

Sophie Abramian
15 rue du Parc Montsouris
75014 Paris
+33 7 69 69 71 93
sophie.abramian@gmail.com

Météo et Climat
73 avenue de Paris
94165 Saint-Mandé cedex

A Paris, le 31 Janvier 2024,

Objet : Lettre de Candidature pour le prix André Prud'homme 2024 de Sophie Abramian

Intitulé de la thèse : Origines physiques des propriétés des systèmes convectifs de méso-échelles et implications pour les événements à fort impact

*Date et lieu : 5 décembre 2023, au département de géoscience de l'Ecole Normale Supérieure
24 rue Lhomond, 75005 Paris*

Madame, Monsieur,

Dans cette lettre, je détaille à travers mon parcours les raisons qui m'ont conduite à présenter ma candidature pour le prix André Prud'homme 2024.

Après deux années de classes préparatoires, j'ai intégré l'ENS Paris-Saclay en physique appliquée avec une grande composante en énergie et développement durable. Dans ce cadre, j'ai réalisé plusieurs stages de recherche: d'abord sur les propriétés des matériaux élastiques au Laboratoire de Mécanique et Technologie de l'Université Paris-Saclay qui a conduit à une publication¹, puis ensuite sur le climat urbain et la résilience des villes à l'Université de Columbia à New-York. A la suite de mon master de recherche en mécanique des fluides à l'Ecole polytechnique et Sorbonne université, j'ai rejoint le Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'Ecole Normale Supérieure pour poursuivre une thèse de doctorat sous la direction de Caroline Muller et Camille Risi.

Mes recherches de thèse, décrites plus en détail dans le résumé en pièce jointe, portent essentiellement sur la formation, le développement et la dissipation des orages tropicaux. Elles ont conduit à la publication de plusieurs articles^{2,3,4} dont un à destination du grand public⁵. Un des projets dont je suis particulièrement fière porte sur l'étude du cycle de vie des systèmes convectifs de méso-échelle, et cherche à comprendre ce qui détermine leur capacité à s'étendre. Avec une combinaison de modèles physique et d'intelligence artificielle, nous avons été capable de prédire l'évolution de la surface des systèmes convectifs à partir des toutes premières heures de leur développement. J'ai eu la chance de présenter ces résultats à la conférence GASS-CFMIP à Paris en juillet 2023 où j'ai reçu par ailleurs le prix *Early Research Career (prix jeune chercheur en science atmosphérique)*. La publication associée à ce projet est sur le point d'être soumise.

¹ Abramian, S., Desmorat, B., Desmorat, R., Kolev, B., Olive, M., (2020). Recovering the Normal Form and Symmetry Class of an Elasticity Tensor. *Journal of Elasticity*

² Abramian, S., Muller, C., & Risi, C. (2022). Shear-Convection Interactions and Orientation of Tropical Squall Lines. *Geophysical Research Letters*.

³ Abramian, S., Muller, C., & Risi, C. Extreme Precipitation in Tropical Squall Lines. *Journal of Advances in Modeling the Earth System*.

⁴ Risi, C., Muller, C., Vimeux, F., Blosse, P., Védeau G., Dufaux, C., Abramian, S., What controls the mesoscale variations in water isotopic composition within tropical cyclones and squall lines? Cloud resolving model simulations. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2023.

⁵ Muller, C., Abramian, S. Convective Storms, Self-aggregation and Tropical Squall Lines. *Physics Today*

J'ai soutenu ma thèse intitulée *Origines physiques des propriétés des systèmes convectifs* de méso-échelles et implications pour les événements à fort impact le 5 décembre 2023 au département de Géoscience de l'Ecole Normale Supérieure. Le rapport de soutenance de l'ensemble du jury ainsi que les avis des rapporteurs sur le manuscrit sont en pièce jointes. Je candidate au prix André Prud'homme sur la recommandation de l'un des rapporteurs, Pierre Gentine, qui le mentionne à la fin de son rapport (page 3 dernier paragraphe).

En conclusion, mes travaux de thèses, par la combinaison de nouveaux outils statistiques et théoriques et leur application à des simulations inédites ont permis d'améliorer notre compréhension des systèmes convectifs de méso-échelle, responsables de la plupart des événements extrêmes dans les tropiques. Je vais poursuivre ces efforts de recherche en postdoc à l'Université de Columbia à New-York, que je rejoins en avril 2024.

Dans l'attente de votre réponse, je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, mes sincères salutations,

Sophie Abramian

A handwritten signature in black ink, reading 'S. Abramian'. The signature is written in a cursive, flowing style with a large initial 'S'.

Objet : Résumé des travaux de thèse pour le prix André Prud'homme 2024

Les orages de l'échelle de 100km, aussi appelés systèmes convectifs de méso-échelle (MCS), sont responsables de la plupart des événements extrêmes dans les tropiques, comme les fronts de rafales puissants, les pluies torrentielles, ou encore les crues soudaines. Parmi eux, on trouve les cyclones tropicaux, dont les vents en rotation sont les plus forts de notre planète. Il en existe d'autres types, comme les lignes de grains qui décrivent un alignement d'orages sur plusieurs centaines de kilomètres. Ces systèmes jouent un rôle fondamental dans le cycle de l'eau. Pourtant, leur organisation reste peu comprise et donc peu prise en compte dans les projections climatiques. Plus précisément, l'échelle caractéristique de la centaines de kilomètres des MCS est inférieure à la résolution spatiale des modèles climatiques globaux, qui traitent donc les systèmes convectifs profonds comme des phénomènes sous-maille. Leur dynamique est alors calculée à l'aide de paramétrisations, basées sur des modèles physiques simplifiés de processus non résolus. Les modèles climatiques actuels ne parviennent donc pas à anticiper la formation de ces phénomènes extrêmes et peinent à prédire leur évolution avec le réchauffement climatique. Cette barrière scientifique fait partie des grands défis énoncés par le programme mondial de recherche sur le climat: nuages, circulation et sensibilité climatique.

Dans ce contexte, mon travail de thèse a tenté de poursuivre l'objectif suivant : **clarifier les processus physiques qui sont à l'origine des propriétés des systèmes convectifs de méso-échelle, comme l'orientation ou la taille, pour mieux comprendre et anticiper les extrêmes de pluies qui leur sont associés**. Mes recherches se sont concentrées en particulier sur les lignes de grains à travers le développement de simulations numériques idéalisées et l'utilisation d'une nouvelle génération de simulations globales haute résolution.

En utilisant des simulation idéalisées, j'ai cherché à comprendre comment les lignes de grains s'organisent et pourquoi elles s'orientent en fonction des caractéristiques environnementales de grande échelle. Cette étude a permis de développer un modèle qui prédit l'orientation des lignes en fonction du vent de cisaillement de basses couche, qui joue un rôle majeur dans leur organisation¹. J'ai par la suite analyser l'impact de cette orientation sur les extrêmes de précipitation, et mis en évidence une relation d'amplification des extrêmes². Pour étendre ces résultats à des configurations plus réalistes et à une plus grande diversité de systèmes, nous nous sommes ensuite appuyés sur les toutes nouvelles générations de simulations globales haute résolution. A l'aide de modèles physiques et intelligence artificielle, nous avons montré que le degré d'organisation d'un MCS, et en particulier sa capacité à s'étendre et devenir très grand, dépend fortement de son taux de croissance initiale³. Enfin, je me suis intéressée à la paléo-tempestologie isotopique, une méthode qui permet de reconstituer les fréquences passées de cyclones et lignes de grain. A l'aide de simulations idéalisées nous avons cherché à décrire les variations de la distribution isotopique au sein de la structure méso-échelle des lignes de grains; ce qui offre une direction précieuse pour replacer le but générale de cette thèse dans le contexte du changement climatique contemporain⁴.

En conclusion, en essayant de comprendre l'organisation de la convection profonde et les phénomènes météorologiques extrêmes qui lui sont associés, mes recherches participent à réduire les biais récurrents des représentations conventionnelles du système atmosphérique, et répondent au besoin urgent d'anticiper les conséquences du changement climatique.

¹ Abramian, S., Muller, C., & Risi, C. (2022). Shear-Convection Interactions and Orientation of Tropical Squall Lines. *Geophysical Research Letters*.

² Abramian, S., Muller, C., & Risi, C. Extreme Precipitation in Tropical Squall Lines. *Journal of Advances in Modeling the Earth System*.

³ Abramian, S., Muller, C., Risi, C., Roca, R. & Fiolleau, T. Is the fate of Deep Convective System is written from the start ? exp. 2024.

⁴ Risi, C., Muller, C., Vimeux, F., Blossé, P., Védeau G., Dufaux, C., Abramian, S., What controls the mesoscale variations in water isotopic composition within tropical cyclones and squall lines? Cloud resolving model simulations. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2023.

Prix André Prud'homme 2024
Résumé des productions scientifiques et
impacts liés aux travaux scientifiques de la thèse

Prénom	Sophie
Nom	Abramian
Intitulé de la thèse	Origines physiques des propriétés des systèmes convectifs de méso-échelles et implications pour les événements à fort impact

1 - Liste des publications :

Article en préparation

6. **Abramian S.**, Muller C., Risi C., Roca R. and Fiolleau T. Is the life cycle of Mesoscale Convective Systems written from the start ? To be submitted. **2024**.

Articles publiés

5. **Abramian S.**, Muller C. and Risi C., Extreme Precipitation in Tropical Squall Lines, Journal of Advances in Modeling Earth Systems, **2023**. 15.10 (2023): e2022MS003477.

4. Risi, C., Muller, C., Vimeux, F., Blosse, P., Védeau G., Dufaux, C., **Abramian, S.**, What controls the mesoscale variations in water isotopic composition within tropical cyclones and squall lines? Cloud resolving model simulations. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, **2023**.

3. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C., Shear-Convection Interaction and Orientation of Tropical Squall Lines. Geophysical Research Letters, vol. 49-1, p.e2021GL095184, **2022**.

2. **Abramian, S.**, Desmorat, B., Desmorat, R. et al. Recovering the Normal Form and Symmetry Class of an Elasticity Tensor. Journal of Elasticity, Springer Verlag, vol. 142, p.1–33. **2020**.

Articles de vulgarisation

1. Muller, C. & **Abramian S.**, The cloud dynamics of convective storm. Physics Today, May **2023**.

2 - Liste des congrès/colloques :

10. **Abramian, S.**, Muller, C., Risi, C., Roca R., and Fiolleau, T
Has the life cycle of MCSs been written from the start ? (Présentation), 3rd Workshop on Convective Organization, Triest, Italy, 2023.
9. **Abramian, S.**, Muller, C., Risi, C., Roca R., Fiolleau, T
Investigating Mesoscale Convective Life Cycle with Machine Learning (Présentation), CFMIP-Gass Meeting, Paris, France 2023. [Prix Early Research Career](#)
8. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
Extreme Precipitation in Tropical Squall Lines (Présentation), European Geophysical Union, Vienna, Austria, 2023.
7. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
Squall Lines Orientation and its Impact on Precipitation Extremes (Présentation), In 3rd Pan-Gass Gewex Meeting, Monterey, CA, 2022. [Félicitations du jury pour la présentation](#)
6. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
Shear Convection Interaction in Cloud Resolving Model (Présentation), 23rd Meeting in Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, Breckenridge, CO, 2022.
5. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
Investigating Extremes Precipitation in Tropicales Squall Lines (Présentation), European Geophysical Union, Vienna, Austria, 2022.
4. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
Investigating Extremes Precipitation in Tropicales Squall Line, (Poster), 2nd Workshop On Convective Organization, Utrecht, Netherlands, 2022.
3. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
L'orientation des lignes de grains tropicales et ses conséquences sur les extrêmes de précipitations (Présentation), Journée de la Convection Profonde, Bordeaux, France, 2022.
2. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
Investigating tropical squall lines with a cloud resolving model (Short Presentation), EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021.
1. **Abramian, S.**, Muller, C., and Risi, C.
What sets tropical squall lines orientation, and why ? (Poster)
Cloud FeedBack Model Intercomparison Project Virtual Meeting 2021.

3 - Autres productions et impacts

Pour chacune des rubriques, vous veillerez à préciser votre contribution personnelle à la production mentionnée.

3.1) Base de données ou jeux de données, d'algorithmes, de codes informatiques, de méthodologies pour la communauté :

Tableau récapitulatif

A	Codes informatiques open access	PySAM, versions 2021 et 2022 déposée sur Zenodo (https://doi.org/10.5281/zenodo.5078167)
B	Methodologies pour la communauté	Participation Hackathon DYAMOND-nextGEMS Cycle 3

Description détaillée

A. Codes informatique open access

Mon travail de thèse s'est beaucoup appuyé sur des simulations numériques, et en particulier sur des simulations idéalisées que nous concevons et analysons. Pour ce faire, j'ai développé un package python pour post-traiter les sorties du modèles de résolution de nuage SAM, pour étudier les lignes de grain. Ce package inclut la méthode de détection d'angle des lignes de grains, ainsi que des méthodes de moyennes composites pour l'étude des poches froides; puis j'ai fait évoluer ce package dans un second temps pour inclure les analyses propre à l'étude des extrêmes de pluies : calcul des termes du modèles théoriques Muller & Takayabu 2021, calcul optimisé de la cape, co-occurrence d'évènement extrêmes. **Ces codes informatiques sont en libre accès et répertorié sur le site Zenodo (<https://doi.org/10.5281/zenodo.5078167>, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5078166>).**

B. Methodologies pour la communauté

Le dernière partie de mon projet de thèse a consisté à utiliser les dernières générations de simulations globales haute résolution issues du projet DYAMOND-nextGEMS. Ces simulations représentent plusieurs petabytes de données (10^{15} , million de milliard), disponible sur un cluster européen. **Dans ce cadre, j'ai participé en mai 2023 au nextGEMS Hackathon Cycle 3 à Madrid.** L'objectif de cette rencontre était d'identifier certains bug ou amélioration dans les simulations actuelles pour renforcer la robustesse des prochaines simulations. J'ai aussi pu présenté mes travaux et les méthodes de machine learning appliquées aux tempêtes issues de ces simulations (sujet de mon dernier projet de thèse) que je déposerai également en libre accès.

3.2) Activités d'observation (participation à des campagnes de mesures, acquisition de mesures non-conventionnelles, etc) :

3.3) Développement instrumental (design de nouveau instruments, qualification, ...)

3.4) Valorisation économique (déclaration d'inventions, brevets, licences – dont licences ouvertes, partenariat avec le secteur privé...).

Tableau récapitulatif

Partenariat avec le secteur privé	AXA Climate	<p>Projet n°1: Mieux évaluer le risque cyclonique à l'aide de trajectoires de cyclones simulées</p> <p>Projet n°2: Anticiper l'augmentation de l'intensité cyclonique en 2050</p> <p>Projet n°3 : Analyser les événements météorologiques composés sur la côte ouest des USA</p>
-----------------------------------	-------------	---

Description détaillée

Application des connaissances physiques au secteur privé

En parallèle de ma thèse, j'ai suivi une formation de type 'Master of Business and Administration' du Collège des Ingénieurs (composante de formation du corps IPEF), et dans ce cadre j'effectue un stage de 5 mois auprès d'AXA Climate (octobre 2023-mars 2024) pour la modélisation du risque lié aux catastrophes naturelles. Ces travaux sont appliqués à l'assurance paramétrique et aux missions de conseils pour l'adaptation au changement climatique du secteur privé et publique.

Projet n°1: Mieux évaluer le risque cycloniques à l'aide de trajectoires de cyclones simulées

Dans ce projet, mon rôle a été d'explorer une base de données sur le golfe du Mexique de plus de 10 000 trajectoires de cyclones tropicaux très intenses issue du modèle couplé MIT (Emanuel et al. 2006). Le premier objectif de ce projet était d'attester que le risque décrit par les données synthétiques MIT est bien représentatif du risque réel, c'est à dire que les données historiques des cyclones tropicaux sur le golfe du Mexique suivent la même distribution. Pour ce faire, j'ai développé une méthode de ré-échantillonnage qui a mis en évidence les zones et les années où l'on mesurait un écart anormalement faible ou fort. Je l'ai étendue à l'étude d'autres bassins, dans l'océan Indien, au niveau du Pacifique Est ou encore en Australie. Ces conclusions ont été discutées avec Kerry Emanuel lui-même, qui collabore avec AXA Climate, et sont en train d'être implémentées dans la fonction de coût et le calcul des primes lié au risque cyclonique.

Projet n°2 : Anticiper l'augmentation de l'intensité cyclonique en 2050

Prévoir et anticiper comment l'intensité de l'activité cyclonique va évoluer selon les différents scénarios est un enjeu majeur pour les populations et les biens exposés. Si les tendances mondiales et régionales sont décrites dans les derniers rapports du GIEC,

certaines clients aimeraient avoir une estimation très locale de la variations du risque cycloniques. Pour ce faire nous appliquons la méthode de Knutson et al. 2013, qui prédit comment la distribution de vents cycloniques évolue dans un climat futur, et appliquons des méthodes de diffusion de vents (modèles de Holland 1996) pour obtenir cette estimation en un point donné. Ce projet pourra à terme mieux informer les acteurs économiques dont certaines villes (le secteur publique commande des missions auprès d'AXA Climate) exposés à de fortes variations de l'activité cycloniques.

Projet n°3 : Analyser les évènements météorologiques composés sur la côte ouest des USA

Ce projet résulte d'une collaboration entre AXA Climate et the Society of Actuaries Research Institute (SOA) et le Catastrophe and Climat Strategic Research Program qui cherche à mieux comprendre les impacts des évènements météorologiques composés. Mon role dans ce projet est d'une part de développer une méthodologie générale qui permet de detecter, visualiser et analyser les périodes de retour des évènements composés dans les données d'observation era5 sur les 40 dernières années. D'autre part, mon travail cherche à mieux comprendre comment ces évènements sont amenés à changer, en terme de fréquence et d'intensité, en comparant différents scénarios futurs dans les modèles CMIP6. Pour mener ce travail, nous collaborons de manière hebdomadaire avec Adam Sobel, professeur à Columbia University.

Plus généralement, ce stage au sein d'AXA Climate m'a fait prendre conscience du rôle crucial des scientifiques dans la définition des sujets d'adaptation à l'échelle locale auxquels sont confrontés des acteurs économiques, souvent trop peu formés aux enjeux climatiques.

3.5) Valorisation sociétale (transfert de connaissance vers la société civile, formation, information vulgarisation)

Tableau récapitulatif

A	Article de vulgarisation	<i>Dynamique des nuages et des systèmes de tempêtes convectives</i> , Muller, C., Abramian S., Physics Today , mai 2023 (couverture)
B	Transfert de connaissance vers la société civile	Fete de la science 2021, 2022, 2023

Description détaillée

A. Article de vulgarisation

Dans le numéro de mai 2023 de Physics Today, nous avons décrit la formation et l'agrégation des nuages profonds dans l'atmosphère, ainsi que les avancées réalisées dans l'observation et la simulation de la dynamique des nuages et des systèmes de tempêtes convectives. Notre article a fait la couverture de ce célèbre journal. Comme rappelé dans mon résumé de thèse, en plus des cyclones tropicaux, un autre exemple de systèmes de tempêtes convectives sont les lignes de grains. Elles émergent sous la forme d'une ceinture d'orages, souvent devant un front froid, et sont organisées par des variations à grande échelle de l'atmosphère. Le processus est également auto-renforçant: les orages qui forment la ligne favorisent la formation d'orages près d'eux, ce qui fait qu'elle peut durer plusieurs jours et s'étendre sur plusieurs centaines de kilomètres. L'objectif de cet article était aussi de décrire et d'ouvrir sur les nouvelles campagnes d'observation (les campagnes récente EUREC4A, et future MAESTRO par exemple) et les simulations idéalisées qui devraient contribuer à résoudre les incertitudes dans la dynamique des nuages en identifiant mieux quels sont les processus physiques pertinents et comment l'organisation convective évoluera avec le réchauffement climatique.



Référence : *The cloud dynamics of convective storm. Muller, C., Abramian S., Physics Today, May 2023.*

B. Transfert de connaissance vers la société civile

Par ailleurs, lors de mes trois années de thèse je ne manquais pas le rendez-vous de la fête de la science, organisée chaque année par le département de Géoscience de l'Ecole Normale Supérieure, où des classes de lycéens nous rendaient visite. J'ai présenté un atelier qui s'intitulait 'Comment se forment les nuages' la première année, et par la suite une expérience nommée 'Tornado en laboratoire', qui permettait d'illustrer le risque d'inondation liée au passage d'une depression tropicale.

3.6) Enseignement mené pendant la thèse (si pertinent, préciser les dates, niveau, sujet, établissement, volume horaire, ...)

Tableau récapitulatif

A	TD Mécanique des fluides	Département de Géoscience de l'ENS	1er semestre 2022	20h TD 5h de soutien	L3
B	TD Maths appliquées	UFR Ingénierie Sorbonne université	1er semestre 2021 et 2022	80h (40h/ semestre)	L2

Description détaillée

A. TD Mécanique des fluides

Enseignements du premier semestre de l'année 2022 (20h), au département de Géosciences de l'Ecole Normale Supérieure, chargée des travaux dirigés du cours Mécaniques des milieux continus sur la dynamique des fluides appliquée aux écoulements naturels. Mise en place de tutorat et de cours de soutien (5h) pour aider les étudiants à comprendre les concepts fondamentaux, difficiles pourtant indispensable aux futurs diplômés de science de l'environnement. Rédaction d'un corrigé complet pour ce module. Contact : François Lott.

B. TD de mathématiques appliquées

Enseignements du premier semestre de l'année 2020 et de l'année 2021 (total 80h), à l'UFR d'Ingénierie de Sorbonne Université, chargée des travaux dirigés du cours Mathématiques appliquées : Analyse vectorielle, intégrales multiples et calcul fonctionnel. Mise en place de cours de soutien et de session de révision avant le partiel. Contact : Jose Fullana.

3.7) Activité d'encadrement pédagogique menée pendant la thèse (stagiaires)

Tableau récapitulatif

A	Co-encadrante avec C.Risi	M2	6 mois plein temps	Vitesse de propagation des lignes de grains
B	Co-encadrante avec C. Risi	L3	3 mois Plein temps	Classification automatiques des MCS dans les GCRMs
C	Co-encadrante avec C. Muller	Pré-thèse	3 mois Mi-temps	L'influence des cyclones tropicaux sur le cycle de vies des MCSs voisins

Description détaillée

A. Mieux décrire les vitesses de propagation des lignes de grains

Lors de ma thèse, j'ai eu la chance de co-encadrer plusieurs stages d'abord au printemps 2023, **Marin Siron, étudiant en master 2 de physique fondamentale de l'ENS Lyon**. L'objectif général de son stage était de mieux décrire les conditions d'organisation des lignes de grains, pour mieux comprendre ce qui contrôle leur vitesse de propagation. Le stage consistait à explorer les lignes de grains dans les simulations globales hautes résolution, **mon rôle a été de lui apprendre à manipuler les bases de données très lourdes; l'aider dans la lecture d'article, ainsi que suivre chaque semaine l'avancée de ses réflexions**. Plusieurs questions, dont la caractérisation physique des lignes de grains, ont été soulevées et ont mis en évidence une **dynamique commune entre les lignes de grains et l'ITCZ**.

B. Développer une méthode de classification automatique des systèmes convectifs de méso-échelle dans les simulations globales haute résolution

En parallèle, j'ai aussi co-encadré le stage de **Kenneth von Buenau, en master 1 entre l'université d'Heidelberg (Allemagne) et Sorbonne Université**. L'objectif de son stage était de classer de manière automatique et selon leur dynamiques, les orages de méso-échelle dans les simulations globales haute résolution à l'aide de méthode de machine learning. **Mon rôle a été de définir le sujet, manipuler les données globales haute résolution, former au méthode de réduction de dimension et clustering et suivre l'avancement du stage chaque semaine pendant 3 mois (mars-mai 2023)**. Ces deux stages ont été supervisés par Camille Risi.

C. Comprendre l'influence des cyclones tropicaux sur le cycle de vie des MCSs voisins

Enfin, j'ai co-encadré le stage de pré-thèse d'**Andrea Polesello à l'Institut of Science and Technologie of Austria**, sous la direction de Caroline Muller. Dans ce projet, nous nous sommes intéressés aux cyclones tropicaux dans les simulations globales hautes résolutions. L'objectif général de ce projet était de comprendre l'influence d'un cyclone tropical sur la durée de vie des MCSs qui l'entourent et le succèdent. **Mon rôle a été d'aider à l'élaboration du sujet, de former l'étudiant à la manipulation des données et suivre l'avancement du stage chaque semaine pendant 3 mois (septembre-décembre 2023)**.

4 - Interdisciplinarité

Dans cette rubrique, vous préciserez les contributions majeures de votre thèse à l'interdisciplinarité des travaux de recherche dans les domaines couverts par le prix Prudhomme.

Tableau récapitulatif

Meteorologie et Paleoclimatologie	Etude des variations de la composition isotopique de l'eau au sein de l'environnement immédiat des lignes de grains et application à la paléo-tempestologie
-----------------------------------	---

Description détaillée

L'objectif général de ma thèse était de mieux comprendre les processus physiques à l'origine des propriétés des systèmes convectifs de méso-échelle pour mieux comprendre les implications en termes d'extrêmes de précipitation. Dans le dernier chapitre, je me suis intéressée à une implication supplémentaire, cette fois-ci imperceptible, qui se manifeste lors du développement et du cycle de vie des systèmes convectifs de méso-échelle. **Ces systèmes impliquent en effet une modification de la composition isotopique de l'eau au sein de leur environnement immédiat.** L'objectif principal de cette dernière investigation était de mieux comprendre et décrire les variations de la distribution isotopique au sein de la structure méso-échelle des lignes de grains. Une attention particulière est portée aux signatures isotopiques de la vapeur d'eau dans la couche sous-nuageuse et aux précipitations. L'examen des régimes climatiques historiques offre à terme une direction précieuse pour **évaluer la pertinence des mécanismes identifiés dans le contexte du changement climatique contemporain.** Il convient de noter que ce chapitre se distingue des efforts de recherche précédents, car il résulte d'un projet collaboratif auquel j'ai participé mais dont je ne suis pas première auteure. Ce projet a abouti à la publication d'un article, paru dans le *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* en 2023. Cette étude a donc contribué à l'interdisciplinarité entre la **météorologie et la paléoclimatologie, deux domaines couverts par le prix Prudhomme.**

5 - Faits marquants en termes de valorisation et d'impact depuis la première soumission au Prix

Réservé aux deuxièmes soumissions uniquement

Commenter librement ici les progrès observés ou les difficultés rencontrées depuis la soumission précédente dans la valorisation de la thèse dans tous les domaines (scientifiques, techniques, sociétaux, économiques, ...)

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

COLUMBIA UNIVERSITY

IN THE CITY OF NEW YORK

HENRY KRUMB SCHOOL OF MINES
DEPARTMENT OF EARTH AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Evaluation of Sophie Abramian's PhD thesis

The Ph.D. thesis provides a very good introduction to convection and convective systems, discussing the key role of aggregation of the different feedback that can lead to convective aggregation. Then the PhD student discusses squall lines and the interaction between wind shear and the environment, pointing to historical (1945) observations and the first theoretical model of squall lines (Rotunno et al., 1988). Then some presentation of the optimal wind speed (and shear) in cloud-resolving models is demonstrated.

The introduction then explains the key relationship between organized systems and extreme rainfall, by first defining extreme precipitations and then presenting mesoscale convective systems, and their role in extreme precipitation and the role of organization onto mesoscale convective systems. Extremes of precipitation are then shown to be related to the number of centroids in a domain and not just to the total precipitation area, emphasizing the role of organization in modulating extremes of precipitation. There is a bit of a detour on the role of machine learning to analyze data. This subsection could be better integrated with the recent introduction, maybe by stating that the datasets coming from DYAMOND and large cloud-resolving models can be very bulky and difficult to analyze. Finally, Sophie presents the role of dynamics on extremes, beyond Clausius-Clapeyron Scaling. I feel that this could be a subsection in its own right as it is very critical for the rest of the PhD thesis.

Overall, this is a good introduction that has the right appropriate details and cites the appropriate historical and recent literature. It would have been nice to have a bit more context initially, with a first section discussing the broader climate system and hydrological cycle and why convection is important.

In the second chapter, which has been published in the literature, Abramian and colleagues investigate using cloud-resolving models, the orientation of squall lines with respect to wind speed to highlight the variations of the angle of the formed squall lines with respect to the wind. They manage to highlight and validate the theory of Rotunno and the key role of cold pools on the definition of a critical wind threshold. They found very good agreement between the theory of Rotunno et al 1988, Robe and Emanuel 2001 and the numerical results. They further try to highlight the role of cold pool intensification on the squall line orientation and how this can lead to a correction term on the orientation. The analysis is sound and very clear, leading to a clear understanding of the role of cold pools in a correction of the RKW theory. I very much enjoyed the paper and since it has already been seen by multiple reviewers I don't feel that there is a need to add much to it or correct anything. I just found a few typos and missing references in the attached document.

The third chapter of the thesis is dedicated to the study of the growth of MCSs and how it relates to their life cycle. The paper is in preparation. The main focus is to relate the first hours of the evolution of the convective system to its maximum area (which is linked to precipitation). The authors found that there is a strong predictive relationship between the initial stage to the final area. The authors start from a theoretical growth equation inspired by Elsaesser et al. 2022. As large MCS have a strong impact on precipitation intensity and extremes, the authors make the hypothesis that early growth could be an excellent mechanism to predict the maximum area of the MCS. To do so the authors used global cloud-resolving model simulations (DYAMOND) to highlight this process. The first challenge they managed to solve is to track the storms as they travel during the analysis time. To do so they use the TOOCAN algorithm, which employs a Lagrangian tracking algorithm. They focus on the tropical MCS with 30 degrees of latitude. They then use machine learning models (regression tree – random forest, neural networks and in comparison to LASSO) to predict the maximum size. This is a good strategy when physical understanding can be challenging. The authors could have given more details on the hyperparameters and training of those algorithms. They find very high predictive score (R^2) using only the first few hours of the system. The three models have similar performance showing that the process is quasi-linear. They could demonstrate that adding more input features to the initial growth improves but does not dramatically impact the prediction, thus building confidence in the capacity of the initial stage (within 1.5 hours) to be a good predictor of the rest of the day. Overall, I found this paper to be well-written. Some additional clarifications on the details of the machine learning fits should be provided as much as possible. I spotted a few small issues in terms of Figure reference in particular.

In the second part of the thesis, Sophie Abramian tries to use to evaluate the implications of her findings on extreme precipitation. In Chapter 4, she focuses on the impact of shear on extreme precipitation in squall lines. This paper was published in JAMES in 2023. The authors focus on the role of shear on extreme rainfall rates and try to dive into the physical mechanisms explaining the findings. They used idealized simulations from cloud-resolving models with various background wind levels. They then compare the intensity of precipitation to the model of Muller and Takayabu 2020, also used by Singh and O’Gorman 2014 to investigate rainfall extremes and the role of dynamics vs thermodynamics. This decomposition indicates that in all simulations, the dominant contribution to changes in extreme precipitation is the dynamic contribution. They then went further by decomposing the dynamics in terms of the role vertical updraft speed and how it relates to changes in cloud base velocity and CAPE and demonstrating the dominant roles of the cloud-base velocity. They note though that this effect saturates in the super-optimal wind background regime, explaining the rainfall peak at critical wind speed.

The last paper was led by Camille Risi and it is a bit more difficult for this reviewer to assess the exact contribution of the Ph.D. student. In addition, the paper has already been published so I abstained from judging it again here.

The conclusion is well-written and provides some interesting ideas for future work including the role of synoptic versus population of cold pools on mesoscale convective systems.

Overall this is an excellent thesis focusing on the understanding of mesoscale convective systems and squall lines in particular, using a combination of modern tools (high-resolution simulations and machine learning) in combination with theory to gain a deep understanding of the physical processes at play. If the thesis is eligible for an award, I would recommend it to such an award given the quality of the science, the clarity of the explanation and the new understanding gained by this thesis.

Sincerely yours,
Pierre Gentine
Maurice Ewing and J. Lamar Worzel Professor
Director LEAP NSF STC
Department of Earth and Environmental Engineering
Columbia University



Nom et prénom du doctorant : ABRAMIAN Sophie

Date de la soutenance : 5 décembre 2023

Président du Jury : SPEICH Sabrina

Prénom et Nom	Signature	Prénom et Nom	Signature
Caroline MULLER		Pierre GENTINE	
Jean-Pierre CHABOUREAU		Camille RISI	
Sandrine BONY		Rémy ROCA	
Jan HAERTER		Sabrina SPEICH	



On December 5, Mrs Sophie Abramian successfully defended her thesis entitled "Physical origins of the properties of mesoscale convective systems and implications for high impact events".

Sophie Abramian presented the results of her research with an exceptional pedagogical oral presentation. She explained the numerous scientific results obtained during her thesis in a very clear and adapted way. The diagrams and figures presented to illustrate these results enabled the jury to appreciate the quality and quantity of the work carried out. Sophie Abramian's work represents a substantial contribution to our understanding of complex mesoscale convective systems and how their impact on extreme precipitation can change when environmental conditions change.

The jury recognized the broad range of approaches, diagnostic tools, and novel methodologies employed by Sophie Abramian' to analyse state-of-the-art numerical simulations. The jury also praised the detailed physical analysis and the variety of approaches and methodologies developed or improved by Sophie Abramian during her thesis. Most of the analyses have already been published in high-impact scientific journals, with Sophie Abramian as the first author of three out of five publications.

During the discussion with the jury, Sophie Abramian demonstrated her ability to answer questions on all aspects of the thesis. In particular, she showed a great mastery of the large body of literature as well as on the methodologies developed as well as of the many different physical processes studied. In addition, she proposed innovative approaches to better identify and quantify the physical processes associated with mesoscale convective systems, demonstrating their potential applicability to the broader scientific topic.

In conclusion, the jury unanimously agreed that both the presentation and the ensuing debate were of excellent quality. This defense highlighted Sophie Abramian's ability to conduct research at a high level and demonstrated her exceptional pedagogical skills. For these achievements, the jury unanimously decided to award Sophie Abramian the title of Doctor of the University *Paris Sciences Lettres* in Sciences of Climate, Atmosphere, Ocean of the Earth and other Planets, and congratulates her on her remarkable accomplishments.

