

Impact de la résolution spatiale sur les résultats du modèle forcé et couplé

26 novembre 2008

Une série de simulation a été réalisée afin d'explorer systématiquement, et avec une version unique du modèle, la sensibilité à la résolution horizontale et à la répartition entre résolution latitudinale et résolution longitudinale. Les simulations ont été réalisées par Marie-Alice Foujols et accompagnées de simulations avec une version beaucoup plus grossière, le MGV, effectuées par Luc Gential.

L'augmentation de la résolution se traduit par une diminution du biais froid des moyennes latitudes et une augmentation de la température moyenne. On essaie d'analyser cette augmentation de la température ici.

Il faut savoir que par ailleurs, l'accroissement de la résolution conduit à une détérioration du cycle saisonnier des températures océaniques à l'équateur, au renforcement de l'amplitude d'ENSO du fait d'une amélioration d'une rétroaction dynamique mais dont la faiblesse compensait auparavant la faiblesse d'une rétroaction physique (Eric Guillard).

1 Choix des résolutions horizontales

Traditionnellement, le modèle LMDZ est utilisé en configuration non zoomée avec environ 30% de points en plus en longitudes qu'en latitude, la grille étant alors isotrope vers 45° de latitude. D'autre part, les petites échelles longitudinales sont filtrées près des pôles pour éviter d'avoir à utiliser des pas de temps trop petits. L'échelle spatiale minimum résolue dans la direction longitudinale est donc obtenue à la latitude où on commence à filtrer (en pratique 60°). C'est ce pas d'espace qui détermine le pas de temps du modèle (au travers d'un critère CFL). Si on augmente la résolution latitudinale jusqu'à utiliser autant de point en latitude qu'en longitude (ce qui amène à des mailles deux fois plus allongées en longitude qu'en latitude à l'équateur), la résolution est alors isotrope à 60° . On n'a donc pas à modifier le pas de temps. En revanche, si on augmentait encore davantage la résolution en latitude, il faudrait réduire le pas de temps à nouveau.

Or il semblait intéressant d'essayer de réduire spécifiquement le pas d'espace en latitude, pour améliorer le couplage avec les courants océaniques dans les régions tropicales. De façon plus générale, on espérait réduire le biais froid très important du modèle couplé à 40°S et 40°N . On a donc décliné un certain nombre de simulations couplées en explorant à la fois des résolutions classiques, avec 30% de points en plus en longitude, et des résolutions avec autant de point dans les deux directions.

2 Impact sur les températures de surface du modèle couplé

Les résultats obtenus montrent effectivement une forte diminution du contraste latitudinal des températures de surface entre l'équateur et 40° de latitude de part et d'autre de l'équateur quand on augmente la résolution en général, et plus particulièrement en latitude (cf. Fig. 1). Pour un nombre de points en longitude fixé, le fait de prendre le même nombre de points en latitude, permet donc d'améliorer de façon très significative la climatologie du modèle,

X : 1.5 to 181.5
Z (model_levels) : 5
TIME : 30-DEC 05:00 to 30-DEC 05:00 NOLEAP

FERRET Ver. 6.09
NOAA/PMEL TRAC
Sep 9 2008 17:16:30

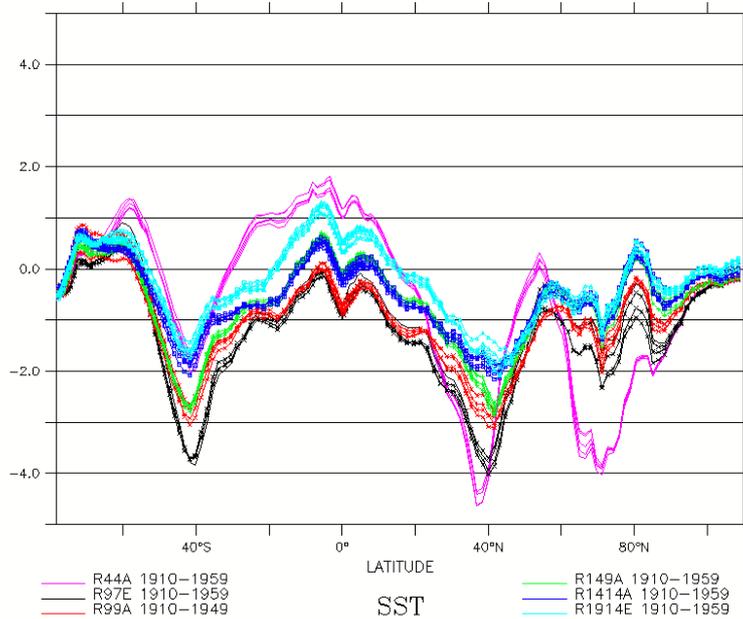


FIG. 1 – Moyenne zonale de la différence entre les SSTs simulées et observées (Levitus) pour des simulations réalisées avec le modèles couplé IPSLCM dans une version proche de celle utilisée pour les simulation GIEC AR4. Seule la résolution horizontale atmosphérique (et parfois les constantes de dissipation horizontale) change. La résolution verticale atmosphérique (19 niveaux) et de l’océan (2°) sont celles des simulations AR4. Simulations de 100 ans avec des nombres de points longitude x latitude de
R97 (AR4) : 96x71, (noir)
R99 : 96x95, (rouge)
R149 : 144x96, (vert)
R1414 : 144x142, (bleu foncé)
R1914 : 192x142 (bleu clair)
MGV, 44x43, (rose)

sans diminuer le pas de temps, donc en n’augmentant que de 30% le coup du modèle. Ces changements semblent être consécutifs à une modification du transport en latitude par les ondes transitoires, et à un déplacement subséquent des jets des moyennes latitudes vers les pôles. Ces modifications ont également un impact très important sur la température moyenne à la surface du globe, avec 2 K d’écart entre la version de référence (96x71x19) et la version la plus fine testée (192x96x19) (cf. Fig. 2 et sur la circulation méridienne dans l’océan (voir les diagnostics sur http://www.lmd.jussieu.fr/~lmdz/TEST_RESOL_IPSLCM). La version 140x140x19 présente un bon compromis et devrait être retenue pour une bonne partie des simulations du GIEC.

3 Analyse des résultats

On s’intéresse ci-dessous à deux résolutions plus particulièrement pour essayer de comprendre ces différences : la résolution 144x142 et la résolution 96x71 (celle du rapport AR4 du GIEC).

On montre sur la Fig. 3 l’impact du changement de résolution sur le vent zonal à gauche et la température à droite. L’effet principal sur le vent est un déplacement vers les pôles avec une accélération au delà de 40° de latitude et une décélération dans les tropiques. L’impact est très similaire en mode forcé et couplé. L’impact sur la température est déjà très fort en forcé,

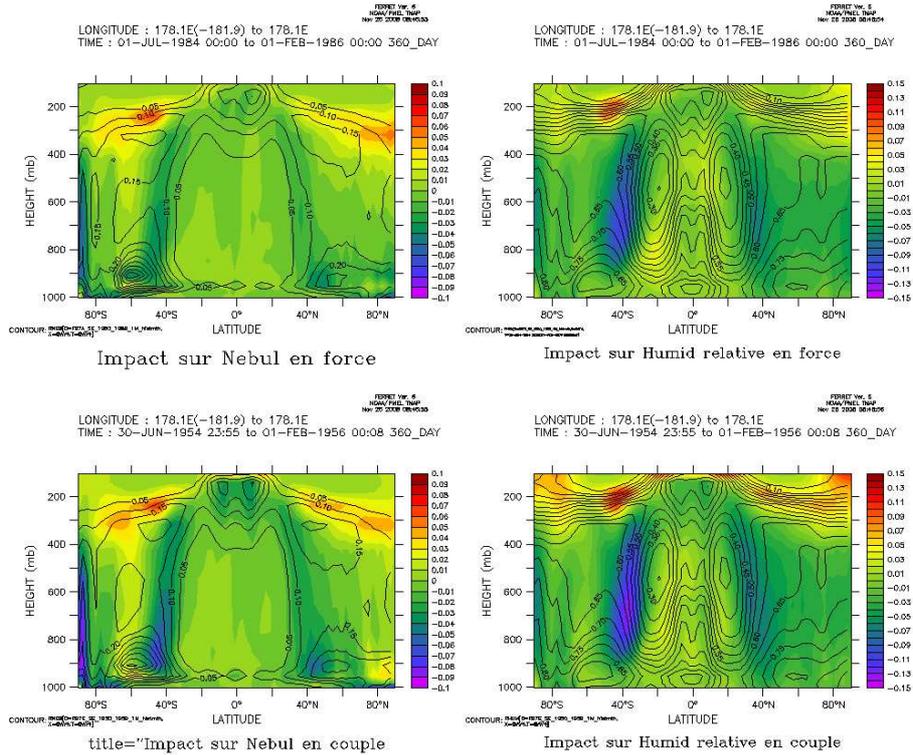


FIG. 4 – Impact du changement de résolution sur la nébulosité (à gauche) et l’humidité relative (à droite), différence entre les résultats des simulations 144x142x19 et 96x71x19, pour le modèle forcé (en haut) et couplé (en bas).

avec presque partout des températures plus élevées avec la résolution la plus fine, et un effet particulièrement marqué dans les moyennes latitudes.

L’effet principal sur la nébulosité et l’humidité relative (Fig. 4) s’explique aussi par le déplacement du rail des dépression vers les pôles, et l’extension de la zone de subsidence sèche plus au-delà des tropiques. On voit aussi une humidification vers la tropopause dans les hautes latitudes, ce qui refroidit ces régions (Fig. 3 à gauche) renforçant ainsi un biais important du modèle.

Si on regarde les flux nets au sommet, on voit un ”chauffage” additionnel (flux net moyen vers le bas) dans les moyennes latitudes, entre 30 et 60° de latitude, de 5-10 W/m². Ce chauffage est dû pour l’essentiel au nuages (il est même un peu plus fort en forçage radiatif qu’en flux net dans les moyennes latitudes ce qui s’explique sans doute par le fait que l’effet de serre des nuages hauts additionnels est compensés en partie par une atmosphère plus froide). Si on regarde la décomposition SW/LW, on voit que dans le SW (Fig. 6), le déplacement des rails dépressionnaires entraîne une couverture moindre de nuages vers 40° et donc un réchauffement. Les SW s’explique évidemment essentiellement par le changement du forçage radiatif des nuages en forcé. En mode couplé (Fig. 6), on voit en revanche que l’effet très fort sur le SW sur les banquises au nord comme au sud est associé à un forçage inverse des nuages, ce qui montre que c’est l’albédo de surface qui a changé.

C’est le LW qui explique le réchauffement vers 40-50°, très probablement à cause de l’augmentation de l’humidité et des nuages à la tropopause.

4 Paramétrisation pour le MGV

On a testé dans le MGV le fait d’ajouter une paramétrisation du transport de moment cinétique par les ondes séné venir ajouter ce qui manque du fait de la résolution trop grossière

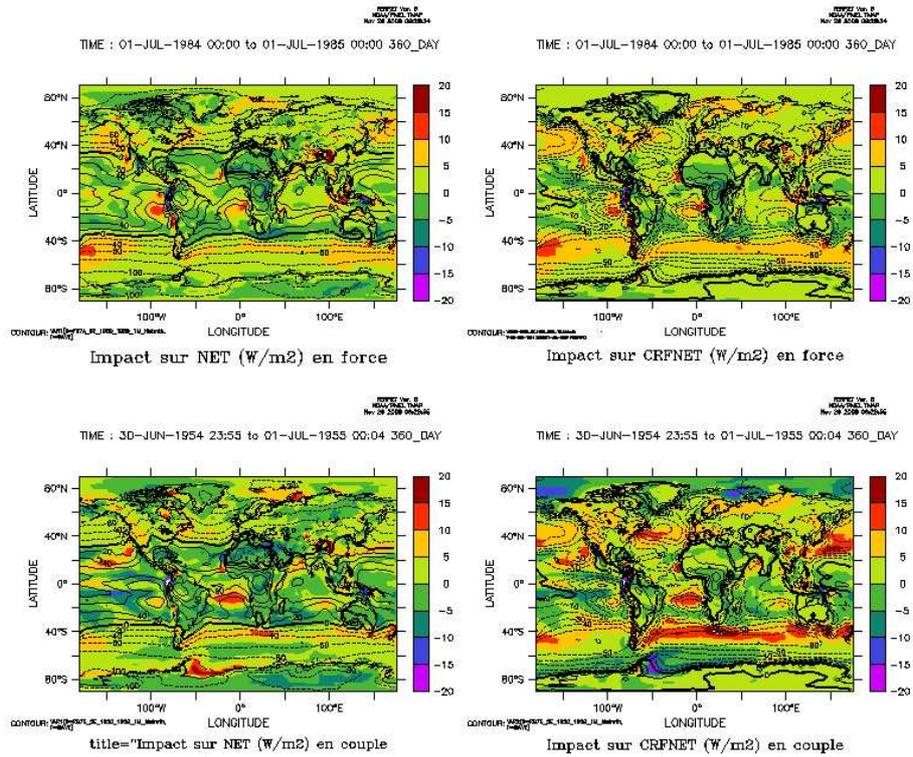


FIG. 5 – Impact du changement de résolution sur le flux net au sommet (W/m², à gauche) et le forçage radiatif net au sommet (W/m², à droite), différence entre les résultats des simulations 144x142x19 et 96x71x19, pour le modèle forcé (en haut) et couplé (en bas).

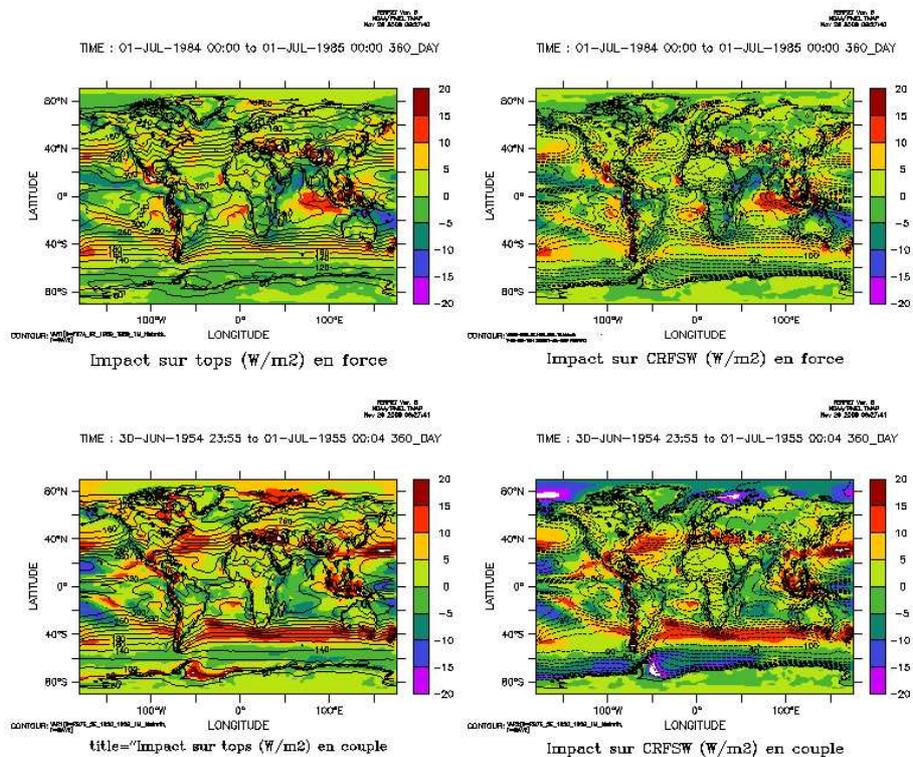


FIG. 6 – Impact du changement de résolution sur le flux SW au sommet (W/m², à gauche) et le forçage radiatif SW au sommet (W/m², à droite), différence entre les résultats des simulations 144x142x19 et 96x71x19, pour le modèle forcé (en haut) et couplé (en bas).

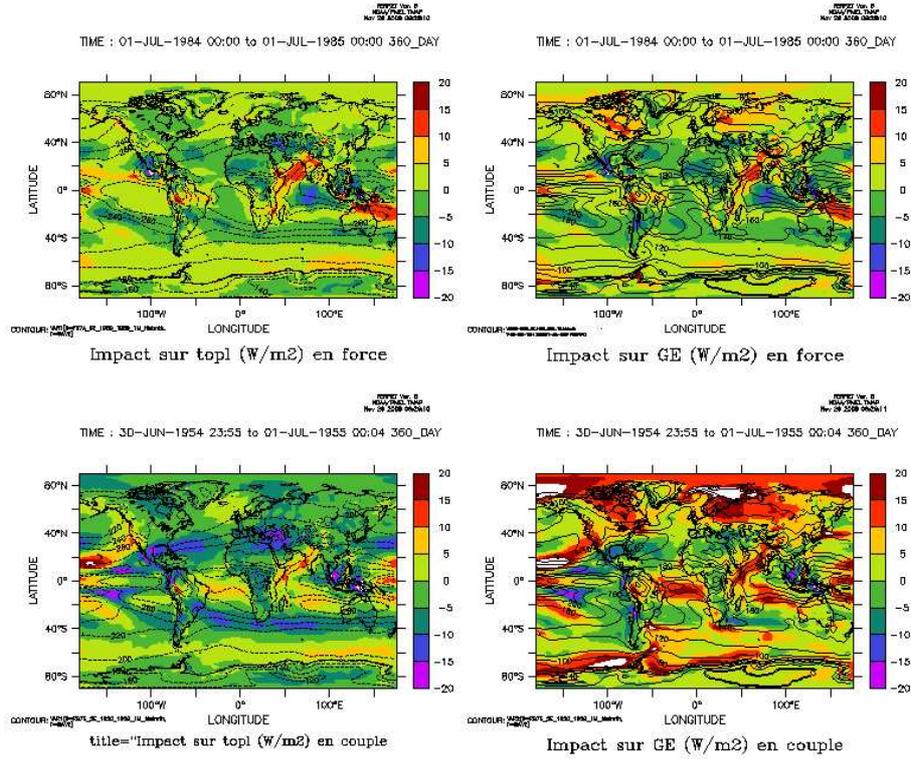


FIG. 7 – Impact du changement de résolution sur le flux LW au sommet (-OLR, W/m², à gauche) et l'effet de serre (σT_s^4 -OLR, W/m², à droite), différence entre les résultats des simulations 144x142x19 et 96x71x19, pour le modèle forcé (en haut) et couplé (en bas).

du MGV. On se base pour ça sur une idée de longueur de mélange sur le moment cinétique $\mu = a \cos \phi (u + a\Omega \cos \phi)$ où a est le rayon planétaire et ϕ la latitude, c'est à dire qu'on ajoute un transport de la forme

$$\overline{v'u'} = -VL \frac{\partial \bar{\mu}}{a \partial \phi} \quad (1)$$

soit finalement un terme

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial \mu}{\partial t} = \frac{1}{a^2 \cos^2 \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \cos \phi VL \frac{\partial \bar{\mu}}{a \partial \phi} \quad (2)$$

où $\bar{\mu}$ est la moyenne du moment cinétique en latitude. Le coefficient de mélange VL est pris égal à une constante fois $\sqrt{\bar{u}^2}$. REFAIRE LES FIGURES MONTRANT COMMENT ON ARRIVE A REPRESENTER $\overline{v'u'}$ avec un terme comme ça.

Cette paramétrisation est en cours de tests par Luc Gential. On montre les l'impact sur le vent zonal, la température (Fig. 8), la nébulosité et l'humidité relative (Fig. 9) en forcé et en couplé. On voit en forcé un effet relativement similaire à ce qu'on avait obtenu en accroissant la résolution de 96x71 à 144x142. L'effet est nul en couplé mais ce ne sont pas les bonnes simulations pour le moment. A COMPLETER DONC.

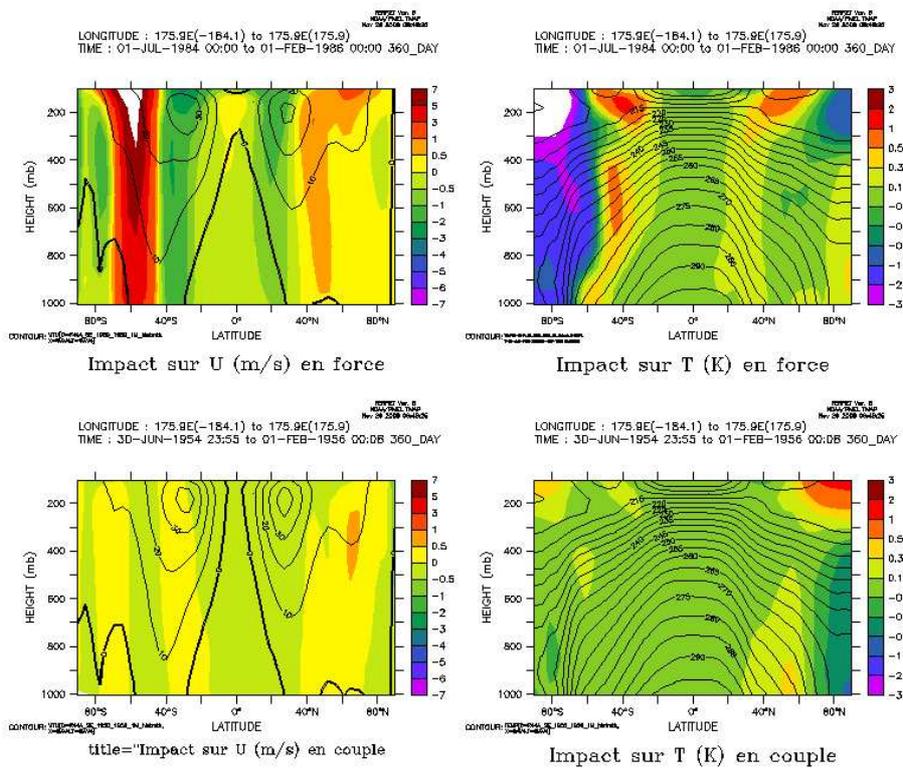


FIG. 8 – Impact sur les résultats du MGV de l'utilisation d'une paramétrisation ad hoc du transport latitudinal par les ondes le vent zonal (U, m/s à gauche) et la température (T, K, à droite), différence entre les résultats des simulations avec et sans la paramétrisation, pour le modèle forcé (en haut) et couplé (en bas).

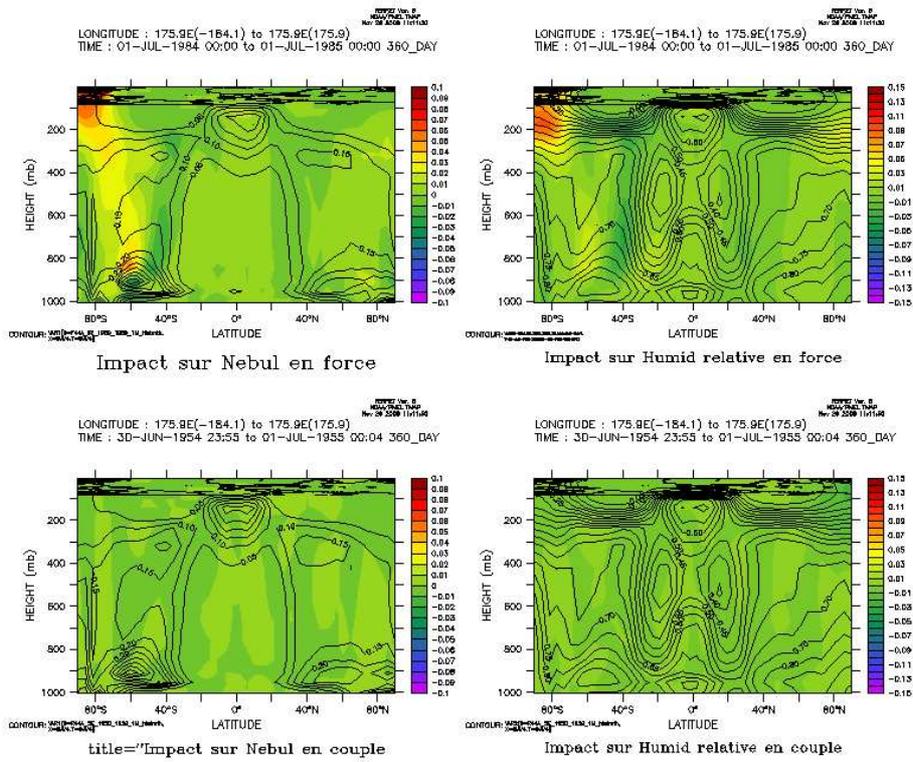


FIG. 9 – Impact sur les résultats du MGV de l'utilisation d'une paramétrisation ad hoc du transport latitudinal par les ondes la nébulosité (à gauche) et l'humidité relative (à droite), différence entre les résultats des simulations avec et sans la paramétrisation, pour le modèle forcé (en haut) et couplé (en bas).