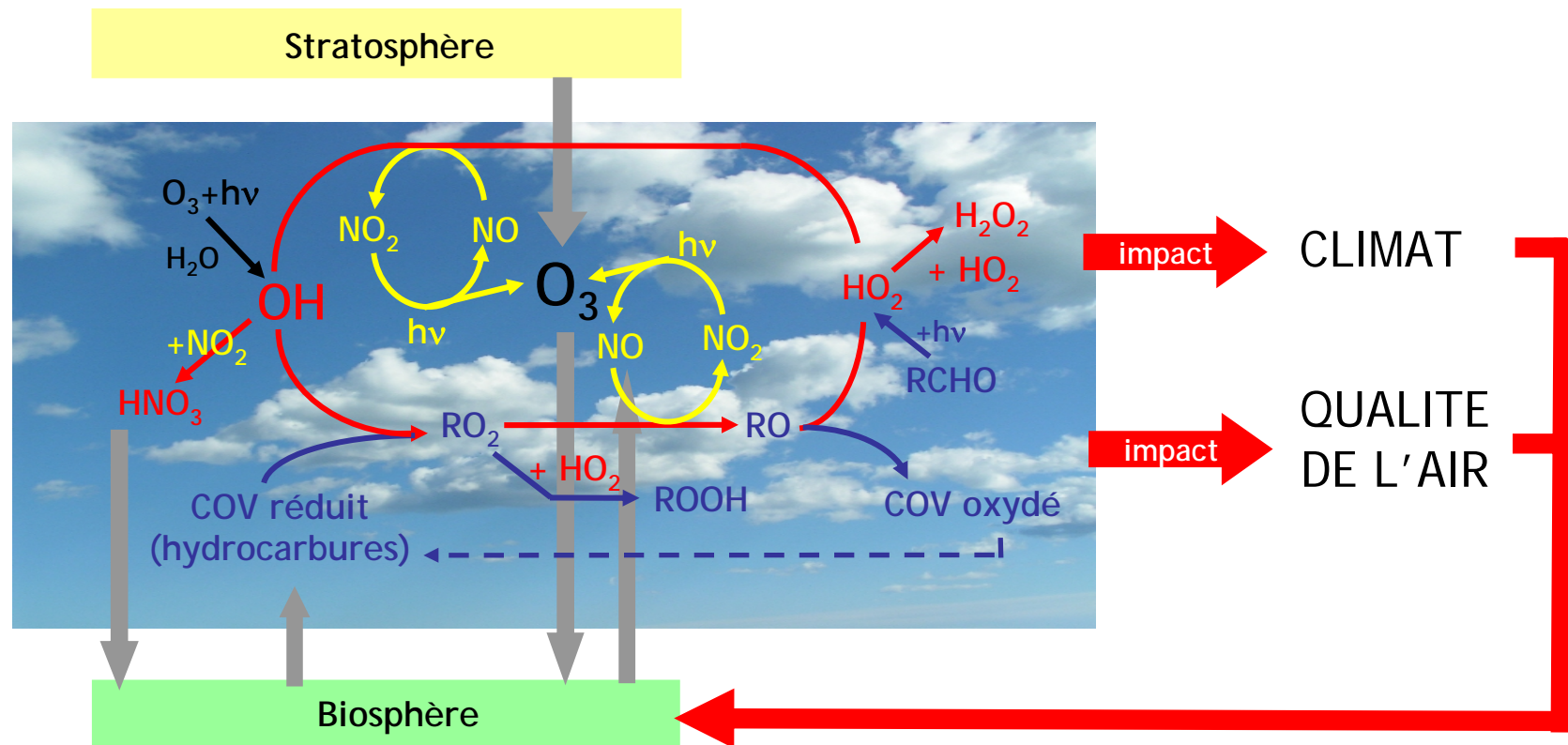


Applications de LMDz-INCA pour l'Etude de la Chimie Troposphérique



Sophie Szopa

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
LSCE-IPSL / UMR CEA-CNRS-UVSQ



La chimie troposphérique

Introduction

LMDz-INCA

INCA vs
Observations

Tendances &
Variabilité
Interannuelle

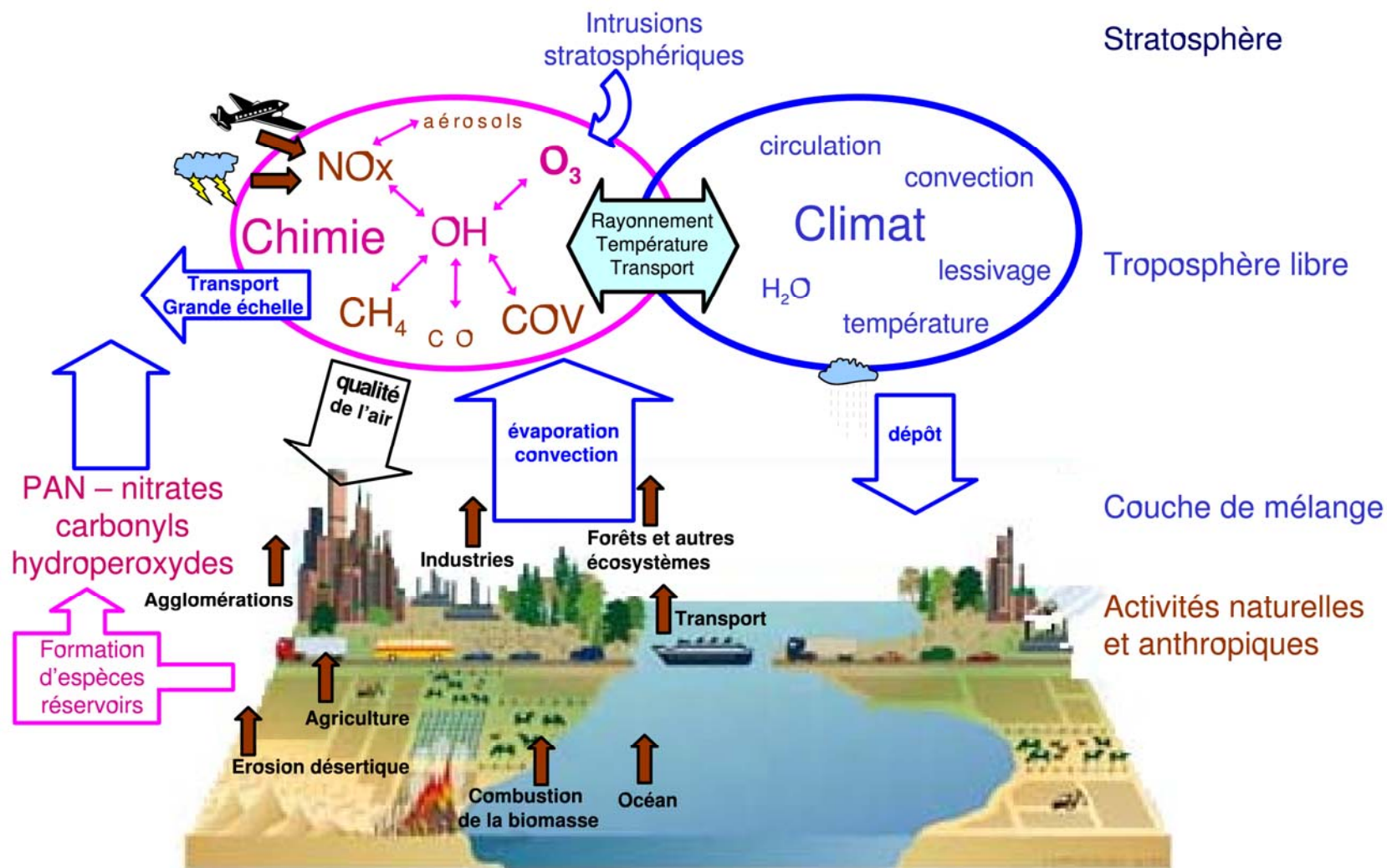
Transport
Intercontinental

Changements
Futurs

Impacts

Mitigation

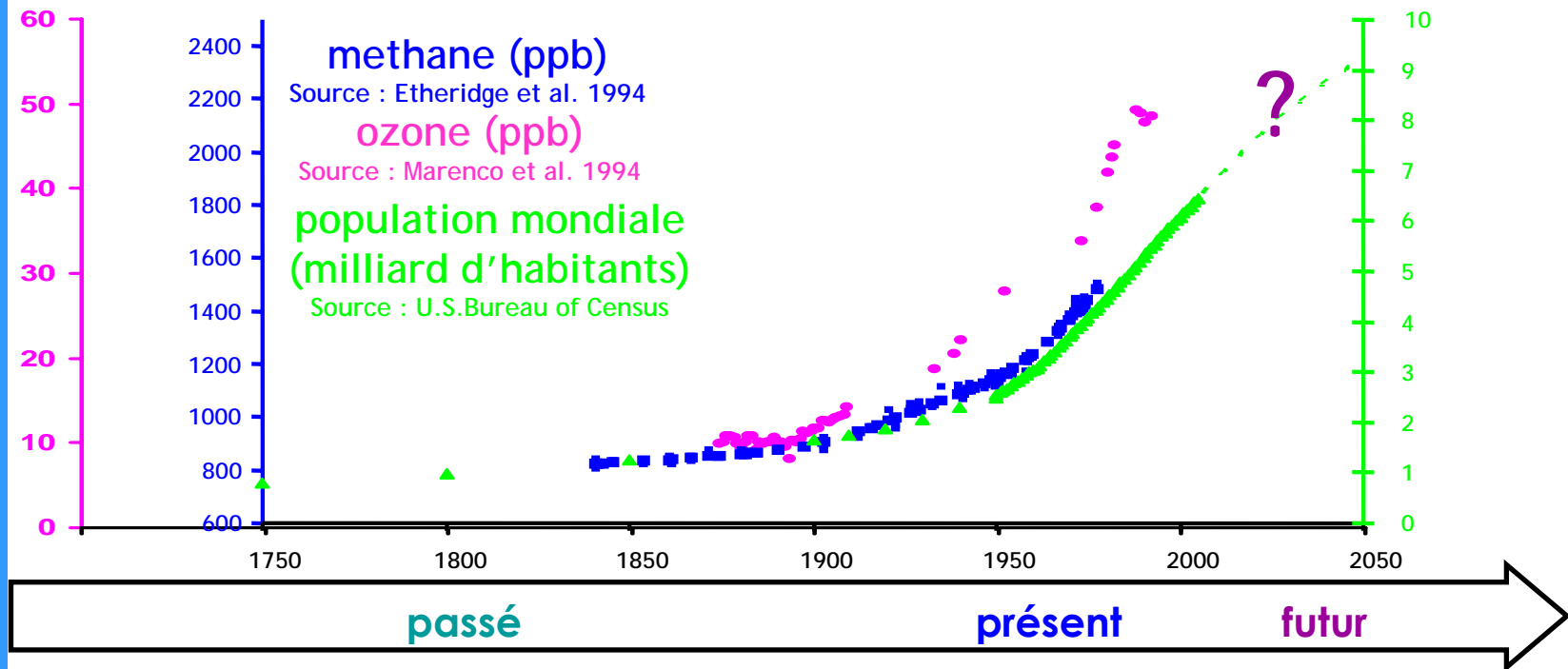
Perspectives



Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

La chimie troposphérique : impacts et changements à venir

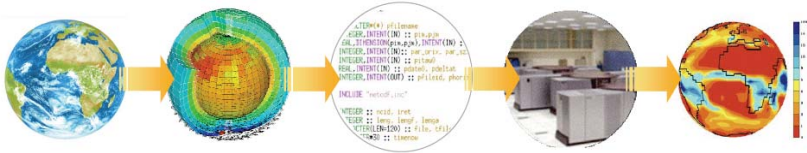
- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives



RF Terms		RF values (W/m^2)
Anthropogenic	Long-lived greenhouse gases	<p>CO_2 1.66 [1.49 to 1.83]</p> <p>N_2O 0.48 [0.43 to 0.53]</p> <p>CH_4 0.16 [0.14 to 0.18]</p> <p>Halocarbons 0.34 [0.31 to 0.37]</p>
	Ozone	<p>Stratospheric -0.05 [-0.15 to 0.05]</p> <p>Tropospheric 0.35 [0.25 to 0.65]</p>
	Stratospheric water vapour from CH_4	0.07 [0.02 to 0.12]
	Surface albedo	<p>Land use -0.2 [-0.4 to 0.0]</p> <p>Black carbon on snow 0.1 [0.0 to 0.2]</p>
	Total Aerosol	<p>Direct effect -0.5 [-0.9 to -0.1]</p> <p>Cloud albedo effect -0.7 [-1.8 to -0.3]</p>



Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lscce.ipsl.fr

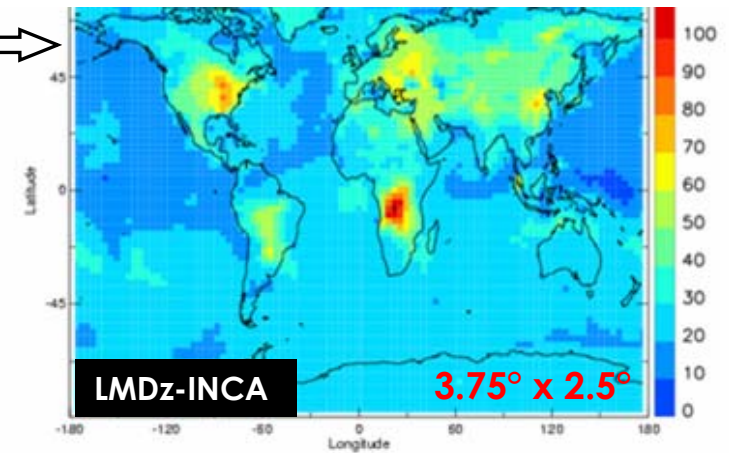
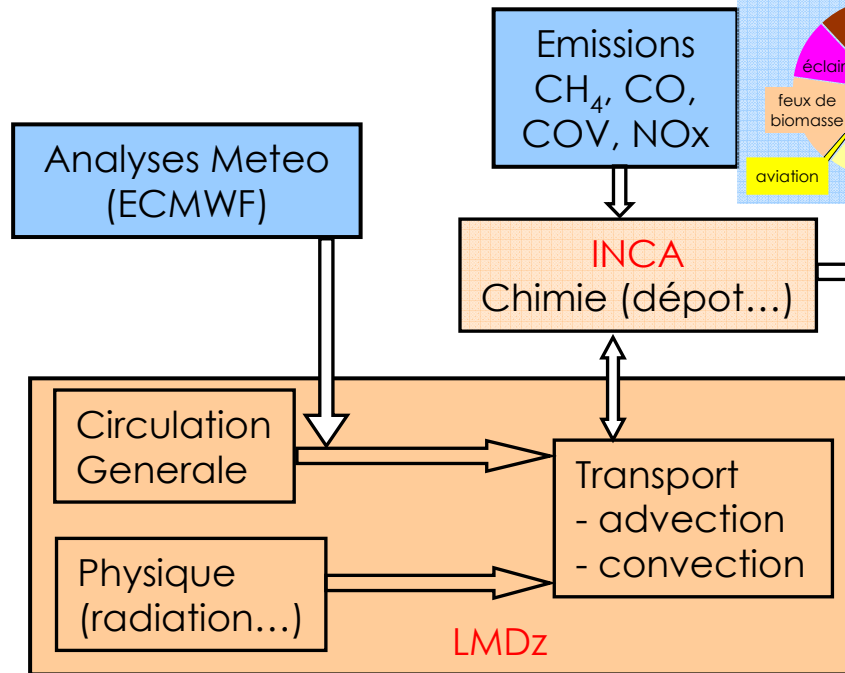
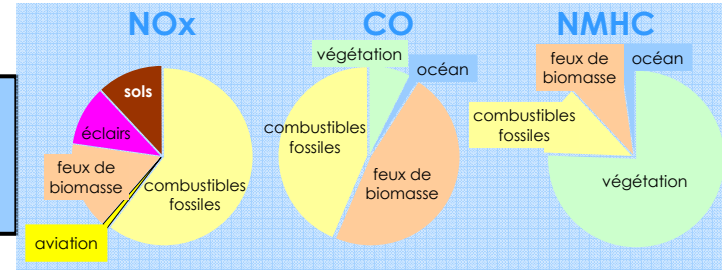


LMDz-INCA (version NMHC)

Introduction
 LMDz-INCA
 INCA vs Observations
 Tendances & Variabilité Interannuelle
 Transport Intercontinental
 Changements Futurs
 Impacts
 Mitigation
 Perspectives

Sophie Szopa
 LSCE
 sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Répartition des types d'émissions à l'échelle globale (présent)



- + cycles saisonniers globaux
- + tendances globales sur plusieurs années
- + variabilité interannuelle de ces espèces
- + interactions chimie/climat (impact sur l'effet de serre)
- + transport longue distance

- résolution, représentativité / mesures
- pas approprié pour qualité de l'air

INCA qui fait quoi?

Introduction

LMDz-INCA

INCA vs Observations

Tendances & Variabilité Interannuelle

Transport Intercontinental

Changements Futurs

Impacts

Mitigation

Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

LMDz-INCA, versions:

Aérosols

Chimie méthane (CH₄),

Chimie méthane et hydrocarbures (NMHC)

Chimie stratosphérique

Gaz à effet de serre (CO₂, N₂O)

+ combinaisons de celles-ci



<http://www-lsceinca.cea.fr/>

Interactions avec la biosphère terrestre (ORCHIDEE)

Juliette **Lathière** (impact CO₂, O₃ sur végétation, émissions de BVOC, dépôt)

Aérosols

Michael **Schulz**

intercomparaisons AEROCOM, cycle N, climat-aérosols...

Yves **Balkanski**

SOA, chimie hétérogène, climat-aérosols...

Nicolas **Huneus**

Assimilation de données (GEMS)

Nicolas **Yan**

aérosols naturels

Raffaella **Vuolo**

Chimie troposphérique

Sophie **Szopa**

Qualité de l'air ↔ changements globaux, O₃-Climat, tendances, inversions émissions

Brigitte **Koffi**

impacts modes de transports

Solène **Turquety**

POLARCAT, comparaisons aux données satellites, feux

Idir **Bouarar**

comparaison avec AMMA, sensibilité aux émissions

Andrzej **Klonecki**

NOVELTIS assimilation des obs IASI

Didier **Hauglustaine**

Chimie/Climat

Chimie stratosphérique

Didier **Hauglustaine**/Fabrice **Jegou**

Support

Anne **Cozic**

Developpement

Maintenance

Formation

Parallélisation

Yann **Meurdesoif**

Othman **Bouizi**

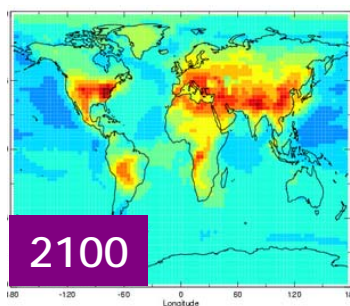
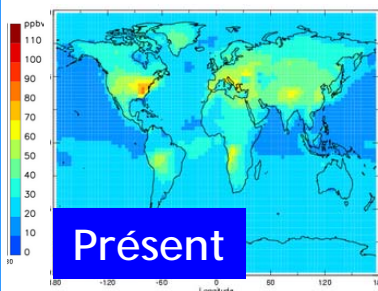
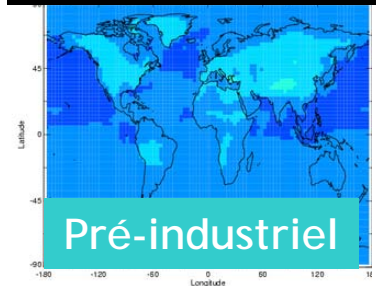
Parallélisation

Applications LMDz-INCA pour questions de chimie troposphérique

Introduction
LMDz-INCA
INCA vs Observations
Tendances & Variabilité Interannuelle
Transport Intercontinental
Changements Futurs
Impacts
Mitigation
Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Ozone de surface (juillet)
simulations LMDz-INCA



passé

Dernier Max Glaciaire (LGM)

- Quel capacité oxydante, quelles sources et puits pour comprendre CH₄ dans ice core?

- Comment ont varié les sources anthropiques depuis début ère industrielle? politiques AQ => tendance ozone global?
- Variabilité interannuelle des sources naturelles (e.g. feux, végétation)



EVALUATION/DEVELOPPEMENT

Campagnes de mesures (AMMA, YAK, POLARCAT...)
Satellites (MOPITT, IASI, GOME, ACE...)
Réseaux de surface (EMEP, CASTNET)

présent

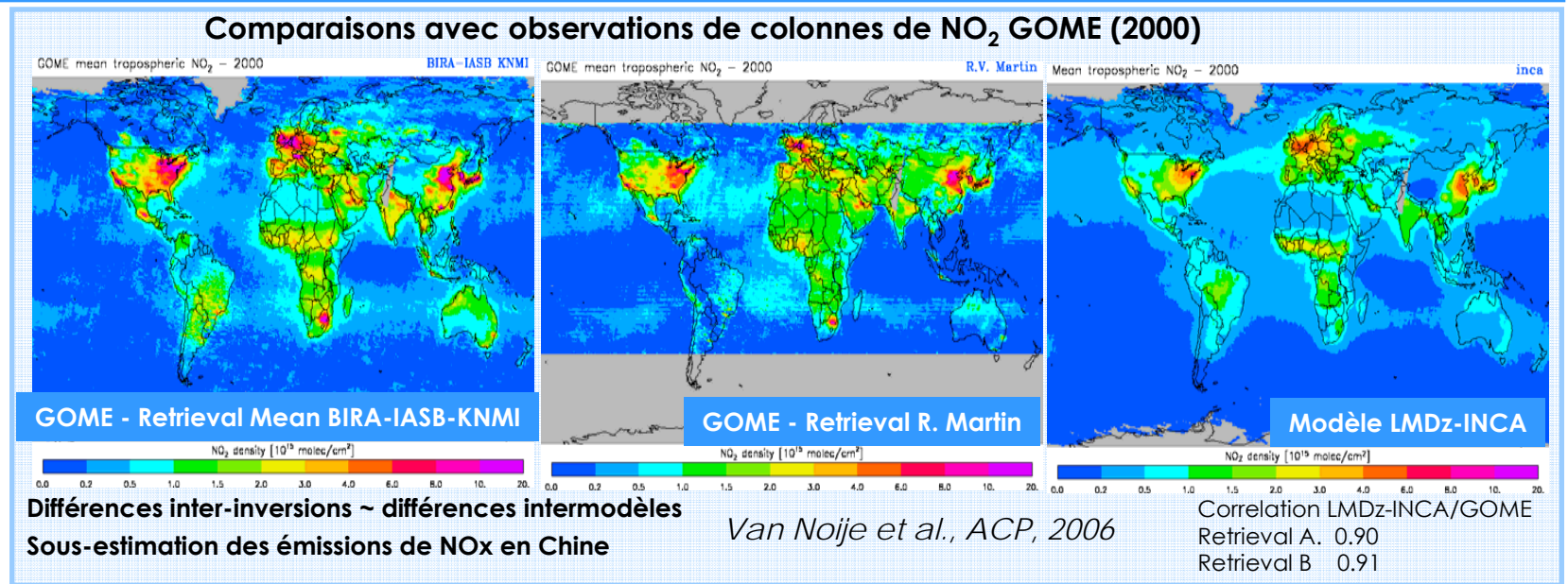
- Inversion des sources (LMDz adjoint+SACS)
- Transport Intercontinental
- Impact sur la qualité de l'air/Santé
- Quantification impact de sources identifiées (e.g. avion/auto/ship, éclairs)

futur

- Evaluation des stratégies futures d'émissions (e.g. urbanisation, modification du landuse)
- impact sur forçage radiatif
- interactions chimie/climat

Evaluation des modèles globaux

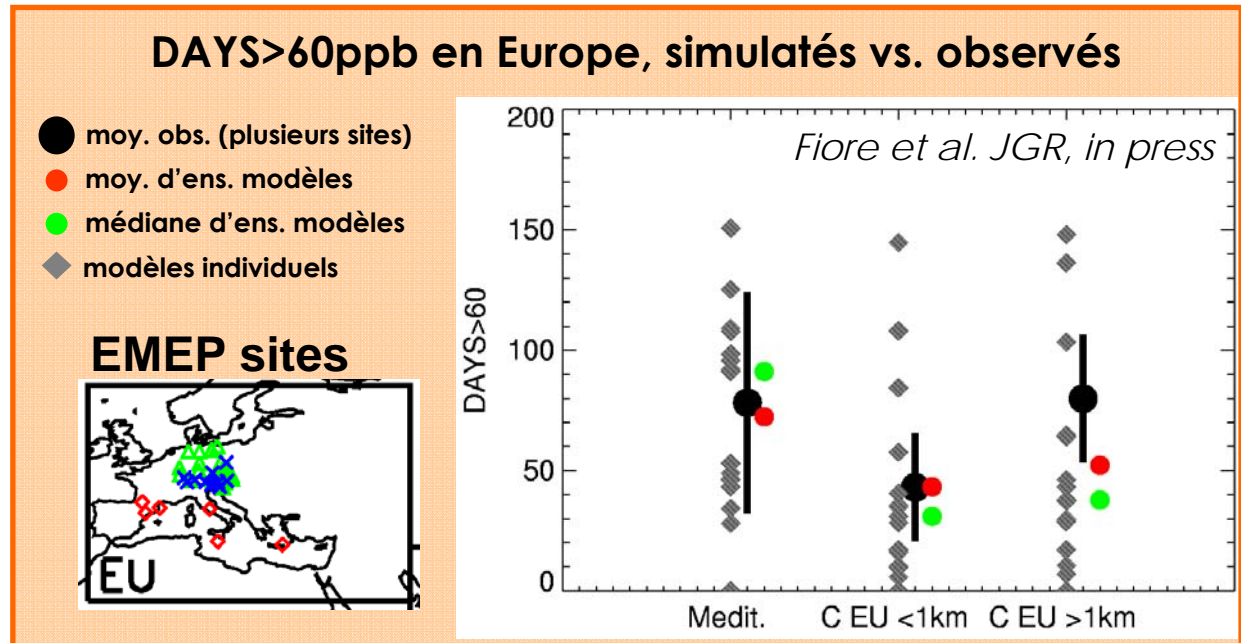
- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives



Comparaisons avec climatologies basées sur les sondes d'O₃

Stevenson et al., JGR, 2006

	LMDz-INCA (nudged)	Ensemble mean of 26 models
Biais (ppbv)	1.0	4.8
RMSE (ppbv)	5.0	5.0



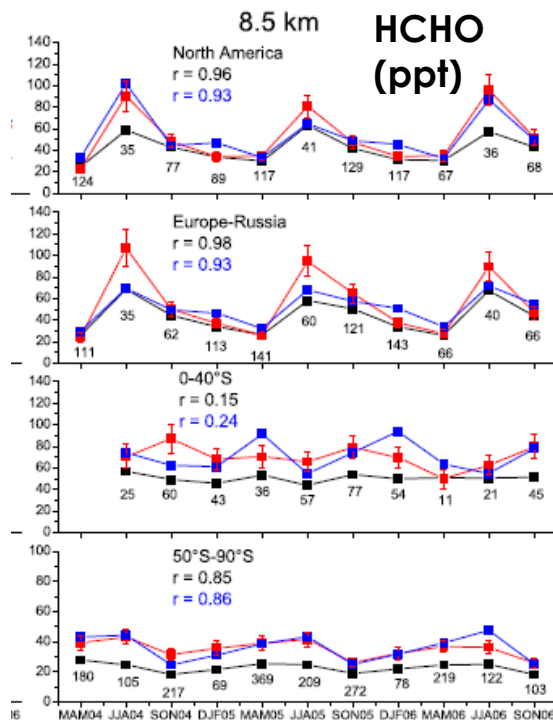
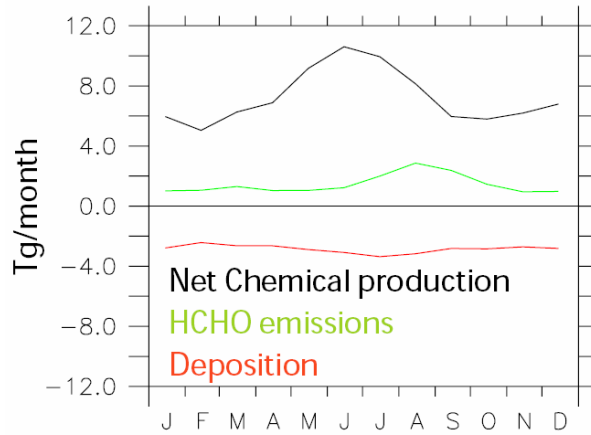
Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Formaldehyde

- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

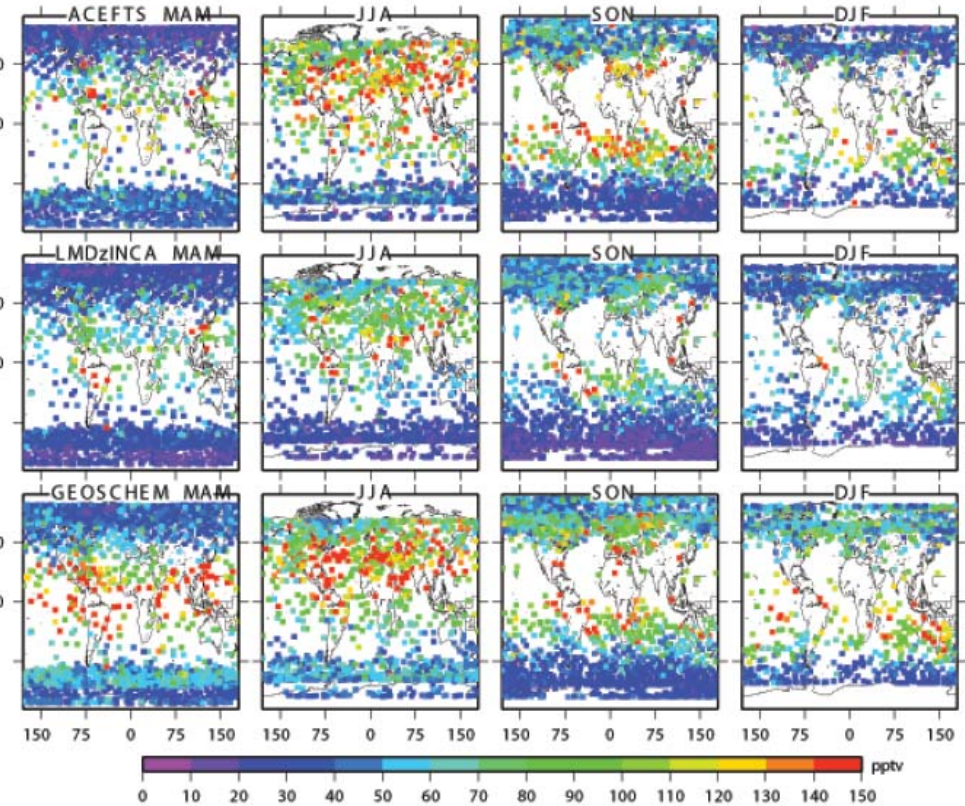
HCHO global budget



ACEFTS satellite

LMDz-INCA

GEOS-CHEM



Upper tropospheric (6–9 km) formaldehyde vmr by season from March 2004 to November 2006.

LMDz-INCA
ACE
GEOS-CHEM

Dufour et al., 2009, ACP (in press)

Methanol

Introduction

LMDz-INCA

INCA vs
Observations

Tendances &
Variabilité
Interannuelle

Transport
Intercontinental

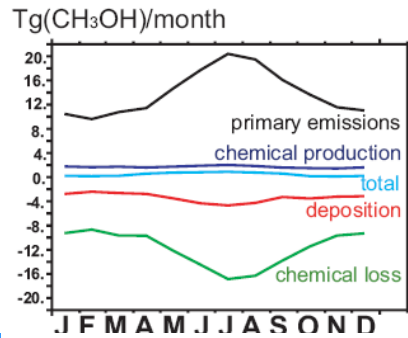
Changements
Futurs

Impacts

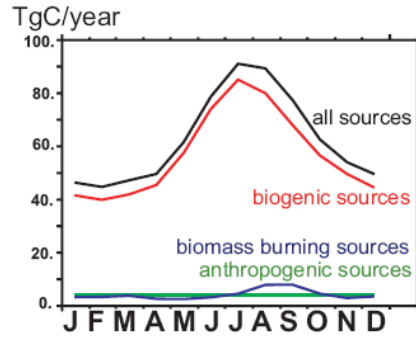
Mitigation

Perspectives

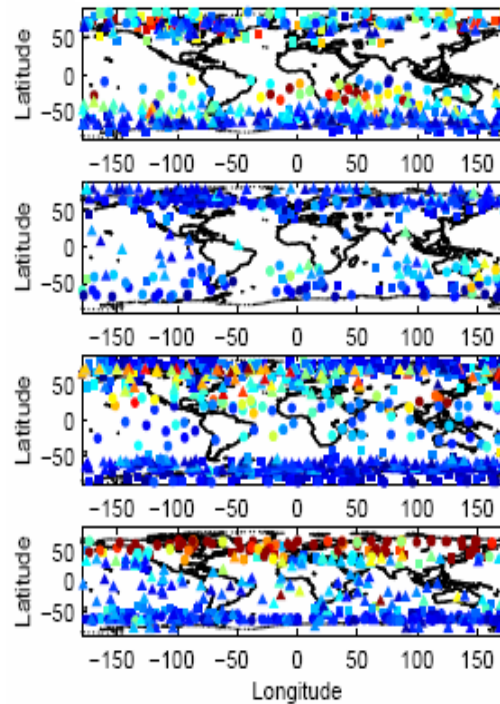
Seasonal cycle of the
CH₃OH budget terms



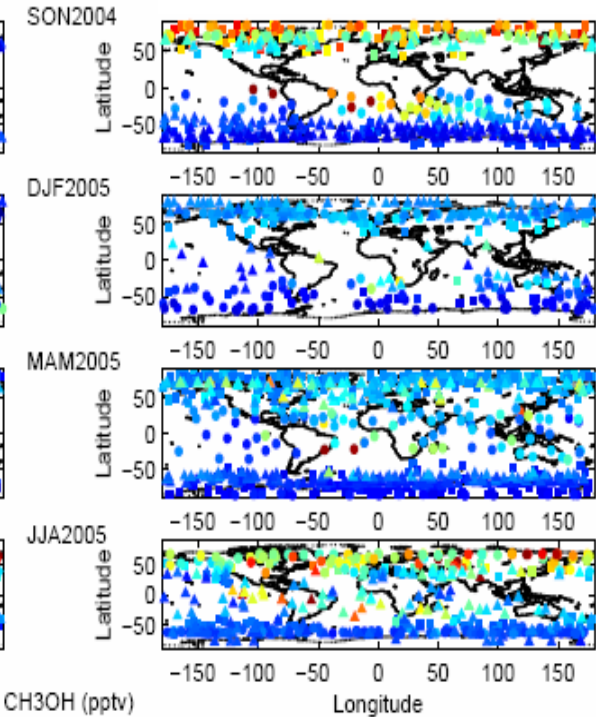
Seasonal cycle of CH₃OH
primary emissions



ACEFTS satellite at 8.5km



LMDz-INCA



Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Dufour et al., 2007, ACP

Utilisation en synergie des modèles globaux et observations satellitaires

Introduction

LMDz-INCA

INCA vs
Observations

Tendances &
Variabilité
Interannuelle

Transport
Intercontinental

Changements
Futurs

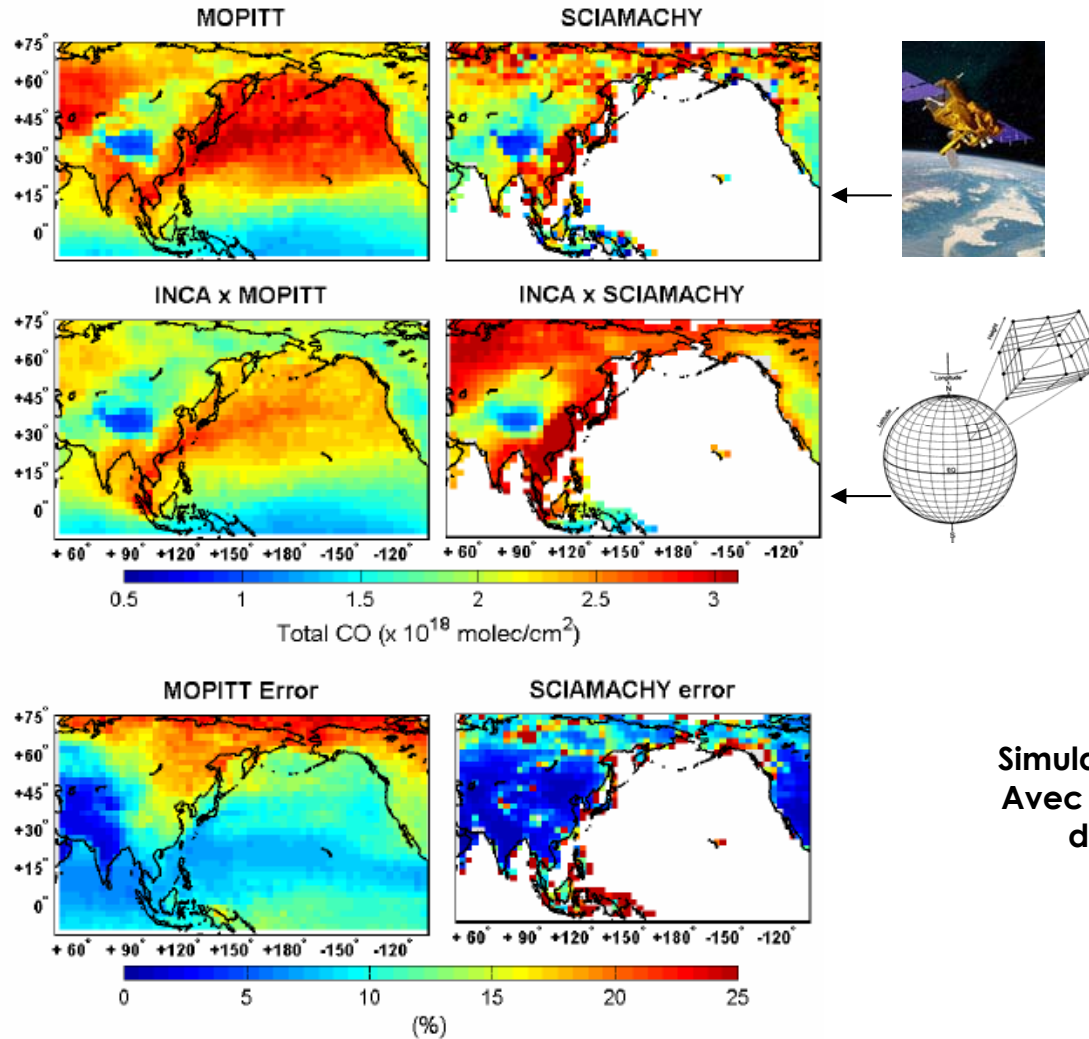
Impacts

Mitigation

Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Colonnes totales de CO
moyennées pour mars, avril et mai 2005
(interpolées sur la grille du modèle, utilisation des averaging kernels)

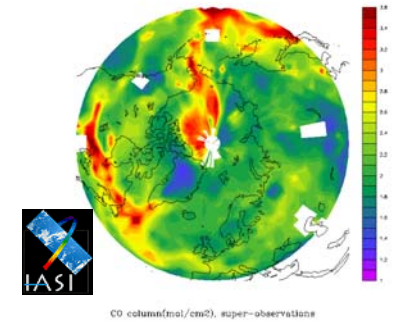


Turquety et al.
ACP, 2008

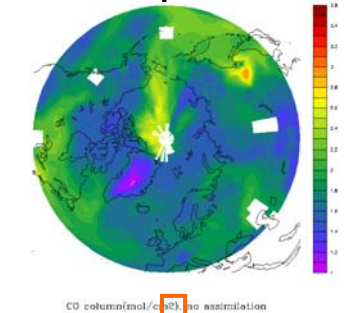
⚡ Résultats préliminaires – Projet TOSCA IASI
(A. Klonecki, *Noveltis*; S. Turquety, *LMD*; M. Pommier, C. Clerbaux,
M. George, *SA*; S. Szopa, A. Cozic, *LSCE*; D. Hurtmans, *ULB*)

Campagne POLARCAT – juillet 2008

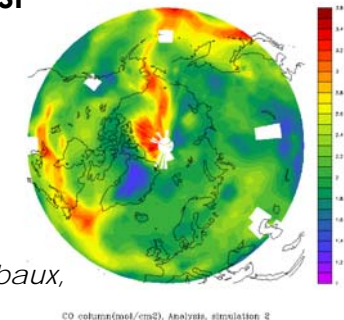
**Observations IASI
SA/CNRS-ULB**



**Simulation LMDz-INCA
Chaîne de prévision**

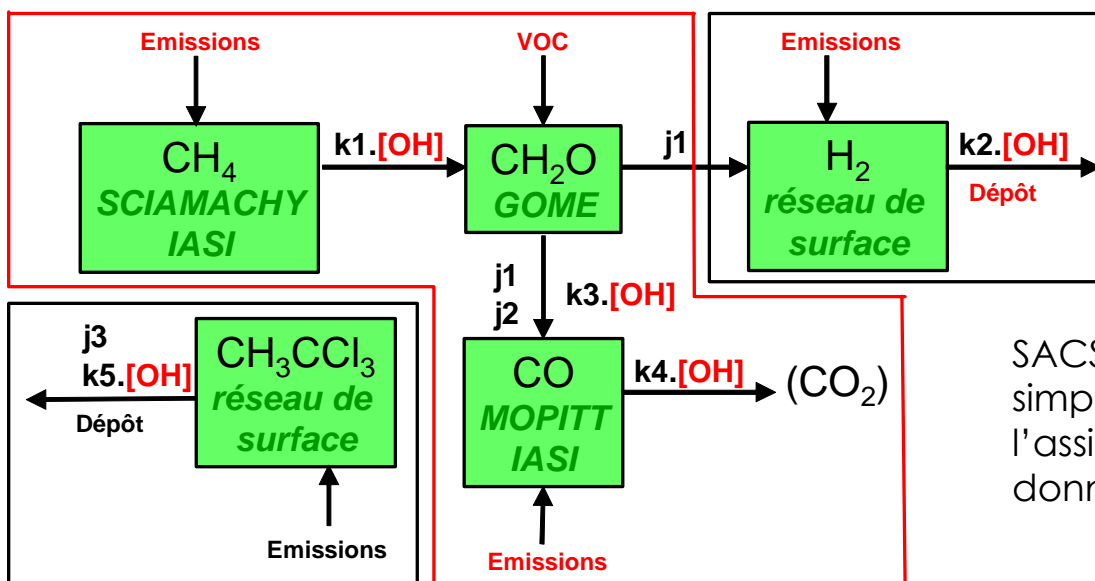


**Simulation LMDz-INCA
Avec **assimilation** des
données IASI**



Optimisation des sources de CO, COV, H₂ et CH₄ et distribution de OH

Introduction
 LMDz-INCA
 INCA vs Observations
 Tendances & Variabilité Interannuelle
 Transport Intercontinental
 Changements Futurs
 Impacts
 Mitigation
 Perspectives



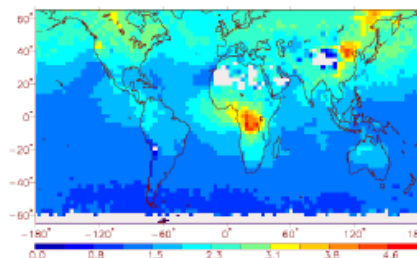
SACS: Schéma chimique simplifié pour l'assimilation 4Dvar de données satellites

Pison et al. 2008 ACPD
 Chevallier et al. 2009 Biogeosciences

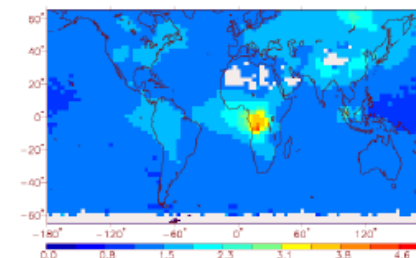
Mean CO partial columns (10¹⁷ mol cm⁻²), for July 2008 for the level closest to 700 hPa
 (b) the prior simulation

=> Posterior estimate of CO emissions using IASI retrievals is 40% higher than the global budget calculated with the MOPITT data.

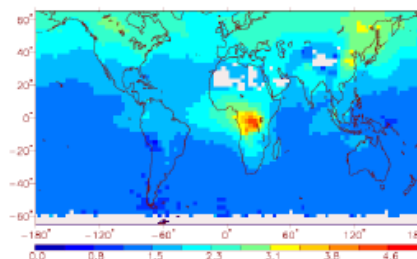
Fortems-Cheiney et al. ACPD 2009



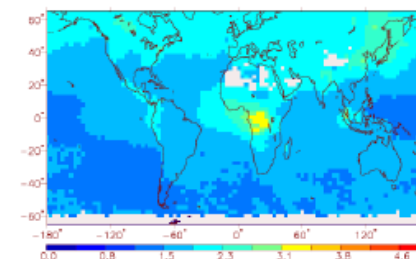
(a) IASI observations



(b) Prior simulation



(c) IASI-based posterior simulation



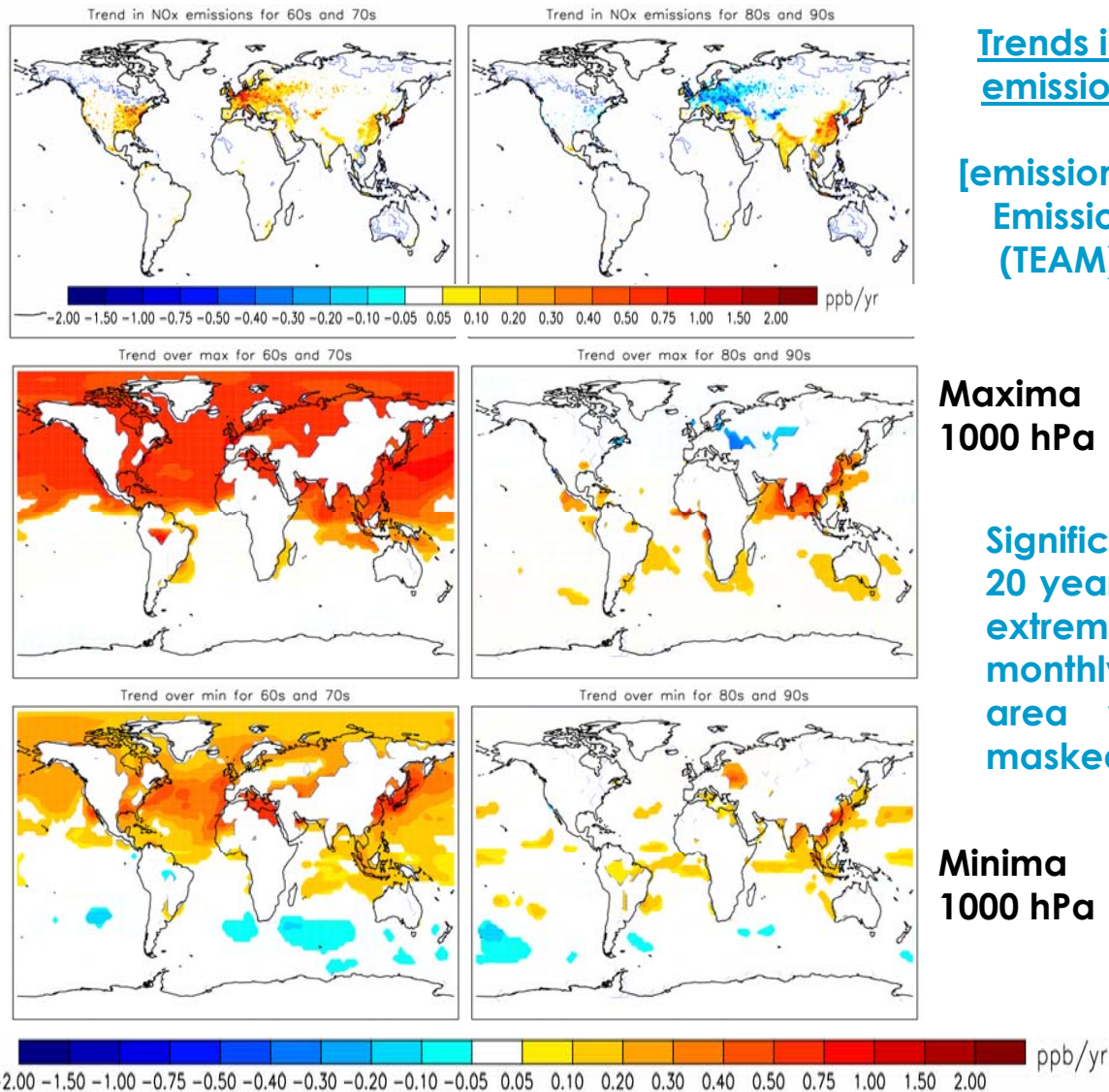
(d) MOPITT-based posterior simulation

Sophie Szopa
 LSCE
 sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Tendances

Trends between 1960 and 1979

Trends between 1980 and 2000



Trends in anthropogenic NOx emissions for 20 year periods

[emissions provided by the TNO Emission Assessment Model (TEAM), Pulles et al. (2006)]

**Maxima
1000 hPa**

Significant Trends of O₃ per 20 year period based on the extreme (min or max) monthly means per year. The area with $R^2 < 0.3$ are masked.

**Minima
1000 hPa**



FP5-RETRO

Introduction

LMDz-INCA

INCA vs
Observations

Tendances &
Variabilité
Interannuelle

Transport
Intercontinental

Changements
Futurs

Impacts

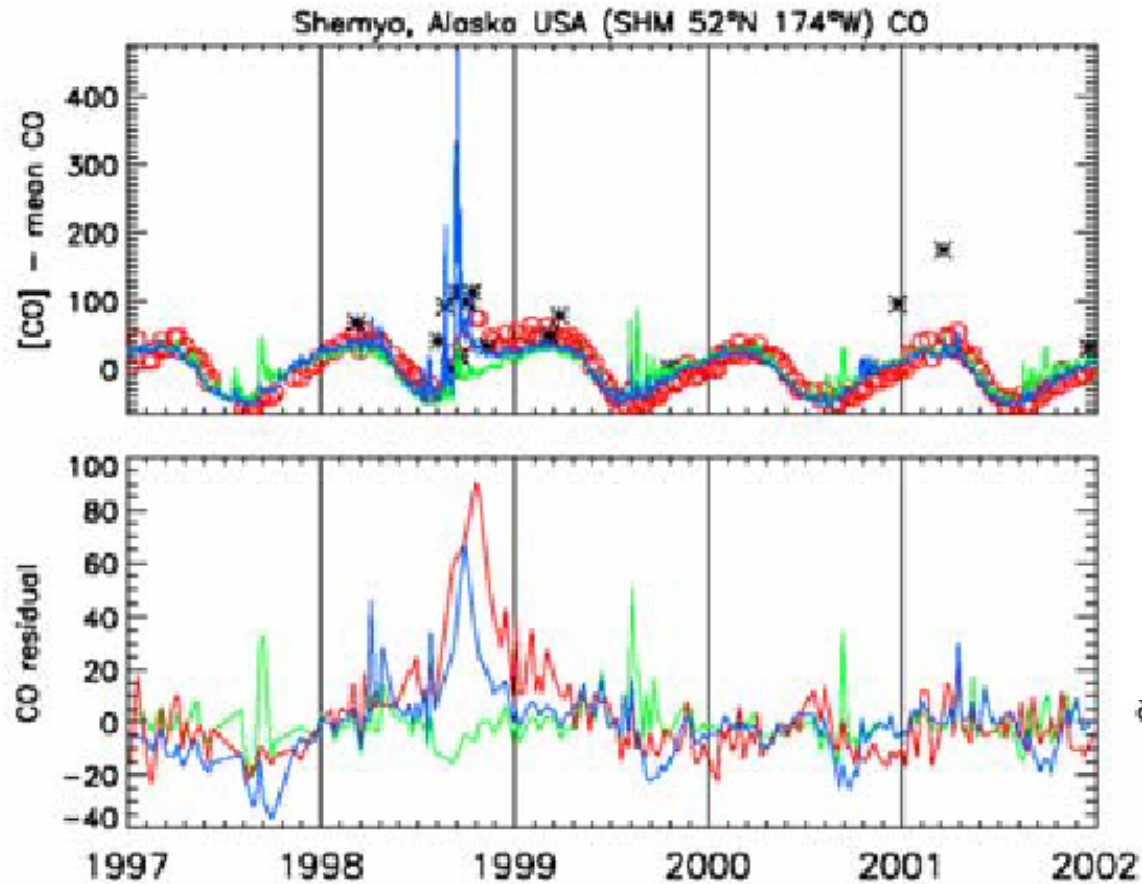
Mitigation

Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Variabilité interannuelle

Variabilité du CO liée à la variabilité interannuelle des feux de biomasse



o and ___ NOAA/ERSL measurements (* correspond to non-background data)

___ BB_CLIM simulation

___ BB_VAR simulation

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Szopa et al. GRL, 2007

L'initiative internationale HTAP (Hemispheric Transport of Atmospheric Pollutants)

- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr



51 parties in Europe, North America, and Central Asia

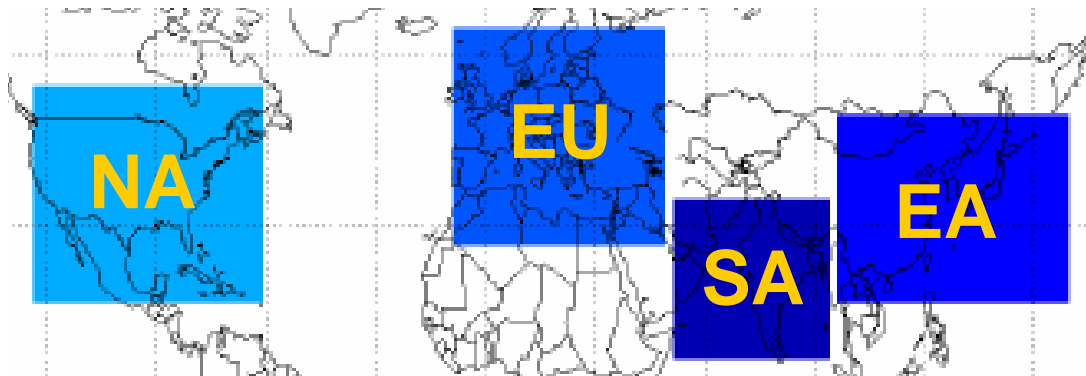


Objectif général : Connaissance du transport hémisphérique de pollution de l'air pour futures négociations du protocole de Göteborg CLRTAP de sur l'acidification, l'eutrophisation et l'O₃ troposphérique (CLRTAP: Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution)

OBJECTIFS: Quantifier relations S-R pour les régions HTAP et évaluer l'incertitude de ces estimations

Exercices multimodèles: > 25 équipes de modélisation impliquées

Régions HTAP Source-Récepteur



Espèces visées:

- Ozone et précurseurs
- Aérosols et précurseurs
- Mercure
- Persistent Organic Pollutants
- Traceurs idéalisés

PRODUITS:

2007 Interim Report (www.htap.org).
2009 Assessment Report

L'expérience source-récepteur (S-R) pour l'ozone

Introduction

LMDz-INCA

INCA vs
Observations

Tendances &
Variabilité
Interannuelle

Transport
Intercontinental

Changements
Futurs

Impacts

Mitigation

Perspectives

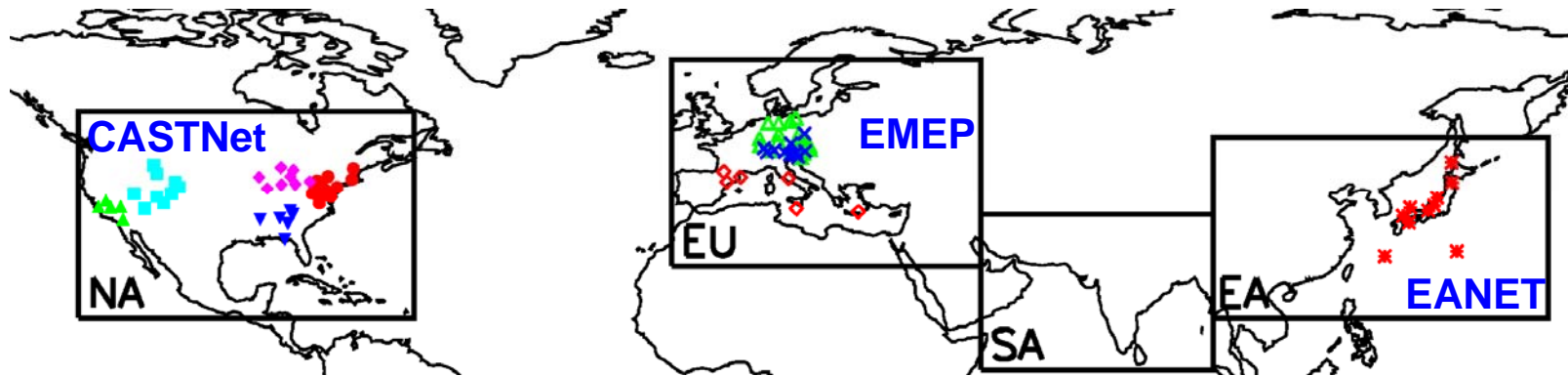
21 modèles globaux

SIMULATION DE REFERENCE

- résolution horizontale de $1 \times 1^\circ$ à $4 \times 5^\circ$
- météo de 2001
- émissions 2001 : "meilleure" estimation de chaque équipe
- méthane fixé: 1760 ppb

S-R SIMULATIONS (17 total) avec réduction de 20% de

- des émissions **anthrop.** de NO_x , CO, NMVOC régionales (tour à tour => 4x3 simulations)
- des émissions **anthrop.** régionales de tous les précurseurs d' O_3 (4 simulations)
- méthane global (à 1408 ppb)



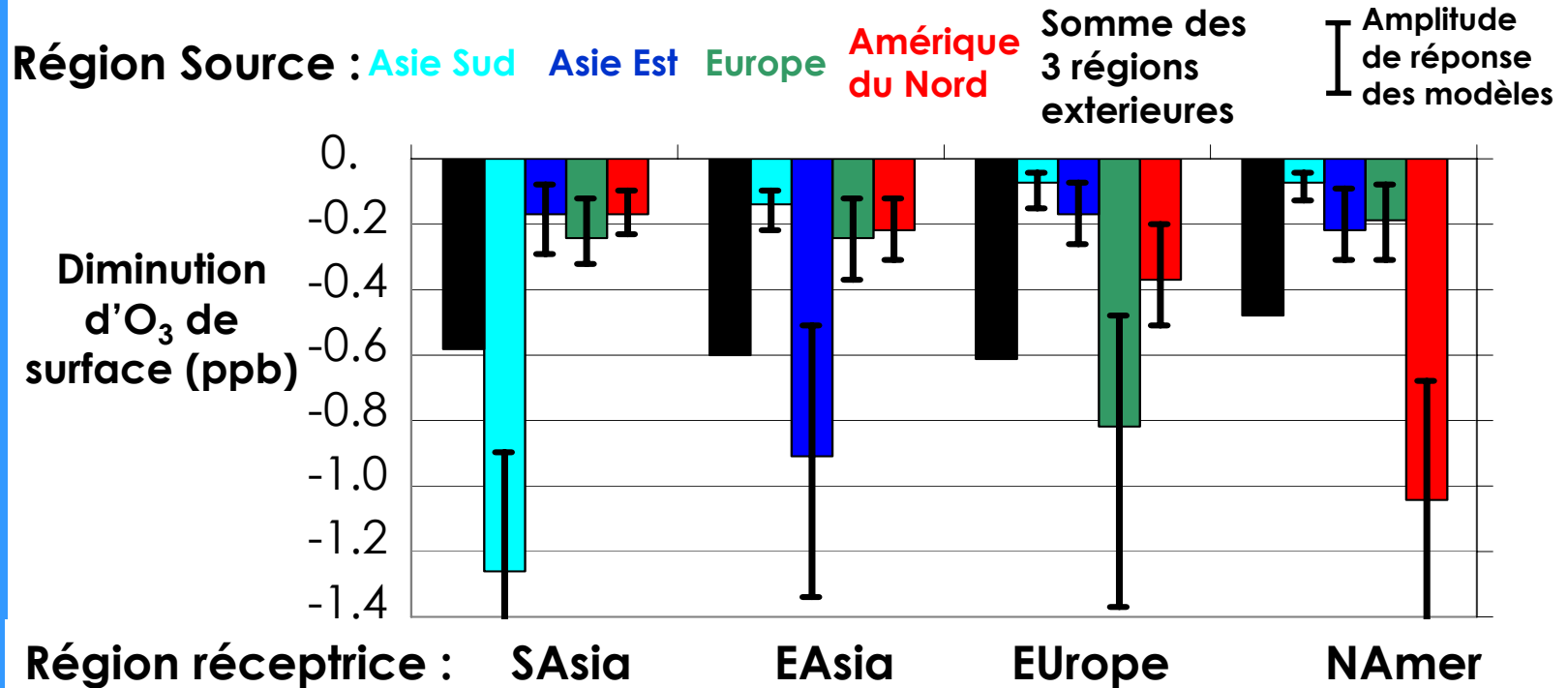
REGIONS HTAP

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

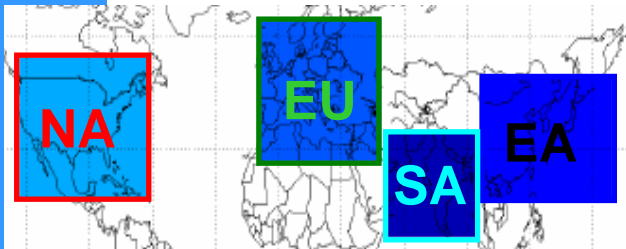
Fiore et al. JGR, in press

Relations Source-récepteur: Moyenne annuelle d'O₃ surface

20% réduction des émissions anthropiques de NO_x+CO+NMVOC



Fiore et al. JGR, in press



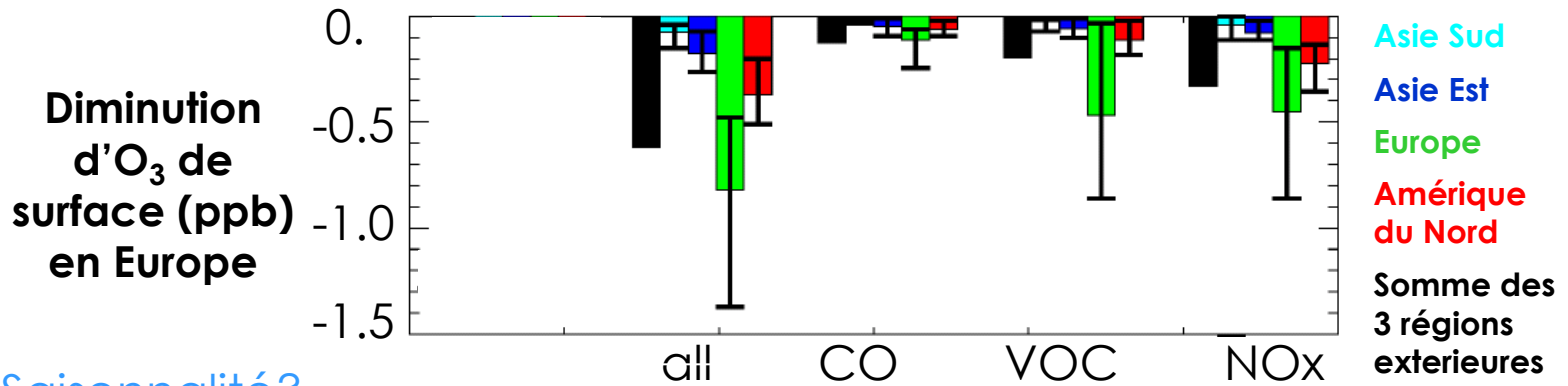
$$\frac{\Sigma(-20\% \text{ emis. anthrop. extérieures})}{-20\% \text{ emis. anthrop. intérieures}} = 0.45-0.75$$

- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives

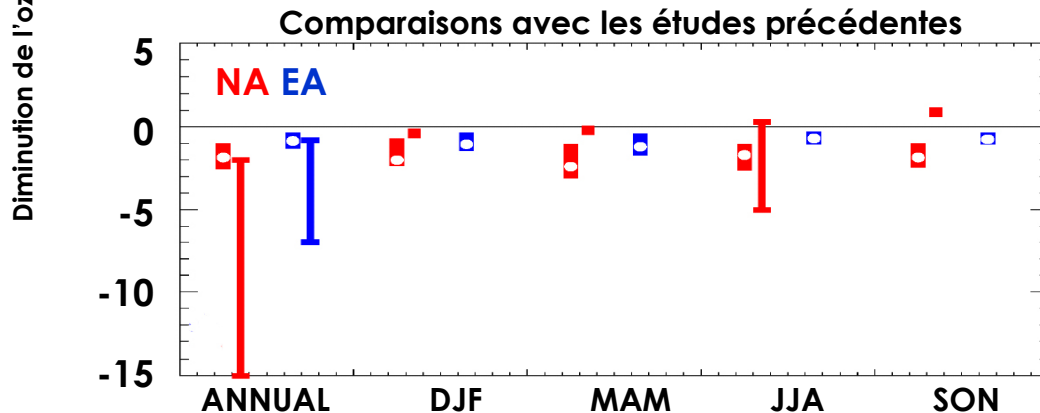
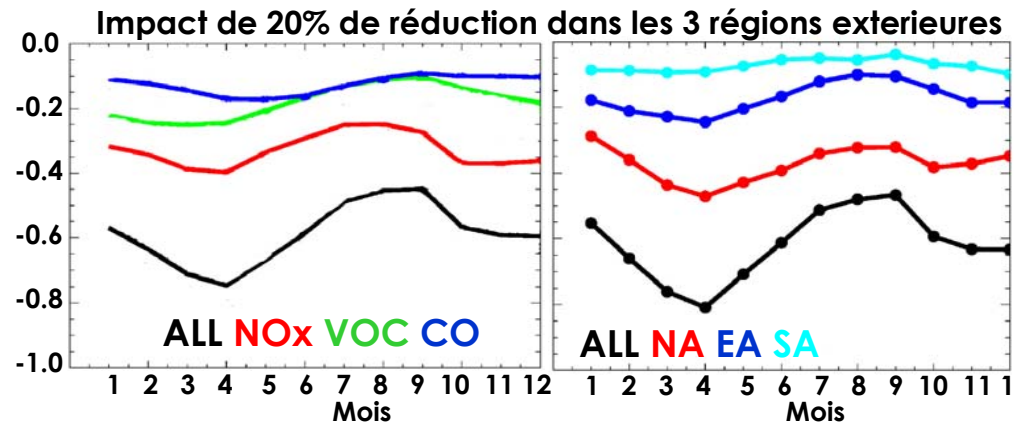
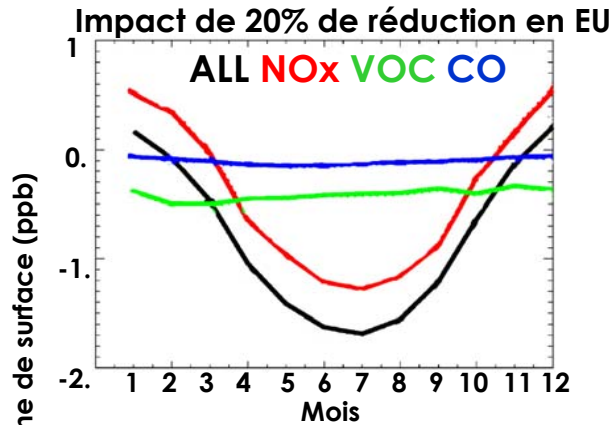
Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Relations Source-récepteur : Europe – zone réceptrice

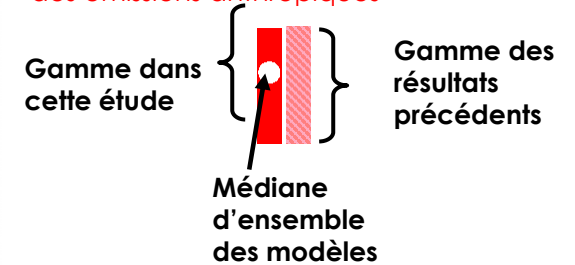
- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives



Saisonnalité?



réponse ramenée à 100% de réduction des émissions anthropiques



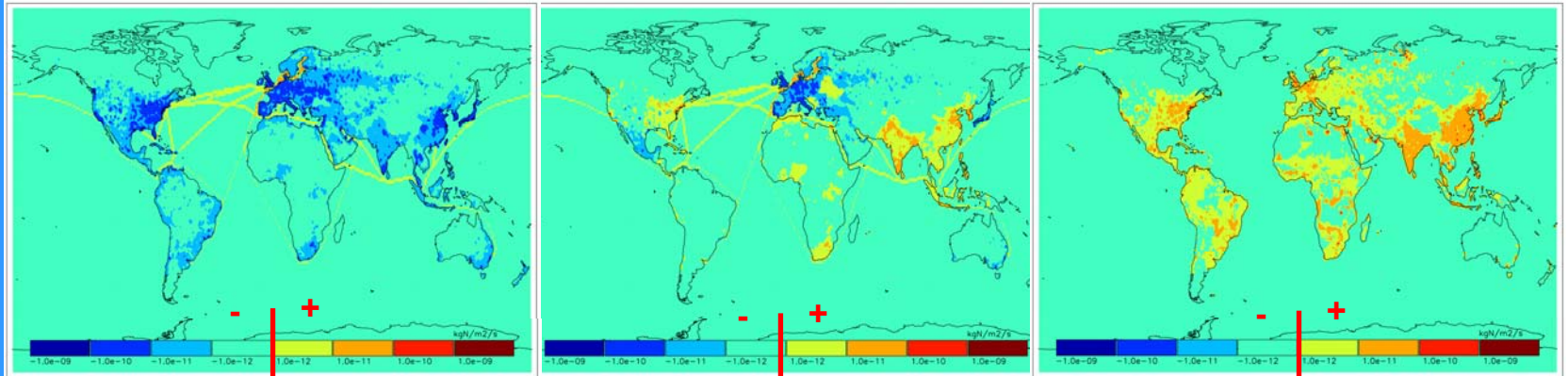
Fiore et al. JGR, in press

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Changements futurs des émissions anthropiques

Introduction
 LMDz-INCA
 INCA vs Observations
 Tendances & Variabilité Interannuelle
 Transport Intercontinental
 Changements Futurs
 Impacts
 Mitigation
 Perspectives

Changements d'émissions de NOx (2030-2000)



Max. Feasible Reductions

(MFR): full implementation of the presently available emission control technologies
 + maintaining the projected levels of anthropogenic activities

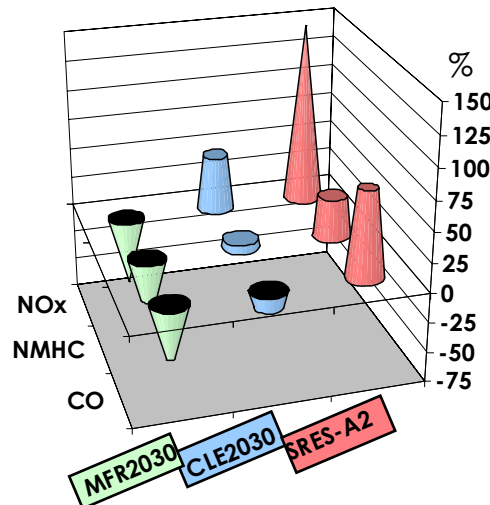
Current Legislation

(CLE): current perspectives of individual countries on future economic development
 + anticipated effects of presently decided emission control legislation in the individual countries

SRES-A2

Scenario « optimiste »

Changements relatifs d'émissions continentales (2030 par rapport à 2000) pour l'Asie



Scenario « pessimiste »

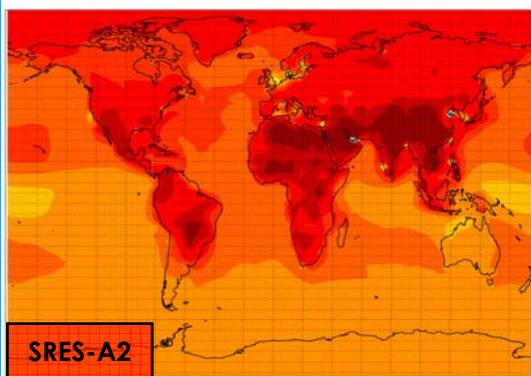
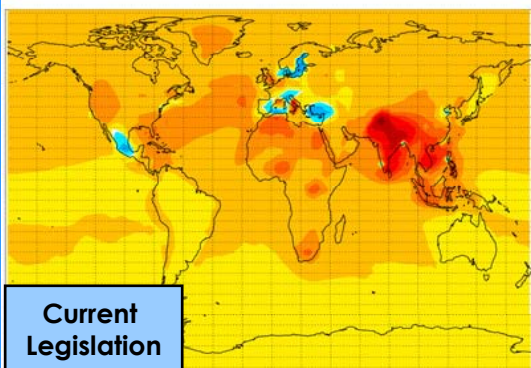
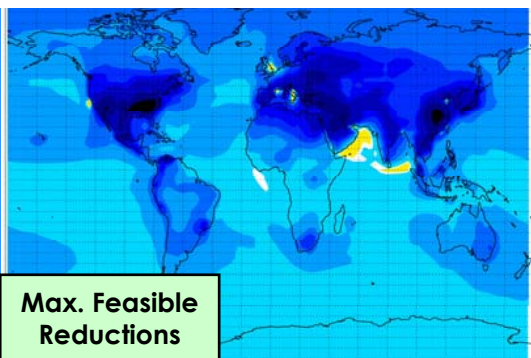
*Projet international Photocomp
 préparation AR4 IPCC*

Sophie Szopa
 LSCE
 sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Changements futurs d'ozone à l'échelle globale

Dentener et al. 2006

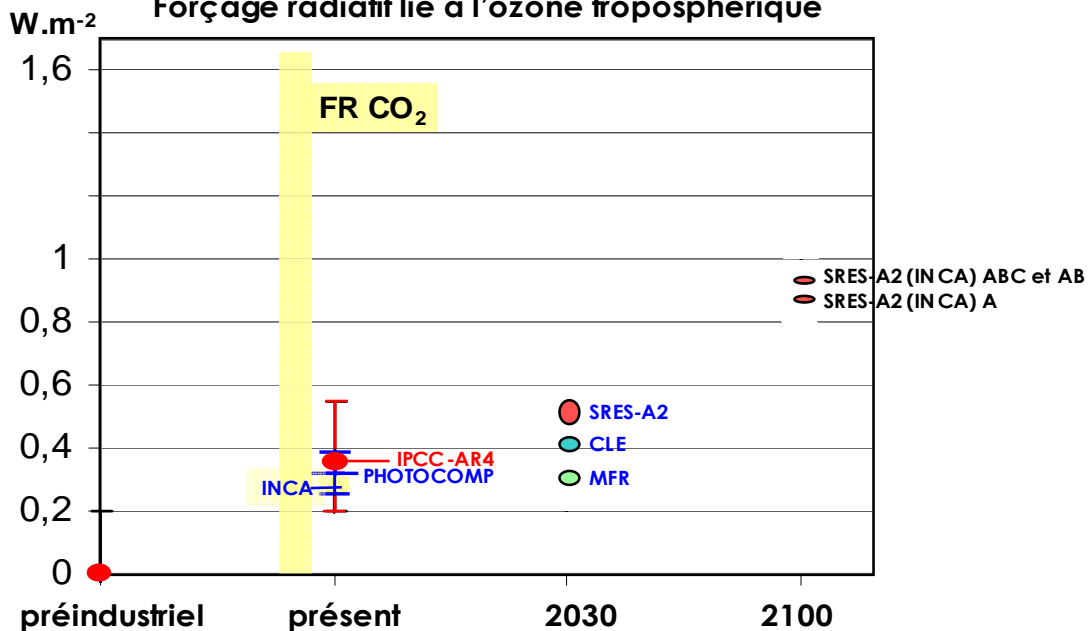
Différences d'ozone de surface en été en 2030 (comparé à 2001) simulé avec LMDz-INCA



Changements induits en 2030 (moyenne de 26 modèles $\pm 1 \sigma$)

	Δ Surface O ₃ (ppb)	Δ Forçage radiatif (W.m ⁻²)	% de surface terrestre exposée à + de 1gN.m ⁻² .yr ⁻¹
		FR present : 0.35 \pm 0.2	Présent 10%
MFR	- 2.3 \pm 1.1	- 0.045 \pm 0.015	(11 %)
CLE	+ 1.5 \pm 1.2	+ 0.063 \pm 0.015	16 %
SRES-A2	+ 4.3 \pm 2.2	+ 0.155 \pm 0.037	25 %

Forçage radiatif lié à l'ozone troposphérique



➡ Quel impact sur la qualité de l'air en Europe?

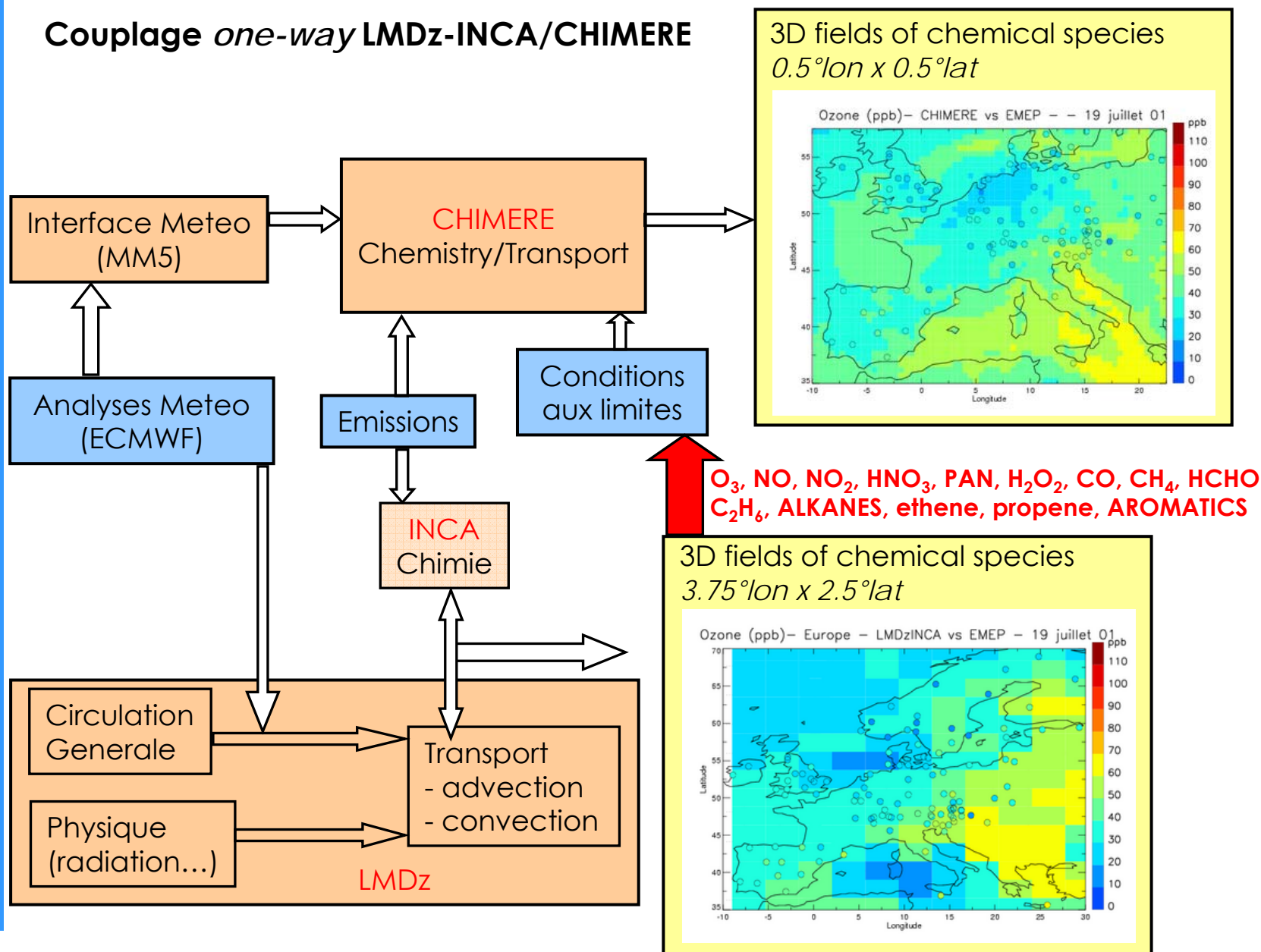
- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

De l'échelle globale à l'échelle régionale

Couplage *one-way* LMDz-INCA/CHIMERE

- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives



Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lscce.ipsl.fr

Impact des changements d'émissions en Europe vs reste du monde

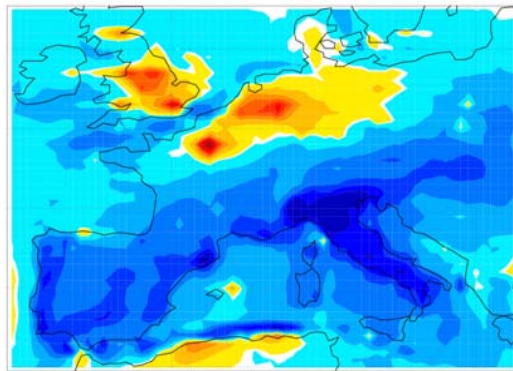
Changements en Ozone de surface (ppb) en Juillet
2030-2000

Simulations CHIMERE
+ conditions aux limites LMDz-INCA

ppb

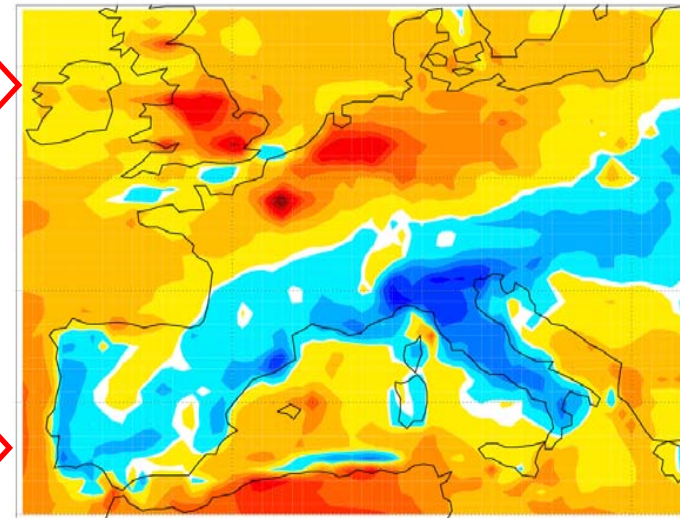
- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives

Emissions en Europe 2030
Conditions aux limites 2000

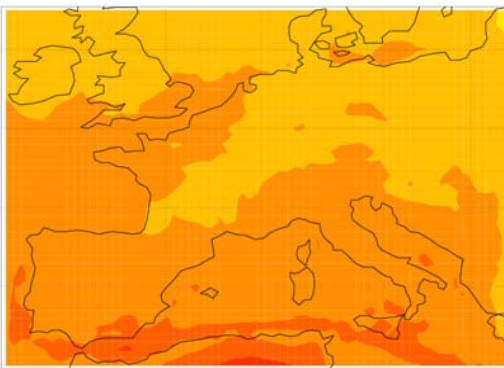


Scenario "Current legislation"

Changements des émissions en Europe seulement

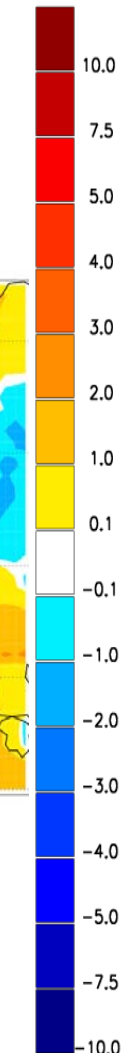


Changements liés à la modification du fond d' O₃



Emissions en Europe 2000
Conditions aux limites 2030

Sur tout l'été, moins de fortes valeurs mais élévation des minimums et donc du niveau de fond d'ozone



Szopa et al. GRL 2006

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Impacts potentiels des changements futurs d'O₃ sur la mortalité prématurée

- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

$$\Delta_{\text{mortalité}} = - (y_0) (e^{-\beta \Delta O_3} - 1) \cdot \text{population}$$

WHO_baseline non accidental mortality (per region)

Mortality coefficient = fraction de mortalité en excès par ppb d'O₃

Scénarios d'émissions anthropiques en 2030

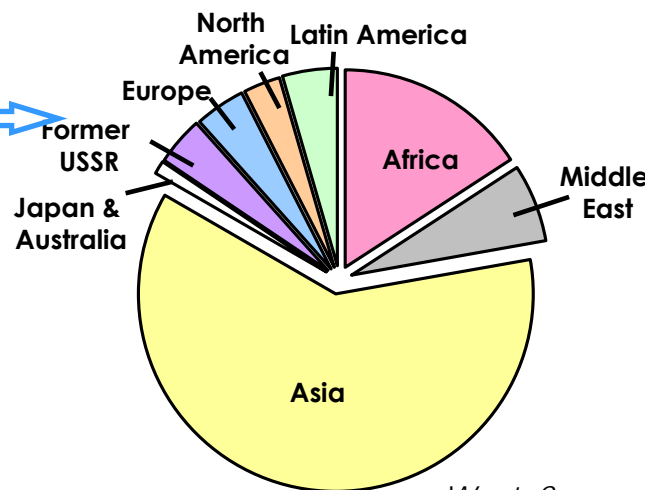
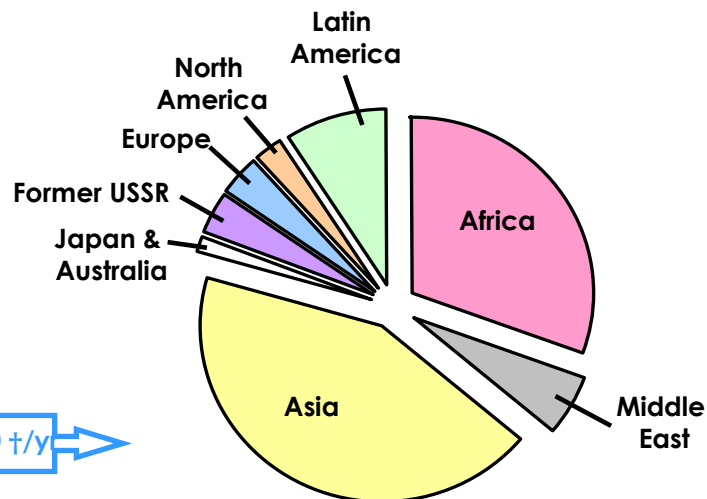
Max. Feasible Reductions

~191 000 †/y

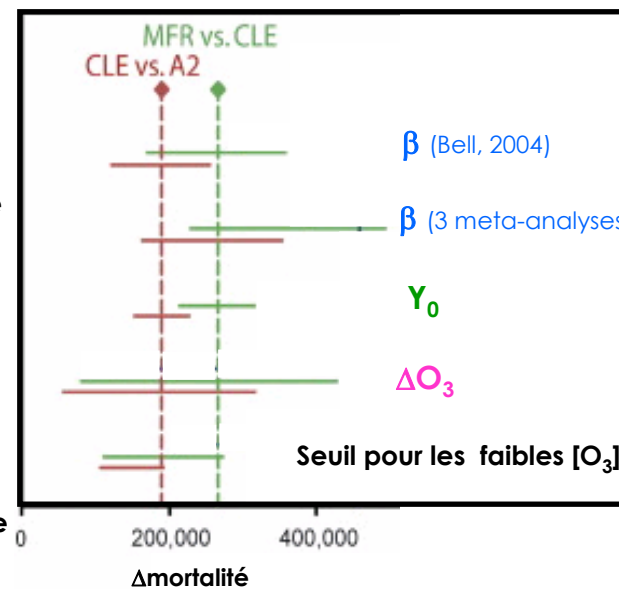
Current Legislation

~267 000 †/y

SRES-A2



Incertitudes liées aux paramètres utilisés



191 000
267 000

West, Szopa & Hauglustaine, CRAS-Geoscience 2007

Impacts potentiels des changements futurs d'O₃ sur la biosphère continentale

Introduction
LMDz-INCA
INCA vs
Observations
Tendances &
Variabilité
Interannuelle
Transport
Intercontinental
Changements
Futurs
Impacts
Mitigation
Perspectives

Contexte

Dépôt d'O₃ => diminution de la photosynthèse
=> Fermeture stomatale } => diminution de l'incorporation de CO₂
=> Accumulation de CO₂ dans l'atmosphère

⇒ Effet sur impact radiatif indirect de O₃ via vegetation serait > à effet direct (Sitch et al. 2007)

Méthode

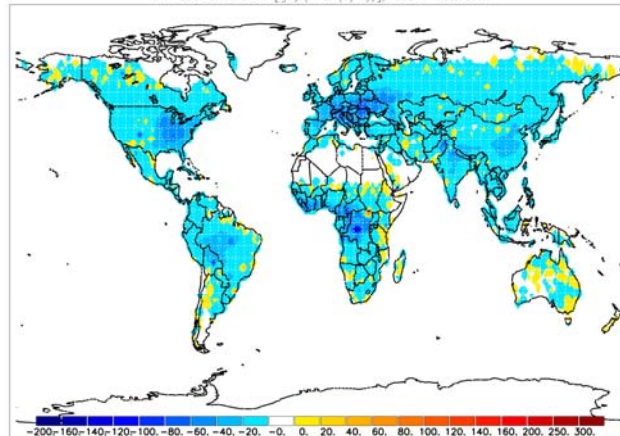
Ozone simulé par INCA



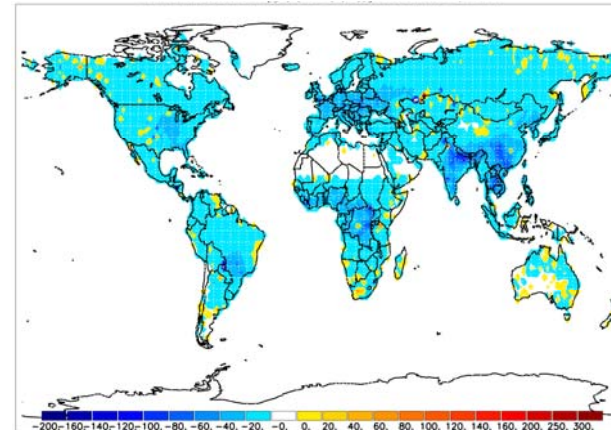
ORCHIDEE

Paramétrisation de l'impact
de l'O₃ sur la végétation

Impact de l'ozone actuel par rapport au préindustriel



Impact de l'ozone 2030 par rapport au niveau actuel
(climat et CO₂ actuels)



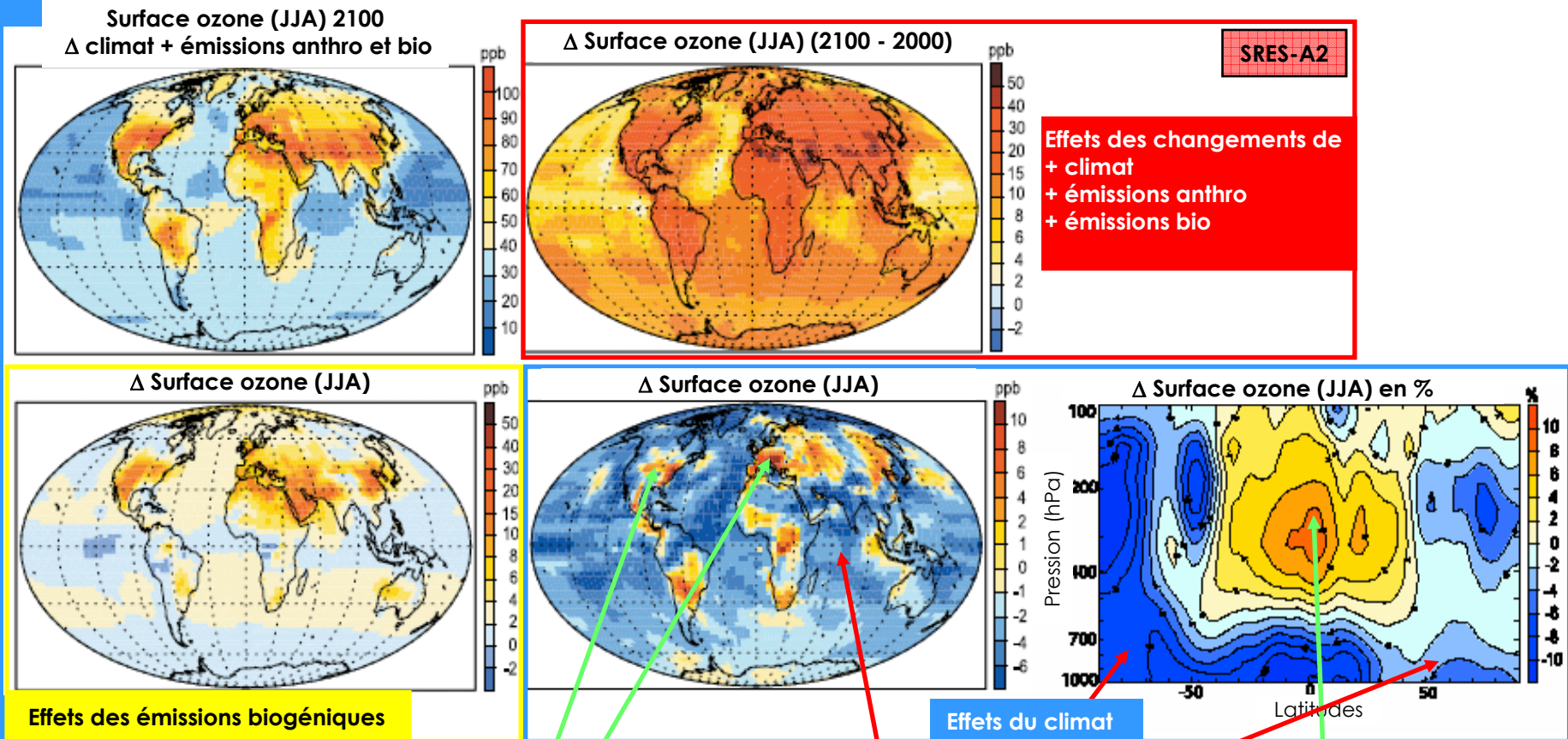
Scenario
SRES-A2

Differences de NPP (gC/month/m²)

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Travail en cours : Szopa, Friedlingstein, Lathière, Viovy, Ciais

Quelle évolution avec les changements climatiques ?



T augmente => PAN destruction augmente => O3 augmente

O3 diminue où destruction photochimique par H2O prédomine

Modif convection => Augmentation des éclairs => 50% de NOx en + => augmentation d'O3
+ de circulatio BD donc + de STE

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

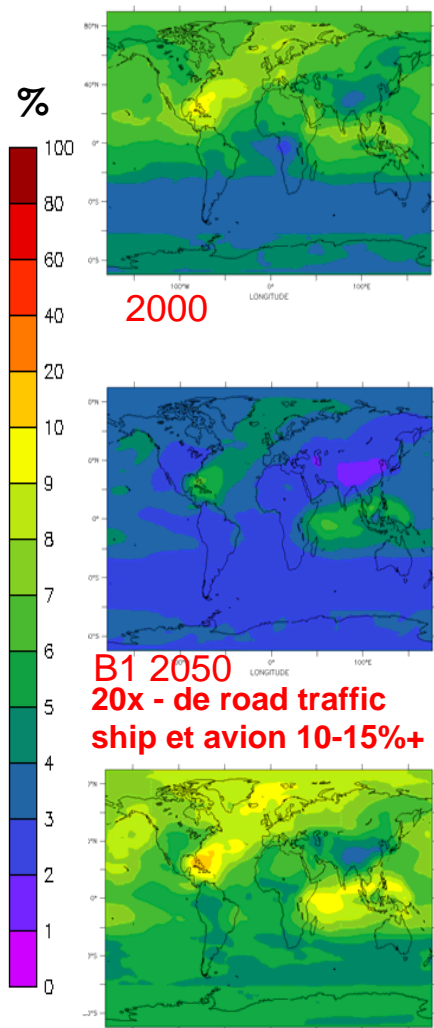
Hauglustaine, Lathiere, Szopa, Folberth, GRL 2005.

Perturbation de l'Ozone due aux émissions par les transports road+ship+plane

- Introduction
- LMDz-INCA
- INCA vs Observations
- Tendances & Variabilité Interannuelle
- Transport Intercontinental
- Changements Futurs
- Impacts
- Mitigation
- Perspectives

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr

Tropo O₃ column (%)

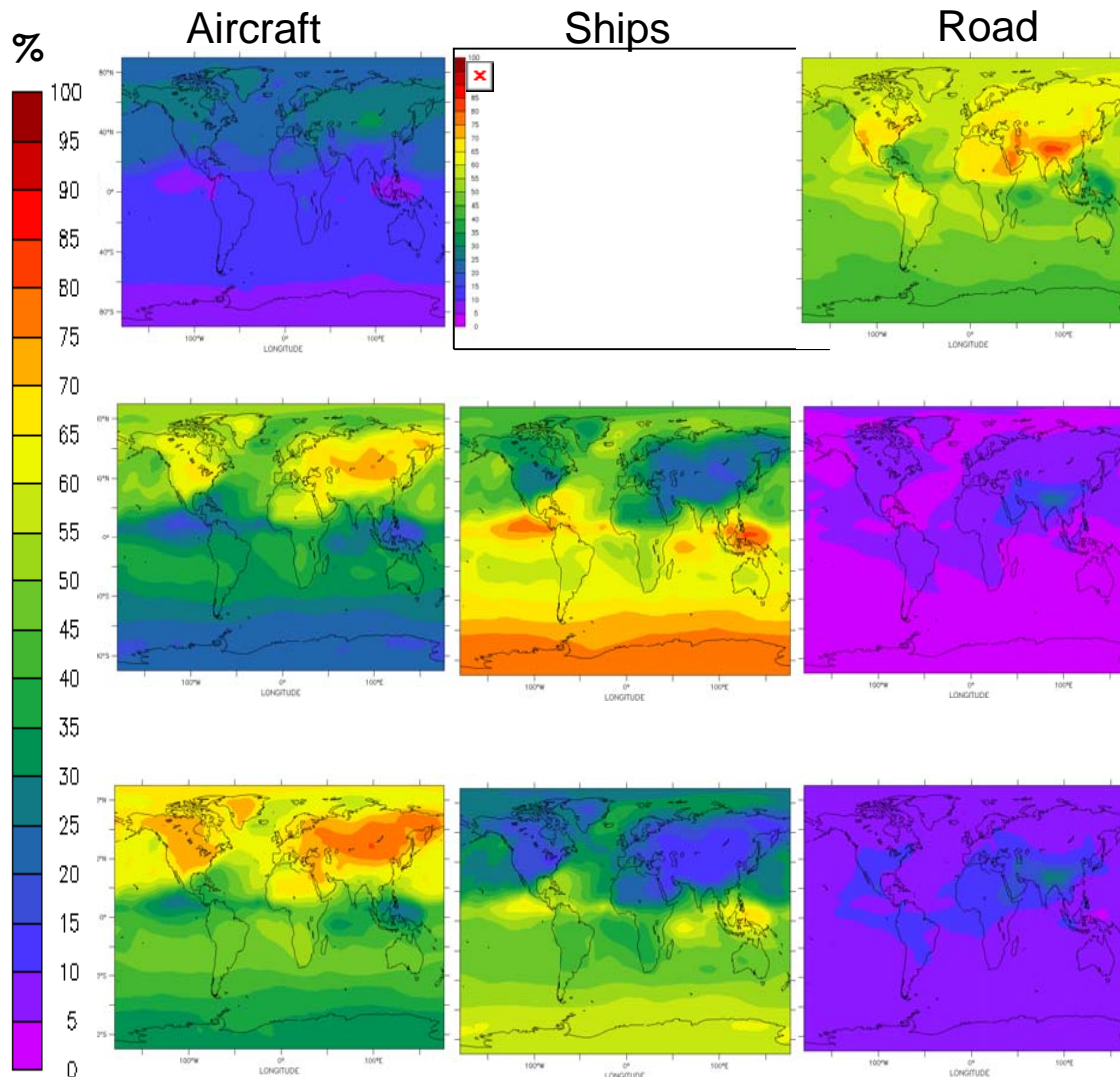


2000

B1 2050
20x - de road traffic
ship et avion 10-15%+ / 200

A1B 2050
4x - de road traffic ; 2x +
de ship ; 4x + d'avions

Respective contributions to O₃ column perturbation (%)



Perspectives

Introduction

LMDz-INCA

INCA vs
Observations

Tendances &
Variabilité
Interannuelle

Transport
Intercontinental

Changements
Futurs

Impacts

Mitigation

Perspectives

- Modification schéma chimique des NMHC
- Evaluation sur plus de composés (e.g. oxygénés)
- Version 1x1°
- Run ACC-MIP (1850 > 2000 timeslices tous les 10 ans avec chimie et aerosols) + Scenarios RCP
- Interactions chimie/biosphère terrestre

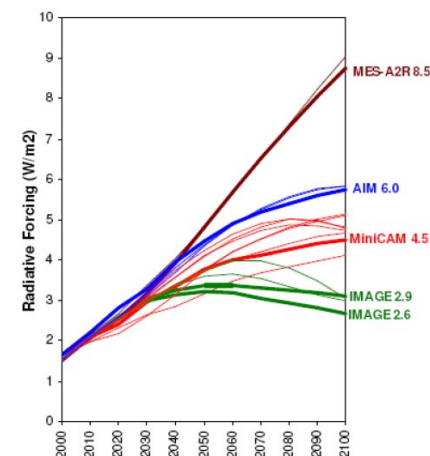


Figure 5.1: Radiative forcing compared to pre-industrial for the RCP candidates. Thick lines denote the RCPs selected for the ESM experiments, including the extension to 2300.

Sophie Szopa
LSCE
sophie.szopa@lsce.ipsl.fr