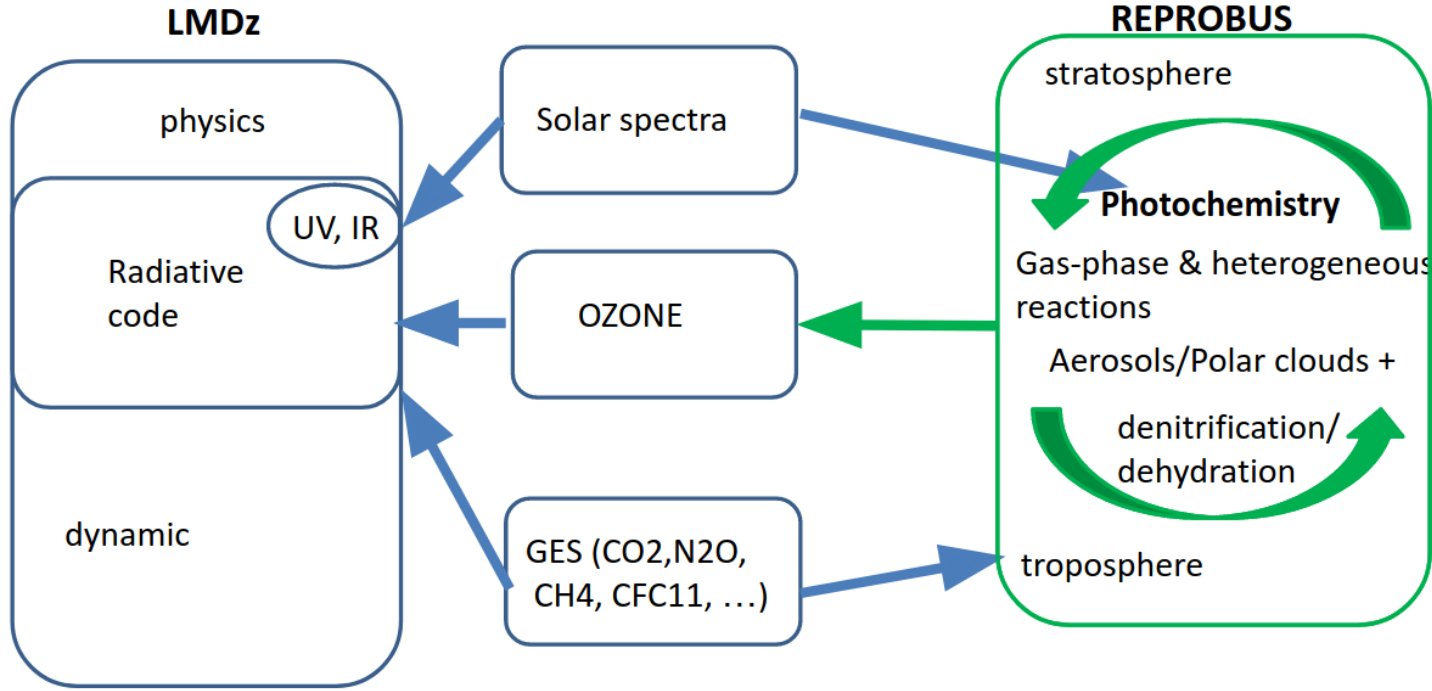


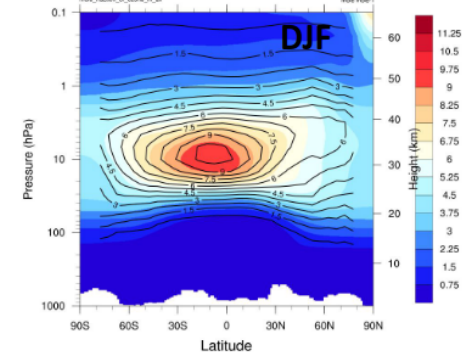
Quel avenir pour les modèles  
de chimie aérosols ?  
À l'IPSL

# Reprobus

Marion Marchand, Slimane Bekki, Franck Lefèvre, Lola Falletti, David Cugnet  
+ Francois Lott on stratospheric dynamics



O3 ( $10^{-6}$ ) - 1991-2002 (DJF) - LMDzrepr\_v6 and HALOE



# Reprobus

## AIMS:

- LMDZ6-Reprobus: carry on evaluation + simulations in the future.
- New configuration: LMDZ6-Reprobus + NEMO (in ESM)
- REPROBUS: new chemistry Solver (ASIS), already implemented for Mars and Venus atmospheres (Franck Lefevre)
- Soufre isotopes: before starting, check that mass conservation and isotopes correlations are quasi-perfectly respected in Reprobus + Advection
- Volcanic emission: H<sub>2</sub>O, Halogen, NO<sub>x</sub> => coupled configuration LMDZ + StratAER + REPROBUS

## THEMES:

- Past/future strato o<sub>3</sub> evolution – climate interactions
- Impact of solar variability and volcanique eruption

# Strataer

## Presentation:

Sectional aerosol model simulating the formation and evolution of for stratospheric sulfate aerosols including microphysical processes.

## History:

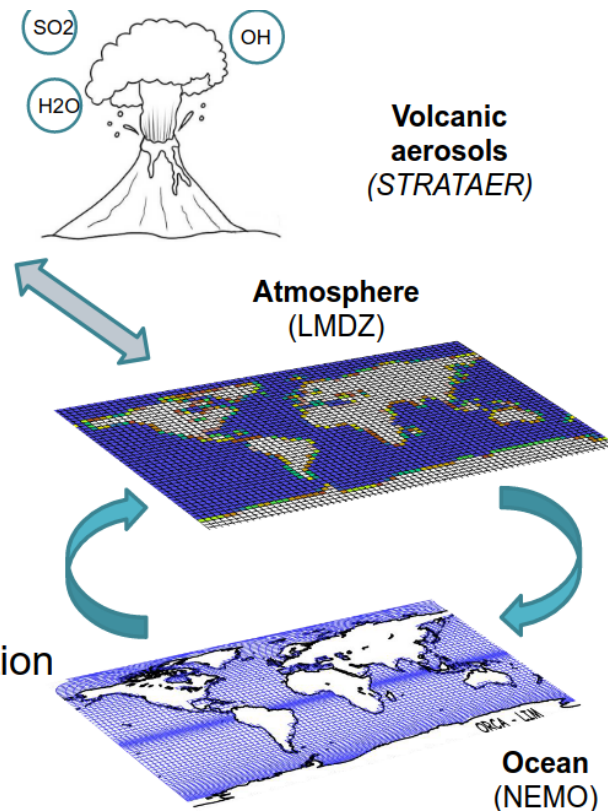
- First version with LMDZ5 (Kleinschmitt, 2017)
- Adapted to IPSLCM6-LR model
- Used for GeoMIP experiments and model inter-comparison (VolMIP-Tambora, Clyne, 2020)
- Actually available in LMDZ trunk using CPP key

## On going :

- Addition of new process (OH reduce, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> photolysis)
- Include CH<sub>4</sub> oxidation to improve stratospheric H<sub>2</sub>O representation
- Multi-injections routines (ex: volcanic sulfur, H<sub>2</sub>O, halogens)
- Coupling with stratospheric chemistry module REPROBUS

## Perspective:

- Coupling with the tropospheric chemistry module INCA



Coupled model Ocean-Atmosphere  
with interactive volcanic aerosols

# Inca

**Interactions avec la Chimie et les Aérosols.** Simulation de la chimie troposphérique et stratosphérique, des différents types d'aérosols, des échanges de COV et d'azote ( $N_2O$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$ ) avec la biosphère continentale/sols (modèle ORCHIDEE) en lien avec le climat présent, futur, et passé (paléo).

## Utilisation en 3D dans le modèle couplé de l'IPSL (CM5 et CM6) – Earth System Model (ESM)

- Plusieurs versions suivant les applications envisagées. Version avec uniquement les gaz à effet de serre de longue durée de vie ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , ...) et oxydants en forçages, avec uniquement aérosols, et/ou avec chimie troposphérique, et/ou avec chimie stratosphérique.
- Chimie troposphérique : hydrocarbures explicites jusqu'aux C4 + isoprène + terpènes (gén.) + aromatiques (gén.) (Hauglustaine et al., 2004; Folberth et al., 2006). Environ 100 espèces chimiques. 300 réactions homogènes + 70 photolyses + 40 hétérogènes.
- Chimie stratosphérique (Terrenoire et al., 2022). Environ 30 espèces chimiques supplémentaires.
- Différents types d'aérosols troposphériques. Environ 20 espèces supplémentaires. 3 modes + solubles/insolubles. Pas d'échanges entre les modes et distributions en taille imposées. Sulfates, Nitrates, BC, OC, SOA, Poussières, Sels marins. Interactions hétérogènes avec la chimie en phase gazeuse.
- Solveur INCAXx: pré-processeur chimique et combinaison de méthodes explicite ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , CFCs, ...) et implicite (EBI) pour les autres espèces avec un nombre d'itérations variable suivant que la convergence est atteinte ou pas. Pas de temps identique à la physique du GCM (30 minutes). Photolyses: *look-up* table préparée avec TUV + correction interactive pour nébulosité.
- Résolution horizontale fixée par le GCM. En standard actuellement :  $2.5^\circ$  long. X  $1.3^\circ$  lat. et 79 niv verticaux jusqu'à 80 km. Versions haute résolution ( $1^\circ \times 1^\circ$  ou grille variable avec DYNAMICO) en développement.
- Préprocesseur pour émissions des précurseurs (INCAflx). Emissions à la surface ou en altitude (aviation, combustion de la biomasse). Emissions lues avec une résolution temporelle en général de 1 mois ou calculées (éclaircs, BVOC).

# Inca

## En cours :

- Finalisation couplage avec le modèle ORCHIDEE surfaces continentales et sols (émissions) pour les composés azotés ( $N_2O$ ,  $NH_3$ ,  $NO$ ), les COV et soufrés.
- Couplage avec le modèle de chimie marine PISCES pour émissions d'espèces soufrées, COV et azotées.
- Actualisation de la chimie troposphérique (halogénés dans la troposphère, glyoxal).
- Ajout d'un 4<sup>e</sup> mode pour les aérosols désertiques.

## Prévus :

- Couplage avec le modèle de surfaces continentales pour prise en compte du dépôt sec à la surface.
- Couplage avec le modèle surfaces continentales (émissions et dépôts) pour le phosphore et Fe.
- Couplage avec un modèle interactif de feux pour espèces gazeuses et aérosols.
- Couplage avec modèle d'aérosols stratosphériques (STRATAER).
- Etendre le couplage avec la surface pour les échanges de méthane,  $H_2$ , COS.

## Technique :

- Couplage avec la dynamique icosaédrique de DYNAMICO (thèse en cours).
- Travail sur le code pour portage sur les machines exascale (prévu) et GPU (en étude).

# Où va-t-on ?

- Projets propres à chaque modèle
- Cycles biogéochimiques
- Nouvelles architectures de calcul

# Nouvelles architectures de calcul

Horizon 2024 → machine exaflopique

1) Quelle technologie ? → mixte GPU – CPU

2) Quelle manière de coder ? → openacc ? Pré-compileur ? Autre ?



# Portage sur GPU

- 1) Profiler le code
- 2) Localiser le parallélisme
  - 1) Mettre les directives indiquant au compilateur les zones à paralléliser sur GPU
  - 2) Mettre les directives indiquant au compilateur comment gérer les flux de données
  - 3) Optimiser les boucles
- 3) Valider le résultat
- 4) Reprendre à l'étape 1

# Optimisation

Phase du processus d'optimisation → un cas type est constitué des étapes suivantes :

- 1) Profiler le code
- 2) Identifier les ralentissements
- 3) Optimiser
- 4) valider le code sortant
- 5) Reprendre à partir de l'étape 1

Vers un avenir commun ?

# Avantages / inconvénients ?

## Avantages

- Mutualisation des forces d'ingénierie et de recherche
- Faciliter les interactions pour les futurs couplages
- Codes optimisés et propres plus à même d'être portés sur des nouvelles machines

## Inconvénients

- Projet sur du long terme
- Besoin de nouveaux financements
- Temps passé