

Variations du couvert neigeux dans l'Hémisphère Nord: Impact des émissions de carbone-suie en régions boréales et tempérées au 21^{ème} siècle

Martin Ménégos, Gerhard Krinner, Yves Balkanski,
Anne Cozic, Olivier Boucher, Philippe Ciais



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

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

→ Le forçage radiatif généré par le Carbone-Suie (BC) dans la neige est estimé à $+0.1 \text{ W.m}^{-2} \pm 0.1 \text{ W.m}^{-2}$ en moyenne global (IPCC, 2007).

→ Dans une large partie de l'hémisphère Nord, la couverture neigeuse est autant affectée par le dépôt de BC que par le réchauffement lié aux émissions anthropiques de CO₂ (e.g. Jacobson et al., 2004, Flanner et al, 2009, Koch et al., 2009, etc.).

Problématique

→ Le forçage radiatif généré par le Carbone-Suie (BC) dans la neige est estimé à $+0.1 \text{ W.m}^{-2} \pm 0.1 \text{ W.m}^{-2}$ en moyenne global (IPCC, 2007).

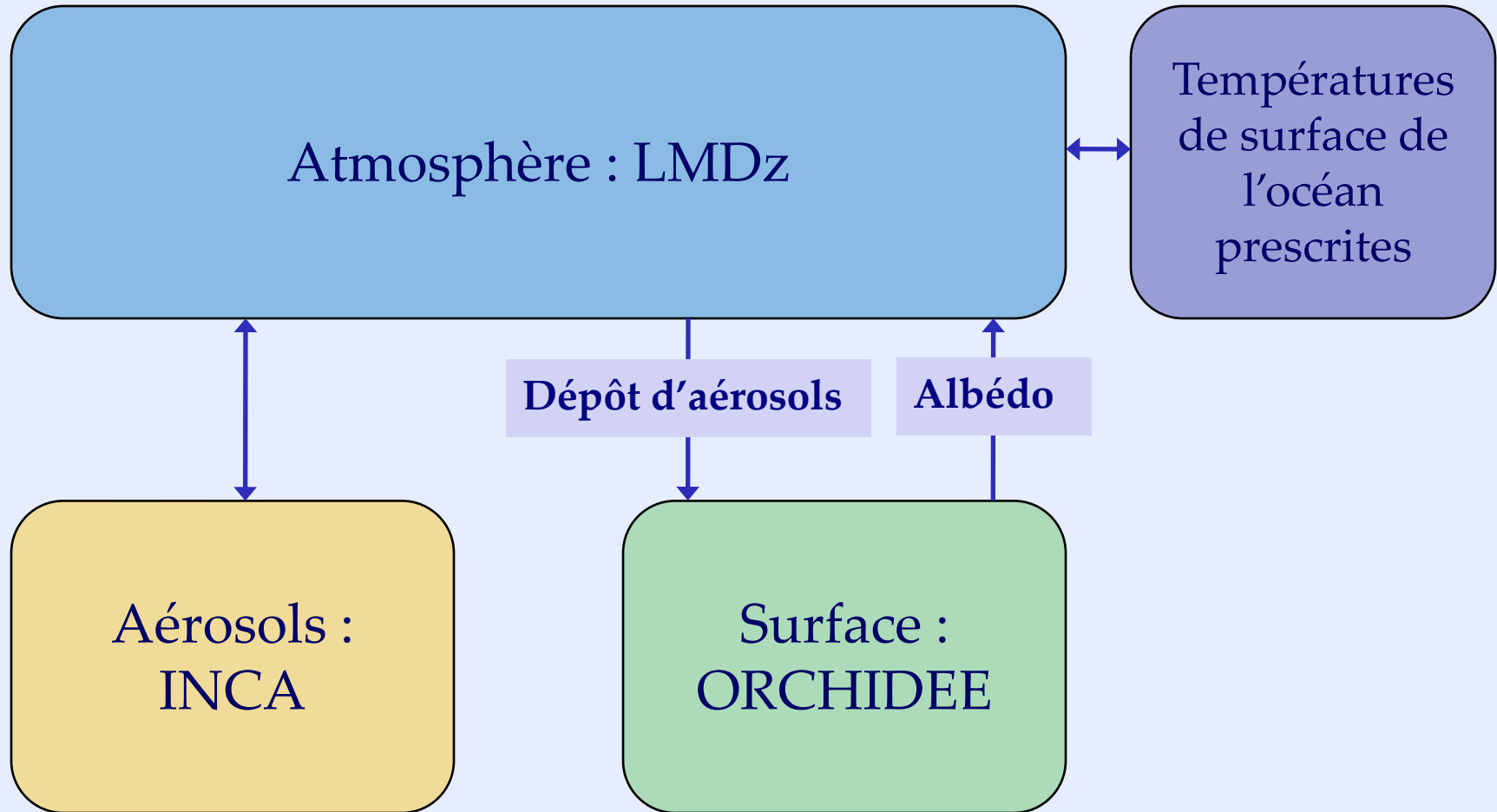
→ Dans une large partie de l'hémisphère Nord, la couverture neigeuse est autant affectée par le dépôt de BC que par le réchauffement lié aux émissions anthropiques de CO₂ (e.g. Jacobson et al., 2004, Flanner et al, 2009, Koch et al., 2009, etc.).

Questions :

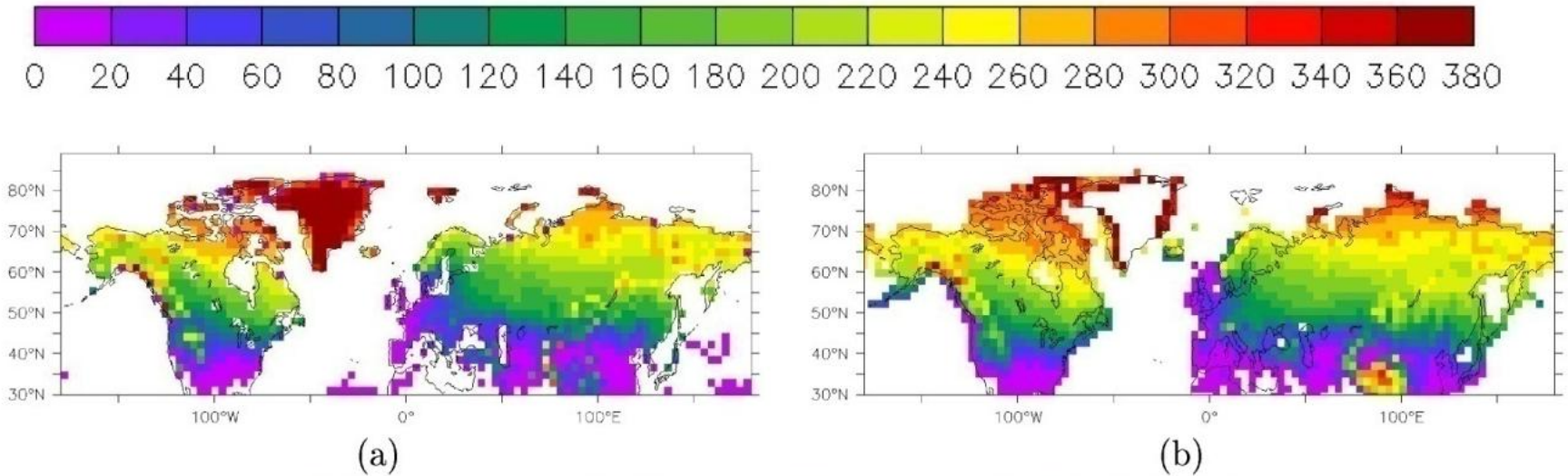
→ Quel est l'impact du dépôt de BC sur la durée annuelle du couvert neigeux ?

→ Comment peut évoluer cet impact dans les prochaines décennies ?

LMDz, ORCHIDEE et INCA

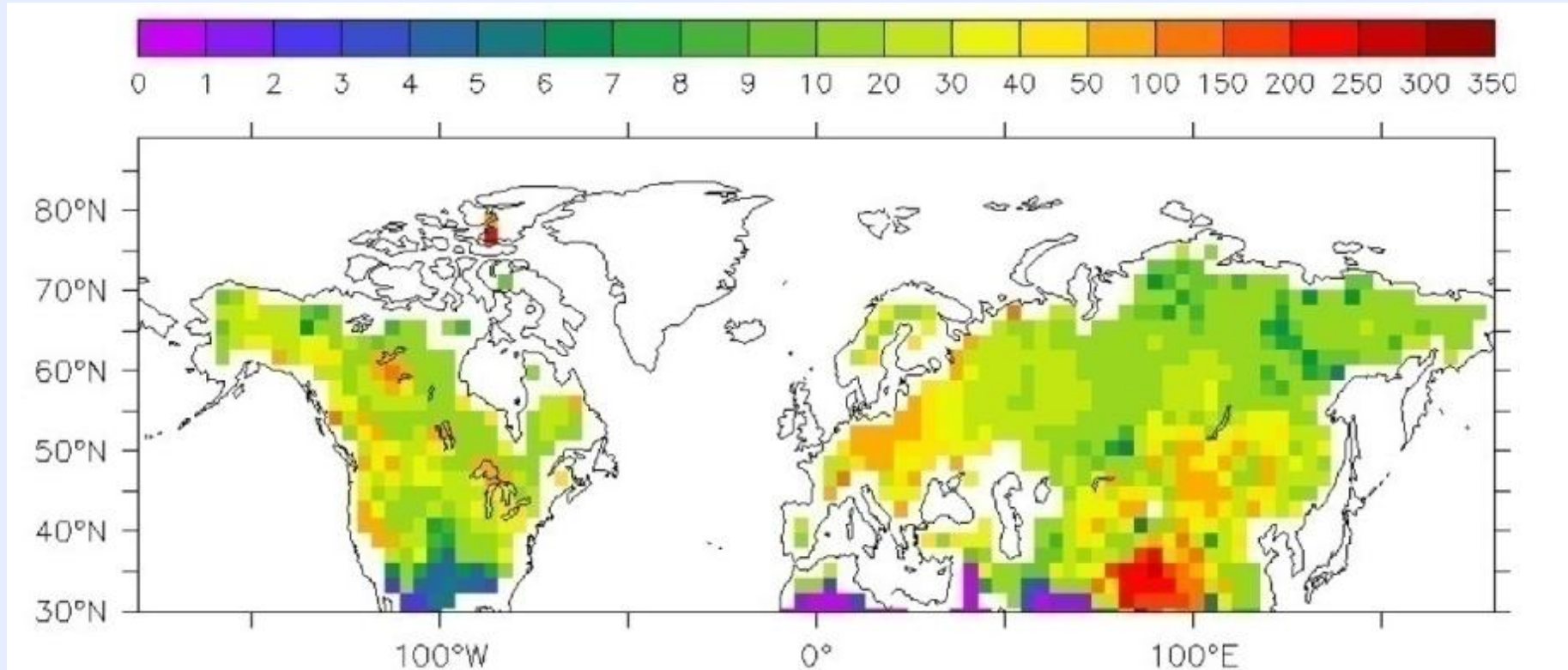


LMDz, ORCHIDEE et INCA



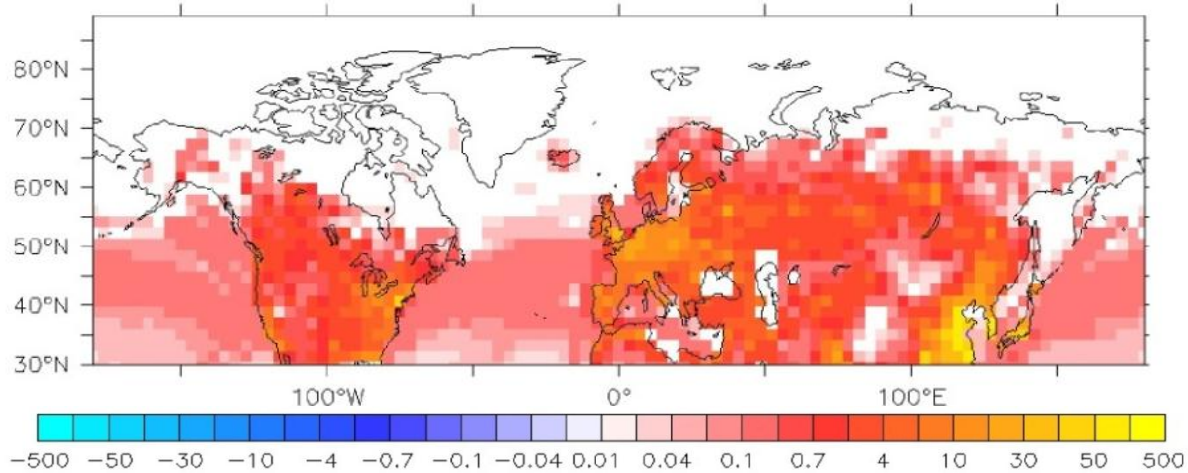
Nombre moyen de jours par an avec de la neige au sol (1997-2008) :
(a) Observation NSIDC; (b) Simulation LMDz

LMDz, ORCHIDEE et INCA



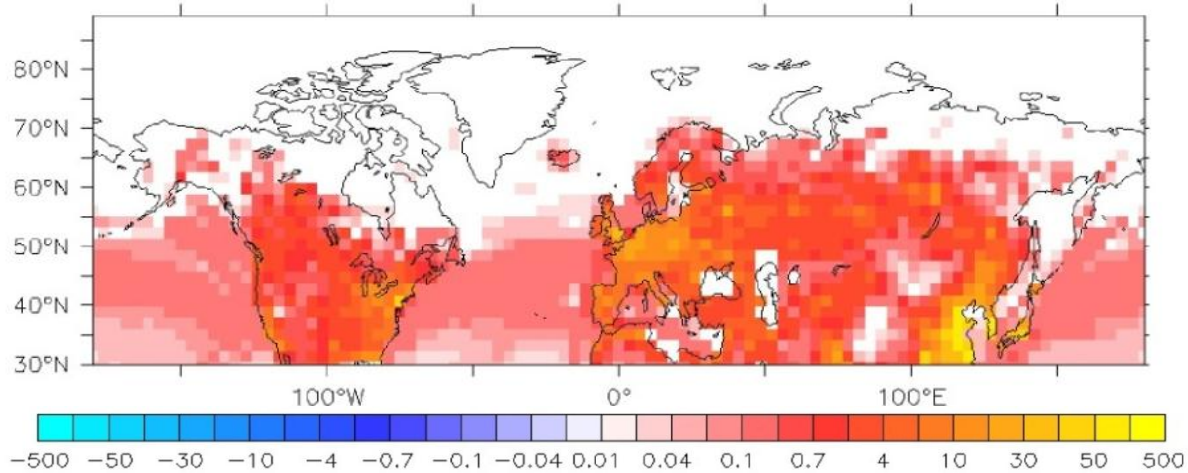
**RMSE du nombre de jour par an avec de la neige au sol
(modèle par rapport aux observations, 1998-2008)**

Variations actuelles du couvert neigeux induites par dépôt d'aérosols

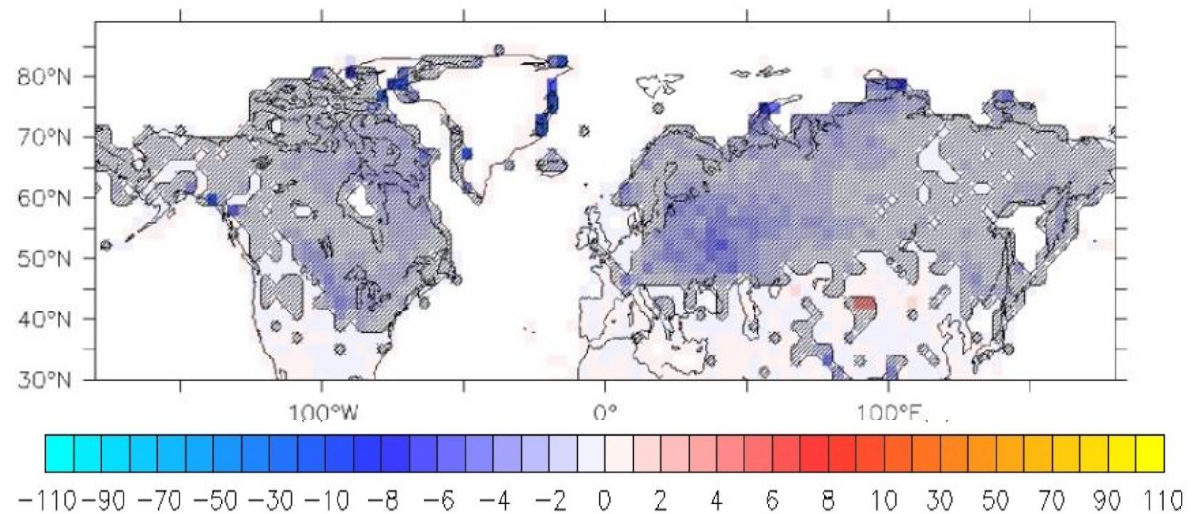


Emissions actuelles de BC (2878 Gg/an sur ce domaine)

Variations actuelles du couvert neigeux induites par dépôt d'aérosols

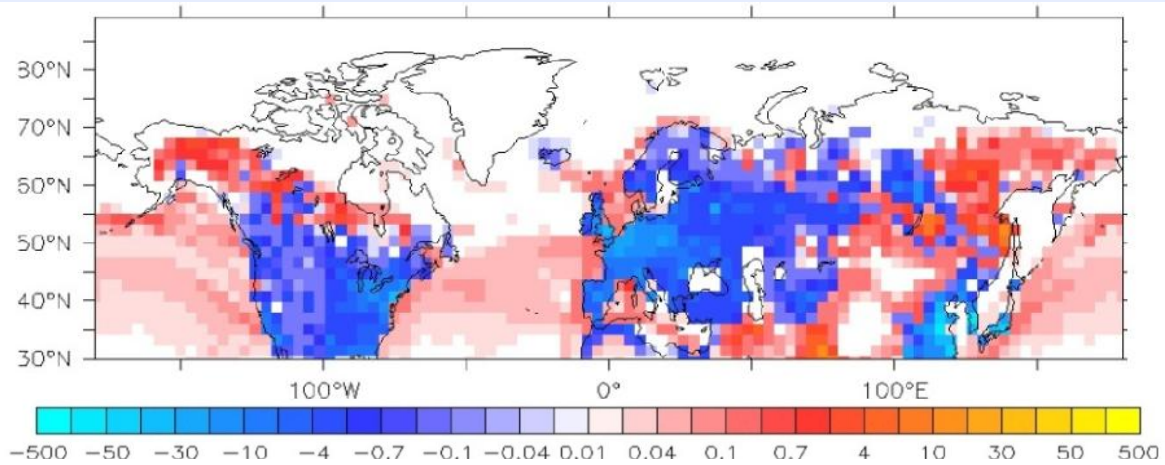


Emissions actuelles de BC (2878 Gg/an sur ce domaine)



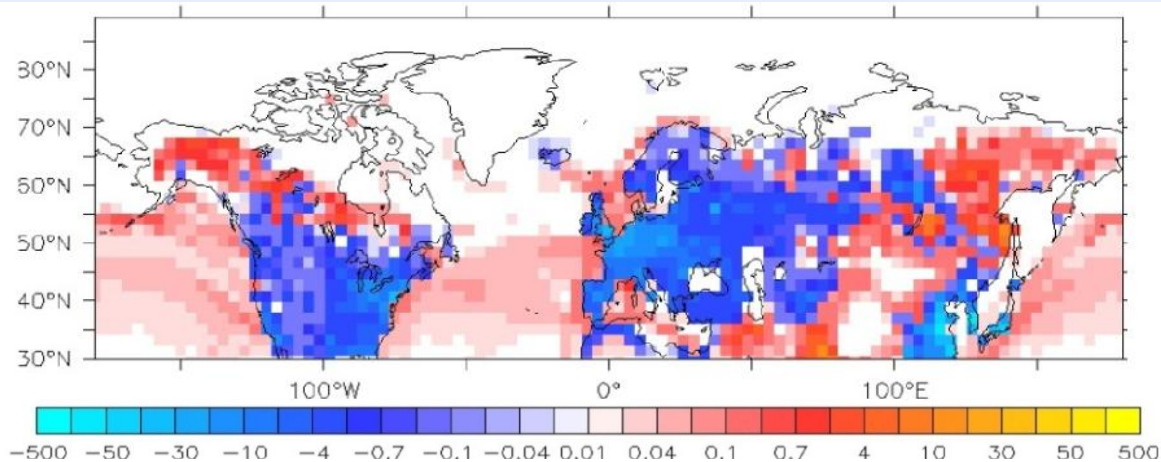
Variation du nombre de jours avec de la neige au sol induite par le dépôt de BC (Zones hachurées: variations significatives selon un t-test)

Scénarios futurs

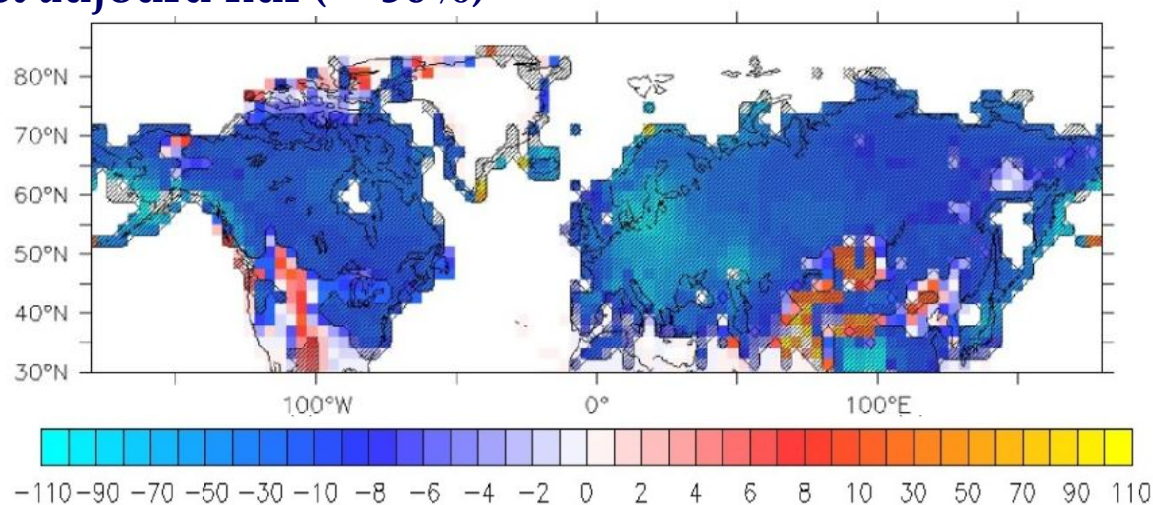


**Changement d'émissions de BC entre 2050
(scénario CMIP5, RCP8.5) et aujourd'hui (~ -50%)**

Scénarios futurs

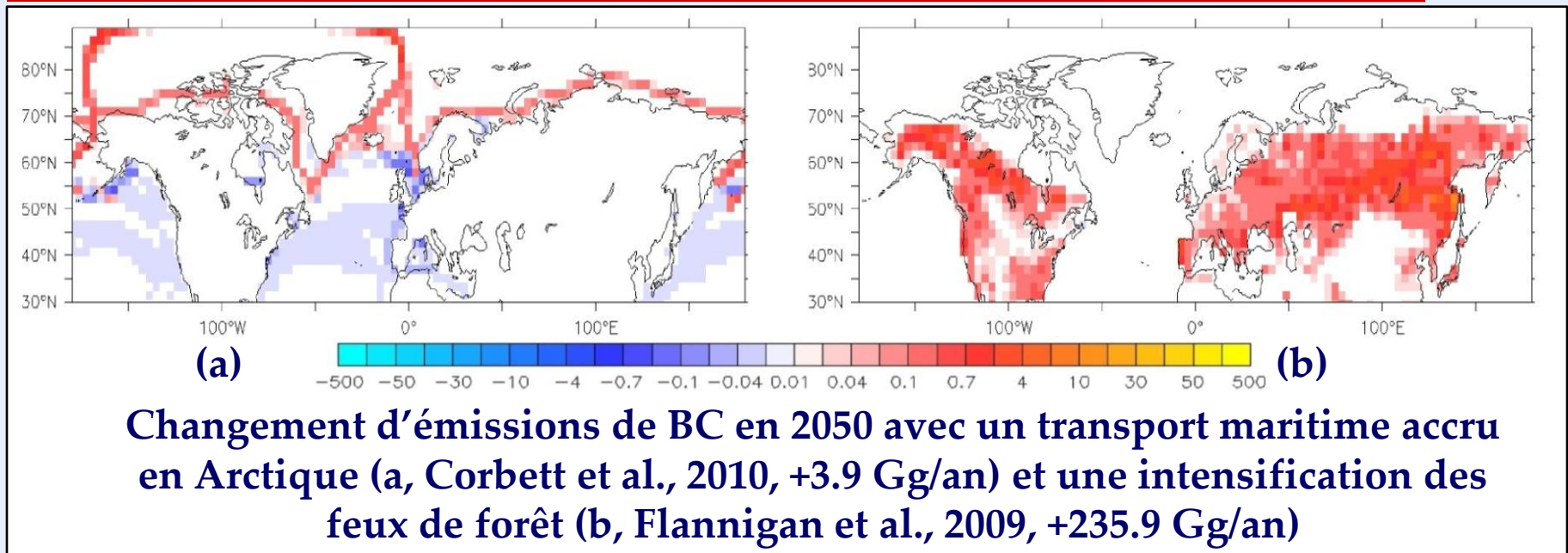


**Changement d'émissions de BC entre 2050
(scénario CMIP5, RCP8.5) et aujourd'hui (~ -50%)**



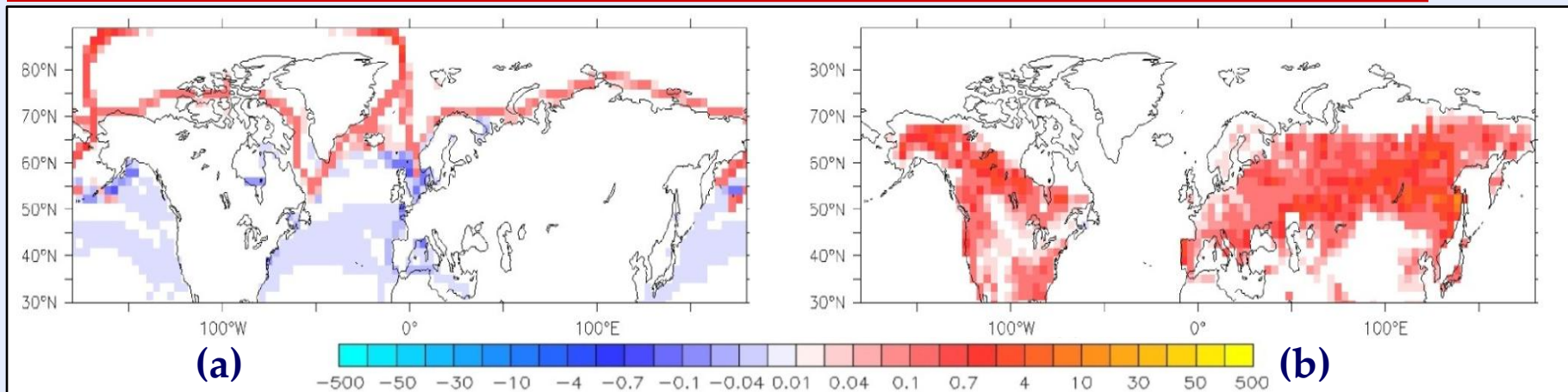
**Variation du nombre de jours avec de la neige au
sol entre 2050 (scénario RCP8.5) et aujourd'hui
(Zones hachurées: variations significatives selon un t-test)**

Scénarios futurs

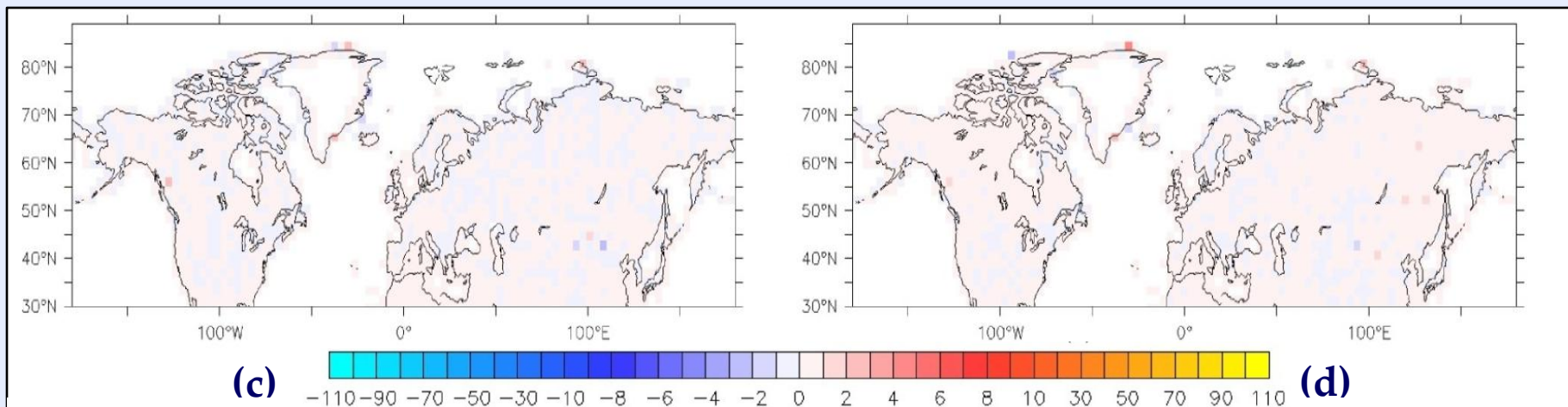


Scénarios futurs

Simulations « guidées »



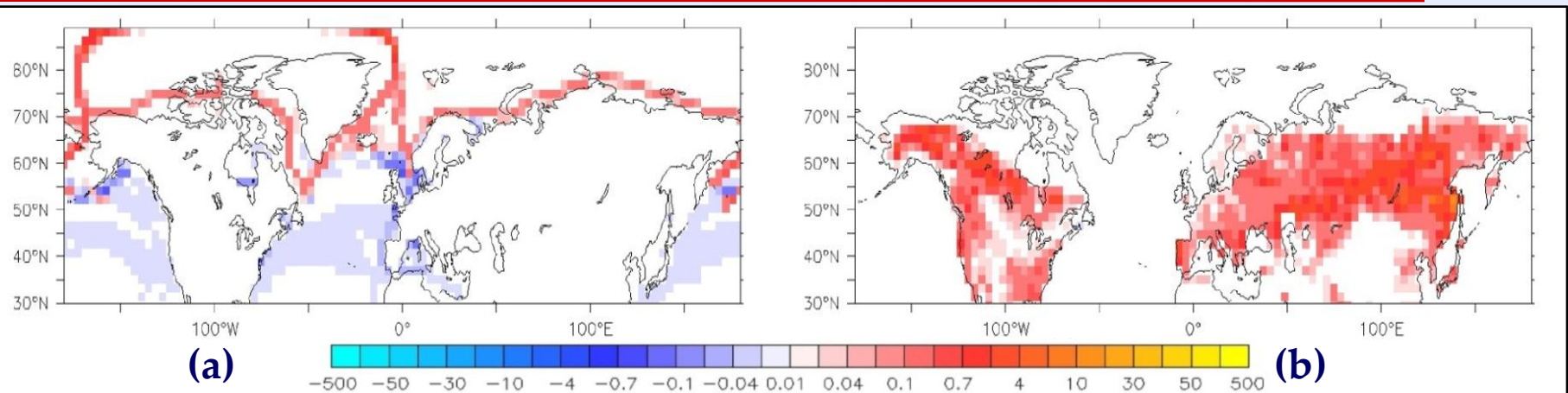
Changement d'émissions de BC en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (a, Corbett et al., 2010, +3.9 Gg/an) et une intensification des feux de forêt (b, Flannigan et al., 2009, +235.9 Gg/an)



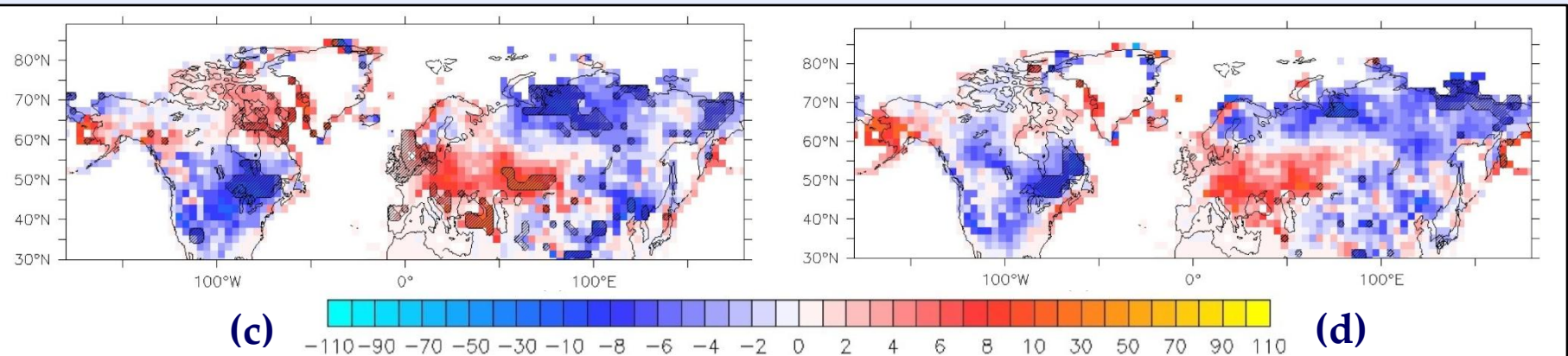
Variation du nombre de jours avec de la neige au sol en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (c) et une intensification des feux de forêt (d)

Scénarios futurs

Simulations sans guidage

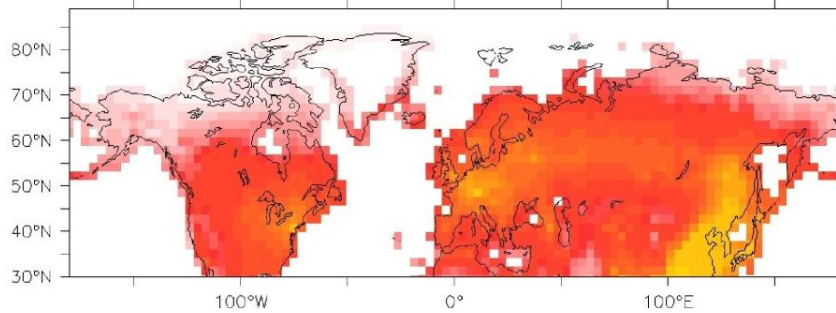


Changement d'émissions de BC en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (a, Corbett et al., 2010, +3.9 Gg/an) et une intensification des feux de forêt (b, Flannigan et al., 2009, +235.9 Gg/an)

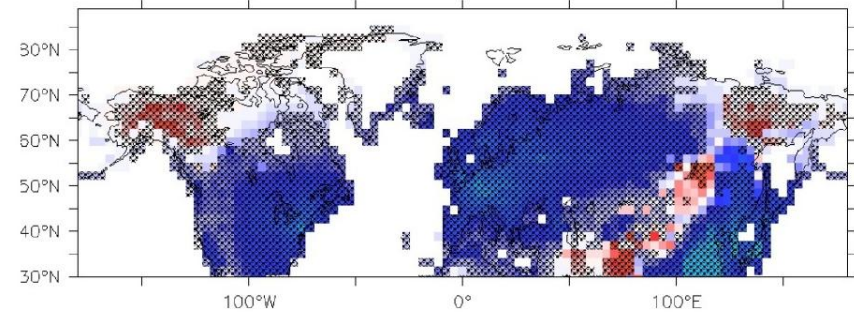


Variation du nombre de jours avec de la neige au sol en 2050 avec un transport maritime accru en Arctique (c) et une intensification des feux de forêt (d). Zones hachurées: variations significatives selon un t-test

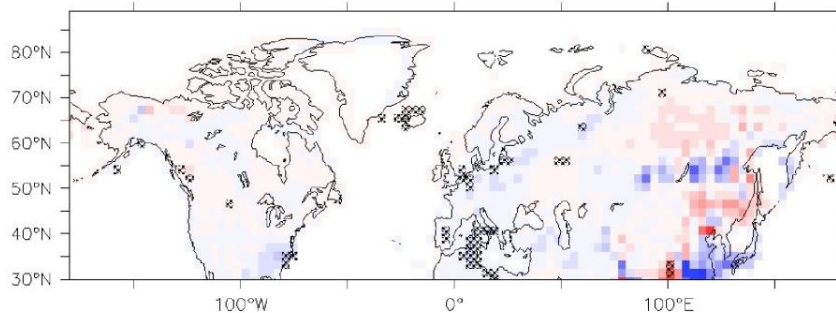
Scénarios futurs



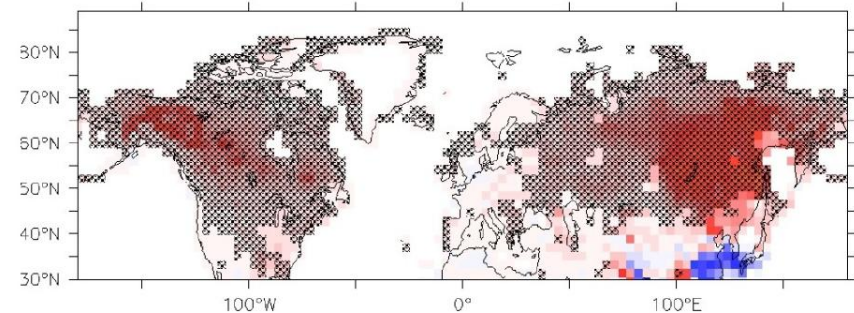
(a)



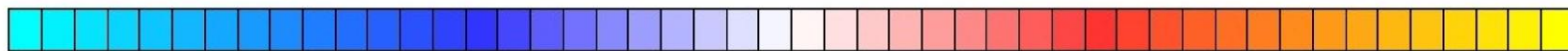
(b)



(c)



(d)



-110 -70 -30 -9 -7 -5 -3 -1 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 3 5 7 9 30 70 110

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= $-110 \text{ Gg mois}^{-1}$); (c): différence induite par une augmentation du trafic maritime en Arctique (différence= $-0.8 \text{ Gg mois}^{-1}$); (d) : différence induite par une intensification des feux de forêt (différence= $+21 \text{ Gg mois}^{-1}$). Zones hachurées: variations significatives.

Conclusions (Ménégoz et al., en révision pour The Cryosphere)

- Les émissions actuelles de BC induisent une diminution de la durée annuelle d'enneigement des sols de 2 à 5 jours sur des régions étendues de l'hémisphère Nord (jusqu'à 10 jours maximum)
- La durée annuelle d'enneigement des sols diminue de une à plusieurs dizaines de jours dans la majeure partie de l'Hémisphère Nord dans une simulation LMDz 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., en révision pour The Cryosphere)

- Les émissions actuelles de BC induisent une diminution de la durée annuelle d'enneigement des sols de 2 à 5 jours sur des régions étendues de l'hémisphère Nord (jusqu'à 10 jours maximum)
- La durée annuelle d'enneigement des sols diminue de une à plusieurs dizaines de jours dans la majeure partie de l'Hémisphère Nord dans une simulation LMDz 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 transport maritime en région Arctique induit une augmentation de la pollution en termes de BC et de sulfate. Cependant, elle n'induit pas d'augmentation significative du dépôt de BC sur les surfaces enneigées. Elle n'a pas d'effets directs sur le couvert neigeux via des modifications de son albédo.
- Une forte intensification des feux de forêt dans l'Hémisphère Nord induirait une augmentation significative du dépôt de BC sur les surfaces enneigées. Ce dépôt n'impactera pas significativement la durée annuelle d'enneigement.
- Ces deux sources potentielles d'aérosols sont cependant susceptibles d'affecter la couverture neigeuse via des rétroactions climatiques indirectes.

Perspectives

- Des expériences de sensibilité plus poussées permettraient de caractériser les mécanismes de rétroactions associées à ces sources potentielles d'aérosols.
- Un couplage avec un modèle de glace de mer permettrait d'étudier les effets potentiels du dépôt de BC sur la glace de mer.
- BC ne représente qu'une part de l'ensemble des particules qui absorbent le rayonnement solaire.
- Appliquer une résolution plus fine dans les modèles permettrait d'étudier ces processus dans des régions à topographie complexe (Alpes, Himalaya, etc.).

A panoramic view of a city, likely Kathmandu, 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

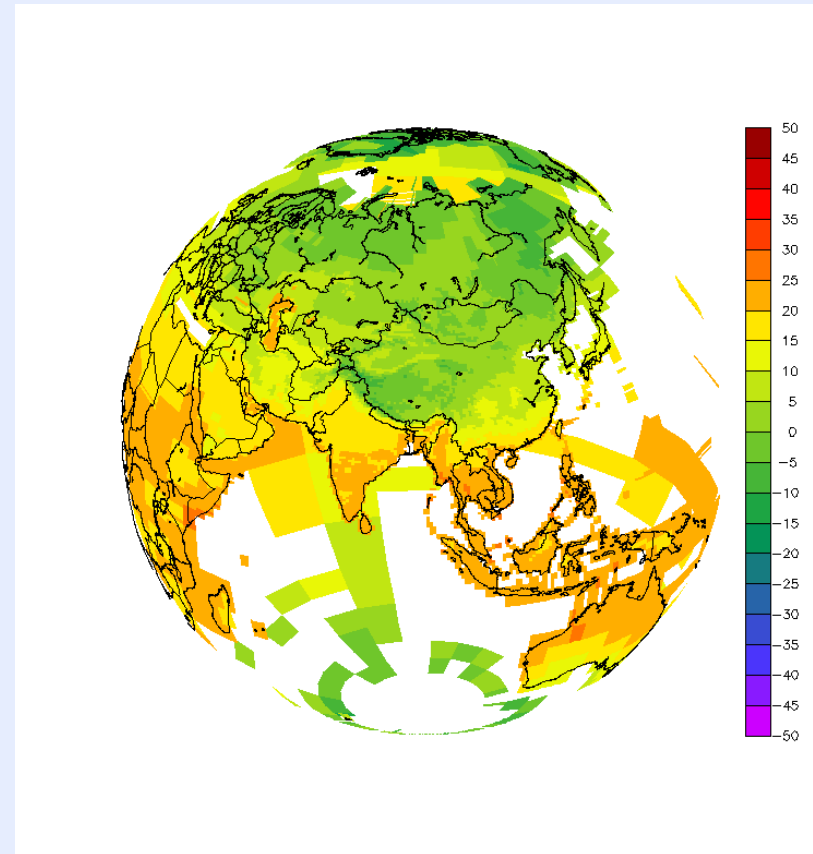
Snow cover sensitivity to Black Carbon deposition in the Himalaya

Experimental set-up

Global simulations with LMDZ (IPSL, CNRS, France)

- October 1997 – October 2008
- Nudging toward ECMWF reanalyses
- Simplified snow module, but with a detailed snow albedo scheme (Warren, 1980), including the impact of dust and BC deposition
- 4 sensitivity experiments :

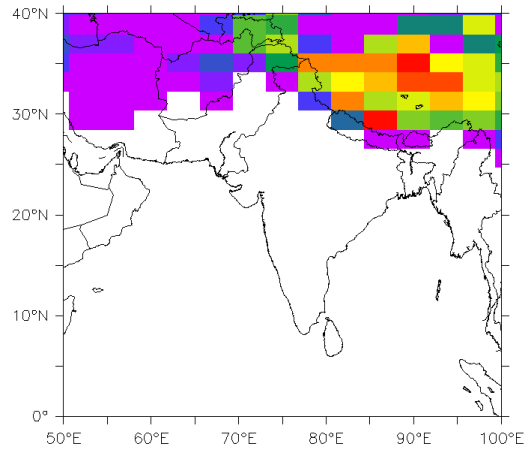
Simulation	Resolution	Snow albedo
SG1	96x95x19	With BC deposition
SG2	96x95x19	Without BC deposition
SZ1	144x142x19 Zoom	With BC deposition
SZ2	144x142x19 Zoom	Without BC deposition



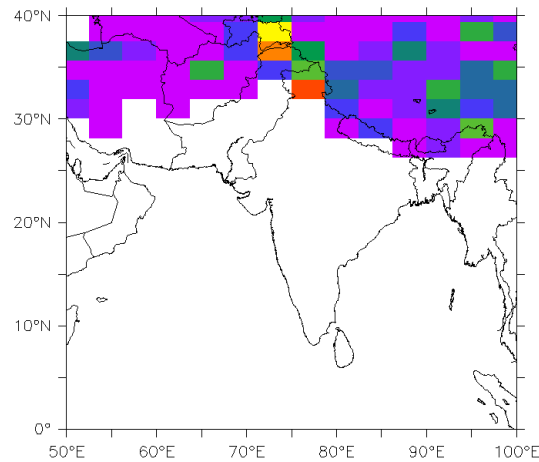
**Continental surface temperature–
January, 1st, 2006 – Zoom centred
over Himalaya**

Snow cover

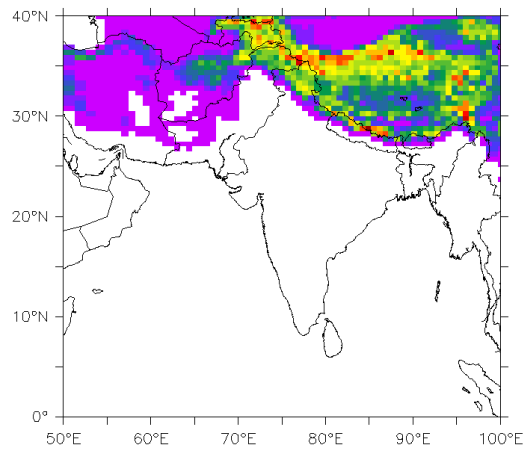
LMD
96x95



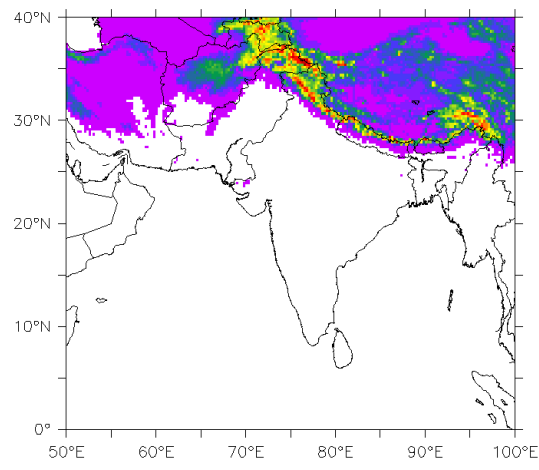
OBS
96x95



LMDZ
144x142



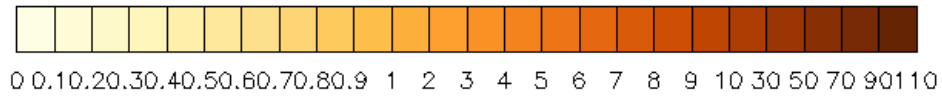
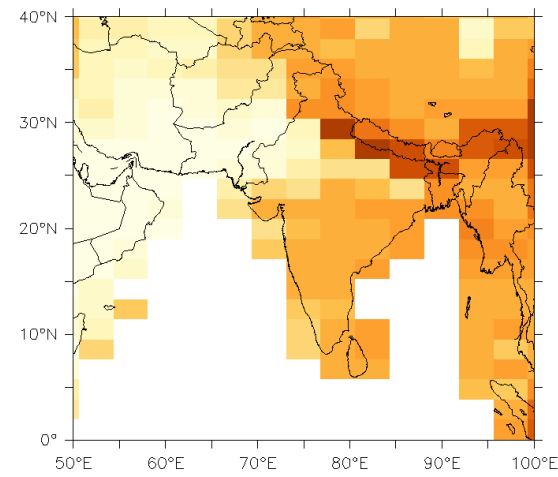
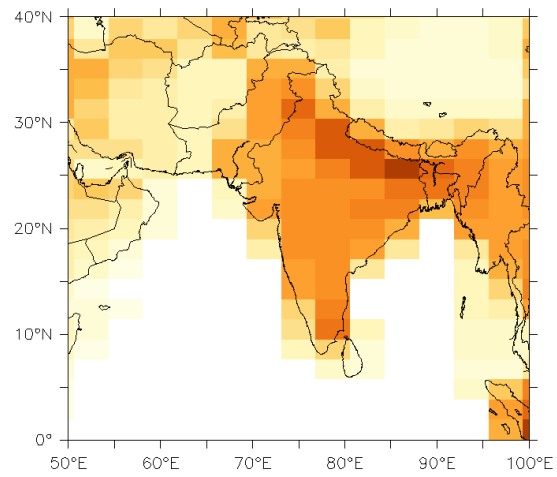
OBS
360x720



Number of day per year with snow at the surface (NDYS)

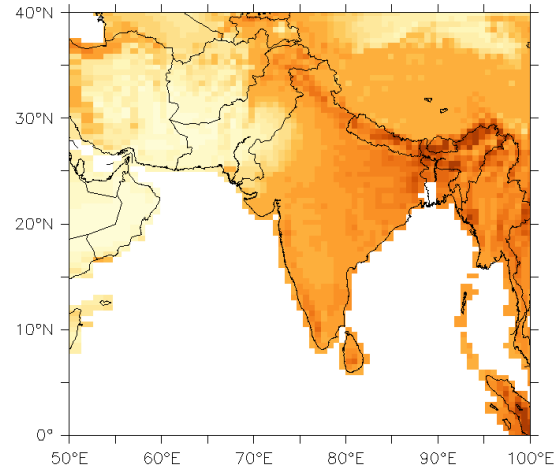
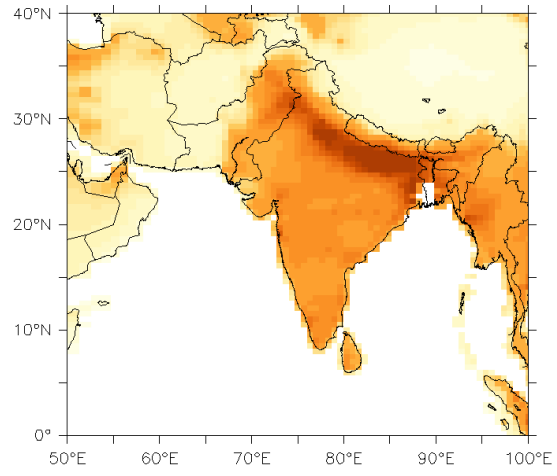
Aerosol deposition

**LMD
96x95**



(mg/m²/month)

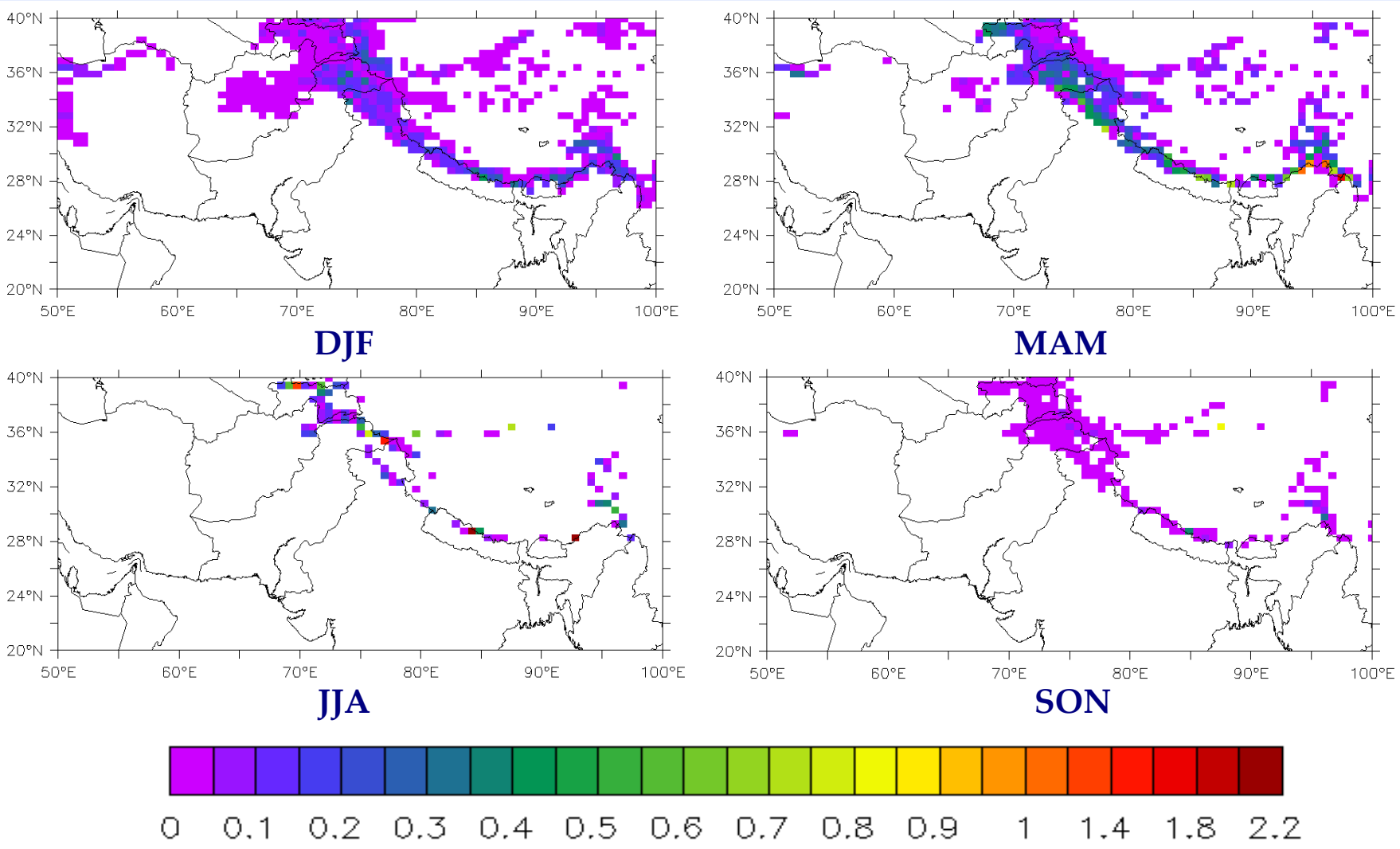
**LMDZ
144x142**



Dry deposition

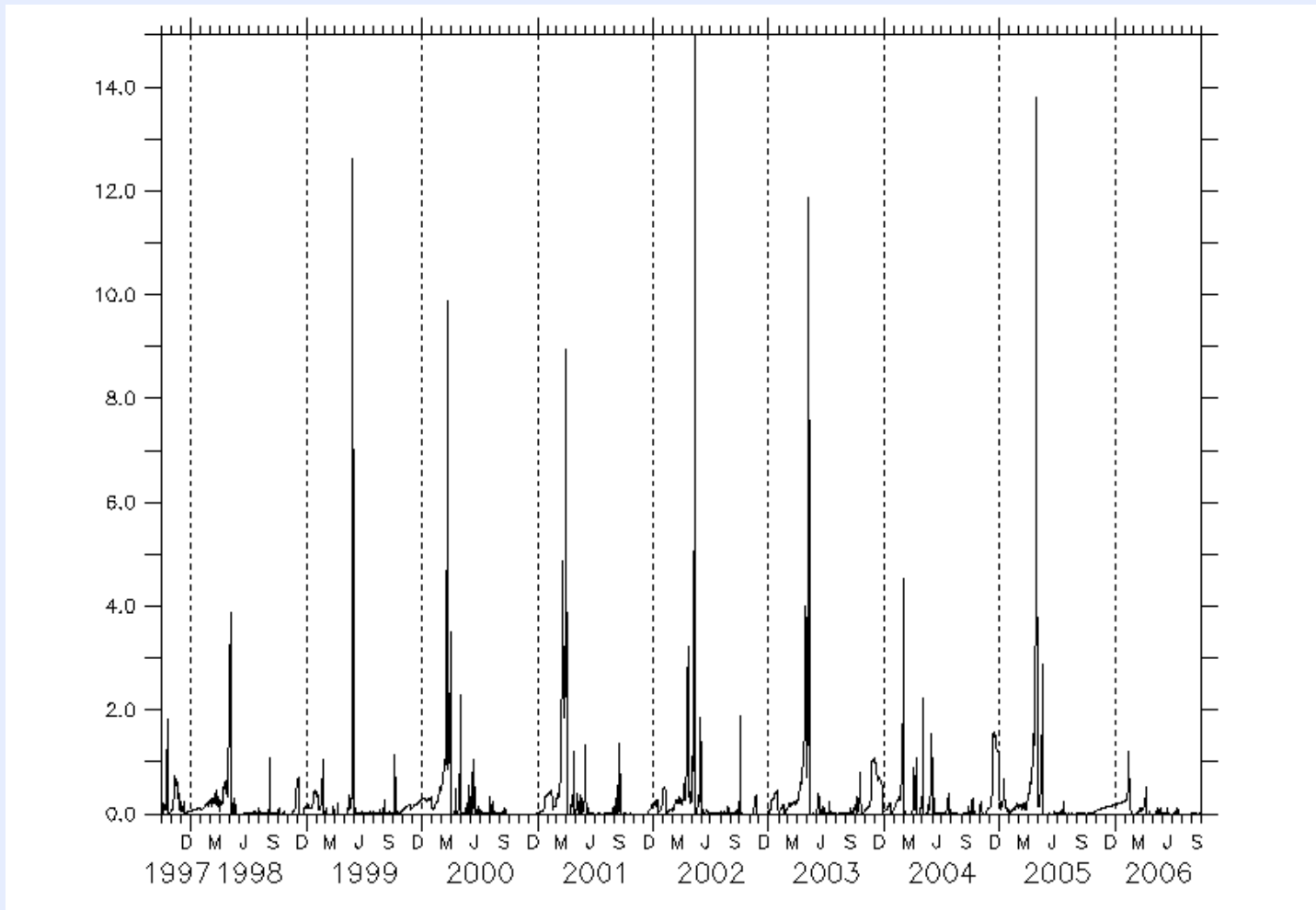
Wet deposition

Seasonal BC concentration in the snow



BC concentration in the snow (microg/kg) – LMDZoom 144x142

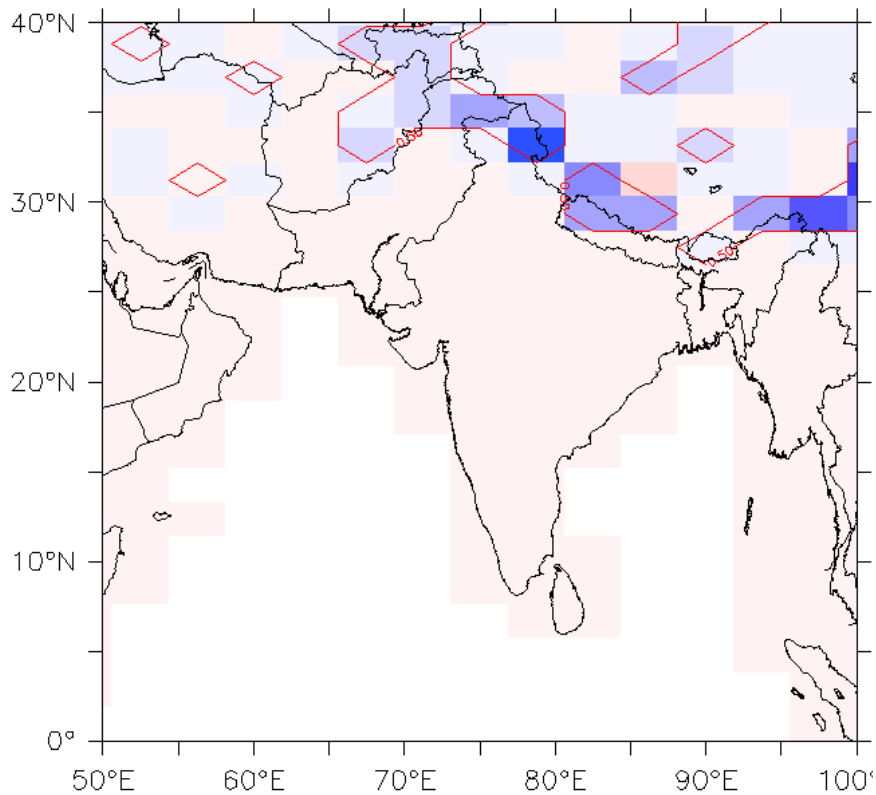
Local BC content in the snow



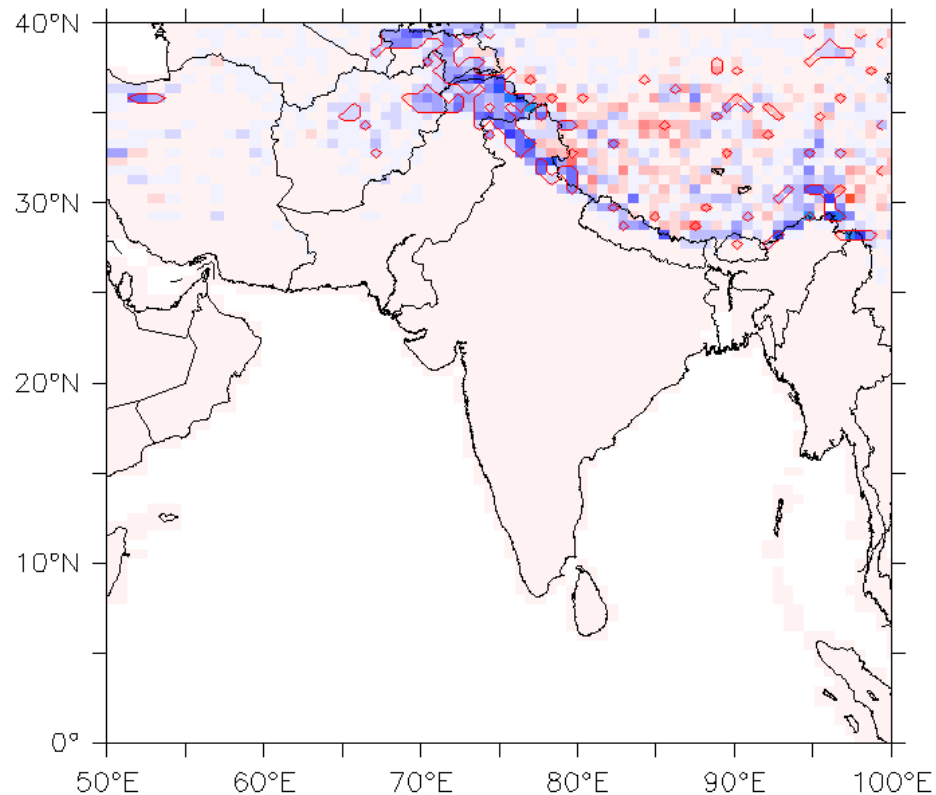
BC concentration in the snow (microg/kg) – LMDZoom 144x142 grid cell containing mount Everest (86.5°E ; 28°N)

Comparison between simulations performed with and without BC in snow

LMD 96x95

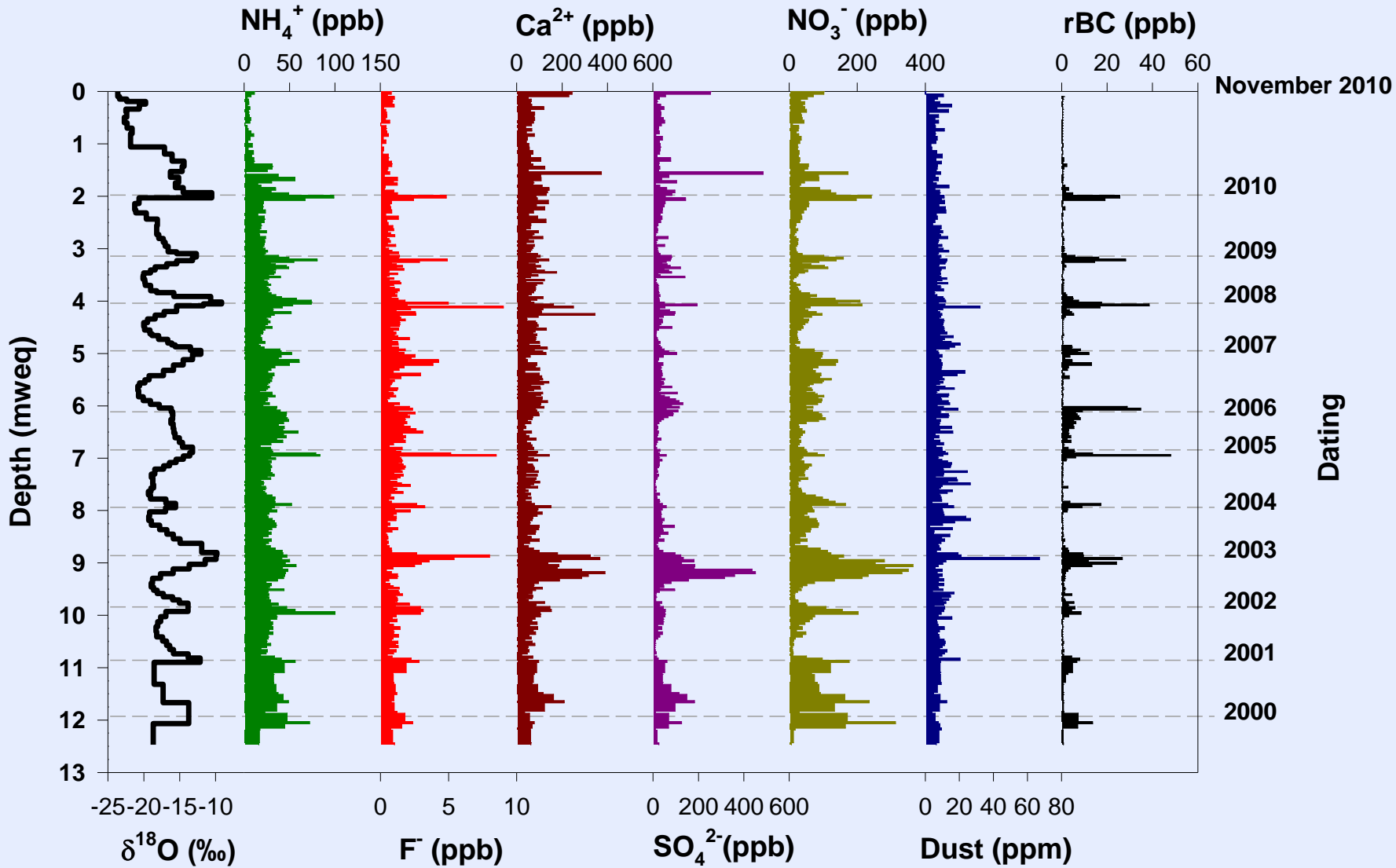


LMDZ 144x142



-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

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

Conclusions

- Sensitivity experiments performed with the model LMD with and without zoom, to check the impact of BC deposition on snow.
- Applying the zoom do not change significantly aerosol transport toward High mountain areas.
- Applying the zoom appears essential to simulate correctly snow cover, BC local deposition and BC concentration in the snow.
- “Snow darkening effect” is over-estimated without applying the zoom
- Number of Day per Year with Snow at the Surface can be decreased till 5/6 days because of BC deposition in some high altitude areas of Nepal, and in larger areas in Western Himalaya and Karakorum.
- The effect may be under-estimated, due to a possible under-estimation of the BC concentration in the snow.

Outlook

- Implementing MAR in LMDZ, to increase the resolution of the simulations.
- More comparisons with observations (snow and aerosol).