

Mini projet : interaction convection – poches froides – nuages

Cours M2 de modélisation numérique

Février 2021

Les processus convectifs, c'est-à-dire les processus associés à des courants verticaux liés à des effets de flottabilité, jouent un rôle important dans la distribution de la chaleur et de l'humidité dans l'atmosphère. Ils prennent diverses formes, depuis les cumulus de la convection peu profonde, jusqu'aux cumulo-nimbus de la convection profonde, en passant par les cumulus congestus de la convection moyenne. Ces courants verticaux sont associés à des phénomènes de plus grande extension horizontale : les enclumes, qui se développent autour des sommets des cumulo-nimbus, et les courants de densité induits par l'évaporation des pluies et qui s'étalent à la surface.

C'est tout l'ensemble de ces processus qu'il s'agit de considérer dans ce mini-projet. Plus particulièrement on s'intéresse aux interactions entre les diverses composantes et aux effets qu'ont ces processus sur l'eau atmosphérique dans ses diverses phases (vapeur, liquide, glace ; eau nuageuse et précipitations).

Dans le modèle LMDZ l'ensemble de ces processus est représenté par trois paramétrisations :

- **Convection profonde** : schéma d'Emanuel avec quelques modifications concernant le déclenchement et la fermeture. Le déclenchement est commandé par l'énergie de soulèvement, ou ALE (Available Lifting Energy, en J/kg) fournie par les processus sous-nuageux : il y a déclenchement si cette énergie permet de vaincre l'inhibition convective, c'est-à-dire si $ALE + C_{in} > 0$. L'intensité est commandée par la puissance de soulèvement, ou ALP (Available Lifting Power, en W/m²) fournie par les processus sous-nuageux. Le schéma calcule séparément les tendances dues aux courants saturés et celles dues aux courants insaturés ; les descentes insaturées tombent dans les poches froides ; le différentiel de chauffage qui en résulte alimente les poches froides.
- **Convection peu profonde** : modèle du thermique ; ce modèle simule les thermiques de couche limite et calcule la ALE et la ALP associées.
- **Poches froides** : modèle du wake ; ce schéma représente l'évolution d'une population de poches froides (ou courants de densité ou wakes) induite par l'évaporation des pluies convectives ; il calcule la ALE et la ALP associées.

Les interactions entre les trois paramétrisations se font, d'une part, via les variables ALE et ALP et, d'autre part, par les modifications des environnements : les poches divisent l'espace en deux zones, l'intérieure des poches (ou région (w)) et l'extérieure des poches (ou région (x)). La région (w) constitue l'environnement des descentes précipitantes de la convection profonde et la région (x) constitue l'environnement des thermiques et des courants saturés de la convection profonde. Comme l'extérieure des poches est beaucoup instable que l'intérieure (très stratifié), cela permet à la convection profonde et aux thermiques de se développer même dans un environnement moyen stable.

L'ensemble de ces paramétrisations agit sur l'humidité atmosphérique par :

- transport vertical : le schéma de convection profonde ainsi que le schéma du thermique entraînent l'air de l'environnement (c'est-à-dire de la zone (x)) en bas de la couche limite et tout le long de la colonne au-dessus de la couche limite ; ils entraînent l'air de la colonne tout le long de la colonne convective avec un maximum de entraînement dans le haut de la colonne. Dans le cas des thermiques ces effets sont principalement situés dans la zone 900-700 hPa.
- précipitations : ce sont des puits pour l'eau troposphérique (puisque l'eau est précipitée au sol). Elles s'évaporent pendant leur chute, ce qui humidifie la troposphère.

- modification des flux de surface : la paramétrisation des thermiques et celle des poches froides induisent des rafales qui modifient les flux de surface (évaporation et flux sensible).

Pour analyser les mécanismes en jeux la méthode consiste à modifier le modèle et à étudier la sensibilité des simulations à ces modifications. On dispose pour cela de plusieurs outils :

- supprimer le splitting des thermiques, c'est-à-dire faire que les thermiques se développent dans les profils moyens de la maille ; cela se fait en mettant

$$\text{iflag_pbl_split}=0.$$
- supprimer l'effet des rafales induites par les poches froides et par les thermiques ; cela se fait en mettant

$$\text{iflag_gusts} = 0.$$
- modifier l'évaporation des pluies de la convection profonde ; cela se fait en modifiant la section des descentes précipitantes

$$\text{sigdz} = 0.001 \text{ à } 0.1$$
- modifier l'évaporation à la surface ; cela se fait en modifiant le coefficient de frottement a la surface

$$\text{f_cdrag_oce} = 0.2 \text{ à } 0.7.$$

Pour analyser les effets vous pouvez examiner diverses variables :

- les variables caractérisant les thermiques (f_{th} = profil vertical du flux de masse, z_{max_th} = hauteur des thermiques, dt_{the} et dq_{the} = tendances dues aux thermiques, Ale_{bl} et Alb_{bl} = Ale et Alp dues aux thermiques).
- les variables caractérisant la convection profonde (dt_{con} et dq_{con} = tendances dues à la convection profonde ; f_{base} = flux de masse à la base ; $pluc$ = précipitations convectives).
- les variables caractérisant les poches froides ($wake_deltat$ et $wake_deltaq$ = profils des écarts de température et d'humidité entre la zone (w) et la zone (x), ALE_wk et ALP_wk , $wake_h$ = épaisseur des poches).
- les profils verticaux d'humidité spécifique et d'humidité relative
- les flux de surface : $sens$ = flux de chaleur sensible, $evap$ = flux d'évaporation.
- et d'autres variables qui vous apparaitront intéressantes au long du travail.

Pour commencer : simulation 1D, cas TWPIce ; comparer l'intensité des thermiques entre simulation avec et sans splitting des thermiques. Puis, simulation 3D globale avec le même changement et en distinguant ocean et continent. Outre l'intensité des thermiques on analysera aussi les flux de surface.

2e exercice : même chose que précédemment avec et sans effet des rafales.

La suite sera élaborée en fonction de ce qui vous semblera pertinent et intéressant.