

Distribution des gouttes de pluie créée par une cascade inverse contrôlée par la gravité

Florian Poydenot¹, Bruno Andreotti¹

Laboratoire de Physique de l'École normale supérieure, ENS, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université,
Université Paris Cité, F-75005 Paris, France
florian.poydenot@phys.ens.fr

La distribution de la taille des gouttes de pluie suit une forme particulièrement simple, mesurée au siècle dernier [1]. Elle est exponentielle, et le diamètre moyen des gouttes de pluie augmente avec l'intensité de la pluie. Pourtant, cette relation reste encore mal expliquée. La dépendance du diamètre moyen avec l'intensité implique un contrôle de la polydispersité des gouttes de pluie par des effets collectifs, et non par l'instabilité ou l'évolution stochastique des gouttes individuelles. Nous montrons ici, à partir des premiers principes de l'hydrodynamique, que la coalescence des gouttes par gravité contrôle la distribution de la taille des gouttes de pluie. Notre théorie adapte le concept de cascade d'énergie à travers les échelles de la turbulence à la distribution de la masse des gouttes. Nous dérivons la distribution de l'état d'équilibre atteint lorsque les gouttes nucléent à un taux constant en résolvant la condition d'un flux de masse d'eau constant à travers les échelles, et nous la comparons aux données expérimentales existantes.

Un aspect clé du modèle est la section efficace de collision des gouttes qui sédimentent : les grosses gouttes tombent plus vite que les petites et coalescent avec elles sur leur chemin. Paradoxalement, la pression de lubrification due au film d'air piégé entre les gouttes diverge rapidement comme l'inverse de la séparation, empêchant toute collision. Nous améliorons ici la description hydrodynamique des collisions en considérant à la fois l'interaction hydrodynamique à longue distance et le film de lubrification qui se forme entre les gouttes immédiatement avant la collision. Deux mécanismes différents régularisent la divergence de la pression au contact : la transition vers un régime de gaz dilué dans le film de lubrification, lorsque l'écart est comparable au libre parcours moyen de l'air, et la formation d'un écoulement à l'intérieur des gouttes par le cisaillement à leur surface. Nous calculons l'efficacité de collision, et la décomposons en la somme d'une contribution suramortie et d'une contribution inertielle, analysées séparément. Les principales caractéristiques du régime inertiel sont interprétées en utilisant des collisions frontales, dans lesquelles la lubrification crée un seuil de vitesse pour la collision. Nous montrons que la lubrification est responsable d'une diminution de l'efficacité de collision à l'échelle pour laquelle l'inertie et la dissipation visqueuse sont de magnitude comparable. La lubrification explique ainsi la stabilité relative des brouillards et des nuages ne produisant pas de précipitations, formés de gouttelettes micrométriques. Cela ouvre la possibilité d'améliorer la description de la microphysique des nuages dans les simulations atmosphériques.

Références

1. J. S. MARSHALL & W. M. K. PALMER, The distribution of raindrops with size, *J. Meteorol.*, **5**, 165—166 (1948).
2. F. POYDENOT & B. ANDREOTTI, Efficiency of gravity-induced drop collisions, *soumis au J. Fluid. Mech.* (2022).