

## Proposition de thèse :

# Prise en compte de la variabilité inter et intra-individuelle en relation aux facteurs de vulnérabilité à la chaleur dans la modélisation thermo-physiologique

*Equipe encadrante :* Lucie Merlier (CETHIL UMR 5008), Marika Vellei (I2M UMR 5295), Célia Sondaz (CETHIL UMR 5008), Adrien Toesca (CSTB)

*Localisation :* CETHIL, Campus de la Doua, INSA de Lyon, 69100 Villeurbanne (<http://cethyl.insa-lyon.fr/>)

### Contexte :

Avec (i) le changement climatique, induisant des vagues de chaleur de plus en plus longues, fréquentes et intenses, et (ii) l'urbanisation altérant les conditions microclimatiques en ville (se manifestant notamment par le phénomène îlot de chaleur urbain), les surchauffes qui se développent à l'extérieur comme à l'intérieur des bâtiments urbains sont devenues un enjeu majeur de santé publique. Dans ce cadre, le projet PEPR [VDBI VF++](#) (*Des villes fraîches par et pour les usagers : intégrer solutions douces, vertes et grises pour favoriser la santé des habitants dans un environnement durable*) vise à étudier les liens entre aménagement urbain/bâtiment, chaleur et santé au sens de l'OMS à partir de l'échelle de l'individu pour contribuer à la mise en œuvre de villes durables et de bâtiments innovants. Du point de vue de la recherche, les objectifs du projet sont notamment de développer des méthodologies pour :

- Comprendre les interactions entre les environnements physiques et les réactions psychologiques et physiologiques des individus ainsi que leurs expériences des ambiances et leurs pratiques, ceci en fonction des spécificités socio-spatiales,
- Analyser les effets de ces interactions sur la santé, dans un contexte de surchauffe,
- Évaluer la pertinence et la robustesse des stratégies d'adaptation à la surchauffe vis-à-vis de la santé.

Le présent sujet de thèse s'inscrit dans ce projet. Il s'intéresse plus spécifiquement aux facteurs de vulnérabilité individuelle affectant les réponses physiologiques induites par le stress thermique, et à leur modélisation numérique pour des applications au confort et à la santé des usagers de la ville.

### Problématique et objectifs :

Les modèles thermo-physiologiques simulent les échanges thermiques entre le corps humain et l'environnement ainsi que les réactions de thermorégulation. Ils permettent de calculer des indices de confort thermique, de stress thermique ou d'astreintes physiologiques. Ces modèles et les indices dérivés ont permis de définir des seuils limites d'exposition pour les secteurs industriels, militaires et sportifs. Néanmoins, ils considèrent généralement une catégorie de population spécifique : le jeune homme 'standard' en bonne santé. Or, des facteurs de variabilité inter-individuelle (âge, sexe, morphologie, capacité physique, etc.) modifient les propriétés thermiques du corps, les capacités de thermorégulation et affectent par extension la vulnérabilité à la chaleur des individus.

De plus, la vulnérabilité physiologique d'un individu à la chaleur évolue avec le temps. À court terme, les expositions répétées peuvent altérer la capacité de récupération en induisant une fatigue de la thermorégulation ou en déclenchant des pathologies liées à la chaleur. Sur plusieurs jours, une exposition prolongée entraîne des adaptations physiologiques, appelées acclimatation, qui réduisent les astreintes physiologiques, diminuent le risque de pathologies liées à la chaleur et améliorent les performances physiques en environnement chaud. Ces effets sont temporaires et disparaissent en

l'absence d'exposition régulière. La capacité à s'acclimater se dégrade en fonction de certains facteurs de vulnérabilité individuelle à la chaleur, comme l'âge. Pourtant, les effets de l'historique d'exposition, et en particulier de l'acclimatation, ne sont pas pris en compte dans les modèles thermo-physiologiques actuels.

Ainsi, l'objectif de cette thèse est de **mieux comprendre les effets des facteurs de vulnérabilités physiologiques inter et intra-individuels ainsi que les phénomènes liés à l'historique d'exposition et de les intégrer dans des modèles thermo-physiologiques**. À terme, les modèles devront être adaptés à différents types de populations vulnérables.

### Méthodes :

Durant cette thèse, les facteurs de variabilité et de vulnérabilité physiologiques seront d'abord étudiés à l'aide d'un travail bibliographique, des résultats d'entretiens avec des médecins et des chercheurs spécialisés et en s'appuyant sur les données produites dans le projet ou par d'autres projets (H3Sensing, MuSIC). Le travail s'intéressera ensuite à modéliser les facteurs physiologiques identifiés comme les plus impactant dans les modèles thermo-physiologiques. Pour cela, les comportements et la pertinence de différents modèles seront discutés via des validations et inter-comparaisons de modèles, et en particulier des modèles de Gagge<sup>1</sup>, JOS-3<sup>2</sup> et NHTM<sup>3</sup>. Les modèles seront ainsi adaptés et mis à l'épreuve vis-à-vis de données physiologiques recueillies dans le projet et dans les projets partenaires.

En lien avec d'autres travaux du projet VF++, cette thèse participera à la définition des indicateurs de sortie issue de modèles thermo-physiologique et de leurs seuils pour étudier le risque sanitaire. Selon les sorties retenues, un méta-modèle de distribution du risque sanitaire en fonction des distributions de paramètres individuels dans une population et de données simplifiées d'exposition thermique pourra être développé en adaptant une méthodologie déjà mise en œuvre par le CSTB.

### Profil recherché :

- Diplôme d'école d'ingénieur ou master 2 dans les secteurs des transferts thermiques ou en thermo-physiologie.
- Une forte appétence pour le travail collaboratif et interdisciplinaire, un investissement dans la vie du projet VF++ étant attendu.
- Connaissance nécessaire : transferts thermiques.
- Savoir-faire nécessaires : Programmation (python), traitement de données, analyse bibliographique.

**Candidature :** Envoyer CV, lettre de motivation et notes de Master avant le 30 avril 2025 à [lucie.merlier@insa-lyon.fr](mailto:lucie.merlier@insa-lyon.fr), [marika.vellei@u-bordeaux.fr](mailto:marika.vellei@u-bordeaux.fr), [Adrien.TOESCA@cstb.fr](mailto:Adrien.TOESCA@cstb.fr) et [celia.sondaz@insa-lyon.fr](mailto:celia.sondaz@insa-lyon.fr)

Cette thèse est financée par le PEPR VDBI, porté par l'Université Gustave Eiffel et le CNRS, dans le cadre du Plan France 2030 mis en place par l'État et géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

<sup>1</sup> A. P. Gagge, J. A. J. Stolwijk, et Y. Nishi, « An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response », *ASHRAE TRANSACTIONS* 77 (1971): 17.

<sup>2</sup> Yoshito Takahashi et al., « Thermoregulation Model JOS-3 with New Open Source Code », *Energy and Buildings* 231 (janvier 2021): 110575, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110575>.

<sup>3</sup> Mohamad El Kadri, « Modèle thermo-neurophysiologique du corps humain pour l'étude du confort thermique en conditions climatiques hétérogènes et instationnaires » (La Rochelle, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement LaSIE, Université de La Rochelle, 2020).