

Lundi 26 matin

9h30-10h30 : Introduction formation (C. Rio)

Présentation générale de LMDZ (F. Hourdin)

11h-12h : "La physique" du modèle terrestre (J.-Y. Grandpeix)

12h-12h45' : Structure du code, SVN, principes de compilation, préprocesseur (L.Fairhead)

Lundi 26 après-midi

13h30-15h : Exposé d'introduction à la prise en main du modèle (I. Musat),
Fichiers de sorties / contrôle des sorties (A. Idelkadi)

15h20-17h30 : TP de prise en main du modèle 3D (team LMDz)

Mardi 27 matin

9h00-10h00 : Dynamique : grilles / schéma temporel / stabilité / diffusion (F. Hourdin)

10h-10h30' : Parallélisation (E. Millour)

10h50-12h40 : Physique : zoom sur quelques paramétrisations (F. Lott, C. Rio)

Mardi 27 après-midi

14h-14h45 : Configurations / fichiers d'entrées / forçage (L. Guez)

14h45 - : TP numérique/physique avec le modèle 1D, 3D, aquaplanète (team LMDz)

Mercredi 28 matin

9h30-11h : suite des TP (team LMDz)

11h-12h : Vos questions sur LMDZ

Description physico-numérique du modèle LMDZ

I. LMDZ : modèle de circulation générale atmosphérique

1. Introduction
2. Le cœur dynamique
3. Découpage/raccordement, modularité
4. Modes d'utilisation

} Frédéric Hourdin

II. Les paramétrisations physiques de LMDZ

1. Présentation générale
2. Structure du code
3. Condition aux limites inférieures
4. Convection profonde
5. Couche limite
6. Schémas de nuages

} Jean-Yves Grandpeix

I. LMDZ : modèle de circulation générale atmosphérique

1. Introduction

2. Le cœur dynamique

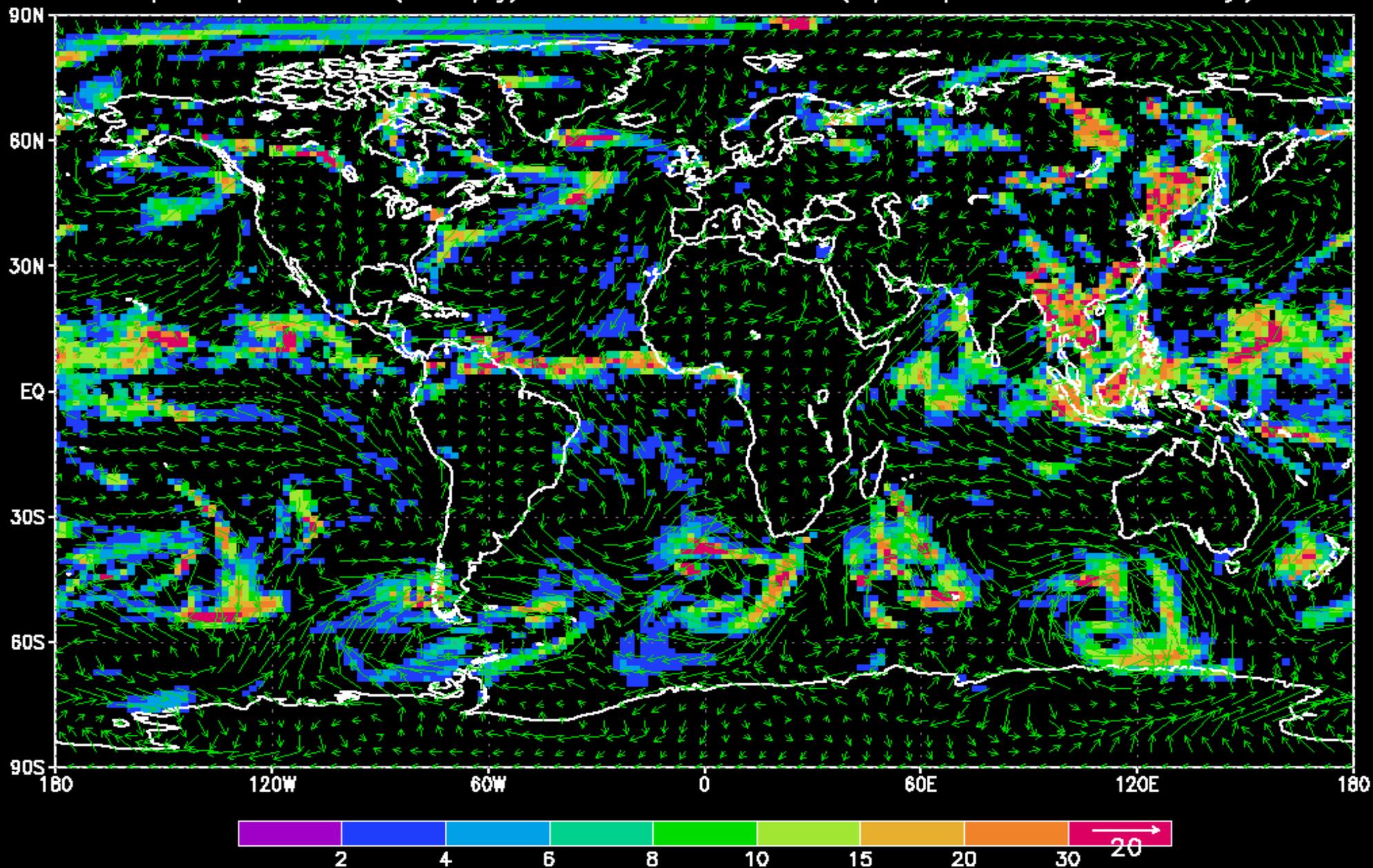
3. Découpage/raccordement, modularité

4. Modes d'utilisation

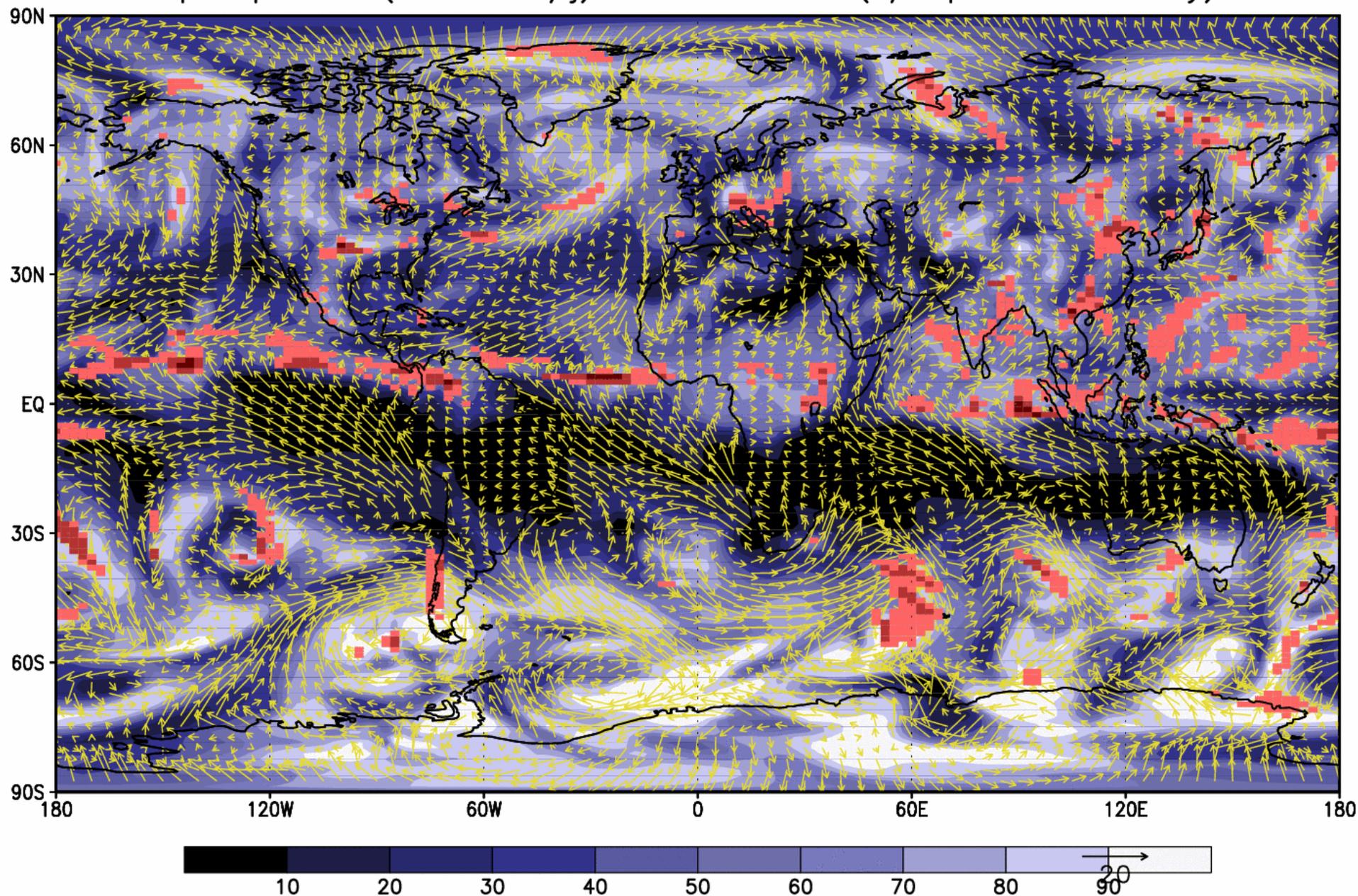
Extrait d'une simulation réalisée avec le modèle de climat de l'IPSL

1 Aout

precipitation (mm/j) et vent a 10m (1/3 points en x et y)

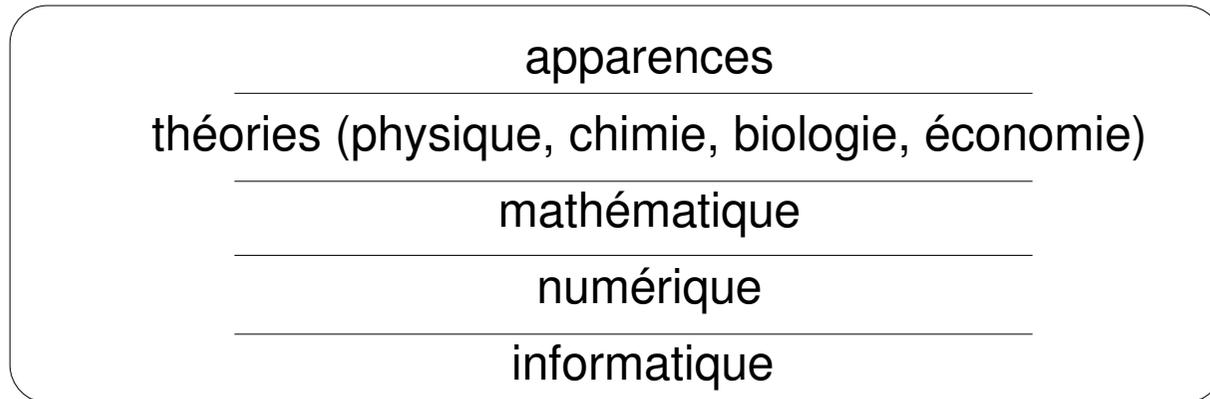


2 Aout
humidite relative (500hPa, %)
precipitation (> 10 mm/j) et vent a 10m (1/2 points en x et y)



1. Introduction

Le monde des modèles numériques



Les mathématiques constituent un langage commun.

La modélisation concerne l'ensemble de ces couches.

Il faut toujours essayer de mettre en évidence les liens avec les couches supérieures.

Il faut en même temps être capable de bien séparer ces différentes couches (savoir dans laquelle on se trouve).

1. Introduction

Les couches de LMDZ :

Les apparences :

→ Météorologie, climat, composition atmosphérique

Les théories :

- Mécanique des fluides
- Interactions rayonnement/matière
- Changements de phase
- Chimie

Mathématiques

- Navier-Stokes (Equations primitives)
- Lois thermodynamiques
- Transfert radiatif

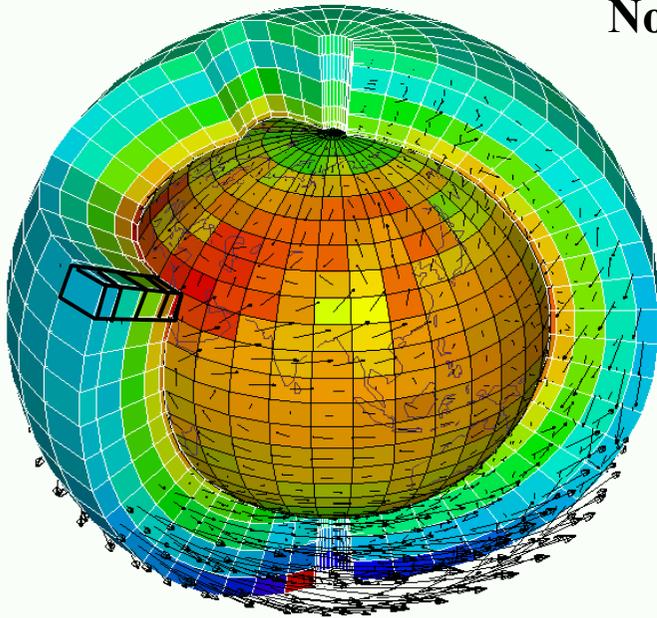
Numérique

- Discrétisation en points de grille
- Différences finies et volumes finis
- Importance de la garantie d'un certain nombre de lois de conservation.

Informatique

- Fortran / Linux
- Calcul haute performance
- Modularité
- Souplesse / Multi-configuration

1. Introduction



Noyau dynamique : équations de bases discrétisées sur la sphère

- Conservation de la masse
 $D\rho/Dt + \rho \operatorname{div}\underline{U} = 0$
- Conservation de la température potentielle
 $D\theta/Dt = Q/C_p (p_0/p)^\kappa$
- Conservation de la quantité de mouvement
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad}p - g + 2 \underline{\Omega} \wedge \underline{U} = \underline{E}$
- Conservation des composants secondaires
 $Dq/Dt = Sq$

Equations primitives de la météorologie

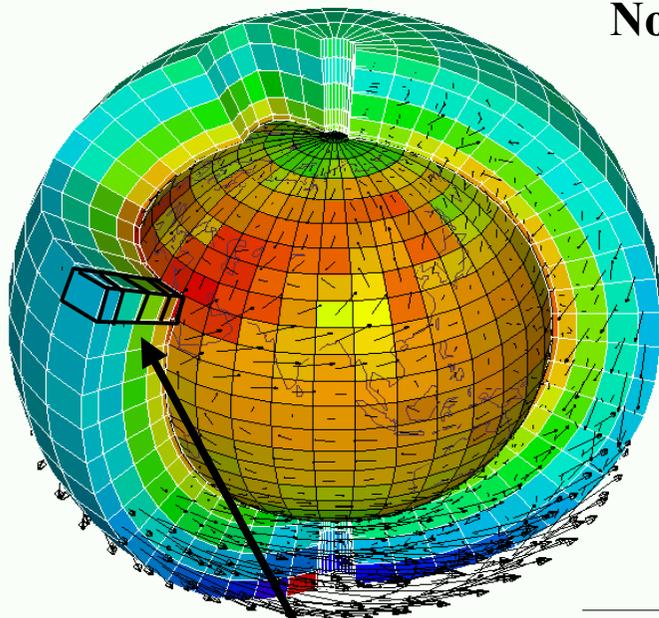
- Approximation de couche mince
- Approximation hydrostatique (**valable jusqu'à 10-20 km**)

Passage au monde numérique :

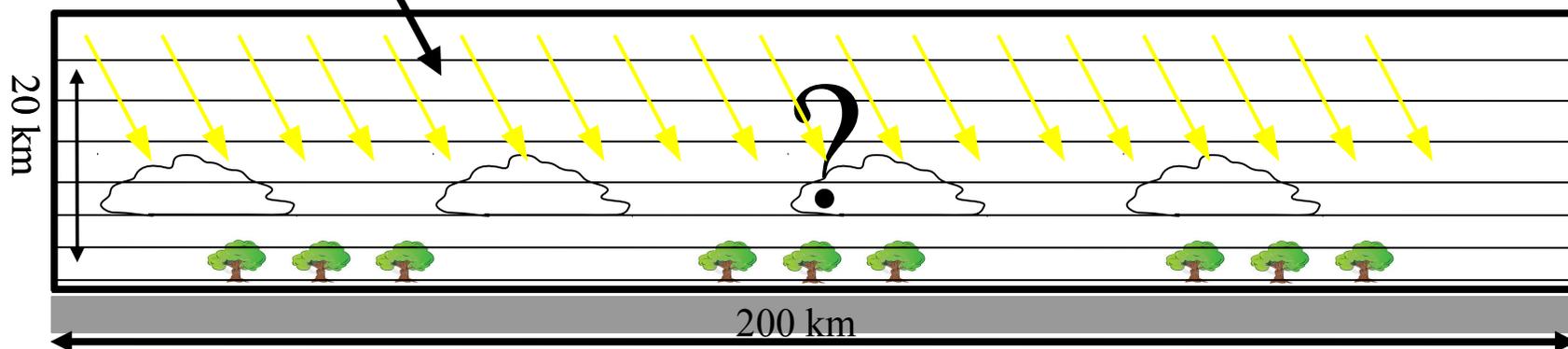
- volumes finies et différences finies
- résolution explicite jusqu'à 30-300 km suivant les modèles
- conservation numérique de certaines quantités (masse, eau, enstrophie ...). Rm : **les bilans d'eau sont fermés par construction**

1. Introduction

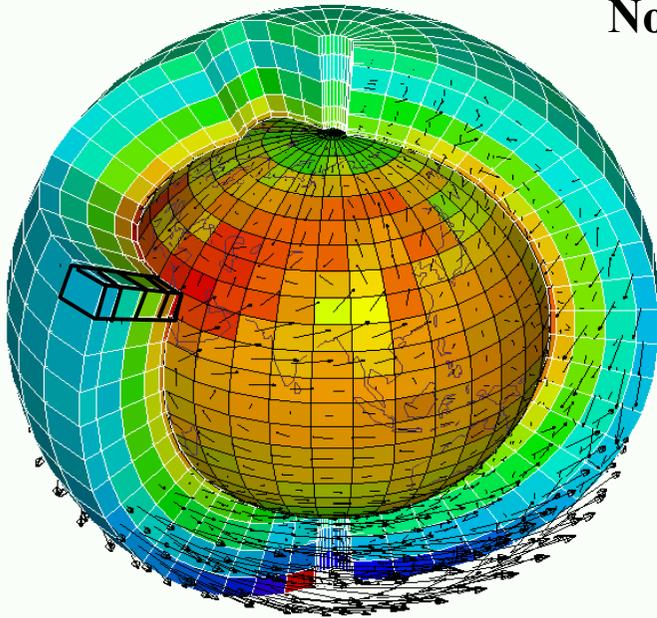
Noyau dynamique : équations de bases discrétisées sur la sphère



- Conservation de la masse
 $D\rho/Dt + \rho \operatorname{div}\underline{U} = 0$
- Conservation de la température potentielle
 $D\theta/Dt = Q / C_p (p_0/p)^{\kappa}$
- Conservation de la quantité de mouvement
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad}p - g + 2 \underline{\Omega} \wedge \underline{U} = \underline{E}$
- Conservation des composants secondaires
 $Dq/Dt = S_q$



1. Introduction



Noyau dynamique : équations de bases discrétisées sur la sphère

- Conservation de la masse
 $D\rho/Dt + \rho \operatorname{div}\underline{U} = 0$
- Conservation de la température potentielle
 $D\theta/Dt = Q / C_p (p_0/p)^{\kappa}$
- Conservation de la quantité de mouvement
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad}p - g + 2 \underline{\Omega} \wedge \underline{U} = \underline{E}$
- Conservation des composants secondaires
 $Dq/Dt = Sq$

Objet des paramétrisations : rendre compte de l'effet des processus non résolus par ces équations

→ **Termes « sources » additionnels dans les équations.**

- Q : Chauffage par échanges radiatifs, conduction (négligée), condensation, sublimation, **mouvements sous maille (nuages, turbulence, convection)**
- E : Viscosité moléculaire (négligée), **mouvements sous-maille (nuages, turbulence, convection)**
- Sq : condensation/sublimation (q = vapeur d'eau ou eau condensée), réactions chimiques, photo-dissociation (ozone, espèces chimiques), microphysiques et lessivage (aérosols de pollution, poussières, ...), **mouvements sous maille (nuages, turbulence, convection)**

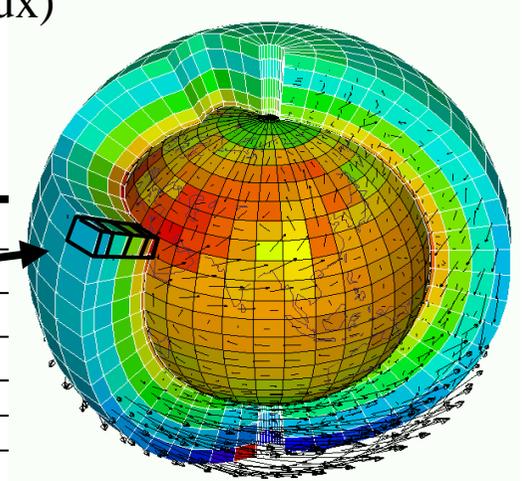
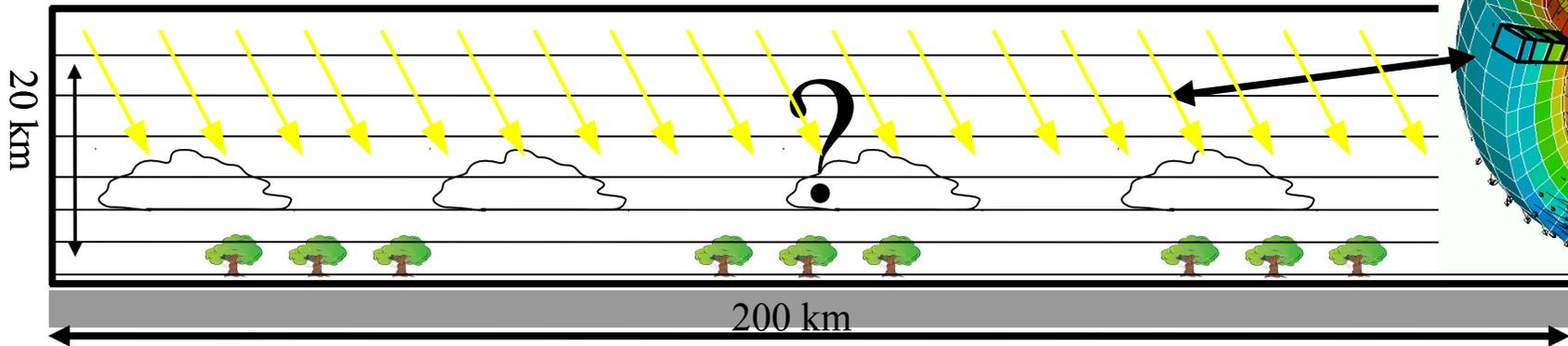
1. Introduction

Paramétrisations : principes



- Calcul de l'effet collectif des processus non résolus sur les variables d'état explicites (\underline{U} , θ , q) du modèle global
- description physique approchée du comportement collectif des processus
- qui fait intervenir des variables internes aux paramétrisations (caractéristiques des nuages, écart-type de la distribution sous-maille d'une variable, ...)
- dérivation d'équations reliant ces variables internes aux variables d'état
 \underline{U} , θ , q à l'instant $t \rightarrow$ variables internes $\rightarrow E$, Q , $Sq \rightarrow \underline{U}$, θ , q à $t+\delta t$
- hypothèses d'homogénéité (statistique) horizontale des processus représentés (comme dans l'hypothèse plan parallèle du transfert radiatif)
 - \rightarrow Equations uni-dimensionnelles en z (échanges verticaux)
 - \rightarrow Colonnes atmosphériques indépendantes

Dans une colonne du modèle ...

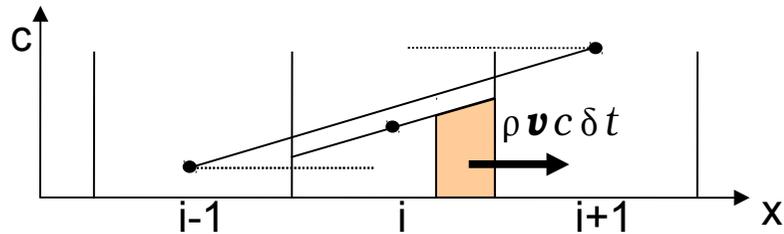


- I. LMDZ : modèle de circulation générale atmosphérique
 1. Introduction
 - 2. Le cœur dynamique**
 3. Découpage/raccordement, modularité
 4. Modes d'utilisation

Advection grande échelle

Introduction du Schéma I de Van Leer (1977), schéma du second ordre en volumes finis avec limiteurs de pentes (MUSCL, MINMOD) (Hourdin et Armengaud, 1999). Garantit certaines propriétés physique du transport : conservation de la quantité totale, positivité, monotonie, non croissance des extrema, faible diffusion numérique

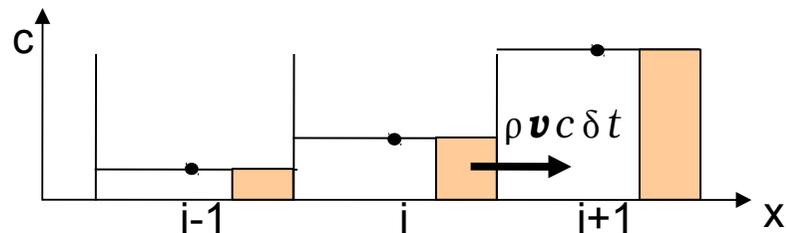
Schéma I de Van Leer (1977)



Différences finies centrées (second ordre)



Schéma à mont (Godunov, 1952)



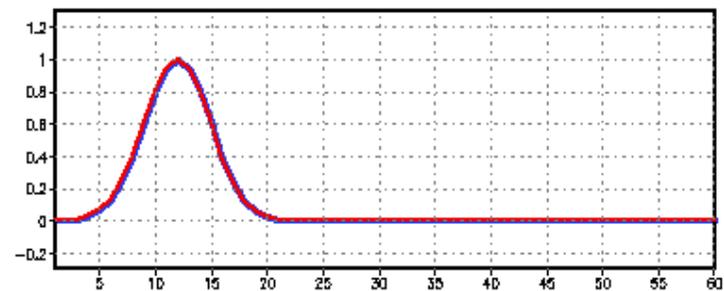
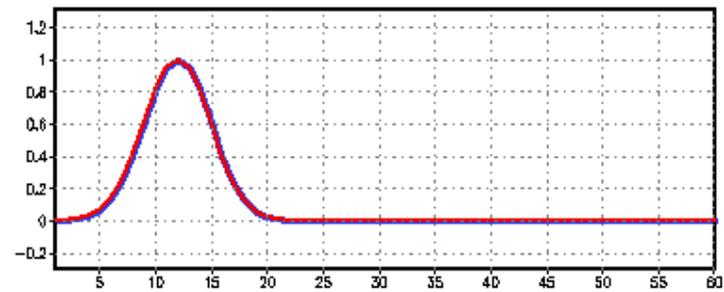
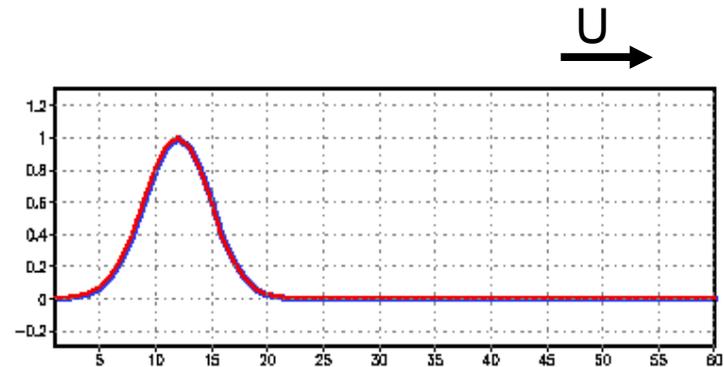
Test d'advection d'un pic Gaussien

— Distribution initiale

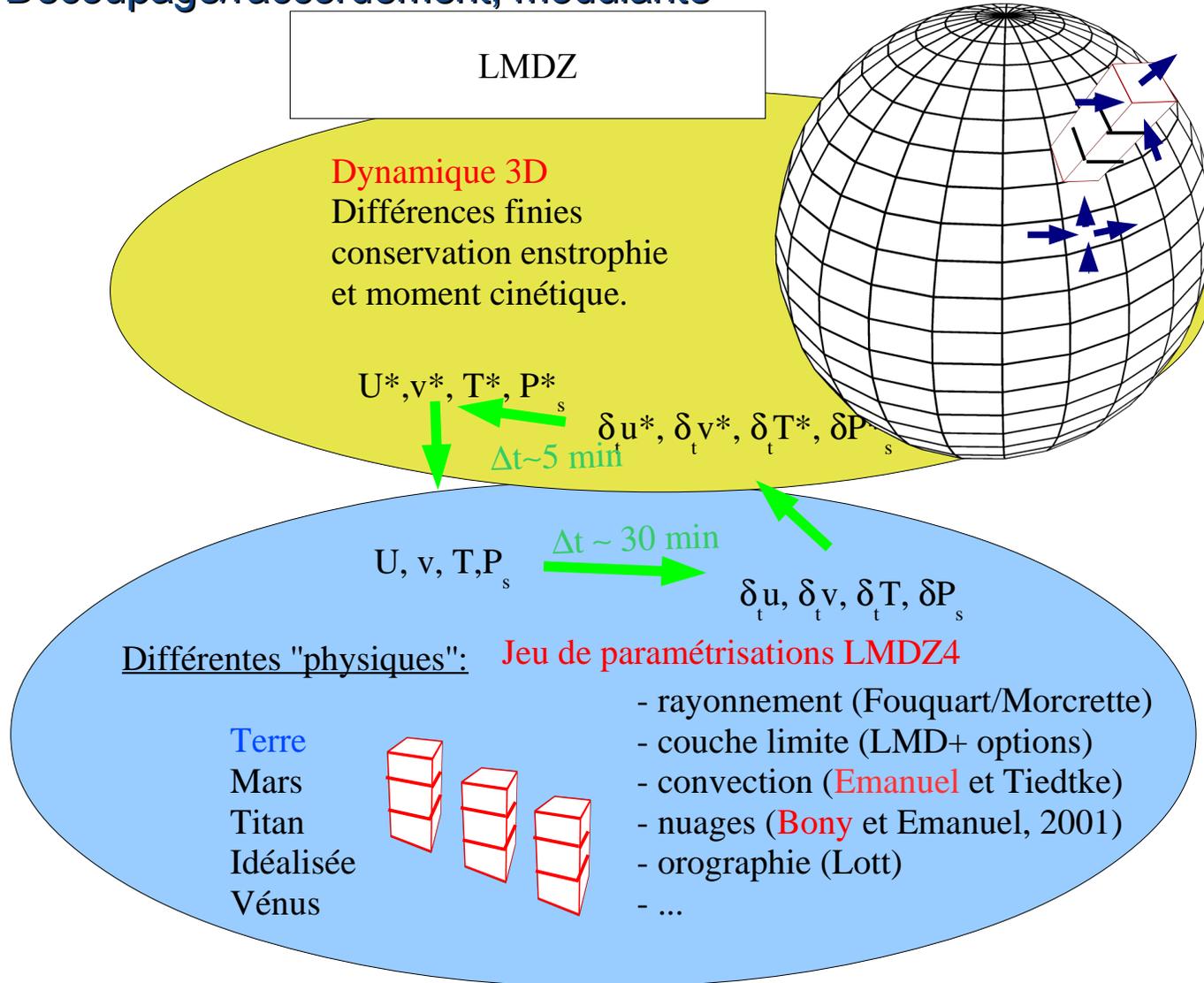
— Solution exacte (translation)

— Calcul avec schéma d'advection

U constant, nb de Courant $U dt/dx = 0,2$

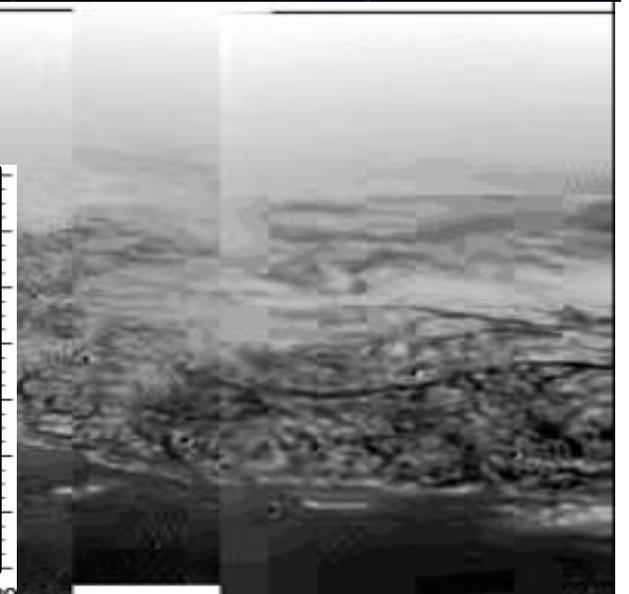
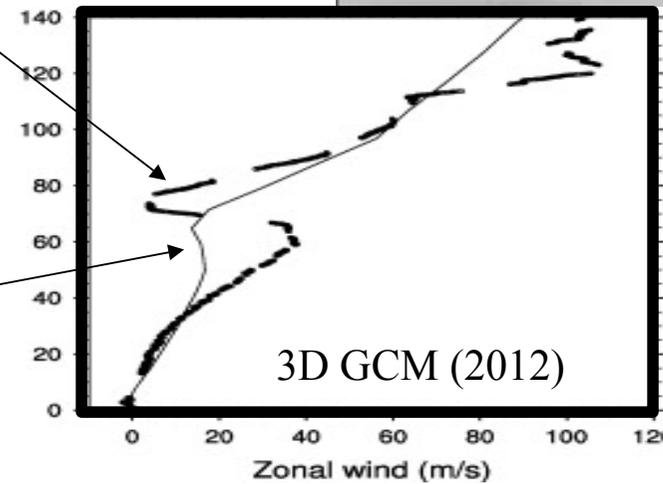
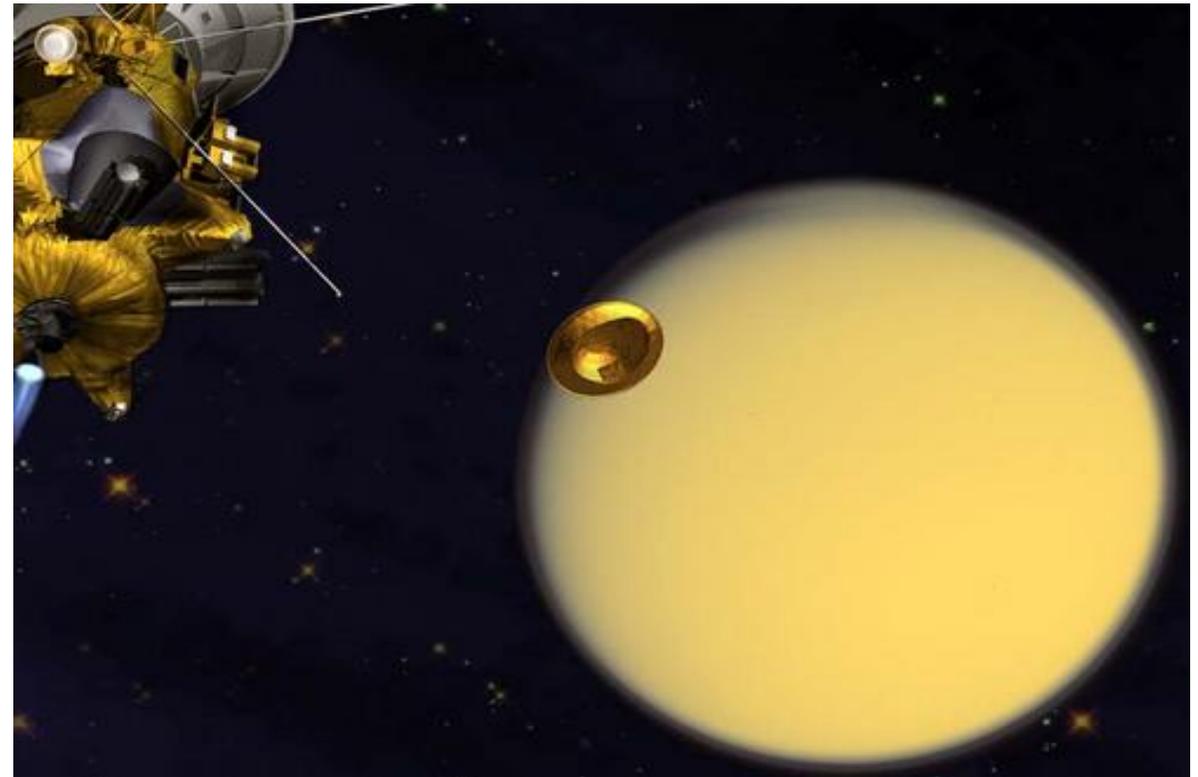
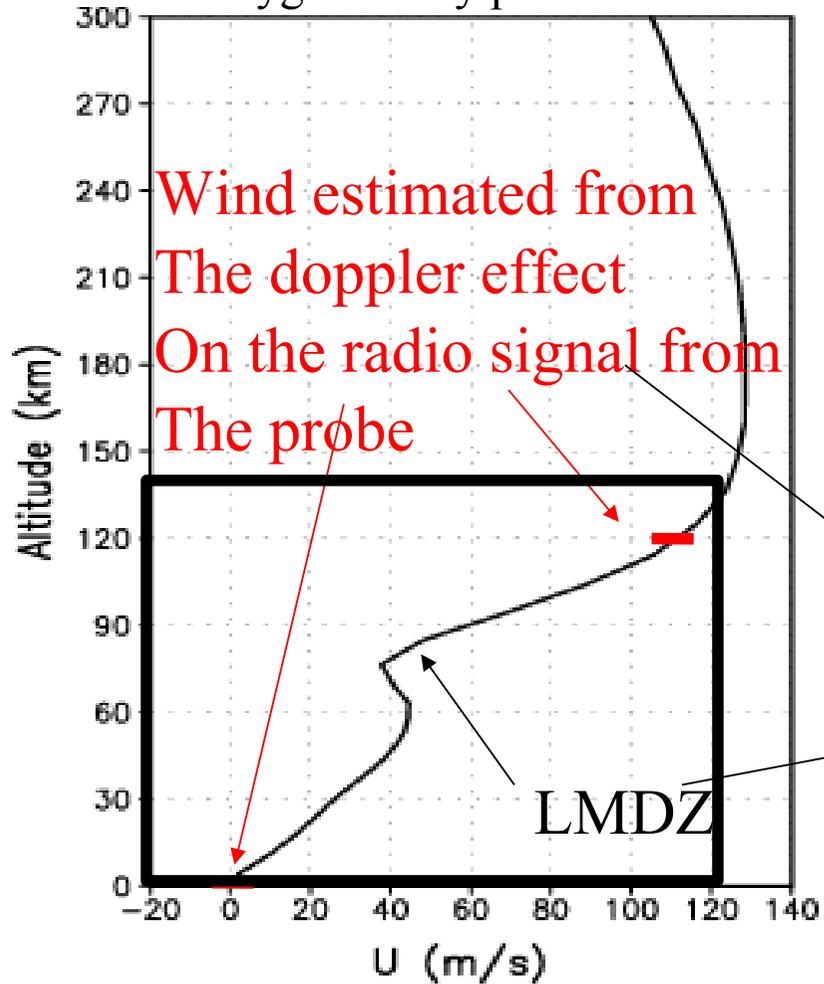


3. Découpage/raccordement, modularité

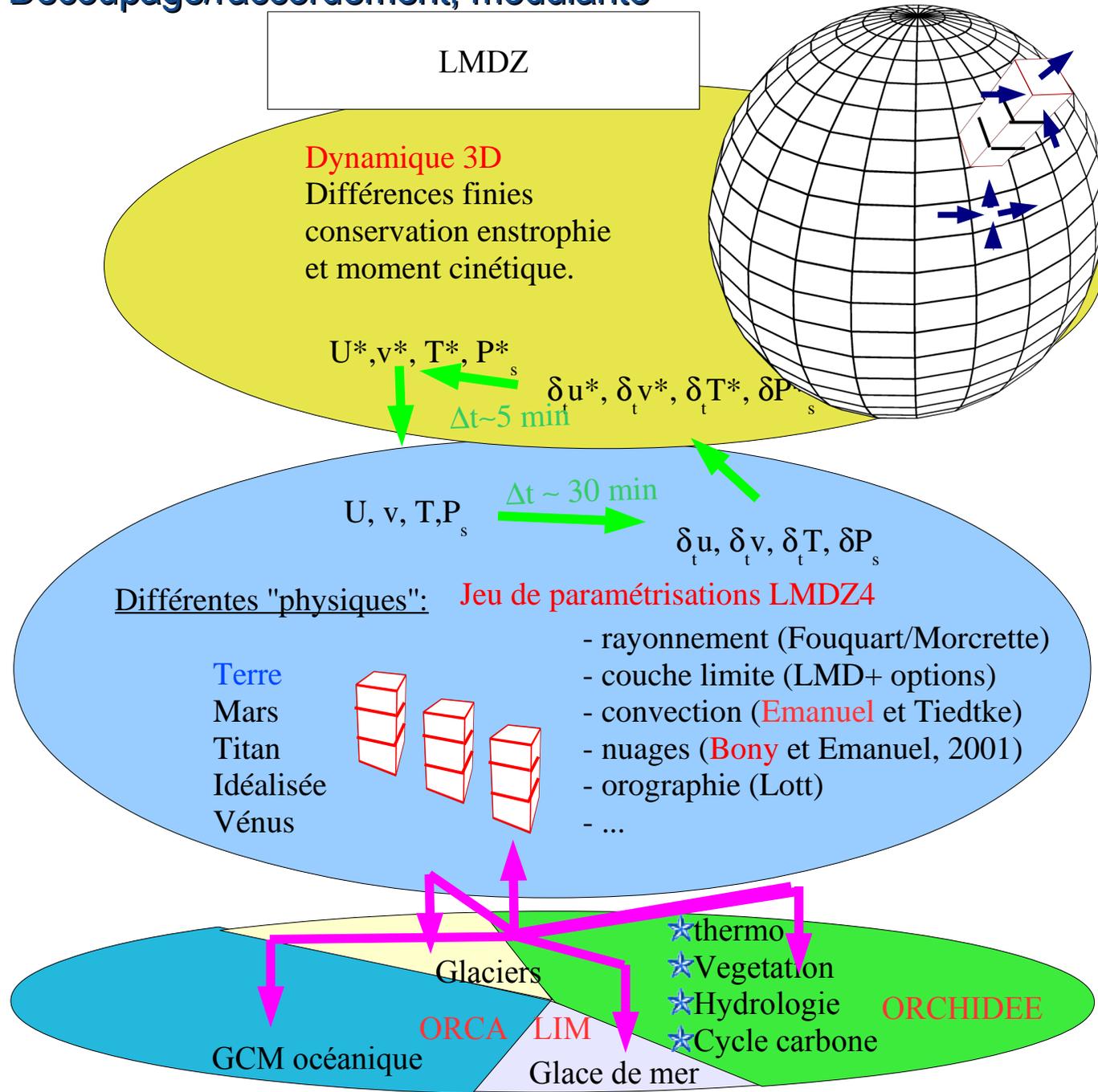


Prediction of Titan atmospheric
Super-rotation with the
LMDZ Titan GCM
(1995, 2005)

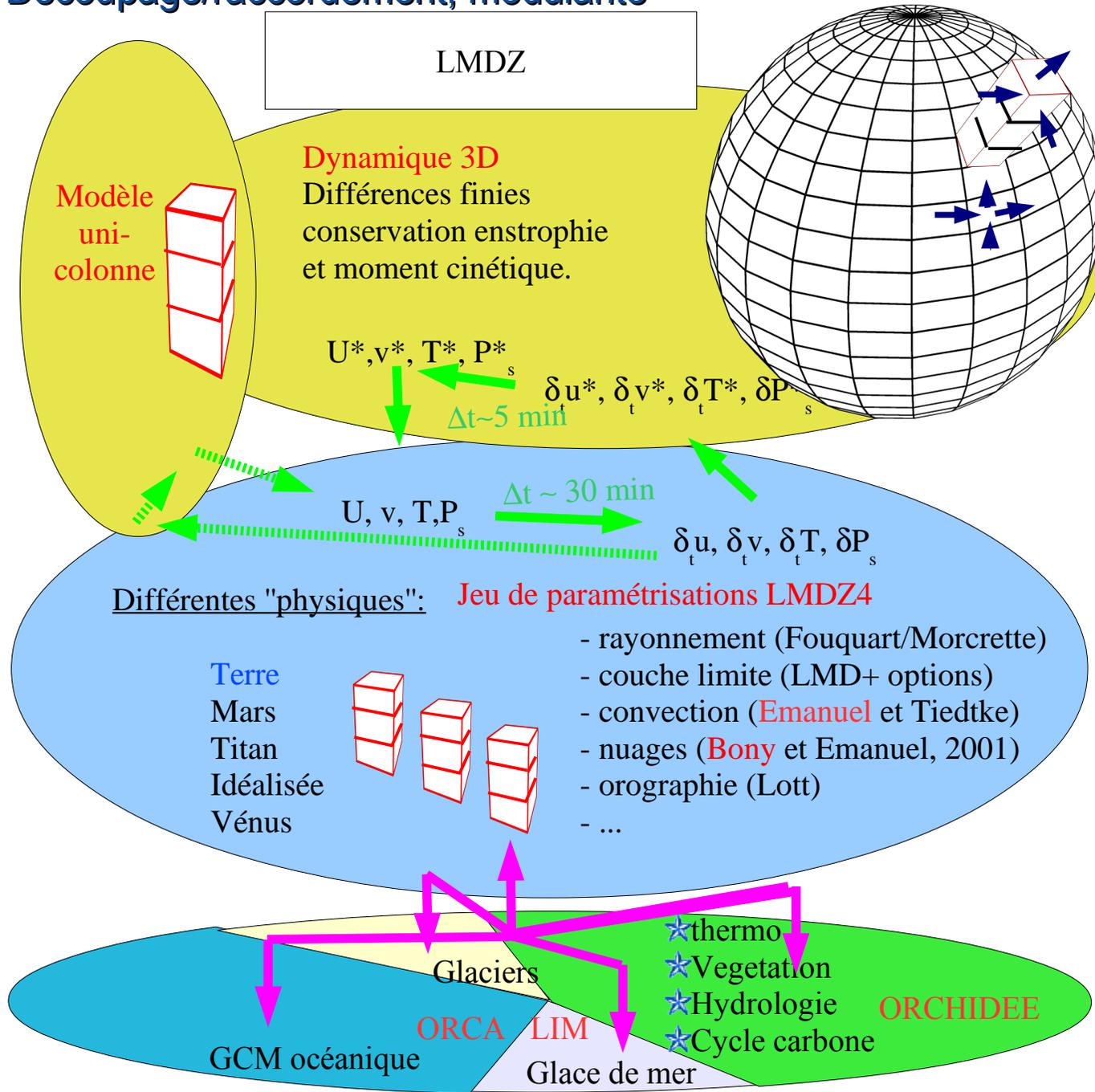
An a posteriri comparison with
The Huygens entry profile



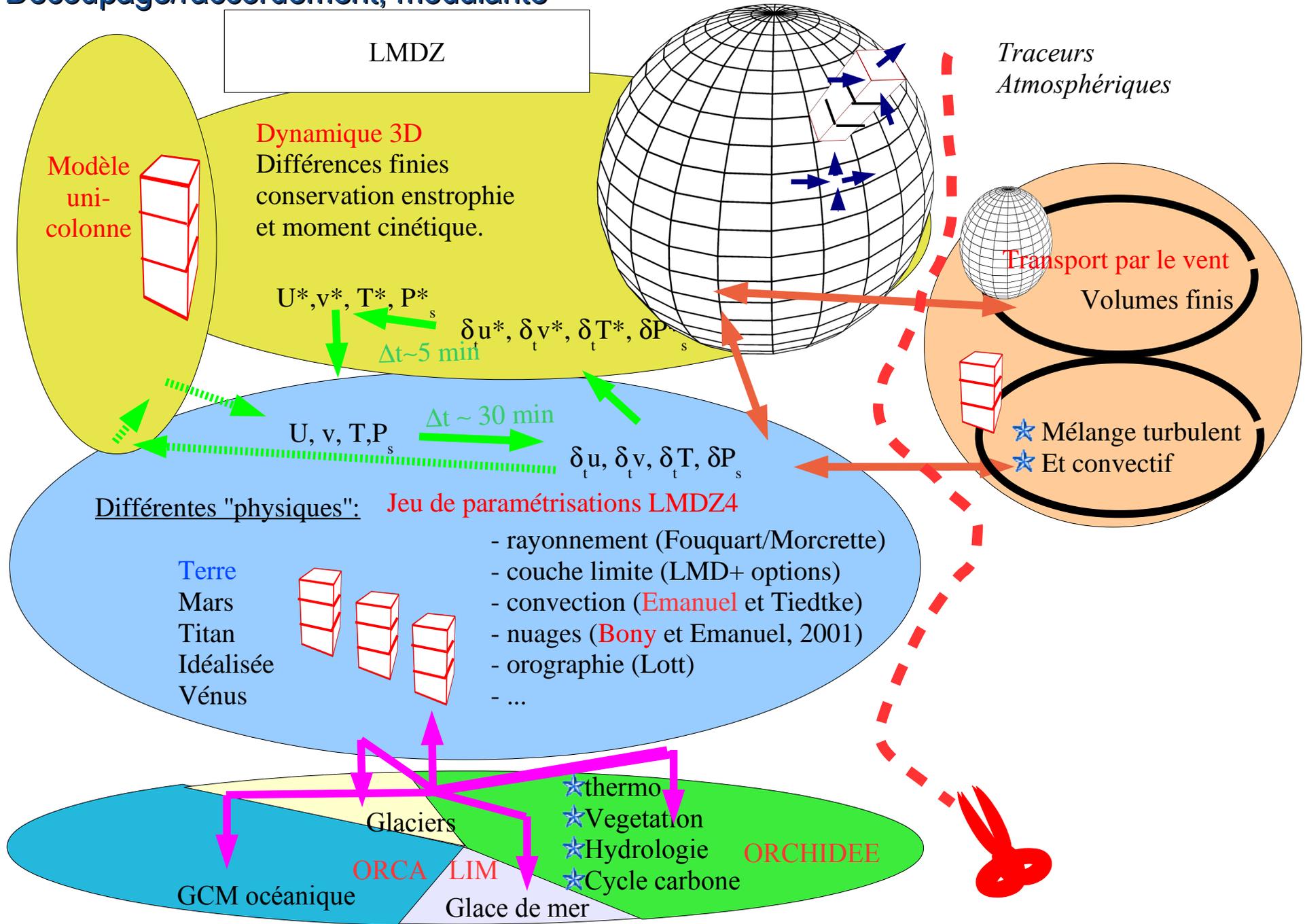
3. Découpage/raccordement, modularité



3. Découpage/raccordement, modularité

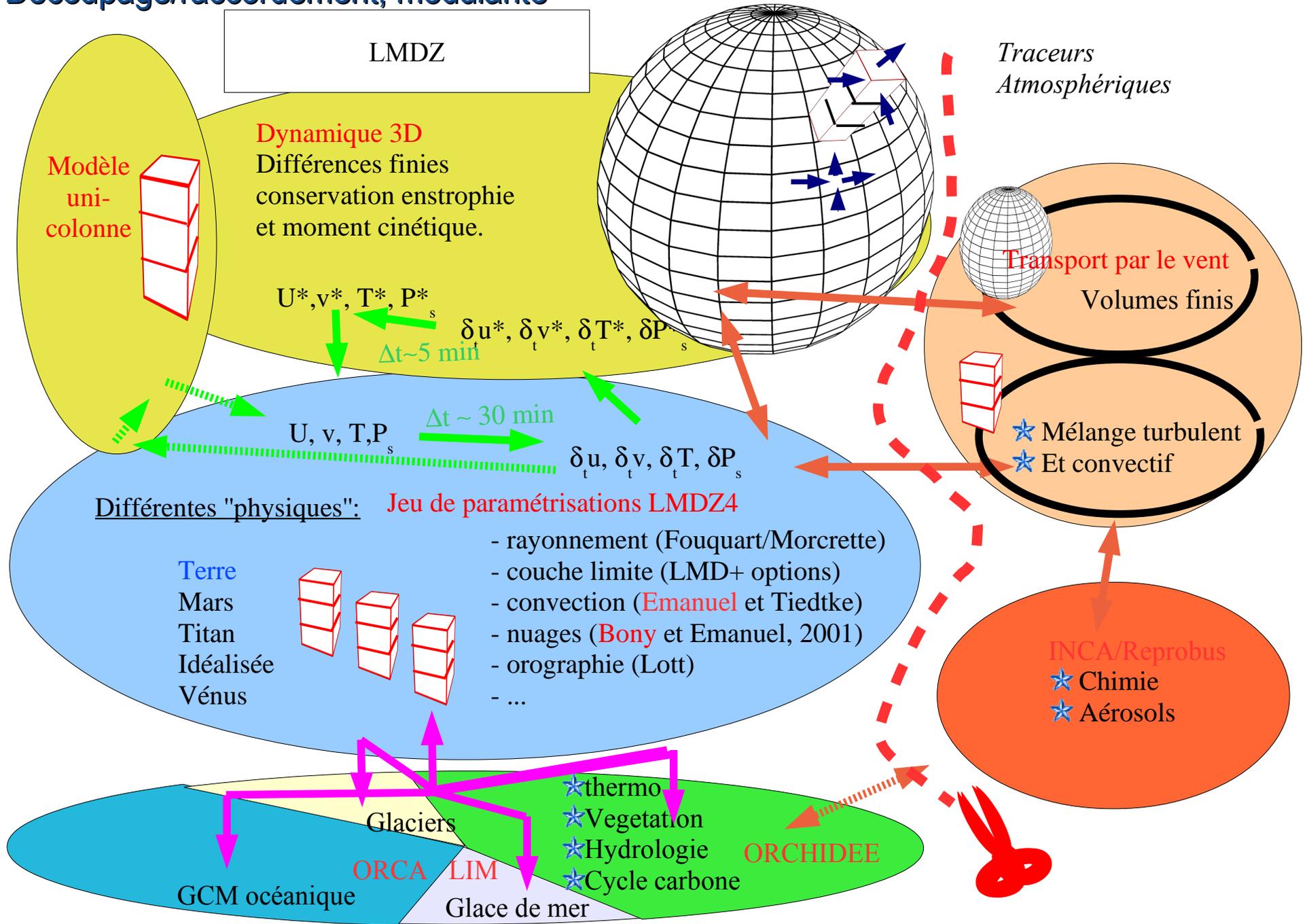


3. Découpage/raccordement, modularité



- I. LMDZ : modèle de circulation générale atmosphérique
 1. Introduction
 2. Le cœur dynamique
 - 3. Découpage/raccordement, modularité**
 4. Modes d'utilisation

3. Découpage/raccordement, modularité

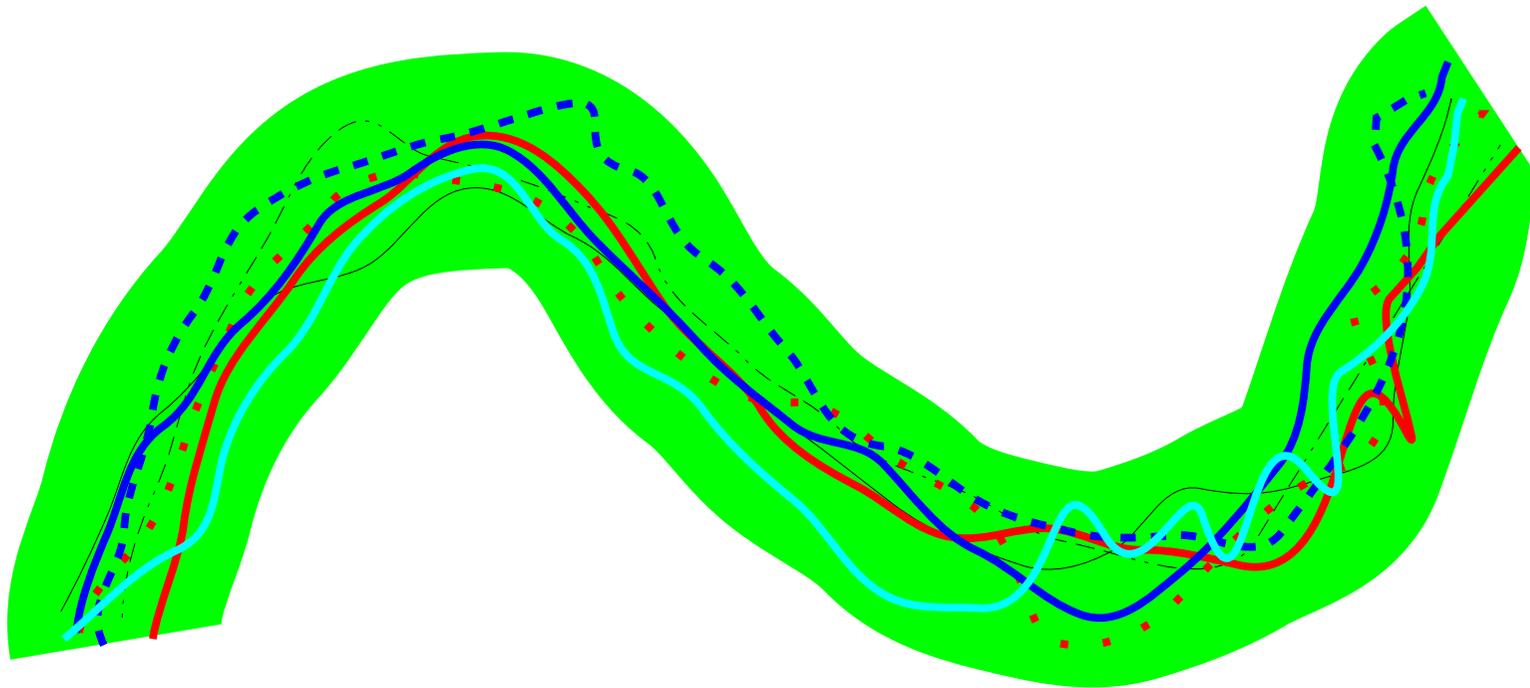


- I. **LMDZ : modèle de circulation générale atmosphérique**
 1. Introduction
 2. Le cœur dynamique
 3. Découpage/raccordement, modularité
 4. **Modes d'utilisation**

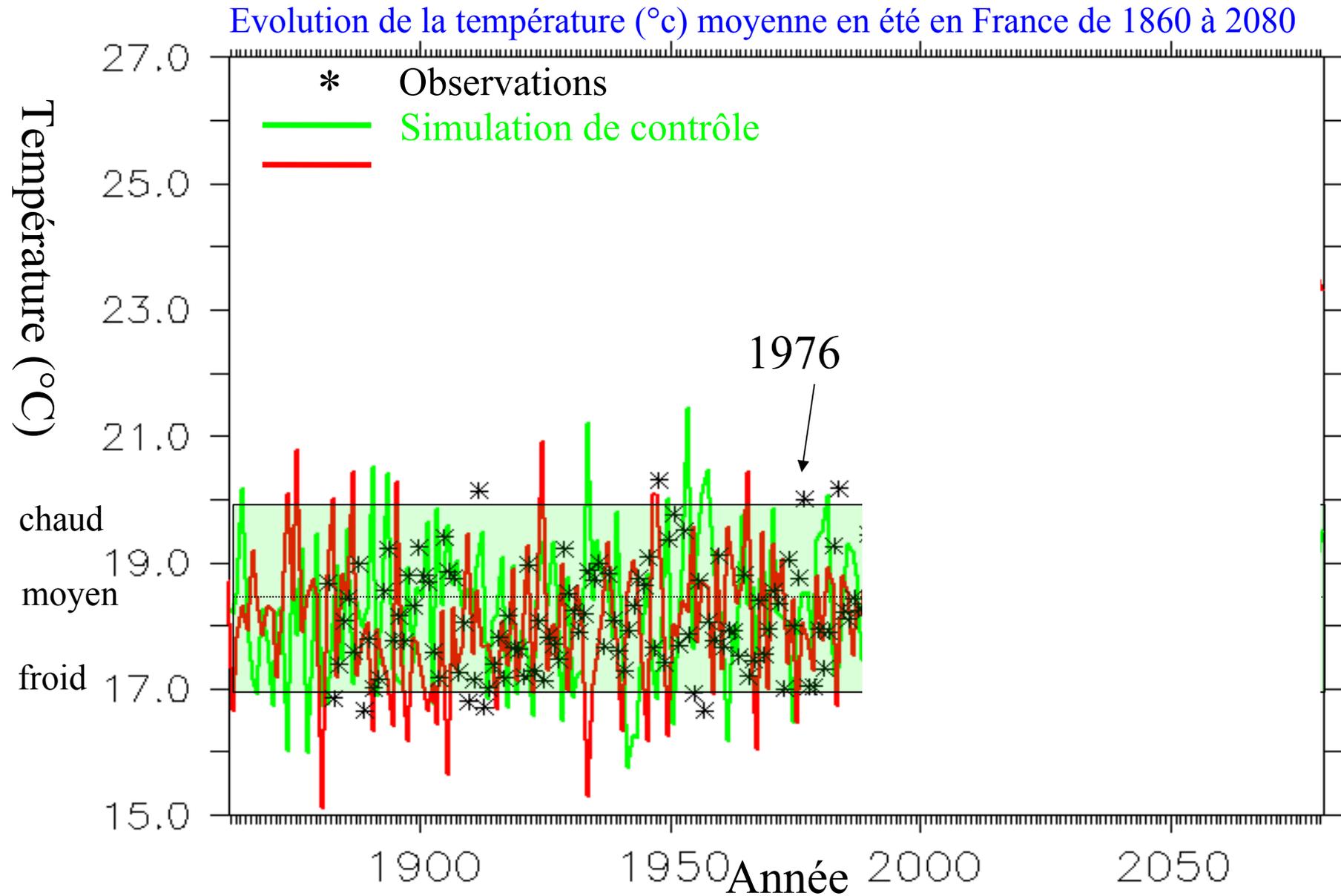
4. Des modes d'utilisation

Modélisation du climat / prévision du temps

- **Modèles** : identiques.
- **Durée** : plusieurs décennies ou siècles / 15 jours (prévision saisonnière entre les deux)
- **Etat initial** : quelconque (existence d'un attracteur : le climat) / “analyse” produite à partir d'un processus d'assimilation (variationnelle) des données dans les modèles
- **Prévision** : statistique (ex : la variabilité inter-annuelle de la pluie d'hivernage) / déterministe (le temps qu'il fait demain).



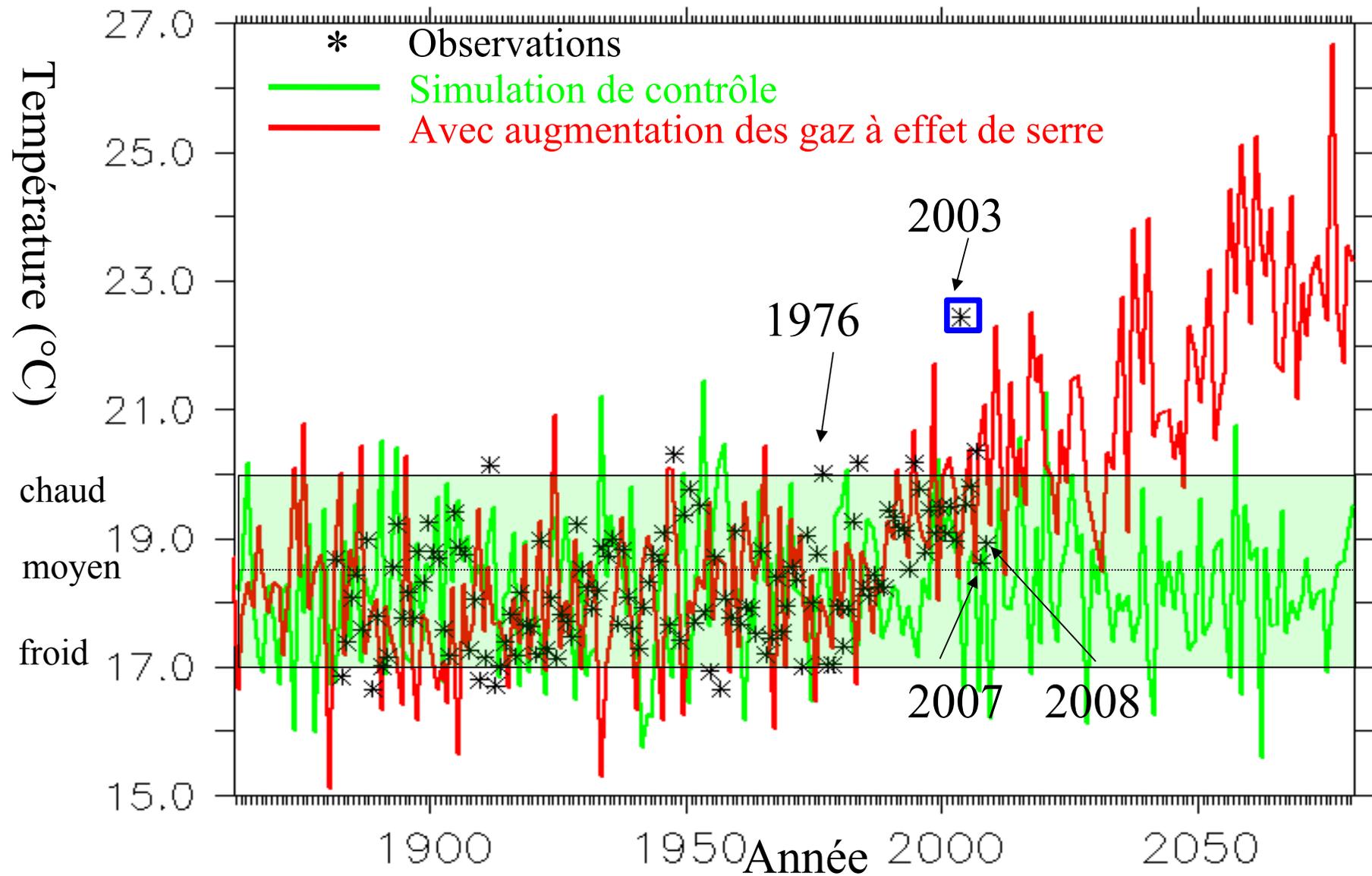
4. Des modes d'utilisation



(Scenario SRESA2 du GIEC, modèle de l'IPSL)

4. Des modes d'utilisation

Evolution de la température (°C) moyenne en été en France de 1860 à 2080



(Scenario SRESA2 du GIEC, modèle de l'IPSL)

Illustration numérique avec LMDZ
 Injection d'un polluant (PMCH) en
 Bretagne (campagne ETEX)

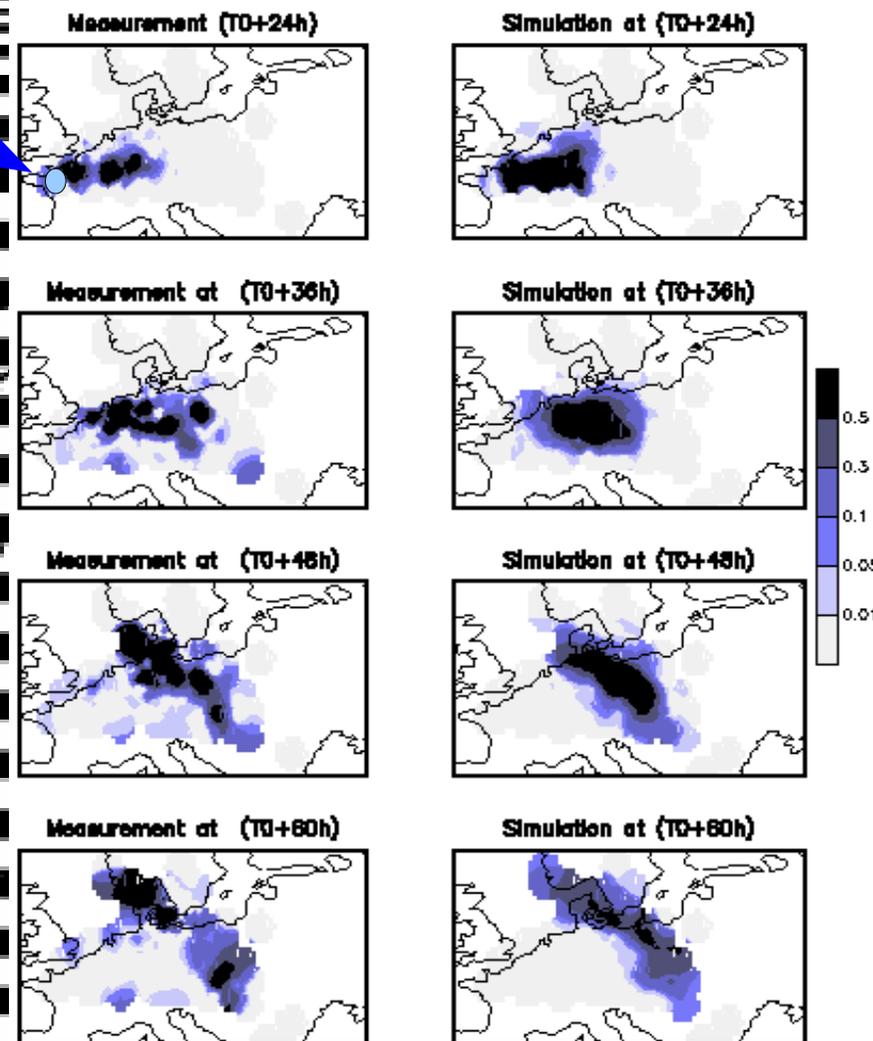
GUIDAGE (nudging en anglais)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial t}_{GCM} + \frac{u_{analyse} - u}{\tau}$$

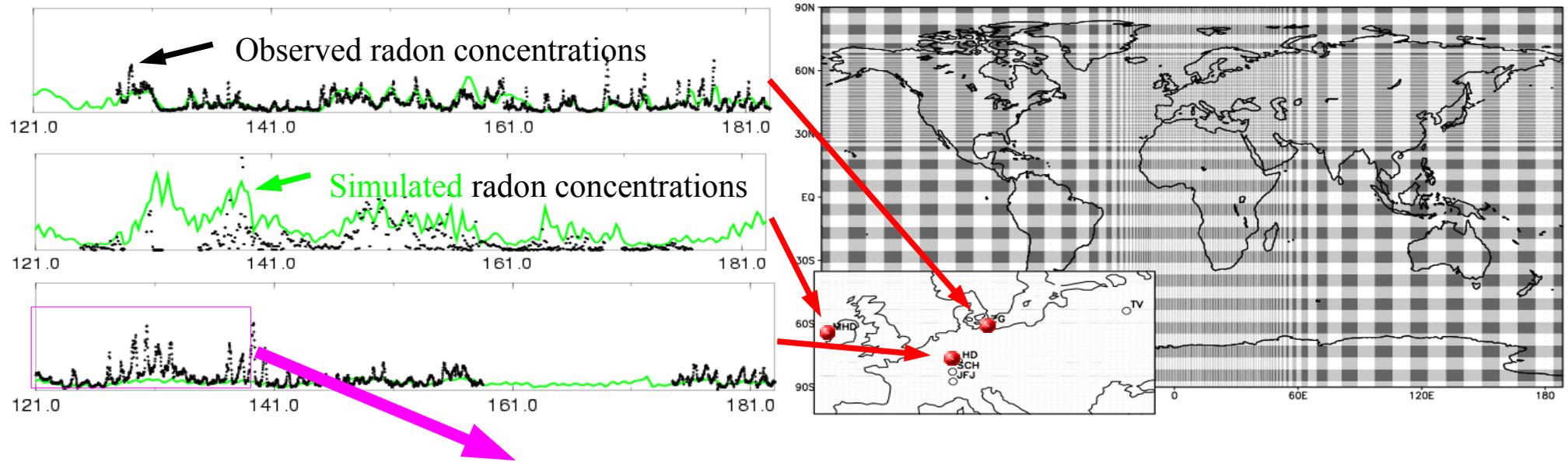
$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial t}_{GCM} + \frac{v_{analyse} - v}{\tau}$$

↑ constante de rappel vers les analyses ou réanalyses

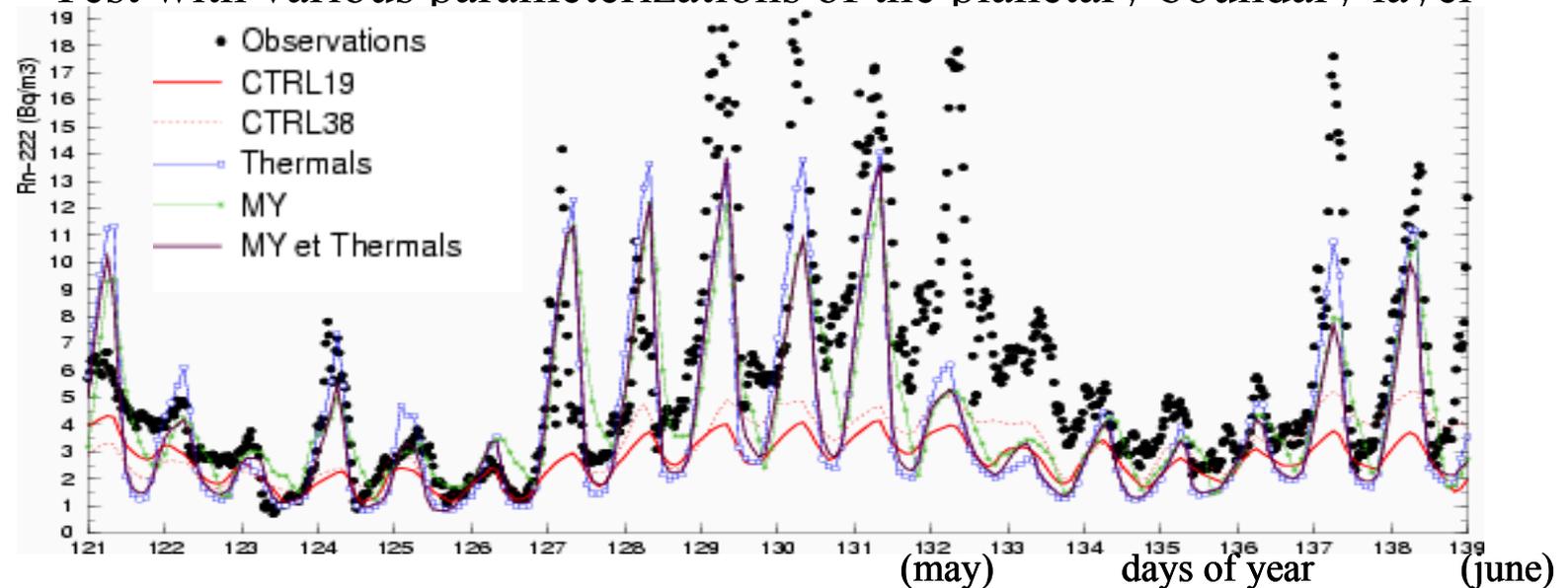
$$u_{analyse} \quad v_{analyse}$$



Simulation of the surface concentration of radon* with LMDZ, nudged by ECMWF winds, with a refined grid over Europe (40x40 km²)



Test with various parameterizations of the planetary boundary layer



* Radon is a tracer of continental air masses, emitted almost uniformly by continents only. Life time of about 4 days.

Les appels principaux dans dyn3d /leapfrog.F

```
CALL pression ( ip1jmp1, ap, bp, ps, p )
CALL exner_hyb( ip1jmp1, ps, p,alpha,beta, pks, pk, pkf )

call guide_main(itau,ucov,vcov,teta,q,masse,ps)

CALL SCOPY( ijmlm ,vcov , 1, vcovm1 , 1 )
CALL SCOPY( ijp1llm,ucov , 1, ucovm1 , 1 )
CALL SCOPY( ijp1llm,teta , 1, tetam1 , 1 )
CALL SCOPY( ijp1llm,masse, 1, massem1, 1 )
CALL SCOPY( ip1jmp1, ps , 1, psm1 , 1 )
CALL SCOPY ( ijp1llm, masse, 1, finvmaold, 1 )

CALL filtreg ( finvmaold ,jjp1, llm, -2,2, .TRUE., 1 )

CALL geopot ( ip1jmp1, teta , pk , pks, phis , phi )

CALL caldyn

CALL caladvtrac(q,pbaru,pbarv,

CALL integrd ( 2,vcovm1,ucovm1,tetam1,psm1,massem1 ,

CALL calfis( lafin , jD_cur, jH_cur,

CALL top_bound( vcov,ucov,teta,masse,dufi,dvfi,dtetafi)

CALL addfi( dtphys, leapf, forward ,

CALL addfi( dtvr, leapf, forward ,

CALL dissip(vcov,ucov,teta,p,dvdis,dudis,dtetadis)

CALL dynredem1("restart.nc",0.0)

CALL bilan_dyn(2,dtvr*iperiod,dtvr*day_step*periodav,
```