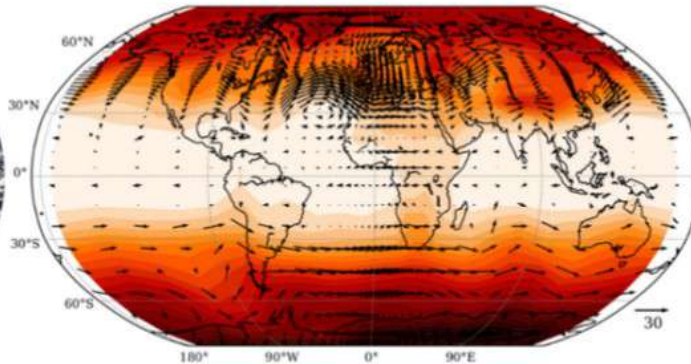


Formation par et pour nos modèles

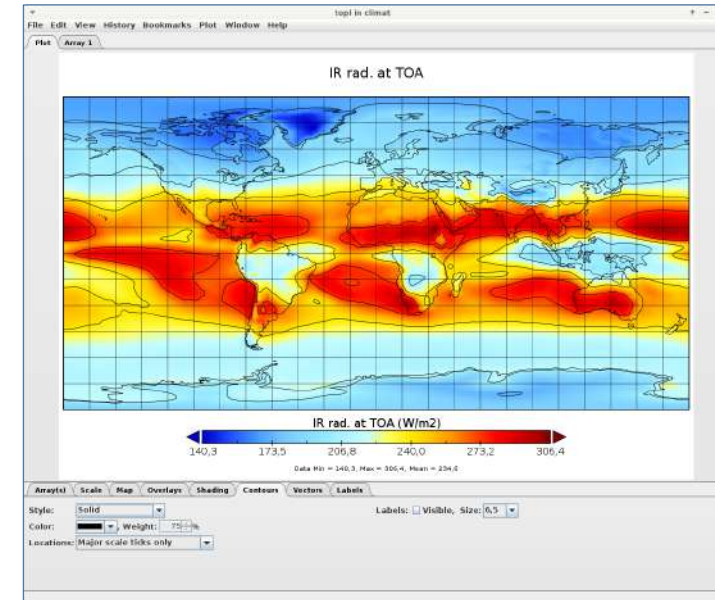
Jean-Baptiste Madeleine

Retraite du Centre de Modélisation du Climat de l'IPSL
17-18 Novembre 2022



La formation *par nos modèles*

- Rôle structurant de l'IPSL dans le montage des formations au climat (masters SOAC, Climate Graduate School - CGS)
- Enseignement avec les modèles à tous les niveaux du supérieur
 - Environ 100 étudiants par an du L2 au M2 sur le campus SorbonneU (LMDZ, NEMO, ORCHIDEE)
 - Cours Masa et Stella pour CentraleSupélec (LMDZ)
 - Modules numériques de la CGS



La formation *pour* nos modèles

- De nombreuses formations existantes (modipsl-libIGCM, XIOS, LMDZ, ORCHIDEE, NEMO)
http://forge.ipsl.jussieu.fr/igcmg_doc/wiki/Doc/Training
- Une documentation de plus en plus complète (tutorials des formations, documentation ESPRI-Mod)

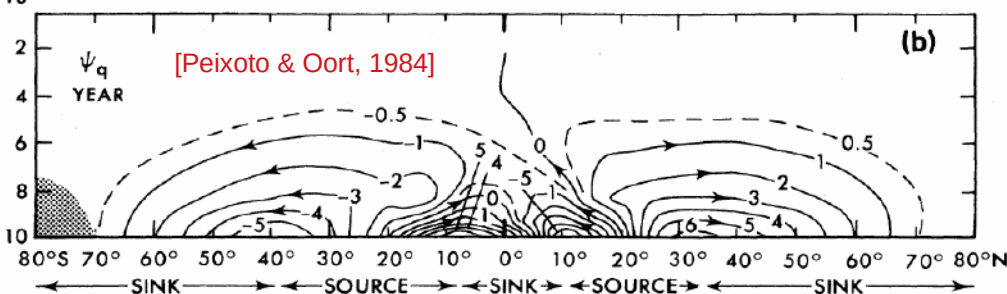
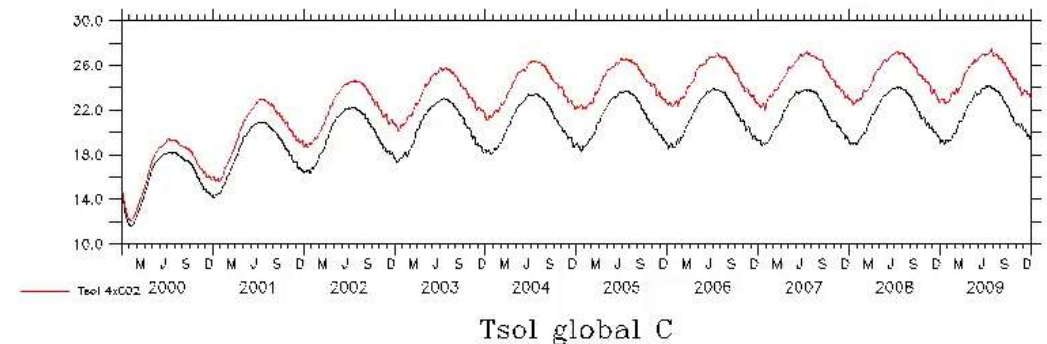
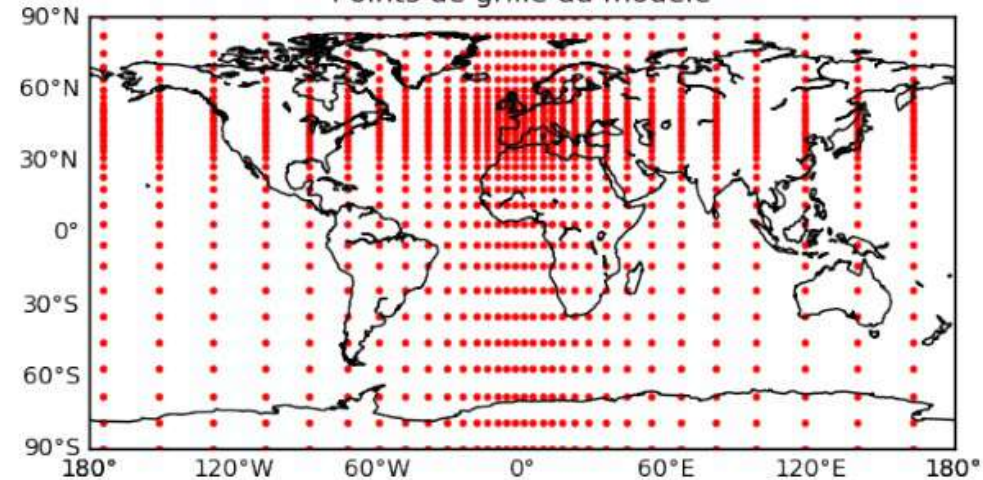
1/ La culture des grands cycles climatiques, des processus physiques, des couplages

- Exploration de climatologies basés sur les sorties IPSL-CM6 avec Panoply
- Réalisation de simulations « ultra basses » résolutions :
 - 48x36x39 forcé (un an / heure sur 4 CPU) pour études climatiques
 - 48x36x39 zoomé-guidé pour applications météo
 - 32x24x39 couplé avec slab ocean (flux et transport d'Ekman, Francis)
- Environnement de travail JupyterLab sur le mésocentre ESPRI-Mod

Projet **PCMStudio** (Planetary Climate Modeling Studio) disponible sur

<https://gitlab.in2p3.fr/ipsl/projets/pcmstudio>

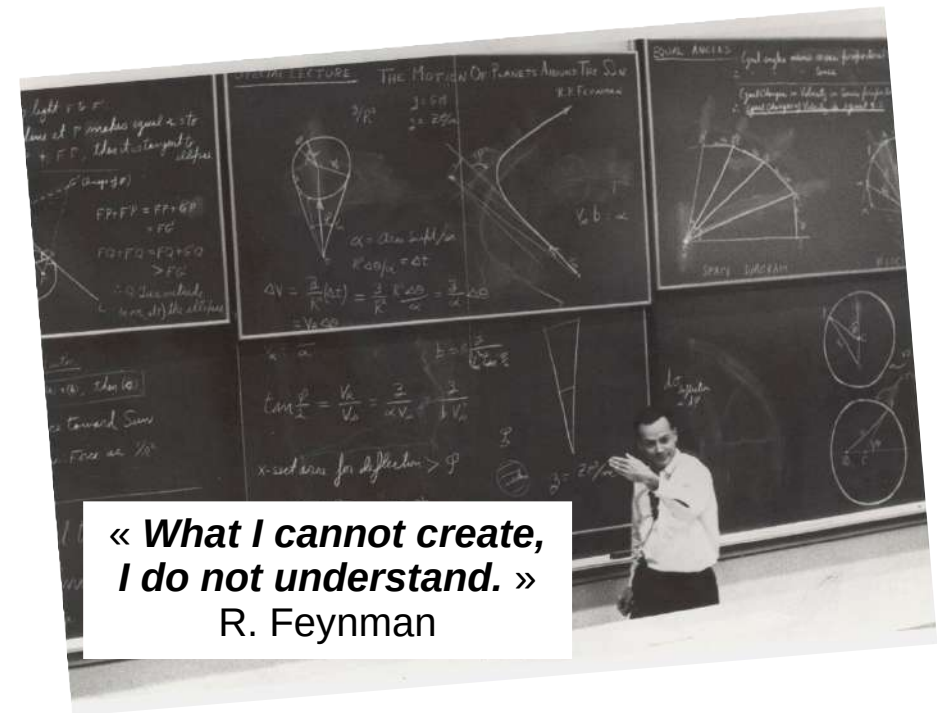
Points de grille du modèle



→ Jeux de configurations ultra-légères forcées pour LMDZ, NEMO, ORCHIDEE, INCA ; utilisation de DYNAMICO ;
→ Besoin d'ajouter des diagnostics « académiques » disparus !

2/ La théorie de la modélisation

- **Bourgeoisement d'ateliers** « au tableau » sur la modélisation et la paramétrisation dans LMDZ :
 - Atelier Couche limite
 - Atelier Nuages
 - Atelier Descentes organisées
 - Atelier Dynamique des populations de poches
 - Atelier CL / équation de la TKE
 - Atelier Tuning
 - Atelier Portage GPU



Témoigne d'un besoin de revenir aux fondamentaux et de... prendre son temps ?



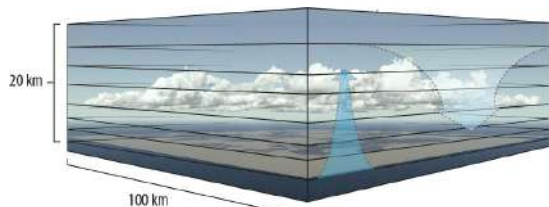
- Géométrie des ateliers « au tableau » LMDZ → Aurait un sens pour d'autres composantes ?
- Pourrait nourrir une documentation / un livre sur la théorie de la modélisation ?

3/ La pratique de la modélisation

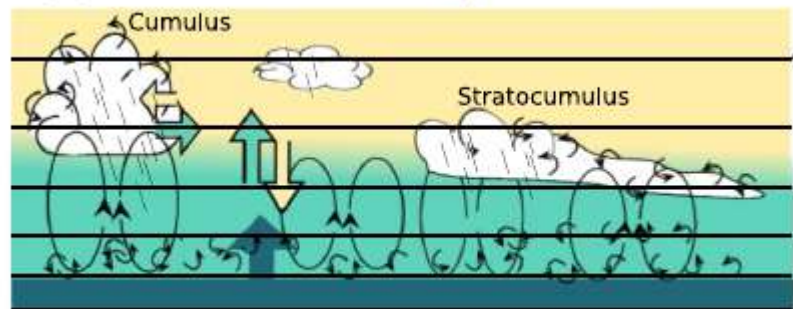
- Complexité croissante des développements
- Difficulté à porter les simulations
- Besoin d'être armé face aux bugs

Les jeunes chercheurs arrivent dans un paysage de plus en plus complexe !

- On apprend beaucoup en enseignant avec le modèle (100 % expérimental)
- Il faut qu'on puisse jouer facilement avec nos modèles
- Besoin de formation sur l'optimisation, le debugging (TotalView, gprof...)?



Sketch of clouds formation and water vertical transport



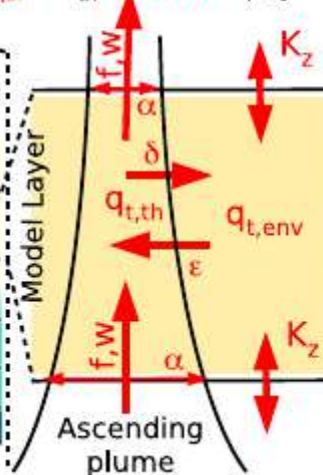
Thermal plume model

Computing plume properties

$$(\varepsilon, \delta, f, \alpha, W) = \mathcal{G}_{th}(\theta_l, q_t, \mathbf{A1}, \mathbf{A2}, \mathbf{B1}, \mathbf{CQ}, \mathbf{DZ})$$

Transporting water and temperature

$$(\delta_t \theta_l, \delta_t q_t, q_{t,th}) = \mathcal{F}_{th}(\varepsilon, \delta, f, \alpha, W, \theta_l, q_t)$$



Large scale condensation scheme

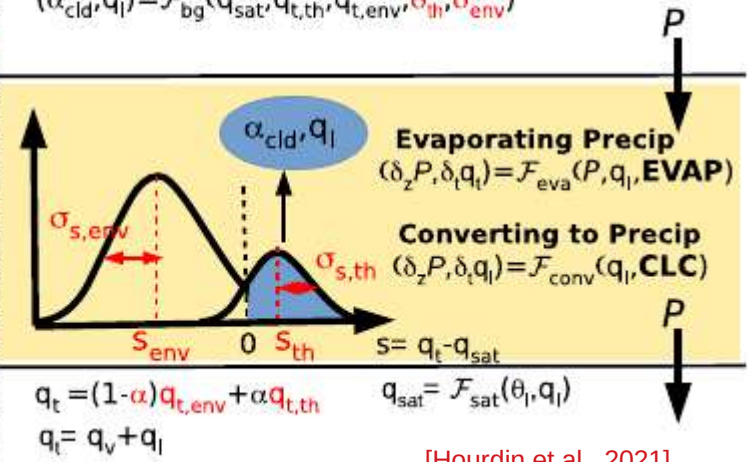
Computing subgrid water distribution

$$\sigma_{s,env} = \mathcal{G}_{bg}(W, q_{sat}, q_{t,th}, q_{t,env}, \mathbf{BG1})$$

$$\sigma_{s,th} = \mathcal{G}_{bg}(W, q_{sat}, q_{t,th}, q_{t,env}, \mathbf{BG2})$$

Converting total water to cloud

$$(\alpha_{cld}, q_l) = \mathcal{F}_{bg}(q_{sat}, q_{t,th}, q_{t,env}, \sigma_{s,th}, \sigma_{s,env})$$



Evaporating Precip
 $(\delta_z P, \delta_t q_l) = \mathcal{F}_{eva}(P, q_l, \mathbf{EVAP})$

Converting to Precip
 $(\delta_z P, \delta_t q_l) = \mathcal{F}_{conv}(q_l, \mathbf{CLC})$

$$q_t = (1 - \alpha) q_{t,env} + \alpha q_{t,th}$$

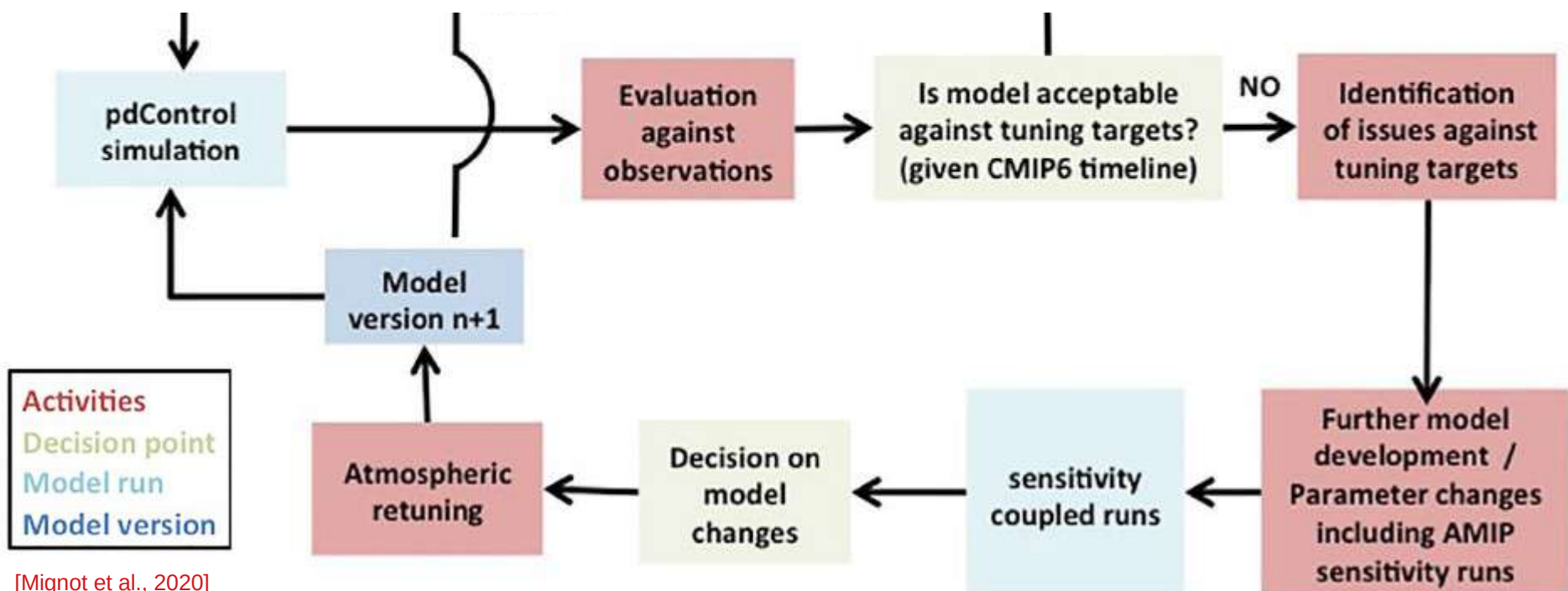
$$q_l = q_v + q_l$$

$$q_{sat} = \mathcal{F}_{sat}(\theta_l, q_l)$$

4/ Le raisonnement intégré sur un système complexe

- Alignement entre questions scientifiques, configurations, tuning, et sorties
- Mener à bien des expériences de sensibilité dans le modèle
- Culture du modèle couplé et formation aux « astuces » et « règles d'or » (ex : paramètre pmagic, règle du $1 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ K}$)

→ Comment former à cette complexité ?
→ Formation sur configs couplées légères type IPSL-CM5A2 ou configs de Myriam ?
→ Besoin de dialogue entre les formations existantes (libIGCM, LMDZ, NEMO, ORCHIDEE...)

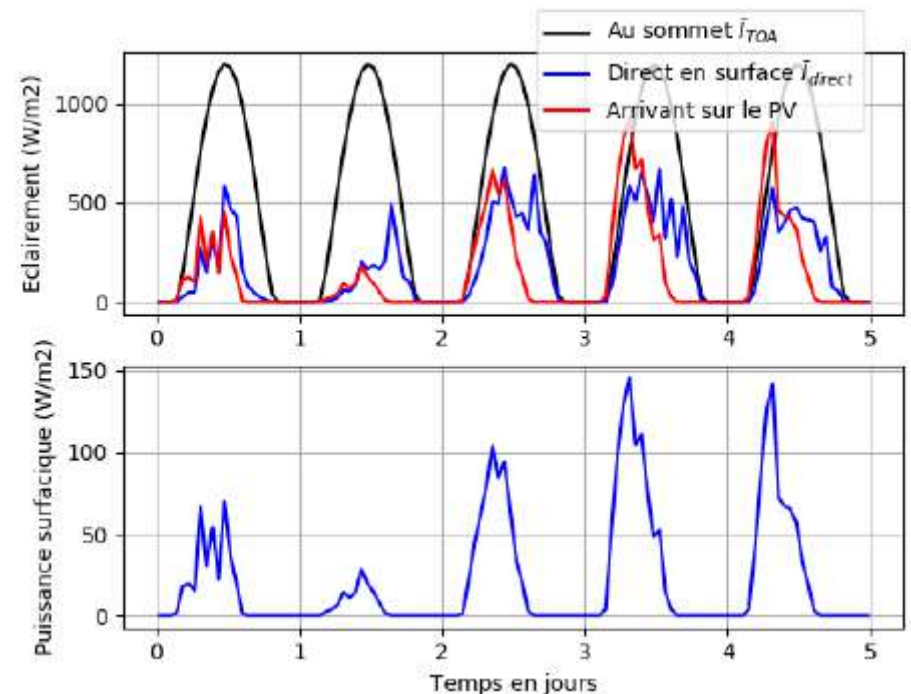
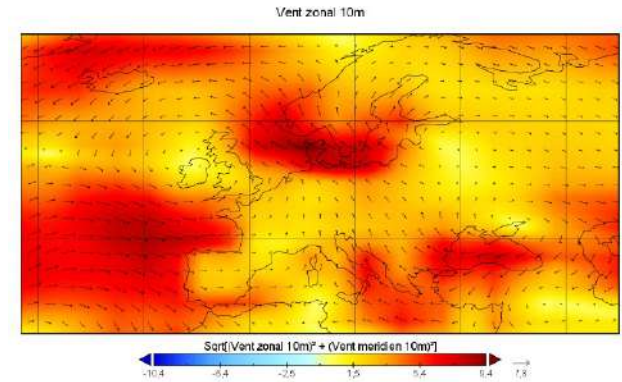


5/ Le recul sur les implications

- « On entend quoi exactement par services climatiques ? »
- Diversité des méthodes de descente d'échelle (LAM, statistique, méthodes Monte-Carlo)
- Formation lycée / collège sur climat et impact au quotidien (thermique de l'habitat, évènements extrêmes)

Les modèles comme vecteur de compréhension du changement climatique pour un public « non scientifique » ?

→ Auto-formation aux services climatiques et descentes d'échelle ?
→ Effort dans la mise au point d'un modèle pour utilisation grand public ? (exemple de SimClimat, C. Risi, portail Eduscol)



1/ Climat

- Jeux de configurations ultra-légères forcées pour LMDZ, NEMO, ORCHIDEE, INCA ; utilisation de DYNAMICO ;
- Besoin d'ajouter des diagnostics « académiques » disparus !

3/ Pratique de la modélisation

- On apprend beaucoup en enseignant avec le modèle (100 % expérimental)
- Il faut qu'on puisse jouer facilement avec nos modèles
- Besoin de formation sur l'optimisation, le debugging (TotalView, gprof...) ?

5/ Impacts - grand public

- Auto-formation aux services climatiques et descentes d'échelle ?
- Effort dans la mise au point d'un modèle pour utilisation grand public ? (exemple de SimClimat, C. Risi, portail Eduscol)

2/ Théorie de la modélisation

- Géométrie des ateliers « au tableau » LMDZ → Aurait un sens pour d'autres composantes ?
- Pourrait nourrir une documentation / un livre sur la théorie de la modélisation ?

4/ Raisonnement intégré

- Comment former à cette complexité ?
- Formation sur configs couplées légères type IPSL-CM5A2 ou configs de Myriam ?
- Besoin de dialogue entre les formations existantes (libIGCM, LMDZ, NEMO, ORCHIDEE...)

Backup slides

Notre cœur de métier

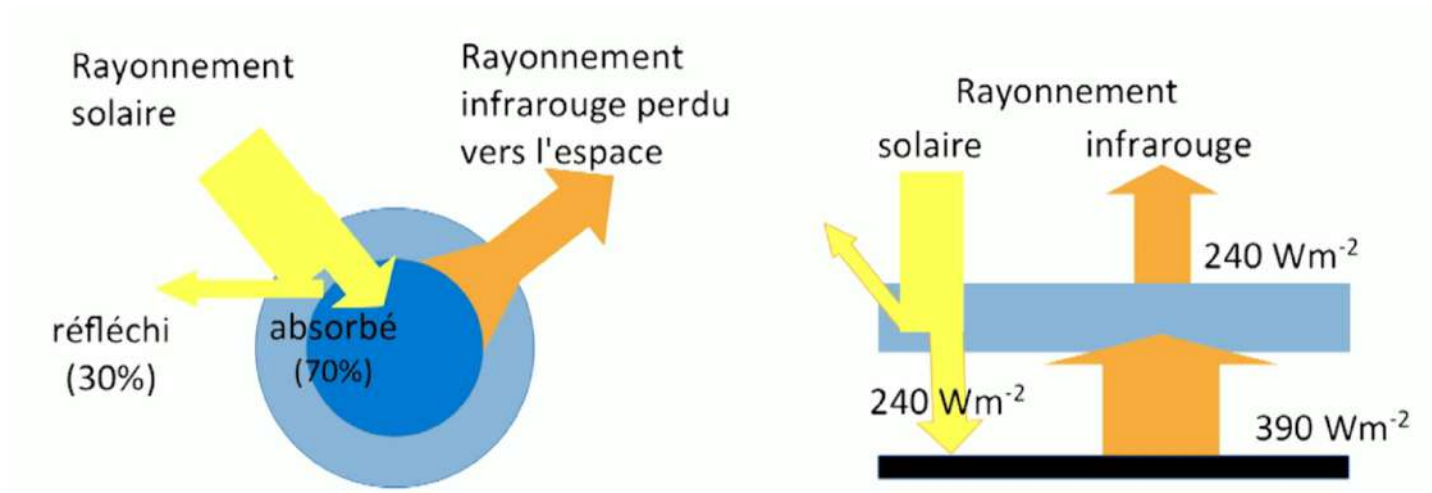
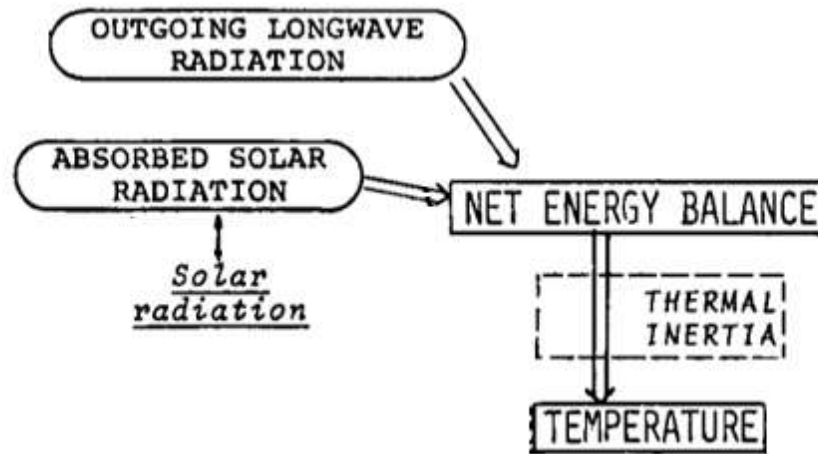
- La culture des grands cycles climatiques, des processus physiques, des couplages
- La théorie de la modélisation (histoire de la modélisation, sciences numériques, paramétrisations et développement par « images physiques » et observation du monde réel)
- La pratique de la modélisation (porter un développement, débbugger)
- Le raisonnement intégré sur un système complexe
- Le réglage des modèles et l'apprentissage machine
- Le recul sur les implications (descente d'échelle, applications régionales, services climatiques)

JupyterLab (ESPRI)

The screenshot displays the JupyterLab environment. On the left, a file browser shows the directory structure: `/ ... / eduplanet / expnum_deglaciation1000`. The files listed are `atlas.ipynb`, `reglages_compiler.txt`, `reglages_init.txt`, `reglages_run.txt` (highlighted), and `resultat.nc`. The main workspace shows a terminal window with the prompt `tp20@merlin13` and a plot titled "Pression au niveau de la mer et vents à 10 m - 2020-12-11 00:00:00". The plot shows a global map with sea level pressure (hPa) on a color scale from 980.0 to 1025.0 and wind vectors. The axes range from 60°N to 60°S latitude and 180°W to 180°E longitude. Three arrows labeled a), b), and c) point to the file browser, the terminal window, and the plot, respectively.

5. Regarder également `s1p` en moyenne zonale. Quel est le mois où la différence de pression au niveau de la mer est-elle la plus

Approche « inductive » : on reconstruit le système de zéro



Mise en équation

$$\epsilon \sigma T_s^4$$

OUTGOING LONGWAVE RADIATION

ABSORBED SOLAR RADIATION

NET ENERGY BALANCE

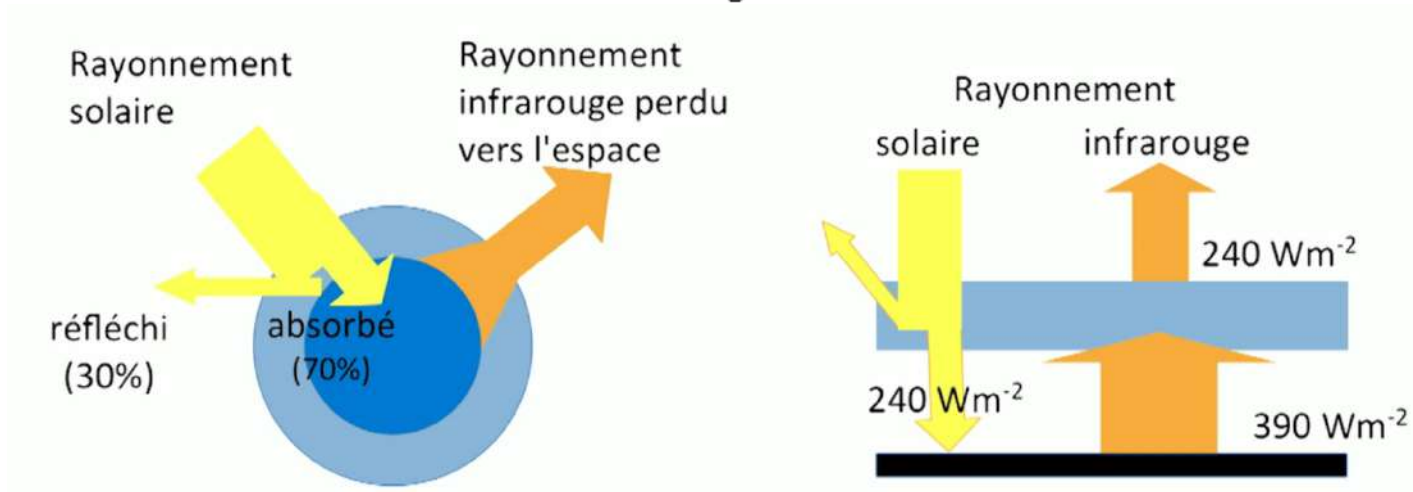
$$\rho_s e C \frac{dT_s}{dt} = (1 - A_b) E' \left(1 + \frac{\tau_s}{2}\right) - \epsilon \sigma T_s^4$$

THERMAL INERTIA C, e, ρ_s

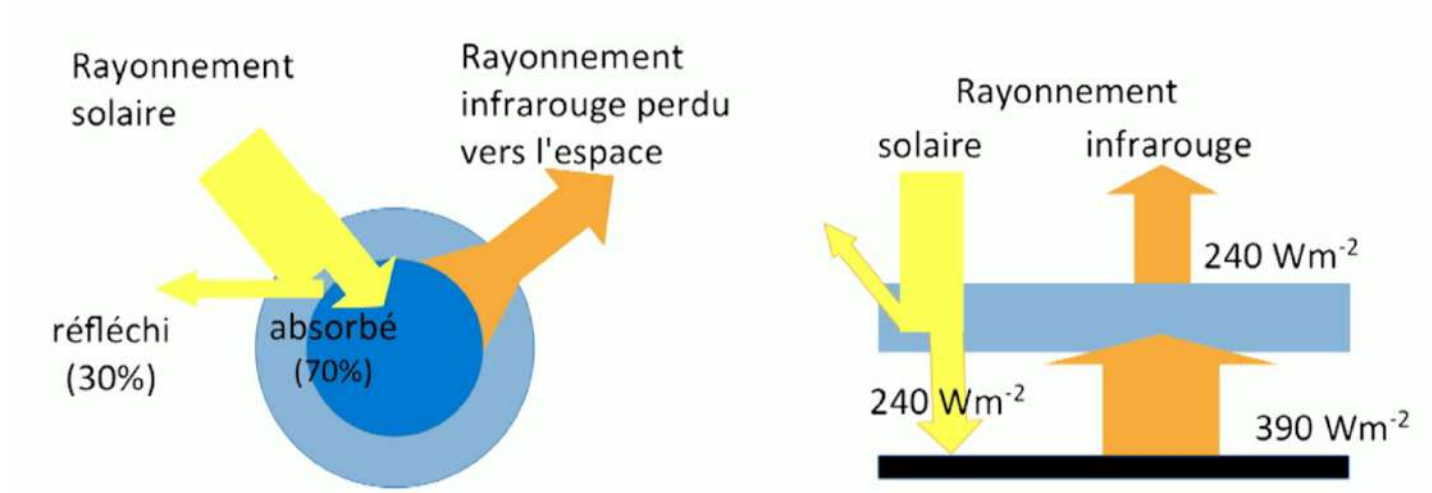
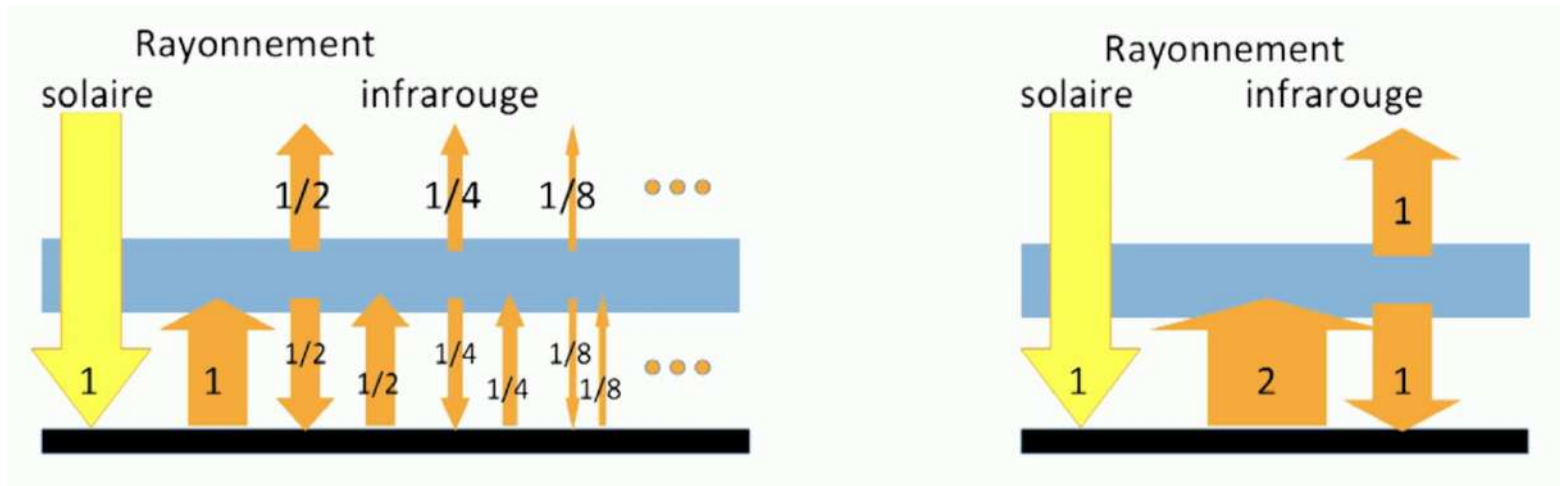
TEMPERATURE

$$T_s$$

$$(1 - A_b) E' \left(1 + \frac{\tau_s}{2}\right) \frac{\text{Solar radiation}}{E'}$$



Approche « inductive » : on reconstruit le système de zéro



Trapps du Deccan

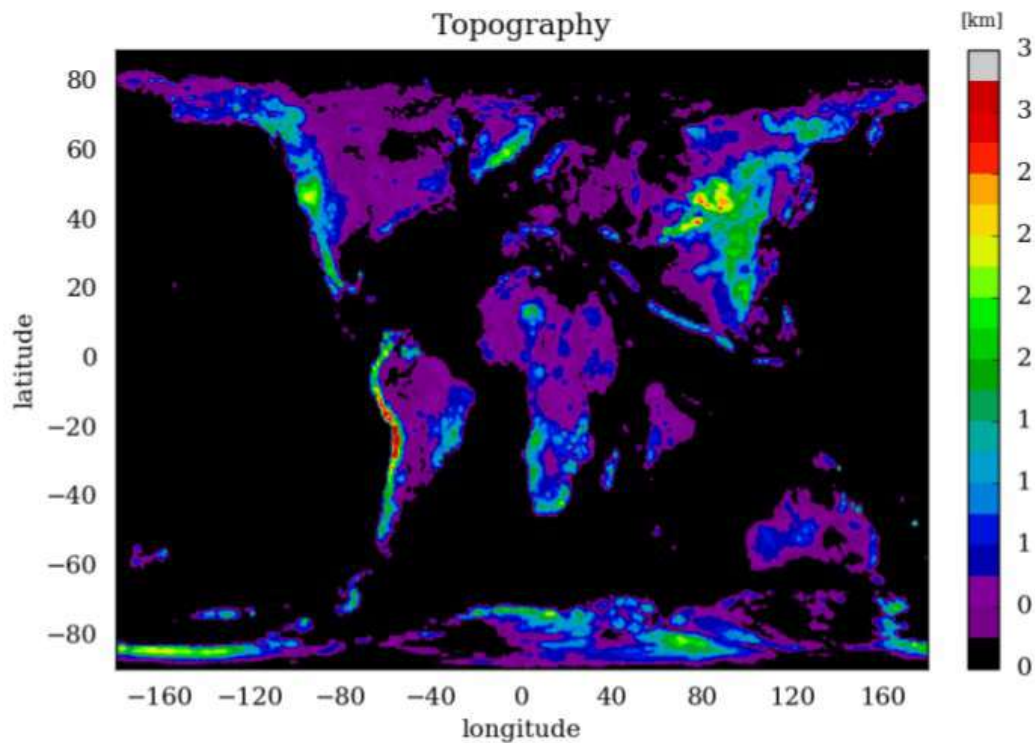


Fig 2. Topographie et répartition des continents sur Terre au Crétacé supérieur

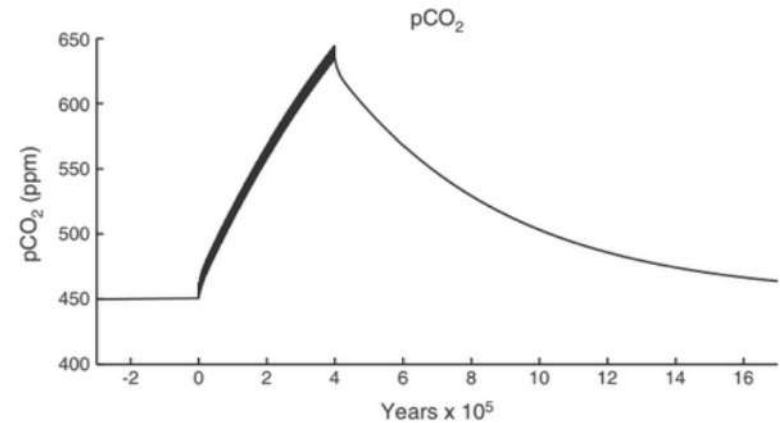
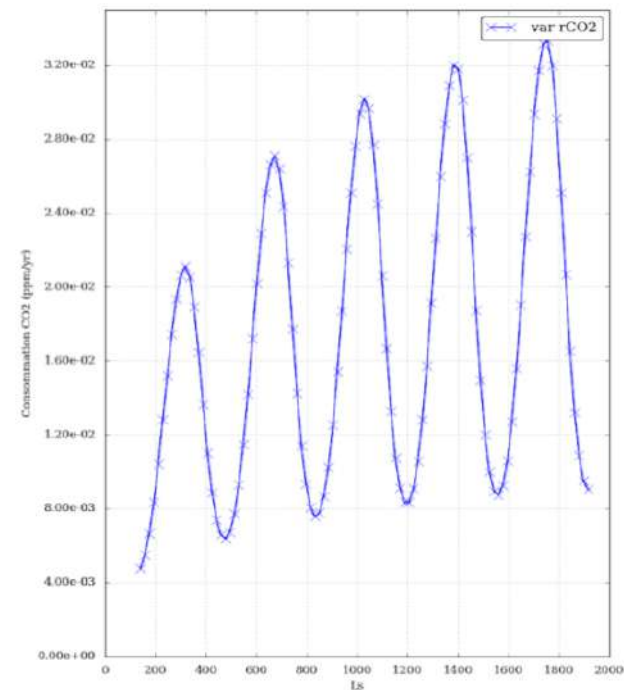
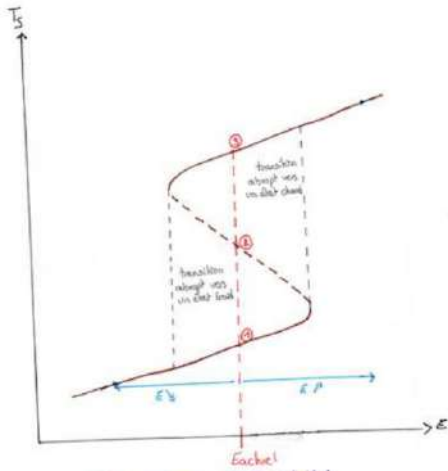


Fig.3 Evolution de la pCO₂ pendant la limite Crétacé-Paléogène en fonction du temps

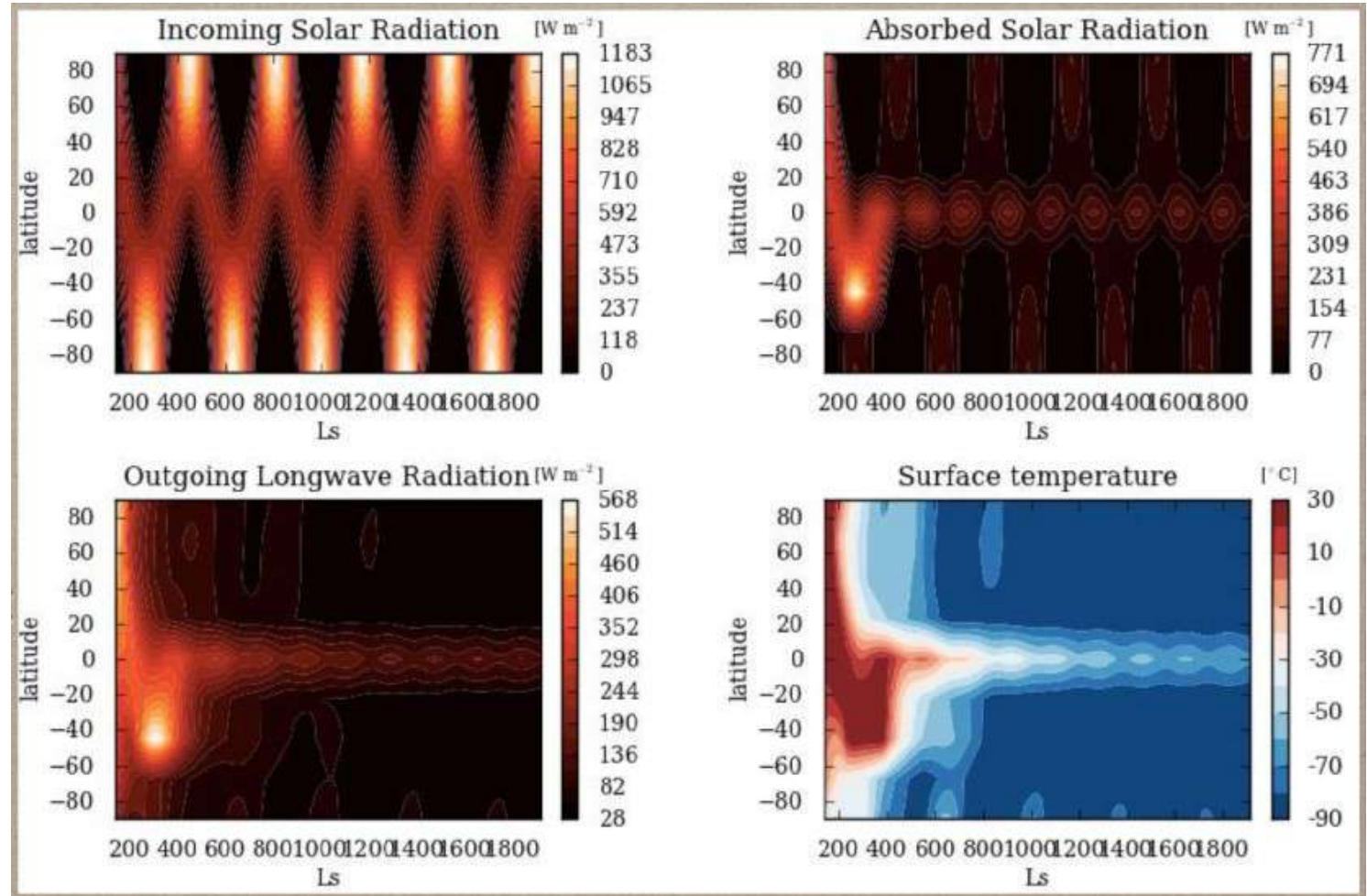


La Terre « boule de neige »



Albedo = 0.9
 $p(\text{CO}_2) = 70 \text{ ppm}$
 Obliquité = 60°

« Terre englacée
 peu vraisemblable »



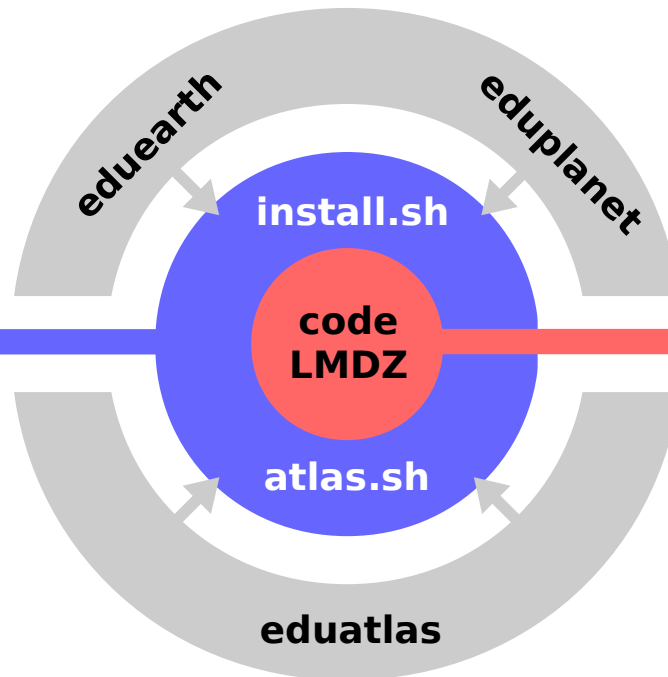
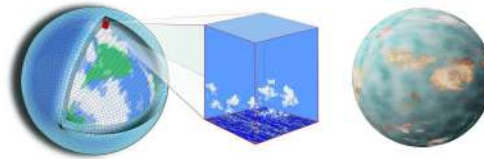
Stratégie de développement

Une surcouche simplifiée pour installer et exécuter le modèle

- Configurations prédéfinies
- Fichiers .def allégés, zoom
- Outputs légers et mis en forme (*réinterpolation verticale, flux, fonctions de courant*)
- *Guidage automatique en indiquant une période donnée*

Des scripts d'installation et d'analyse des résultats communs à la recherche et invisibles aux étudiants (la plupart du temps!)

- Maintenir des configurations multiples (séquentiel comme parallèle, basse résolution comme haute résolution, atmosphère seule comme multicomposante)
- Avoir un ensemble de diagnostics (pour la validation comme pour la compréhension)



Même code source pour la recherche et l'enseignement

- Les étudiants sont motivés à l'idée d'utiliser un modèle de recherche (savoir « vif »)
- Nous sommes motivés à l'idée de partager notre modèle en cours ! (science participative)
- La recherche enrichit les cours, et inversement

Une surcouche simplifiée pour comparer aux observations

- *Comparer sa simulation aux obs (1an / DJF MAM JJA SON)*
- *Comparer sa simulation à d'autres simulations (CMIP)*
- *Exploration simple des obs (fichiers légers réinterpolés)*