

Guidage de LMDZ

Pour les explications, on suppose qu'on guide la variable u du modèle par une variable u_g .

1 Principe

On ajoute à certains champs du modèle une relaxation vers un état de "guidage" u_g :

$$du = -\alpha \cdot (u - u_g)$$

Avec $\alpha = dt/\tau$ et τ est un temps de relaxation. Le guidage peut être local ou en moyenne zonale (`guide_zon=.true.`). On a alors

$$du = -\alpha \cdot ([u] - [u_g])$$

Où $[u]$ est la moyenne de u en longitude¹.

Une alternative est d'ajouter un forçage fixe (`guide_add=.true.`) :

$$du = \alpha \cdot u_g$$

Le contrôle sur l'état final est moins bon, mais le forçage est mieux connu et on atténue pas la variabilité.

Dans le cas d'un guidage vers un état moyen (cycle saisonnier...), il est possible d'effectuer une première simulation avec relaxation, de sauvegarder le champ de guidage du/dt , puis de l'utiliser ensuite comme forçage fixe dans une deuxième simulation.

2 Calcul de l'intensité du rappel α

On ajoute $\alpha \cdot (u_g - u)$ au champ u à chaque pas de temps du guidage, soit tous les *iperiod*. Le paramètre d'entrée est le temps de relaxation τ , donné en jour⁻¹. On a donc

$$\alpha = \frac{dtvr.iperiod}{daysec.\tau}$$

¹La moyenne zonale est prise suivant un niveau du gcm. Si `guide_reg=.true.`, elle est calculée entre `lon_min_g` et `lon_max_g`

2.1 Variations spatiales

Pour chaque variable guidée, on donne deux paramètres τ_{min} et τ_{max} . Il y a ensuite trois possibilités pour le calcul de α :

1 Grille régulière

Si la grille du modèle est régulière et `guide_reg=.false.`, α prend la valeur constante $1/\tau_{max}$.

2 Guidage régional

Si `guide_reg=.true.`, $\alpha = 1/\tau_{min}$ à l'intérieur de la région de guidage, et 0 à l'extérieur. La région de guidage est définie par les paramètres `lat_min_g`, `lat_max_g`, `lon_min_g`, `lon_max_g`; la transition se fait par des fonctions `tanh` de pente `1/tau_lat`, `1/tau_lon`.

3 Grille zoomée

Si la grille du modèle est zoomée, la valeur de α varie entre $1/\tau_{min}$ (à l'extérieur du zoom) et $1/\tau_{max}$ (au centre du zoom)² : $\alpha = \frac{x}{\tau_{max}} + \frac{1-x}{\tau_{min}}$. Le coefficient x varie par une loi de puissance :

$$x = \left(\frac{A_{max} - A}{A_{max} - A_{min}} \right)^\gamma$$

Avec A l'aire d'une maille. L'exposant γ dépend de l'importance du zoom :

$$\gamma = -\ln(2) / \ln \left(\frac{A_{max} - 2A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \right)$$

Le paramètre optionnel `gamma4` donne une limite supérieure de 4 à γ . La transition est donc moins raide et se fait plus à l'extérieur du zoom.

2.2 Forçage fixe

Pour un forçage fixe (`guide_add=.true.`), α est constant et égal à $1/\tau_{min}$, sauf dans le cas d'un guidage régional. Avec $\tau_{min}=1$ jour, On ajoute exactement le champ de guidage. Pour $\tau_{min}=2$ jours, on ajoute la moitié etc.

²Pour obtenir un temps de rappel constant malgré une grille zoomée, utiliser `guide_reg=.true.`

2.3 Couche limite

La valeur de α est par défaut constante sur la verticale. Si on ne veut pas guider dans la couche limite (pour laisser le modèle déterminer sa structure et les flux de surface), on peut désactiver le paramètre `guide_BL`. On a alors une modulation verticale de α , qui devient faible dans la couche limite ($\sigma < 0.85$) :

$$\alpha = \alpha * \left(1 - \tanh \left(\frac{\sigma - 0.85}{0.05} \right) \right) / 2$$

3 Fonctionnement

3.1 Appel

La routine `GUIDE_MAIN` est appelée depuis `LEAPFROG` avec la période du pas Matsuno : `iperiod` (5 pas de temps de la dynamique en standard). Le pas de temps est donc $dt = dtvr \cdot iperiod$, mais c'est le compteur de pas de temps de la dynamique `itau` qui est utilisé à l'intérieur du guide. Au premier appel, on appelle la routine `GUIDE_INIT` qui initialise les variables et alloue la mémoire. On calcule aussi les coefficients α et, si `ini_anal=.true.`, on initialise les champs du GCM à ceux de guidage.

3.2 Lecture du guidage

La lecture des fichiers de guidage se fait dans `GUIDE_READ` ou `GUIDE_READ2D` à une fréquence donnée par `iguide_read`. Si `iguide_read=n>0`, la lecture se fait n fois par jour, le premier état étant lu au premier appel de `GUIDE_MAIN`. Si `iguide_read=n<0`, la lecture est tous les n jours. Si `iguide_read=0`, la lecture se fait une seule fois.

Le nouvel état est stocké dans les variables `unat2`, `tnat2`, etc, l'ancien dans `unat1`, `tnat1`, etc. Ces variables sont sur la grille originale des fichiers de guidage (mêmes niveaux verticaux) et gardent les mêmes unités. Si le fichier de guidage est en 2 dimensions (`lat-P`, `guide_2D=.true.`), les variables sont étendues à l'identique en longitude.

3.3 Conversion du guidage

A un intervalle de temps donné par `iguide_int`, les variables de guidage sont interpolées dans `GUIDE_INTERP` sur les niveaux de pression du `gcm`, et converties dans les mêmes unités. Les nouvelles variables sont `ugui1`, `ugui2`, `tgui1`, `tgui2`, etc.

1 Interpolation

La pression au milieu des couches est recalculée en chaque point du modèle. Pour les variables de guidage, la pression à chaque niveau est soit donnée par les niveaux fixes, soit calculée à partir de `ps`, `ap` et `bp` si `guide_modele=.true.`. L'interpolation verticale est faite ensuite dans `PRES2LEV`.

Le paramètre `guide_invertp` indique si il est nécessaire d'inverser l'ordre des niveaux verticaux (premier niveau au sommet ou à la surface). Au premier appel, les niveaux de pression du guidage et du modèle sont envoyés vers le fichier de sortie pour vérification de la valeur de `guide_invertp`.

Les fichiers de guidage étant déjà sur la grille horizontale du modèle, il n'y a pas besoin de faire d'interpolation horizontale en ligne. Par contre, il peut être nécessaire d'inverser l'ordre des points en latitude (`guide_inverty`) si le premier point en latitude est au pôle sud.

Pour vérifier le besoin d'inverser ou pas sur la verticale et l'horizontale, les champs de `u` et `T` du modèle et du guidage (non interpolé) sont sauvegardés au premier pas de temps dans des fichiers `ucov.nc`, `teta.nc`, `unat.nc`, et `tnat.nc`.

2 Conversion

Les variables de guidage sont ensuite converties dans les unités du modèle :

Vent zonal Multiplication par la résolution en longitude `cu` pour convertir en `ucov`.

Vent méridien Multiplication par la résolution en latitude `cv` pour convertir en `vcov`

Température Multiplication par $(P/P_{ref})^{\kappa}$ pour convertir en température potentielle θ , sauf si `guide_teta=.t`

Humidité Si `guide_hr=.true.` : on suppose que la variable de guidage `qnat` est une humidité relative (en %). On calcule l'humidité spécifique saturante `qsat` à partir de la température et pression du modèle. Le forçage en vapeur d'eau est alors $qgui = qnat \cdot 0.01 \cdot qsat$.

3.4 Ajout du forçage

A un instant t entre deux lectures du fichier de guidage aux temps t_1, t_2 , le guidage est calculé à partir d'une moyenne de ces deux états :

$$u_g = \frac{ugui_1(t_2 - t) + ugui_2(t - t_1)}{t_2 - t_1}$$

On calcule ensuite pour chaque variable guidée un champ $fadd$ à ajouter aux variables du modèle.

Pour u par exemple :

- Par défaut $fadd = \alpha \cdot (u_g - ucov)$.
- Si `guide_add=.true.`, $fadd = \alpha \cdot u_g$
- Si `guide_zon=.true.`, $fadd$ est remplacé par sa moyenne en longitude entre `lom_min_g` et `lon_max_g` : $fadd = \alpha \cdot ([u_g] - [u])$.

Si la pression au sol est modifiée, la valeur de la masse d'air de chaque couche (*masse*) est recalculée.

3.5 Sauvegarde du forçage

Si `guide_sav=.true.`, la valeur instantanée de $fadd$ est sauvegardée à une fréquence donnée par `iguide_sav`. Le champ $fadd \cdot 86400/dt$ est envoyé à `GUIDE_OUT`. Le champ sauvegardé est donc de dimension du/dt avec dt en jour^{-1} . Il peut être réutilisé directement comme forçage avec `guide_add=.true.` et $\tau = 1$.

4 Fichiers de guidage

4.1 Temps et Variables

On utilise un fichier par variable guidée. Les noms de fichiers et de variables sont données dans le tableau 1. Les différents états de guidage sont dans le même fichier. Le premier état correspond à l'instant initial de la simulation, on doit donc avoir par exemple pour une simulation de 30 jours à un état par jour 31 états en tout par fichier.

Variable	Nom Fichier	Nom variable	Unité	Dimensions
Vent zonal	u.nc	UWND	m.s ⁻¹	rlonu,rlatu
Vent méridien	v.nc	VWND	m.s ⁻¹	rlonv,rlatv
Température	T.nc	AIR	°K	rlonv,rlatu
Humidité	hur.nc	RH	% ou kg/kg	rlonv,rlatu
Pression surface	ps.nc	SP	Pa	rlonv,rlatu
Niveaux pression	apbp.nc	AP, BP	Pa (AP)	

TAB. 1 – Fichiers de guidage

4.2 Grille horizontale

Les fichiers de guidage doivent être sur la même grille horizontale que le modèle. Cette grille est différente pour les variables u , v , et scalaires. Pour l'interpolation horizontale, les grilles se trouvent soit dans un fichier `start.nc`, soit dans `grilles_gcm.nc`.

Exemple de script *Ferret* pour l'interpolation :

```

use "grilles_gcm.nc"
use "$fileu"
use "$filev"
use "$filet"

let uwnd=$varu
let vwnd=$varv
let air=$vart

define grid/like=uwnd[d=2]/x=grille_u[d=1]/y=grille_u[d=1] grille_u
define grid/like=vwnd[d=3]/x=grille_v[d=1]/y=grille_v[d=1] grille_v
define grid/like=air[d=4]/x=grille_v[d=1]/y=grille_u[d=1] grille_T

save/clobber/file=T.nc air[d=4,g=grille_T,i=1:iip1,j=1:jjp1,$t0]
repeat/$t1tn save/file="T.nc"/append air[d=4,g=grille_T,i=1:iip1,j=1:jjp1]

```

```

save/clobber/file=v.nc vwnd[d=3,g=grille_v,i=1:$iip1,j=1:$jjm,$t0]
repeat/$t1tn save/file="v.nc"/append vwnd[d=3,g=grille_v,i=1:iip1,j=1:jjm]

save/clobber/file=u.nc uwnd[d=2,g=grille_u,i=1:iip1,j=1:jjp1,$t0]
repeat/$t1tn save/file="u.nc"/append uwnd[d=2,g=grille_u,i=1:iip1,j=1:jjp1]

```

On peut remplacer (grilles_gcm.nc, grille_u, grille_v) par (start.nc, vitu, vitv). Des scripts unix sont disponibles pour créer des fichiers de guidage à partir de réanalyses ou de sorties de LMDZ.

4.3 Niveaux de pression

Les fichiers de guidage peuvent avoir un nombre de niveaux verticaux quelconque, mais identiques d'un fichier à l'autre. Il y a ensuite deux options :

Niveaux de pression constante Dans ce cas, on lit la pression dans un des fichiers de guidage, le nom de la variable étant LEVEL (ncep=.true.) ou PRESSURE (ncep=.false.). L'unité est l'hPa.

Niveaux variables Si guide_modele=.true., la pression en chaque point à chaque niveau est calculée à partir de la pression à la surface donnée dans ps.nc et de coefficients *ap* et *bp* :

$$p = ap + bp * ps.$$

Ces coefficients sont lus dans le fichier apbp.nc³

5 Résumé des paramètres

³Dans le modèle, *ap* et *bp* sont définis aux intercouches. Pour créer apbp.nc, on peut simplement faire une moyenne de *ap*, *bp* entre deux niveaux. Ces variables se trouvent par exemple dans start.nc.

TAB. 2 – Constantes et Paramètres du guidage

Nom	Type	Description	Défaut
guide add	logic	forçage fixe	.FALSE.
guide zon	logic	guidage en moyenne zonale	.FALSE.
guide sav	logic	sauvegarde du forçage	.FALSE.
ini anal	logic	état initial=guidage	.FALSE.
<i>Variables guidées</i>			
guide u	logic	guidage de u	.TRUE.
guide v	logic	guidage de v	.TRUE.
guide T	logic	guidage de T	.TRUE.
guide Q	logic	guidage de Q	.TRUE.
guide P	logic	guidage de P surf	.TRUE.
guide hr	logic	guidage de Q par H.R.	.TRUE.
guide teta	logic	guidage de T par Teta	.FALSE.
<i>Fichiers de guidage</i>			
guide modele	logic	niveaux P variables	.FALSE.
guide invertp	logic	inversion niveaux verticaux	.TRUE.
guide inverty	logic	inversion Nord-Sud	.TRUE.
guide 2D	logic	fichier guidage 2D	.FALSE.
<i>Constantes de rappel (en jours)</i>			
tau min u	real	Cste min pour u	0.02
tau max u	real	Cste max pour u	10.
<i>idem pour tau min v, T, Q, P</i>			
gamma4	logic	Zone sans rappel élargie	.FALSE.
guide BL	logic	Guidage dans couche limite	.TRUE.

Nom	Type	Description	Défaut
<i>Guidage régional (unités en °)</i>			
guide reg	logic	guidage régional	.FALSE.
lat min g	real	Latitude mini guidage	-90.
lat max g	real	Latitude maxi guidage	90.
lon min g	real	Longitude mini guidage	-180.
lon max g	real	Longitude maxi guidage	180.
tau lat	real	raideur lat guide reg	5.
tau lon	real	raideur lon guide reg	5.
<i>Fréquence des opérations (en jour⁻¹ si < 0, jour si > 0)</i>			
iguide read	int	Fréquence de lecture guidage	4
iguide int	int	Fréquence de conversion guidage	4
iguide sav	int	Fréquence de sauvegarde forçage	4