



RISQUE FUTUR D'HYPERTHERMIE DANS LES TERRITOIRES ULTRA-MARINS

FUTURE RISK OF HYPERTHERMIA IN ULTRA-MARINE TERRITORIES

Etablissement **Institut National Polytechnique de Toulouse**

École doctorale **SDU2E - Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace**

Spécialité **Océan, Atmosphère, Climat**

Unité de recherche **CNRM - Centre National de Recherches Météorologiques**

Encadrement de la thèse **Olivier PANNEKOUCKE (detailResp.pl?resp=31288)**

Co-Directeur **Ali BELMANADI (detailResp.pl?resp=101848)**

Financement Concours pour un contrat doctoral

Début de la thèse le **1 octobre 2023**

Date limite de candidature (à 23h59) **12 mai 2023**

Mots clés - Keywords

changement climatique, chaleur humide, événements extrêmes, santé, climat tropical

climate change, humid heat, extreme events, health, tropical climate

Description de la problématique de recherche - Project description

Le réchauffement climatique accroît la fréquence et la sévérité des vagues de chaleur, notamment dans les tropiques où la forte humidité augmente la température ressentie et aggrave les risques sanitaires liés à l'hyperthermie. En ce sens, les départements et régions d'outre-mer constituent des sites d'étude privilégiés du fait de leurs localisations à travers la zone intertropicale (bassins Atlantique Nord, Indien Sud-Ouest et Pacifique Sud ; latitudes tropicales et équatoriales), de géographies diverses (insulaire avec des reliefs et dimensions variés ; continentale pour la Guyane) et de l'existence de jeux de données observées et modélisées de qualité. L'objectif de la thèse est d'étudier l'évolution future du risque d'hyperthermie outre-mer et plus largement de contribuer au développement de la connaissance de ce risque en zone tropicale. Les longues séries de données climatiques observées seront analysées afin de constituer une climatologie de référence et de calculer divers indices de confort thermique. Les simulations climatiques globales et régionales existantes permettront d'apprécier l'évolution projetée du risque, et seront complétées par de nouvelles configurations à haute résolution pour évaluer l'influence des processus locaux, y compris liés à l'urbanisation.

Global warming increases the frequency and severity of heat waves, particularly in the tropics where high humidity increases perceived temperatures and aggravates health risks associated with hyperthermia. In this sense, French overseas territories are privileged study sites because of their locations across the tropical band (North Atlantic, South-West Indian and South Pacific basins; tropical and equatorial latitudes), their diverse geographical settings (islands with various terrains and sizes; continental French Guiana) and the existence of high-quality observed and modelled data sets. The objective of the thesis is to study the future evolution of the risk of hyperthermia in the French overseas territories, and more generally to contribute to the development of knowledge of this risk in tropical areas. Long time series of observed climate data will be analyzed in order to build a climatological reference and calculate various thermal comfort indices. Existing global and regional climate simulations will be used to assess the projected evolution of the risk, and will be completed with new high-resolution configurations to evaluate the influence of local processes, including those related with urbanization.

Thématique / Domaine / Contexte

Projections climatiques et impacts sanitaires

Changement climatique

Depuis le 6e Rapport d'Évaluation du GIEC (Dodman et al. 2022), un nombre croissant d'études relayées par les médias (France TV; National Geographic; Sciences & Avenir; Slate : ici et ici; The Conversation; presse guyanaise) alertent sur les niveaux préoccupants de chaleur humide attendus avant la fin du siècle sous les tropiques, et dans une moindre mesure aux latitudes tempérées (Mora et al. 2017, Raymond et al. 2020, Xu et al. 2020, Zhang et al. 2021, Vargas-Zeppetello et al. 2022). Lorsque des températures extrêmes ont lieu dans une atmosphère humide comme celle des tropiques, on peut atteindre des conditions d'inconfort thermique, voire d'hyperthermie. L'évaporation de la transpiration permettant d'évacuer l'excès de chaleur du corps est alors réduite, augmentant la pénibilité du travail en extérieur avec un impact sur l'activité économique (interruptions, surcoûts) et les secteurs sensibles (aéronautique, défense, spatial...) (Monioudi et al. 2018). Au-delà de certains seuils, le risque d'hospitalisation est réel, et même de décès en cas d'exposition prolongée, y compris chez des personnes jeunes et en bonne santé (Sherwood & Huber 2010, Vecellio et al. 2022).

À l'échelle nationale, les outre-mers sont en première ligne, surtout la Guyane par sa position à la fois équatoriale et continentale. D'après les cartes globales déjà publiées (ex : atlas dynamique développé par l'Université d'Hawaï), ce territoire serait amené à être très fréquemment exposé à des conditions dangereuses voire mortelles au cours des prochaines décennies, bien que les chiffres exacts soient assez variables d'une étude à l'autre (Mora et al. 2017, Vargas-Zeppetello et al. 2022). La Guyane constitue aussi un site pilote permettant d'étudier des conditions qui pourraient survenir plus tard dans l'Hexagone (Willett & Sherwood 2012). Les îles françaises, un peu plus éloignées de l'équateur et rafraîchies par les alizés, peuvent paraître moins exposées. Ce n'est qu'une supposition : avec leurs dimensions réduites, elles sont généralement ignorées par les modèles climatiques globaux (Mycoo et al. 2022) sur lesquels s'appuient la plupart des études. Ces petits espaces insulaires nécessiteraient l'exploitation de projections descendues en échelle (Fandrich et al. 2022).

L'urbanisation (Karam et al. 2010, Lemonsu et al. 2023), les effets littoraux liés aux interactions terre-océan-atmosphère (Lefèvre et al. 2010, Cantet et al. 2014) pourraient par exemple constituer des facteurs aggravants qui appellent des analyses de fine échelle. La plupart des études précitées du risque futur d'hyperthermie reposent sur l'utilisation de jeux de données globaux (modèles climatiques, réanalyses atmosphériques) dont la pertinence aux échelles régionales à locales est discutable. La valeur ajoutée de Météo-France tient à l'existence de longues séries de données observées à divers emplacements à travers les tropiques dans les départements et régions d'outre-mer (DROM), ainsi qu'aux efforts récents de régionalisation des projections climatiques avec les modèles à haute résolution ALADIN et AROME à La Réunion et dans le Pacifique (Hopuare et al. 2015, Dutheil et al. 2021, Leroux et al. 2021). Des projections issues de la descente d'échelle statistique de modèles du GIEC ont par ailleurs été réalisées pour les Antilles et la Guyane (Cantet et al. 2021, Longueville et al. 2022). Bien que cette approche soit courante pour les petites îles (Elison Timm et al. 2015), elle ne permet pas d'évaluer les processus dynamiques de petite échelle et souffre d'un maillage des stations peu dense en DROM, y compris pour les variables clés que sont les températures, l'humidité, le vent moyen ou le rayonnement. Ces limitations motivent l'extension aux Antilles-Guyane de la modélisation avec ALADIN et AROME.

Objectifs

Cette thèse a pour objectif d'évaluer le risque d'hyperthermie (dépassement de seuils dangereux de température humide) dans les territoires d'outre-mer dans un contexte de changement climatique, au moyen des observations et simulations existantes, complétées par le développement de modèles climatiques régionaux à haute résolution.

Méthode

La méthodologie envisagée repose sur la combinaison d'observations et de modèles climatiques à différentes échelles afin d'évaluer les évolutions récentes et projetées du risque d'hyperthermie outre-mer. Il s'agira plus particulièrement :

- d'exploiter les séries longues observées en station pour établir une climatologie (état moyen, variabilité, extrêmes), corriger les biais locaux des modèles et détecter d'éventuelles tendances à long terme ;
- de calculer divers indices de confort thermique (Masterton & Richardson 1979, Rothfusz 1990, Bröde et al. 2012, ISO 2017) à partir de ces données ainsi que des simulations climatiques existantes issues des modèles globaux et régionaux (ensembles CMIP6 et CORDEX) et des descentes d'échelles statistiques et dynamiques ;
- de développer des projections climatiques à haute résolution pour la Guyane et les Antilles avec ALADIN et/ou AROME afin de les confronter aux simulations existantes et évaluer l'apport de la représentation des processus locaux ;
- d'explorer l'influence de l'îlot de chaleur urbain dans le risque futur d'hyperthermie en adaptant aux DROM la plateforme CLUE de modélisation du climat urbain basée sur les modèles Mésio-NH (transport atmosphérique) et SURFEX (surface).

Résultats attendus - Expected results

En plus des objectifs scientifiques détaillés par ailleurs, la thèse permettra le développement de modèles climatiques à haute résolution pour la Guyane et les Antilles, qui constitue une priorité de Météo-France pour les années à venir. In fine, la thèse contribuera également à améliorer les critères de vigilance canicule en métropole (en réflexion pour l'outre-mer) et développer des services climatiques pour les territoires (Centre Spatial Guyanais, opérateurs aéroportuaires, Forces Armées, fédérations sportives...).

Références bibliographiques

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., & Havenith, G. (2012) Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol* 56, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>

- Cantet, P., Déqué, M., Palany, P. & Maridet, J.-L. (2014) The importance of using a high-resolution model to study the climate change on small islands: The Lesser Antilles case. *Tellus A Dyn Meteorol Oceanogr* 66(1), 24065. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v66.24065>
- Cantet, P., Belmadani, A., Chauvin, F. & Palany, P. (2021) Projections of tropical cyclone rainfall over land with an Eulerian approach: Case study of three islands in the West Indies. *Int J Climatol* 41 (Suppl. 1), E1164–E1179. <https://doi.org/10.1002/joc.6760>
- Dodman, D., Hayward, B., Pelling, M. et al. (2022) Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907–1040. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.008>
- Dutheil, C., Menkes, C., Lengaigne, M., Vialard, J., Peltier, A., Bador, M. & Petit, X. (2021) Fine-scale rainfall over New Caledonia under climate change. *Clim Dyn* 56, 87–108. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05467-0>
- Elison Timm, O., Giambelluca, T. W., & Diaz, H. F. (2015) Statistical downscaling of rainfall changes in Hawai'i based on the CMIP5 global model projections. *J Geophys Res Atmos* 120(1), 92–112. <https://doi.org/10.1002/2014JD022059>
- Fandrich, K. M., Elison Timm, O., Zhang, C., & Giambelluca, T. W. (2022) Dynamical downscaling of near-term (2026–2035) climate variability and change for the main Hawaiian Islands. *J Geophys Res Atmos* 127, e2021JD035684. <https://doi.org/10.1029/2021JD035684>
- Hopuare, M., Pontaud, M., Céron, J.-P., Déqué, M. & Ortega, P. (2015) Climate change assessment for a small island: A Tahiti downscaling experiment. *Clim Res* 63(3), 233–247. <https://doi.org/10.3354/cr01298>
- ISO (2017) Ergonomics of the thermal environment: Assessment of heat stress using the WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) Index ISO Standard No. 7243:2017 (International Organization for Standardization). <https://www.iso.org/standard/67188.html>
- Karam, H.A., Pereira Filho, A.J., Masson, V., Noilhan, J., & Marques Filho, E.P. (2010) Formulation of a tropical town energy budget (t-TEB) scheme. *Theor Appl Climatol* 101, 109–120. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0206-x>
- Lefèvre, J., Marchesiello, P., Jourdain, N.C., Menkes, C. & Leroy, A. (2010) Weather regimes and orographic circulation around New Caledonia. *Mar Pol Bull* 61(7–12), 413–431. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.06.012>
- Lemonsu, A., Caillaud, C., Alias, A., Riette, S., Seity, Y., Le Roy, B., Michau, Y. & Lucas-Picher, P. (2023) What added value of CNRM-AROME convection-permitting regional climate model compared to CNRM-ALADIN regional climate model for urban climate studies ? Evaluation over Paris area (France). *Clim Dyn*. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06647-w>
- Leroux, M.D., Bonnardot, F., Kotomangazafy, S., Veerabadren, P., Ridhoine, A.O., Somot, S., Alias, A. & Chauvin, F., (2021): Regional climate projections and associated climate services in the southwest Indian ocean basin. EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-7029. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7029>
- Longueville, F., Thieblemont, R., Bel Madani, A. et al. (2022) Impacts du changement climatique sur différents paramètres physiques en Guyane: caractérisation et projection - GuyaClimat. BRGM/RP-72111-FR, 196 p. https://www.researchgate.net/publication/366407660_Impacts_du_changement_climatique_sur_diff%C3%A9rents_param%C3%AAtres_physiques_en_Guyane_caract%C3%A9risation_et_projection_-_GuyaClimat
- Masterton, J.M., & Richardson, F.A. (1979) Humidex: A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Environment Canada, Atmospheric Environment Service CLI 1-79. Downsview, Ontario, Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/En57-23-1-79-eng.pdf
- Monioudi, I.N., Asariotis, R., Becker, A. et al. (2018) Climate change impacts on critical international transportation assets of Caribbean Small Island Developing States (SIDS): the case of Jamaica and Saint Lucia. *Reg Environ Change* 18, 2211–2225. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1360-4>
- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R. et al. (2017) Global risk of deadly heat. *Nat Clim Change* 7, 501–507. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- Mycoo, M., Wairiu, M., Campbell, D. et al. (2022) Small Islands. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2043–2121. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.017>
- Raymond, C., Matthews, T., & Horton, R. M. (2020) The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance. *Science Advances*, 6(19), eaaw1838. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw1838>
- Rothfusz, L.P. (1990) The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). Tech. Attachment, SR/SSD 90-23, NWS S. Reg. Headquarters, Forth Worth, TX. https://www.weather.gov/media/ffc/ta_htindx.PDF
- Sherwood, S.C. & Huber, M. (2010) An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proc Natl Acad Sci* 107: 9552–9555. <https://doi.org/10.1073/pnas.0913352107>
- Vargas Zeppetello, L.R., Raftery, A.E. & Battisti, D.S. (2022) Probabilistic projections of increased heat stress driven by climate change. *Commun Earth Environ* 3, 183. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00524-4>
- Vecellio, D.J., Wolf, S.T., Cottle, R.M. & Kenney, W.L. (2022) Evaluating the 35°C wet-bulb temperature adaptability threshold for young, healthy subjects (PSU HEAT Project). *J Appl Physiol* 132, 340–345. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00738.2021>
- Willett, K.M. & Sherwood, S. (2012) Exceedance of heat index thresholds for 15 regions under a warming climate using the wet-bulb globe temperature. *Int J Climatol* 32: 161–177. <https://doi.org/10.1002/joc.2257>
- Xu, C., Kohler, T.A., Lenton, T.M., Svenning, J.-C. & Scheffer, M. (2020) Future of the human climate niche. *Proc Nat Acad Sci* 117(21), 11350–11355. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117>
- Zhang, Y., Held, I. & Fueglistaler, S. (2021) Projections of tropical heat stress constrained by atmospheric dynamics. *Nat Geosci* 14, 133–137. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00695-3>

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Le·la doctorant·e sera encadré·e localement au CNRM/GMGEC par A. Bel Madani (équipe CLIMSTAT, Analyse Statistique Extrêmes – Changement Climatique) et à distance par M.D. Leroux depuis La Réunion (Direction Interrégionale Océan Indien de Météo-France, division Études et Climatologie). La thèse sera dirigée par Olivier Pannekoucke (HDR) Enseignant-Chercheur au CNRM/GMGEC. Des réunions de suivi auront lieu une fois par semaine avec l'encadrement de thèse.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Le·la doctorant·e sera accueilli·e au CNRM/GMGEC au sein de l'équipe CLIMSTAT et disposera des moyens communs du laboratoire et de ses tutelles (CNRS, Météo-France), dont l'accès au supercalculateur Belenos de Météo-France.

Ouverture Internationale

Le réseau international de collaboration des encadrants comprend plusieurs collègues basés dans de petites îles tropicales des zones Caraïbes (Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology, University of the West Indies), Océan Indien (services météorologiques nationaux : Comores, Madagascar, Maurice, Seychelles) et Pacifique (University of Hawaii, University of the South Pacific) avec de multiples points de convergence en termes d'intérêts de recherche et d'expertise.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Le·la doctorant·e publiera les résultats de ses recherches dans des journaux à comité de lecture de premier plan et participera à une ou deux conférences internationales.

Collaborations envisagées

Des collaborations sont envisagées au sein du CNRM et avec d'autres services de Météo-France situés principalement à Toulouse et outre-mer, ainsi qu'avec des acteurs de la santé (Santé Publique France), sans qu'il s'agisse d'une liste exhaustive.

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Diplôme de Master 2 ou d'Ingénieur·e en Météorologie, Climatologie ou disciplines connexes. Des compétences solides en programmation et calcul scientifique sont indispensables (Linux ; python ou R). Une expérience de la modélisation numérique et/ou des formats de données climatiques (ex : netCDF) serait un plus.

Master 2 or Engineering degree in Meteorology, Climatology or related disciplines. Strong programming and scientific computing skills are essential (Linux; python or R). Experience with numerical modeling and/or climate data formats (e.g. netCDF) would be a plus.

Dernière mise à jour le 7 février 2023