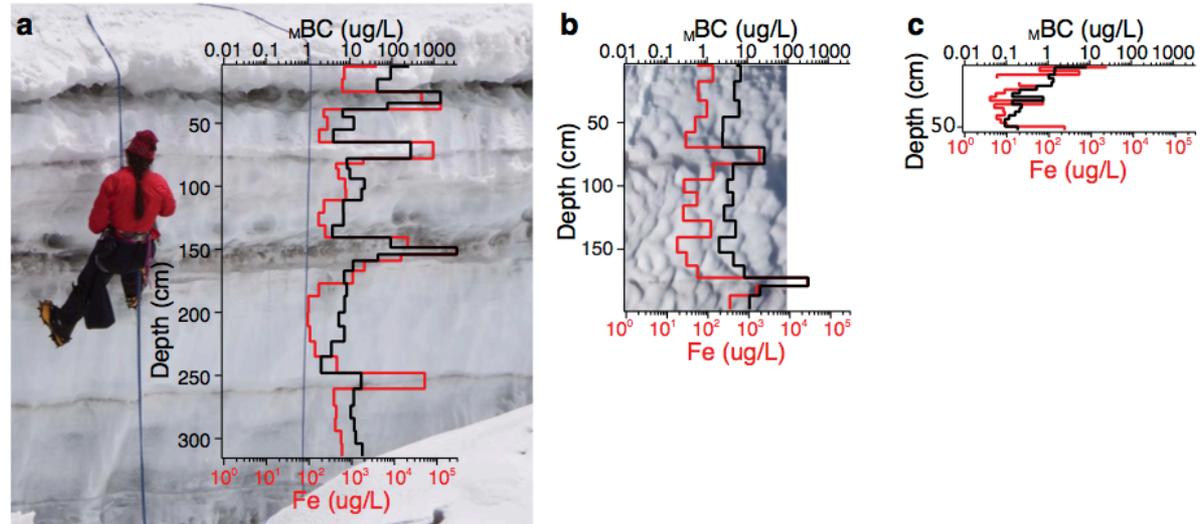
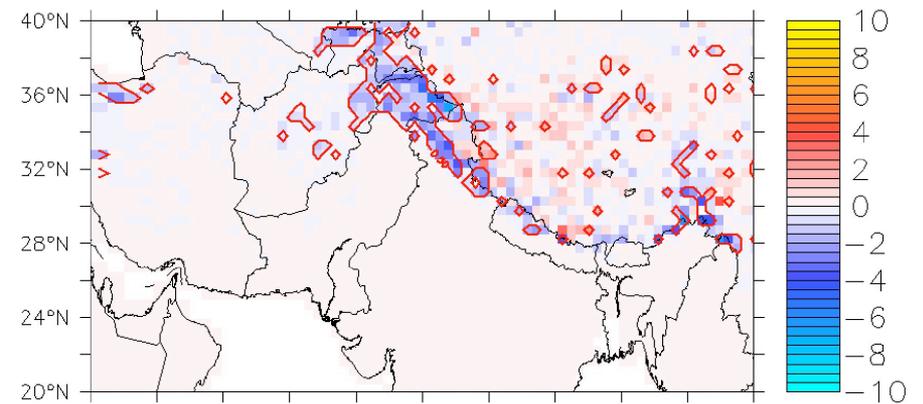
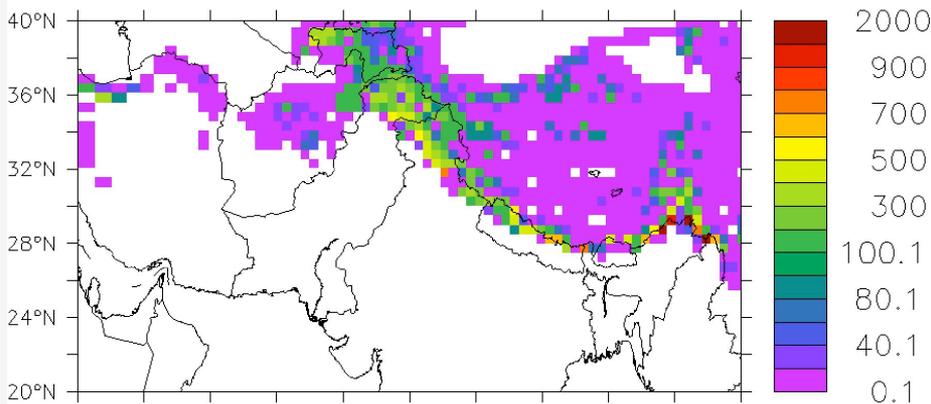
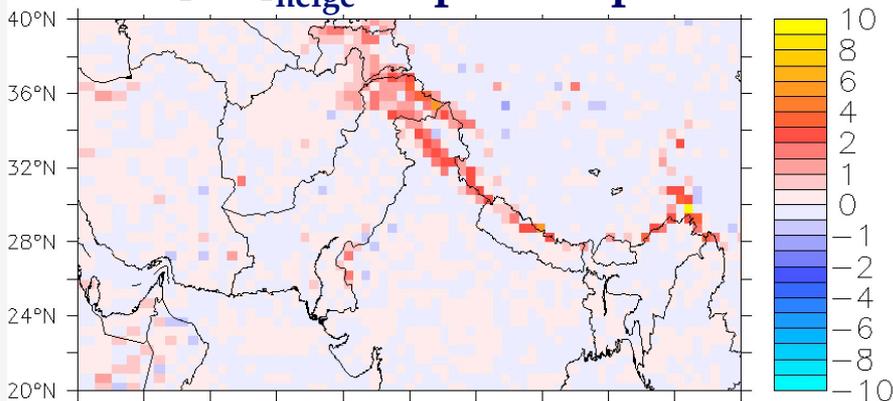


Fig. 3. MBC and Fe (used as a dust proxy) concentrations from Mera glacier crevasse profiles and snowpits from (a) Mera La (5400 m a.s.l.), (b) below Mera High Camp (5800 m a.s.l.), and (c) from a snowpit near the summit of Mera Peak (6400 m a.s.l.).

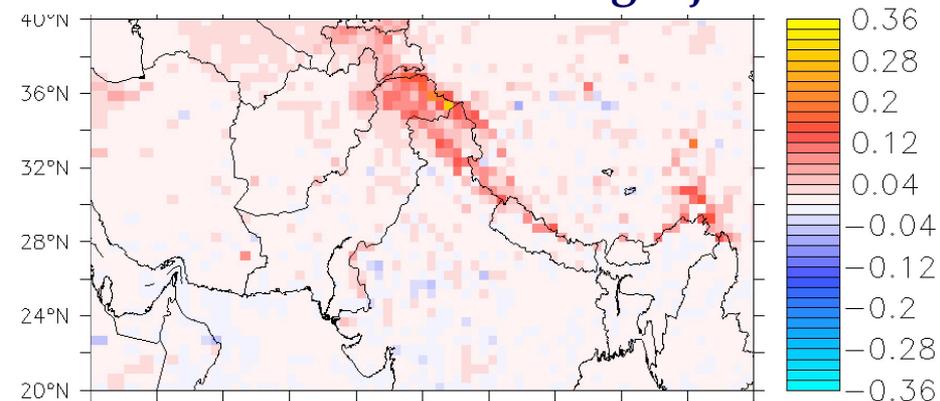
Simulations LMDZ



$[BC]_{\text{neige}}$ au printemps



Snow cover duration change (jours)



Surface absorbed solar radiation change (W.m^{-2})

Temperature change ($^{\circ}\text{C}$)

Conclusions (Ménégoz et al., 2014)

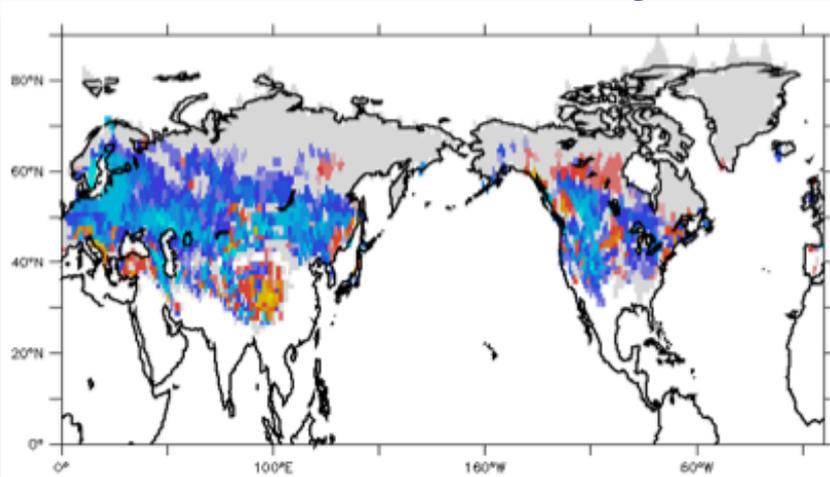
- **Une résolution fine est indispensable pour simuler le couvert neigeux et sa sensibilité aux forçages anthropiques en montagne.**
- **Le dépôt de BC induit une diminution de la durée d'enneigement des sols de 1 à 8 jours par an dans les régions du Karakoram et de l'Himalaya. Le plateau tibétain semble peu affecté.**
- **D'autres observations de la concentration de BC dans la neige sont nécessaires pour appréhender sa variabilité spatiale (gradients altitudinaux, profils verticaux dans la neige, variabilité spatiale).**



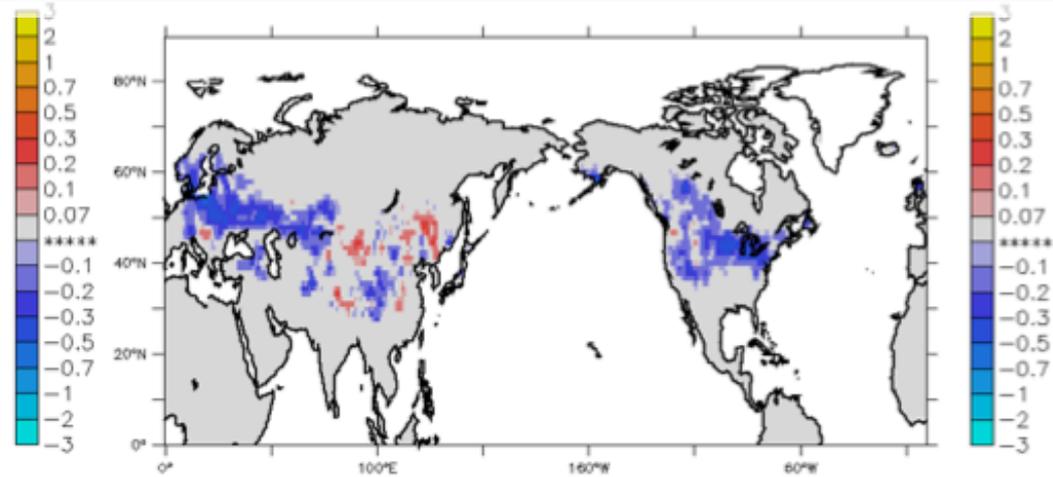
1. Introduction
2. Neige et aérosols en régions boréales
3. Le cas particulier de la région Himalayenne
4. Perspectives

Quelques pistes pour améliorer les modèles

Tendance de l'enneigement au mois de Mars-Avril (1979-2000, en %/an)



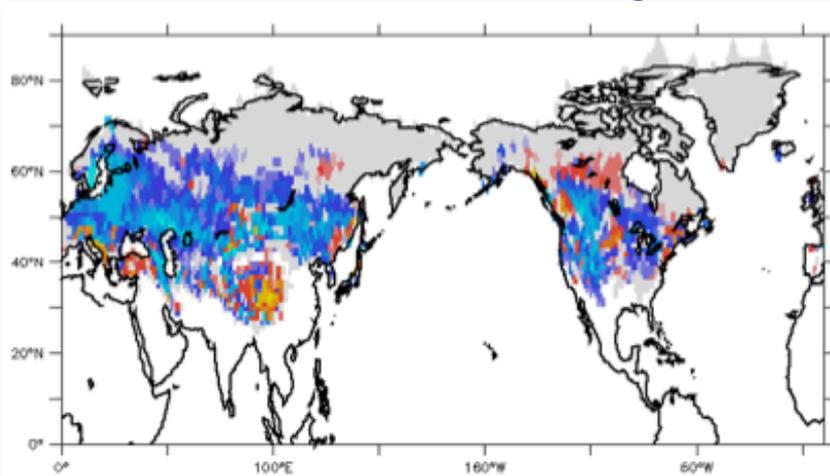
Observation



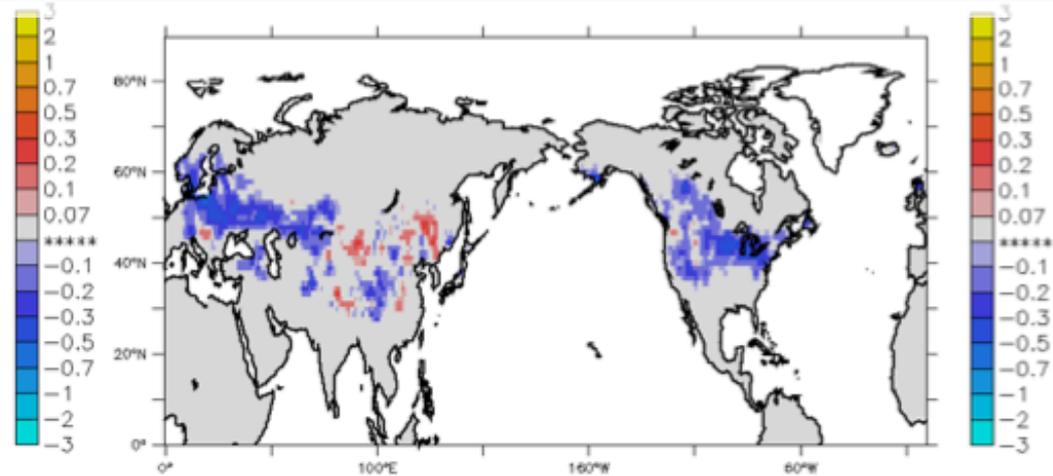
Modèles (CMIP5)

Quelques pistes pour améliorer les modèles

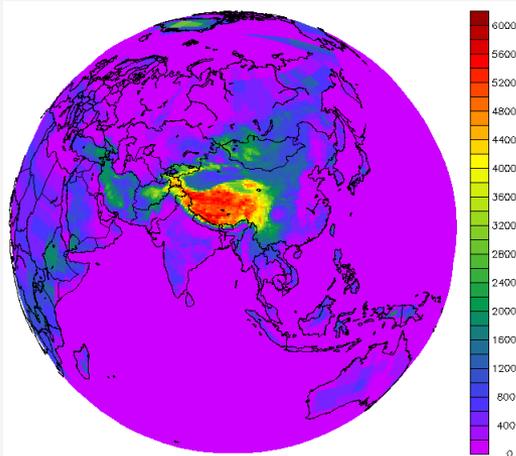
Tendance de l'enneigement au mois de Mars-Avril (1979-2000, en %/an)



Observation



Modèles (CMIP5)



- > Augmenter la résolution
- > Paramétrisations sous-maille, validation avec des observations
- > Simulations forcées et couplées pour détecter l'impact des forçages anthropiques

A panoramic view of a city, likely Lima, Peru, with a dense urban landscape in the foreground and a range of snow-capped mountains in the background under a clear blue sky. The text "Merci de votre attention" is centered in the middle of the image.

Merci de votre attention



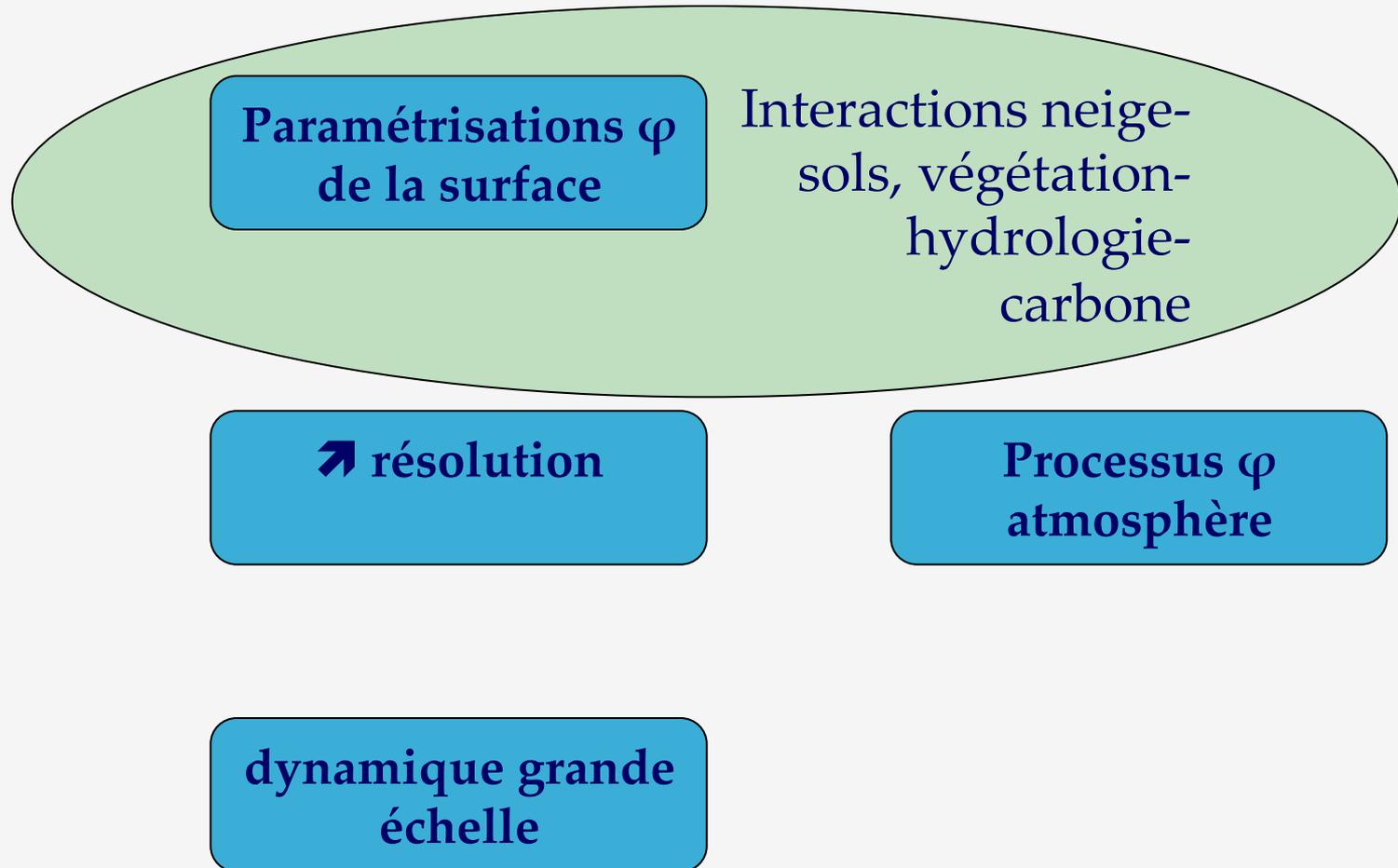
ANNEXES

Plan de la présentation

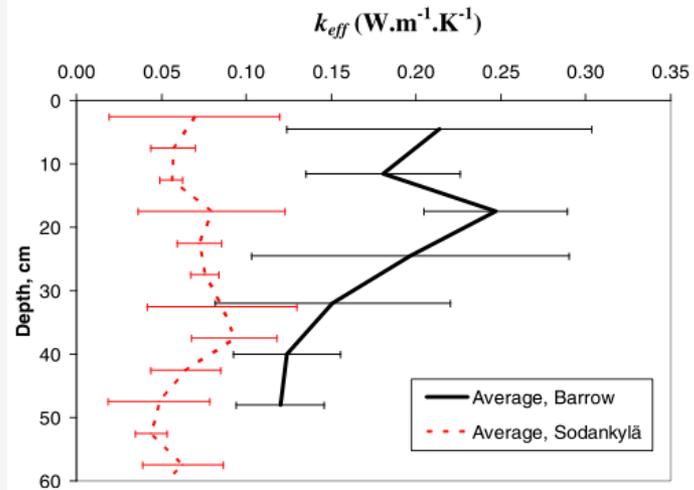
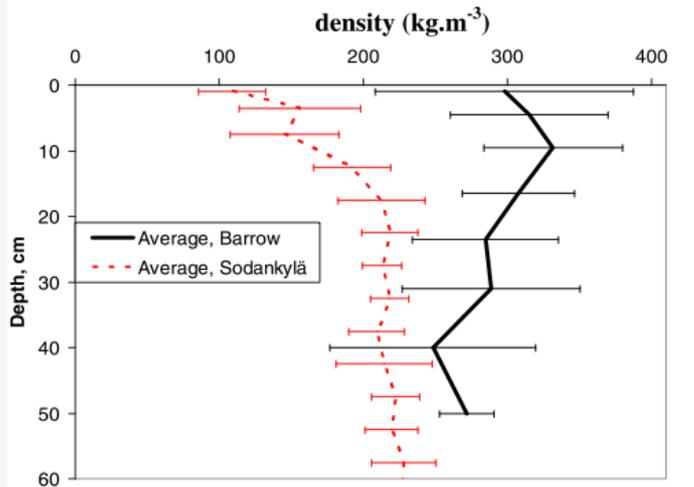
1. Introduction
2. L'évolution du couvert neigeux vu par les modèles CMIP5
3. Forçage du dépôt d'aérosols sur le couvert neigeux
4. Aérosols et couvert neigeux en région de montagne
5. **Optimiser la représentation des interactions neige-climat dans les modèles**

Origine des biais des modèles

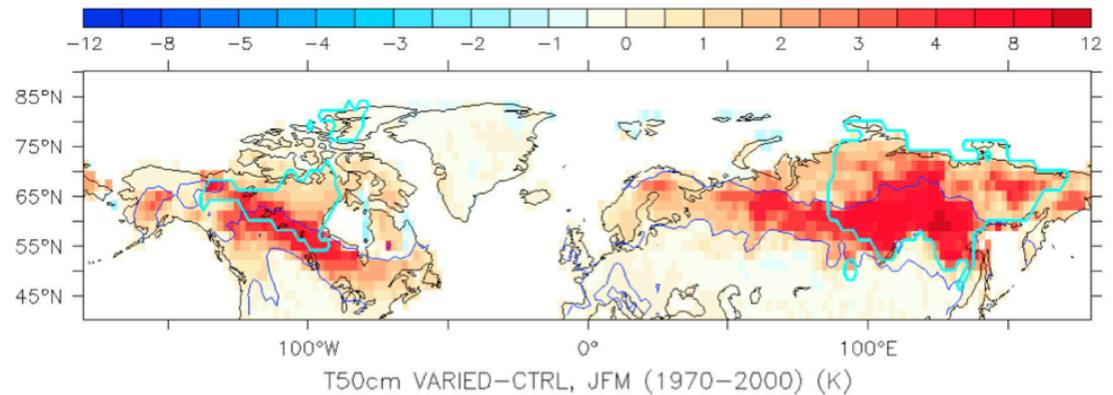
Quatre axes pour mieux simuler les interactions neige-climat :



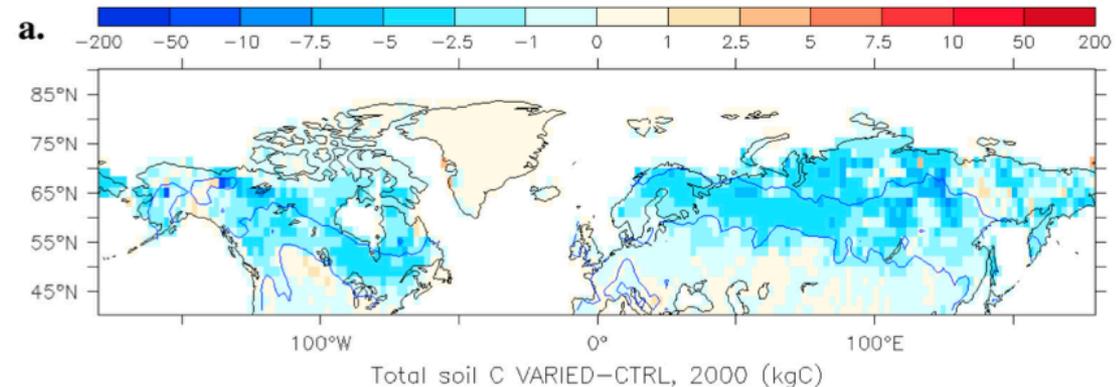
Paramétrisations physique de la surface (Gouttevin et al., 2012)



Observations de densité et de conductivité de la neige:
Taïga: rouge; Toundra: noir



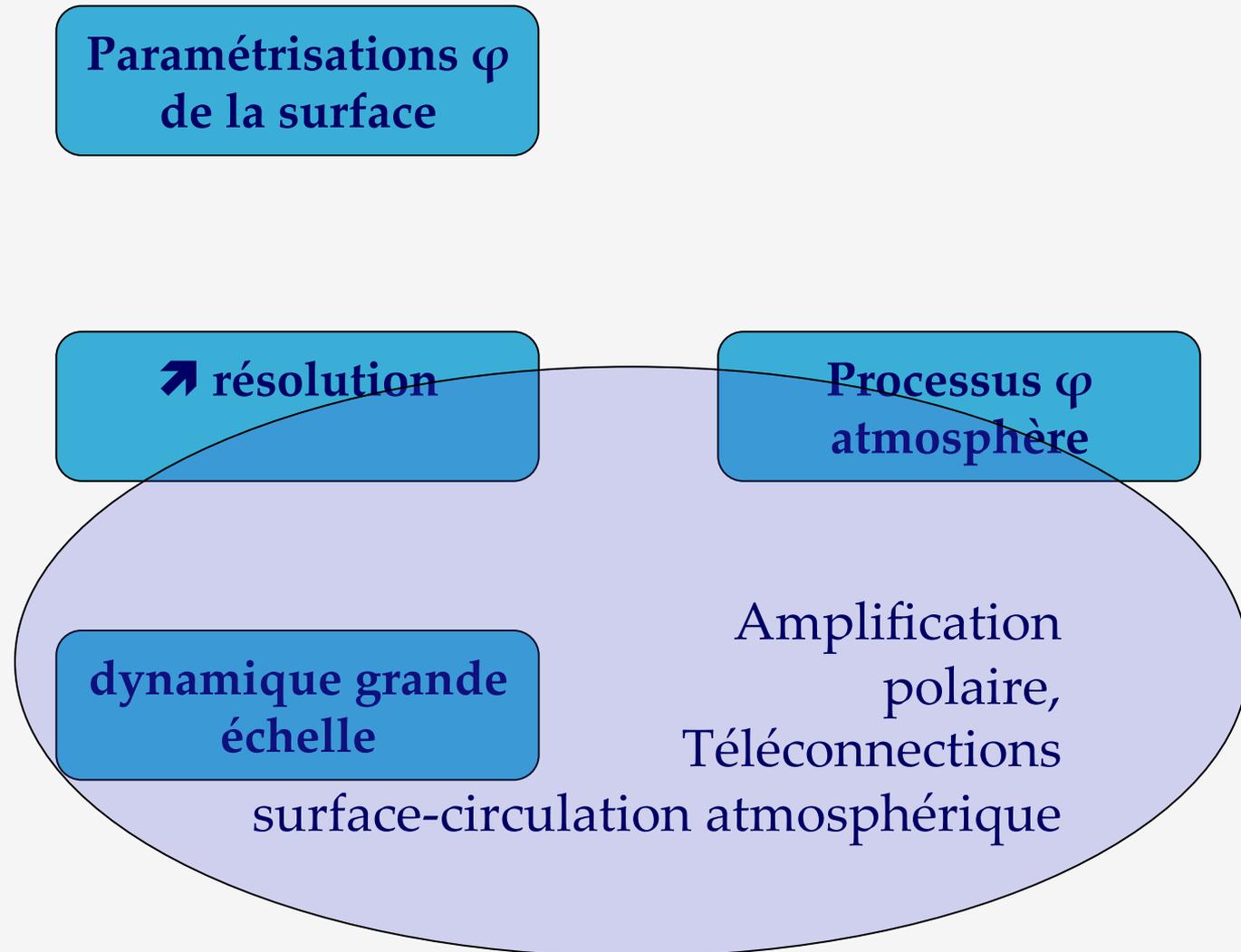
Différence de T° à 50 cm de profondeur dans le sol simulée avec des densités différenciées pour la taïga et la toundra



Différence de carbone stocké dans le sol (kgC) simulée avec des densités différenciées pour la taïga et la toundra (différence=64PgC, ~8% du total)

Origine des biais des modèles

Quatre axes pour mieux simuler les interactions neige-climat :



Dynamique de grande échelle

- **Amplification polaire :**
 - > e.g. Groisman et al., 1994; Déry and Brown, 2007.
- **Prévision saisonnière en Europe et en Amérique du Nord :**
 - > Schlosser and Mocko 2003; Peings et al. 2010
- **Téléconnections entre neige en Sibérie et Oscillation Arctique:**
 - > Cohen and Entekhabi 1999; Bojariu and Gimeno 2003, Gong et al. 2003; Fletcher et al. 2009; Peings et al. 2012
- **Lien entre couvert neigeux en Eurasie et moussons asiatiques:**
 - > Hahn and Shukla 1976; Barnett et al. 1989; Bamzai and Shukla 1999; Robock et al. 2003; Peings and Douville 2009.

Origine des biais des modèles

Quatre axes pour mieux simuler les interactions neige-climat :

Changement
climatique
en montagne

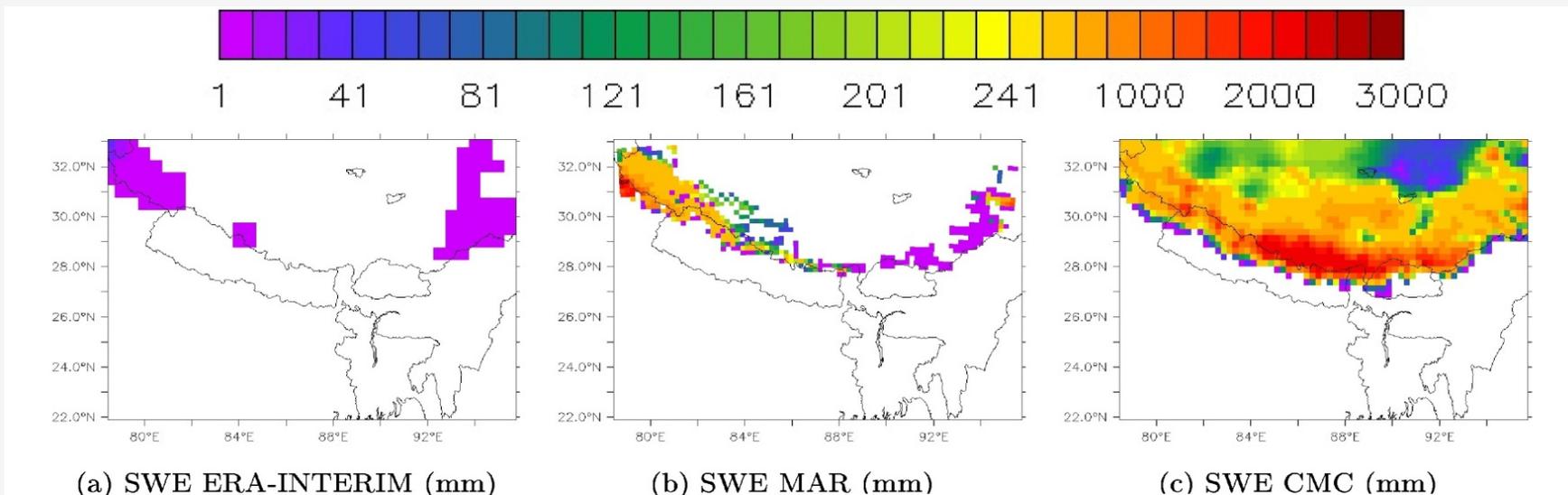
Paramétrisations φ
de la surface

↗ résolution

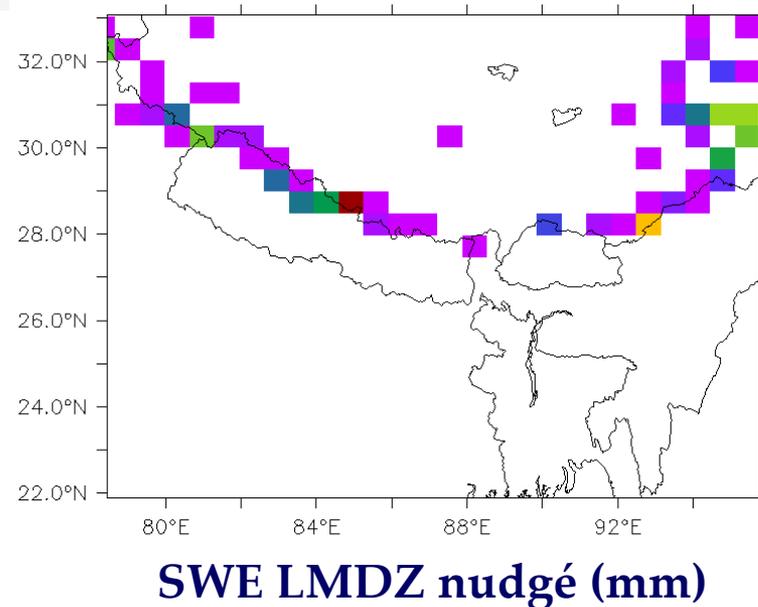
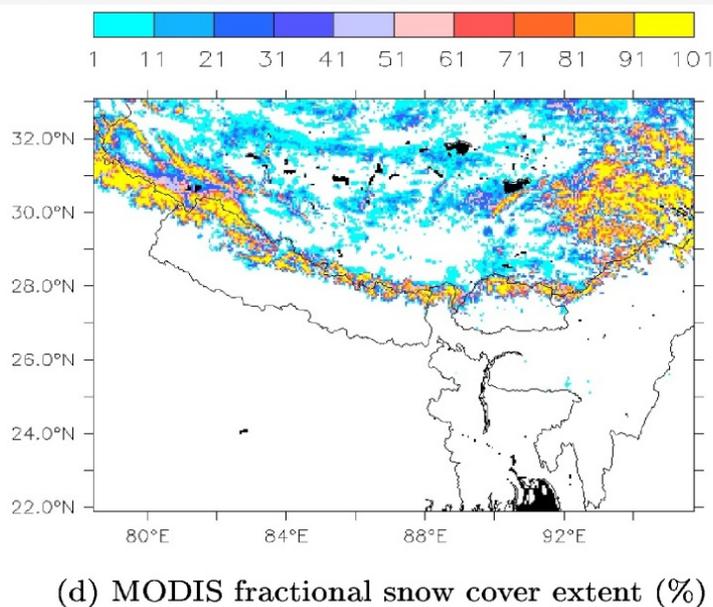
dynamique grande
échelle

Processus φ
atmosphère

➤ Résolution et modèles de neige détaillés (Menegoz et al., 2013)

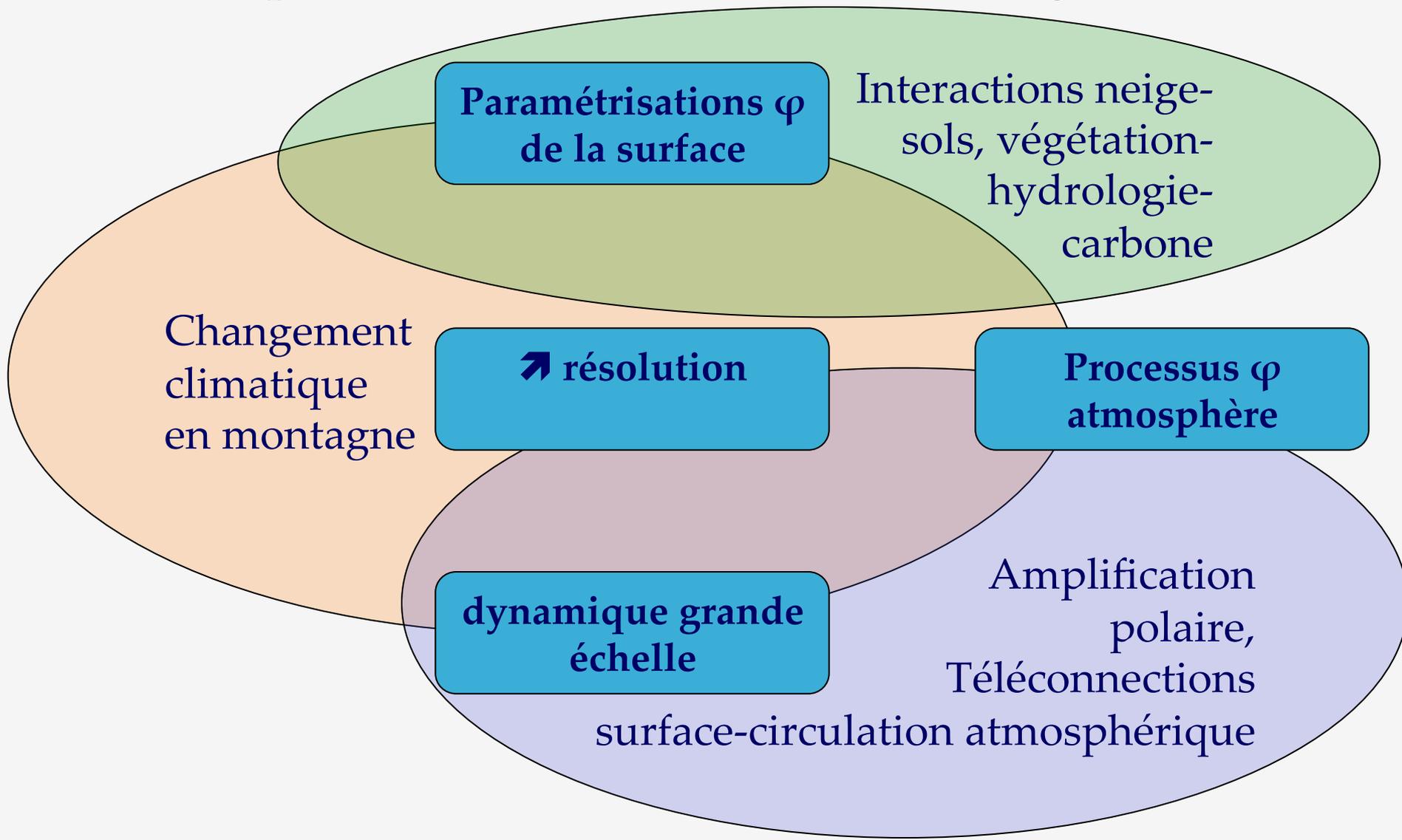


Moyennes
Avril 2001



Origine des biais des modèles

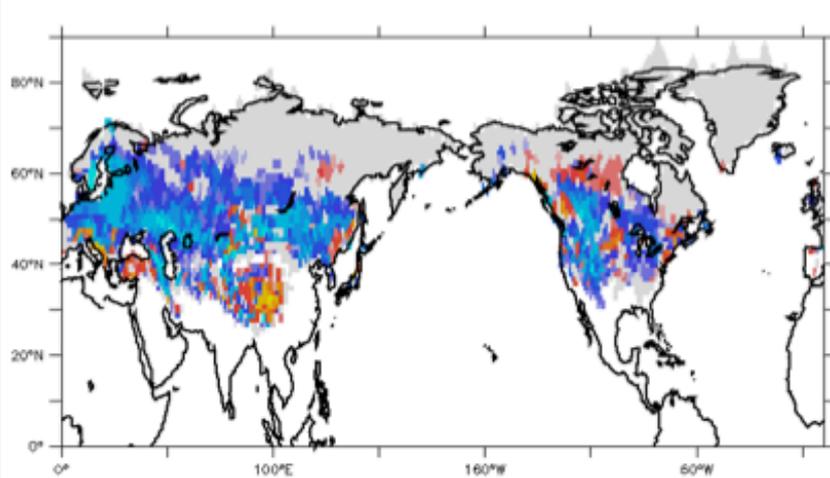
Quatre axes pour mieux simuler les interactions neige-climat :



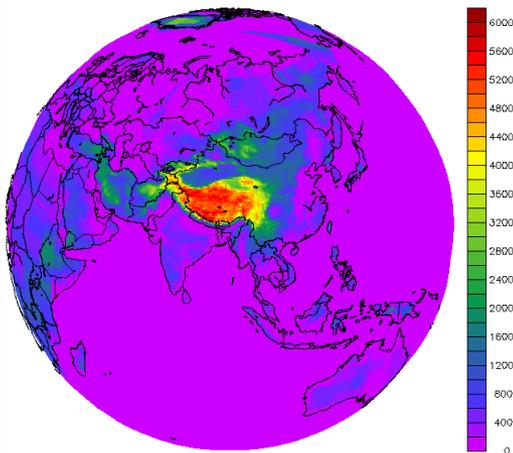
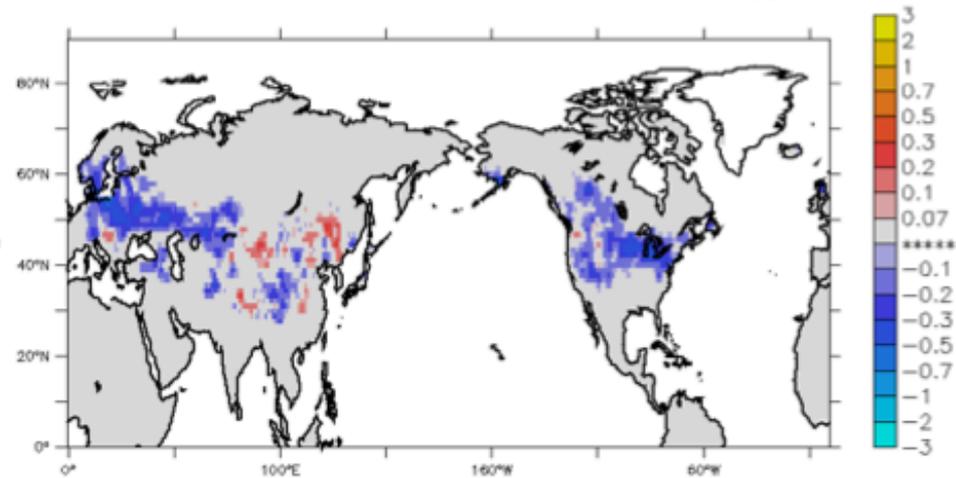
Des projets futurs...

Mieux comprendre les changements climatiques en montagne

a) Observed March–April snow cover trend, 1979–2001 (percent/yr)



b) Multi-model March–April snow cover trend 1979–2001 (percent/yr)



-> Optimiser LMDZ pour les régions de montagne

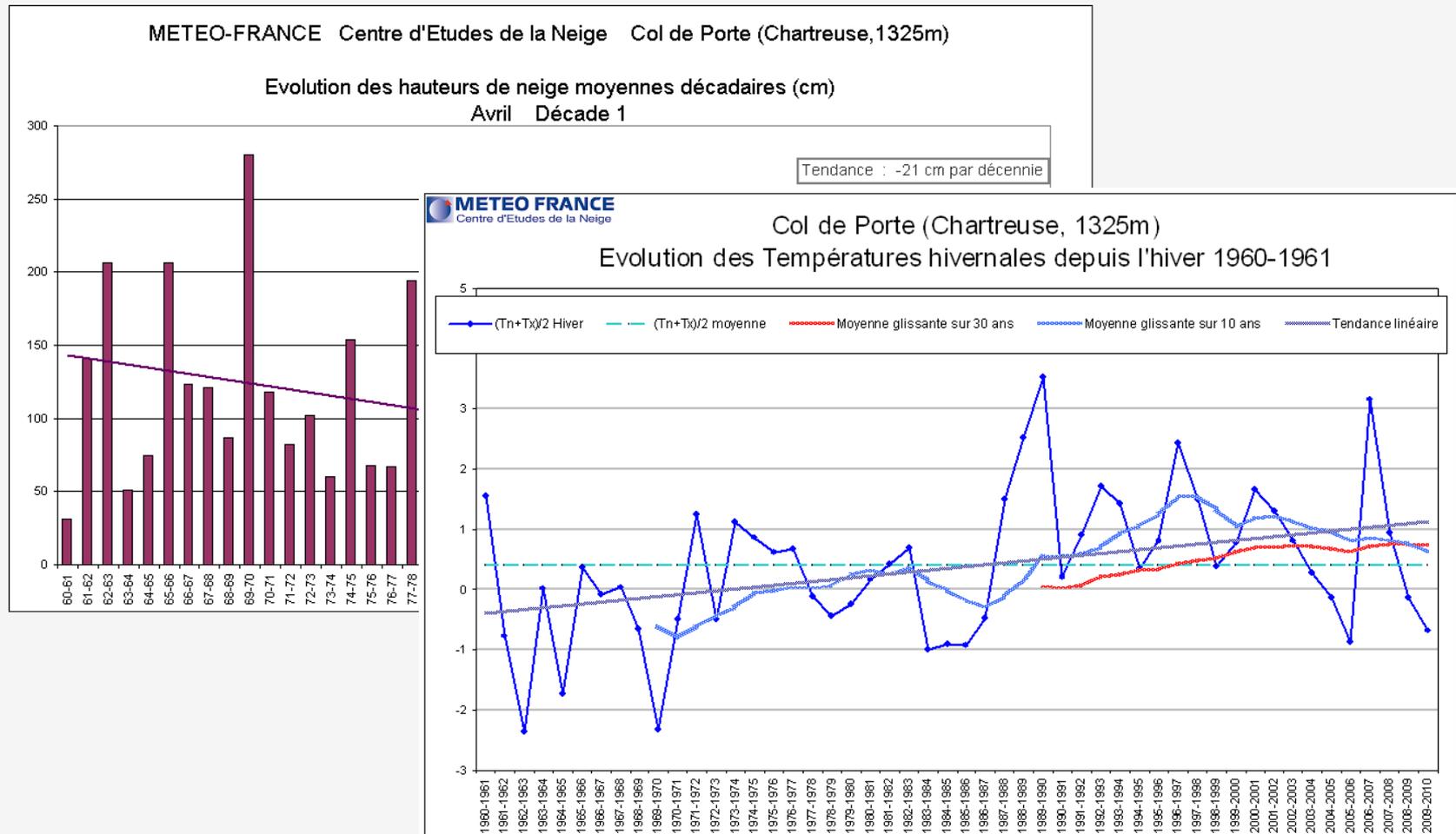
-> réaliser des expériences de sensibilité de la cryosphère aux forçages anthropiques (gaz à effet de serre et aérosols)

Bilan

- **Évaluation des modèles CMIP5**
- **Le dépôt de Carbone-Suie induit une diminution de la durée d'enneigement des sols de 1 à 10 jours par an dans l'hémisphère Nord**
- **Ce forçage devrait diminuer dans les décennies à venir. Cette diminution ne compensera que très partiellement le retrait du couvert neigeux induit par les gaz à effet de serre dans les scénarios climatiques envisagés dans le cadre de CMIP5.**
- **Il est essentiel d'appliquer un modèle de climat avec une fine résolution pour simuler le couvert neigeux en région de montagne. Ce type d'approche a permis de mieux représenter l'impact de la pollution sur le couvert neigeux en Himalaya.**

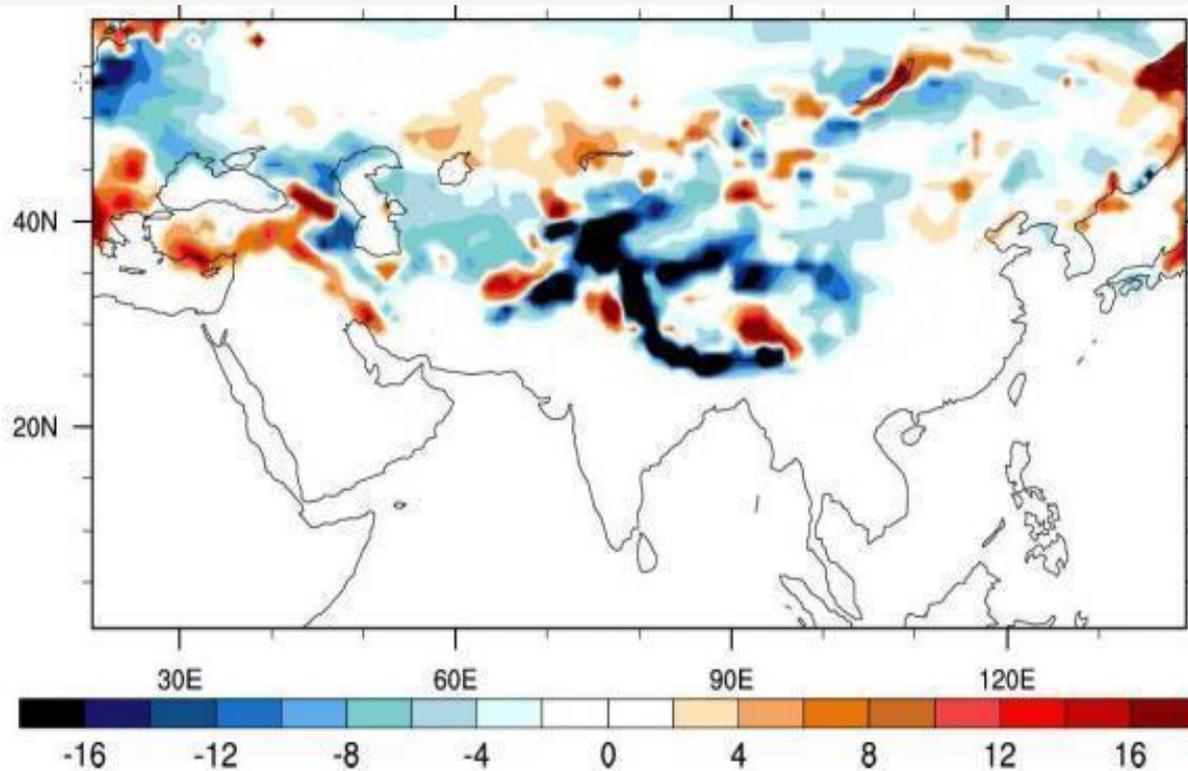
Outils

→ Observations locales de l'épaisseur du manteau neigeux



Outils

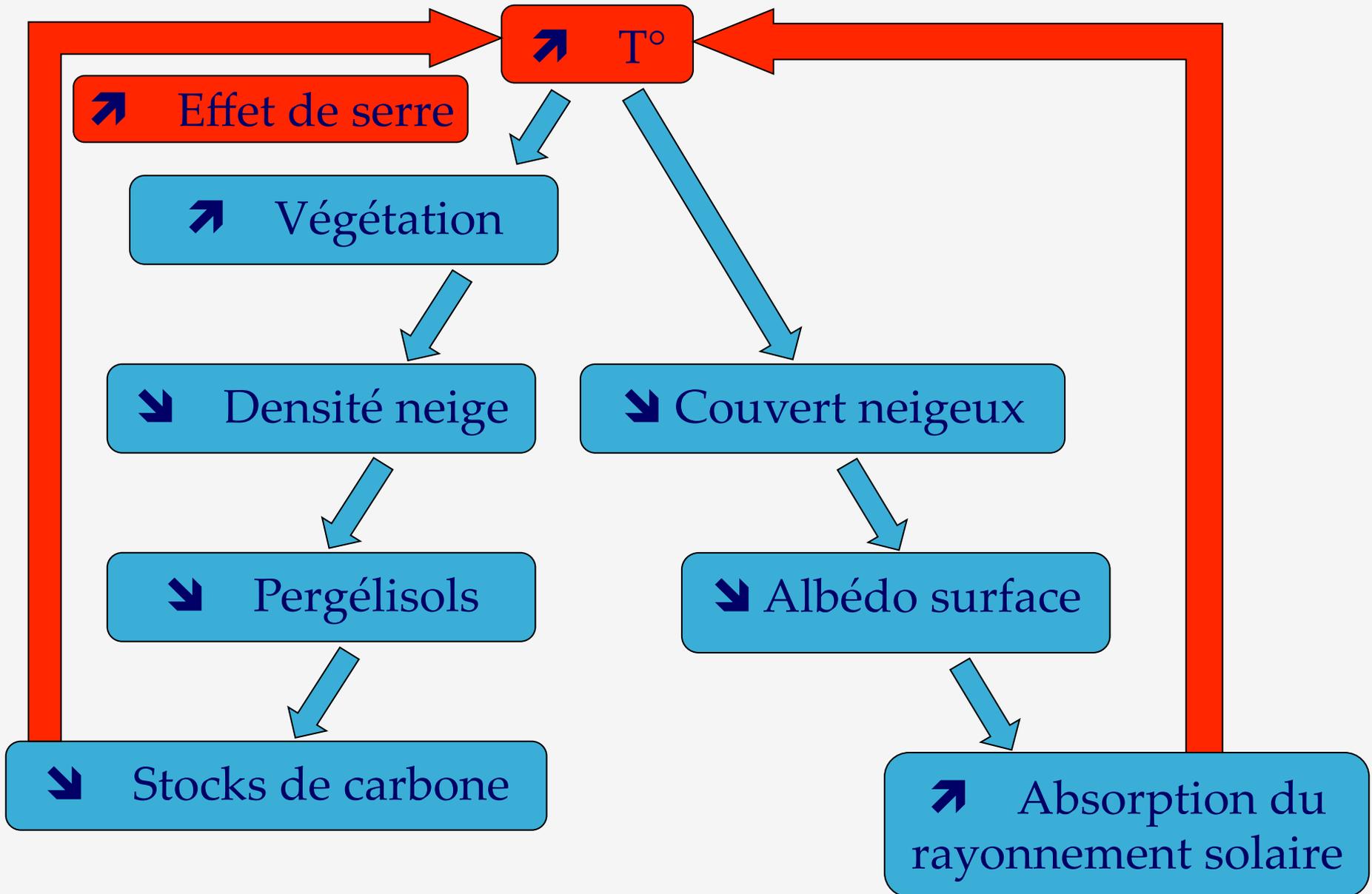
→ Observations satellite



Variations observée par satellite de l'étendue du couvert neigeux entre 1990 et 2001 (% , Menon et al., 2010)

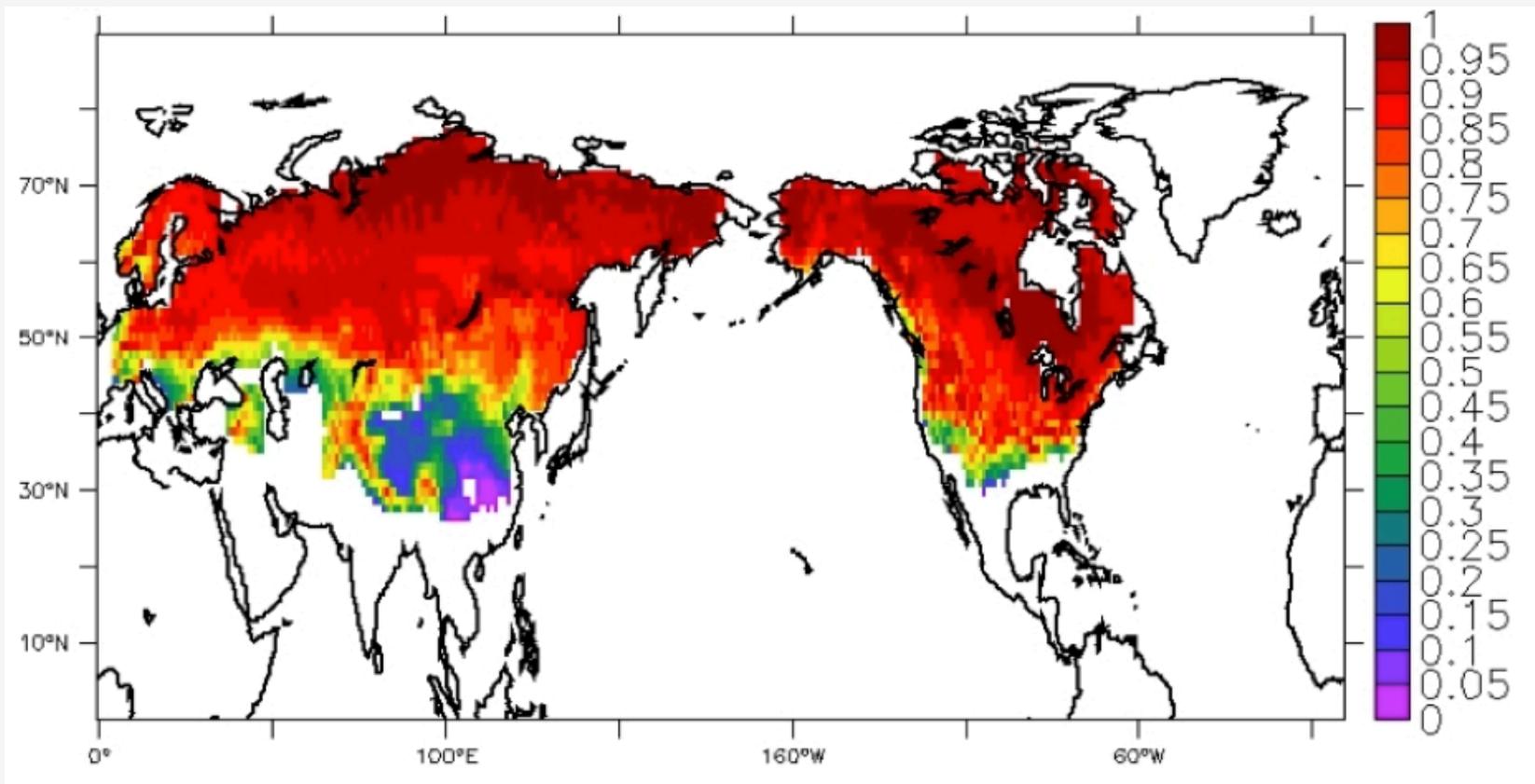
Disponible depuis 1966 (satellite AVHRR)

Rétroactions



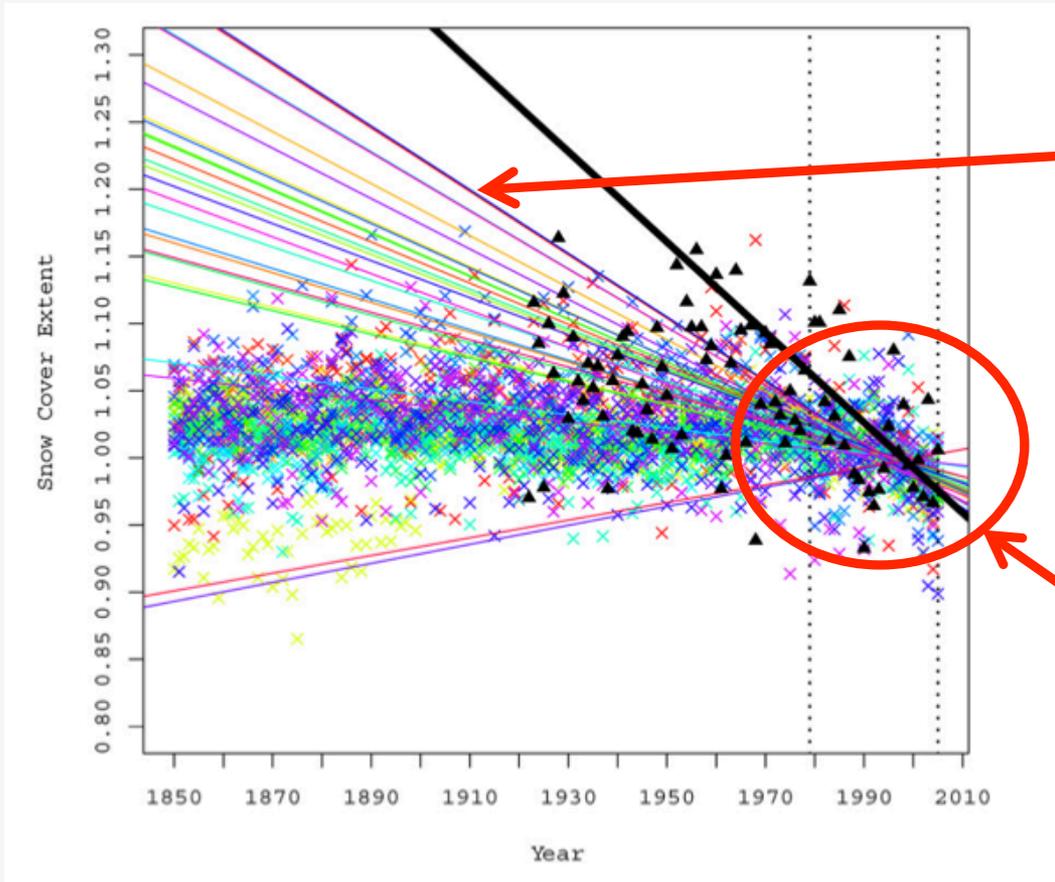
Outils

→ Modèles « couplés »



Agrément entre le cycle saisonnier du couvert neigeux modélisé et observé sur la période 1979-2005. Moyenne des modèles CMIP5, d'après Brutel-Vuilmet et al., 2013

Variations au XXème siècle



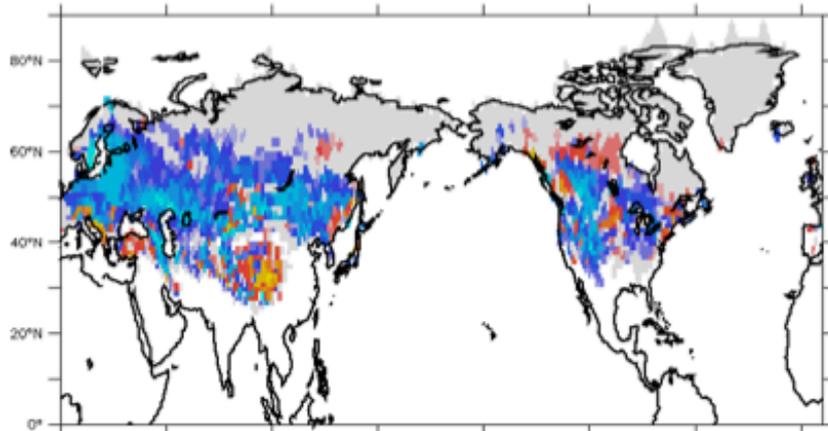
Les modèles sous-estiment
tous ce retrait

Retrait

Variation de l'Étendue du couvert neigeux :
Modèles en couleur
Observations en noir

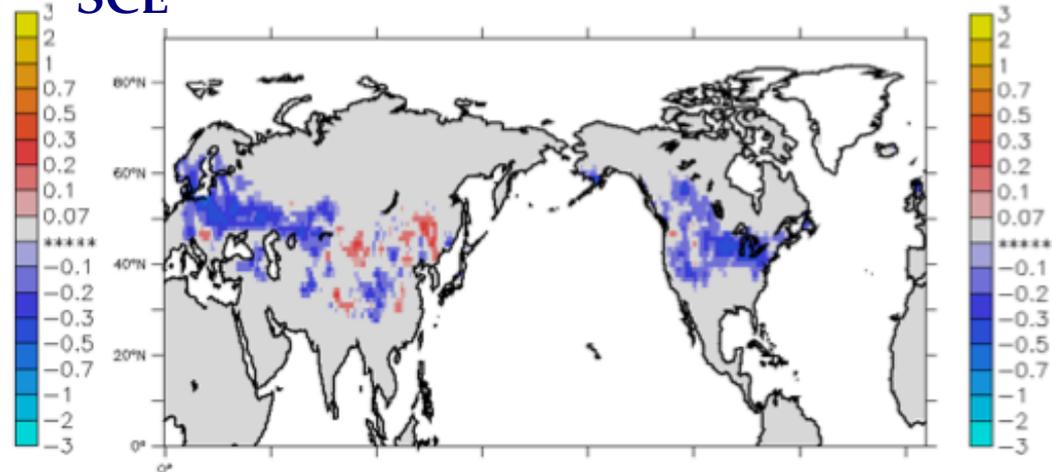
Variations actuelles

a) Observed March–April snow cover trend, 1979–2001 (percent/yr)

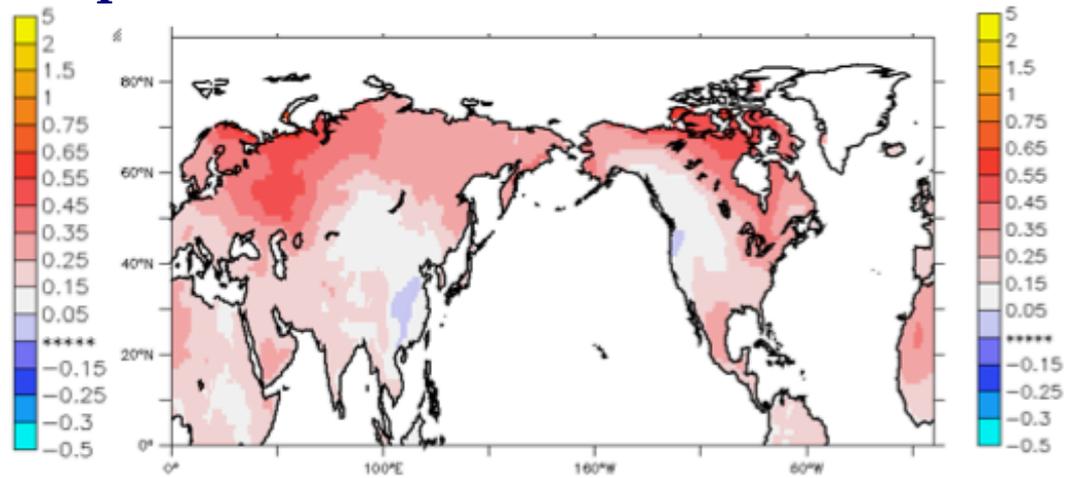
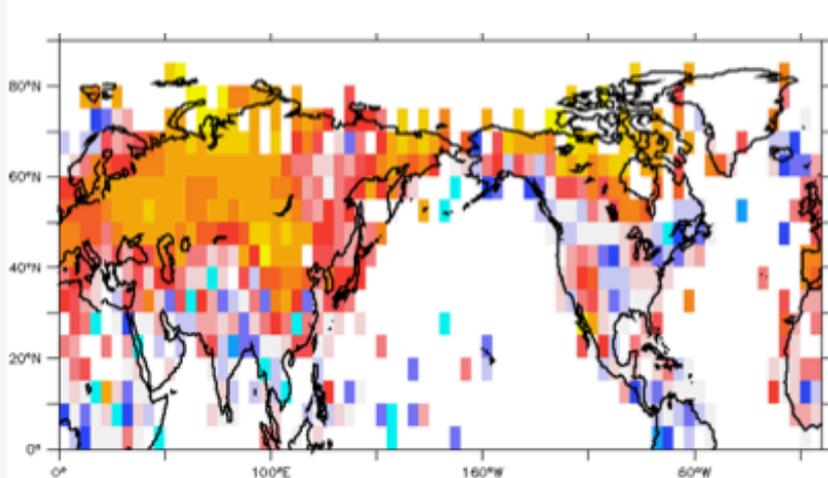


Observations

SCE Multi-model March–April snow cover trend 1979–2001 (percent/yr)



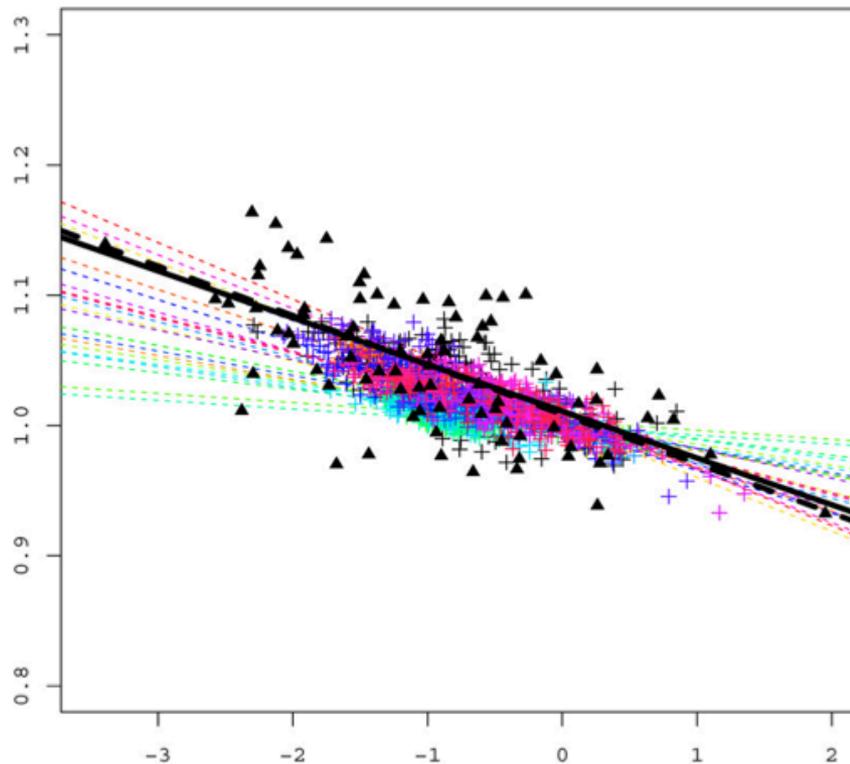
Modèles



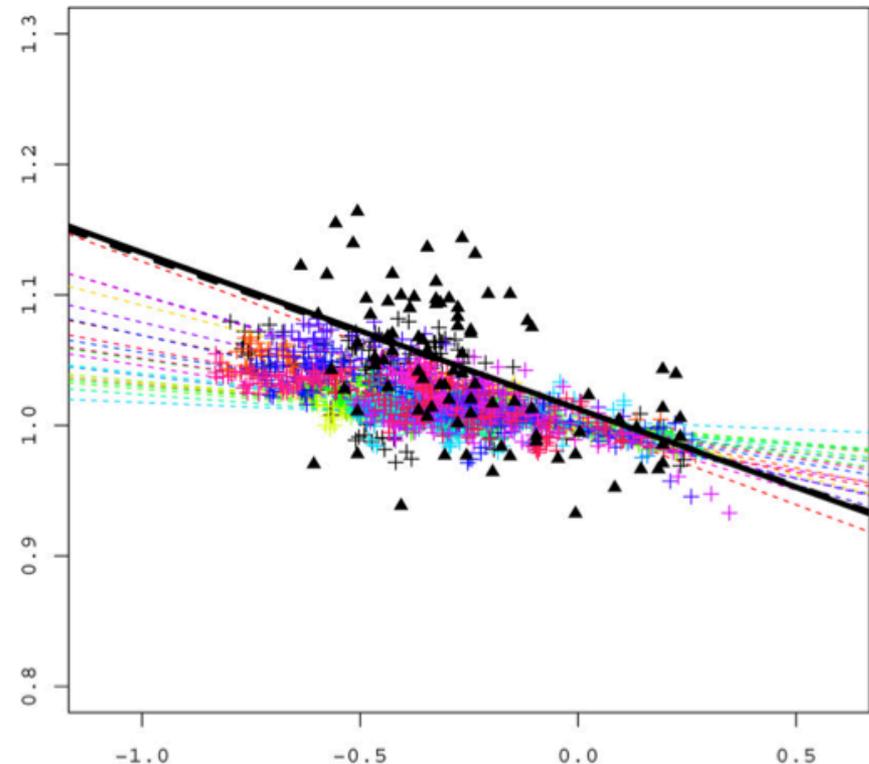
Variations du couvert neigeux et des températures

Variations au XXème siècle

Etendue relative du couvert neigeux



Température des régions boréales



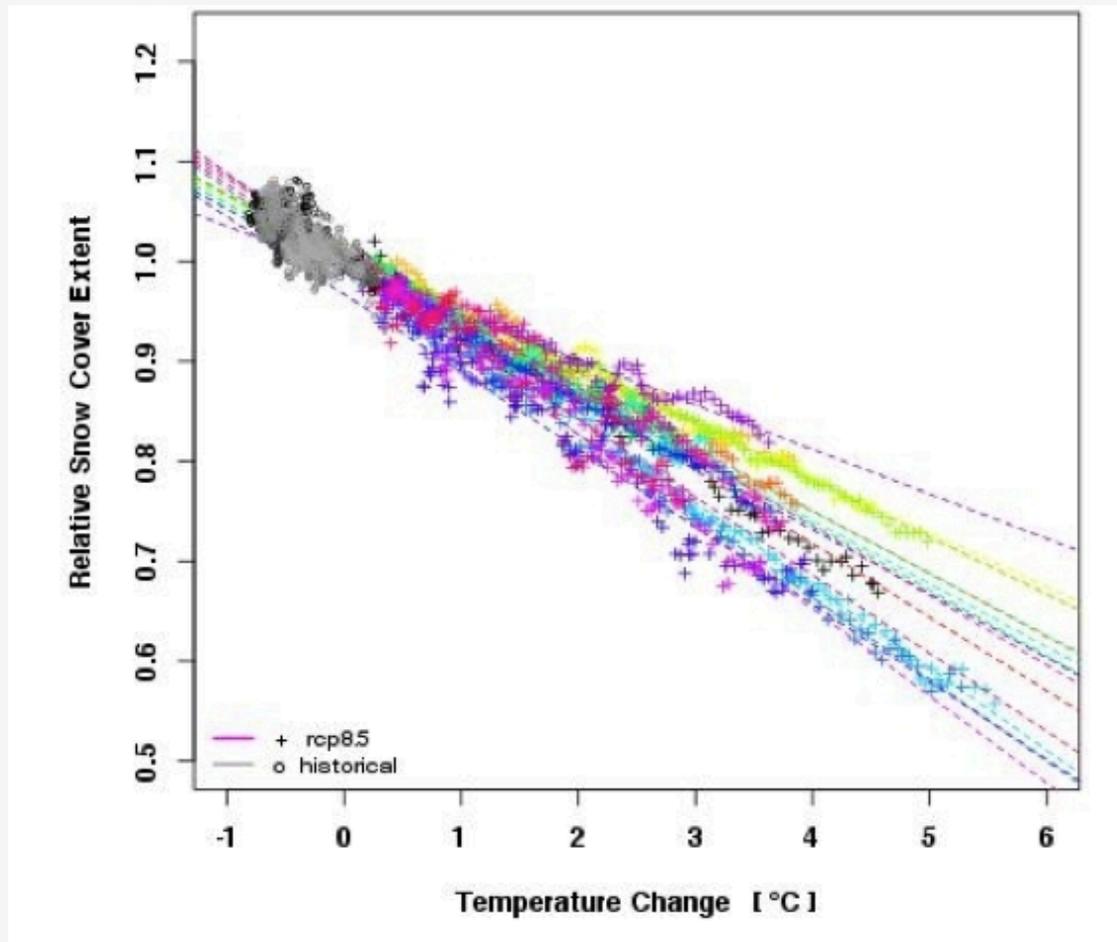
Température globale

Relation couvert neigeux - température

Modèles en couleur

Observations en noir

Scénarios futurs



Relation couvert neigeux – température globale

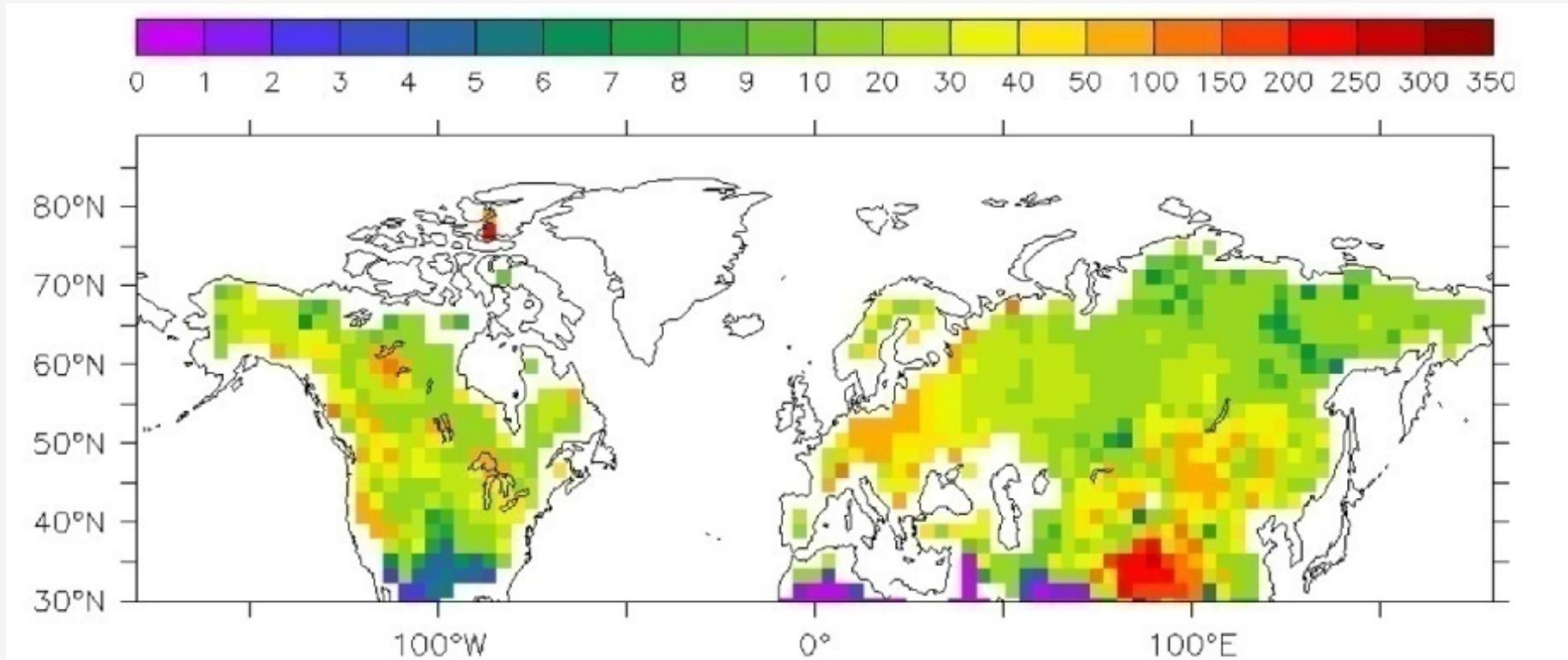
Scénarios en couleur

Historiques en noir

Conclusions (Brutel-Vuilmet et al., 2013)

- Les modèles CMIP5 simulent correctement le cycle saisonnier du couvert neigeux.
- Ils sous-estiment l'augmentation de température dans les régions boréales, et sous-estiment donc la diminution du couvert neigeux
- Ils simulent particulièrement mal l'évolution du couvert neigeux en montagne
- On attend à la fin du 21^{ème} siècle une diminution de 10% à 30% de l'étendue du couvert neigeux au printemps.

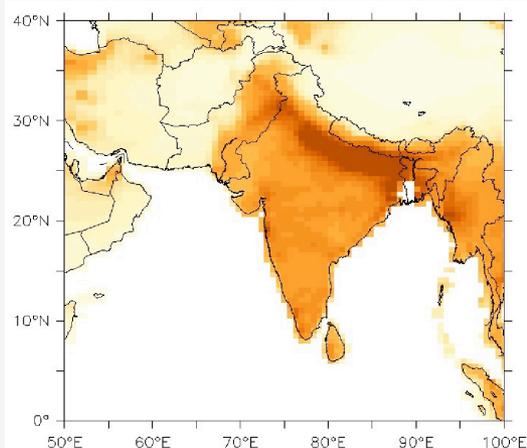
LMDz, ORCHIDEE et INCA



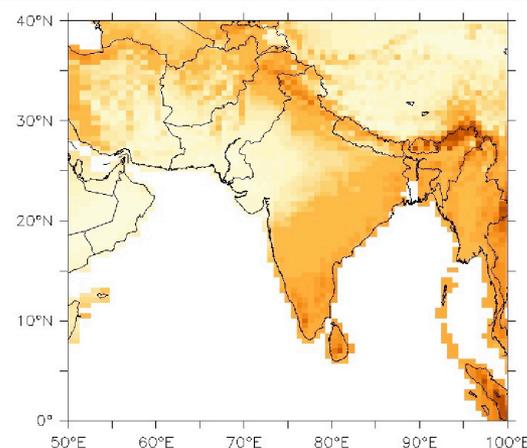
**RMSE du nombre de jour par an avec de la neige au sol
(modèle par rapport aux observations, 1998-2008)**

Dépôt de carbone-suie en Himalaya

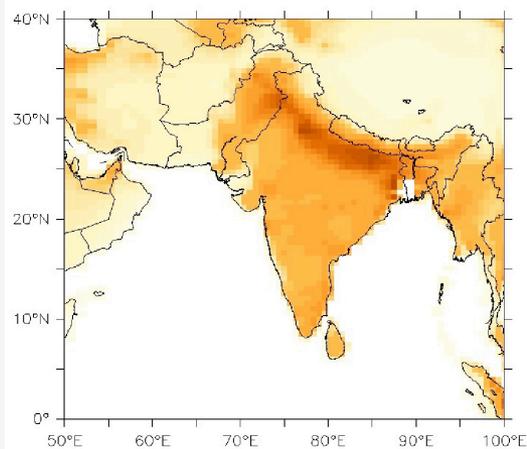
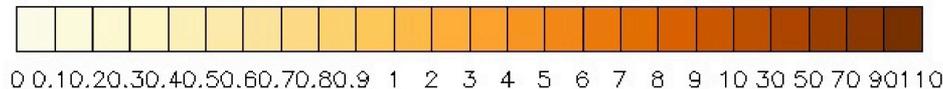
Dépôts sec et humides
simulés avec LMDZ-INCA
(mg/m²/mois, moyenne
1998-2008)



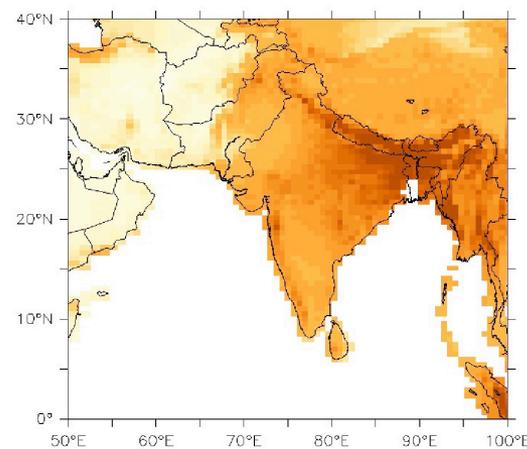
(a) inter-monsoon dry dep.



(b) inter-monsoon wet dep.



(c) monsoon dry dep.



(d) monsoon wet dep.

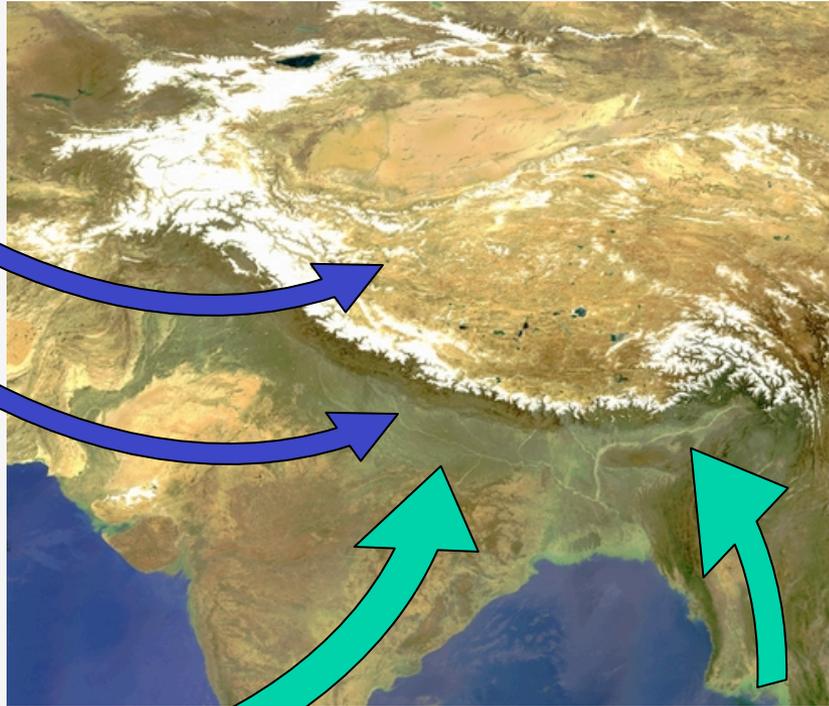
Precipitation and snow cover assessment in the Himalaya: from reanalyses to regional climate modelling



Martin Ménégoz, Hubert Gallée, Hans-Werner Jacobi

Issues and aims

Low pressure systems
(LPS)
(winter and spring)



Monsoon (JJAS)

- Tibetan Plateau and central Himalaya : monsoon brings 80% of total precipitation
- Western and Eastern Himalaya : 50% from monsoon, 50% from mid-latitude LPS
- Snowmelt contribution reaches 50% of the total discharge in the Western part (Indus area) and maximum 25% elsewhere (Bookhagen et al., 2010)
- **Aim : Estimating snow accumulation with a Regional Climate Model (RCM)**

Outline

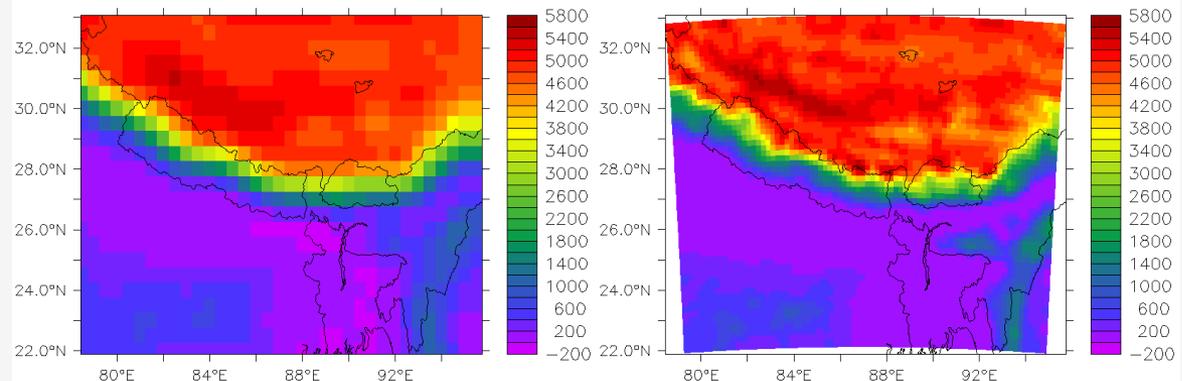
- **Experimental set-up**
- **Evaluation of precipitation in simulations**
- **Snow cover variability**

Experimental set-up

A 3-year MAR simulation over a domain centred over Nepal:

- “Modèle Atmosphérique régional”: MAR
- Dates : March 2000 – December 2002
- Boundaries conditions and initialisation: ERA-INTERIM
- Surface conditions and Leaf Area Index obtained from MODIS
- Detailed land-surface scheme SISVAT, including CROCUS, a multi-layer snow model (Météo-France)

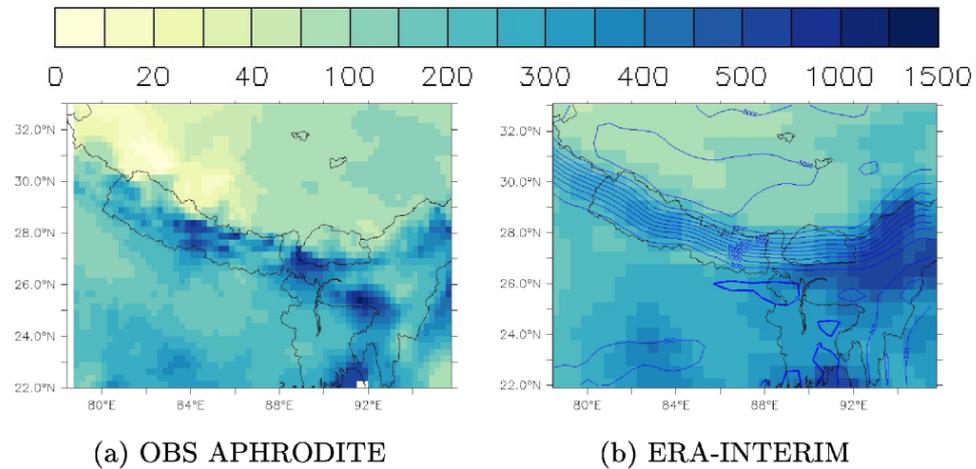
Resolutions :



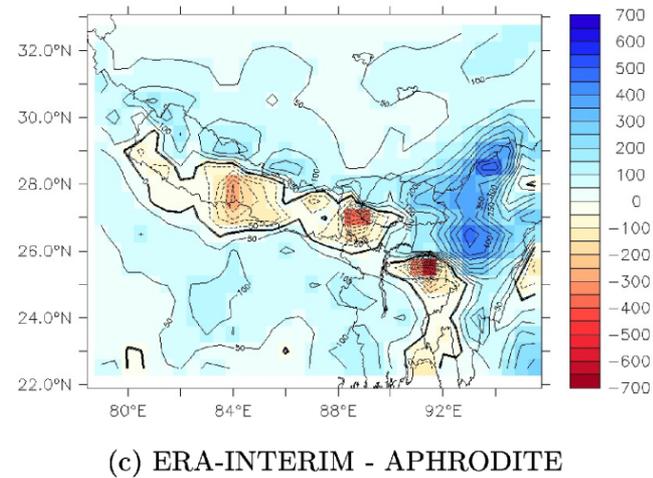
ERA-INTERIM ~ 80 km

MAR 20 km

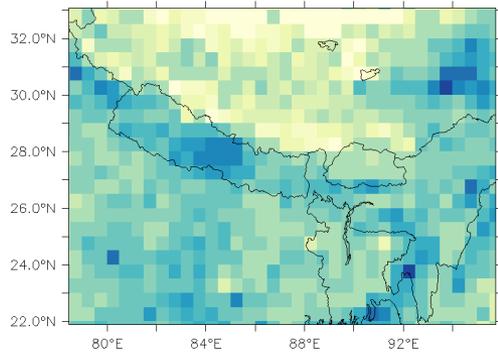
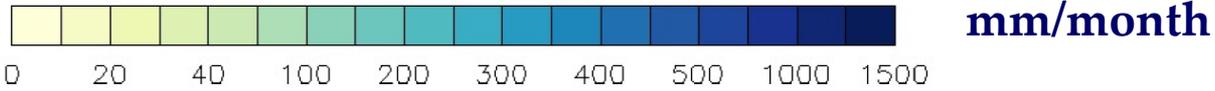
Monsoon 2001 - Reanalysis



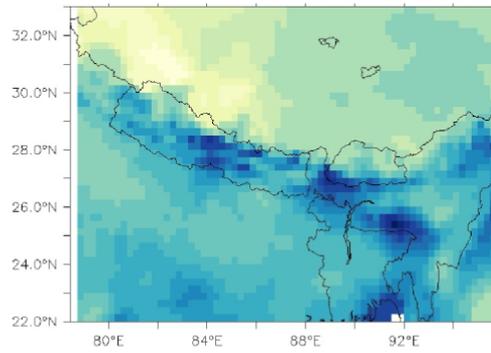
mm/month



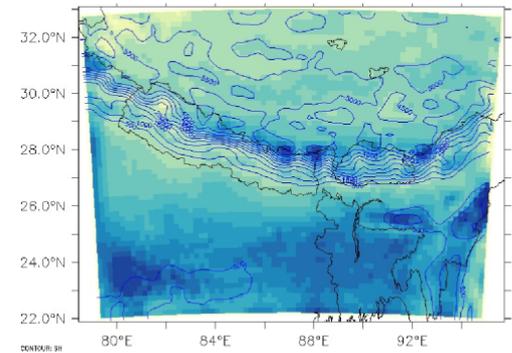
Monsoon 2001 - MAR



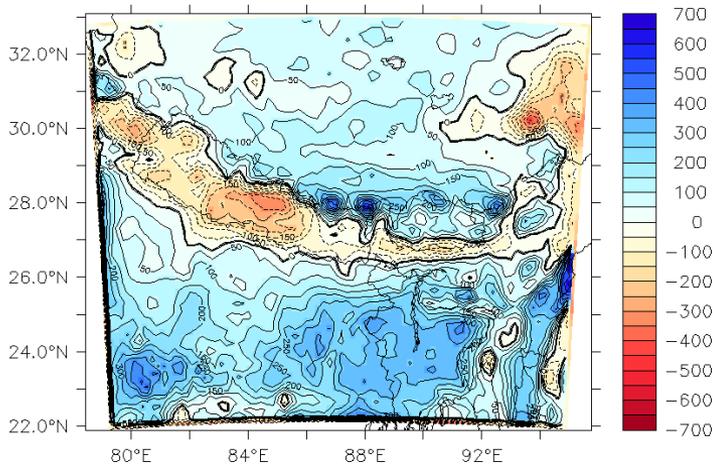
TRMM



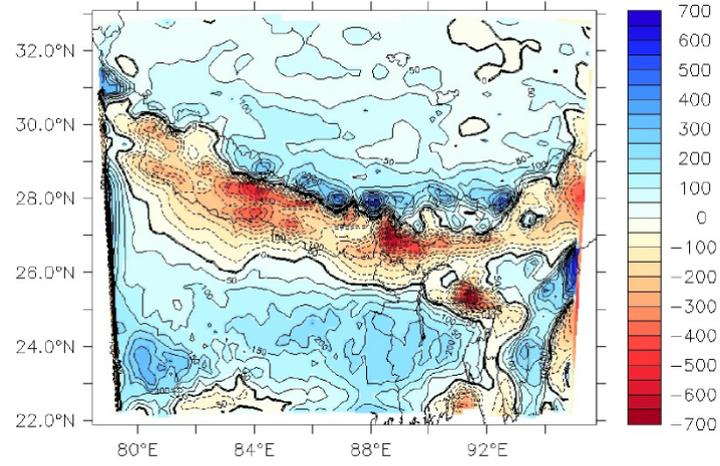
(a) **OBSERVATION APHRODITE**



(b) **MAR**

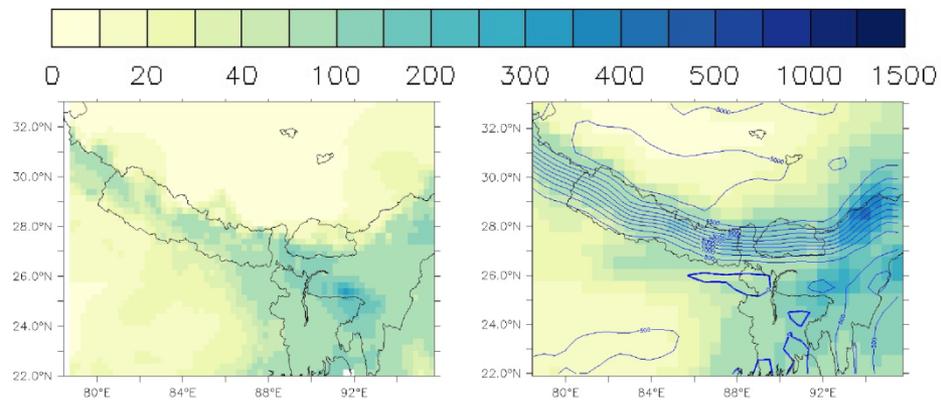


MAR-TRMM



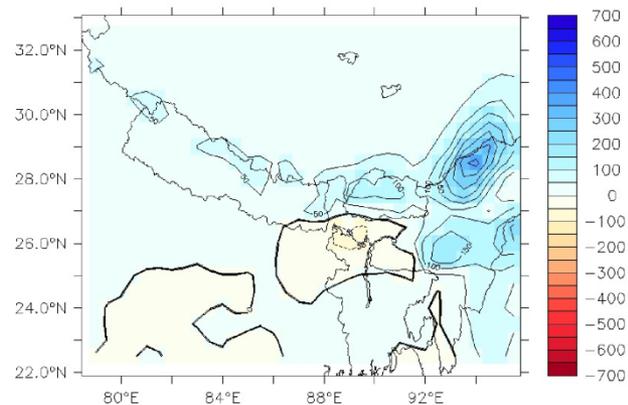
(c) **MAR - APHRODITE**

Extra-monsoon period (2001-2002) - Reanalysis



(a) OBS APHRODITE

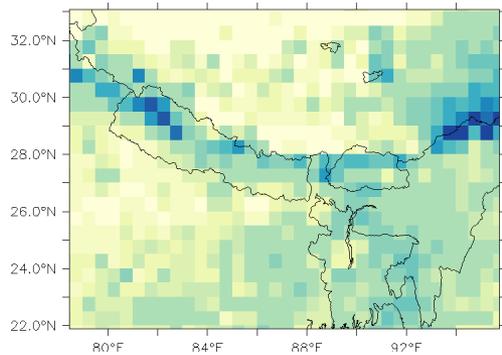
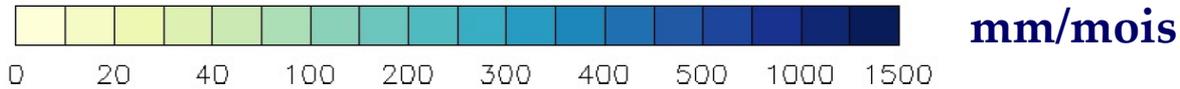
(b) ERA-INTERIM



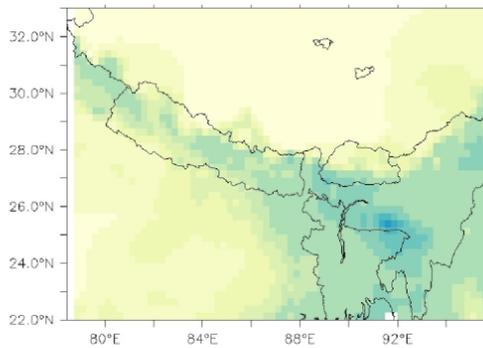
(c) ERA-INTERIM - APHRODITE

mm/month

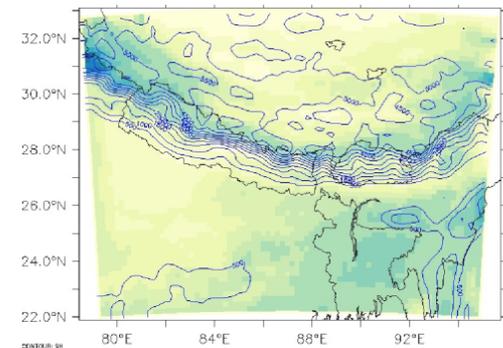
Extra-monsoon period (2001-2002) - MAR



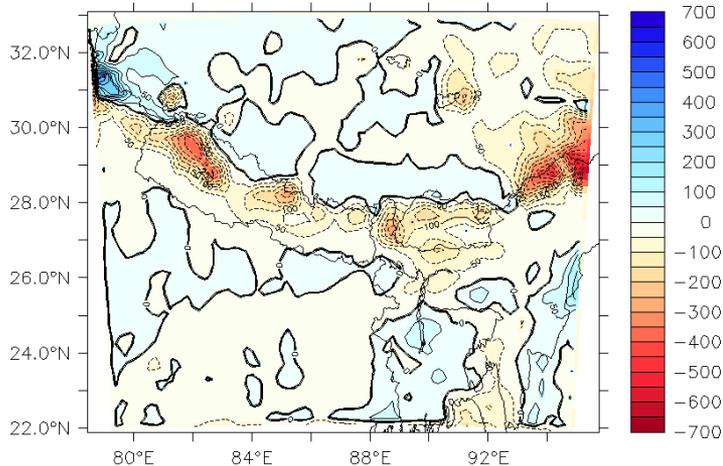
TRMM



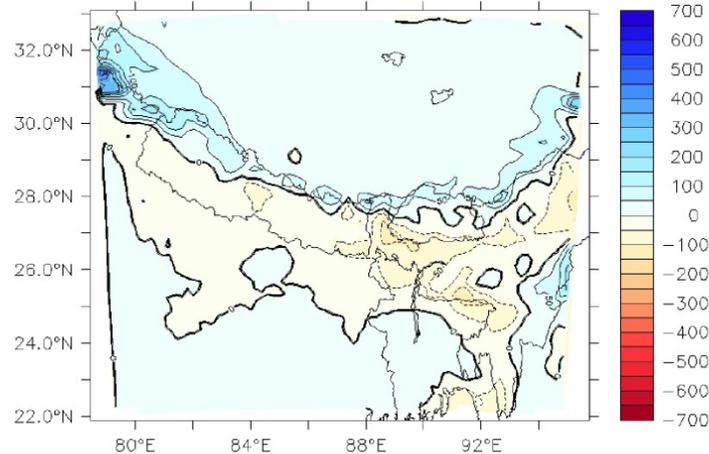
(a) OBSERVATION APHRODITE



(b) MAR

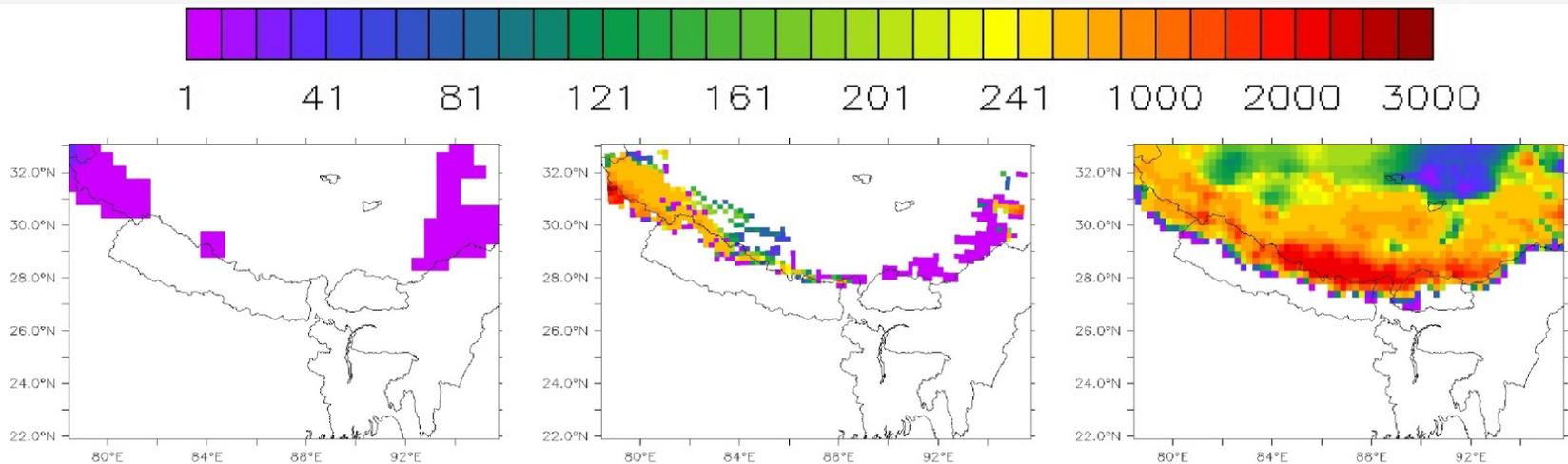


MAR-TRMM

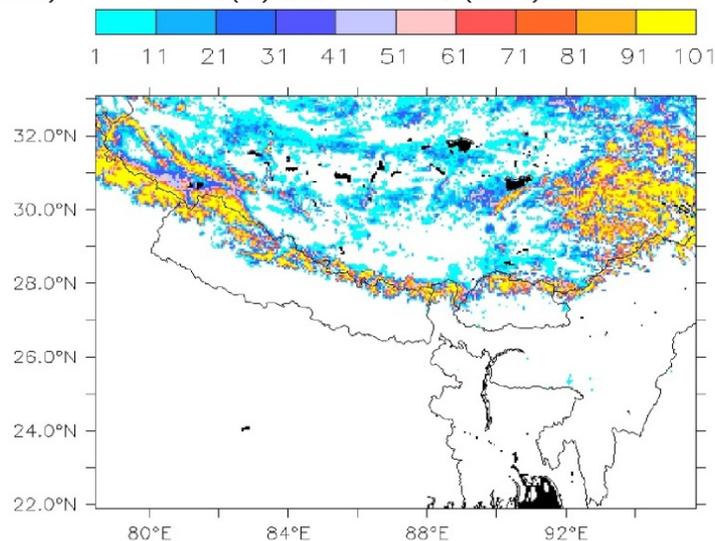


(c) MAR - APHRODITE

Reanalysis – MAR – Reconstruction CMC

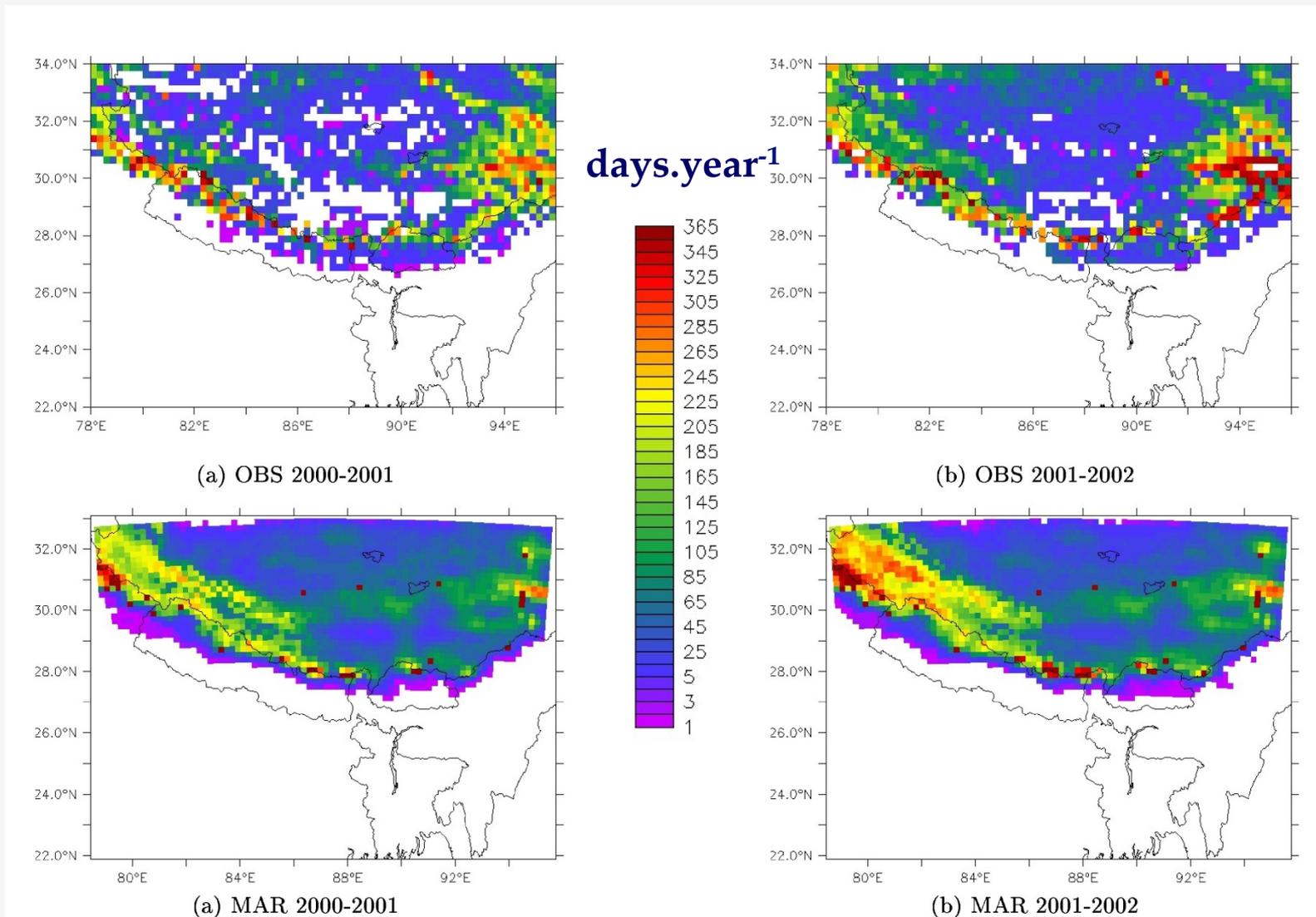


April 2001



(d) MODIS fractional snow cover extent (%)

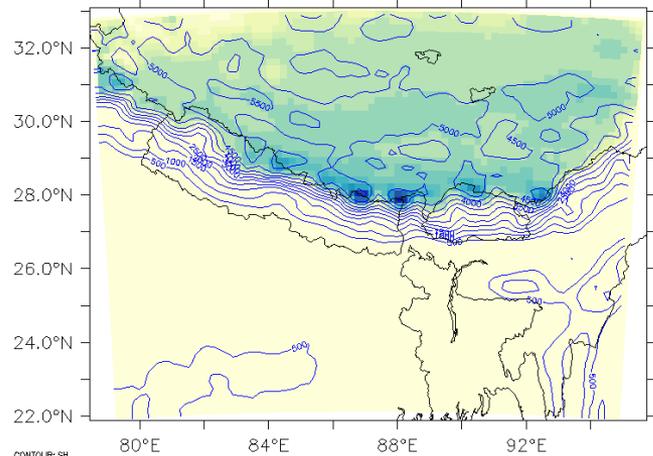
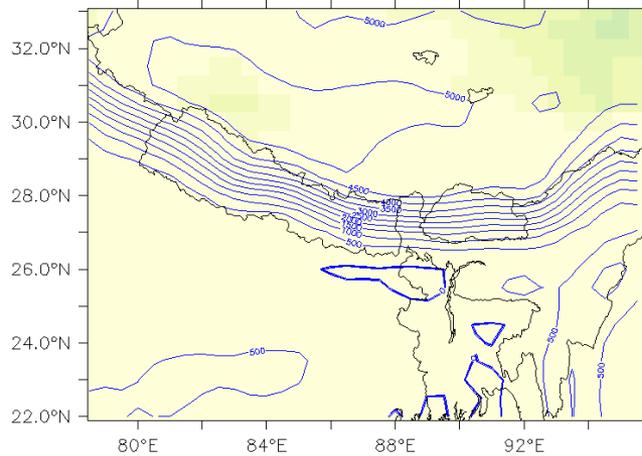
Snow cover duration : Mar simulation versus IMS satellite observation



Snowfall: Reanalysis versus MAR



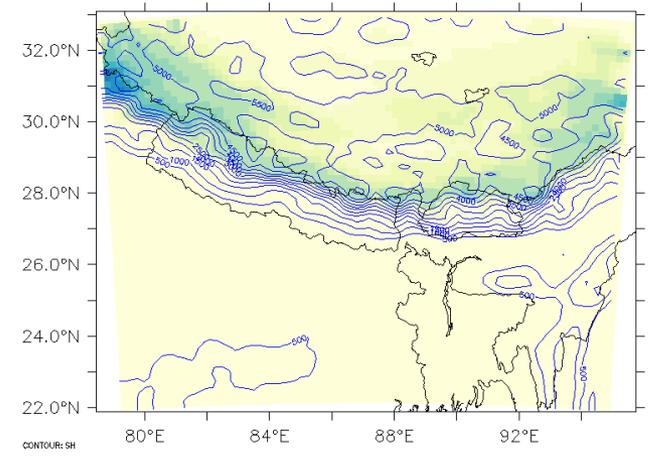
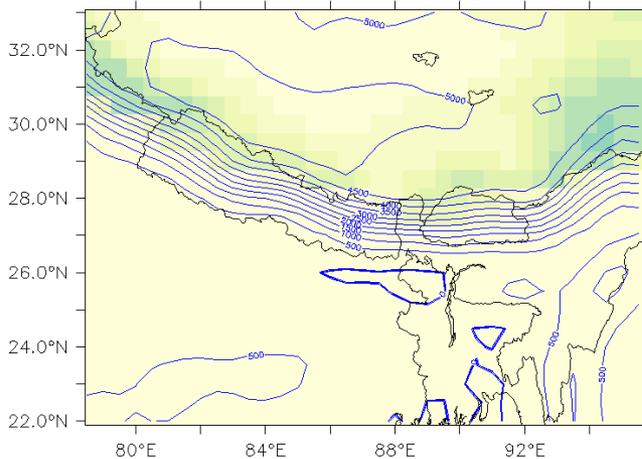
JJAS 2001



ERA

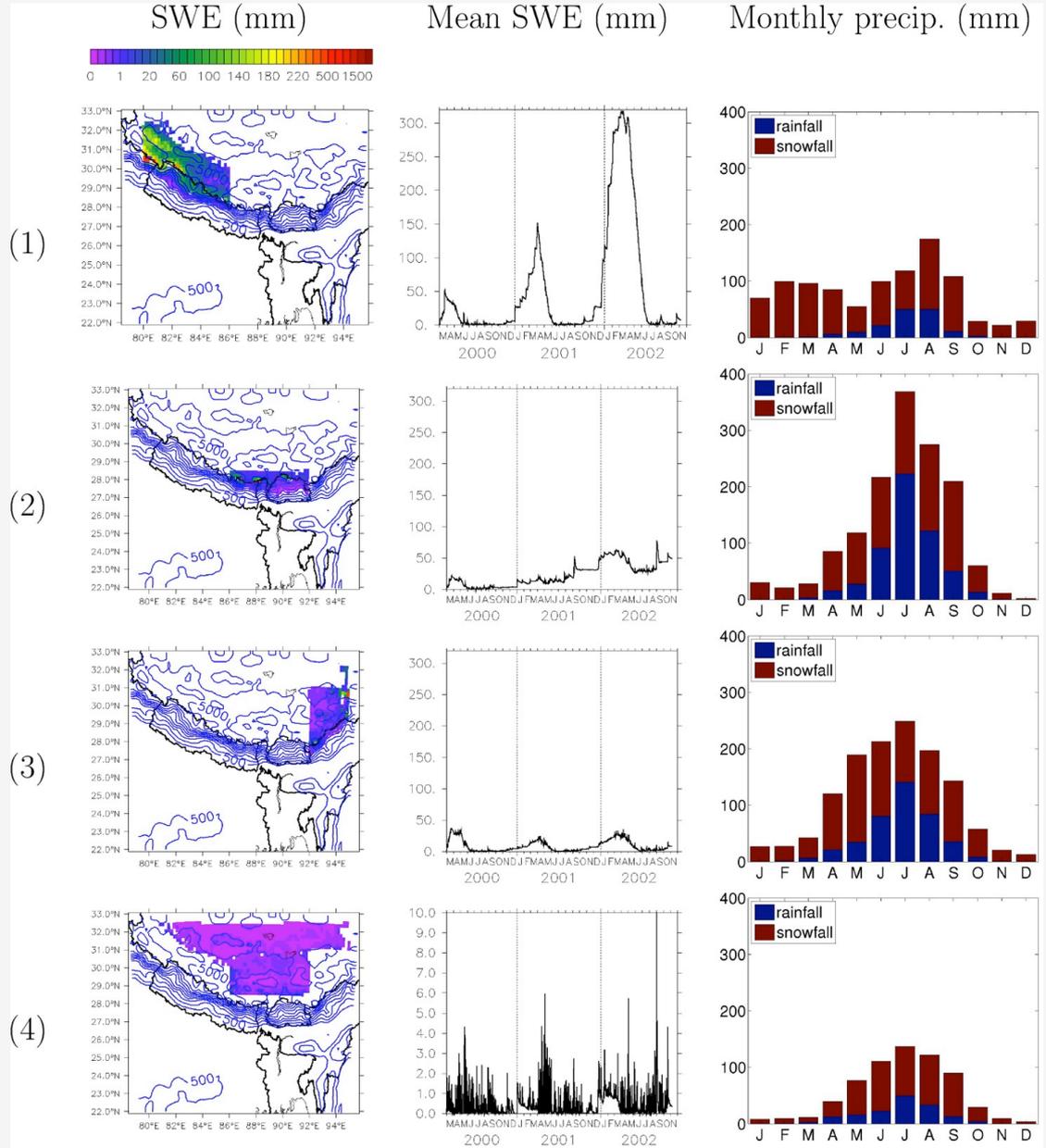
MAR

ONDJFMAM
2001-2002



4 domains with different snow cover dynamics

MAR simulation,
2000-2002



Conclusion

- Large differences between precipitation estimations
- Validation of MAR simulations:
 - Strong dependence on boundary conditions
 - Lack of simulated precipitation in the Southern and Eastern part of the Himalayan region
 - Relevance of using RCM to estimate spatial variability of precipitation and snow accumulation
- Snow cover evolves quite differently in Western Himalaya, in Central Himalaya, in Eastern Himalaya and over the Tibetan Plateau.

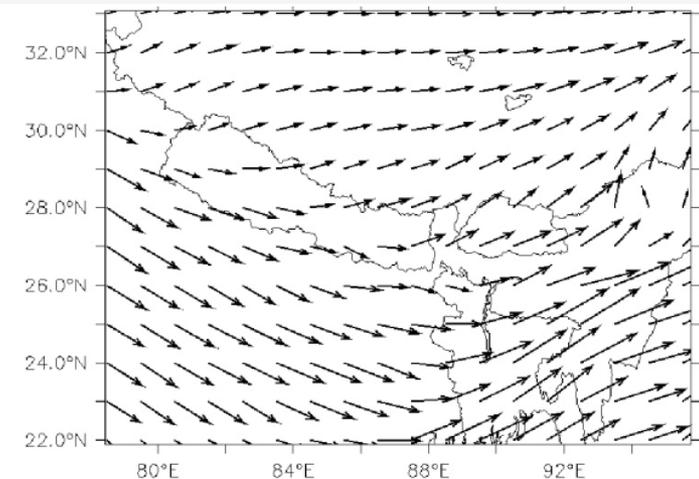
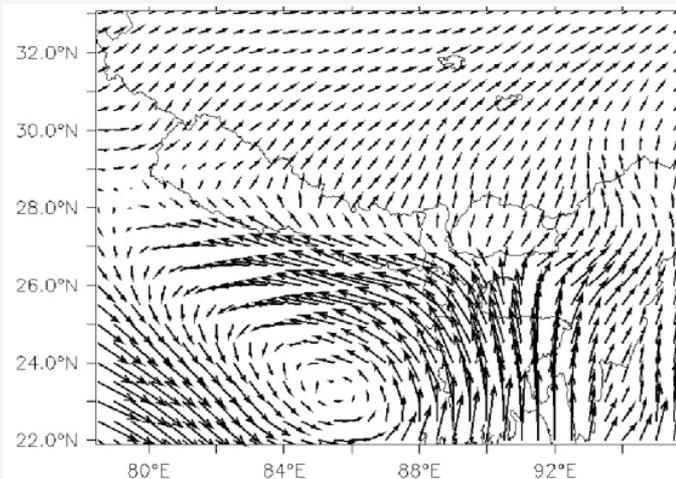
Outlook

- Performing longer simulations with larger domains
- Snow cover variations induced by aerosol deposition (posters R379 and R386)

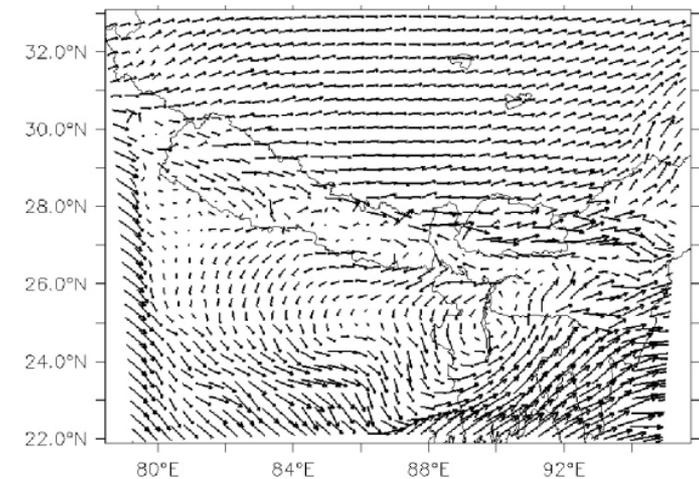
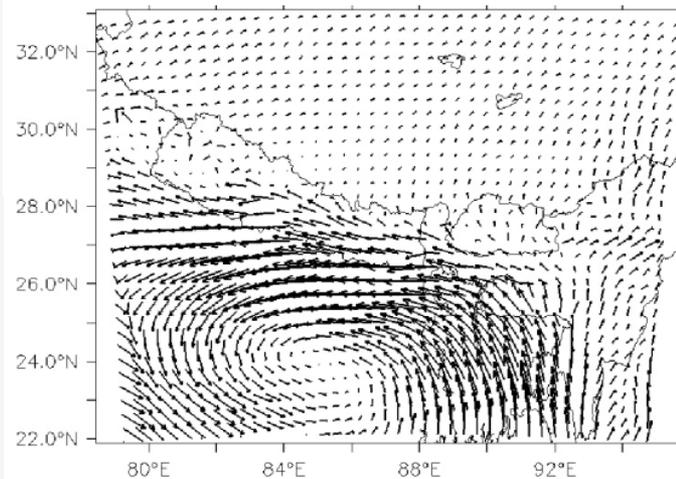
Moisture flow: MAR versus ERA-INTERIM

Wind * Specific humidity (m s⁻¹ kg kg⁻¹)

ERA-INTERIM



MAR



→ 1.00

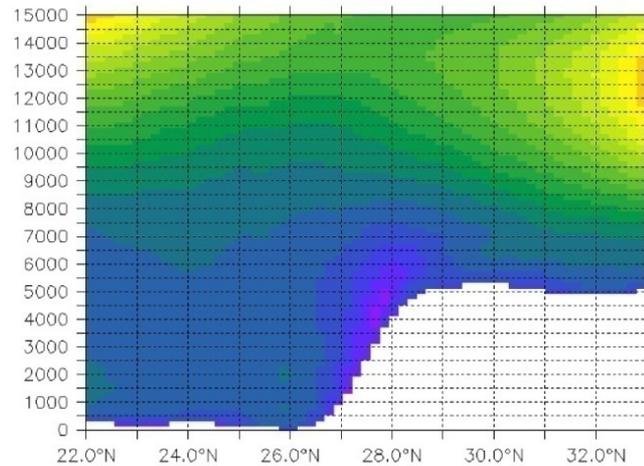
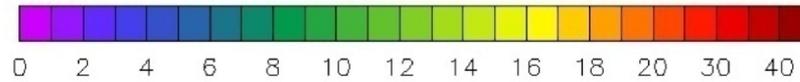
→ 0.250

(a) Monsoon 2001 (JJAS)

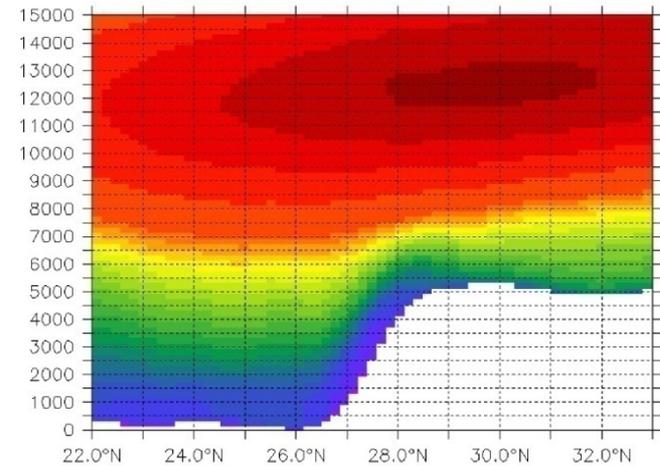
(b) Winter 2001-2002 (ONDJFMAM)

Wind: MAR versus ERA-INTERIM

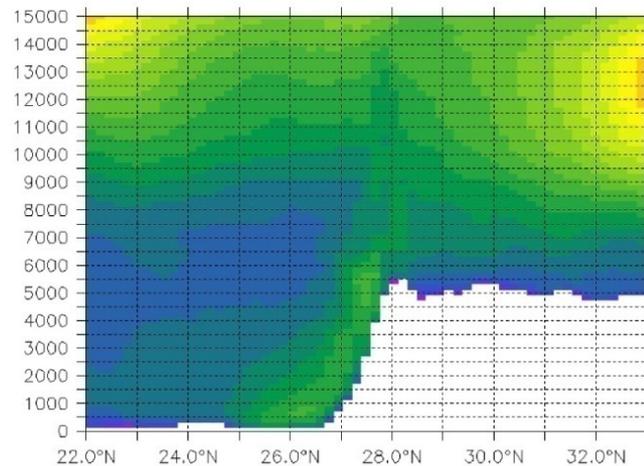
Wind (m/s)
at 86°E



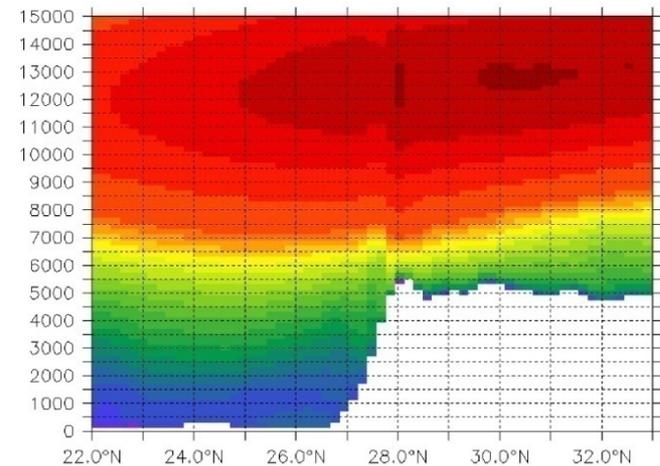
(a) JJAS 2001 Era-interim



(b) ONDJFMAM 2001-2002 Era-interim



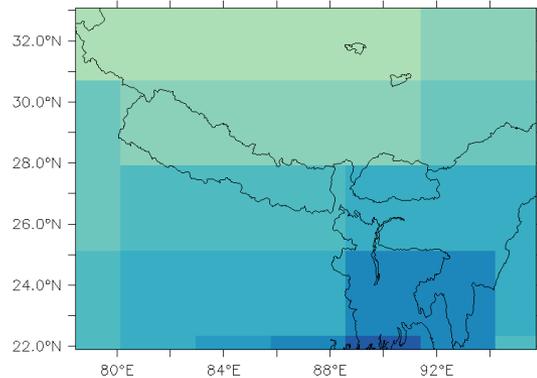
(c) JJAS 2001 MAR



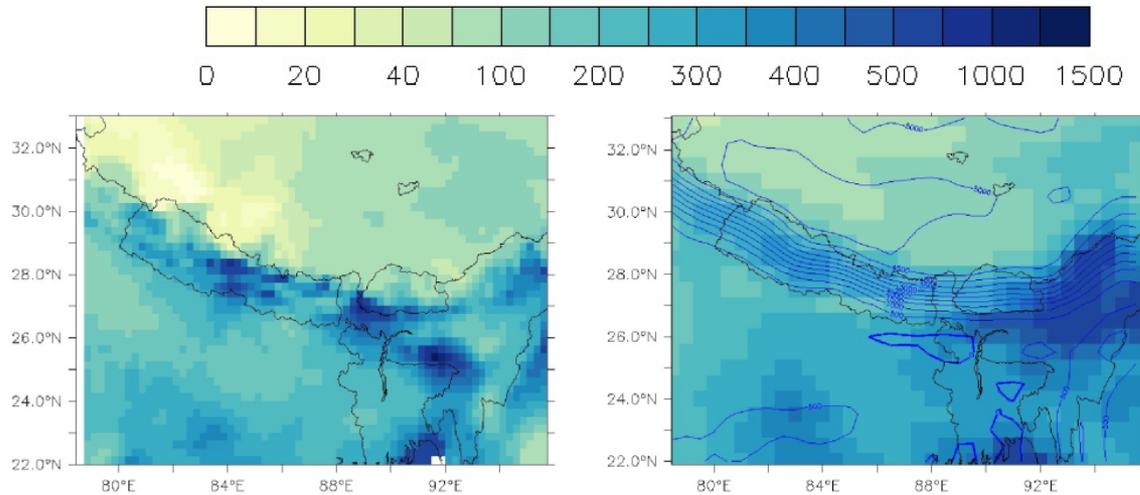
(d) ONDJFMAM 2001-2002 MAR

Différents jeux de données d'observations

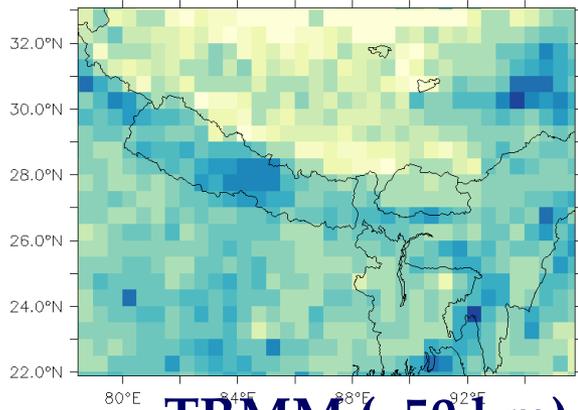
Précipitations (JJAS 2001, mm/mois)



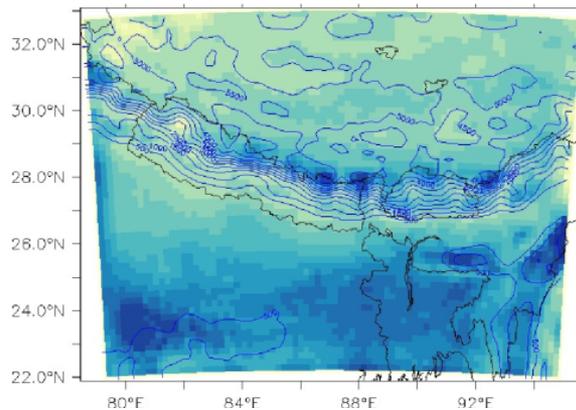
GPCP (~280 km)



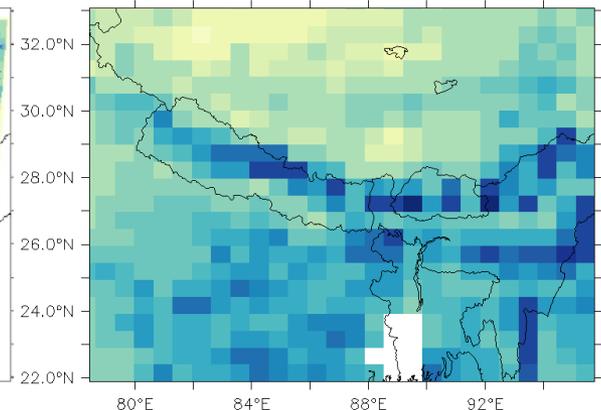
APHRODITE (~25 km) ERA-INTERIM (80 km)



TRMM (~50 km)

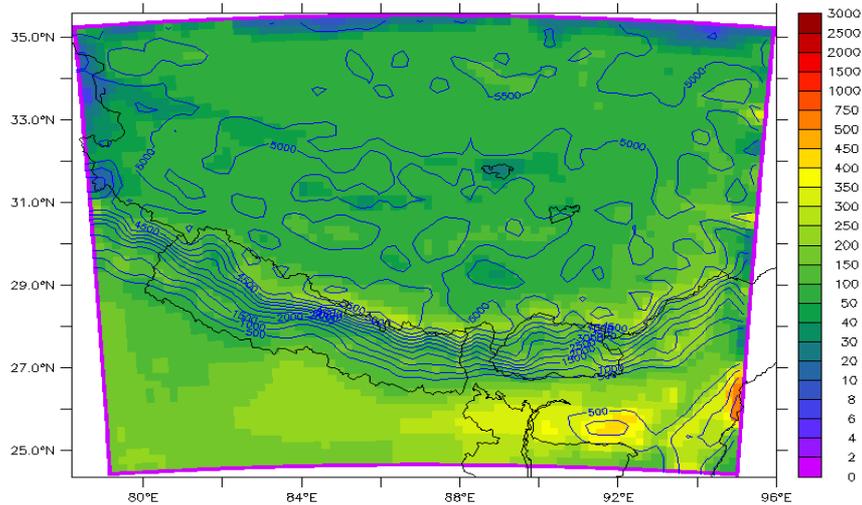


MAR (20 km)

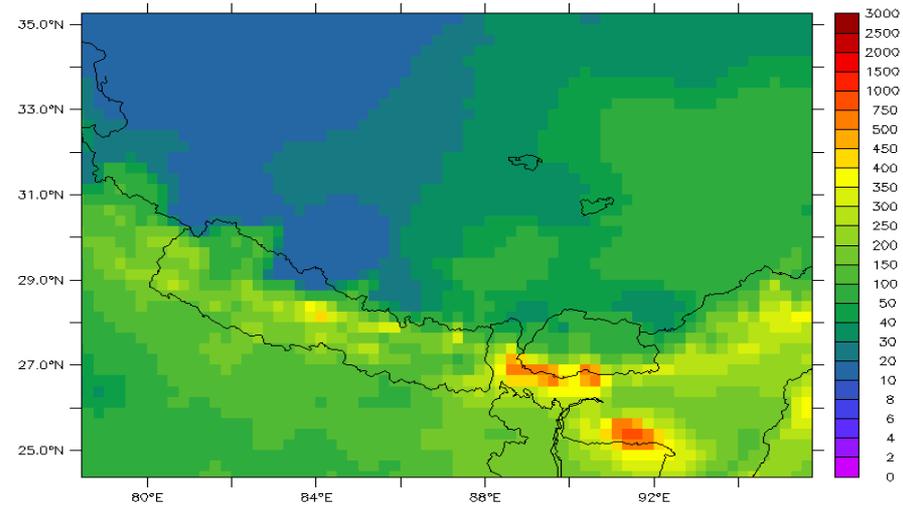


LMDZ - nudgé (50 km)

Precipitation: model versus APHRODITE observations

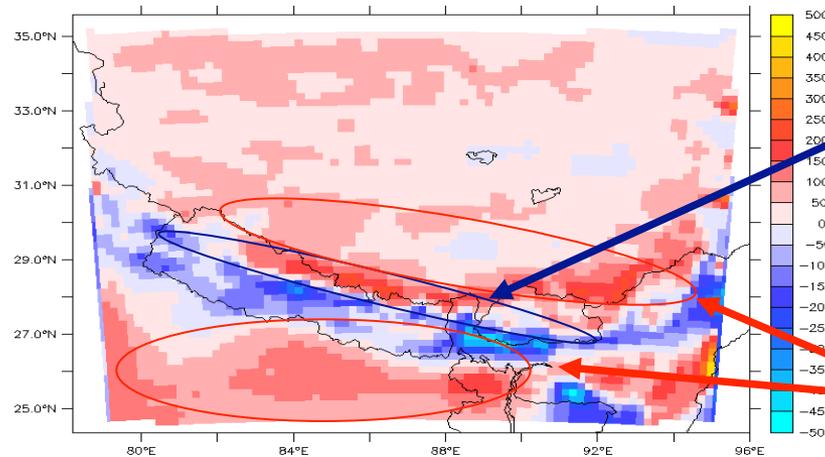


MAR (resol: 20 km)



APHRODITE (resol: 0.25°)

Precipitation
(mm.month⁻¹) April-
December 2000)



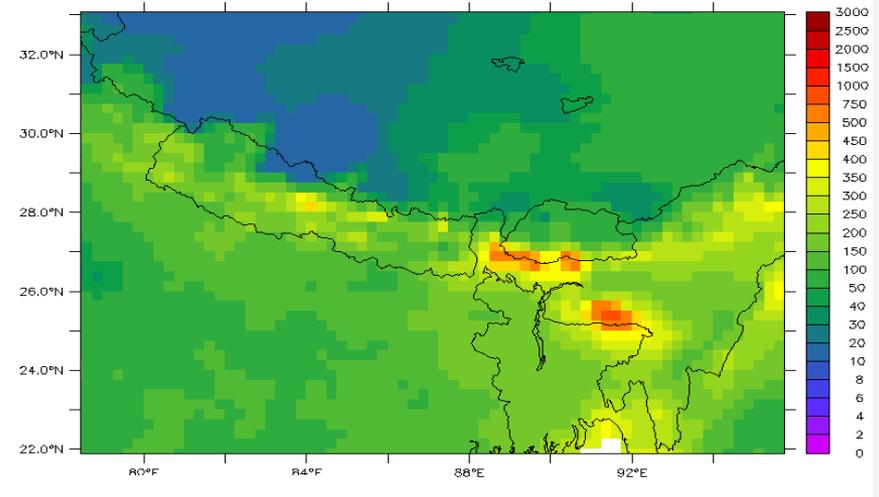
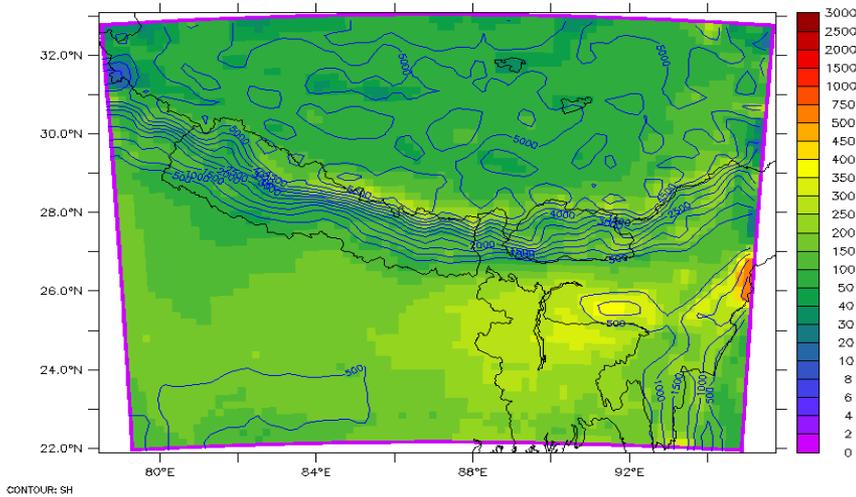
**Negative
bias**

**Positive
bias**

MAR - APHRODITE

Precipitation sensitivity to the domain location

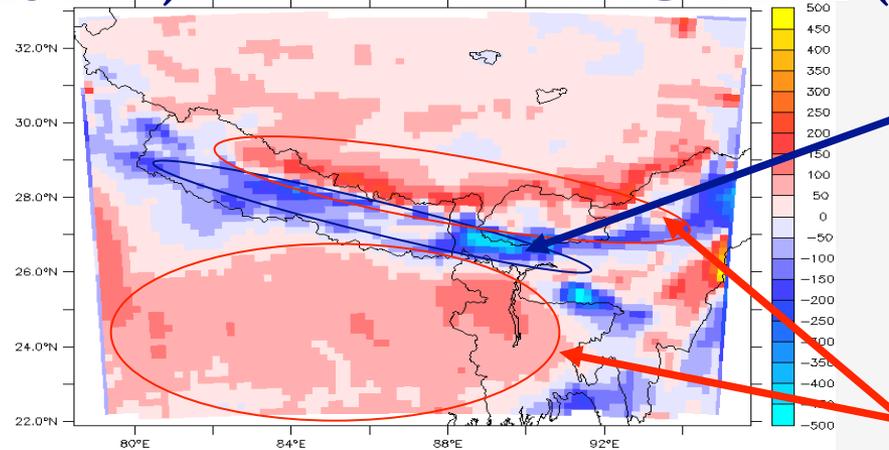
=> Shift of the MAR domain 200 km toward the indian plain



MAR (resol: 20 km)

APHRODITE (resol: 0.25°)

Precipitation
(mm.month⁻¹, April-
December 2000)



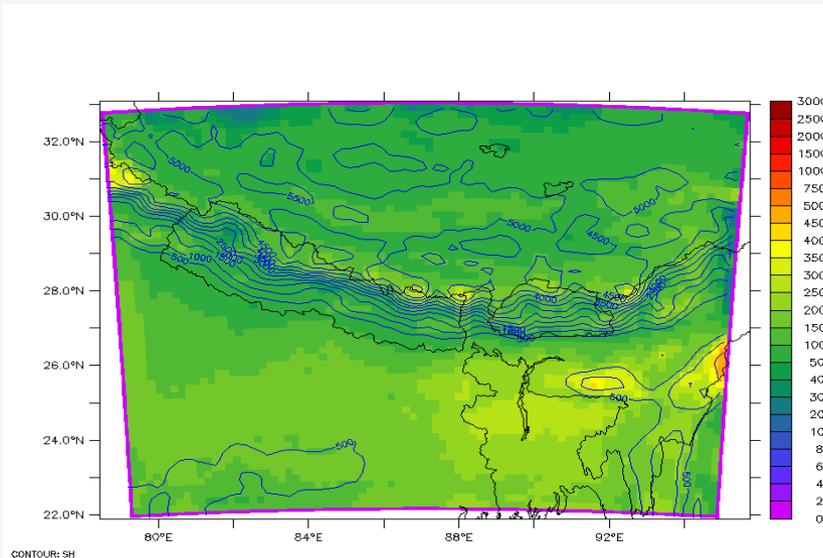
Negative
bias

Positive
bias

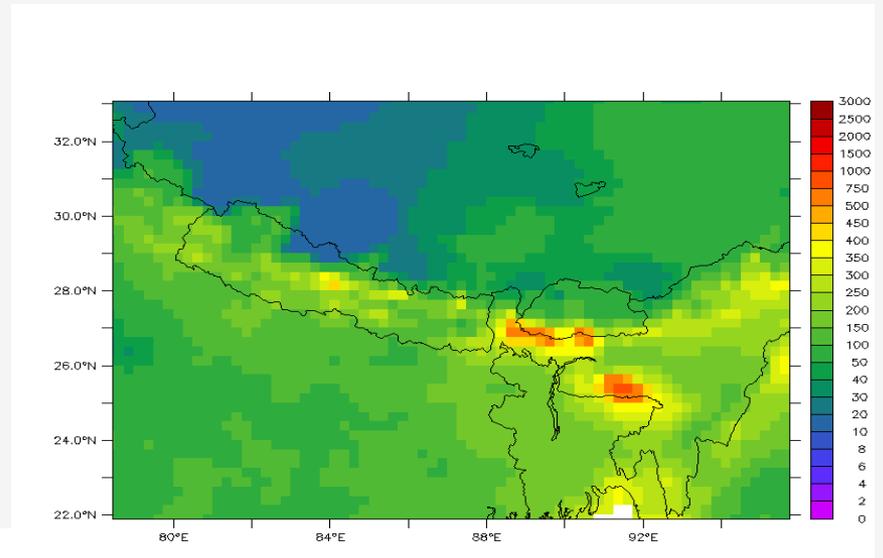
MAR - APHRODITE

Precipitation sensitivity to roughness

=> Increasing the roughness orography

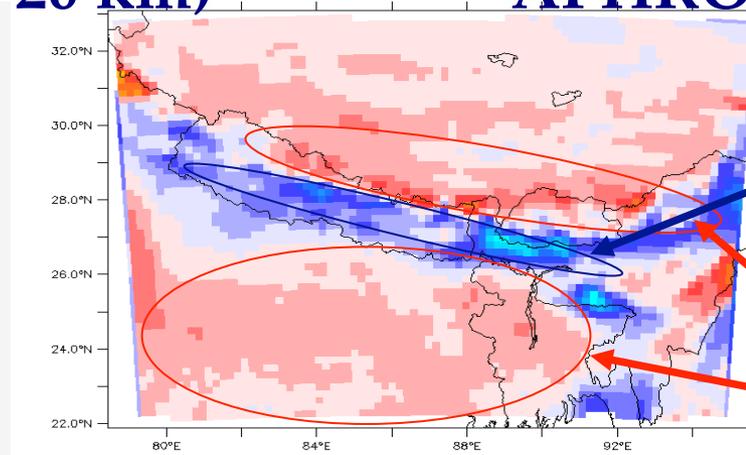


MAR (resol: 20 km)



APHRODITE (resol: 0.25°)

Precipitation
(mm.month⁻¹, April-
December 2000)



Negative
bias

Positive
bias

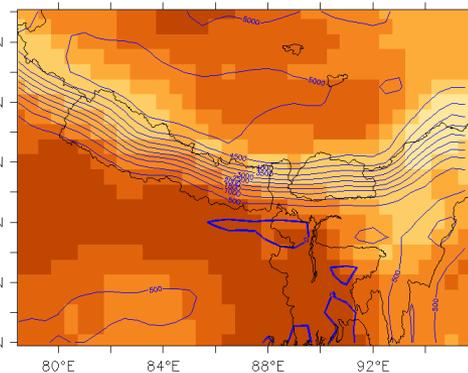
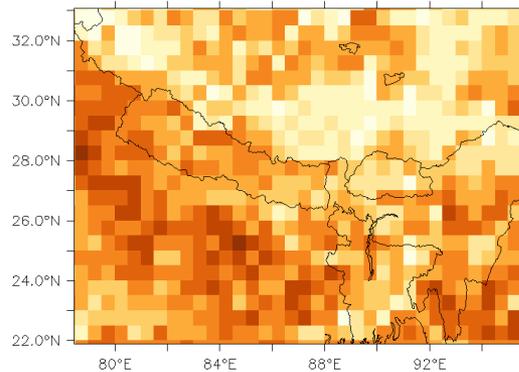
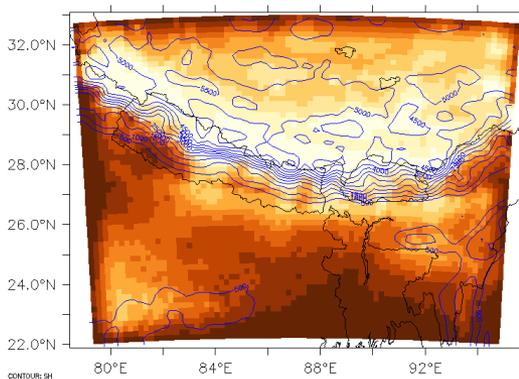
MAR - APHRODITE

Convection

Proportion de précipitations convectives (%)



JJAS

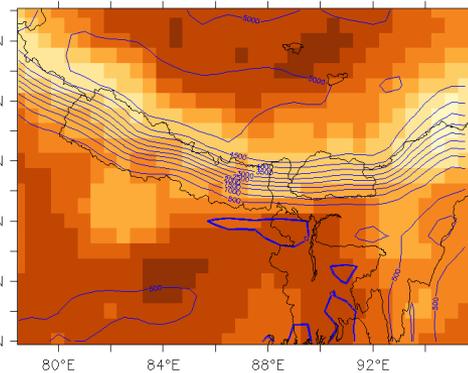
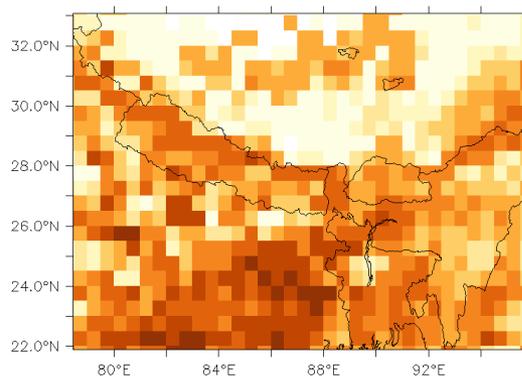
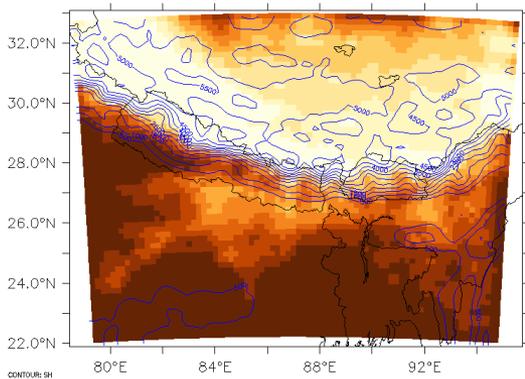


MAR

TRMM

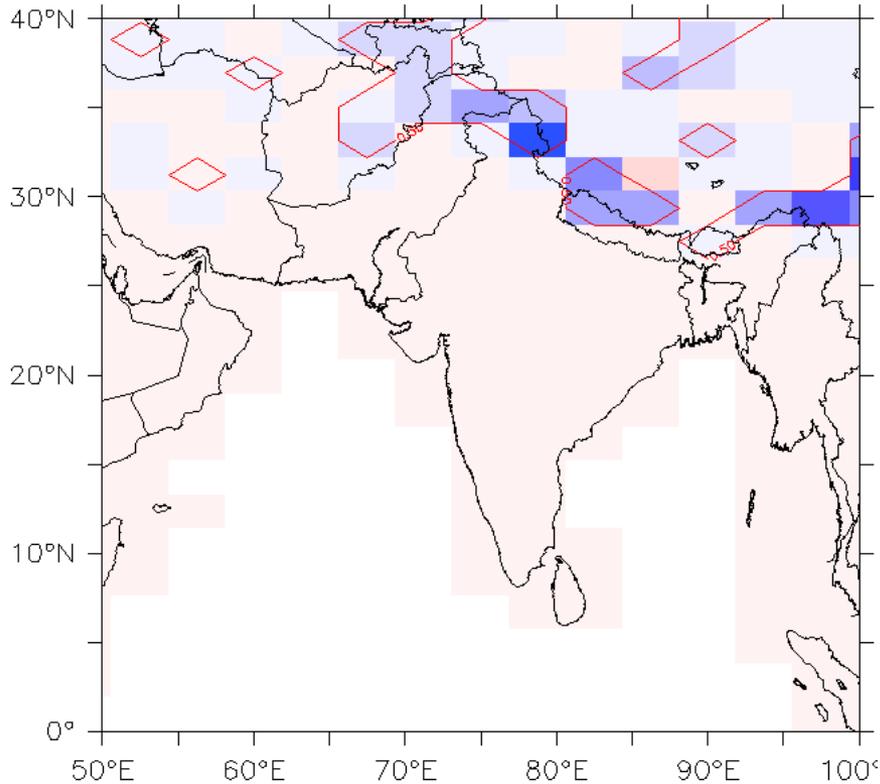
ERA

ONDJF
-MAM

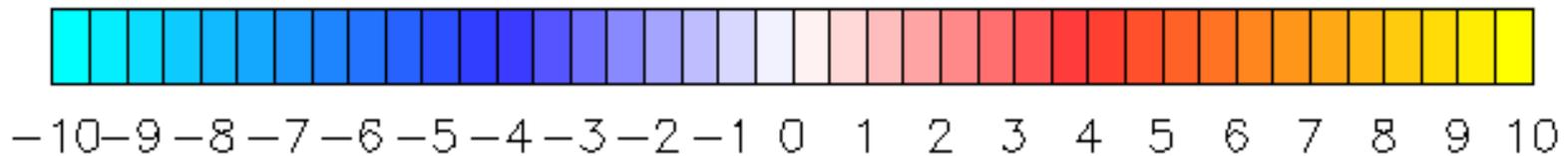
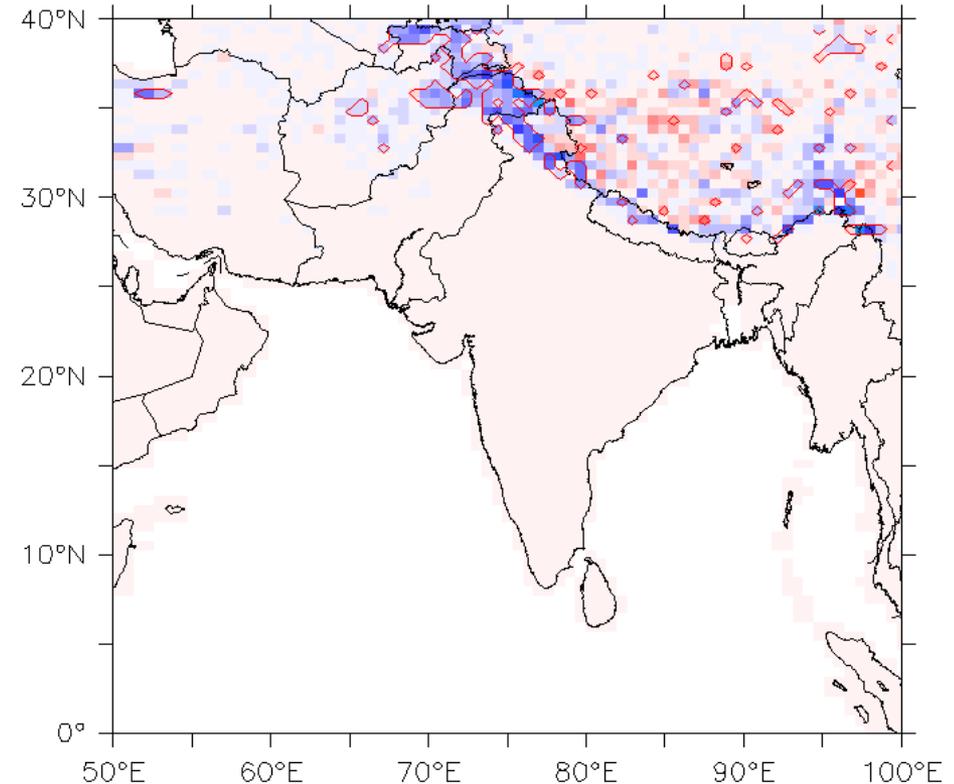


Comparison between simulations performed with and without BC in snow

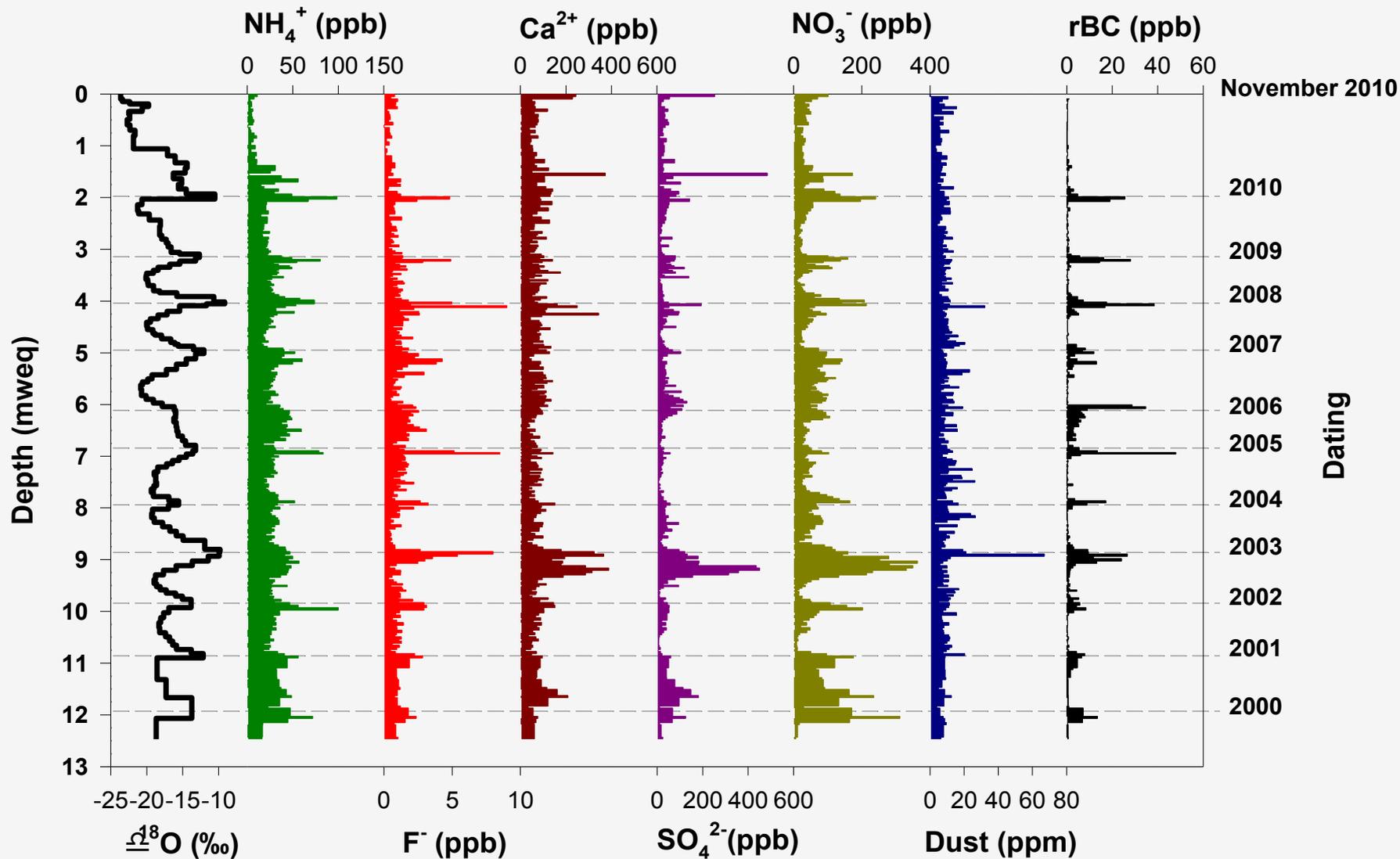
LMD 96x95



LMDZ 144x142



Variation of the Number of Day per Year with Snow at the Surface induced by "Snow darkening effect"



Ice core record – Mera Peak (86.52°E, 27.43°N) –Ginot et al., personal communication