

# Conseil Scientifique du service labellisé LMDZ

Jeudi 28 mai 2020, en déconfinement

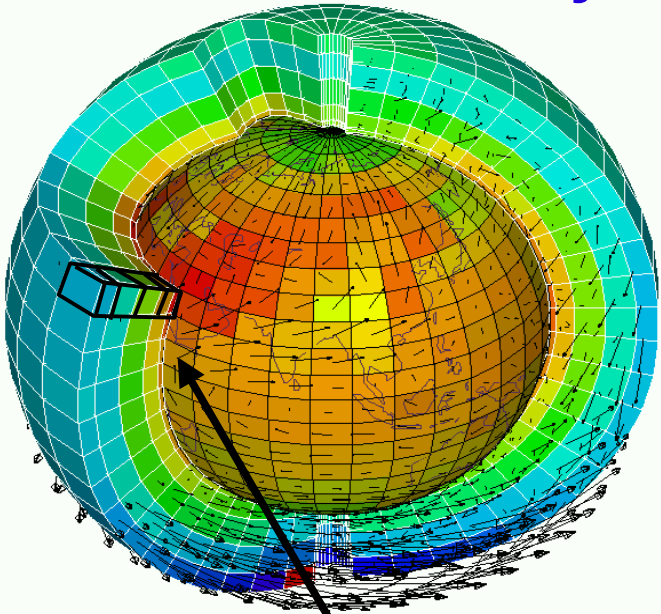
Introduction





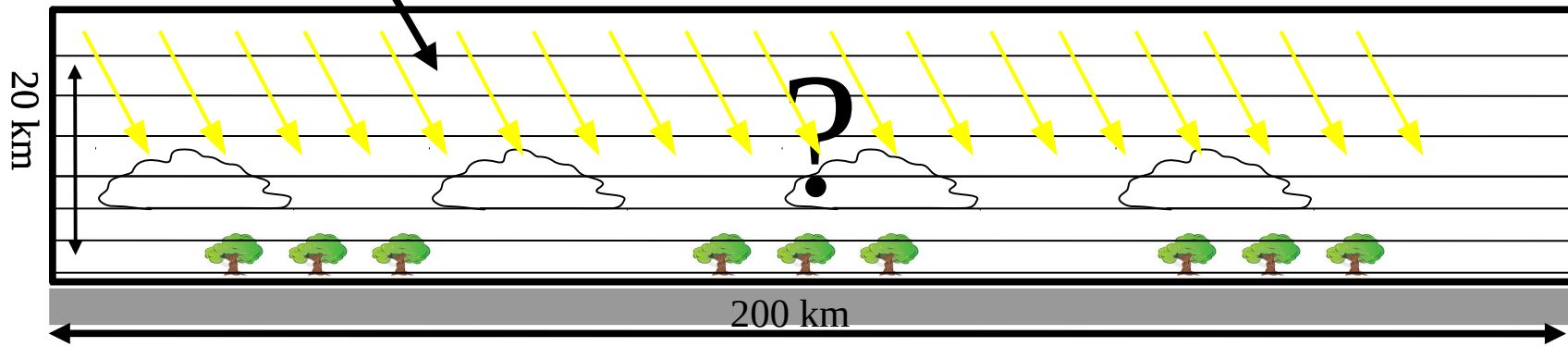
# LMDZ, un Modèle de circulation générale =

**Un noyau dynamique** : équations « primitives » discrétisées sur la sphère



- Mass conservation  
 $D\rho/Dt + \rho \operatorname{div}\underline{U} = 0$
- Potential temperature conservation  
 $D\theta / Dt = Q / C_p (p_0/p)^\kappa$
- Momentum conservation  
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad}p - g + 2 \underline{\Omega} \wedge \underline{U} = \underline{F}$
- Secondary components conservation  
 $Dq/Dt = Sq$

**Un jeu de « paramétrisations physiques »** : sous-modèles représentant des transferts verticaux liés aux autres processus (souvent sous-maille horizontalement)





# LMDZ – une brève histoire

Les pionniers de la modélisation de la circulation générale : années 60-70. Robert Sadourny et Phu Le Van (Sadourny, 1975) ; Premières versions climatiques (Laval, 1981) ; LMD5/6

1985 : Réécriture du **noyau dynamique**: modularité et **Zoom** (la version précédente avait été écrite sur cartes perforées, avec la grille du modèle qui ne tenait pas en mémoire)

1990 : Les premières utilisations de ce nouveau noyau sont planétaires (Mars, Titan)

1992 : décision de développer la nouvelle version du modèle terrestre sur la base de ce nouveau noyau, en adaptant les paramétrisations physiques de LMD5/6 → **LMDZ**

1995-1999 : inclusion du transport des espèces traces  
Projet de réécriture des paramétrisations physiques (projet Patom refusé)

2005 : Première utilisation de LMDZ dans les exercices CMIP

2007 : montée en puissance de l'organisation (web, réunions régulières, Svn, formations, ...)

2011 : « **Nouvelle physique** » résultant de 10 ans de recherche, participation à CMIP5

2017 : **Nouveau noyau dynamique sur base icosaédrique**

2018 : **Arrivée à maturité de la nouvelle physique pour CMIP6**

2019 : **Labélisation service national « Code Communautaire » par l'Insu**



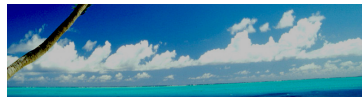
# LMDZ : Un modèle multi configurations pour la recherche et l'enseignement

## Coeurs 3D

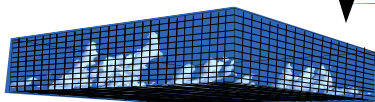
Longitude-latitude  
Icosaèdre  
Aire limitée  
(en préparation)

## Cas 1D

(Dephy/High-Tune)  
LES à disposition  
20 aine de cas  
Convection  
RCE  
Nuages bas  
Couplage surf.



Campagne

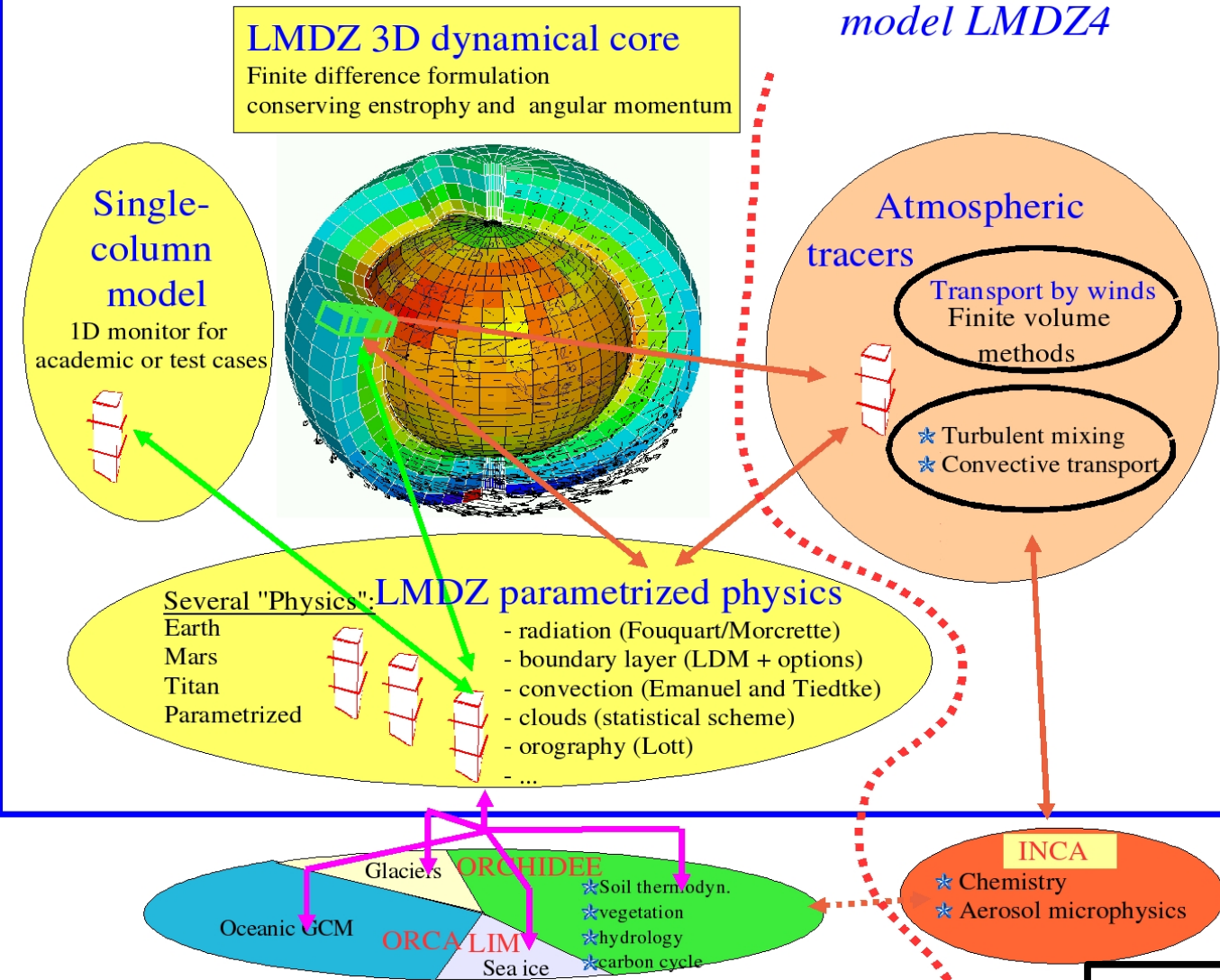


3D explicite (LES)



Modèle uni-colonne

## Atmospheric component of the IPSL integrated climate



## Mode d'utilisation 3D

Climatique couplé ou non  
Zoomé  
Guidé ou initialisé  
Aqua ou terra planète

## IO/Evaluation :

Multi-atlas sur ciclad  
Pilotage xml de XIOS  
Simulateurs satellite

## Couplage en surface (4 sous surface/maille)

Océan : SST forcées, **Nemo**, Océan slab  
Banquise : imposée (conduction LMDZ), **Lim**, slab  
Continents : **Orchidee**, bucket, betaclim  
Glaciers : bucket ajusté

## Composition

**Inca** (chimie/aérosols)  
**Reprobus** (chim./strato)  
LMDZaer (aérosols)  
Isotopologues de l'eau



# Le développement du modèle LMDZ et les rendez-vous CMIP

Développements : nouvelles paramétrisations/ cœurs/ fonctionnalités ...

**Gestation des  
Nouvelles  
configurations**

Mise au point  
Réglage

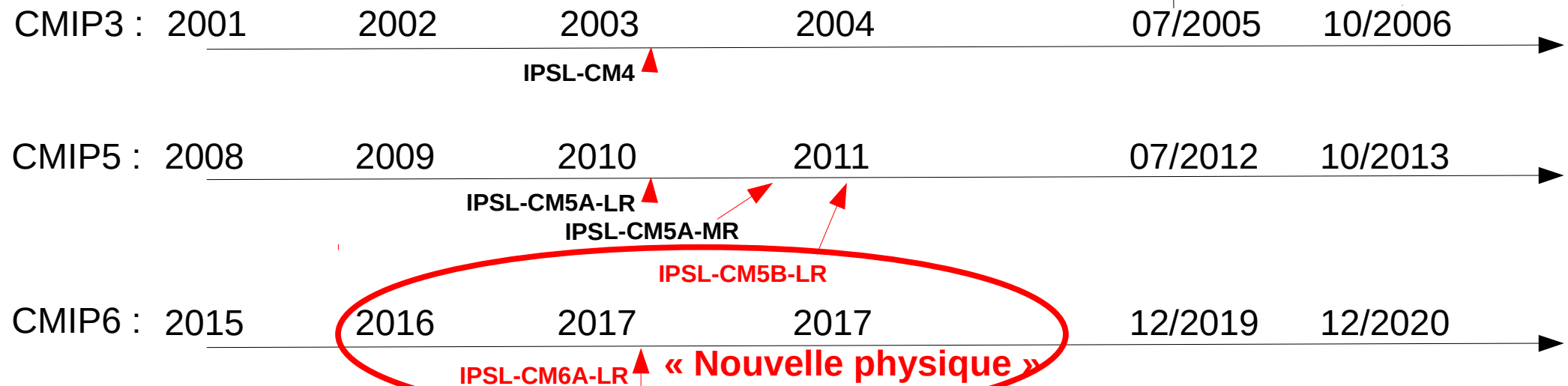
Simulations CMIP

Analyses  
Publications

Assesment  
Report

**Début de la simulation de contrôle  
(on fige le modèle)**

**Soumission/acceptation publications  
Pour prise en compte par IPCC/AR**





# Numéro spéciale de « James »

## Publié ou accepté

### → Description générale du modèle LMDZ6A

*LMDZ6A : the improved atmospheric component of the IPSL coupled model*, Hourdin et al., 2020

<http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/LMDZ6A.pdf>

### → Description du modèle couplé IPSL-CM6A-LR

*Presentation and evaluation of the IPSL-CM6A-LR climate model* , Boucher et al., 2020

[http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/IPSL\\_CM6A\\_LR.pdf](http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/IPSL_CM6A_LR.pdf)

### → Représentation des stratocumulus et la transition stratocumulus cumulus

*Unified Parameterization of Convective Boundary Layer Transport and Clouds With the Thermal Plume Model*. Hourdin et al., 2019

[http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/Hourdin\\_et\\_al-2019-JAMES.pdf](http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/Hourdin_et_al-2019-JAMES.pdf)

### → Impact des paramétrisations du papier précédent sur les biais de Bords Est

*Convective boundary layer control of the tropical sea surface temperature*, Hourdin F. et al., 2020

[http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/ThermalsOA\\_submitted.pdf](http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/ThermalsOA_submitted.pdf)

## En cours de révision

### → Description complète du schéma de nuages et évaluation

*Improved representation of clouds in the LMDZ6A Global Climate Model* .Madeleine et al.

[http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/madeleine\\_clouds-LMDZ6A\\_submitted.pdf](http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/madeleine_clouds-LMDZ6A_submitted.pdf)

### → Description du couplage à la surface

*Improved near surface continental climate in IPSL-CM6A-LR by combined evolutions of atmospheric and land surface physics*.

Cheruy et al., en révision pour James

[http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/LMDZ6A\\_Orchidee.pdf](http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PUBLIS/LMDZ6A_Orchidee.pdf)



# **LMDZ et les dynamiques nationales et internationales**

## **Composante atmosphérique du modèle de l'IPSL**

Participation aux exercices CMIP

Utilisé pour l'étude des paléo-climats au LSCE

**Bénéficie d'une infrastructure de configuration et lancement de simulations dont XIOS**

**L'IGE très impliqué dans les aspects polaires / montagnes**

## **Rapprochement et mutualisation avec le CNRM**

- Comparaisons 1D/LES avec l'équipe Moana et les autres modèles du CNRM (**Dephy**)
- Travail sur le tuning automatique (ANR HighTune)
- Mutualisation des logiciels d'entrées/sorties XIOS, post-traitements Climaf (**ANR convergence, Climeri**)

## **Collaborations autour de versions régionales zoomées**

- Amérique du sud
- Inde
- Afrique de l'Ouest
- Maroc

## **Objet de la labellisation de LMDZ comme outil national**

### **Distribution d'un code source unique**

- Garantissant la cohérence avec le modèle de système Terre et la capacité à réaliser des simulations « de production » dans le cadre de l'anticipation des changements climatiques.
- Garantissant la cohérence avec les versions planétaires
- Intégrant des versions légères pour l'enseignement et la recherche sur les processus
- accompagnée d'actions d'animation scientifique/ formation

## **Le service labellisé Code Communautaire LMDZ**

est associé à des engagements précis (cf. exposé L. Fairhead).  
Beaucoup sont déjà effectifs depuis bien avant la labellisation

## **Le Conseil Scientifique**

- Suivi du fonctionnement du service labellisé CC
- Discussion de la stratégie de développement du modèle LMDZ



## Composition du Conseil Scientifique du code communautaire (CC) LMDZ

### 8 membres extérieurs au CC

Directeur de l'Osu Ecce Terra : **Loïc Ségalen**

Représentant de l'IR Climeri : **Pascale Braconnot**

Responsable du centre de modélisation de l'IPSL : **Olivier Boucher**

Représentant de l'IGE/climats polaires/montagnes : **Gerhard Krinner**

Responsable comité des dévelop./utilisateurs : **Sébastien Fromang**

Expert de la modélisation globale à Météo-France : **Romain Roehrig**

Responsable du GdR Dephy : **Catherine Rio**

Représentant de la planétologie : **Aymeric Spiga** (membre du CC)

Un autre ou deux autres experts extérieurs ?

### 5 permanents du CC

**Frédéric Hourdin** (responsable)

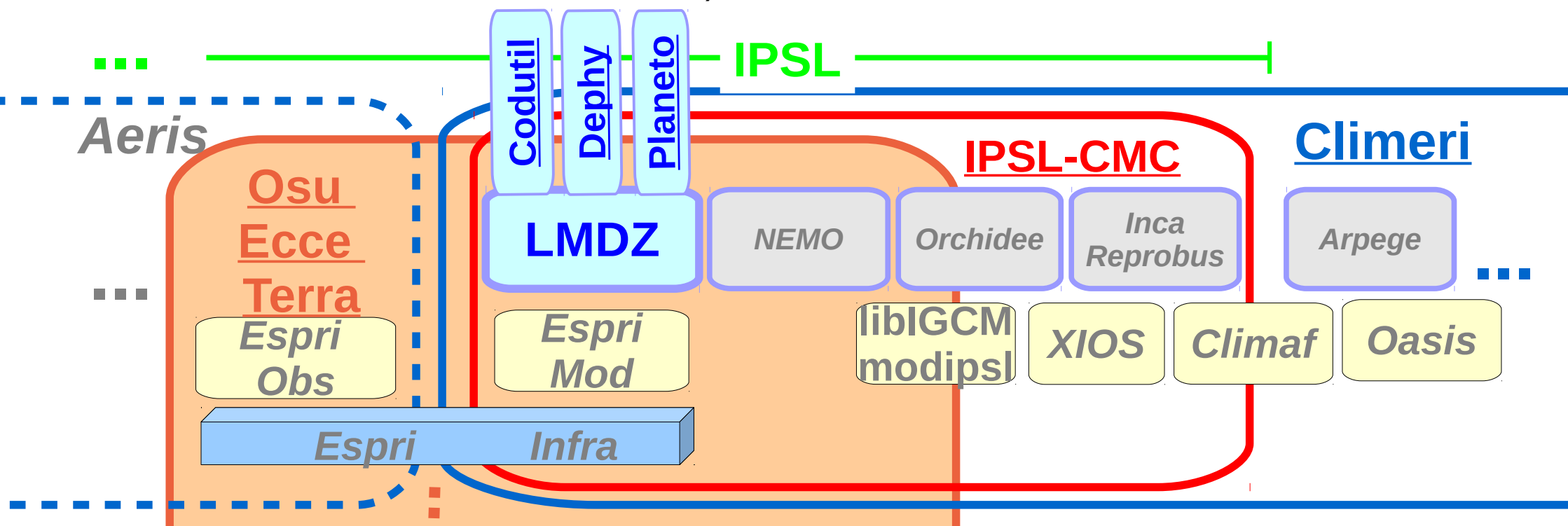
**Laurent Fairhead** (responsable technique)

**Thomas Dubos** (« dynamique »)

**Jean-Baptiste Madeleine** (« physique »)

**Frédérique Cheruy** (climat)

## LMDZ dans l'environnement des modèles, services et instituts



## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- **Tour de table du CS**

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- Développements physiques et tuning (F. Hourdin, 10min)
- Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)
- Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)
- Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)
- Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)

### 4) Discussion à huis clos :

- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement



## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- Tour de table du CS

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- **Développements physiques et tuning** (F. Hourdin, 10min)
- Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)
- Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)
- Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)
- Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)

### 4) Discussion à huis clos :

- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement

# Développements physiques et tuning

## Pararmétrisations physiques :

- De loin la plus grosse partie du code.
- Enjeux davantage « physiques » que numériques ou informatiques.
- Importance turbulence/convection/nuages pour le climat et la sensibilité climatique
- Modèles approchés : effet d'un ensemble de nuages réduit à un nuage typique, modèle de végétation par type fonctionnel de plantes, → Source d'incertitudes et de diversité des modèles
- Centrales pour le couplage avec les autres composantes du système terre
- Cruciales pour le réalisme de la représentation du climat sensible et donc le lien avec les impacts

## Travail sur le bloc turbulence/convection/nuages

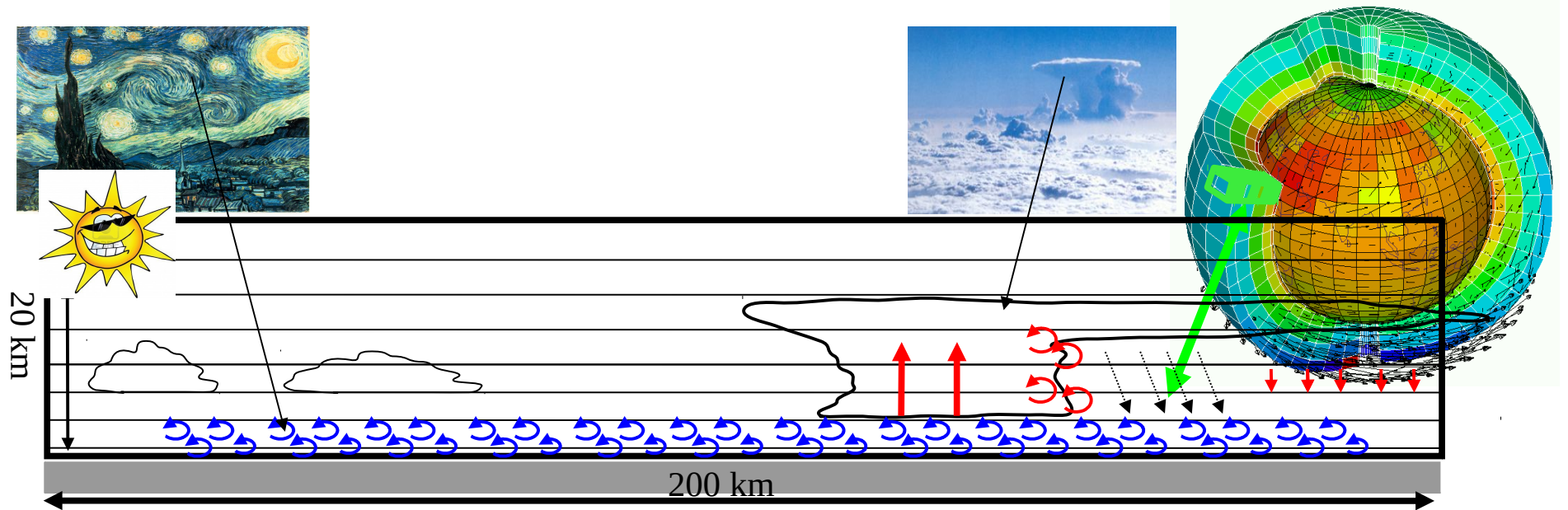
- Particulièrement actif autour de LMDZ
- Le projet « nouvelle physique » débuté fin des années 90s
- Importance de l'utilisation du cadre 1D/LES (projet national Dephy)

## Configurations de références

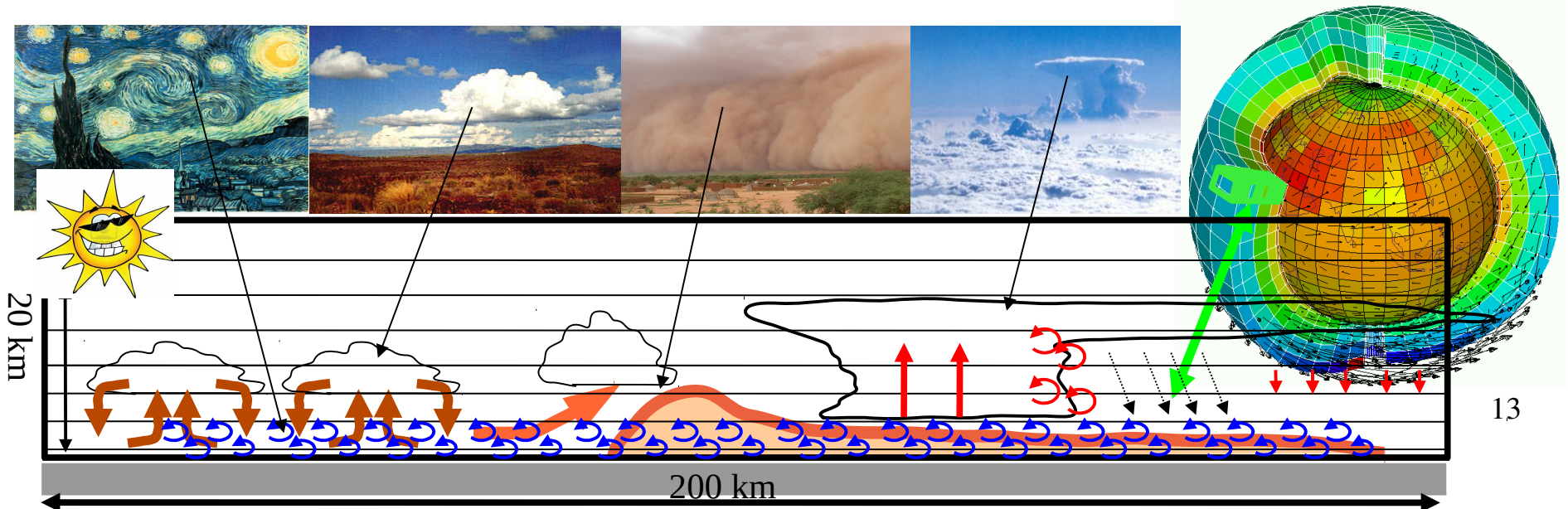
- Importance de l'ajustement des paramètres (tuning)
- Arrivée d'outil de calibration automatique (Projet ANR HighTune)



Physique "standard" : minimum syndical = diffusion turbulente + convection nuageuse



"Nouvelle physique" identifiant 3 échelles pour le transport vertical : turbulence de petite échelle, organisée dans la couche limite, et convection profonde orageuse (incluant une paramétrisation des « poches froides »).



# Les configurations de référence rythmées par les exercices CMIP en amont des rapports du Giec

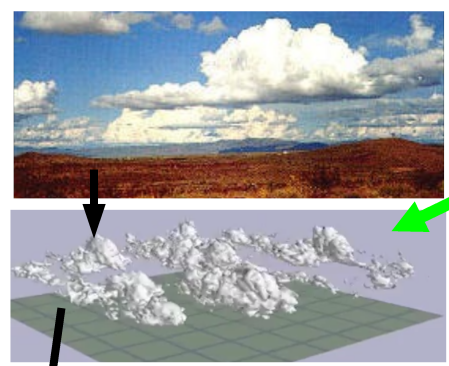
	Vertical resolution	Horizontal grid	Physical parameterizations	Name
CMIP3	L19	96x71	New convection scheme (Emanuel) Subgrid scale orography	IPSL-CM3 LMDZ4
CMIP5	L39 Extension to the stratosphere	LR = 96x95	2 versions <b>Standard Physics (SP)</b> same as CMIP3	IPSL-CMX LMDZX 5A-LR/MR
		MR = 144x143	<b>New physics (5B) with thermal plumes and cold pools</b>	<b>5B-LR</b>
CMIP6	L39	VLR = 96x95	VLR = 96x95, SP	5A2-VLR
	L79 - For PBL clouds dZ/Z < 0.1 Jusqu'à 3 km  - For QBO dZ=1km Jusqu'à 50km	LR = <b>144x143</b>  MR=280x280  HR=512x360 (50km)  XHR=1024/720 (25km)	<b>5B +</b> - <b>New radiation (RRTM)</b> - <b>Stochastic closure</b> - <b>stratocumulus from thermals</b> - <b>Ice thermodynamics</b> - <b>Surface couplings (continents and ocean)</b> - <b>gravity waves (including non orogr., QBO)</b>	<b>6A-LR</b>



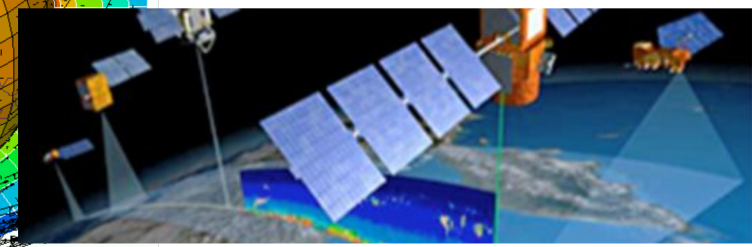
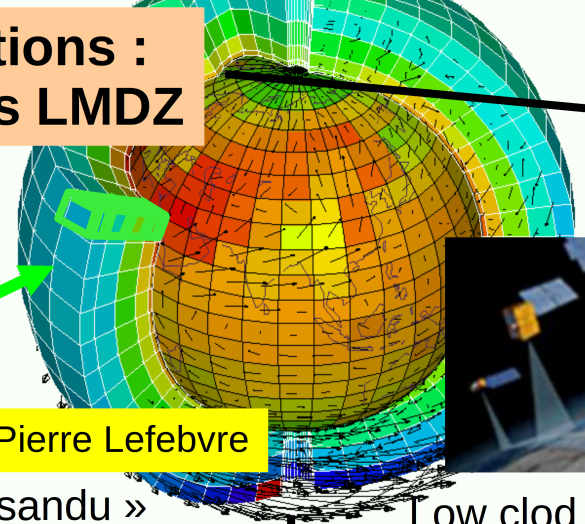
# Amélioration/évaluation des paramétrisations : apport du « modèle du thermique » dans LMDZ

2/ dans le modèle climatique 3D vs satellites

1/ en mode uni-colonne (SCM) vs simulations explicites (LES)



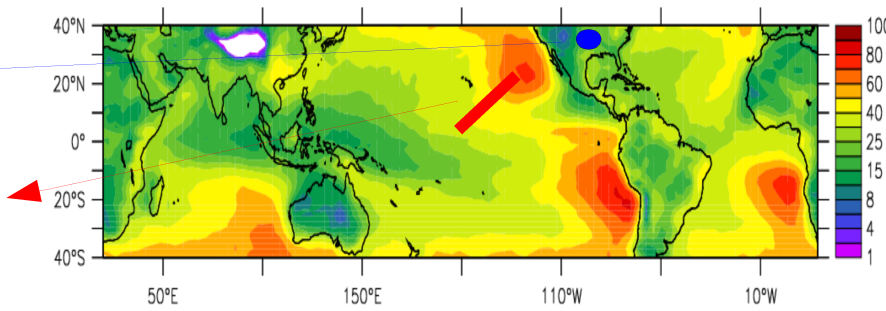
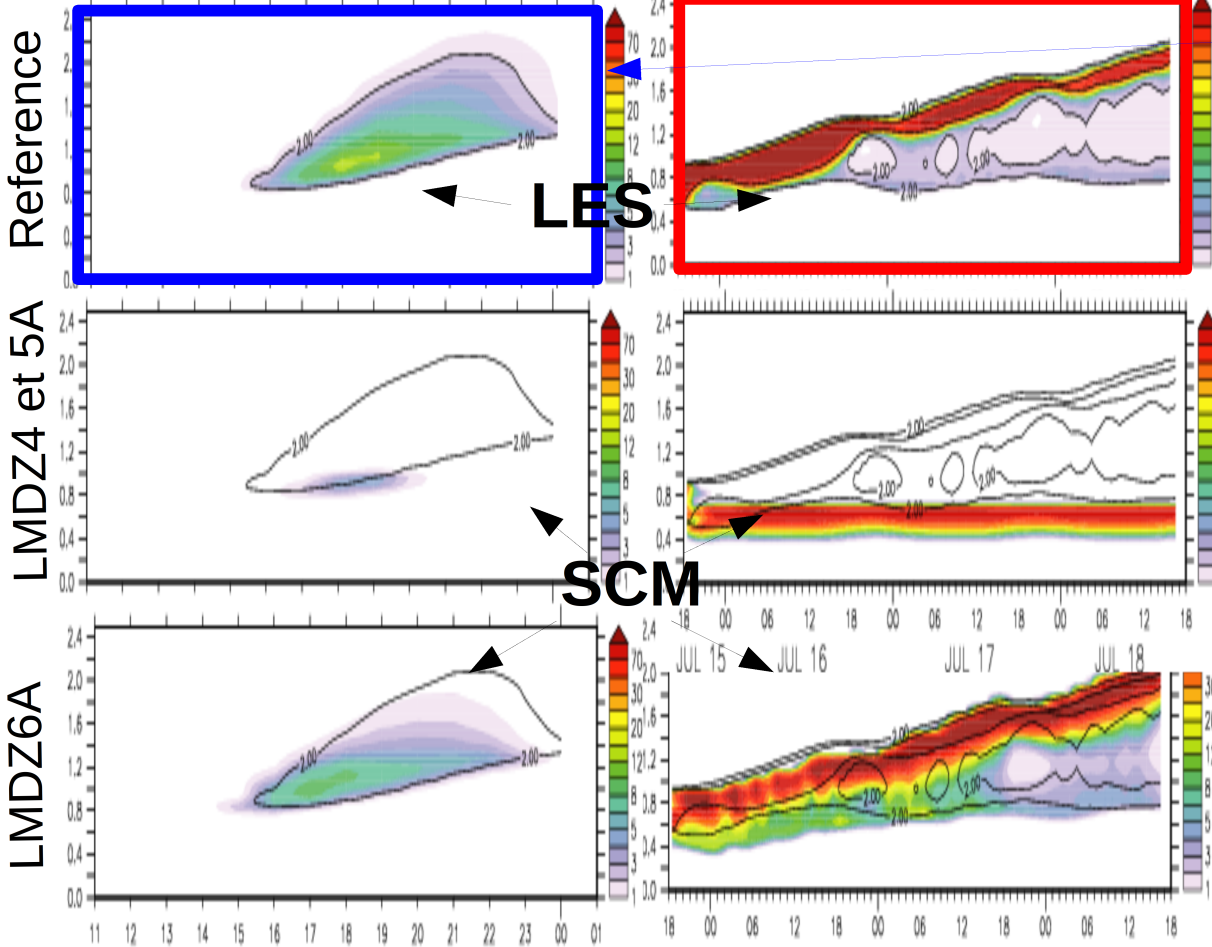
Marie-Pierre Lefebvre



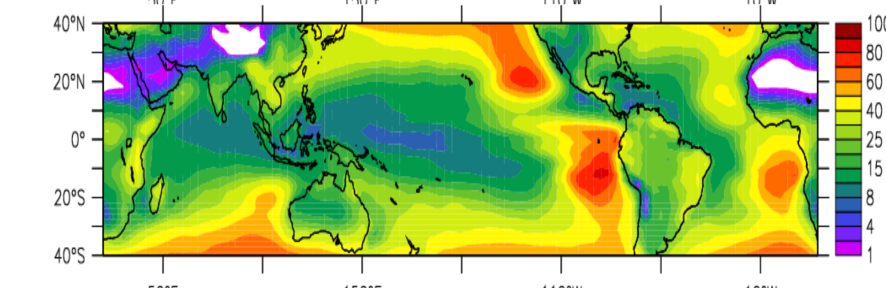
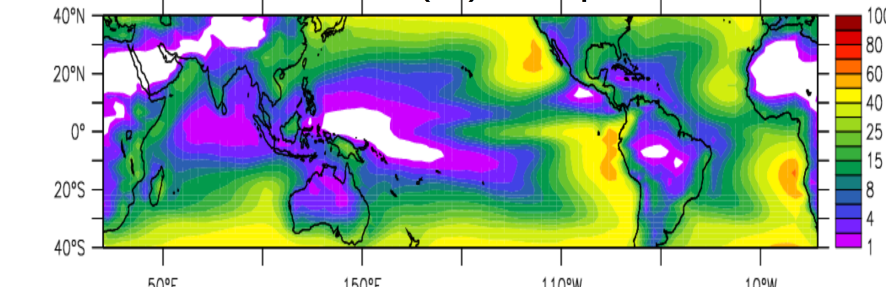
Cas ARM (Oklahoma) de cycle diurne de cumulus

Cas « sandu » Transition strato cumulus → cumulus

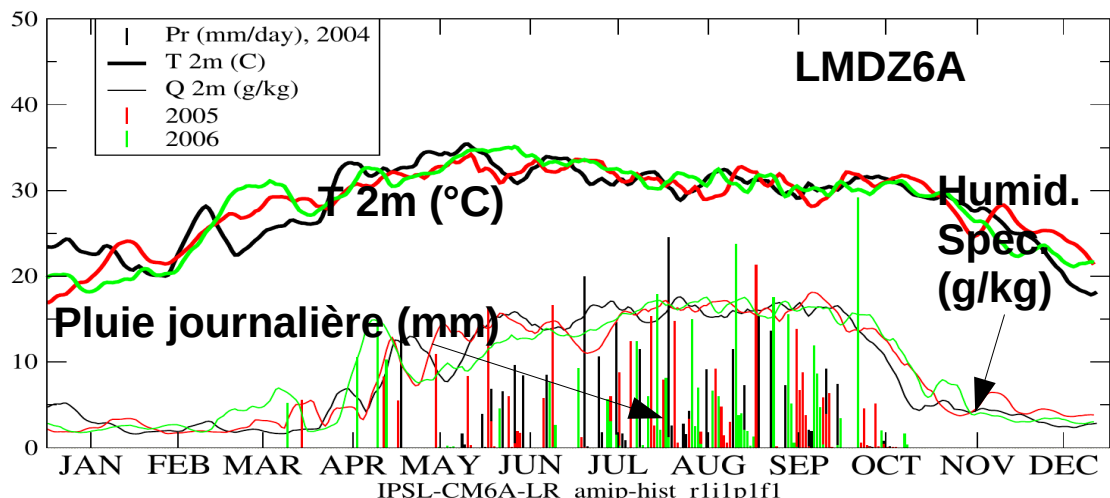
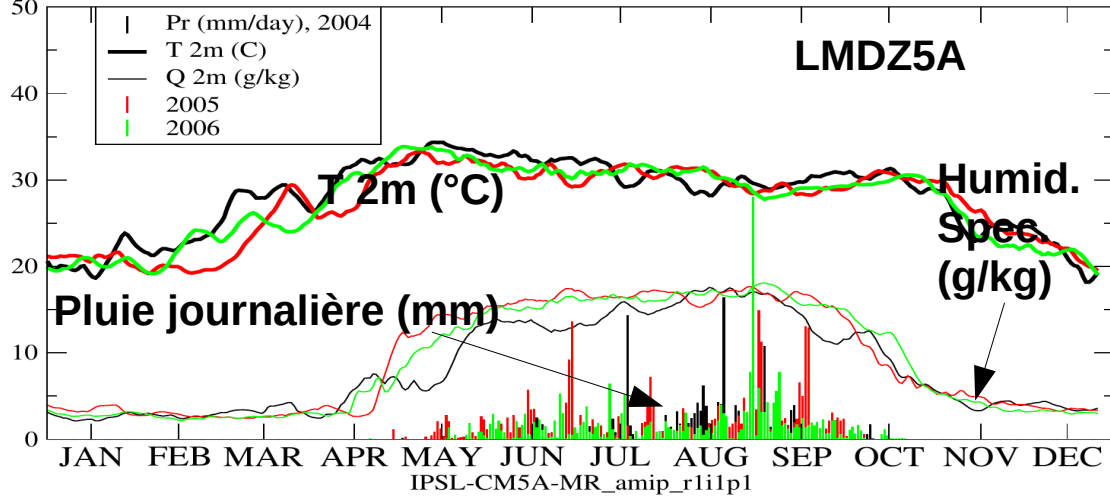
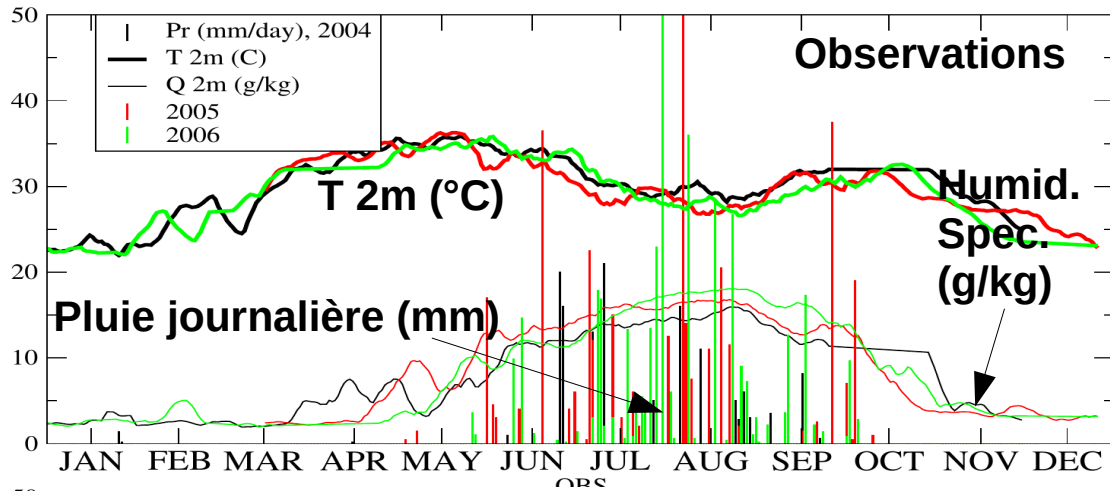
Low clod cover (%), annual mean Calipso lidar **Abderrhamane Idelkadi**



3D climate simulation (annual mean) Low clod cover (%), Calipso simulator



# Agoufou, Mali, 2004, 2005, 2006



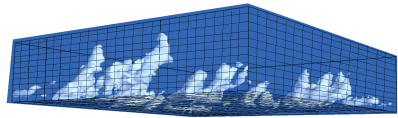
Introduction des thermiques et des poches froides + contrôle du déclenchement et de la fermeture de la convection  
 → Meilleur phasage du cycle diurne (Rio, Hourdin, Grandpeix, Lafore, 2009).

Introduction du « déclenchement stochastique » (Rochetin et al. 2011)  
 → Intermittence des pluies  
 → Meilleure dépendance de la représentation des pluies à la résolution horizontale (scale aware)

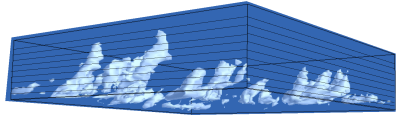


# 1/ Développement de nouvelles paramétrisations

Développement et test en mode uni-colonne



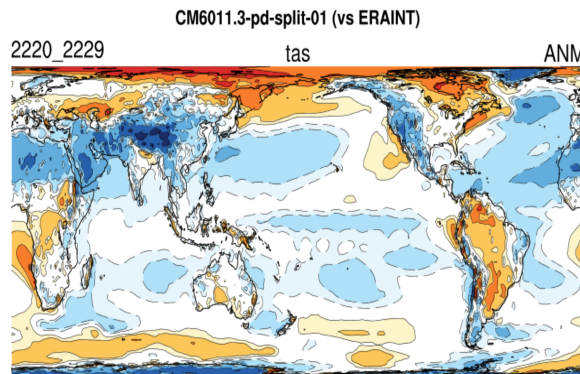
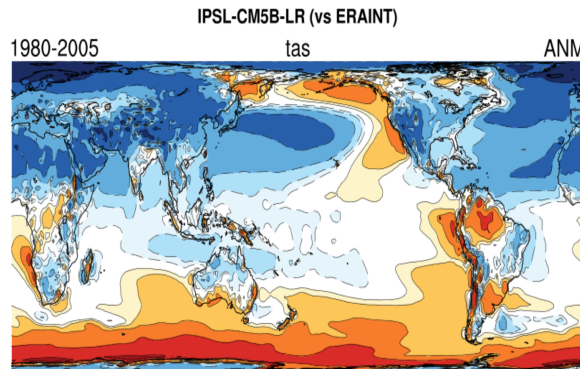
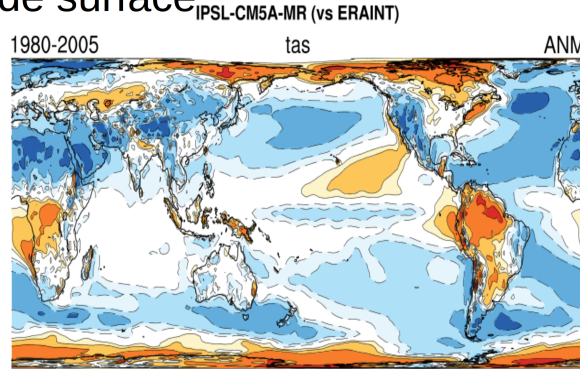
Explicit simulations, dx ~20-100 m



Climate model, parameterizations « single-column » mode

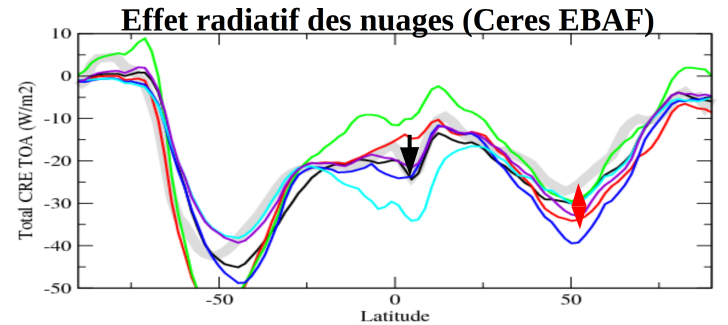
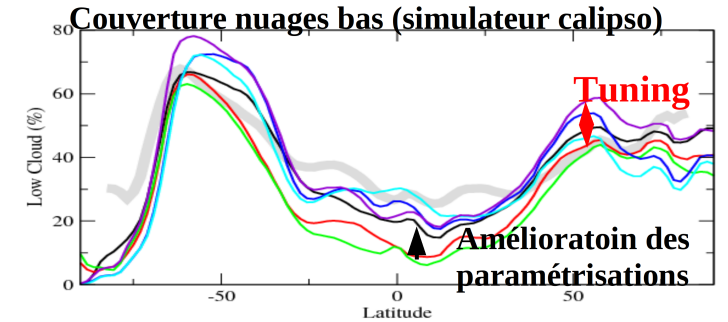
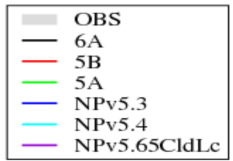
# 3/ Vérification des améliorations modèle couplé océan/atmosphère

Erreur moyenne sur la température de surface



# 2/ Tuning énergétique du modèle 3D (températures océaniques prescrites)

Ajustement des paramètres nuageux pour améliorer la représentation des bilans radiatifs.



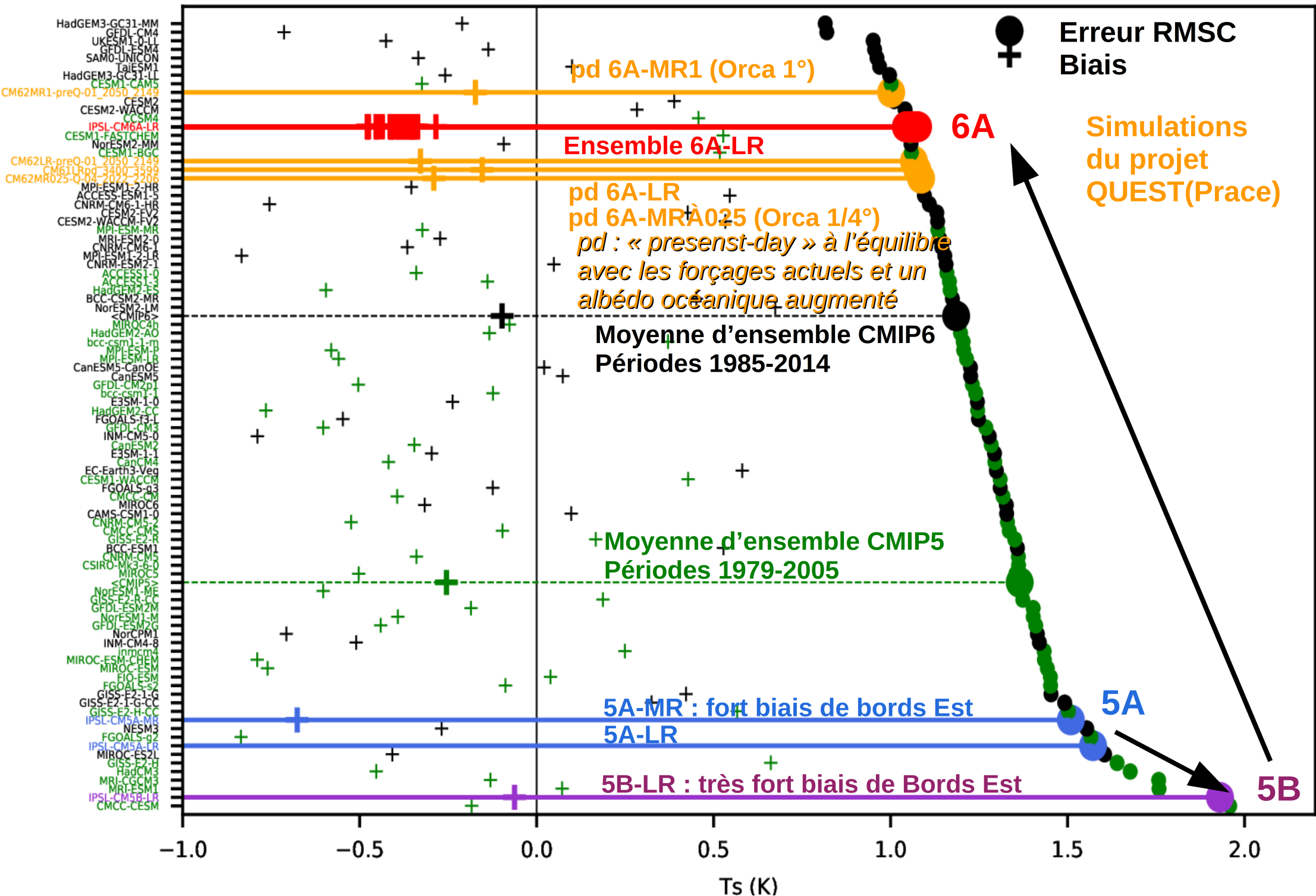
## Tuning atmosphère pour CMIP6

- 738 Mutli-atlas (Ensemble de diagnostics mutualisés)
- 2600 simulations: "forcées" 2-30 ans, "couplées" 50-300 ans.

Beaucoup plus de personnes impliquées que pour CMIP5 = + exigeant et + de travail

2 ans de mobilisation pour l'équipe.

# Erreurs sur le cycle saisonnier moyen des SSTs (35S-35N)





# Développement d'outils automatiques pour le tuning

## Issus de la communauté de la « quantification des incertitudes » (UQ)

Pour P paramètres libres,  $p_i$  dans  $[p_{i,\min}, p_{i,\max}]$ ,  $i=1,P$

Pour M métriques scalaires,  $m_j$  associée à une observation  $o_j$ , d'incertitude  $\sigma_j$ ,  $j=1,M$

On effectue  $N \sim 10 \cdot P$  expériences avec le modèle  $\rightarrow$  N réalisations des M métriques.

Emulateur ou métamodèle  $\rightarrow$  Calcul des M métriques pour n'importe quel  $p$  dans  $[p_{i,\min}, p_{i,\max}]$ ,  $i=1,P$

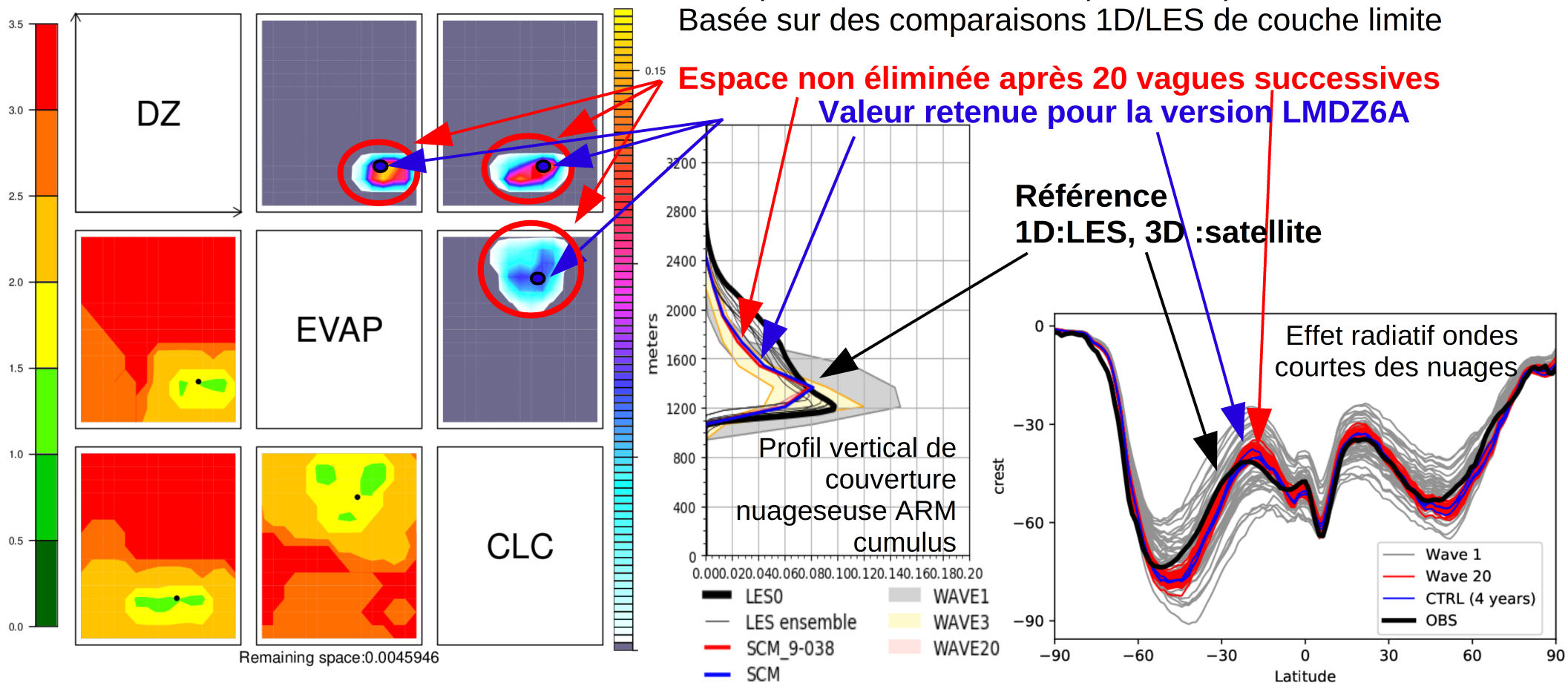
On élimine les valeurs quand pour lesquelles  $m$  est trop loin de  $o$  (erreur plus grande que 3 fois la somme des incertitudes d'observation, de l'émulateur, et de l'erreur structurelle du modèle).

Processus itératif : on élimine des régions non autorisées au cours de vagues successives

### Revisite a posteriori du tuning manuel de LMDZ6A

Exemple de réduction de l'espace des paramètres

Basée sur des comparaisons 1D/LES de couche limite



# Perspectives

## En cours sur le contenu physique

- **Convection orageuse et pluie** : prise en compte de l'organisation, convection moyenne (congestus, enclumes), propagation des poches froides de maille en maille, indépendance des paramétrisations de la convection vis-à-vis de la résolution horizontale
- **Rayonnement et nuages** : nuages sous maille sur la verticale, prise en compte des recouvrements nuageux sur base de calculs multi colonnes, Micro-physique nuageuse, effet 3D du rayonnement (HighTune, ECrad)
- **Hétérogénéités de surface** : brises, montagnes, couverts végétaux ...
- **Questions numériques, conservation de l'énergie** ...
- **Physique non hydrostatique : rapprochement avec MesoNH**
- **Irruption du stochastique dans un monde jusque la déterministe** : déclenchement de la convection mais également ondes de gravité non orographique (Lott et al.)

## Tuning automatique / quantification des incertitudes : une petite révolution

- Formalisation des métriques et tolérances associées
- Mise en place d'outils automatiques diagnostiques
- Mise en place de code d'optimisation automatique sous R
- Permet de réconcilier le développement à l'échelle des processus en 1D avec le tuning 3D
- **Besoin de références pour les autres paramétrisations**

## Besoin de définir une stratégie pour les prochaines versions

- Quelles priorités ?
- Comment animer une communauté de développeurs ?



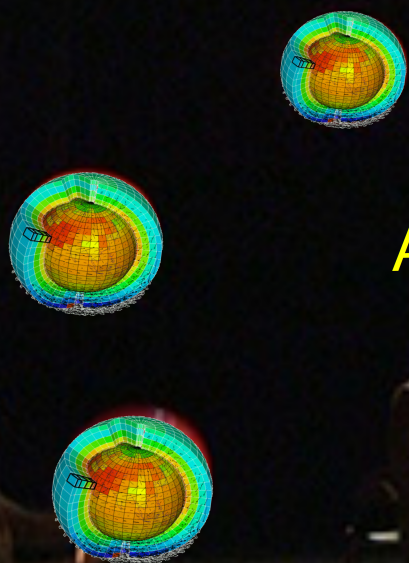
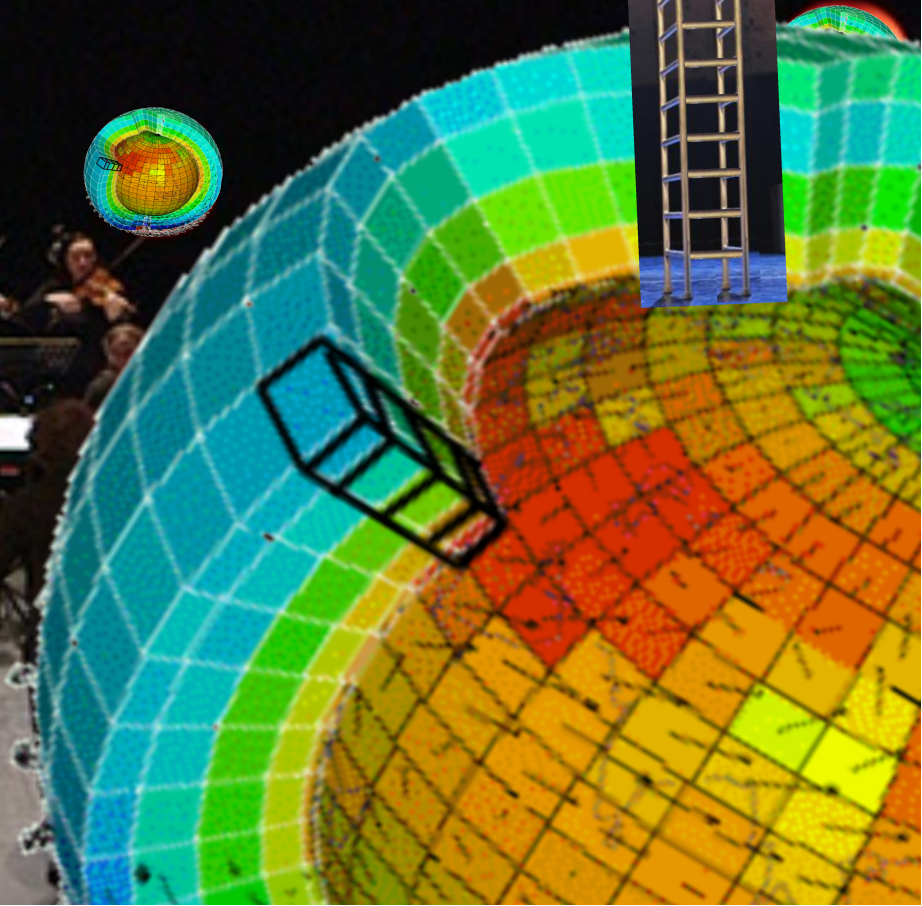
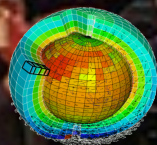
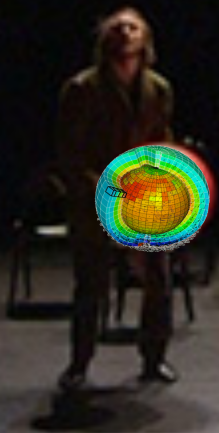


Travail collectif

Recherche sur les paramétrisations

Agilité

Accord de l'ensemble



## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- Tour de table du CS

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- Développements physiques et tuning (F. Hourdin, 10min)
- **Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)**
- Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)
- Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)
- Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)

### 4) Discussion à huis clos :

- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement

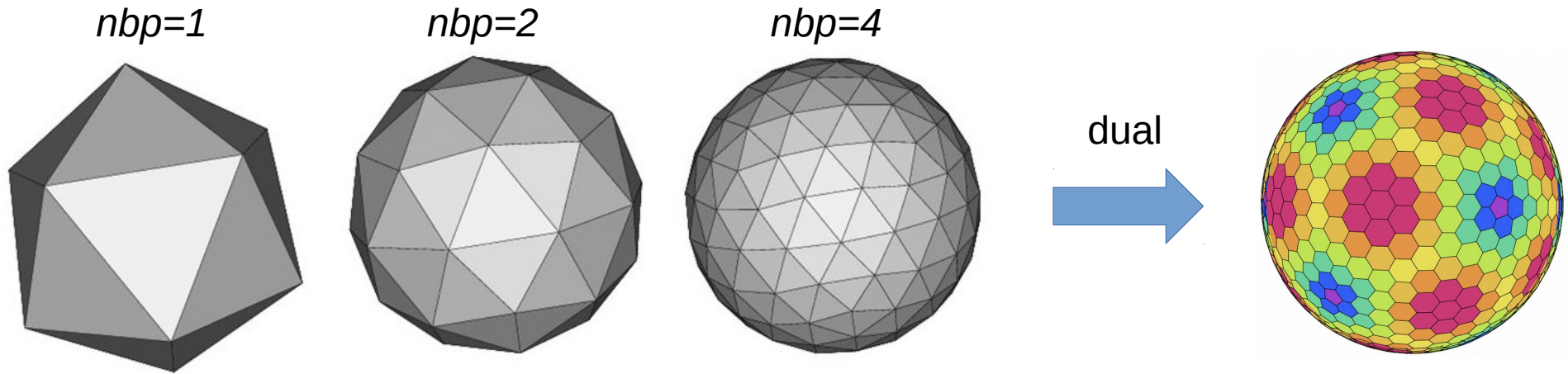


# Noyau(x) dynamique(s) de LMDZ

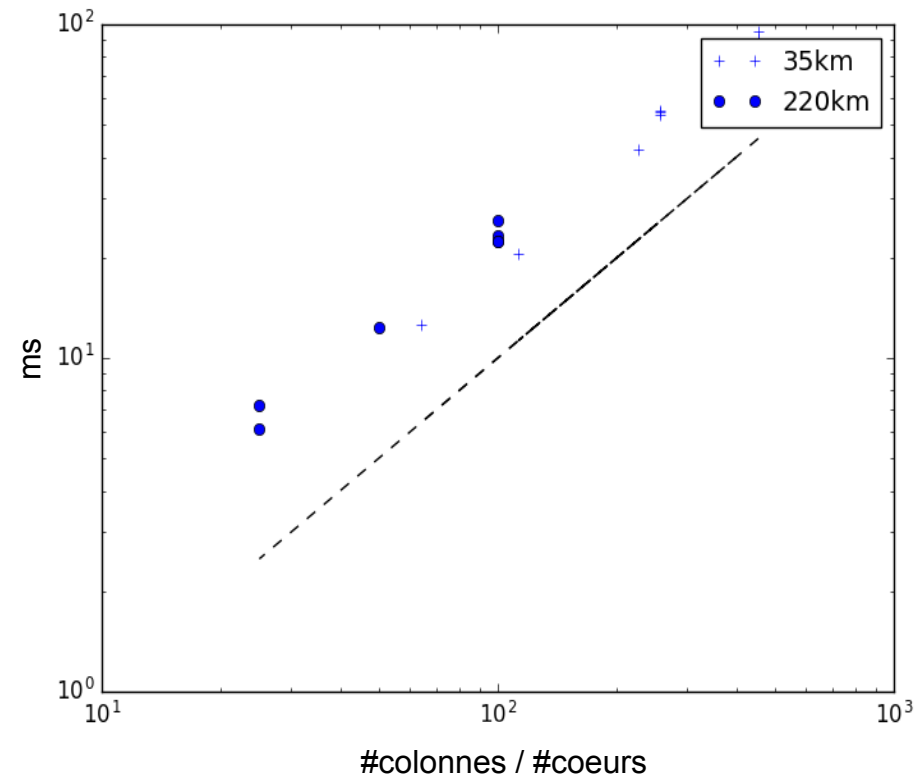
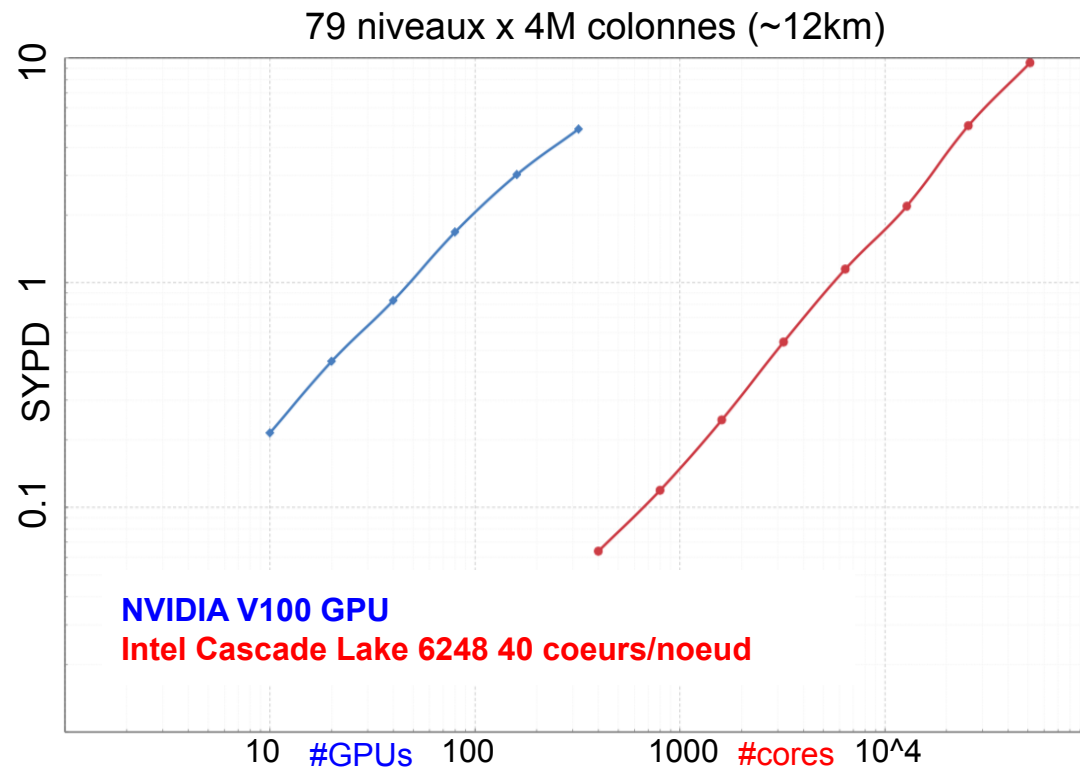
Thomas Dubos

+A. Caubel, S. Fromang, J. Ghattas, F. Hourdin, O. Marti, E.  
Millour, Y. Meurdesoif, A. Spiga ...

# DYNAMICO : Dynamical core on icosahedral grid

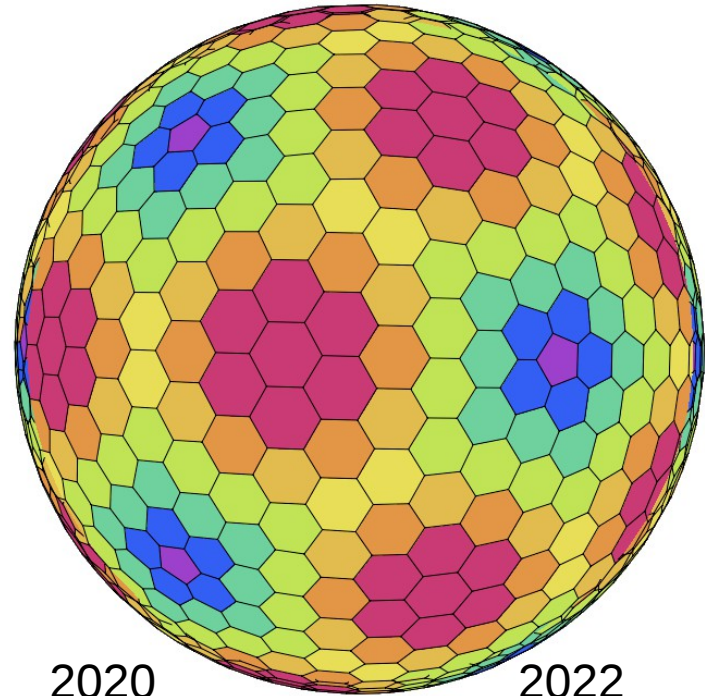
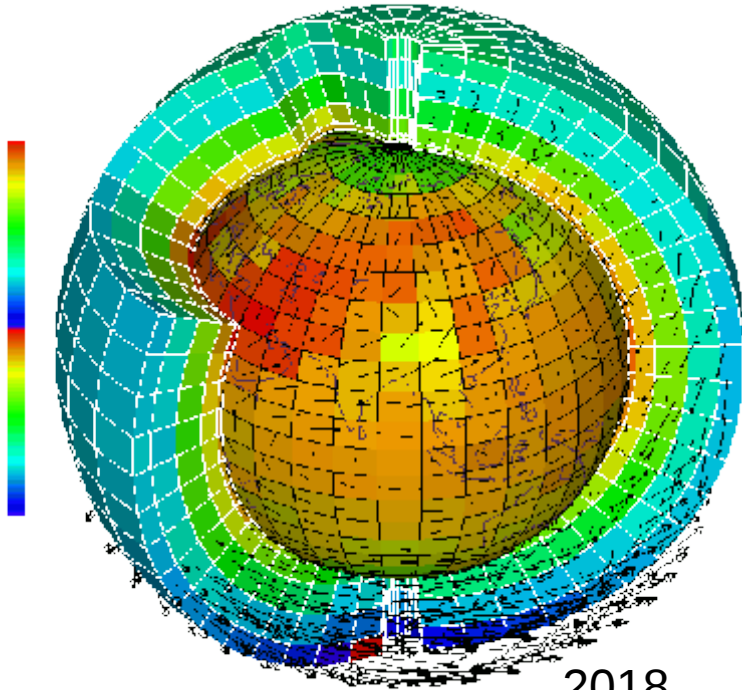


Quasi-uniform => pas de problème au pôle  
Simple à générer et distribuer => parallélisme



dynlmdz / dyn3dpar / dyn3dmem

DYNAMICO



2013

2018

2020

2022



DYNAMICO

DYNAMICO+LMDZ

DYNAMICO-NH

XIOS

ICOLMDZ+OASIS

DYNAMICO-MESONH

DYNAMICO-LAM

AMIP LR

AMIP HR

couplé HR

CMIP LR

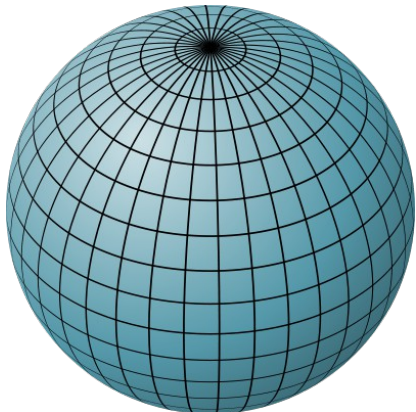
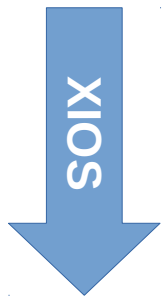
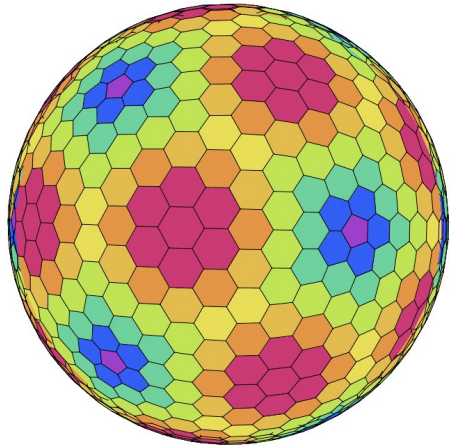
régional HR

Planètes géantes

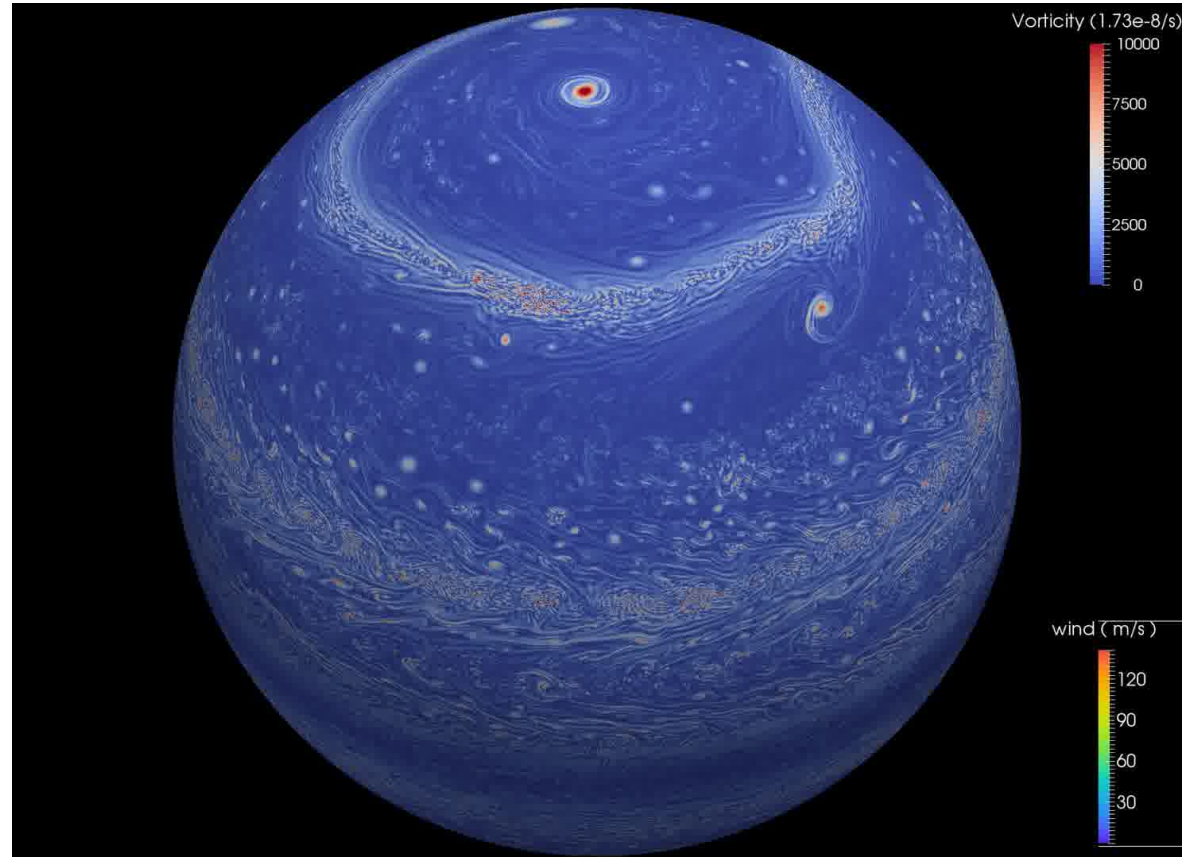
Vénus, Mars ...

régional km

# Physique planéto + DYNAMICO + XIOS



Saturne, Jupiter



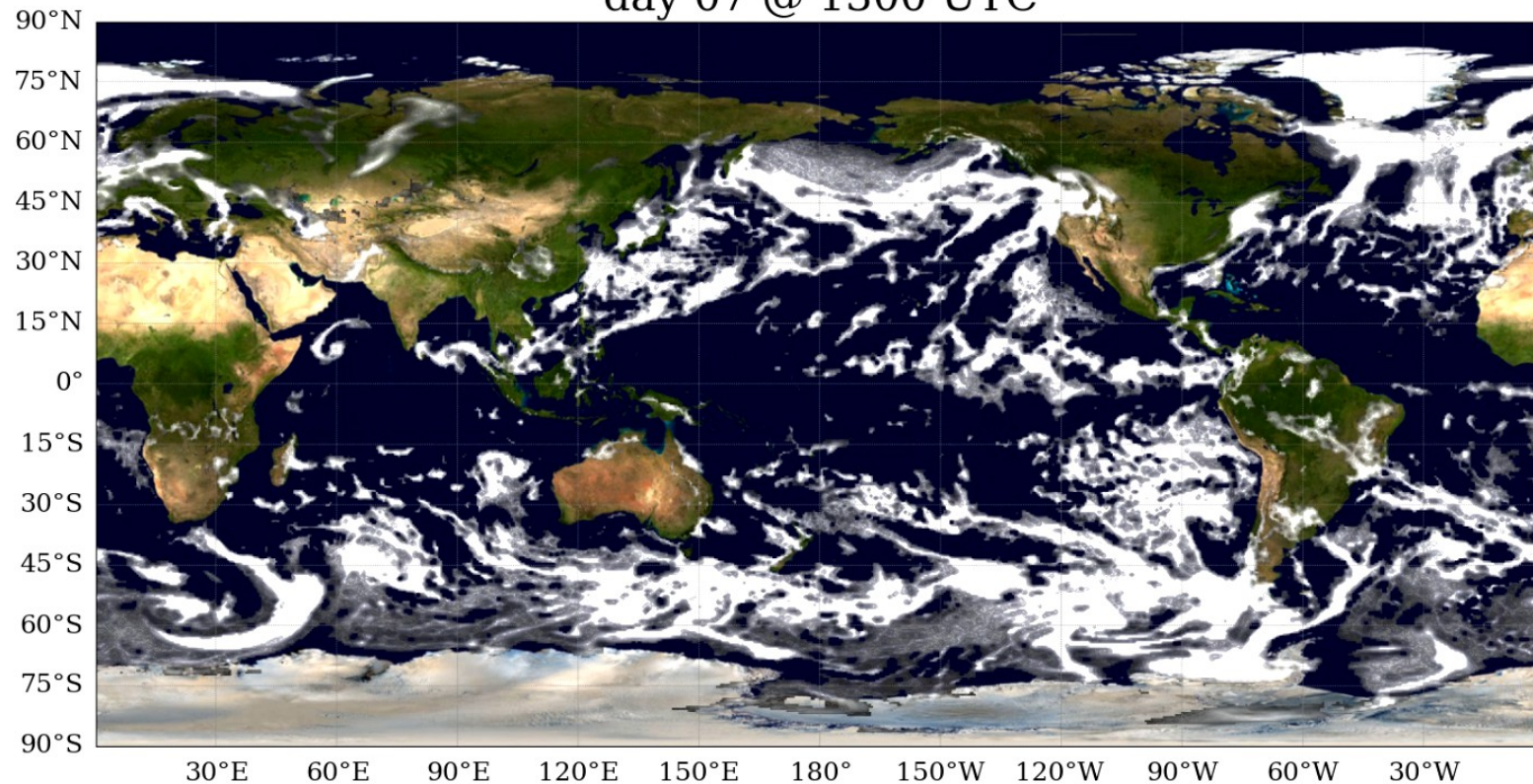
*Spiga et al., Icarus 2020*

Vénus, Mars : en cours



# Physique LMDZ-ORCHIDEE + DYNAMICO + XIOS = IPSL-CM7A-HR

day 07 @ 1300 UTC

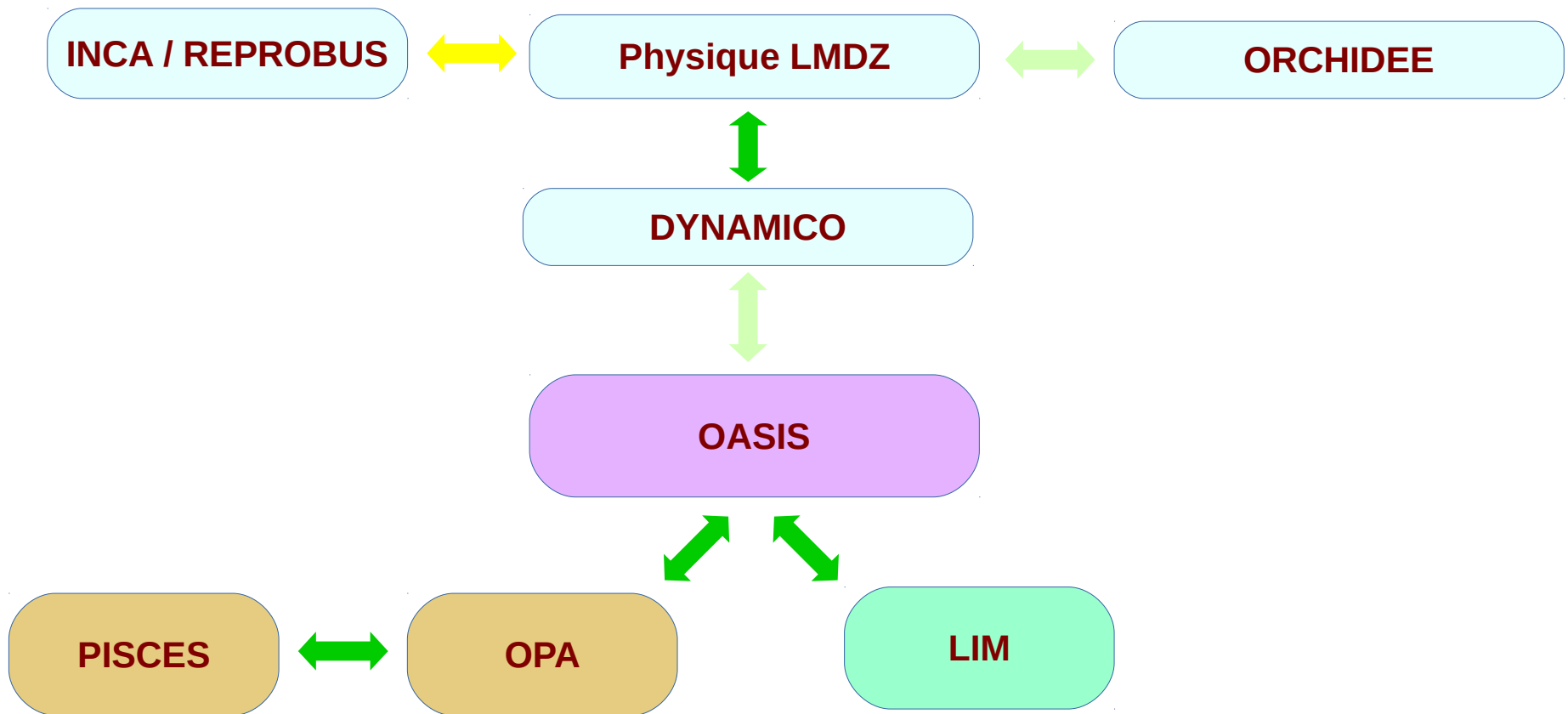


HighResMIP (atmosphère seule) - 256 000 colonnes x 79 niveaux = 20 millions de mailles ~ 50km

## Points bloquants / à améliorer / à surveiller

- Synchronisation des développements DYNAMICO et LMDZ
- Validation / exploitation scientifique
- Plantages dans la physique : contournés à 50km, à voir à 25km, quid de 10-12 km ?

# Vers un IPSL-CM complet



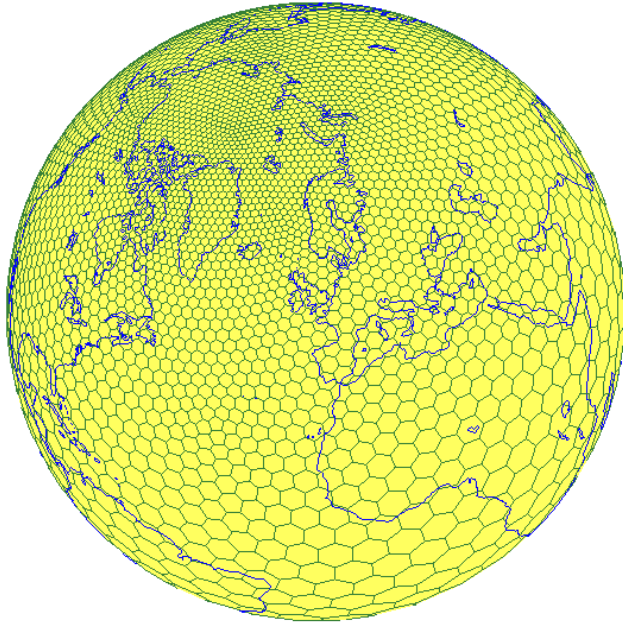
## Points bloquants / à améliorer / à surveiller

- Parallélisation du routage dans ORCHIDEE
- Validation en style CMIP
- Poids d'interpolation par XIOS
- Bug OASIS

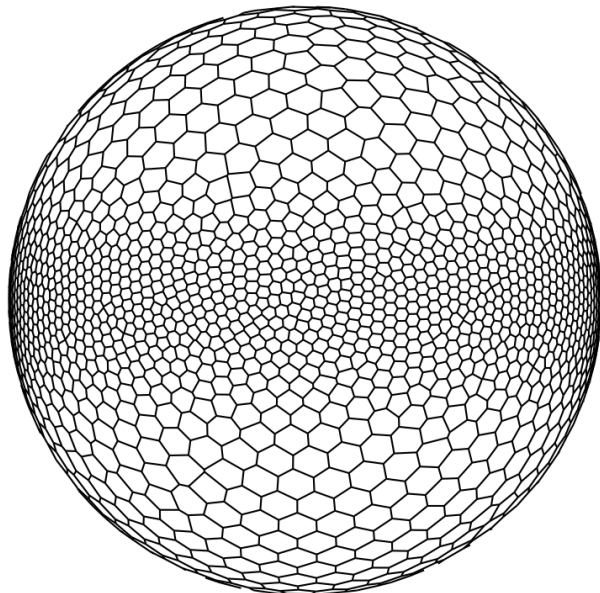
ESIWACE2 : couplé global 10km + NEMO12 opérationnel en 2022

# Vers des configurations régionales

Zoom

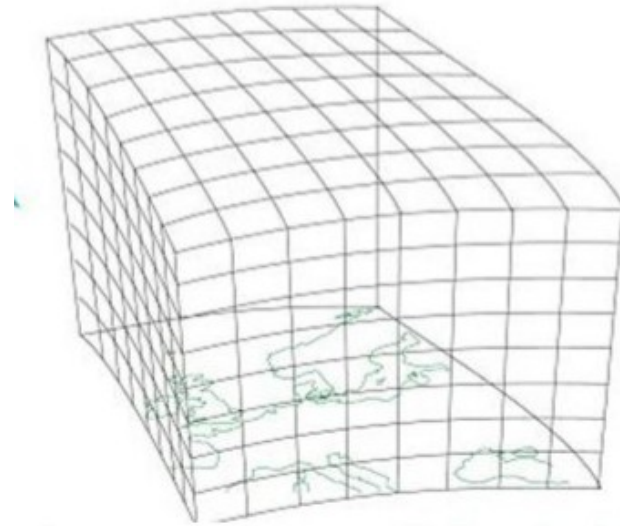


*Transformée de Schmidt*



*Maillage non-structuré*

Aire limitée



*Résolution >10km*

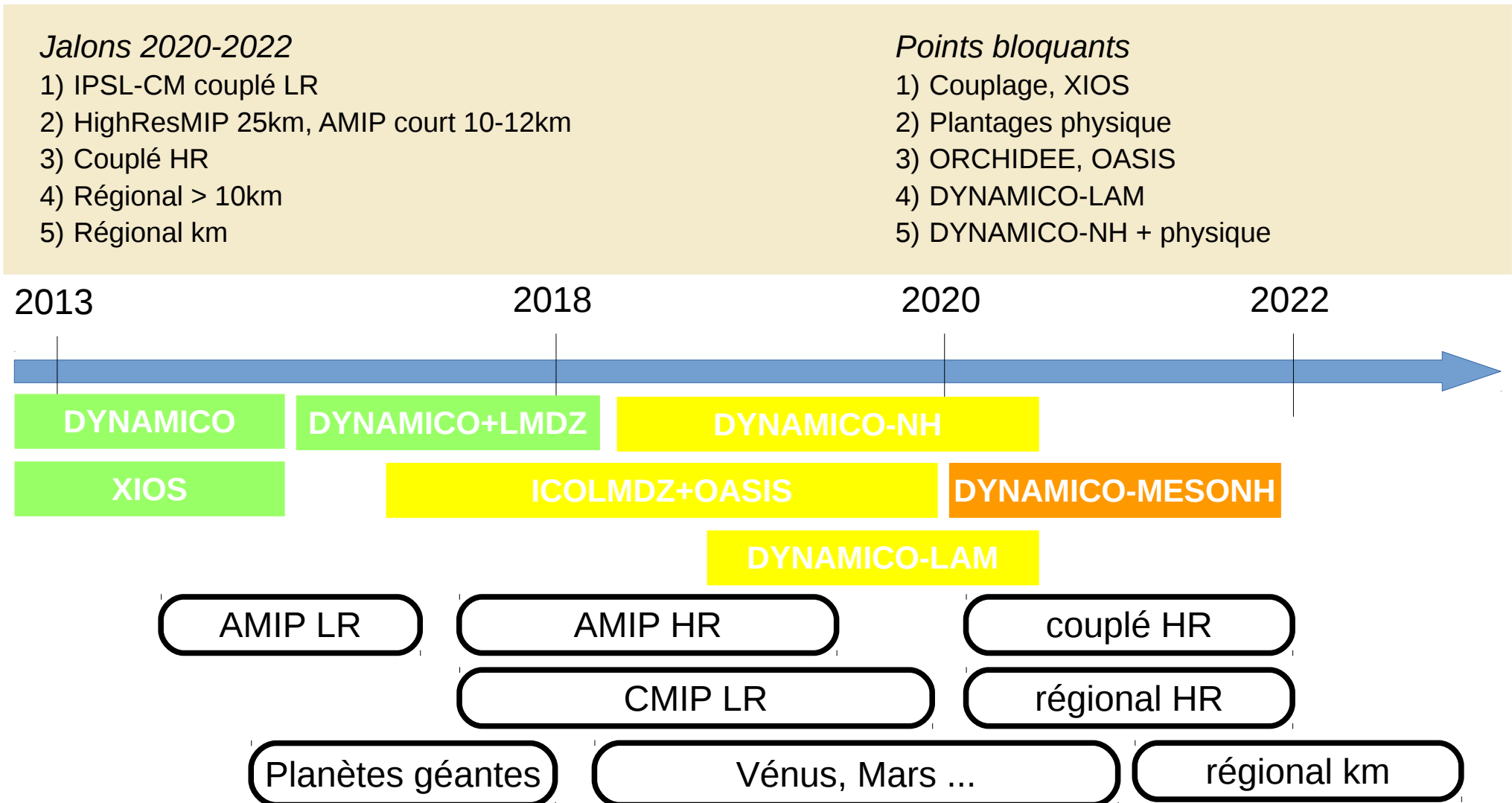
- Dynamique hydrostatique
- Physique LMDZ

*Résolution <10km*

- Dynamique non-hydrostatique  
=> collaboration CNRM-GAME  
(F. Voitus)
- Physique kilométrique  
=> collaboration initiée CNRM/LA  
(C. Lac, J.P. Chaboureau)

# Discussion

- Les applications nécessitent un travail substantiel au-delà de DYNAMICO : XIOS, physique, autres composantes, atlas d'entrée, ...
- Intégrer plus fortement développement et validation/exploitation : autour de quelle(s) communauté(s) ? Existantes / à faire émerger ?
- Physique kilométrique : chantier impactant la physique, comment le mener ? Opportunité de rapprocher Paris-Toulouse ? Modulariser / partager la/les physiques ?





## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- Tour de table du CS

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- Développements physiques et tuning (F. Hourdin, 10min)
- Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)
- **Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)**
- Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)
- Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)

### 4) Discussion à huis clos :

- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement

# Anticipation des changements climatiques régionaux

Nécessité pour répondre à l'urgence climatique de trouver un langage commun avec la communauté des impacts et d'évaluer les outils de descente d'échelle

# LMDZ: Un outil à multi-configurations

- Une version améliorée et fortement évaluée de LMDZOR qui a participé à la quasi-totalité des expériences CMIP6, qui permettent d'attaquer des questions de changement climatique régional
- Des configurations zoomées et guidées pour explorer les climats régionaux
- Retour sur les méthodologies de régionalisation (conditions aux limites des modèles régionaux, « garbage-in –garbage out)
- Quelques projets qui démarrent

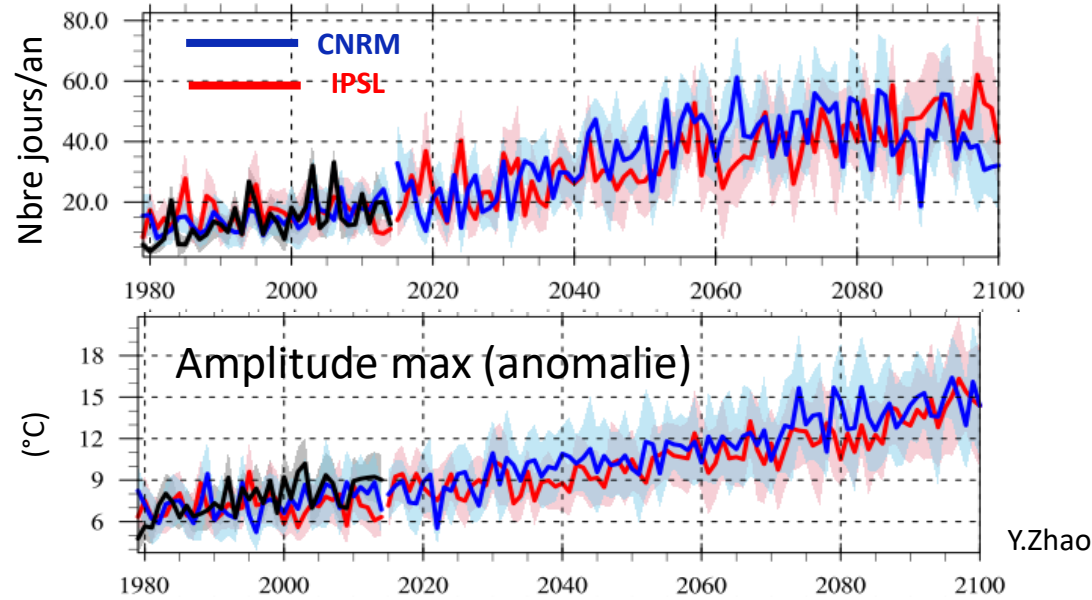
# LMDZ: Un outil à multi-configurations

- Les configurations à grilles régulières: en cours (version MR-50km) ou en gestation pour la dynamique (LMDZOR-DYNAMICO, LAM-DYNAMICO....),



# VAGUES DE CHALEURS en France et en Europe

A spell of at least 3 consecutive days in summer (JJA), with maximum temperatures exceeding the local 90th percentile of the control period (1979–2014).



Y.Zhao

Les dernières simulations « historiques » prolongées en 2030 et « futures »  
 Dernière version du modèle de l'IPSL, IPSL-CM6A-LR  
 IPSL – Climate Modeling Center

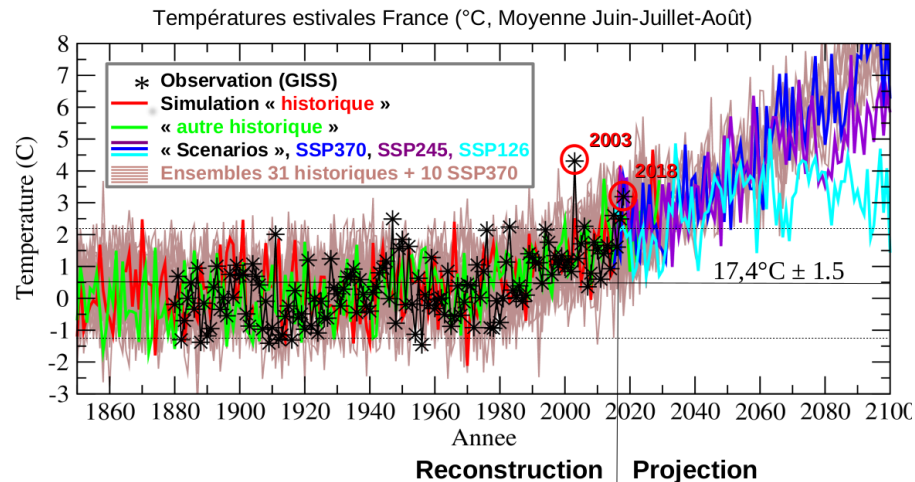
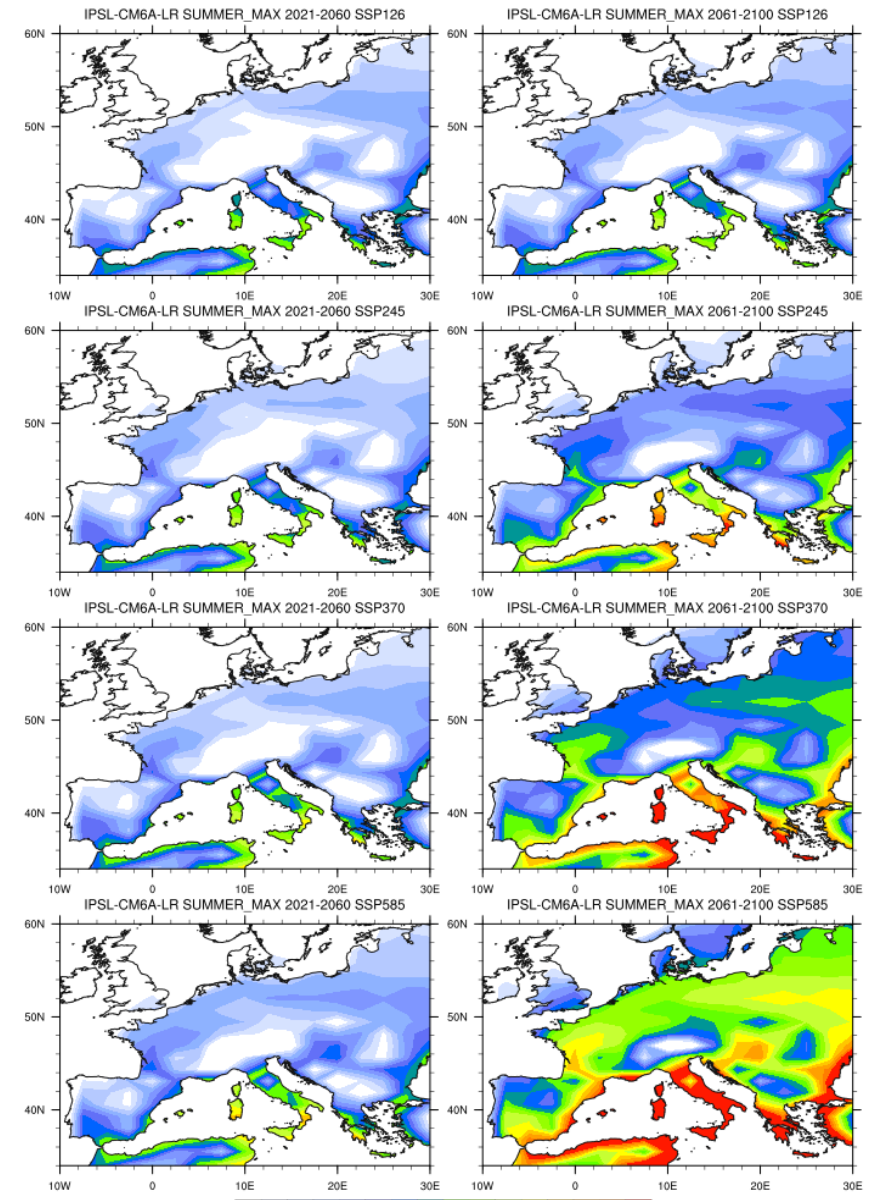


Fig. F. Hourdin, mai 2019

## Température ressentie 4 SSP simulations of IPSL-CM6A-LR (units: degC) 2021-2060 2061-2100



ssp126

Scenario

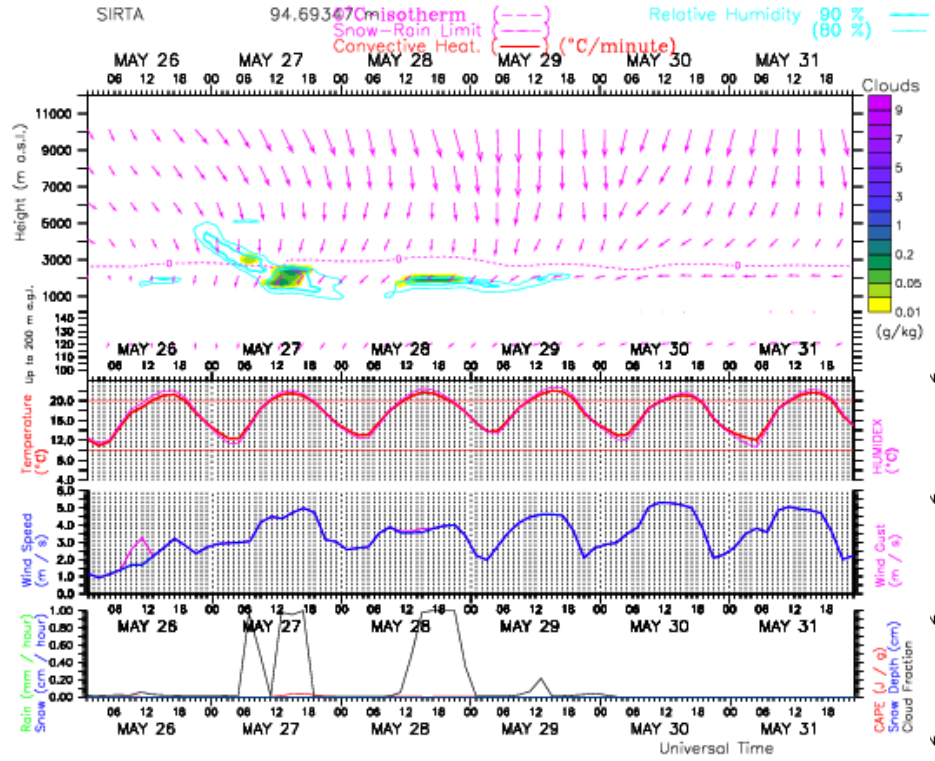
ssp585

Y.Zhao

# LMDZ: Un outil à multi-configurations

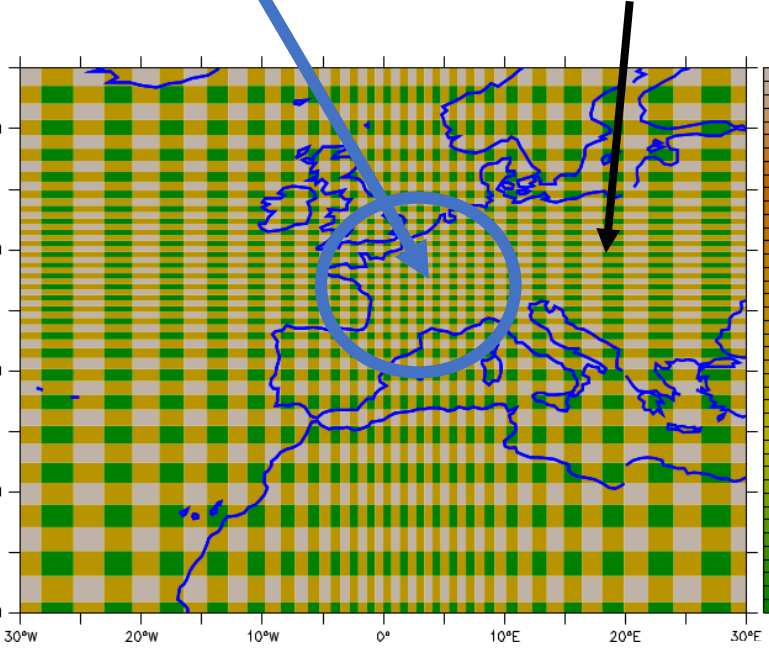
- Les configurations à grilles régulières: en cours (version MR-50km) ou en gestation pour la dynamique (LMDZOR-DYNAMICO, LAM-DYNAMICO....),
- Des configurations zoomées et guidées  
Raffinement local de la grille + guidage par analyses ou des projections climatiques

- par des analyses



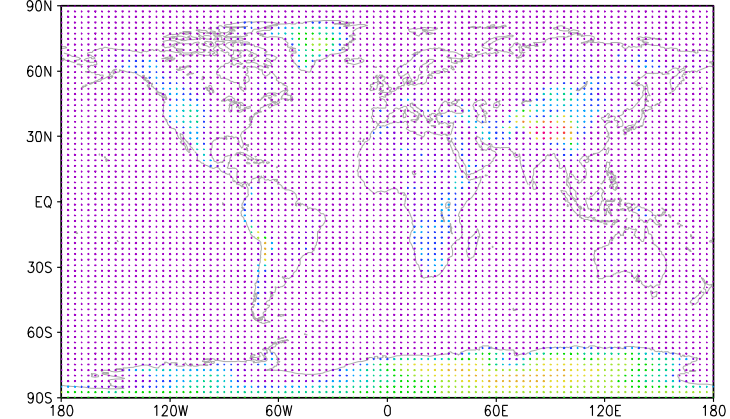
Guidage plus ou moins fort

Guidage fort



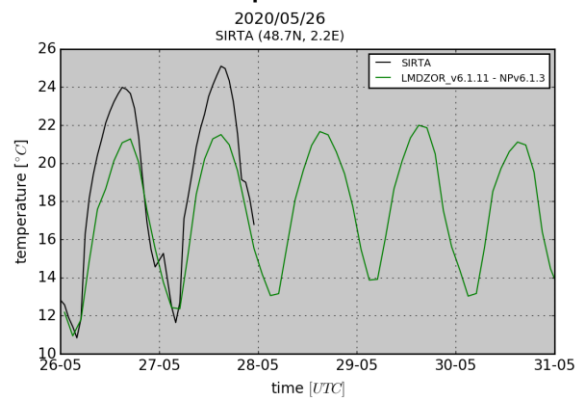
- par un autre modèle ou des projections climatiques

LMDZ 96x72 globe

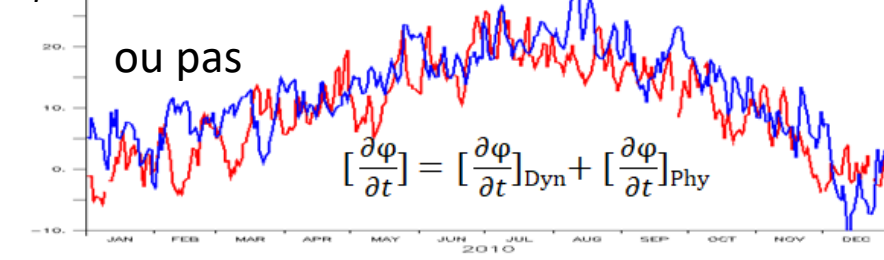
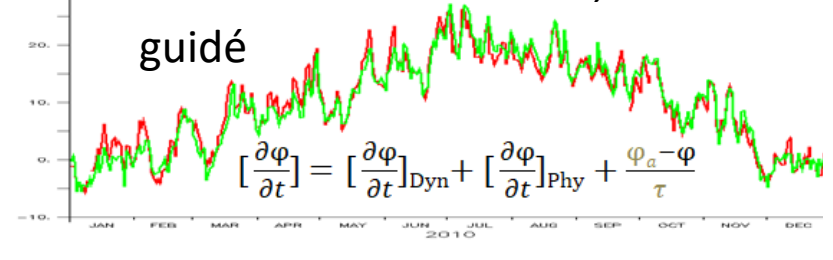


Descente d'échelle pour le changement climatique

air temperature 2m

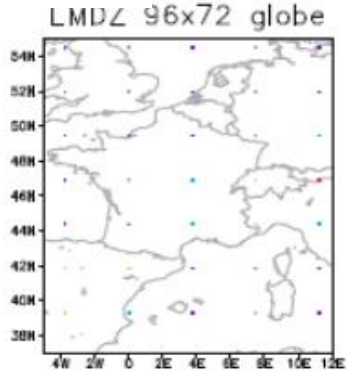
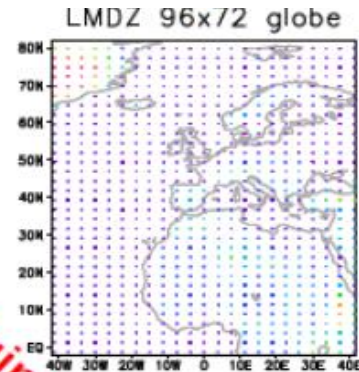
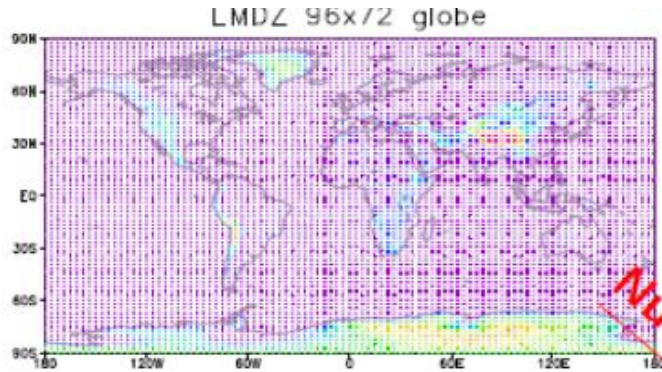


Cycle annuel des températures au SIRTA



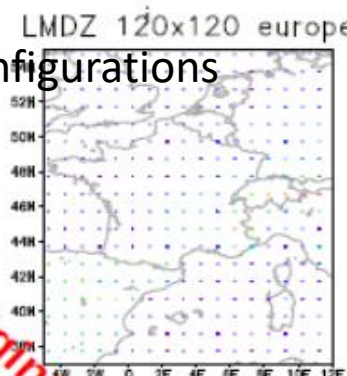
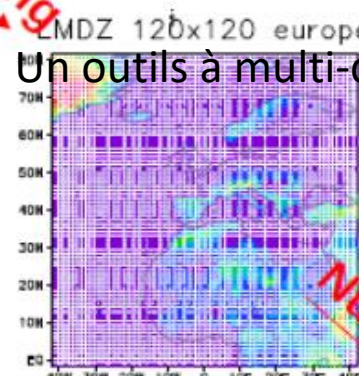
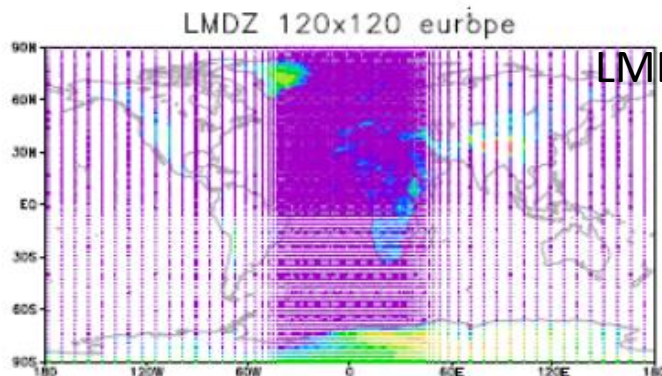


- Configuration de grilles en cascade  
(similaire à ce qui est fait avec les modèles à aire limitée)

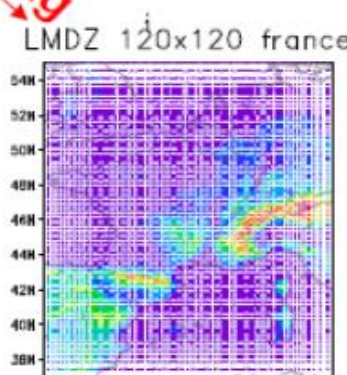
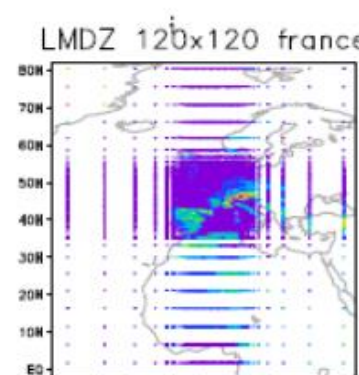
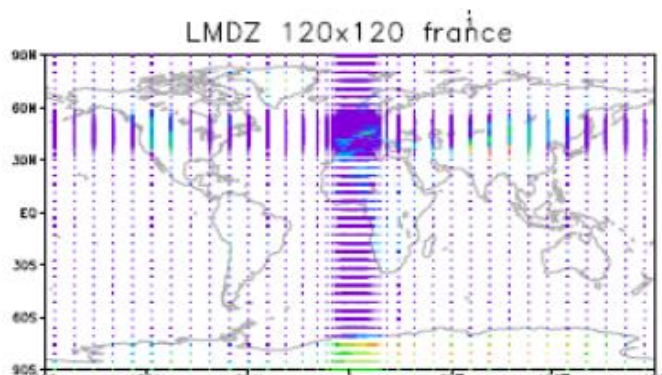


L. Li

LMDZ Globe  
(300 km)



LMDZ Europe  
(100 km)



LMDZ France  
(20 km)

LMDZ: Un outils à multi-configurations

Nudging

Nudging



# Retour sur les méthodologies de régionalisation

- Méthode classique: Un modèle à Aire Limitée est forcé au bord par les projections climatiques d'un modèle de climat global
  - Cohérence grande échelle/échelle régionale?
  - Impact des biais (grande échelle et non) et de leurs interactions?
- LMDZ zoomé permet de résoudre une partie de ces incohérences (grilles en cascade et double « nichage »)
- Le guidage permet corriger certains biais

# Empirical bias correction of atmospheric models



GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 39, L18803, doi:10.1029/2012GL052815, 2012

## The impact of model fidelity on seasonal predictive skill

V. V. Kharin<sup>1</sup> and J. F. Scinocca<sup>1</sup>

*Normal prognostic equations*

Nudging:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = F(X) - \frac{1}{\tau}(X - X_R)$$

*Nudging term*

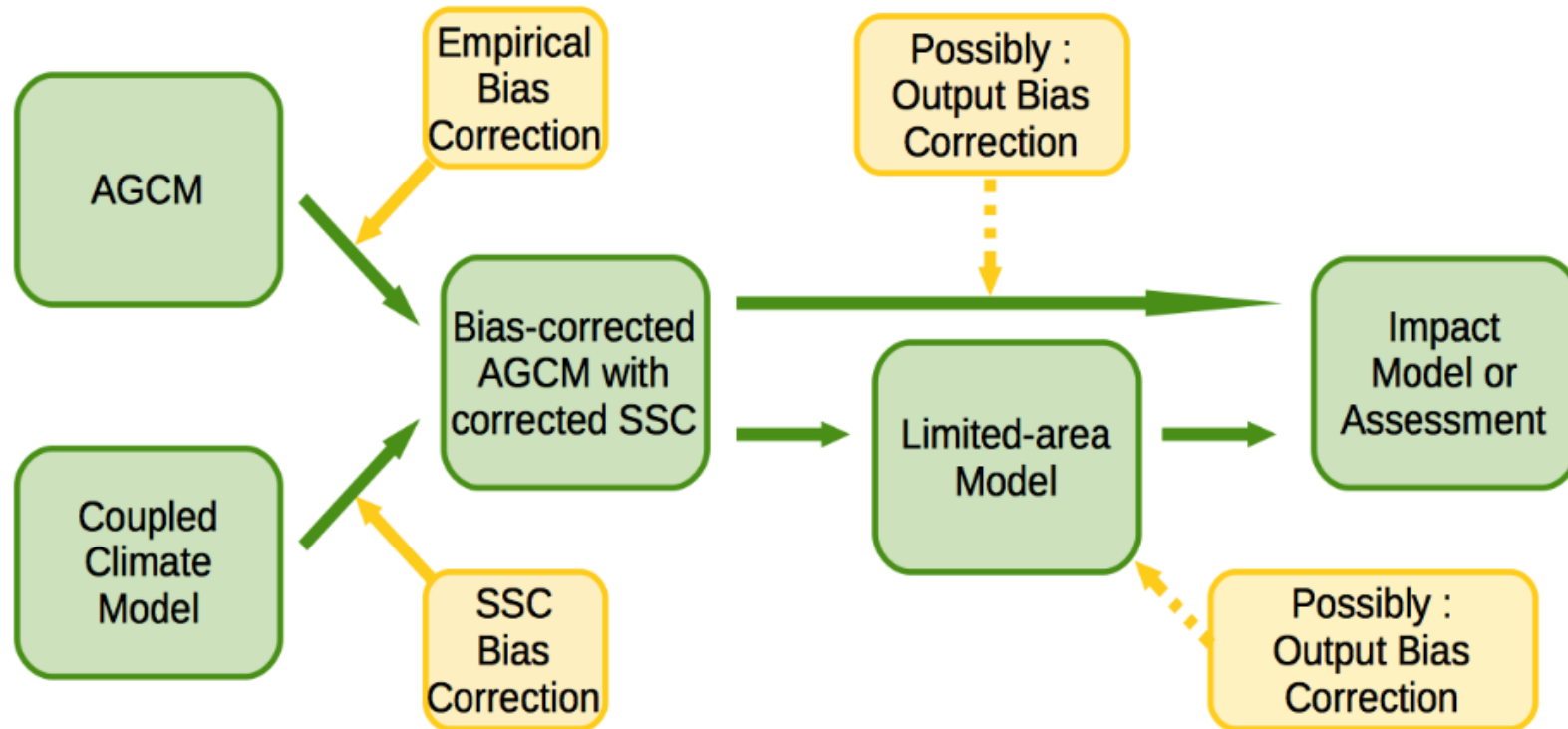
Bias correction:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = F(X) + G$$

where  $G$  is the empirical bias correction

$$G = -\frac{1}{\tau} \overline{(X - X_R)}^{AC}$$

**Idée : combiner les corrections atmosphériques et à la surface de l'océan pour des projections**



Collaboration G. Krinner IGE

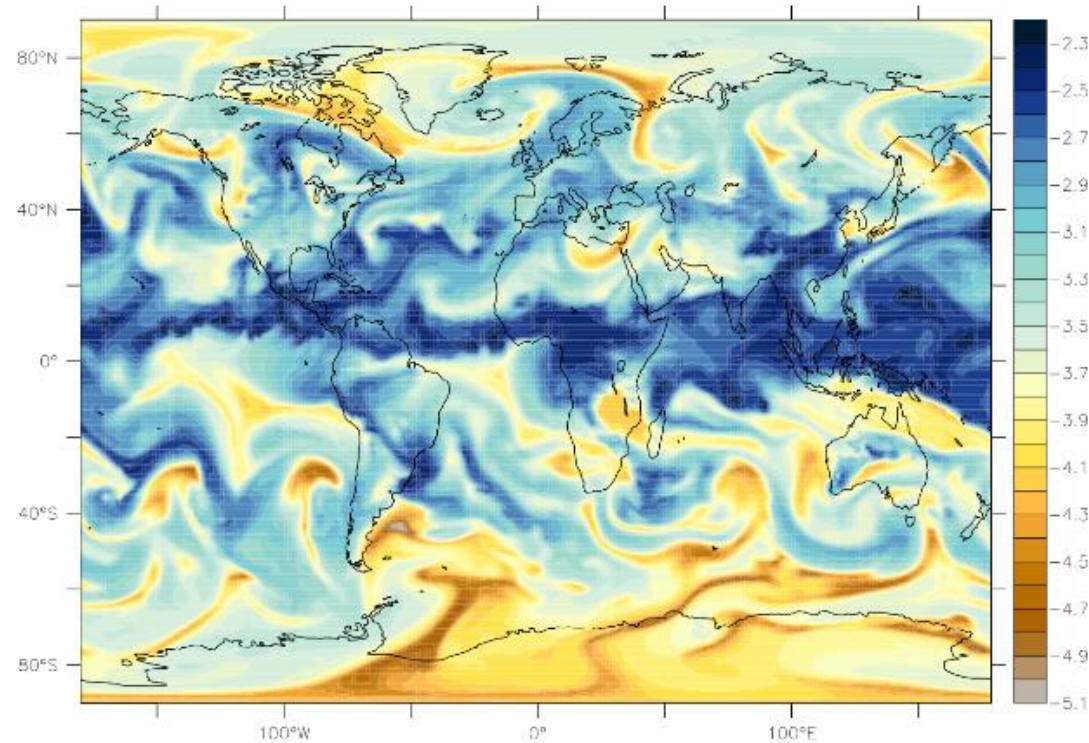
## Ongoing (2):

LMDZ6 256x256x79 (“MR”: 1.4°x0.7°, 79 levels) w/ run-time bias-corrections (ERA5)

Scenario: IPSL-CM6 ssp585? (pattern scaling!)

Purpose: Bias-corrected climate change projection for

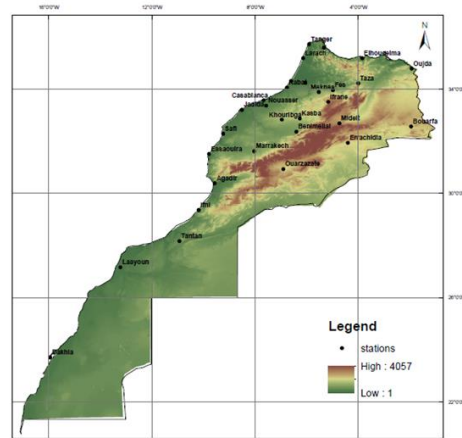
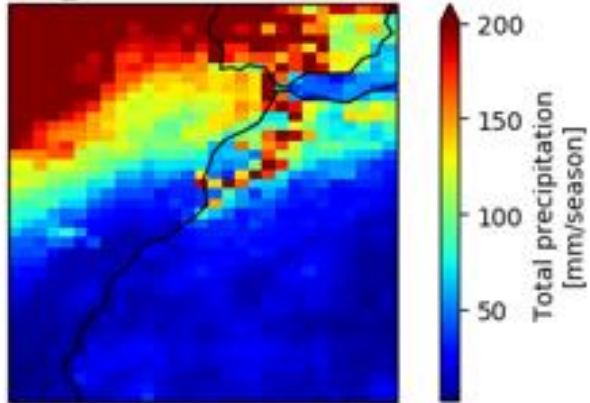
- RCMs: Antarctica, Greenland, Andes, Himalaya, West Africa, Arctic, Europe ?
- Land-surface models
- Ice sheet models
- Ocean models



# Quelques projets qui démarrent

- Collaboration avec UM6P au Maroc:

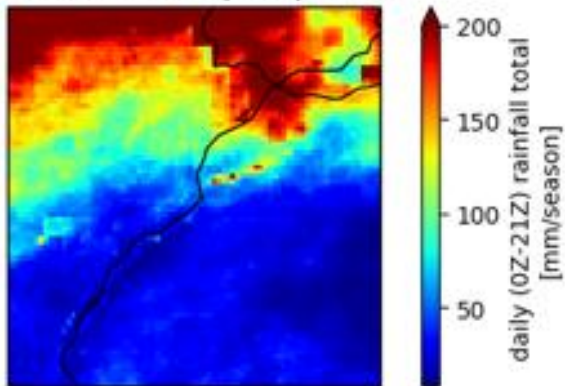
Highres\_r1 SON total precipitation



**Objectif:** Modéliser le cycle hydrologique au Maroc et en Afrique avec LMDZ dans le contexte du CC

**Intérêt:** Transfert de connaissance, rôle de l'orographie, zone de transition, climat méditerranéen

TRMM SON total precipitation



- Projet ARIA - technologie



**Objectif:** Modéliser l'évolution des précipitations dans les régions Palestine/Israël/Jordanie avec LMDZ à l'horizon 2050

**Intérêt:** Comparer les résultats avec une étude qui a été faite sur la même région avec le modèle imbriqué WRF, Transfert de connaissance



## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- Tour de table du CS

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- Développements physiques et tuning (F. Hourdin, 10min)
- Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)
- Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)
- **Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)**

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)
- Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)

### 4) Discussion à huis clos :

- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement

CS LMDZ – Stratégie de développement et d'utilisation du modèle

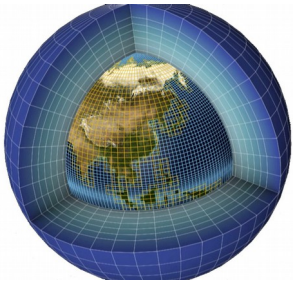
# Utilisations de LMDZ pour l'enseignement

Jean-Baptiste Madeleine, Laurent Fairhead,  
Aymeric Spiga, Frédéric Hourdin, Ehouarn Millour  
et l'ensemble de l'équipe LMDZ

Jeudi 28 Mai 2020



# Pourquoi enseigner avec LMDZ ?



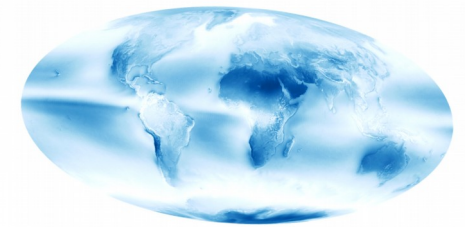
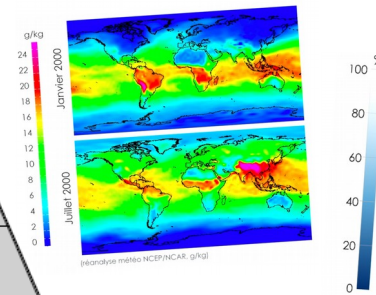
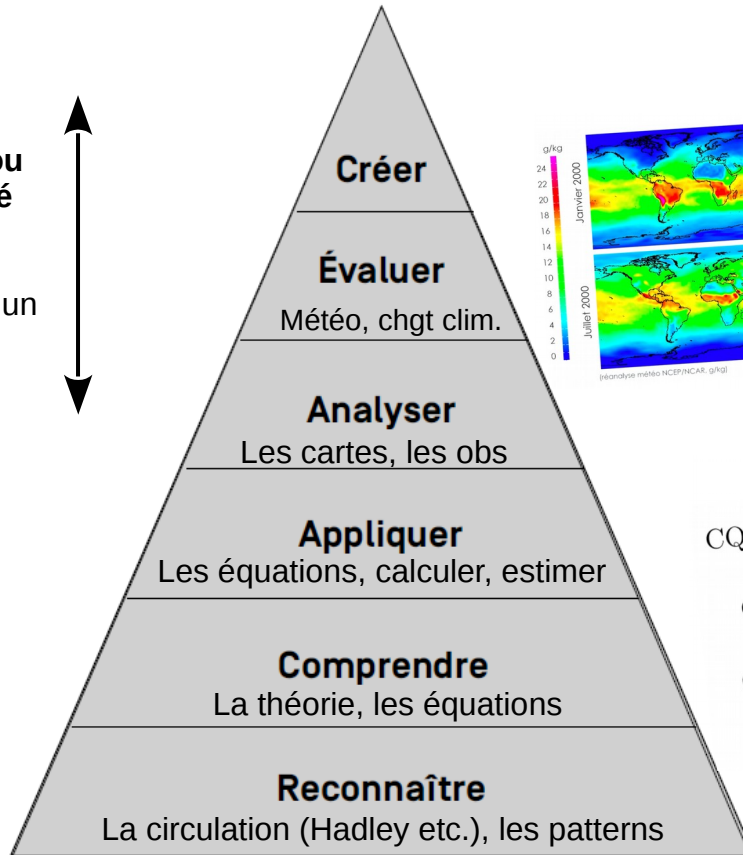
« *What I cannot create, I do not understand.* »  
R. Feynman

Outils de recherche, données satellite ou terrain, réalité dans toute sa complexité

Nécessite la présence d'un expert, l'interaction avec un outil, la manipulation d'un objet, l'apprentissage d'un métier, l'expérience

Théorie bien connue, exercices « classiques », applications simples

Thermodynamique, équilibre hydrostatique et stabilité, rayonnement et nuages, dynamique et mécanique des fluides



© Satellite Models, 2002-2015

$$\text{CQM} : \frac{dv}{dt} = -2\Omega \times v - \frac{1}{\rho} \nabla p + \underline{g} + F_r$$

$$\text{CÉ} : C_p \frac{dT}{dt} = Q + \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt}$$

$$\text{CM} : \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = -\nabla \cdot \underline{v}$$

$$\text{GP} : p = \rho RT$$

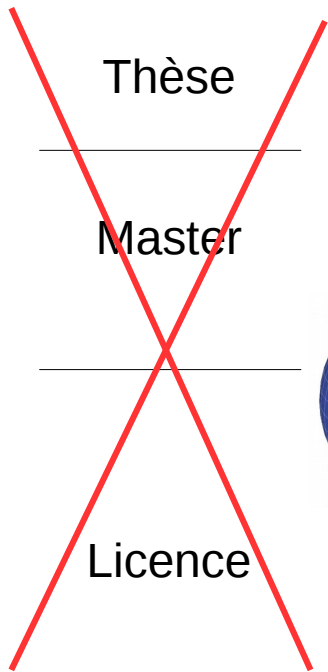
Water	
Molar molecular weight	$M_w = 18.015 \text{ g mol}^{-1}$
Specific gas constant	$R = 461.5 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Density (liquid water)	$\rho = 999.8425 \text{ kg m}^{-3}$
Density (ice)	$\rho = 916.8 \text{ kg m}^{-3}$ (at 273 K)
Boiling point	$T_b = 373.15 \text{ K}$ (at 1013.25 hPa)
Boiling specific heat capacity (water)	$c_{p,b} = 1.874 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (at 373 K)
Boiling specific heat capacity (ice)	$c_{p,b} = 0.85 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (at 273 K)
Boiling specific latent heat (water)	$L = 2.257 \text{ MJ kg}^{-1}$ (at 373 K)
Boiling specific latent heat (ice)	$L = 333.5 \text{ kJ kg}^{-1}$ (at 273 K)
Specific heat capacity (water)	$c_p = 4.1818 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (at 298 K)
Specific heat capacity (ice)	$c_p = 2.09 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (at 273 K)
Specific latent heat of fusion	$L_f = 333.5 \text{ kJ kg}^{-1}$ (at 273 K)
Specific latent heat of vaporization	$L_v = 2.257 \text{ MJ kg}^{-1}$ (at 373 K)
Specific latent heat of sublimation	$L_s = 2.835 \text{ MJ kg}^{-1}$ (at 273 K)

Pyramide de Bloom, avec annotations appliquées à notre domaine  
(Marcel Lebrun et Julie Lecoq, La classe inversée, Canopé, 2015)

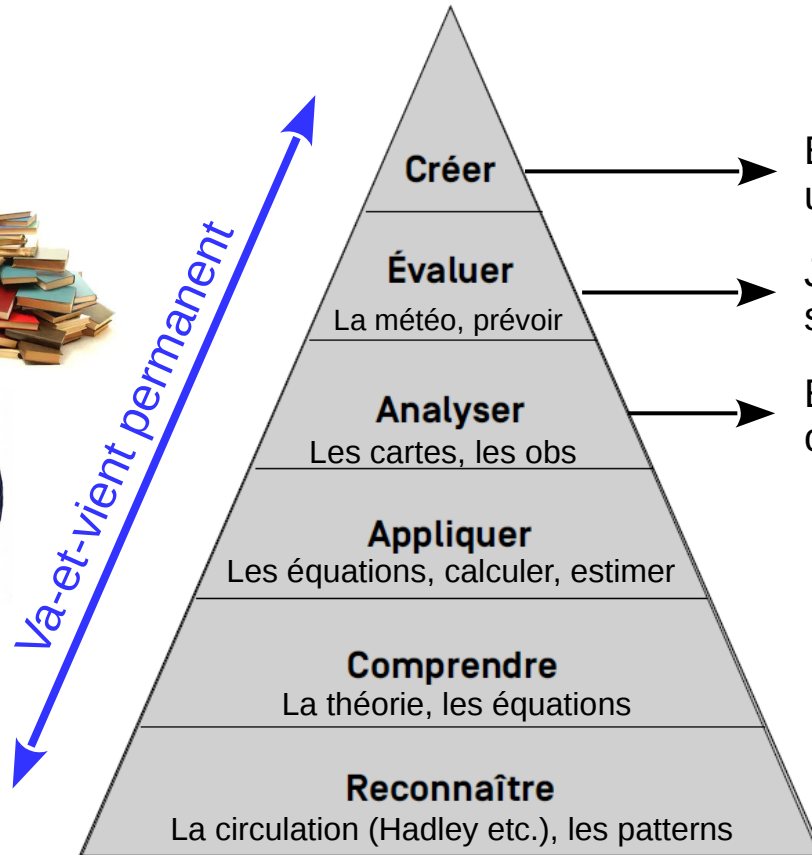
# Pourquoi enseigner avec LMDZ ?

*Classe inversée : « partir du complexe pour contextualiser le simple »*

M. Lebrun



**NON !**



Expérimenter, construire, formuler un raisonnement scientifique

Justifier, prendre du recul, argumenter, s'approprier les questions

Explorer les résultats, relier, organiser, déduire



Pyramide de Bloom, avec annotations appliquées à notre domaine  
(Marcel Lebrun et Julie Lecoq, *La classe inversée*, Canopé, 2015)

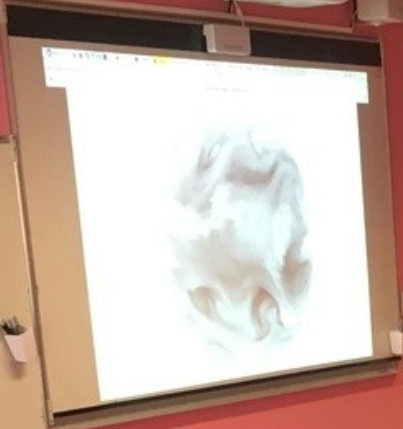




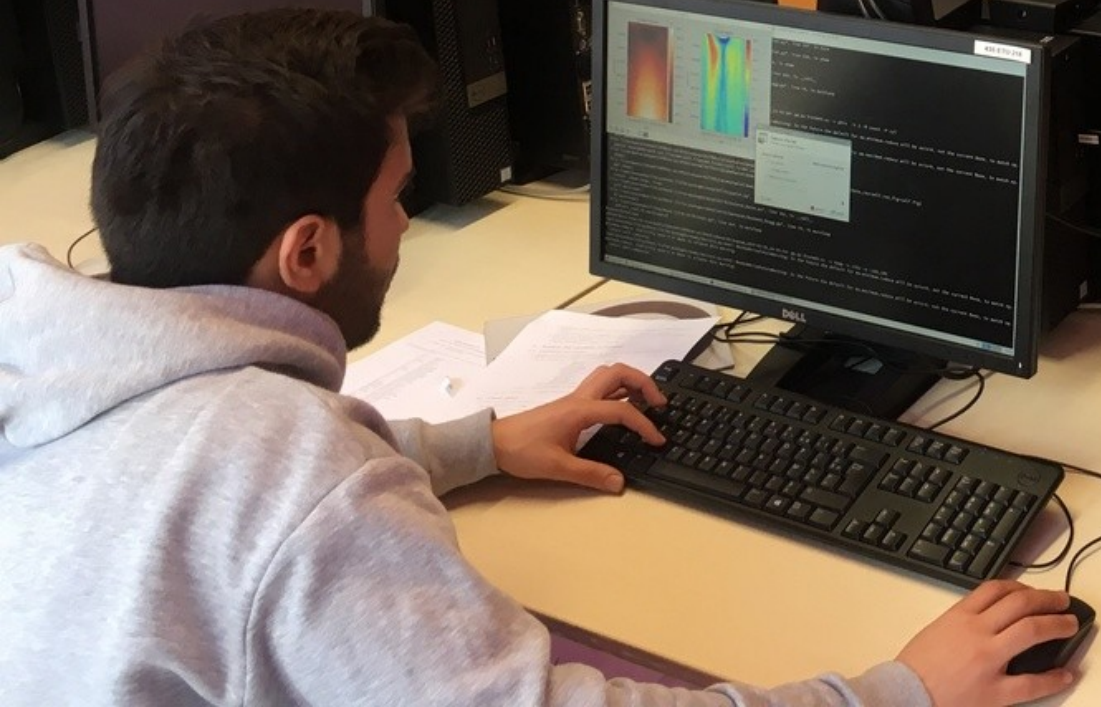
dba@lacaan-pst.upmc.fr

③ 5 points p.e.s  
④ lab usage

A hand-drawn graph on a whiteboard. The vertical axis is labeled 'f' and the horizontal axis is labeled 't'. There are two curves: a red one and a black one. The red curve has several peaks and valleys, while the black curve is smoother. There are some handwritten annotations and arrows pointing to specific parts of the curves.



437

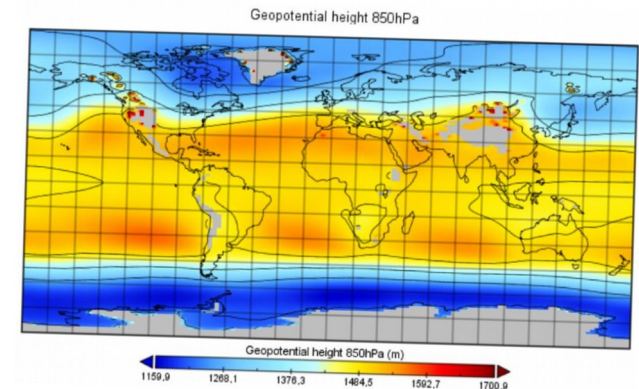
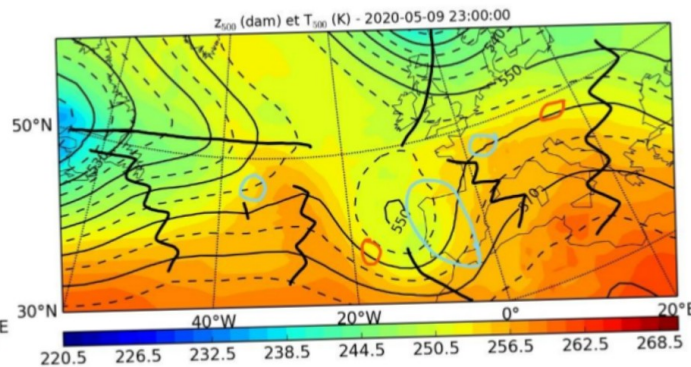
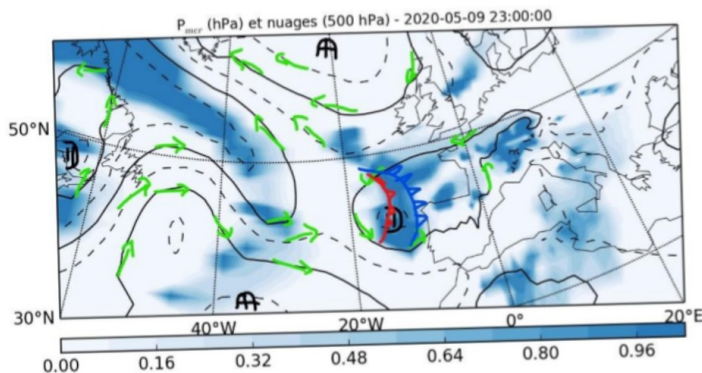




# Exemples de cours

Formation météorologie	8h, 40 étudiants / an	Licence SU (L2), offre transverse à 5 licences
Formation Climats, paléo climats	30h, 25 étudiants / an	Licence SU (L3), offre transverse à 5 licences
Formation Océan, Atm., énergies renouvelables	8h, 25 étudiants / an	Llicence physique SU (L3)
Formation à la modélisation du climat	20h, 15 étudiants / an	Master (M2)

« c'est trop beau !!! » tchat Moodle, L3



« (...) l'étude de la météorologie est une discipline complexe, soumise à de nombreux phénomènes très différents. Il est difficile d'en faire une prévision exacte. Cependant, le modèle s'est révélé assez précis quant à l'évolution globale de la météo (...) Faire ce travail d'analyse (...) était très intéressant, et nous a permis de comprendre un peu plus ce qu'il se passe au-dessus de nos têtes. » *Rapport de TP, Gwenaël et Charlie, L2*

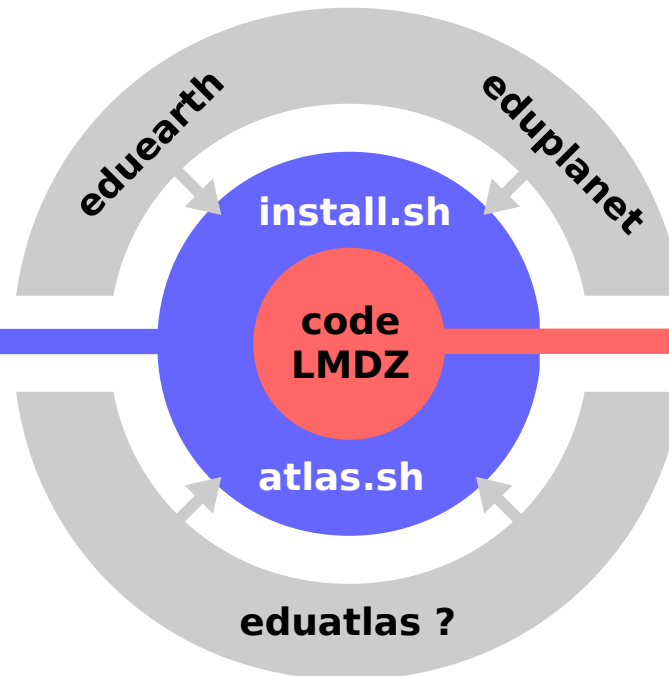
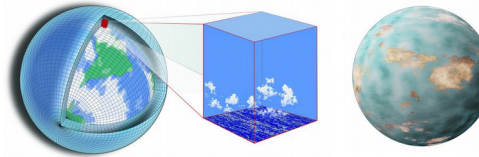
# Stratégie de développement

## Une surcouche simplifiée pour installer et exécuter le modèle

- Configurations prédéfinies
- Fichiers .def allégés, zoom
- Outputs lights 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 mais invisibles aux étudiants

- 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)

# Implications en terme de développement d'LMDZ

- Pouvoir faire tourner des configurations simples (aquaplanètes, rappel newtonien, modèle générique, modèle « page blanche ») ou complexes
- Tests systématiques de l'ensemble de la chaîne (script d'installation et d'atlas + surcouches)
- Préserver/ressusciter des diagnostics classiques parfois oubliés (fonction de courant, énergie statique humide, flux d'énergie, flux d'Eliassen-Palm)
- Pouvoir manipuler facilement les sorties (config.def ou XiOS ?)



# Quelles orientations ?

- Développement de la surcouche LMDZ : prend du temps ! Investir en pensant plus large que l'enseignement ? (avec deux solutions, un « fullLMDZ » et un « miniLMDZ » ?)
- Même question pour la surcouche Atlas : « fullATLAS » et « miniATLAS » ?
- Retour sur expérience et aspect communautaire : comment « ouvrir » la classe à la communauté LMDZ ? Pour l'instant, beaucoup d'expériences faites en cours sont perdues à la fin du cours, l'enseignement en tant que tel prenant toute la place → inviter ponctuellement des ingénieurs de l'équipe en cours ?
- Analyse des résultats : grads ou ferret indigestes pour les étudiants ; solution maison « planetoplot » idéale mais il faut pouvoir la porter ; solution Panoply + Python (expérience positive) ?
- Infrastructure : simulations légères se passent bien dans les salles informatiques du campus, mais travail chez soi quasi-impossible (problème soulevé par bcp d'étudiants), et projet de cluster étudiant Linux mis en pause par le Covid19 ; issue probable = solution locale (ESPRI) ?

# Panoply (NASA/GISS)

Panoply — Sources

File Edit View History Bookmarks Plot Window Help

Create Plot Combine Plot Open Dataset Remove Remove All Hide Info

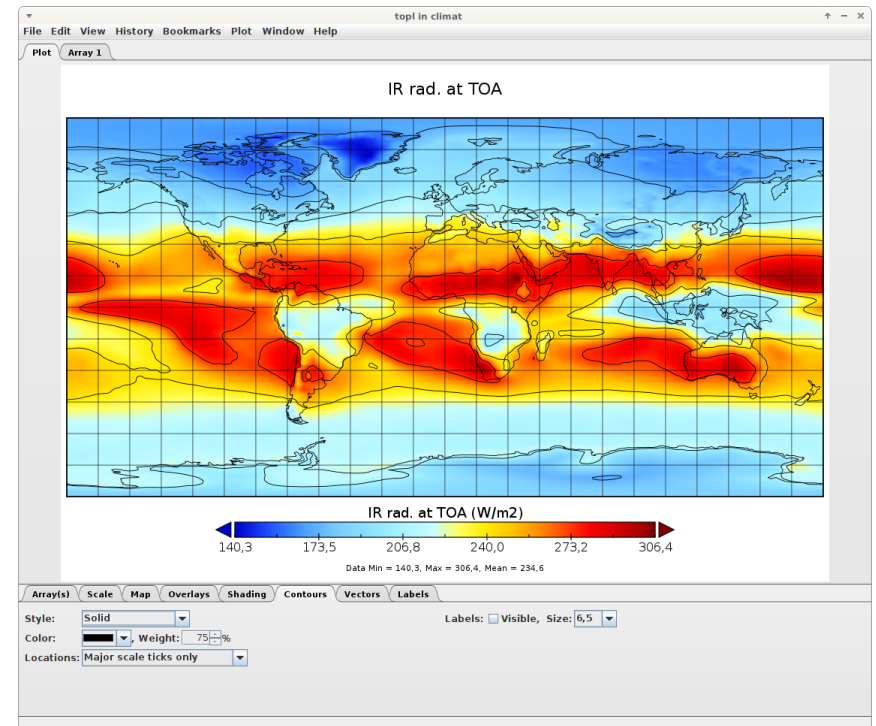
Datasets Catalogs Bookmarks

Name	Long Name	Type
lon	Longitude	1D
nettop	Net dn radiatif fl...	Geo2D
phis	Surface geop.h...	Geo2D
precip	Precip Totale liq...	Geo2D
prw	Precipitable water	Geo2D
psol	Surface Pressure	Geo2D
q200	Specific humidit...	Geo2D
q2m	Specific humidit...	Geo2D
q500	Specific humidit...	Geo2D
q700	Specific humidit...	Geo2D
q850	Specific humidit...	Geo2D
rh2m	Relative humidit...	Geo2D
slp	Sea Level Press...	Geo2D
snow	Snow fall	Geo2D
SWdn...	SWdn at TOA	Geo2D
SWup...	SWup at TOA	Geo2D
t200	Temperature 20...	Geo2D
t2m	Temperature 2m	Geo2D
t500	Temperature 50...	Geo2D
t700	Temperature 70...	Geo2D
t850	Temperature 85...	Geo2D
time_...	time counter	1D
topl	IR rad. at TOA	Geo2D
tops	Solar rad. at TOA	Geo2D
tsol	Surface Temper...	Geo2D
u10m	Vent zonal 10m	Geo2D
u200	Zonal wind 200...	Geo2D

Show: All variables

**Variable "topl"**  
In file "climat.nc"

```
float topl(time_counter=12, lat=143, lon=144);
:long_name = "IR rad. at TOA";
:units = "W/m2";
:online_operation = "average";
:interval_operation = "900 s";
:interval_write = "1 month";
:cell_methods = "time: mean (interval: 900 s) time_counter: mean";
:_FillValue = 9.96921E36f; // float
:missing_value = 9.96921E36f; // float
:coordinates = "time_centered";
:_ChunkSizes = 1U, 143U, 144U; // uint
```



## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- Tour de table du CS

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- Développements physiques et tuning (F. Hourdin, 10min)
- Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)
- Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)
- Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- **Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)**
- Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)

### 4) Discussion à huis clos :

- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement

## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- Tour de table du CS

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- Développements physiques et tuning (F. Hourdin, 10min)
- Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)
- Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)
- Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)
- **Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)**

### 4) Discussion à huis clos :

- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement





## **Fonctionnement du service au code communautaire LMDZ**

- Engagements
- Mise en œuvre :
  - pilotage
  - ressources humaines
  - moyens techniques
  - fonctionnement

## **Engagements de l'équipe porteuse du CC LMDZ :**

- **mettre à disposition le code source** dans ses multiples configurations : terre/planètes, uni-colonne, zoomé, guidé, aquaplanètes avec les outils nécessaires à son utilisation
- **assurer le portabilité** sur les machines de production des grands centres nationaux de calcul. et sur PC Linux
- **garantir la compatibilité du code** avec l'infrastructure et les composantes du système Terre de l'IPSL
- **mettre au point et ajuster (tuning) des configurations de référence du modèle climatique** à l'occasion d'évolutions majeures ou de grands rendez-vous
- **réaliser, distribuer et documenter des ensembles de simulations pour ces configurations de référence**
- **assurer la compatibilité avec les versions planétaires du modèle**
- **faire vivre une communauté autour du code communautaire** : pilotage, formation, documentation, assistance.

## **Mise en œuvre : Pilotage / Gouvernance**

- **Le Conseil Scientifique**

Composé de membres extérieurs et de responsables de l'équipe porteuse, il évalue le bilan annuel et la stratégie de développement et fait des recommandations. Réunion inaugurale aujourd'hui

- **COmité Développeurs et UTILisateurs de LMDZ (Codutil) :**

Représentant les utilisateurs, il fait la liaison entre ceux-ci et l'équipe porteuse. Il fait émerger suggestions et demandes de la communauté des utilisateurs par le biais notamment de réunions trimestrielles ouvertes sur des thèmes spécifiques et de journées « utilisateurs » bi-annuelles qu'il organise. Il est composé d'un responsable extérieur à l'équipe, d'un adjoint membre de l'équipe et de membres cooptés. Mis en place au printemps 2019

- **COMité de Pilotage LMDZ (Compil) :**

Il élabore, conduit et vérifie la mise en œuvre de la stratégie de développement du CC. Réunit les membres du CC une fois par semaine lors du Point Hebdomadaire LMDZ (POIHL)

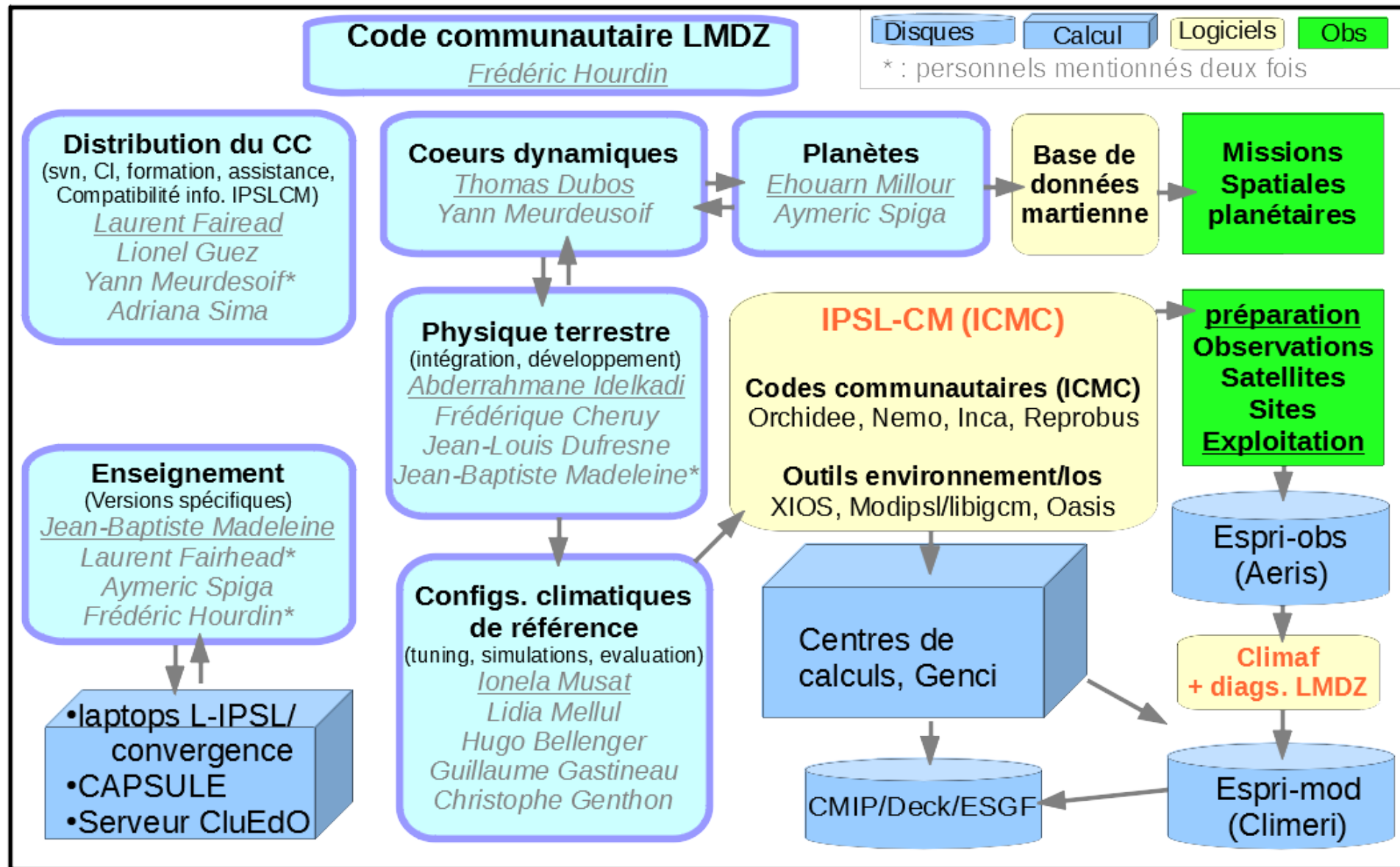
## Mise en œuvre : Ressources Humaines

Les services du CC s'appuient sur le travail de 8 ingénieurs et 8 chercheurs. De nombreux autres collaborateurs sont essentiels au développement du code LMDZ

HOURDIN Frédéric	Responsable	DUBOS Thomas	Resp. des noyaux dynamiques
FAIRHEAD Laurent	Resp. technique, gestion code, CQ, optim., formation	MADELEINE Jean-Baptiste	Resp. param. nuageuses, enseignement du climat par LMDZ
MUSAT Ionela	Resp. mise au point configurations référence	CHERUY Frédérique	Resp. couche limite, couplage Orchidee référente climat continental
IDELKADI Abderrahmane	Resp. intégration développements	BELLENGER Hugo	Réf. couplage avec l'océan, ajust/CQ climat tropical océanique.
MELLUL Lidia	Resp. réalisation simulations référence amip contrôle-guidage ...	GASTINEAU Guillaume	Réf. variabilité des moyennes et hautes latitudes
SIMA Adriana	Resp. lien utilisateurs et du couplage avec la composition atm.	GENTHON Christophe	Réf. climats froids
MILLOUR Ehouarn	Resp. interface phys / dyn, compatibilité avec versions planétaires	DUFRESNE Jean-Louis	Resp. intégration codes radiatifs
MEURDESOFIF Yann	Optimisation, IOs, noyaux dynamiques	GUEZ Lionel	Réf. introduction et réglage des ondes de gravité, formation / CQ



# Mise en œuvre : Ressources Humaines / Organigramme



## Mise en œuvre : Moyens techniques et informatiques

Le service repose, d'un point de vue informatique, sur 3 serveurs :

- le serveur web principal : `Imdz.lmd.jussieu.fr`
- le serveur svn / trac de gestion de code et de projet : `svn.lmd.jussieu.fr`
- Un serveur de calcul propre au projet servant aux différents tests de contrôle qualité

Afin de sécuriser le service, ces 3 machines ont été remplacées cette année par 3 machines virtuelles (a priori moins fragiles et mieux sauvegardées) hébergées sur la plateforme virtuelle de la structure **ESPRI** de **l'IPSL** sur le campus **Pierre et Marie Curie** de **Sorbonne Université**.

La mise au point des versions de référence s'appuie toujours largement sur les services de l'IPSL : l'infra-structure **EsPRI-Infra**, les services **EsPRI-Mod** et **EsPRI-Obs/Aeris** et sur les moyens de calcul nationaux proposés par **GENCI** à **l'IDRIS / CNRS** et au **TGCC / CEA** pour la mise au point des configurations climatiques, l'exécution des simulations de référence et le stockage des données de simulation.

## Mise en œuvre : Mise à disposition du code / outil de compilation

Le code **LMDZ** est géré et distribué depuis une vingtaine d'années par le logiciel de gestion de versions de code **svn** associé au gestionnaire de projet, **trac**. Ces deux gestionnaires ont été mis à jour et les nouvelles versions devraient nous permettre de proposer une plus grande interactivité avec les utilisateurs (tel que les créations de « tickets trac » pour signaler bugs et plantages).

Statistiques : sur l'année dernière, 2165 « checkout » LMDZ à partir de 82 adresses.

Besoin de statistiques plus précises ?

Du point de vue du code lui-même : les évolutions importantes de ces derniers mois ont été (sur environ 200 modifications enregistrées) :

- la convergence des branches physiques **LMDZ/DYNAMICO**
- la convergence des branches de développement et **CMIP6**
- l'inclusion du cycle du carbone interactif
- l'inclusion de la version 2 du simulateur d'observable **COSP**
- Le format standard pour le **1D**
- La mise à jour des appels au modèle **REPROBUS**

Enfin, le script d'installation/compilation/exécution du code, **install\_lmdz.sh**, mis à disposition a fait l'objet de développement pour inclure la nouvelle machine de **IDRIS, jeanyay**, et sécuriser l'utilisation de différentes versions du modèle **ORCHIDEE**. Ce script permet de se familiariser avec le code et de lancer ses premières simulations sur tout type de calculateur.

## **Mise en œuvre : Mise à disposition d'un code « qui marche »**

### **Contrôle qualité**

Contrôle qualité renforcé depuis une dizaine d'année et toujours en développement :

- **Contrôle qualité « informatique »** : assure la compilation, la continuité et la convergence numérique :
  - au cours de l'année nous avons rajouter un test d'intégration continue qui nous permet de vérifier que le code principal compile et tourne à chaque nouvel enregistrement de modification sur le serveur **svn**
- **Contrôle qualité « scientifique »** : assure le bon « état moyen » du modèle climatique :
  - Simulations AMIP (guidées ou non) lancées sur des versions de référence

### **Un code qui « tourne »**

L'équipe a décidé de développer et consolider un ensemble de scripts simplifiant l'installation du code, l'initialisation et l'enchaînement de simulations. Le travail est toujours en cours mais sert déjà régulièrement au responsable du CC ainsi que dans le cadre d'un projet sur le « tuning »



## Mise en œuvre : portabilité et compatibilité

La portabilité du code est assurée par les différents tests de contrôle qualité : ceux-ci sont réalisés sur stations de travail personnelles sous système **Linux** et sur les calculateurs haute performance à disposition (e.g. : **jean-zay / IDRIS** ou **irene / TGCC**). A chaque arrivée de nouvelle machine (**jean-zay**, **irene-amd** dernièrement), le code est systématiquement porté et si possible optimisé.

Les **versions planétaires** du code ont toujours co-existées avec **la version terrestre**, elles partagent le même coeur dynamique ainsi que certaines paramétrisations physique. La compatibilité entre les codes se fait « naturellement » par un dialogue constant entre les ingénieurs responsables techniquement (même bureau). L'ingénieur responsable côté planétaire, E. Millour, est par ailleurs membre du **Compil** et de l'équipe porteuse du **CC**.

Le code **LMDZ** étant partie intégrante/fondatrice du **système Terre** de l'IPSL, la compatibilité est ici aussi primordiale et assurée par les différents contrôles qualité effectués. Les ingénieurs responsables des différentes composantes du code se retrouvent lors de réunions régulières (toutes les 4 à 5 semaines) au sein du groupe « **Plateforme** » de l'IPSL et sont en contact permanent par l'outil **slack**.

## Mise en œuvre : Mise au point, ajustement et mise à disposition de configurations de référence :

L'équipe a toujours fourni un travail important concernant l'ajustement des configurations de référence utilisées pour les exercices **CMIP**. La rationalisation par l'automatisation du « **tuning** » du modèle permettra à l'équipe de faciliter ce travail pour les exercices **CMIP** à venir mais aussi d'épauler plus facilement l'ajustement de configurations plus spécifiques (régionales, paléo-climats, ...)

Depuis l'automne 2019, l'équipe est impliquée dans le projet **PRACE QUEST**, qui devrait, entre autres, tester « en grandeur nature », les concepts liés au « tuning automatique » et définir et mettre à disposition deux nouvelles configurations à plus **haute résolution du modèle couplé de l'IPSL**. Les données issues des simulations de référence de ces nouvelles configurations et qui seront mise à disposition par le biais de l'infrastructure **ESPRI** de **l'IPSL** sont en cours de définition.

## **Mise en œuvre : animer une communauté autour du CC LMDZ :**

### **Intégration de développements extérieurs à l'équipe :**

L'équipe intègre de manière continue ces développements, qu'il s'agisse de contenu physique ou de post-traitements originaux. Actuellement, une nouvelle version du simulateur d'observables **COSP** est en voie d'intégration ainsi qu'une nouvelle paramétrisation des échanges avec la couche superficielle de l'océan

### **Formation :**

L'équipe organise depuis 2011, au moins une fois par an et avec le soutien financier de **I'OSU Ecce Terra**, une formation de trois jours regroupant 20 à 30 personnes (environ 171 personnes depuis 2011).

Malgré les grèves de l'hiver dernier, la plupart des inscrits étaient présents (16 sur les 22 inscrits) pour la session 2019 mais la situation a quand même eu un impact sur le déroulé de la formation, les grèves dans les transports provoquant retards et pertes de temps (en particulier sur les travaux pratiques)

Compte tenu de cette situation, nous avons prévu une nouvelle session au printemps 2020 mais nous avons eu un nouvel empêchement. L'équipe a donc décidé d'organiser des sessions de prise en main du modèle rassemblant une quinzaine d'« apprenants » en visio-conférence à raison d'une session par semaine et cela semble bien apprécié.

## Mise en œuvre : animer une communauté autour du CC LMDZ :

### Animation de réunions (Codutil) :

- **Réunions PEDALONS** : réunions trimestrielles réunissant développeurs, utilisateurs et membres du CC autour d'un même thème, ont pour but de renforcer l'implication des utilisateurs « avancés » dans le développement de LMDZ. On y discute priorités et stratégies d'évolution physique et informatique. Depuis la création du comité en février 2019, 4 réunions ont déjà eu lieu et une est prévue la semaine prochaine en visioconf. :
  - 1<sup>er</sup> avril 2019 : réunion inaugurale
  - 24 juin 2019 : thème « Traceurs et isotopes »
  - 14 octobre 2019 : thème « Variabilité tropicale »
  - 13 janvier 2020 : thème « Utilisation du zoom pour les études régionales
  - 4 juin 2020 : thème « Configurations basse résolution pour échelles de temps longues » en visioconf
  
- **Réunions « utilisateurs »** : réunions de présentations d'études scientifiques utilisant LMDZ, lieu d'échange sur le modèle, tous les deux ans : malheureusement tombe en ce moment. Vu la situation, les deux jours prévus se transforment en une
  - « matinée des utilisateurs » le 5 juin 2020 en visioconf, détails sur le site web lmdz



## Mise en œuvre : animer une communauté autour du CC LMDZ :

### Assistance :

L'équipe gère et anime la liste de diffusion **Imdz\_users@listes.ipsl.fr**.

Cette liste sert de « premier niveau » d'assistance et de lieu d'échange et de partage d'expertise.

Nous expérimentons depuis peu un espace de travail « **Imdz.slack.com** » pour des échanges plus interactifs entre les utilisateurs et l'équipe. L'articulation entre la liste de diffusion et le « slack » est encore à trouver.

L'équipe réfléchit enfin à ouvrir l'accès au système de « **tickets trac** » à l'ensemble des utilisateurs pour garder un historique des bugs trouvés et améliorations demandées

### Informations / documentation :

L'équipe a mis à jour le site web pour le dépôt de dossier de labélisation et le met à jour.

Y trouve-t-on tout ce dont on a besoin comme informations ?

Nous avons mis en place un serveur collaboratif de documentation, sur le modèle de wikipedia, qui permettrait à tout utilisateur de contribuer à sa manière à la documentation du modèle : **<https://Imdz.lmd.jussieu.fr/LMDZPedia>**

Bonne idée ?

## Mise en œuvre : animer une communauté autour du CC LMDZ :

### Activités d'enseignement

L'équipe porteuse du CC considère l'enseignement de la modélisation du climat ainsi que l'enseignement du climat par la modélisation, comme des enjeux fondamentaux de nos disciplines. Plusieurs versions de LMDZ sont développées et maintenues en ce sens. Une version utilisable pour les enseignements des sciences en lycée est aussi à l'étude.

### Transfert d'expertise / compétences :

Comme mentionné par F. Cheruy deux expériences de transfert d'expertise/compétences sont en cours :

- une expérience de transfert vers la PME **Aria-technologie** (étude sur une descente d'échelle du changement climatique sur le Moyen-Orient).
- un projet similaire avec **l'Université Mohammed 6 du Maroc** pour modéliser régionalement le cycle hydrologique au Maroc et en Afrique en utilisant **LMDZ**.

## Ordre du jour

### 1) Introduction (20min)

- Introduction générale : LMDZ et le CC (F. Hourdin, 10min)
- Tour de table du CS

### 2) Exposés de la stratégie de développement et d'utilisation du modèle (1h)

- Développements physiques et tuning (F. Hourdin, 10min)
- Stratégie de passage à dynamico (T. Dubos, 10min)
- Anticipation des changements climatiques régionaux (F. Chéruy, 10min)
- Utilisations de LMDZ pour l'enseignement (J.-B. Madeleine, 10min)

### 3) Fonctionnement du service (30min)

- Les CC et l'OSU Ecce Terra (L. Segalen)
- Fonctionnement du CC (L. Fairhead, 20min)

### 4) Discussion à huis clos :

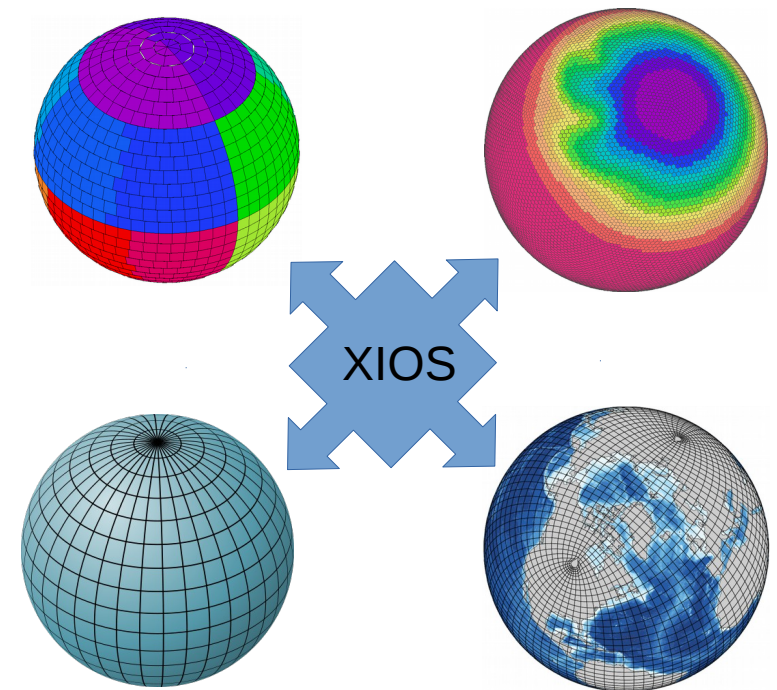
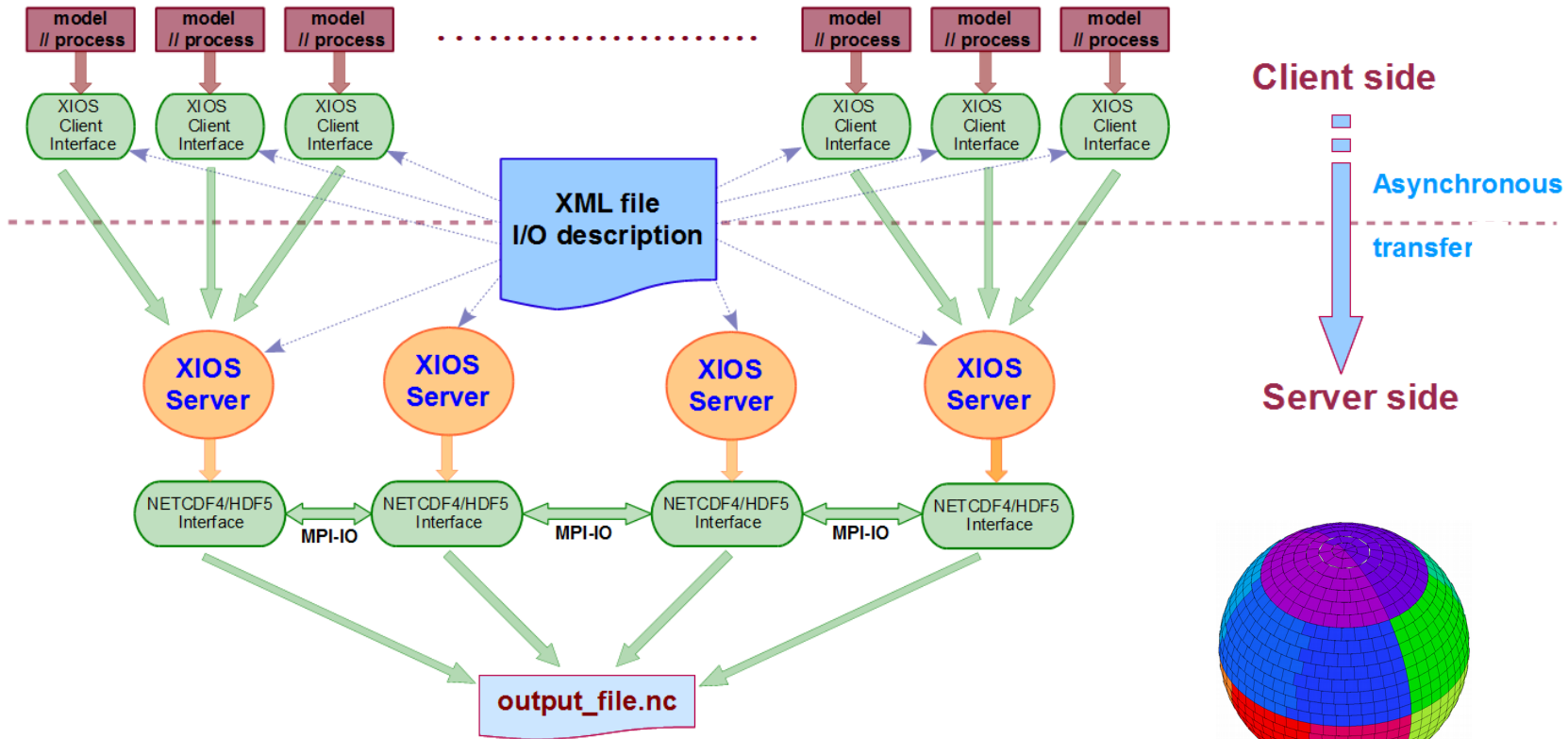
- contours du service (CC) : planétologie, observations
- articulations avec IPSL, Dephy, Climeri
- rôle du CS (dont longueur des réunions, membres supplémentaires, ...)
- budget / fonctionnement

EXTRA



# XIOS (Y. MEURDESOLF) : XML I/O SERVER

## PARALLEL ASYNCHRONOUS I/O - ONLINE POST-PROCESSING LIBRARY AND SERVER



## portage de DYNAMICO sur GPU Nvidia V100

(Y. Meurdesoif, A. Durocher (LSCE/IPSL) / HPE / contrat de progrès IDRIS)

« Le contrat de progrès a pour objectif d'accompagner les communautés utilisatrices de l'IDRIS ... le but final étant, en cas de succès, de pouvoir migrer ces communautés d'utilisateurs identifiées sur la partition convergée... »

« Pour être validée, la version GPU d'un code devra ... être en moyenne sur l'ensemble des cas tests au moins 4 fois plus performante que les versions non-accélérées en comparaison nœud à nœud. »

DYNAMICO : ~10 000 LOC  
dont ~2000 LOC critiques

=> portage manuel

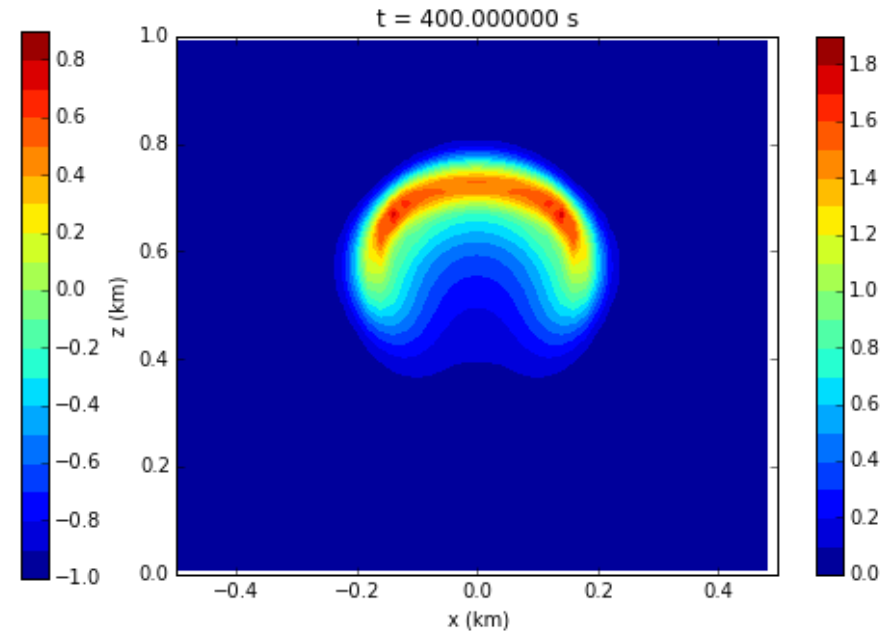
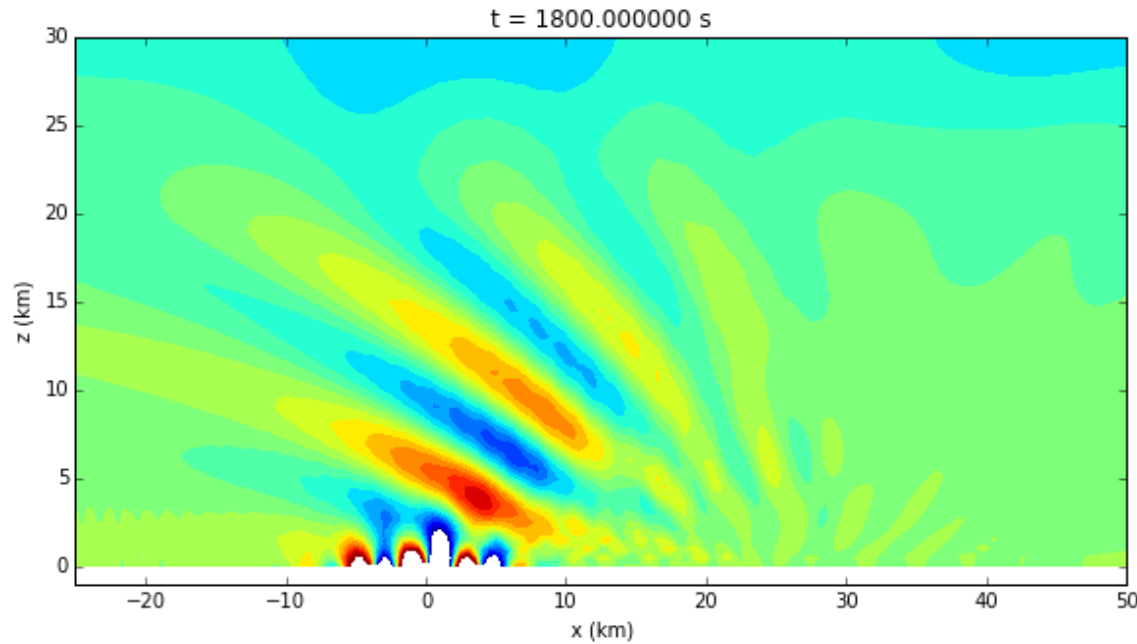
- par insertion de directives OpenACC
- adaptation de la gestion mémoire, halos, ...

Nb colonnes atmosphère	16000	64000	256000
40 <u>procs</u> MPI (CPU)	68 ms	282 ms	1193 ms
1 GPU	26,6 ms	77 ms	299 ms
Accélération	2,5	3,6	4,0

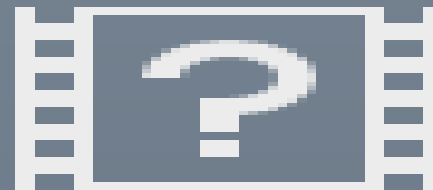
```
!$acc parallel loop collapse[2]
DO 1 = ll_begin, ll_end
  DO ij = ij_begin_ext, ij_end_ext
    uu_right = 0.5*(rhodz[ij,l]+rhodz[ij+t_right,l])*u[ij+u_right,l]
    uu_right = uu_right*le_de[ij+u_right]
    hflux[ij+u_right,l] = uu_right
    uu_lup = 0.5*(rhodz[ij,l]+rhodz[ij+t_lup,l])*u[ij+u_lup,l]
    uu_lup = uu_lup *le_de[ij+u_lup]
    hflux[ij+u_lup,l] = uu_lup
    uu_ldown = 0.5*(rhodz[ij,l]+rhodz[ij+t_ldown,l])*u[ij+u_ldown,l]
    uu_ldown = uu_ldown*le_de[ij+u_ldown]
    hflux[ij+u_ldown,l] = uu_ldown
  END DO
END DO
```

# DYNAMICO-NH : non-hydrostatic (fully compressible) dynamics

*T. Dubos, F. Voitus, C. Colavolpe (CNRM-GAME)*

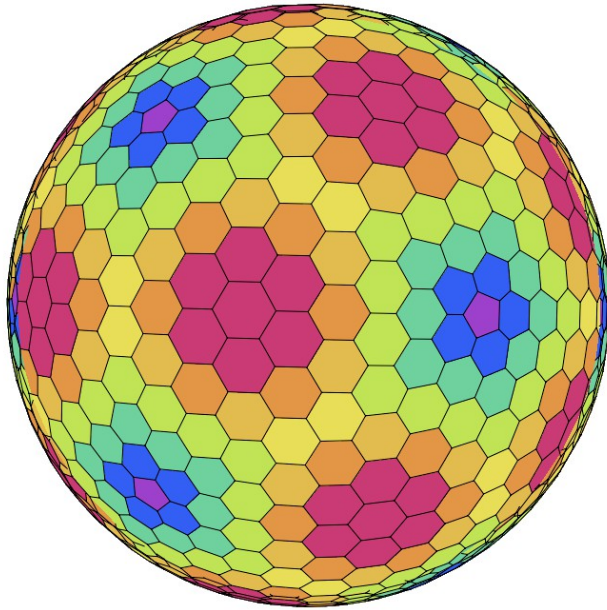


- *available in the « trunk » branch*
- *Runs DCMIP2016 test cases*
- *OpenMP, restarts and orography to be consolidated*



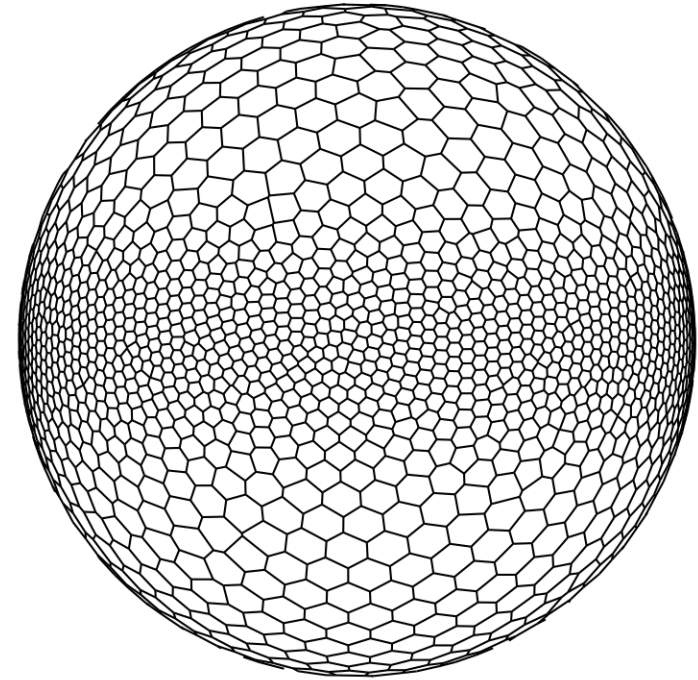
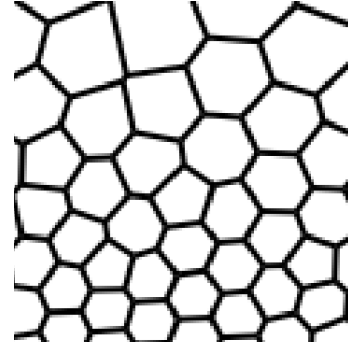
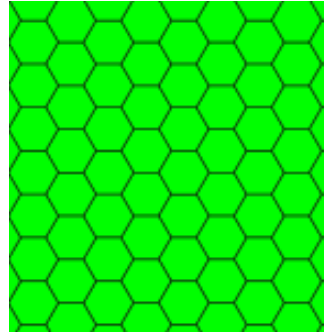
*Subsidence of a zonally-symmetric cold pool*

# Unstructured-mesh capability



*Structured mesh*

- Quasi-uniform resolution
- Zoom possible but limited
- Regular data access / compute pattern



*Unstructured mesh*

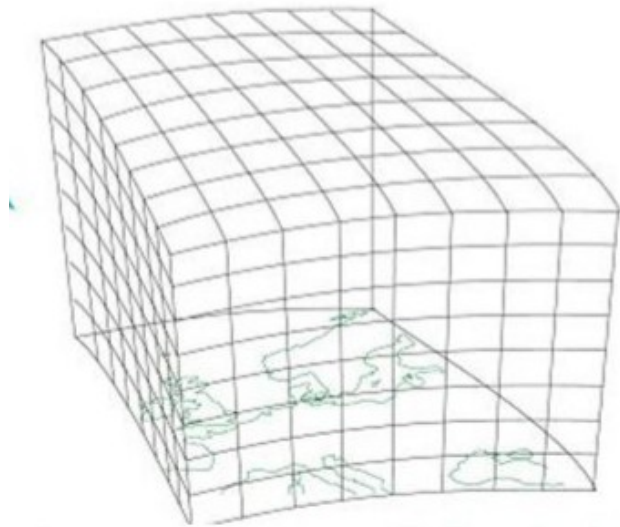
- Variable resolution
- Very flexible zoom capability
- Irregular data access / compute pattern
- Needs scale-aware physics

*Status :*

- *Prototype available in the « devel » branch*
- *Needs MPI parallelism, transport scheme, ...*



# Limited-area



- Cartesian mesh treated as special case of unstructured mesh => same driver
- Davies relaxation
- f-plane / beta-plane idealized test cases
- Conformal projection
- Ongoing collaboration to interface with MesoNH physics

