

## 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

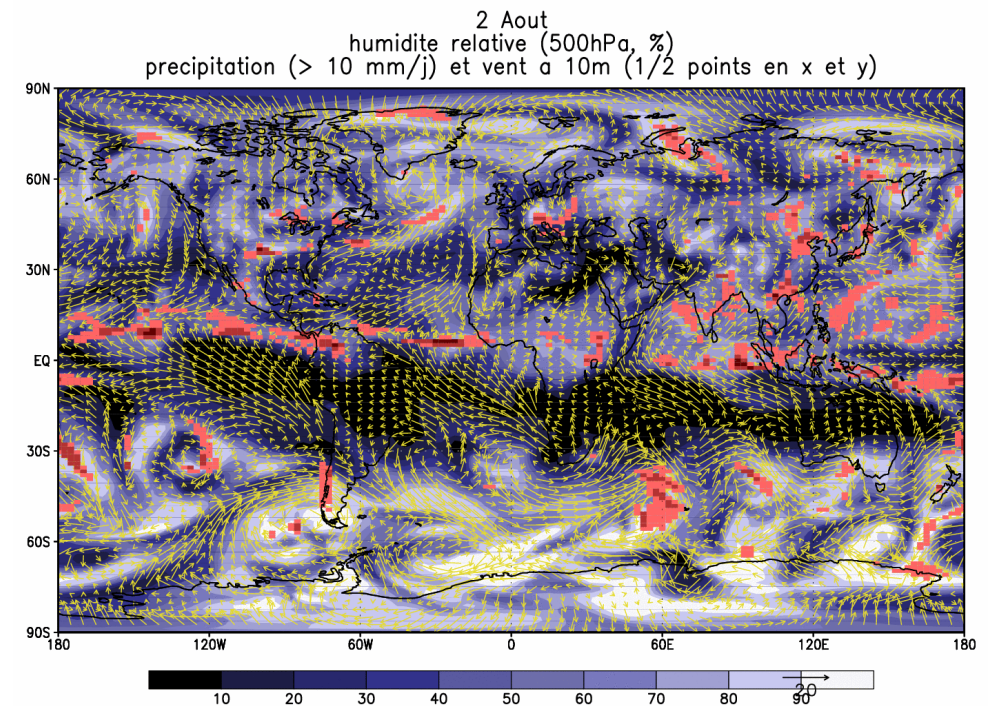
1. Présentation générale
2. Structure du code
3. Tour d'horizon des paramétrisations

Jean-Yves Grandpeix

### III. Nouvelle physique

1. couplage entre paramétrisations
2. Du 1D au 3D : quelques résultats

Catherine Rio



## 1. Introduction

### Le monde des modèles numériques

apparences  
théories (physique, chimie, biologie, économie)  
mathématique  
numérique  
informatique

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

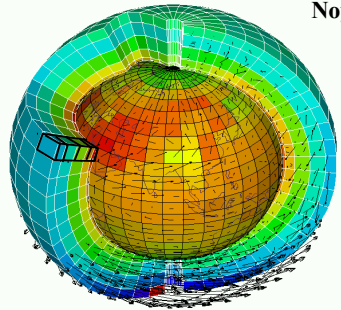
#### Numérique

- 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  
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad} p - \underline{g} + 2 \underline{\Omega} \wedge \underline{U} = \underline{F}$
- Conservation des composants secondaires  
 $Dq/Dt = Sq$

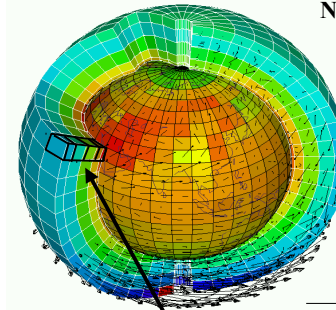
### Equations primitives de la météorologie

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

### Passage au monde numérique :

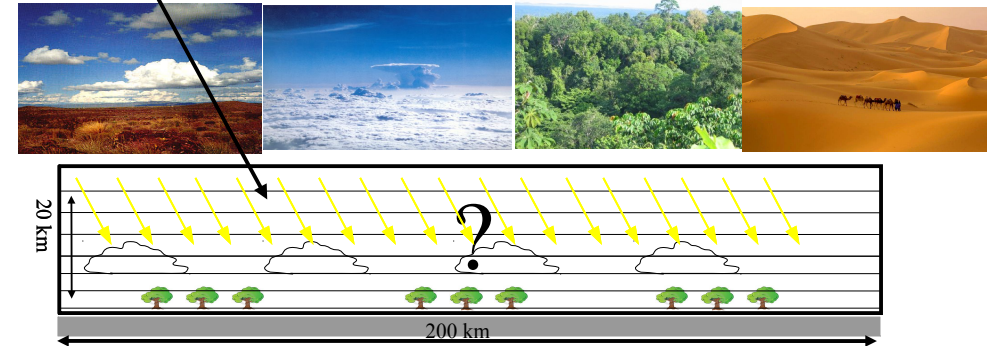
- volumes finies et différences finies
- résolution explicite jusqu'à 30-300 km suivant les modèles
- conservation numérique de certaines quantités (masse, eau, entrophie ...). Rm : les bilans d'eau sont fermés par construction

## 1. Introduction

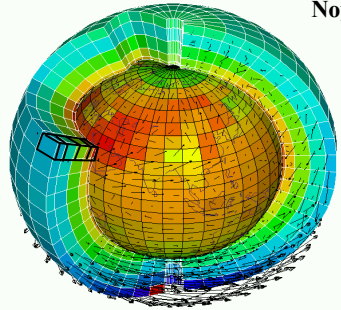


Noyau dynamique : équations de bases discrétisées sur la sphère

- 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  
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad} p - \underline{g} + 2 \underline{\Omega} \wedge \underline{U} = \underline{F}$
- Conservation des composants secondaires  
 $Dq/Dt = Sq$



## 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  
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad} p - \underline{g} + 2 \underline{\Omega} \wedge \underline{U} = \underline{F}$
- 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)**
- $F$  : 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)**

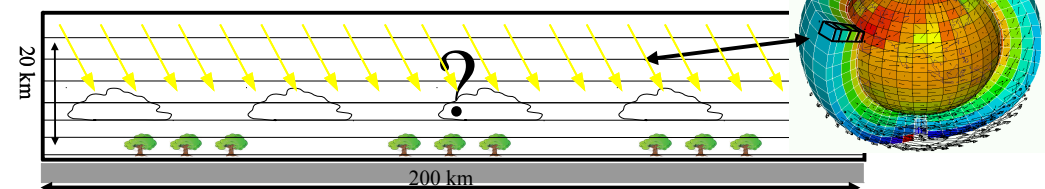
## 1. Introduction

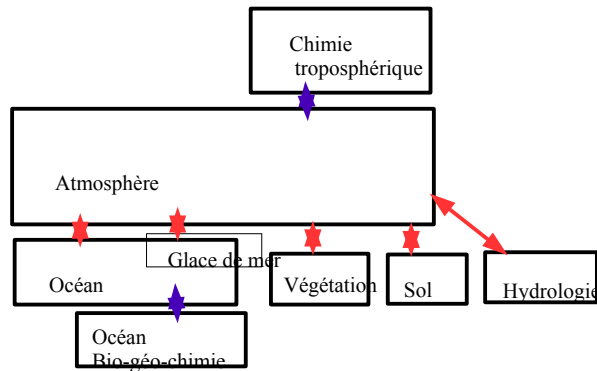
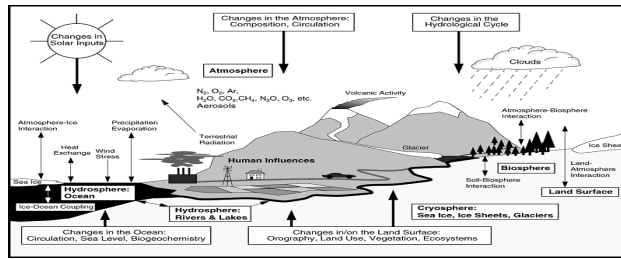
### Paramétrisations : principes



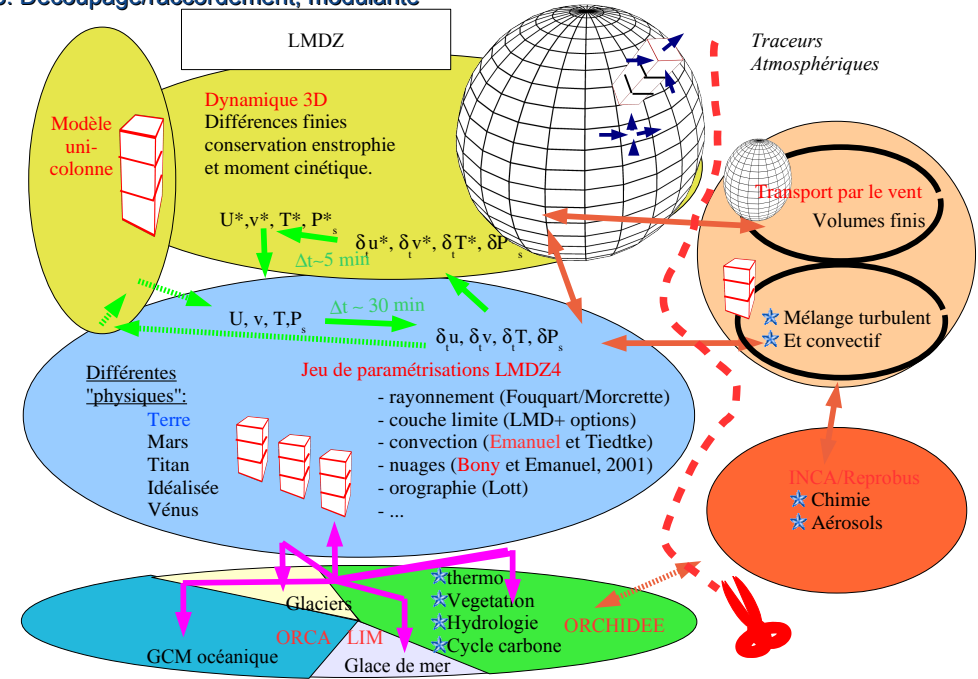
- Calcul de l'effet collectif des processus non résolus sur les variables d'état explicites ( $\underline{U}$ ,  $\theta$ ,  $q$ ) du modèle global
- description physique approchée du comportement collectif des processus
- qui fait intervenir des **variables internes aux paramétrisations** (caractéristiques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

Dans une colonne du modèle ...





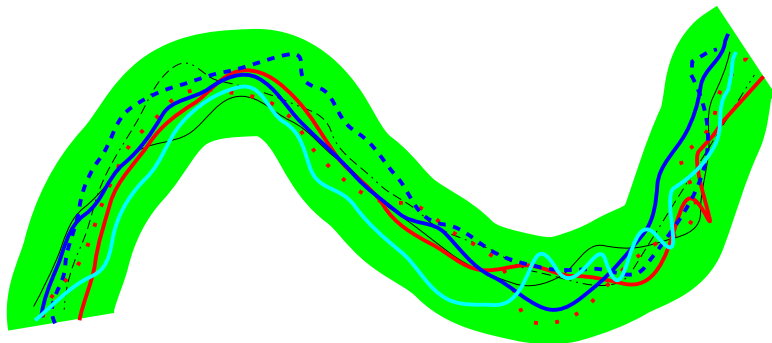
### 3. Découpage/raccordement, modularité



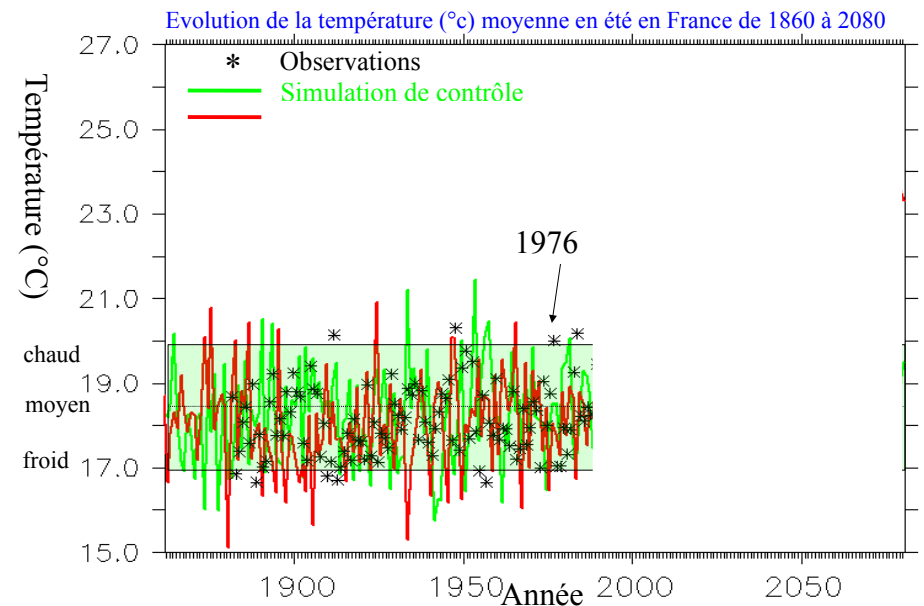
### 4. Des modes d'utilisation

#### 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

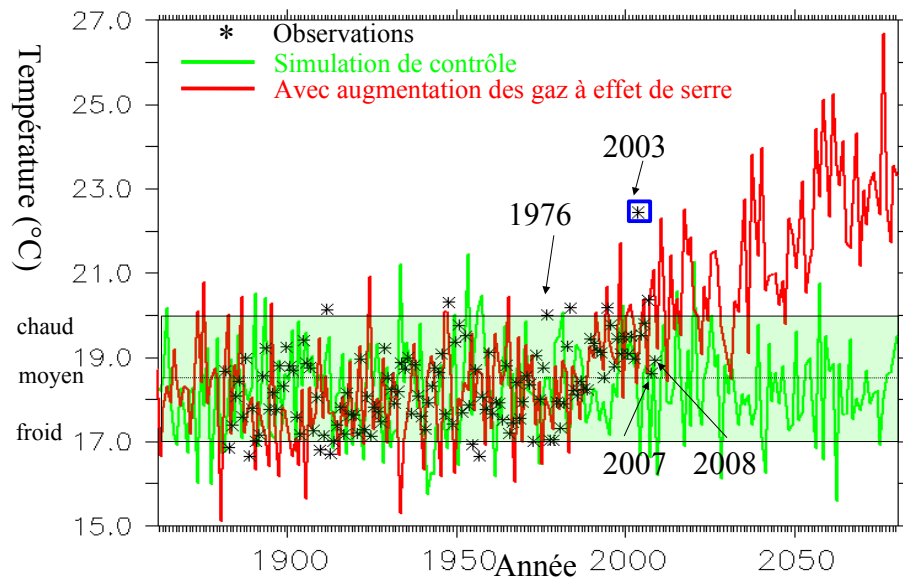


(Scenario SRESA2 du GIEC, modèle de l'IPSL)



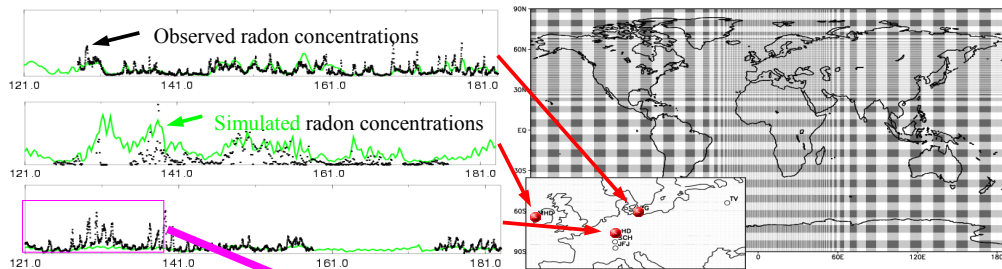
#### 4. Des modes d'utilisation

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

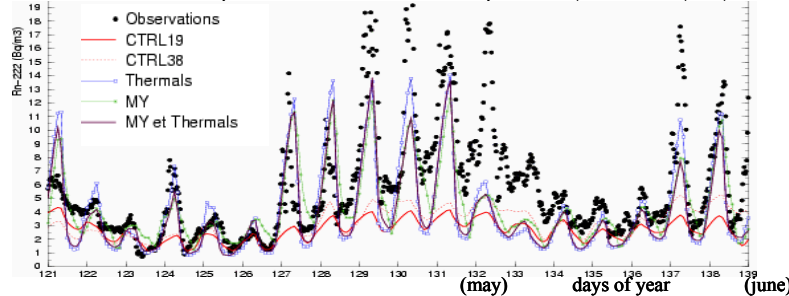


(Scenario SRESA2 du GIEC, modèle de l'IPSL)

Simulation of the surface concentration of radon\* with LMDZ, nudged by ECMWF winds, with a refined grid over Europe (40x40 km<sup>2</sup>)

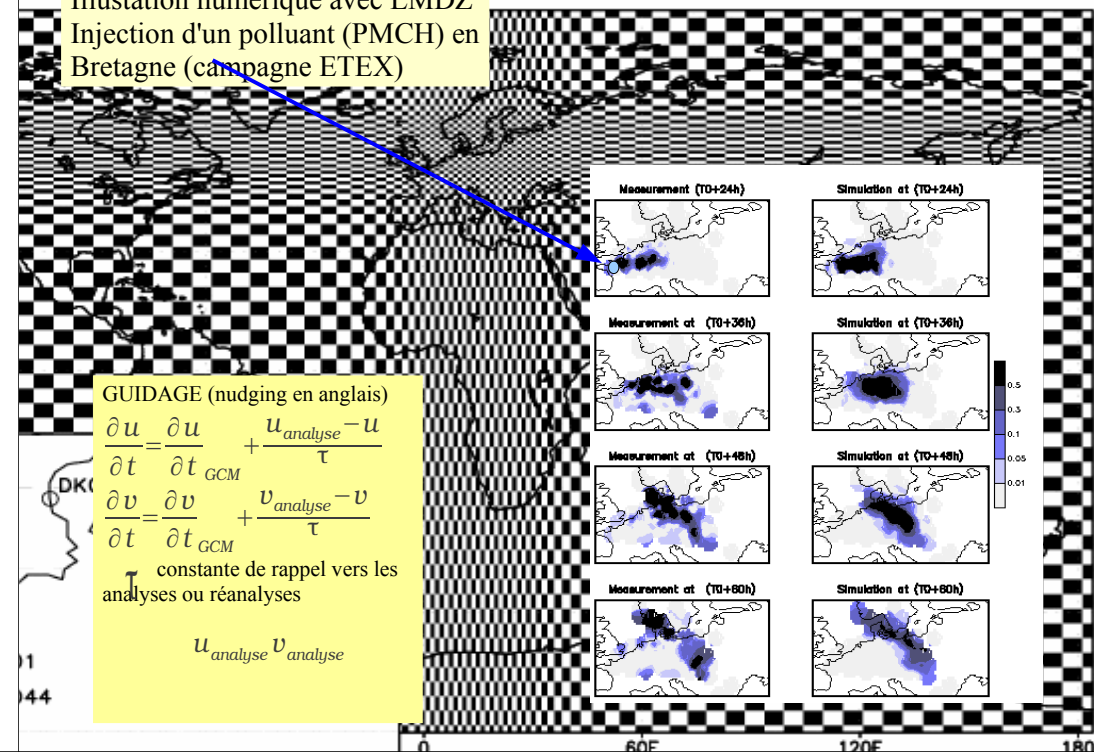


Test with various parameterizations of the planetary boundary layer



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

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



GUIDAGE (nudging en anglais)

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

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

$\tau$  constante de rappel vers les analyses ou réanalyses

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

```
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( ijmllm, vcov, 1, vcovm1, 1 )
CALL SCOPY( ijp1llm, ucov, 1, ucovm1, 1 )
CALL SCOPY( ijp1llm, teta, 1, tetam1, 1 )
CALL SCOPY( ijp1llm, masse, 1, massm1, 1 )
CALL SCOPY( ip1jmp1, ps, 1, psm1, 1 )
CALL SCOPY( ijp1llm, masse, 1, finvmaold, 1 )

CALL filtreg ( finvmaold, jip1, 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, massm1,

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,
```