

Rapport d'activité pour le projet

Camille Risi
Camille.Risi@lmd.ipsl.fr

January 23, 2024

Contents

1	Information générale	1
2	Résultats scientifiques	1
2.1	Distribution isotopique lors de cyclones tropicaux et de lignes de grain	1
2.2	Impact de l'organisation de la convection sur l'humidité troposphérique	2
2.3	Impact du cisaillement de vent sur l'organisation en lignes de grain	2
2.4	Impact de l'organisation sur la circulation de grande échelle	2
3	Bibliographie	3
4	Conférences et posters	3

1 Information générale

Titre du projet: Comment l'organisation de la convection affecte-t-elle l'humidité troposphérique et la composition isotopique de la vapeur d'eau?

Numéro de dossier: **AD010113368**

Période d'allocation : **du 2022-02-04 au 2023-02-04**

Allocation: **100 000 heures** sur Irene Rome.

Consommation: **40 000 heures**, soit 40%. Cette consommation plus faible prévue s'explique par les retards dans la rédaction et la publication de plusieurs articles valorisant les simulations issues des allocations précédentes.

2 Résultats scientifiques

Depuis quelques années, en collaboration avec Caroline Muller, j'utilise le modèle SAM (System for Atmospheric Modeling, [Khairoutdinov and Randall, 2003]), un modèle de type CRM (résolvant explicitement la convection) pour mieux comprendre la façon dont la convection atmosphériques (i.e. les orages) s'organisent en amas plus ou moins gros (ex: lignes de grain, cyclones), et les conséquences climatiques de cette organisation. Pour simplifier le problème, je réalise toutes mes simulations en équilibre radiatif-convectif sur un océan à température de surface uniforme. Les résolutions horizontales varient entre 1 km et 4 km.

2.1 Distribution isotopique lors de cyclones tropicaux et de lignes de grain

Les observations suggèrent que la composition isotopique de la vapeur d'eau varie fortement en fonction de l'organisation de la convection. Cela a des implications pour les études de paléo-tempestologie, dans lesquelles la composition isotopique enregistrée dans les spéléothèmes est utilisée pour reconstituer l'évolution passée de la fréquences des cyclones tropicaux [Lawrence and Gedzelman, 2003, Frappier et al., 2007]. Pour mieux comprendre ce phénomène, nous avons réalisé des simulations de cyclones et de lignes de grain avec la version isotopique de SAM [Blossey et al., 2010], et étudié leur sur la composition isotopique de la vapeur d'eau. Notre étude met en évidence le rôle capital de l'évaporation de la pluie, en particulier dans les régions stratiformes des systèmes organisés (figure 1).

Cette étude **valorise des simulations réalisées lors des allocations précédentes**. L'article a été publié dans *J. Adv. Model. Earth Syst.* en 2023. Cette étude est aussi la motivation pour l'élaboration d'un projet ANR qui a été rejeté en 2023, mais re-soumis à l'automne 2023.

2.2 Impact de l'organisation de la convection sur l'humidité troposphérique

Dans les observations et les simulations de type CRM, les domaines à grande échelle où la convection est plus agrégée (regroupée dans un plus petit nombre de nuages) sont associés à une troposphère plus sèche ([Bretherton et al., 2005, Tobin et al., 2012]). Quels mécanismes expliquent cet assèchement? Pour quantifier l'importance relative de mécanismes dynamiques et microphysiques, nous avons utilisé une série de simulations SAM (cumulonimbi isolés, cyclones tropicaux, lignes de grains) et des modèles plus simples (modèle de dernière saturation, modèle analytique). Notre étude montre que l'intermittence des nuages est le facteur clé expliquant l'assèchement: lorsque les nuages sont plus intermittents, les parcelles d'air subsidentes ont plus de chances de rencontrer un nuage.

L'article, soumis à *J. Adv. Model. Earth Syst.*, est en 2e round de révision. **Nous avons utiliser une partie des ressources demandées pour relancer plusieurs simulations pour le 1er round de révisions.**

2.3 Impact du cisaillement de vent sur l'organisation en lignes de grain

Les observations montrent que le cisaillement du vent près de la surface joue un rôle clé dans l'organisation ou non de la convection en lignes de grain, et dans la propagation de ces lignes [LeMone et al., 1998]. Plusieurs études ont déjà essayé de comprendre cela en exploitant des simulations idéalisées avec des CRM. Il s'agissait de simulations en équilibre radiatif-convectif sur des domaines limités, dans lesquels un cisaillement de vent est imposé par le biais d'un profil de vent près de la surface [Robe and Emanuel, 2001, Abramian et al., 2022]. Mais la pertinence de l'équilibre radiatif-convectif est questionnée car la convection profonde organisée dans les tropiques s'observe le plus souvent dans des situations d'ascendance de grande échelle [Jakob et al., 2019]. Nous avons donc réalisé des simulations tenant compte de cette ascendance de grande échelle. Au printemps 2023, en collaboration avec Nicolas Rochetin, 3 stages (2 stagiaires de L3 et un stagiaire de M2) ont analysé ces simulations pour aboutir à un modèle conceptuel pour les conditions d'organisation des lignes de grain et leur vitesse de propagation. **Une partie des ressources demandées ont été utilisées pour réaliser des simulations en support de ces stages.**

Nous espérons publier cette étude dans les années à venir. On espère aussi que les simulations réalisées pour cette étude servira de base à l'élaboration d'une paramétrisation du rôle du cisaillement de vent sur les poches froides et la convection dans le modèle de circulation générale LMDZ [Grandpeix et al., 2010, Hourdin et al., 2020]. Ce projet fait l'objet d'un sujet de thèse qui a été déposé à la fois à l'appel CSC-SU et au concours pour les contrats doctoraux SU-ED129. Ce même sujet de thèse a aussi été demandé dans le projet ANR que j'ai soumis à l'automne 2023.

2.4 Impact de l'organisation sur la circulation de grande échelle

On s'attend à ce que la façon dont la convection s'organise impacte le bilan d'énergie des colonnes atmosphériques, en impactant la forme du profil d'ascendance de grande échelle [Anber et al., 2014, Tsai and Mapes, 2022], des flux radiatifs ou les flux de surface [Tobin et al., 2012]. Si c'est le cas, alors la convection s'organise impacte la circulation atmosphérique de grande échelle et la distribution moyenne des pluies. Pour explorer cette hypothèse, j'ai déposé à l'hiver 2022-2023 un projet ERC Consolidator. Il a été noté A mais a été rejeté après l'oral.

Une partie des ressources demandées ont été utilisées pour tester certaines hypothèses et servir de proof of concept en support à ce projet. En particulier, nous avons réalisé des simulations dans lesquelles l'ascendance de grande échelle est calculée interactivement pour maintenir un profil de température prescrit et représentant la moyenne tropicale [Sobel and Bretherton, 2000]. Cela permet de quantifier l'impact de l'organisation de la convection sur la circulation de grande échelle et la pluie moyenne dans le domaine. Trois types d'organisation ont été testés (orages isolés pop corn, lignes de grain, cyclones tropicaux, figure 2). Pour quantifier l'impact des rétroactions liées aux flux de surface, nous avons fixé ou non les flux de surface. Les premiers résultats sont très intéressants (figure 3). Ils confirment que l'ascendance de grande échelle et la pluie varient avec l'organisation de la convection, et que ces variations sont causées à la fois par les rétroactions liées au flux de surface (figure 3c) et liées à la forme du profil d'ascendance de grande échelle (figure 3d). En particuliers, les cyclones sont associés à des flux de surface plus forts et une ascendance plus concentrée dans les basses couches que la convection pop-corn.

Cette étude se poursuivra dans les années à venir, mais lentement du fait du rejet du projet ERC.

3 Bibliographie

1. Risi, C, et al (2023). What controls the mesoscale variations in water isotopic composition within tropical cyclones and squall lines? Cloud resolving model simulations.
2. Risi, C, Langot, F, Nocet-Binois, E, Muller, C (en révision). What mechanisms explain the tropospheric drying associated with convective organization? Insights from cloud-resolving, last-saturation and analytical models.

4 Conférences et posters

1. Risi et al (2023): Observed relationships between meoscale convective organization, large-scale circulation and tropospheric humidity. Poster présenté à la conférence internationale CFMIP, Paris 2023
2. Risi et al (2023): Impact of the mesoscale organization of deep convection on the tropospheric humidity and vapor isotopic composition: satellite observations, CRMs and GCMs. Présentation orale présentée au workshop international sur l'organisation de la convection, Trieste 2023.

References

- [Abramian et al., 2022] Abramian, S., Muller, C., and Risi, C. (2022). Shear-convection interactions and orientation of tropical squall lines. *Geophys. Res. Lett.*, 49(1):e2021GL095184, DOI: doi.org/10.1029/2021GL095184.
- [Anber et al., 2014] Anber, U., Wang, S., and Sobel, A. (2014). Response of atmospheric convection to vertical wind shear: Cloud-system-resolving simulations with parameterized large-scale circulation. part i: Specified radiative cooling. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71(8):2976–2993.
- [Blossey et al., 2010] Blossey, P. N., Kuang, Z., and Romps, D. M. (2010). Isotopic composition of water in the tropical tropopause layer in cloud-resolving simulations of an idealized tropical circulation. *J. Geophys. Res.*, 115:D24309, doi:10.1029/2010JD014554.
- [Bretherton et al., 2005] Bretherton, C. S., Blossey, P. N., and Khairoutdinov, M. (2005). An Energy-Balance Analysis of Deep Convective Self-Aggregation above Uniform SST. *J. Atmos. Sci.*, 62:4273–4292.
- [Frappier et al., 2007] Frappier, A. B., Sahagian, D., Carpenter, S. J., González, L. A., and Frappier, B. R. (2007). Stalagmite stable isotope record of recent tropical cyclone events. *Geology*, 35(2):111–114, <https://doi.org/10.1130/G23145A.1>.
- [Grandpeix et al., 2010] Grandpeix, J.-Y., Lafore, J.-P., and Cheruy, F. (2010). A density current parameterization coupled with Emanuel’s convection scheme Part II: 1D simulations. *J. Atm. Sci.*, 67:898–922.
- [Hourdin et al., 2020] Hourdin, F., Rio, C., Grandpeix, J.-Y., Madeleine, J.-B., Cheruy, F., Rochetin, N., Jam, A., Musat, I., Idelkadi, A., Fairhead, L., et al. (2020). Lmdz6a: The atmospheric component of the ipsl climate model with improved and better tuned physics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(7):e2019MS001892.
- [Jakob et al., 2019] Jakob, C., Singh, M., and Jungandreas, L. (2019). Radiative convective equilibrium and organized convection: An observational perspective. *J. Geophys. Res.*, 124(10):5418–5430, DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JD030092>.
- [Khairoutdinov and Randall, 2003] Khairoutdinov, M. and Randall, D. A. (2003). Cloud resolving modeling of the ARM summer 1997 IOP: Model formulation, results, uncertainties, and sensitivities. *J. Atm. Sci.*, 60(4):607–625, DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0469>.
- [Lawrence and Gedzelman, 2003] Lawrence, J. R. and Gedzelman, S. D. (2003). Tropical ice core isotopes: Do they reflect changes in storm activity? *Geophys. Res. Lett.*, 30(2):44–1, DOI: <https://doi.org/10.1029/2002GL015906>.
- [LeMone et al., 1998] LeMone, M. A., Zipser, E. J., and Trier, S. B. (1998). The role of environmental shear and thermodynamic conditions in determining the structure and evolution of mesoscale convective systems during toga coare. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 55(23):3493–3518.

- [Robe and Emanuel, 2001] Robe, F. R. and Emanuel, K. A. (2001). The effect of vertical wind shear on radiative-convective equilibrium states. *J. Atm. Sci.*, 58(11):1427–1445, DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0469>.
- [Sobel and Bretherton, 2000] Sobel, A. H. and Bretherton, C. S. (2000). Modeling tropical precipitation in a single column. *J. Climate*, 13:4378–43–92.
- [Tobin et al., 2012] Tobin, I., Bony, S., and Roca, R. (2012). Observational evidence for relationships between the degree of aggregation of deep convection, water vapor, surface fluxes and radiation. *J. Clim.*, 25(20):6885–6904 , DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00258.1>.
- [Tsai and Mapes, 2022] Tsai, W.-M. and Mapes, B. E. (2022). Evidence of aggregation dependence of 5-scale tropical convective evolution using a gross moist stability framework. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 79(5):1385–1404.

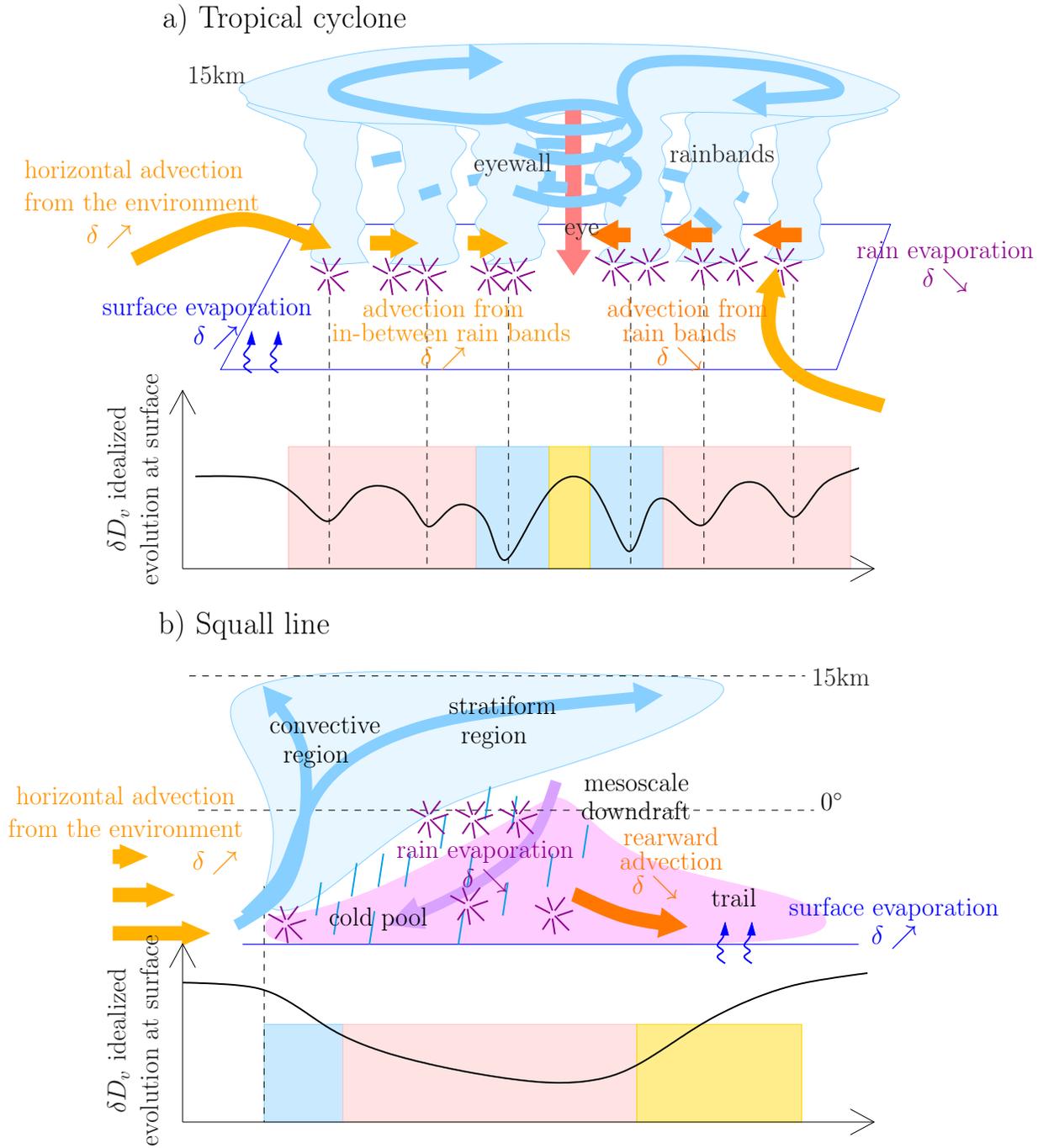


Figure 1: Schéma résumant les processus contrôlant la composition de la vapeur d'eau à l'intérieur des cyclones tropicaux (a) et des lignes de grains (b). Le facteur clé est l'évaporation de la pluie, indiquée par les étoiles violettes. L'évaporation de la pluie épuise la vapeur d'eau dans les bandes de pluie et le mur de l'œil des cyclones tropicaux et dans les régions convectives et stratiformes des lignes de grains. L'advection horizontale remodelle ensuite cette configuration. Les flèches orange foncé indiquent l'advection horizontale des régions appauvries vers les régions moins appauvries, contribuant à la propagation des anomalies appauvries vers l'intérieur dans les cyclones et vers l'arrière dans les lignes de grains. Les flèches orange clair indiquent une advection horizontale des régions moins appauvries vers les régions appauvries, limitant l'appauvrissement dans les régions les plus appauvries.

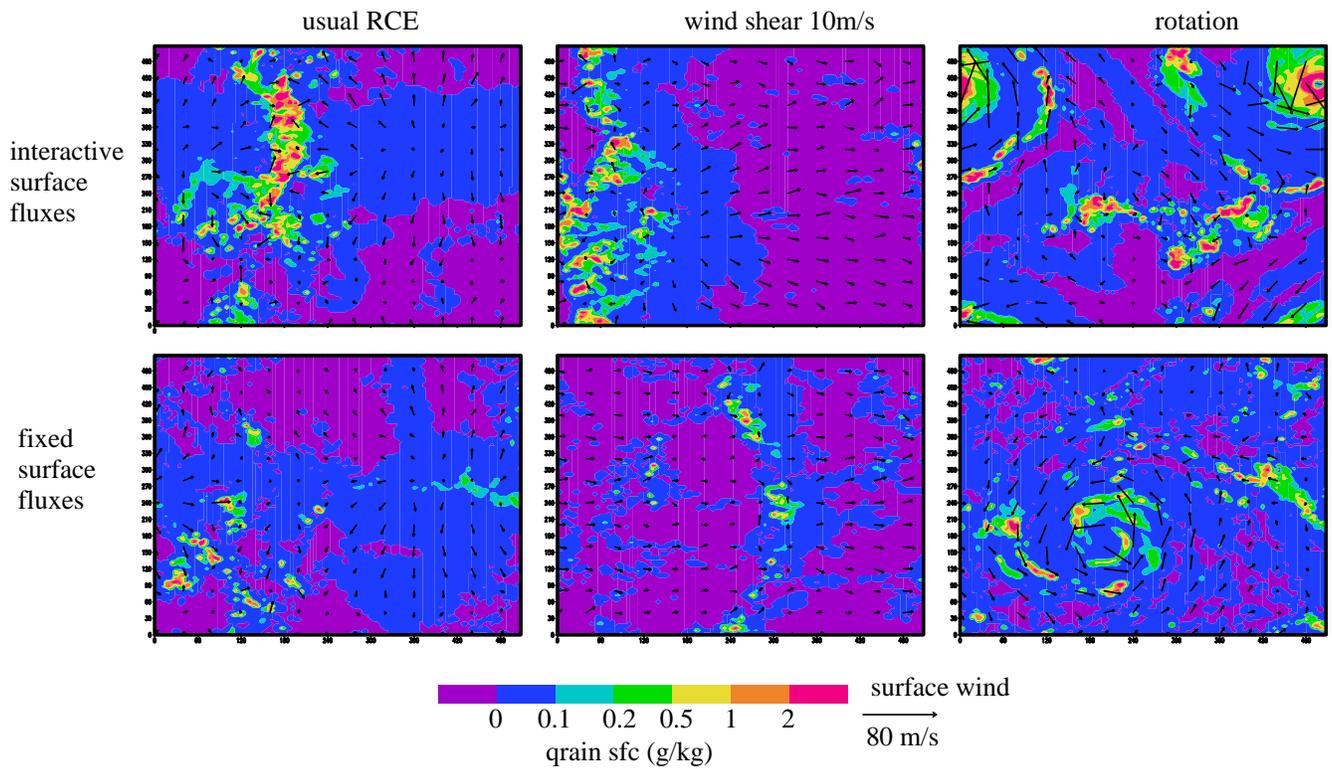


Figure 2: Distribution de la pluie en surface dans six simulations avec SAM dans lesquelles l'ascendance de grande échelle est interactive: sans rotation ni cisaillement de vent pour obtenir des orages isolés (gauche), avec cisaillement de vent pour obtenir des lignes de grain (milieu) et avec rotation pour obtenir un cyclone (droite). En haut, les flux de surface sont interactifs, et en bas, ils sont fixés.

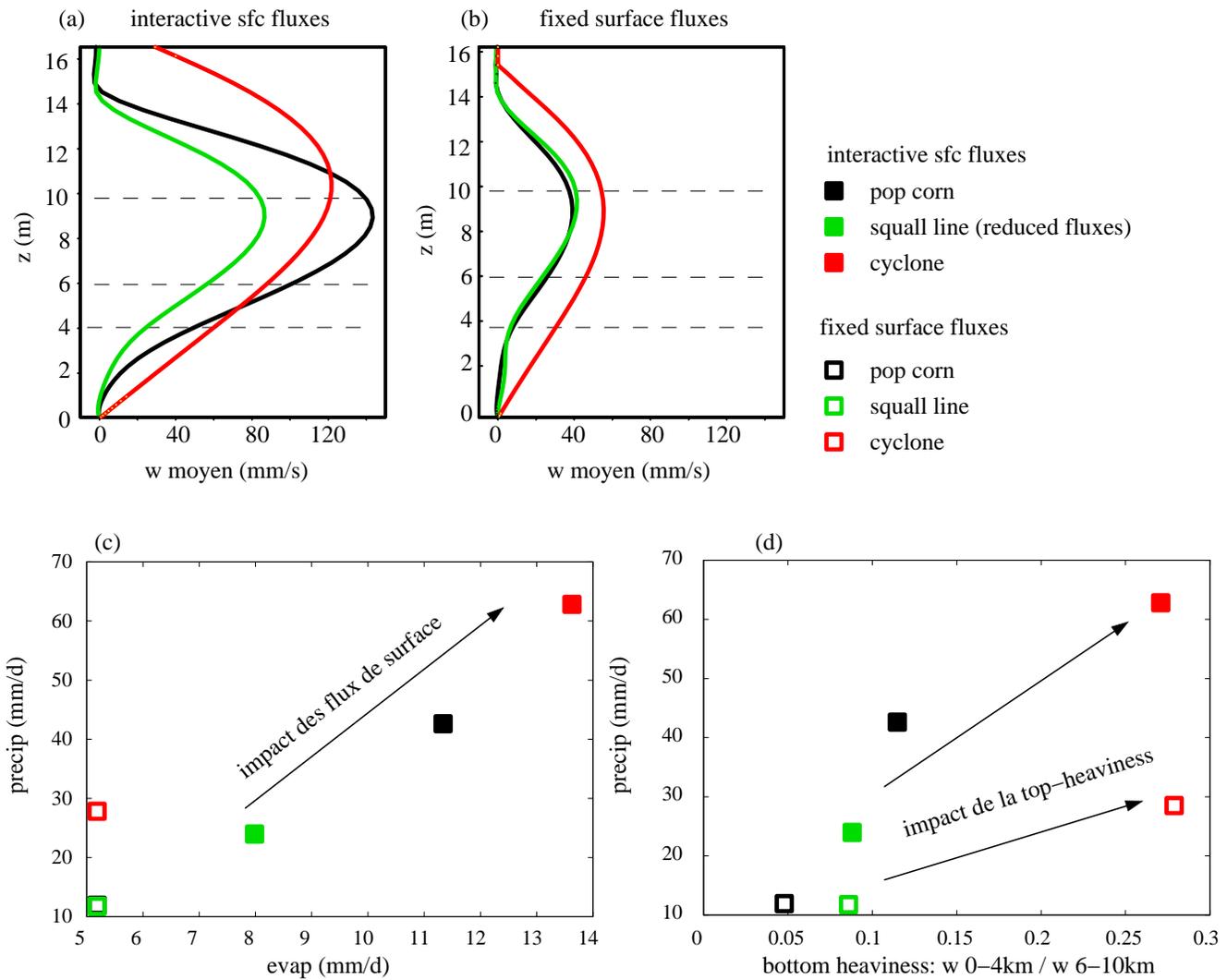


Figure 3: Résultats des simulations illustrées en figure 2: a-b: profils d'ascendance de grande échelle. (c) Taux de pluie moyen en fonction du taux d'évaporation moyen dans le domaine. (d) Taux de pluie moyen en fonction de la concentration de l'ascendance dans la basse troposphère.