

Rapport sur le mémoire de thèse de Sophie ABRAMIAN intitulé
« *Physical origins of the properties of mesoscale convective systems and implications for high impact events* »

Les systèmes convectifs de méso-échelle (MCS) sont des acteurs essentiels du cycle de l'eau terrestre du fait de leur contribution majoritaire à la précipitation tropicale moyenne et dominante aux pluies extrêmes. Mieux comprendre les processus physiques à l'origine de l'organisation des MCS est indispensable pour anticiper leur impact précipitant dans le climat actuel en forte évolution et détecter leur signature isotopique dans le climat passé. Dans son manuscrit, Sophie ABRAMIAN expose son intérêt sur les MCS. Cela la conduit à analyser, d'une part, des simulations idéalisées de MCS, et d'autre part, une simulation réaliste de milliers de MCS grâce à une combinaison inédite d'un algorithme de suivi des MCS et de méthodes d'apprentissage automatique.

Le manuscrit écrit principalement en anglais est composé d'un résumé étendu, d'une introduction, d'une conclusion et de quatre chapitres de résultats, chacun sous la forme d'un article dans une revue scientifique internationale à comité de lecture, trois étant publiés et un en préparation (dont trois pour lesquels Sophie ABRAMIAN est première auteur) et une section de l'introduction constitue un article de vulgarisation publié dans *Physics Today* (pour lequel Sophie ABRAMIAN est seconde auteur). Les chapitres (la conclusion exceptée) sont précédés d'un résumé en français et en anglais, ce qui facilite grandement la lecture de ce manuscrit riche et compact. Tous les chapitres sont très bien écrits et structurés, les démarches, générale et spécifiques, clairement présentées et les résultats discutés de manière approfondie et très bien valorisés. Si le choix de la forme directe et l'utilisation changeante entre pronom personnel singulier et pronom personnel pluriel peuvent dérouter ça ou là le lecteur sur l'identité de l'auteur de la thèse, il ne fait aucun doute que Sophie ABRAMIAN est l'auteur d'un manuscrit de thèse brillant et la première auteur de trois articles d'une excellente qualité scientifique.

Le *chapitre 1* présente d'abord des généralités sur la convection profonde et introduit le concept d'auto-agrégation et les processus physiques conduisant à son organisation en MCS. Il décrit ensuite la relation entre précipitations extrêmes et organisation. Le chapitre présente enfin les outils numériques et théoriques utilisés dans la thèse, à savoir modèle résolvant les nuages, intelligence artificielle et relation d'échelle de Clausius-Clapeyron pour les précipitations extrêmes. Une présentation de l'algorithme TOOCAN de suivi des MCS utilisé au chapitre 3 aurait été bienvenue tandis que celle des indices d'organisation non utilisés dans la thèse aurait pu être oubliée. Le chapitre se termine en énonçant les objectifs traités dans les chapitres de résultats de la thèse.

Le *chapitre 2* étudie l'origine de l'orientation des lignes de grain en fonction d'un cisaillement de vent uniforme horizontalement dans le premier kilomètre de l'atmosphère. L'étude a été publiée dans *Geophysical Research Letters* en janvier 2022. Elle montre clairement l'occurrence de deux régimes d'orientation de la ligne de grain en fonction de la vitesse du vent. En deçà d'une valeur de vent critique, la ligne de grain est perpendiculaire au vent. Au-delà de cette valeur critique, la ligne de grain pivote de façon à ce que la composante du vent orthogonale à la ligne égale la valeur critique. C'est un résultat remarquable qui apporte une contribution quantitative à la théorie des lignes de grain. On se demande alors le devenir de ce résultat dans un cadre plus réaliste, par exemple en présence de force de Coriolis ou avec des flux de surface pour lesquels le vent moyen n'a pas été soustrait. Dans un cadre plus réaliste encore, Sophie ABRAMIAN détaille ainsi dans la conclusion de sa thèse des résultats intermédiaires d'analyse de l'orientation des poches froides d'une simulation d'un mois de l'atmosphère globale à résolution de moins de 5 km.

Le *chapitre 3* présente un modèle prédictif du cycle de vie des MCS sous la forme d'un article en préparation pour *AGU Advances*. Sophie ABRAMIAN dérive ce modèle après avoir analysé avec trois algorithmes d'apprentissage automatique 35 000 cycles de vie de MCS issus d'une simulation d'un mois de l'atmosphère globale à résolution de moins de 5 km. Cette étude très originale montre que la connaissance du taux de croissance des deux premières heures du MCS permet de prédire sa taille maximum avec une bonne précision. Cette prédiction est améliorée par la connaissance de l'environnement du MCS et diminuée si le taux de croissance n'est connu que la première heure. Le poids des variables internes et externes est discuté montrant l'importance des deux. Ces résultats très prometteurs ouvrent des questions méthodologiques, comme le choix de la variable prédite, ici la surface maximale du MCS, ou encore la sélection des MCS dans l'échantillonnage étudié. Dans la conclusion de sa thèse, Sophie ABRAMIAN propose des pistes voisines sur l'application de la méthode à des observations et la caractérisation des MCS non prévisibles.

Le *chapitre 4* traite de l'impact du cisaillement de vent sur les précipitations extrêmes. Ce chapitre a été publié au *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* en octobre 2023. Il reprend le cadre des simulations idéalisées employées au chapitre 2 et leur séparation en deux régimes suivant la valeur de vent critique, ce qui fait du chapitre 4 une suite directe du chapitre 2. Sophie ABRAMIAN montre que les extrêmes de précipitation (définis comme le 99,9ème centile) sont plus intenses de 40 % en régime critique et de 30 % en régime sur-critique qu'en régime sans cisaillement. A l'aide d'hypothèses d'échelle et d'ergodicité, elle explique ensuite cette intensité accrue en extrême de précipitation principalement par la réduction de la dilution de l'ascendance convective avec l'air environnant et l'augmentation de la vitesse verticale à la base du nuage. Dans la conclusion de sa thèse, Sophie ABRAMIAN propose bien naturellement de tester si ses résultats seraient reproduits dans le cadre plus réaliste de la simulation de l'atmosphère globale

Le *chapitre 5* traite de la distribution des isotopologues de l'eau dans le MCS idéalisé. Il constitue la contribution de Sophie ABRAMIAN à une étude plus étendue publiée au *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* en avril 2023 pour laquelle Sophie ABRAMIAN est dernière auteur. Cette contribution mineure fait que le terme « isotope » est oublié du titre de la thèse ! Elle montre néanmoins que le MCS idéalisé reproduit l'appauvrissement isotopique observé dans les lignes de grain, cet appauvrissement étant attribuable aux échanges diffusifs entre pluie et vapeur d'eau.

La conclusion résume les résultats principaux et dresse des perspectives offertes pour chacun des chapitres ainsi qu'à plus long terme, une étude de la variabilité des MCS suivant leur environnement qui s'apparente à un véritable programme de recherche.

Dans l'ensemble, le mémoire de thèse de Sophie ABRAMIAN est un travail remarquable par la qualité scientifique des résultats obtenus et impressionnant par la variété des outils employés et leur combinaison originale. En conclusion, je donne mon plein accord pour la soutenance de la thèse de Sophie ABRAMIAN à l'université Paris-Saclay PSL.

Toulouse, le 6 novembre 2023



Jean-Pierre CHABOUREAU
Physicien à l'observatoire Midi-Pyrénées
Université Paul-Sabatier Toulouse III

LAERO, 14 avenue Belin, 31400 Toulouse