



**HAL**  
open science

## **Confort thermique des usagers de tramway expérimentations in situ**

Soumia Boussalah, Marika Vellei, Christian Boneill, François Garniche, Emmanuel  
Bozonnet

### ► **To cite this version:**

Soumia Boussalah, Marika Vellei, Christian Boneill, François Garniche, Emmanuel Bozonnet. Confort thermique des usagers de tramway expérimentations in situ. Conférence IBPSA France 2026, May 2026, Lyon, France. pp.91-98. <hal-05653271>

**HAL Id: hal-05653271**

**<https://hal.science/hal-05653271v1>**

Submitted on 16 Jun 2026

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

## Confort thermique des usagers de tramway – expérimentations in situ

Soumia BOUSSALAH<sup>1,2,\*</sup>, Marika VELLEI<sup>3,4</sup>, Christian BONEILL<sup>2</sup>, François GARNICHE<sup>2</sup>, Emmanuel BOZONNET<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LaSIE UMR CNRS 7356, La Rochelle Université  
Avenue Michel Crépeau, 17000 La Rochelle, France

<sup>2</sup> ALSTOM Groupe  
site Aytré, Avenue du commandant Lysiack 17440 AYTRE, France

<sup>3</sup> Univ. Bordeaux, I2M UMR CNRS 5295  
Bordeaux INP, F-33400, Talence, France

<sup>4</sup> Arts et Metiers Institute of Technology, I2M UMR CNRS 5295  
Bordeaux INP, F-33400 Talence, France

\*[soumia.boussalah@alstomgroup.com](mailto:soumia.boussalah@alstomgroup.com)

---

*RESUME. Le chauffage et la climatisation représentent 40 % de la consommation énergétique totale d'un tramway. Cette consommation est accentuée par les ouvertures fréquentes des portes (20 s chaque 2 min), l'isolation thermique limitée (3,5 (W/m<sup>2</sup>)/K), et la montée descente des passagers. Ces phénomènes thermiques ainsi que le ressenti des passagers sont transitoires alors que la norme ferroviaire EN14750 considère des conditions stabilisées. Cette étude vise à redéfinir le confort thermique des passagers dans un tramway. Un essai sur le terrain a été réalisé afin d'évaluer les conditions thermiques réelles à bord et la perception du confort par les usagers. La campagne d'essai a été réalisée en hiver sur deux tramways identiques avec des consignes de chauffage à 16 °C et 21 °C. Des capteurs ont permis de mesurer les variations spatiale et temporelle des conditions thermiques. Des questionnaires ont permis d'évaluer le profil et le ressenti des participants. Les résultats montrent que la différence de température entre la tête et les pieds constitue le facteur le plus déterminant dans la sensation thermique globale.*

*MOTS-CLÉS : Confort thermique, Conditions transitoires et hétérogènes, Tramways.*

---

*ABSTRACT. Heating and air-conditioning systems account up to 40 % of the total energy consumption of a tramway. This consumption is amplified by frequent door openings (20 seconds every 2 minutes), limited thermal insulation up to (3,5 (W/m<sup>2</sup>)/K), and the continuous boarding and unboarding of passengers. These thermal processes, as well as passengers' thermal sensation, are inherently transient and non-uniform, whereas the railway standard EN14750 assumes steady-state operating conditions. This study aims to redefine the thermal comfort of passengers in a tramway. A field test was carried out to evaluate the actual thermal conditions on board and users' perception of comfort. The test campaign was carried out in winter on two identical tramways with heating setpoints of 16 °C and 21 °C. Sensors were used to measure spatial and temporal variations of thermal conditions. Questionnaires were used to assess the participants' profiles and their perceived comfort. The results show that the temperature difference between the head and the feet is the most decisive factor in overall thermal sensation.*

*KEYWORDS : Thermal comfort, Transient and heterogeneous conditions, Tramways.*

---

### 1. INTRODUCTION

Dans les transports publics, le confort thermique constitue un des facteurs clé de la satisfaction des passagers. Contrairement aux bâtiments et aux véhicules individuels, les tramways sont soumis à des perturbations dynamiques, telles que les variations d'occupation, les échanges d'air lors des ouvertures de portes et les contraintes liées à l'isolation thermique limitées, ce qui rend la distribution thermique

hétérogène [1], [2]. Ainsi, la plupart des approches d'évaluation du confort thermique reposent encore sur des indicateurs peu représentatifs de l'ambiance thermique réelle. Les critères de confort selon la norme EN14750-1 (cat.B) [3] ne considèrent que des valeurs stabilisées de température et de vitesse de l'air, ainsi que des conditions physiologiques stationnaires de l'utilisateur. Or, les passagers sont soumis à des conditions thermiques caractérisées par de fortes dynamiques dues aux transitions entre l'extérieur et l'intérieur mais aussi à cause des variations de leur métabolisme entre l'attente, l'entrée et le temps de trajet dans le tramway. Les phénomènes transitoires qui caractérisent le confort thermique dans un tramway ne sont pas appréhendés. En effet, la majorité des études existantes portent sur les bâtiments ou les cabines de véhicules individuels, tandis que les données expérimentales dans les transports collectifs urbains restent limitées [4]. Cette étude analyse l'effet de deux consignes de température (16 °C et 21 °C) sur le confort thermique des passagers dans une rame de tramway pendant une expérimentation in situ. Des mesures instrumentales détaillées ont été combinées à des enquêtes de perception subjective pour caractériser la relation entre l'ambiance thermique et la perception des passagers.

## 2. METHODOLOGIE

Pour évaluer les conditions thermiques réelles à bord d'un tramway et la perception thermique des usagers, une campagne d'essais a été menée le 15 février 2023 à La Rochelle en utilisant deux tramways identiques. L'objectif de cette expérience est de caractériser l'environnement thermique intérieur pour deux consignes (16 et 21 °C) afin d'évaluer les différences de confort thermique.

### 2.1. PRESENTATION DE CAS D'ETUDE ET INSTRUMENTATION

La campagne d'essai a été menée sur un tramway de la gamme Citadis d'ALSTOM de longueur totale (incluant les cabines de conducteur) de 33,5 m, largeur 2,4 m et hauteur sous plafond 2,5 m. Il se compose de plusieurs modules, motrices et caisses suspendues (Figure 1).

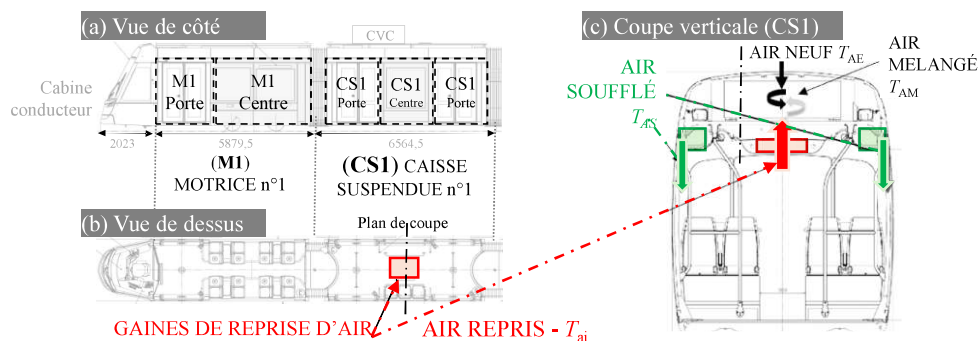


Figure 1 : Zones thermiques – vue de côté (a), dessus (b) et en coupe (c) du Tramway CITADIS

Le tramway est symétrique et équipé de deux unités de CVC situées au-dessus de chaque caisse suspendue (CS1 et CS2). La diffusion d'air conditionné se fait sur toute la longueur, et de chaque côté des voitures de tramway contrairement à la reprise qui se situe au centre sous les unités de CVC (Figure 1). Pour étudier l'ambiance thermique intérieure, une instrumentation a été mise en place d'une façon identique sur la motrice (M) et la caisse suspendue (CS) de chaque rame (Figure 2) : des capteurs de température d'air et de surface de type PT100, deux boules noires pour la température radiante, ainsi que des hygromètres TinyTag. L'instrumentation a été disposée de manière à limiter toute perturbation liée à la présence des participants. Les résultats présentés concernent uniquement les températures de l'air. Les températures radiantes n'ont pas été exploitées dans cette analyse, mais seront utilisées

ultérieurement pour le calcul d'indices de confort thermique. Les données d'hygrométrie et de vitesse de l'air n'ont pas pu être exploitées en raison de dysfonctionnements des capteurs.

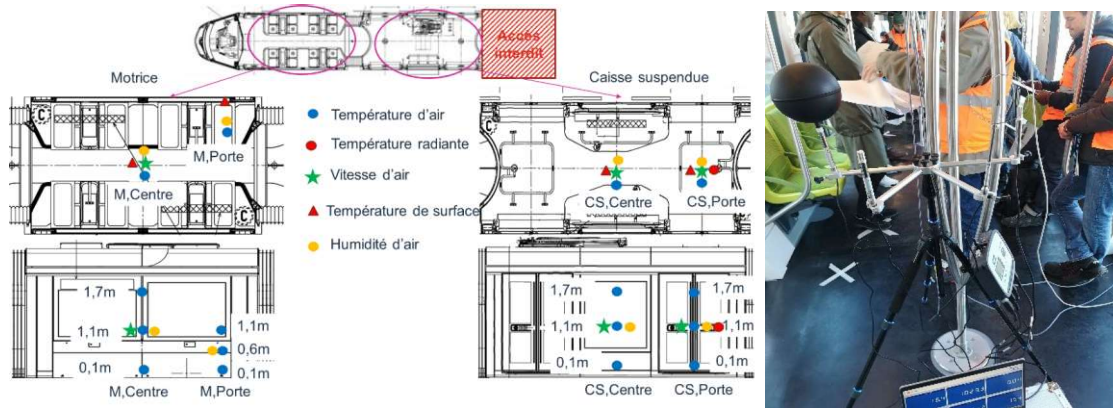


Figure 2 : Instrumentation intérieure

## 2.2. PARTICIPANTS ET QUESTIONNAIRE

Les participants sont des salariés d'Alstom ainsi que 8 étudiants de l'université de La Rochelle. Le nombre total de participants était de 39 personnes divisées en deux groupes (Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition des participants à l'expérience

	Femmes	Hommes	Assis	Debout	20-40 (ans)	41-62 (ans)
21 °C	8	12	5	15	11	9
16 °C	7	12	6	13	9	10

Les participants sont habillés en adéquation avec la température extérieure (environ 7 °C). Le niveau d'habillement n'a pas été imposé aux participants (variable propre à chacun). Chaque participant évalue son ressenti thermique (questionnaire) en utilisant l'échelle du Tableau 2.

Tableau 2 : L'échelle de ressenti et sensation thermique

Sensation	Très froid(-3)	Froid(-2)	Léger.froid(-1)	Neutre(0)	Léger.chaud(1)	Chaud(2)	Très chaud(3)
Ressenti	Confortable (1)			Non Confortable (0)			

La question sur la perception d'un flux d'air a été demandée aux participants. Ils pouvaient ajouter des commentaires sur leur perception thermique et indiquer leur localisation dans la rame en utilisant un marquage au sol servant de repère. Cette information a ensuite été vérifiée en la confrontant au plan de la rame, afin de s'assurer de la cohérence de la position déclarée par le participant.

## 2.3. PROTOCOLE D'ESSAI

Pendant la phase de conditionnement, qui a duré environ 40 min et durant laquelle les participants ont été exposés aux mêmes conditions extérieures avant d'entrer dans le tramway. Les procédures expérimentales et les questionnaires ont été expliqués et distribués à l'extérieur, où les participants sont restés debout. Ils ont ensuite été répartis en deux groupes qui sont montés dans chacune des rames sans les informer des différences de température. Ils ont évalué leur ressenti thermique avant de monter à bord, dès l'entrée dans la rame et chaque 2 minutes pendant toute la durée de l'expérience (30 min), puis immédiatement après la descente. Au cours de l'expérience, les tramways sont restés à l'arrêt tout en maintenant les cycles d'ouverture de portes toutes les 2 minutes. Ainsi, les participants ont mis à jour leur ressenti thermique après chaque cycle de porte. Les réponses qualitatives ont été numérisées et regroupées par paramètre pour l'analyse comparative des deux groupes.

### 3. RESULTATS

L'instrumentation mise en place dans les rames, a permis de mesurer les températures intérieures à différents niveaux et différents emplacements. Ainsi nous avons obtenu la distribution spatiale et temporelle de la température dans les deux rames.

#### 3.1. VARIATION TEMPORELLE DE L'AMBIANCE THERMIQUE DE LA VOITURE

L'évolution des températures d'air montre qu'à l'état initial de la première ouverture des portes pour permettre aux participants de monter dans les rames, les conditions intérieures n'étaient pas stabilisées, en particulier dans la rame chauffée à 21 °C (Figure 3).

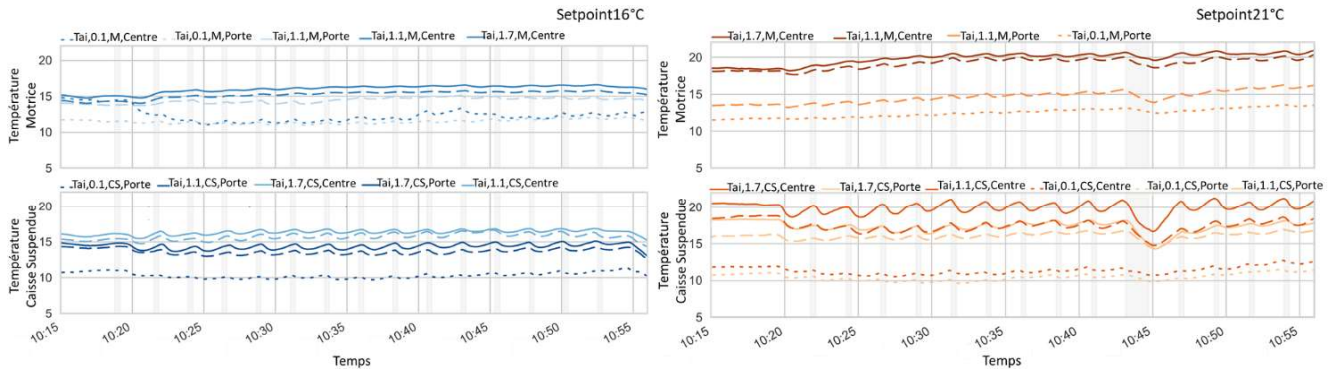


Figure 3 : Évolution de  $T_{Ai}$  à 1,70 m (trait continu), 1,1 m (discontinu), et 0,1 m (pointillés) dans les rames à 21 °C (orange) et 16 °C (bleu) – zones Motrice (M) et Caisse suspendue (CS)

Nous constatons que  $T_{ai}$  suit les cycles d'ouverture de portes en bandes gris clair (Figure 3). Un dysfonctionnement dans la rame chauffée à 21 °C a prolongé une ouverture à 2 min au lieu de 20 s. Cet incident a impacté la température d'air puisque celle-ci a chuté de 2 °C dans la motrice et de 4 °C dans la caisse suspendue (CS). Cet écart de température entre la motrice et la CS est dû au nombre de portes présentes dans chaque voiture. Comme l'illustre la Figure 1, la CS possède deux portes contre une seule pour la motrice. La remontée rapide de  $T_{ai}$  après cet incident confirme la réaction efficace des unités de CVC, avec une température de soufflage moyenne de  $T_{AS} = 33$  °C dans la rame chauffée à 21 °C. Avant cet incident de porte, nous constatons que le régime est quasiment établi entre 10h30 et 10h42. En effet, les  $T_{ai}$  oscillent autour des mêmes valeurs malgré les cycles de portes qui continuent. En plus l'écart de température entre les différentes hauteurs a tendance à se stabiliser aussi pendant cette période. Nous constatons que la rame chauffée à 16 °C présente une distribution de température plus homogène que celle à 21 °C. L'écart moyen de  $T_{ai}$  entre la motrice et la CS n'étant que de 2 K.

#### 3.2. DISTRIBUTION SPATIALE DE L'AMBIANCE THERMIQUE DE LA VOITURE

La Figure 4 permet de visualiser la variabilité verticale et horizontale de températures auxquelles étaient exposés les participants (seule la mesure à 0,1 m dans la Caisse Suspendue centrale [CS\_Centre] est manquante en raison du dysfonctionnement du capteur). Nous observons Figure 4 que la température d'air est plus homogène dans la rame chauffée à 16 °C avec un gradient horizontal de 2,3 K contre 4,8 K dans la rame à 21 °C. Ce gradient horizontal représente l'écart entre les températures d'air mesurées à 1,1 m du sol. Bien que la température d'air soit plus homogène dans la rame à 16 °C que dans celle à 21°C, il existe un écart entre les valeurs de  $T_{ai}$  mesurées à 0,1 m et celles de 1,1 m et 1,7 m. Ceci engendre un gradient vertical qui est plus ou moins élevé en fonction de la localisation. En effet, le gradient

vertical est plus haut au niveau de la CS en comparaison de M. Ceci est valable plus particulièrement pour la rame à 21 °C, puisqu’il passe de 8,8 K au niveau de CS\_Centre à 2,2 K au niveau de M\_Porte.

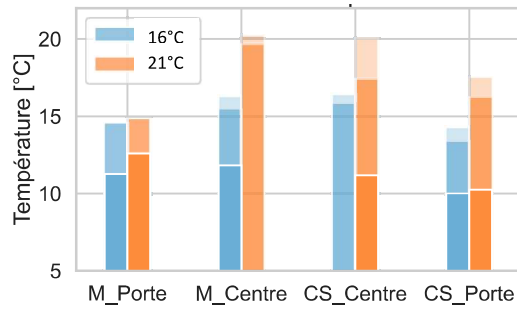


Figure 4 : Valeurs moyennes de  $T_{Air}$  de 10h30 à 10h42 (période stabilisée) – à 1,70 m (transparent), 1,1 m (semi-transparent), et 0,1 m (opaque) – zones Motrice (M) et Caisse suspendue (CS) dans les rames à 16 °C (bleu) et 21 °C (orange).

### 3.3. RESENTI THERMIQUE DES PASSAGERS

Pour comprendre l’influence de la distribution spatiale et verticale de la température sur le ressenti thermique des participants, nous avons tracé les courbes de leur ressenti thermique dans les deux rames comme illustré dans la Figure 5 et Figure 6 suivantes en fonction de leur genre et de leur posture. Le ressenti thermique des participants avant d’entrer dans la rame était froid. Dès l’entrée dans la rame, ce ressenti est amélioré pour devenir neutre. Les participants ont gardé ce ressenti thermique neutre (-1, +1) pendant les premières 20 min de l’expérience avant de se dégrader notamment dans la rame chauffée à 21 °C au moment de l’incident de la porte ouverte plus longtemps. Durant toute la durée de l’expérience, les femmes avaient un ressenti thermique plus froid que les hommes. Néanmoins, l’écart entre les hommes et les femmes est plus prononcé dans la rame chauffée à 21 °C.

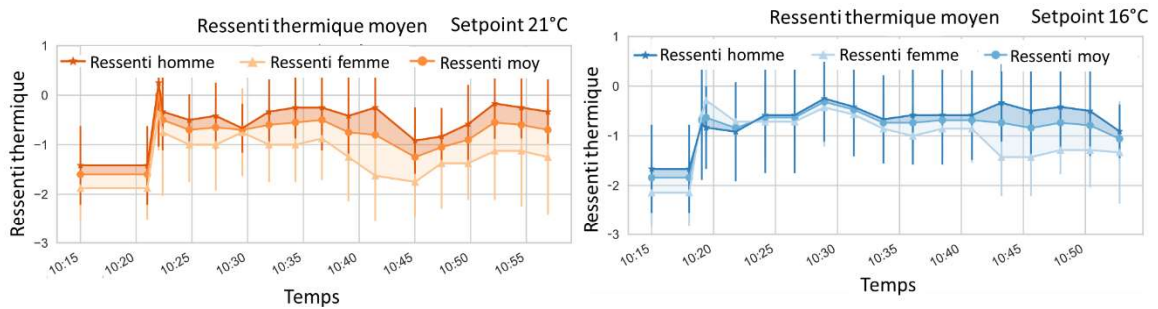


Figure 5 : Ressenti thermique moyen fonction du genre – rames à 16 °C (bleu) et 21 °C (orange).

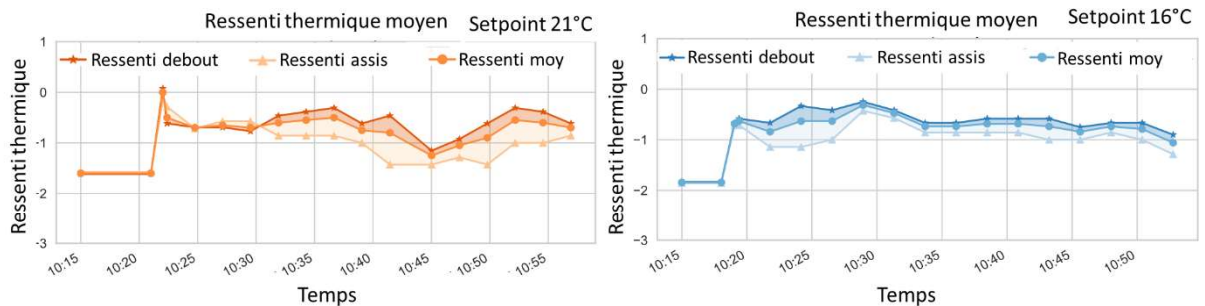


Figure 6 : Ressenti thermique moyen fonction de la posture

Avant d'entrer dans les rames, les participants étaient debout et avaient le même ressenti thermique. Pendant les 10 premières minutes, il n'y a pratiquement pas d'écart entre les personnes assises et debout dans la rame à 21 °C contrairement à la rame à 16 °C. Ensuite, le ressenti thermique des personnes assises devient moins élevé que celui des personnes debout. Néanmoins l'écart est plus prononcé dans les rames chauffées à 21 °C. Pour exclure l'incident de la porte ouverte longtemps dans la rame chauffée à 21 °C. Nous avons tracé le ressenti et le confort thermique moyen des participants dans les deux rames pendant la période stabilisée et nous avons obtenu les courbes présentées dans la Figure 7 suivante.

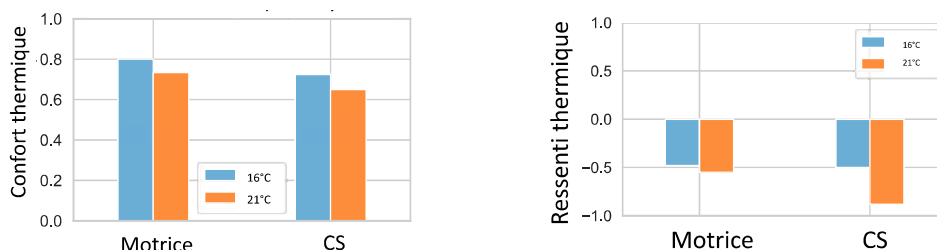


Figure 7 : Confort et ressenti thermique moyen – rames à 16 °C (bleu) et 21 °C (orange).

Le confort et ressenti thermique moyen correspond à une moyenne temporelle des réponses individuelles, collectées toutes les 2 minutes. Tous les participants ayant fourni le même nombre de mesures, les données ont été combinées afin d'obtenir une valeur moyenne globale représentative de l'ensemble de l'expérience. Les participants ont évalué la motrice plus confortable que la CS dans les deux rames. Le groupe de la rame chauffée à 16 °C a apprécié plus son environnement en comparaison du groupe de la rame chauffée à 21 °C. Néanmoins, l'écart entre la sensation thermique moyenne des deux groupes reste proche dans la motrice. Le ressenti thermique du groupe de la rame à 16 °C est globalement neutre. Alors que celui du groupe de la rame à 21 °C dépend davantage de la localisation. En effet, ce ressenti est neutre dans la motrice alors qu'il est légèrement froid dans la CS.

## 4. DISCUSSION

### 4.1. EFFET DE LA CONSIGNE DE TEMPERATURE SUR L'AMBIANCE THERMIQUE DE LA VOITURE

Les résultats obtenus montrent que la consigne de température plus basse conduit à un environnement thermique plus homogène et une réduction du gradient vertical. Seulement quelques études ont montré que, selon la configuration de ventilation et la position des diffuseurs, un soufflage plus froid par le plafond peut améliorer l'homogénéité thermique en renforçant le mélange de l'air [5], [6]. Ce phénomène est particulièrement pertinent dans le contexte des transports collectifs, où les ouvertures fréquentes de portes induisent des entrées d'air froid et des perturbations thermiques transitoires, susceptibles de modifier les mécanismes de convection naturelle et la distribution verticale de la température. Dans ce cadre, une température de soufflage plus basse contribue à limiter la stratification thermique et à améliorer l'homogénéité thermique dans les voitures de tramway.

### 4.2. EFFET DE L'AMBIANCE THERMIQUE SUR LE CONFORT THERMIQUE DES PASSAGERS

L'ambiance thermique à l'intérieur d'un tramway constitue un facteur déterminant du confort perçu par les usagers. La température de l'air, la vitesse d'air, l'humidité relative et la température radiante influencent directement la sensation thermique des passagers. La norme telle que l'ASHRAE Standard 55[7], souligne l'importance de limiter les gradients thermiques et les asymétries locales afin d'éviter l'inconfort. Elle préconise une limite de 3 K entre la tête et les pieds afin de satisfaire au moins 95% de

la population. La norme ferroviaire EN14750-1 [3] considère le gradient vertical de température de 8 °C comme la limite à ne pas dépasser pour garantir le confort thermique aux passagers. Les gradients verticaux obtenus dans notre étude varient en fonction de la localisation et de la consigne de température comme indiqué dans la figure 5. Avec la consigne à 21 °C la température de soufflage est de 33 °C et le gradient vertical varie entre 2,2 K et 8,8 K. Avec la consigne à 16 °C, le soufflage passe à 21 °C et le gradient entre 3,2 K et 4,4 K. Le ressenti passagers est alors plus favorable. Cette perception peut s'expliquer par l'interaction de plusieurs facteurs complémentaires, notamment : (1) L'homogénéité thermique de la rame ; (2) La température de soufflage moins élevée. En effet, plusieurs personnes du groupe de la rame à 21 °C ont mentionné dans leurs commentaires avoir la tête chaude et les pieds froids – ce gradient de température a été perçu par les participants comme inconfortable ; et (3) La température ambiante plus élevée dans la rame à 21 °C accentue la perception thermique de l'air froid à travers les portes ce qui rend ces conditions inconfortables.

Dans un environnement de transport dynamique et transitoire, l'influence des paramètres individuels sur le confort thermique est significative, car les passagers n'ont ni le même niveau d'activité, ni le même niveau d'habillement, ni la même sensibilité aux variations rapides. Nous avons constaté que les femmes sont plus sensibles aux variations de température en rentrant dans la rame. De plus leur ressenti thermique été globalement moins élevé que celui des hommes. En effet, des transitions thermiques rapides peuvent générer des surréactions physiologiques qui modifient la sensation thermique indépendamment de la température moyenne [8]. Par ailleurs, il est établi que, dans des environnements transitoires semblables au tramways (ouvertures de portes, fluctuations de température), les mécanismes de réponse thermique dynamique influencent significativement la sensation perçue, ce qui ne peut être pleinement appréhendé par les méthodes statiques classiques telles que PMV/PPD [9], [10]. Une tolérance thermique élevée et des plages d'acceptabilité plus larges que celles généralement retenues pour des espaces plus stables sont observées dans des études sur les métros. Ce qui suggère que l'adaptation et l'hétérogénéité des profils jouent un rôle majeur dans la perception du confort en transport [4]. La posture constitue par ailleurs un paramètre essentiel, car le niveau de métabolisme d'une personne assise est inférieur à celui d'une personne debout. Ainsi son ressenti thermique est moins élevé comme nous l'avons observé dans nos résultats.

## 5. CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser expérimentalement l'ambiance thermique intérieure de deux rames sous deux consignes de température différentes et d'analyser leur impact sur la perception du confort thermique des usagers. Les résultats mettent en évidence que la température de soufflage d'air influence directement l'homogénéité thermique et les gradients verticaux, et que le confort thermique dans un tramway ne dépend pas uniquement de la température d'air moyenne, mais également de sa distribution verticale. Les mesures réalisées montrent que les gradients verticaux moins élevés permettent une perception de confort thermique plus favorable, même dans un contexte caractérisé par des perturbations transitoires telles que les ouvertures de portes.

L'étude souligne par ailleurs l'importance des paramètres individuels (genre et posture) dans la perception thermique, confirmant ainsi que le confort thermique en transport collectif résulte d'une interaction complexe entre facteurs environnementaux et individuels. Ces observations suggèrent que l'optimisation des stratégies de régulation HVAC dans les véhicules de transport ne doit pas se limiter

à une consigne de température unique, mais intégrer des objectifs d'homogénéité thermique et de réduction des asymétries locales.

En perspective, les résultats mettent en lumière une limite des normes ferroviaires actuelles. Bien qu'elles intègrent des paramètres environnementaux (vitesse d'air, température de l'air, humidité relative et gradient de température), reposent majoritairement sur une approche stationnaire et accordent une place plus d'importance à la température ambiante moyenne, alors que les environnements de transport sont dynamiques et transitoires. L'importance observée des gradients verticaux de température suggère que l'évaluation du confort ne peut se limiter à un indicateur moyen, mais devrait intégrer aussi la distribution verticale. Dans cette optique, le développement de modèles de confort thermique dynamiques et hétérogènes, capables de prendre en compte la stratification thermique et les réponses physiologiques transitoires des usagers, constitue un axe de recherche prometteur.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Wang *et al.*, « Thermal environment and thermal comfort in metro systems: A case study in severe cold region of China », *Build. Environ.*, vol. 227, p. 109758, janv. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109758.
- [2] R. Hamidi Jahromi, S. Di Fraia, N. Massarotti, et A. Mauro, « Air quality and thermal comfort conditions in train cabins: a systematic review », *Energy Build.*, vol. 354, p. 116998, mars 2026, doi: 10.1016/j.enbuild.2026.116998.
- [3] M. Lerouge, « Membres de la commission de normalisation », p. 25.
- [4] T. Zou, J. Guan, Y. Wang, F. Zheng, Y. Lin, et Y. Zhao, « Research on the Thermal Comfort Experience of Metro Passengers Under Sustainable Transportation: Theory of Stimulus-Organism-Response Integration with a Technology Acceptance Model », *Sustainability*, vol. 17, n° 1, p. 362, janv. 2025, doi: 10.3390/su17010362.
- [5] X. Wu, H. Gao, M. Zhao, J. Gao, Z. Tian, et X. Li, « Experimental Study of Indoor Air Distribution and Thermal Environment in a Ceiling Cooling Room with Mixing Ventilation, Underfloor Air Distribution and Stratum Ventilation », *Buildings*, vol. 13, n° 9, p. 2354, sept. 2023, doi: 10.3390/buildings13092354.
- [6] J. Lyu, X. Feng, Y. Cheng, et C. Liao, « Experimental and numerical analysis of air temperature uniformity in occupied zone under stratum ventilation for heating mode », *J. Build. Eng.*, vol. 43, p. 103016, nov. 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.103016.
- [7] « ANSI/ASHRAE Addendum a to ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 ».
- [8] M. Vellei, « Derivation and validation of a whole-body dynamic mean thermal sensation model », *Build. Environ.*, vol. 256, p. 111469, mai 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111469.
- [9] F. Tartarini et S. Schiavon, « Comparative analysis of PMV Models accuracy implemented in the ISO 7730:2005 and ASHRAE 55:2023 », *Build. Environ.*, vol. 275, p. 112766, mai 2025, doi: 10.1016/j.buildenv.2025.112766.
- [10] M. Vellei, R. De Dear, J. Le Dreau, et J. Nicolle, « Thermal alliesthesia under whole-body step-change transients », *E3S Web Conf.*, vol. 396, p. 01003, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202339601003.