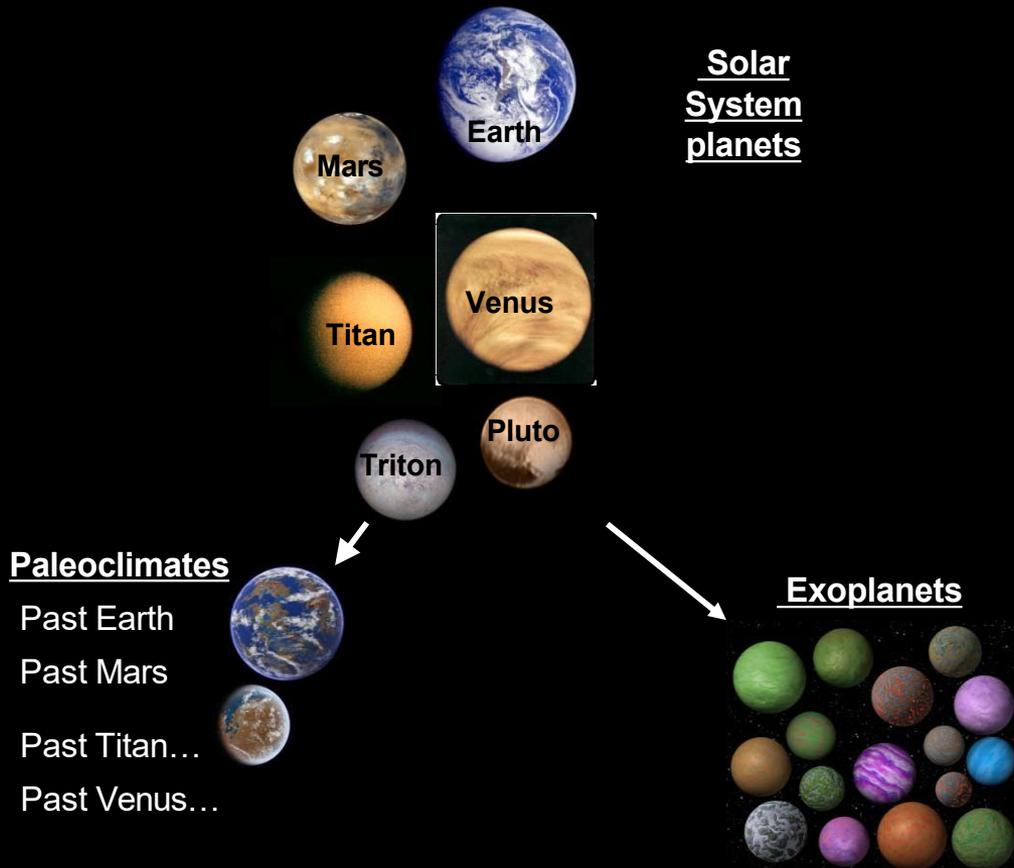
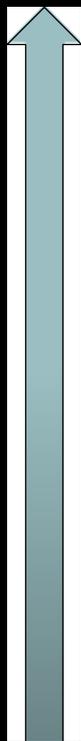


La version planéto de LMDZ Le Generic PCM (Planetary Climate Model)

Martin Turbet, **Ehouarn Millour**,
Francois Forget
et toute l'équipe du Generic PCM

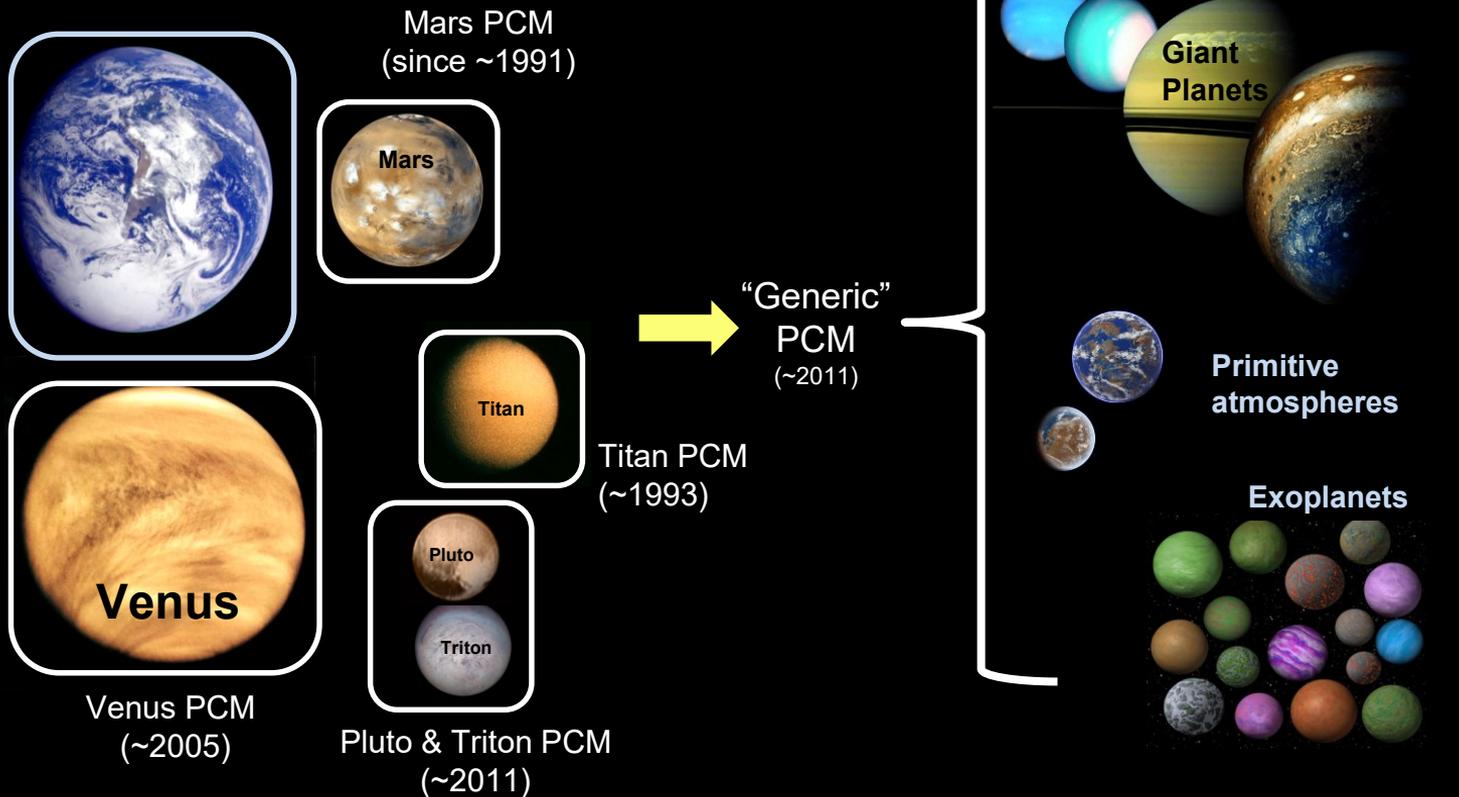
Terrestrial atmospheres one may want to model

Amount of observations available to constrain & test GCMs



Planetary Climate Models created at LMD

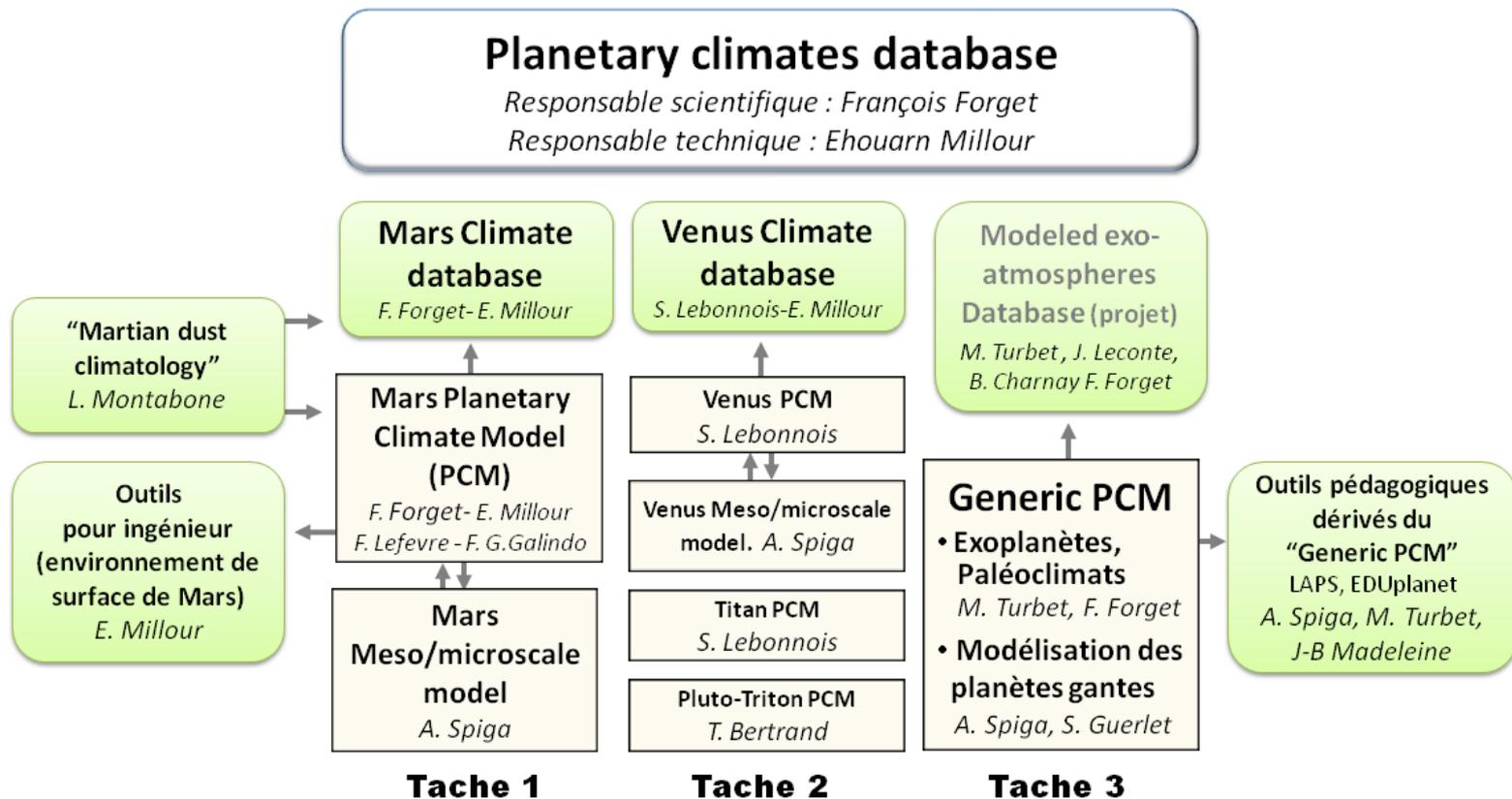
IPSL Earth System Mode
(include "LMZ" atm. GCM)
Since 1970s – 1980s



Organisation autour du Generic PCM

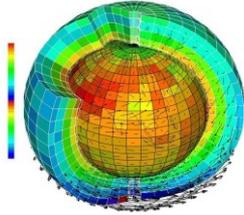
- Equipe de développement (une vingtaine de personnes) géographiquement assez éclatée
 - Région Parisienne : LMD, LATMOS, LESIA,
 - LAB (Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux)
 - Observatoire de Genève
 - IAA (Institut d'Astrophysique d'Andalousie, Grenade)
 - ...
- Réunions bi-hebdomadaires (POULDP) de l'équipe
- Code sous svn (et git) et avec une doc en ligne de type WikiMedia, « à la LMDZ ». <https://lmdz-forge.lmd.jussieu.fr/mediawiki/Planets>

Les “Planetary Climates Databases” labélisées en 2019 en tant que Service National d’Observation (Astrophysique) de l’INSU



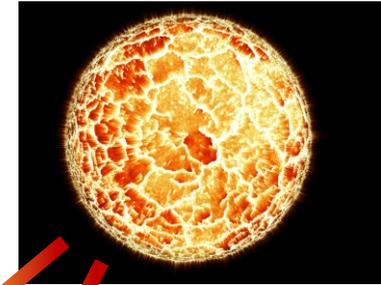
THE GENERIC PLANETARY CLIMATE MODEL

One model to simulate them all



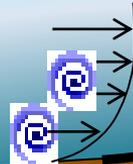
1) Dynamical Core to compute large scale atmospheric motions and transport

6) Photochemistry + hazes and lifted aerosols



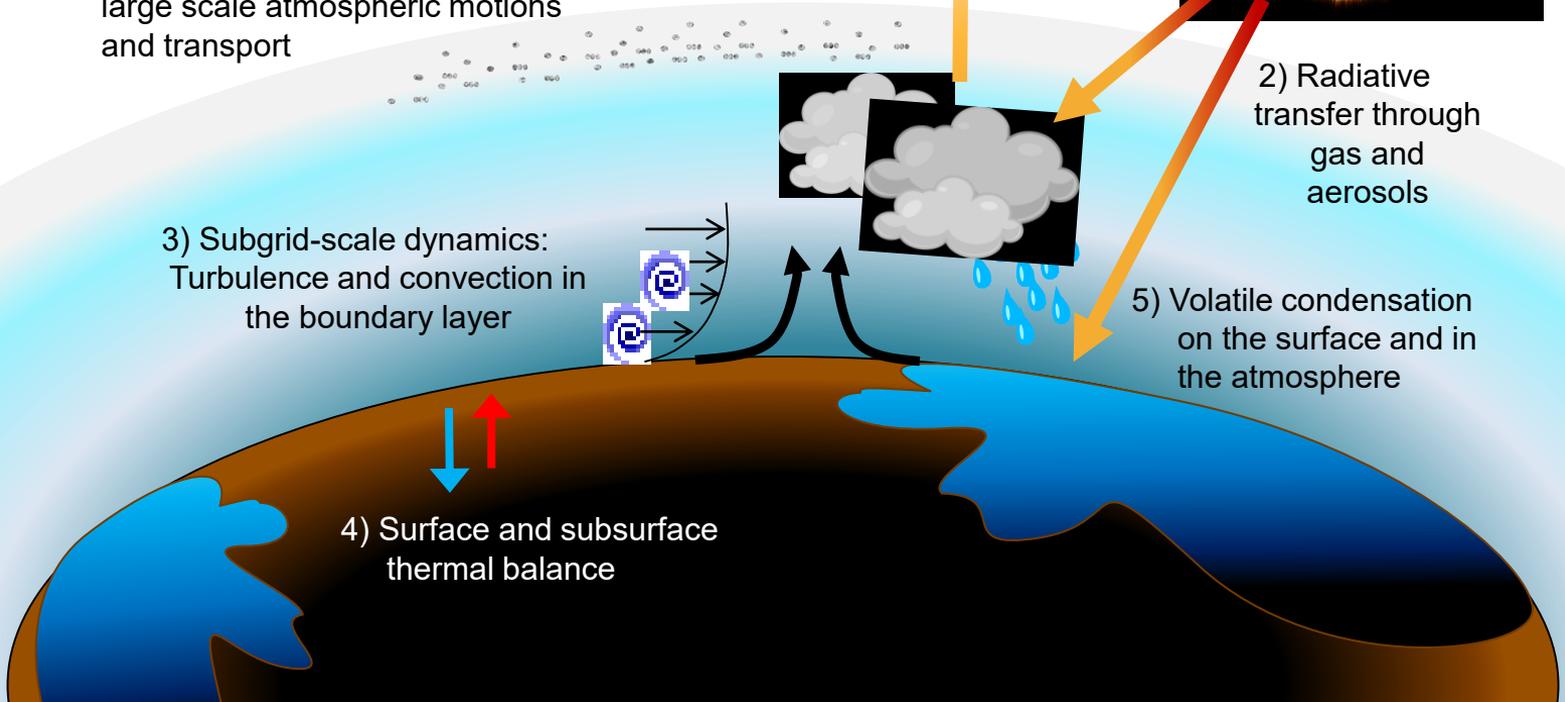
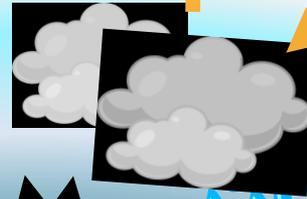
2) Radiative transfer through gas and aerosols

3) Subgrid-scale dynamics: Turbulence and convection in the boundary layer



5) Volatile condensation on the surface and in the atmosphere

4) Surface and subsurface thermal balance



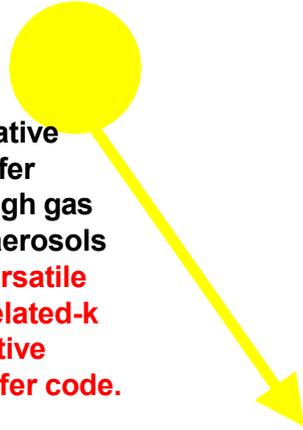
THE GENERIC PLANETARY CLIMATE MODEL

designed to simulate any atmosphere on any terrestrial planet around any star



1) Dynamical Core :
~universal (LMDZ,
DYNAMICO, WRF)

2) Radiative transfer through gas and aerosols
=> A versatile Correlated-k radiative transfer code.



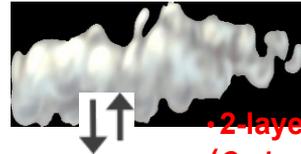
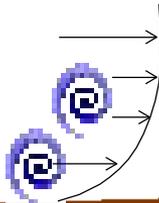
5) Volatile condensation on the surface and in the atmosphere :

- **Robust microphysics:** Fixing mixing ratio of condensation nuclei
- **Modified thermodynamics** to handle condensation of major constituents (H_2O , CO_2 , N_2)



3) Turbulence and convection in the boundary layer

=> Universal turbulent scheme
=> Robust convection scheme



• 2-layer dynamical ocean (Codron 2011):

- Ekman transport
- Dynamic Sea ice

4) Surface and subsurface thermal balance ~universal



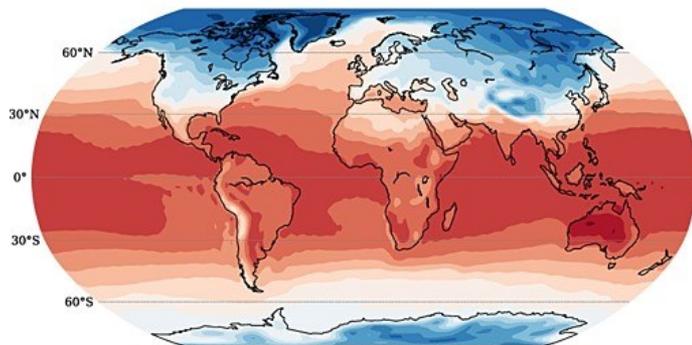
Validation du Generic PCM – simulations de la Terre actuelle

Charnay et al., JGR 2013.

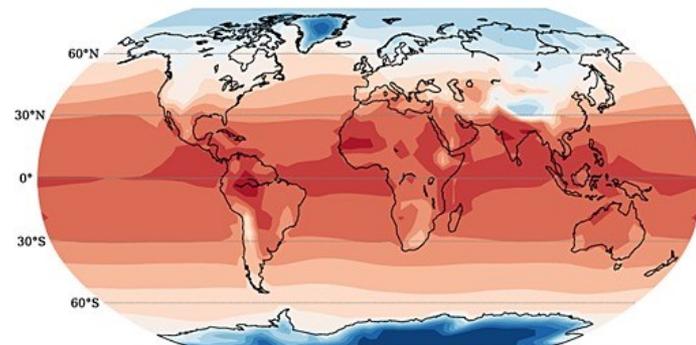
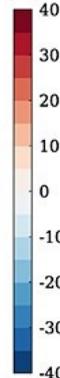
Réanalyses NCEP/NCAR

Generic PCM (64x48x20)

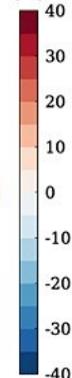
Température
de surface (C)



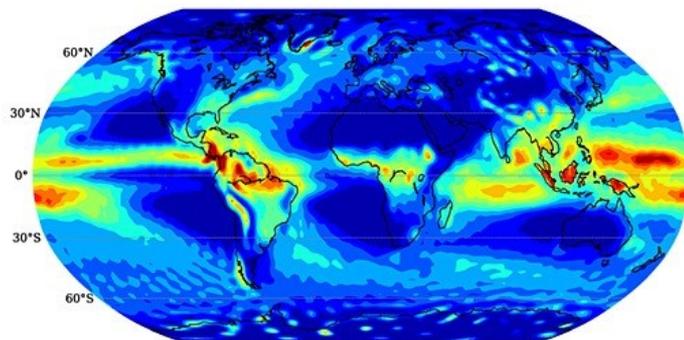
[°C]



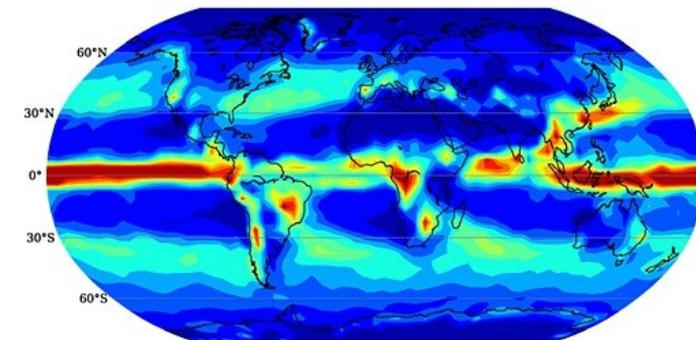
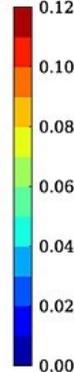
[°C]



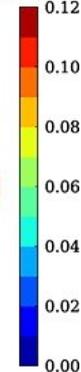
Précipitations
(g/m2/s)



[g m⁻² s⁻¹]



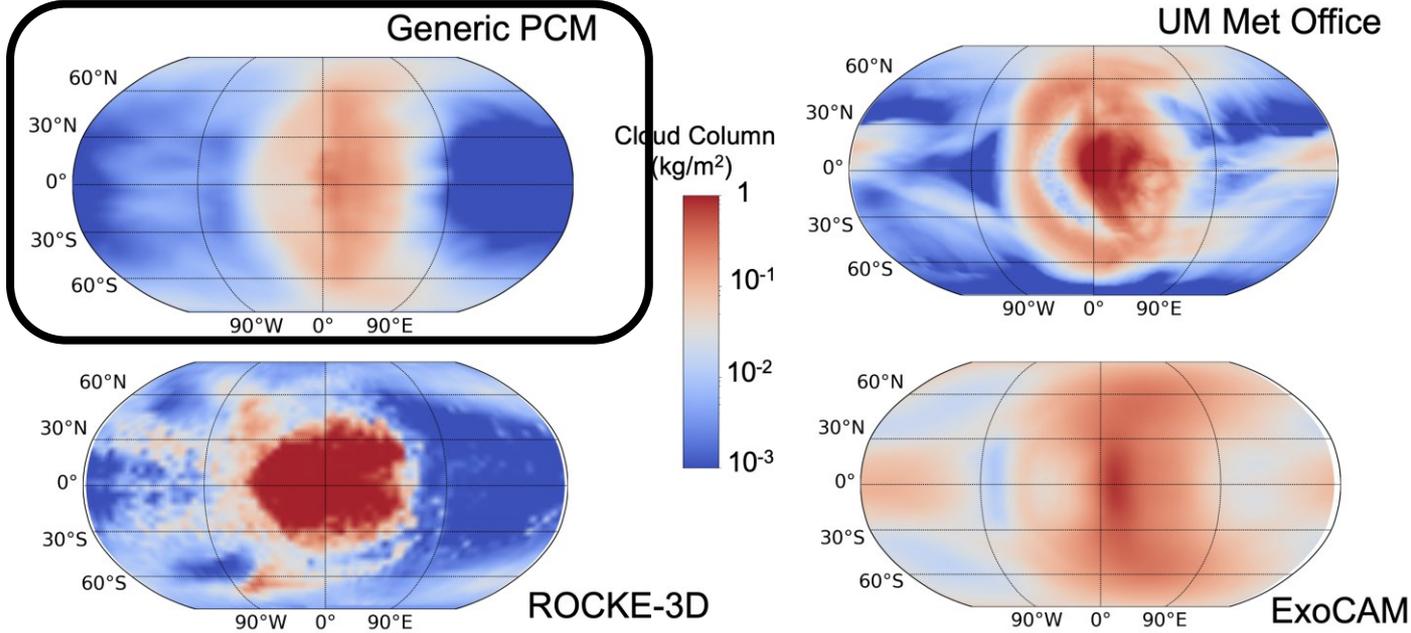
[g m⁻² s⁻¹]



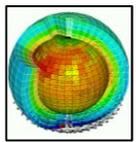
Quelques résultats récents

- Intercomparaison « THAI » de GCM pour les exoplanètes du système TRAPPIST-1
- Démonstration que convection et nuages sont la première source d'incertitude entre les modèles d'exoplanètes, et pour l'interprétation des observations atmosphériques avec le télescope JWST

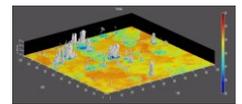
Turbet et al. 2022, PSJ
Sergeev et al. 2022, PSJ
Faucher et al. 2022, PSJ



➤ Revisite de la convection humide au point sub-stellaire des exoplanètes synchrones avec un Cloud Resolving Model (Generic PCM + WRF) => couverture nuageuse réduite (due à l'aggrégation de la convection)

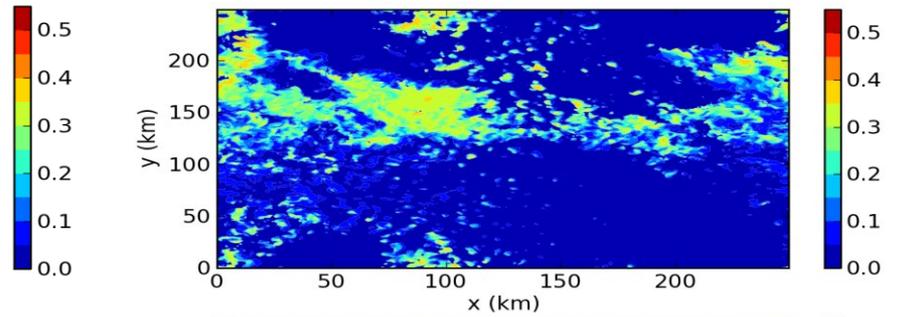
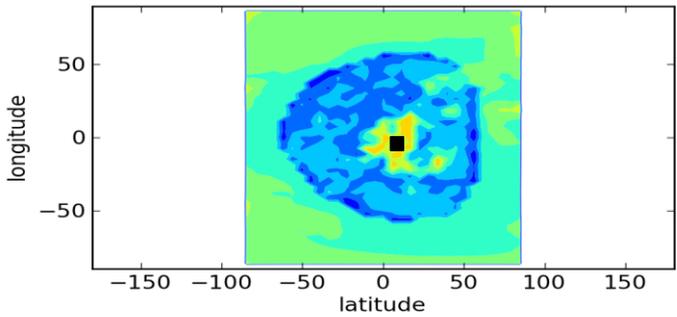


Global Climate Model (LMDZ+Generic PCM)

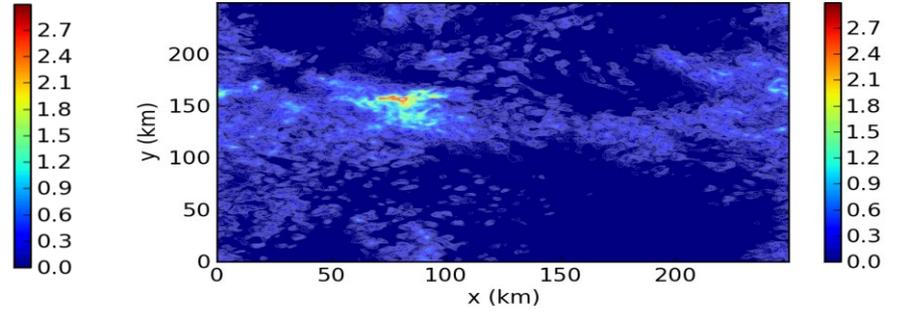
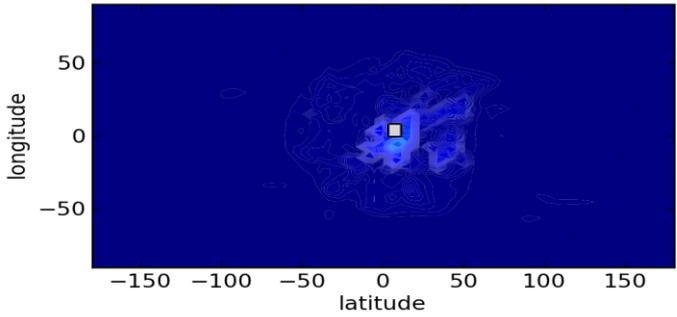


Cloud Resolving Model (WRF+Generic PCM)

Planetary albedo

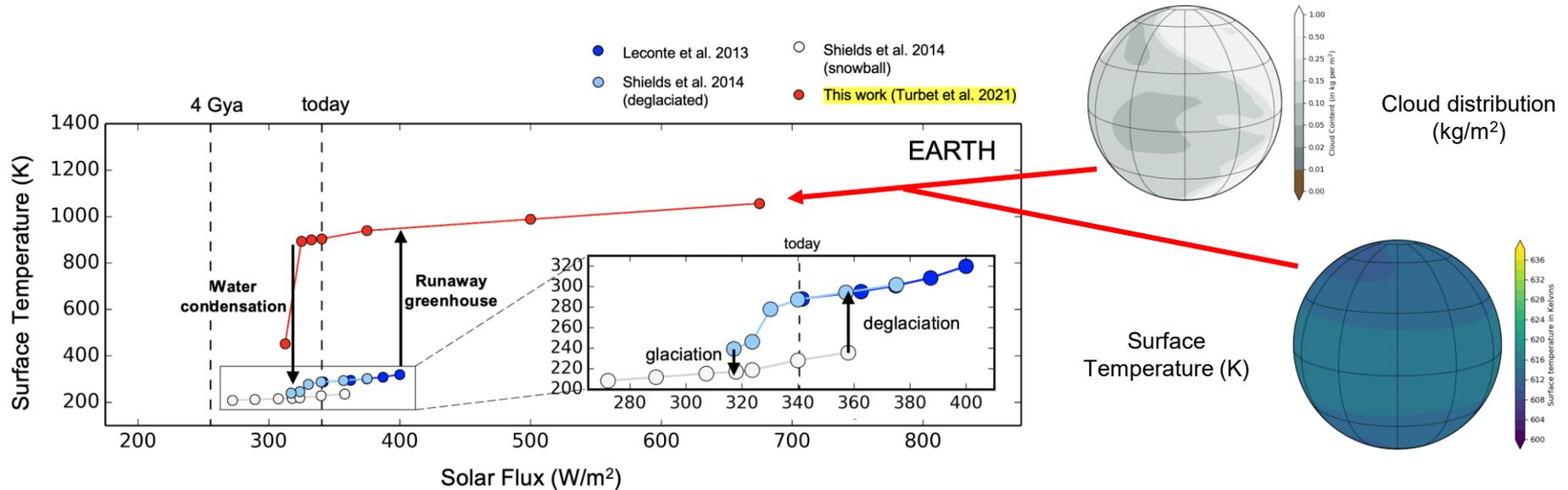


Water ice column (kg/m²)

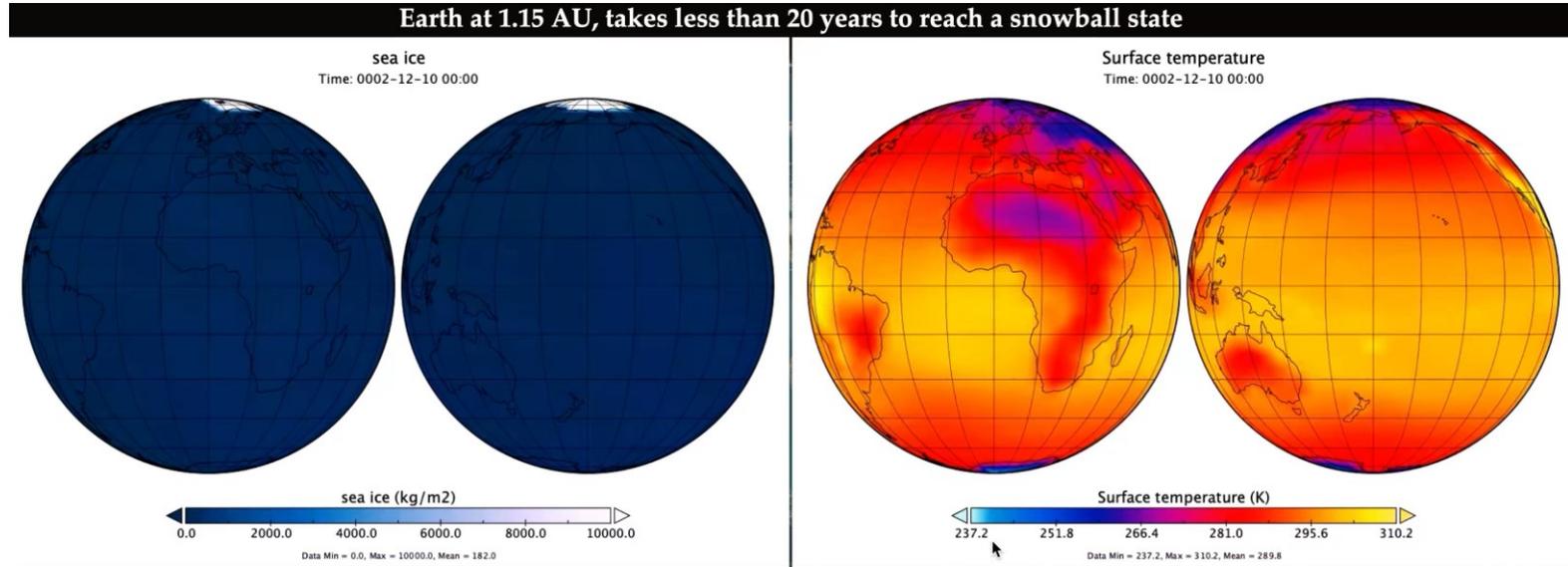


➤ Démonstration de l'existence d'un 3^{ème} état de stabilité possible du climat terrestre (Terre actuelle, Terre boule de neige et **Terre « hammam »**) produit par l'accumulation de nuages hauts nocturnes

Turbet et al. 2021, Nature



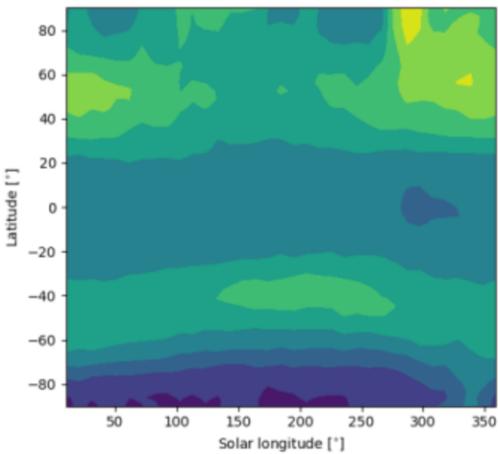
- Revisite du paradoxe du Soleil Jeune et des glaciations complètes de la Terre avec le modèle Générique couplé à une nouvelle paramétrisation de dynamique océanique + glace de mer



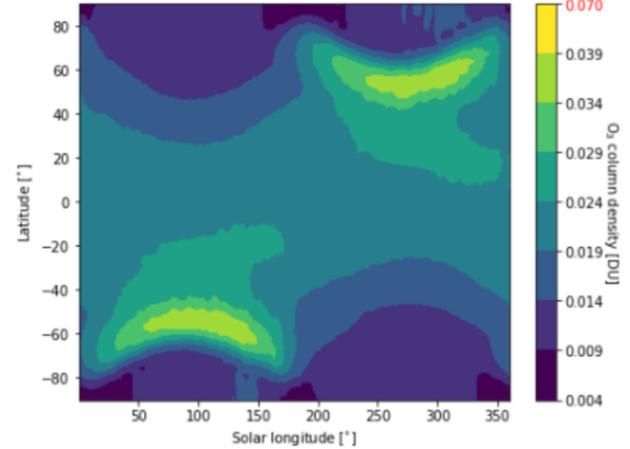
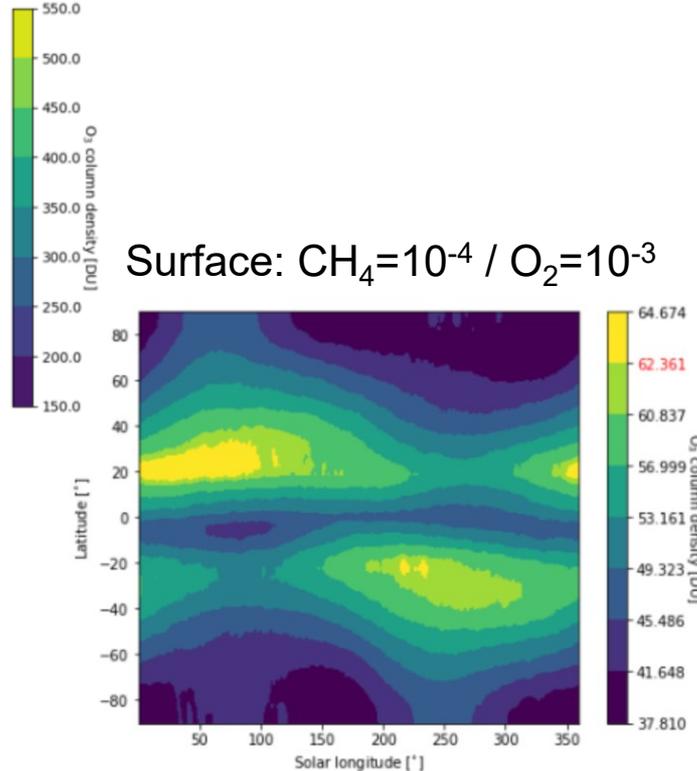
Credit: Siddharth Bhatnagar
University of Geneva

- Revisite de l'évènement de la « Grande Oxydation » (2.1-2.4Gya) avec le modèle Générique 3D couplé à un cœur photochimique

O₃ column density zonal means



Present-day Earth



Surface: CH₄=10⁻⁴ / O₂=10⁻⁶

Liens LMDZ – Generic PCM

- Réutilisation des codes et leurs formalismes: e.g. séparation dyn/phys pour couplages; implémentations du parallélisme, de XIOS, du (futur) parseur du fichier tracer.def, ...
- Réutilisation contextuelle des outils: mode de fonctionnement, versionnage, stratégies de tests systématiques, documentation en ligne, ...

Quelques réflexions et projets en cours

- Réflexions sur un couplage avec un vrai modèle d'océan
- Modélisation de l'évolution d'une planète au cours du temps (ERC Mars Through Time), applicable à n'importe quelle planète (la Terre aussi!)

