

GUIDE DE L'ÉVALUATION DU CONFORT THERMIQUE EN MILIEU TROPICAL HUMIDE



Porteur de projet



Partenaire 1



Partenaire 2



1. Introduction

Le projet COCO (Confort Optimisé pour réduire la Climatisation en Outre-mer) est un projet qui a permis d'évaluer le confort thermique des bâtiments à La Martinique et à Mayotte dans l'objectif de réduire la consommation énergétique liée à la climatisation dans les bâtiments tertiaires et les logements.

En climat tropical, la notion de confort thermique est déterminante dans un objectif d'utilisation rationnelle de l'énergie. En effet, lorsque le confort thermique des usagers ne peut être atteint par des moyens passifs (ventilation naturelle, protection solaire, végétalisation des abords), des moyens actifs (climatisation) sont mis en œuvre, induisant une forte croissance des consommations énergétiques des bâtiments. Il est bien évident que pour obtenir des conditions de confort passif satisfaisantes il faut soigner les abords du bâtiment et la performance thermique de celui-ci (végétalisation, isolation de toiture, ventilation naturelle,...).

L'objectif du projet COCO n'était pas de s'intéresser à la qualité thermique du bâti mais de savoir quelles sont les limites de l'adaptation du corps humain aux conditions tropicales humides.

Pour réaliser cette mission nous avons choisi 2 territoires d'outre-mer : La Martinique et Mayotte. Bien que situées de part et d'autre de l'équateur, les îles de la Martinique et de Mayotte présentent des similitudes en termes de climat. Les températures maximales moyennes mensuelles atteignent 31-32°C lors des mois les plus chauds. Ces températures sont associées à des taux d'humidité supérieurs à 50%, ce qui place ces climats dans les limites des conditions de confort en fonctionnement passif. Sur les deux îles, les saisons « fraîches » sont peu marquées et correspondent à environ 4 mois par an (de décembre à mars pour La Martinique et de juillet à octobre pour Mayotte).



Figure 1 : Carte du Monde ciblant la Martinique et Mayotte

La période de réalisation des enquêtes (période de covid, difficulté à obtenir des accords sur les deux territoires) ne nous a pas laissé beaucoup de temps pour explorer les différentes pistes que nous voulions étudier. Nous nous sommes donc focalisés sur l'approche la plus utilisée et la plus visuelle : le diagramme de l'air humide et le comparatif des résultats aux différentes zones de Givoni¹.

¹ Givoni : Architecte israélien, pionnier de l'architecture bioclimatique. Il a établi un diagramme de confort thermique réalisé à partir d'enquêtes en climat tempéré méditerranéen. Le diagramme de Givoni définit des zones de confort selon la température, l'humidité de l'air et pour différentes plages de vitesse d'air sur le diagramme de l'air humide.

2. Résumé de l'étude COCO

La méthode choisie pour évaluer le confort thermique est de croiser des mesures physiques des paramètres de l'ambiance (température de l'air, température rayonnante, taux d'humidité et vitesse de l'air) à des questionnaires évaluant le confort auprès des usagers de différentes catégories de bâtiments tels que des bureaux, des logements, des commerces et des établissements scolaires.

Un total de 4 142 enquêtes a été réalisé sur les 2 territoires (2 042 pour la Martinique et 2 100 pour Mayotte).²

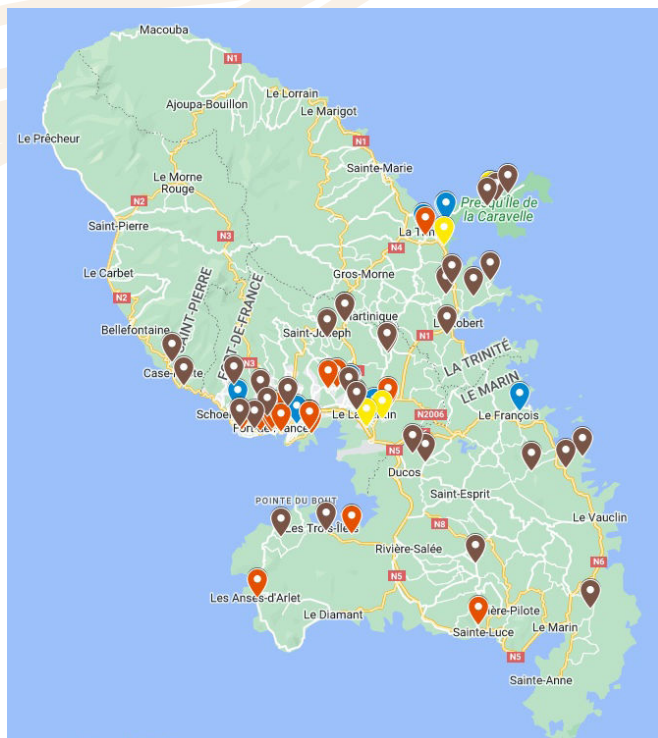


Figure 2 : Répartition des enquêtes sur le territoire Martiniquais

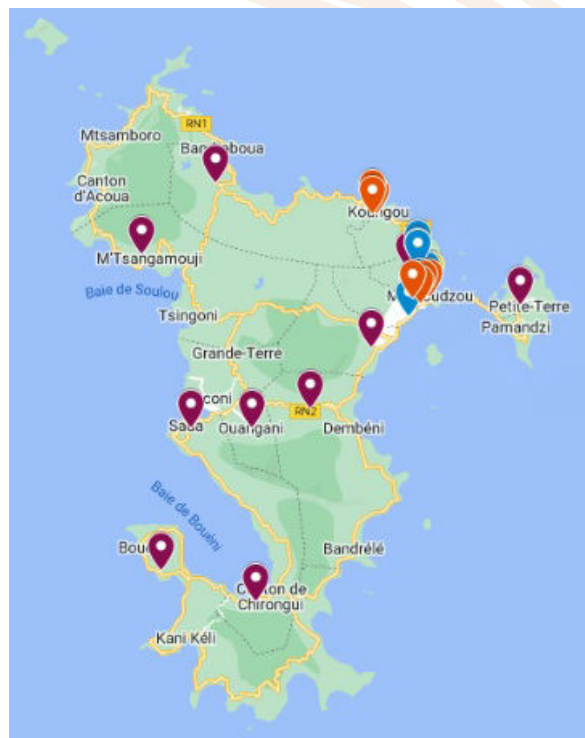


Figure 3 : Répartition des enquêtes sur le territoire Mahorais

	Nombre d'enquêtes réalisées	
	Martinique	Mayotte
Enseignement	1 504	1 284
Commerces	201	505
Bureaux	249	217
Logements	88	70 (+ 24) ³
TOTAL	2 042	2 100

Tableau 1 : Nombres d'enquêtes minimales / nombre d'enquêtes réalisées par territoire

Sur les deux territoires les enquêtes ont été réalisées sur l'ensemble des saisons climatiques. Elles couvrent une plage de températures assez large entre 24 et 34°C et des humidités relatives variant de 40% à 85% (les humidités de 40% sont rencontrées dans des locaux climatisés).

² Le détail des enquêtes et des protocoles mis en place sont développés dans le chapitre 2 du « Rapport d'analyse des enquêtes réalisées à La Martinique et à Mayotte ».

³ Les résultats de 24 enquêtes ont été oubliés dans le traitement des données qui est réalisé sur 2 076 enquêtes et non 2 100 enquêtes.

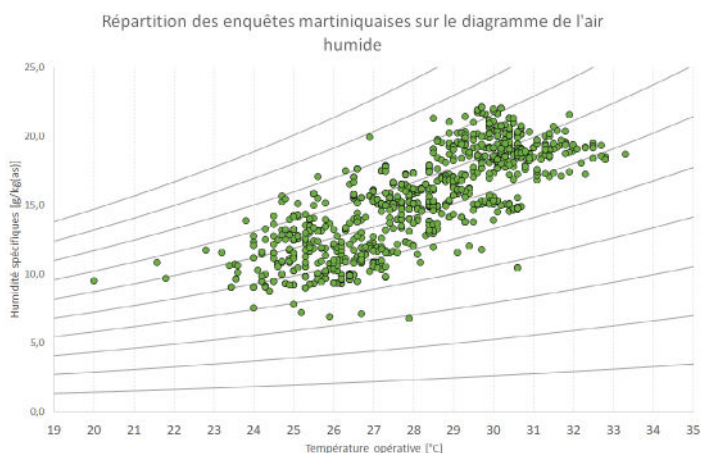


Figure 4 : La répartition des enquêtes martiniquaises sur le diagramme de l'air humide

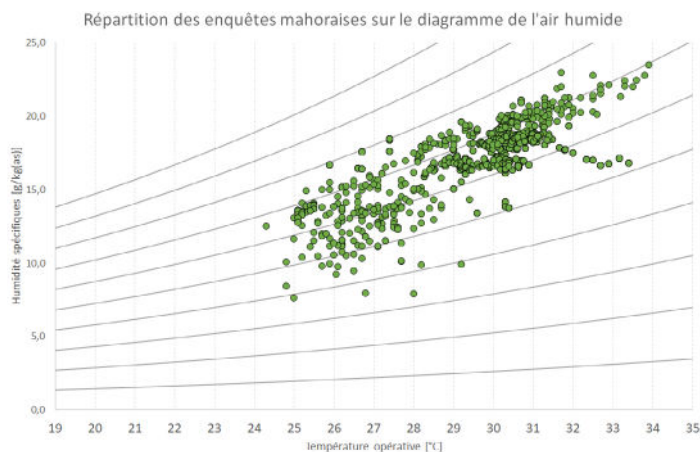


Figure 5 : La répartition des enquêtes mahoraises sur le diagramme de l'air humide

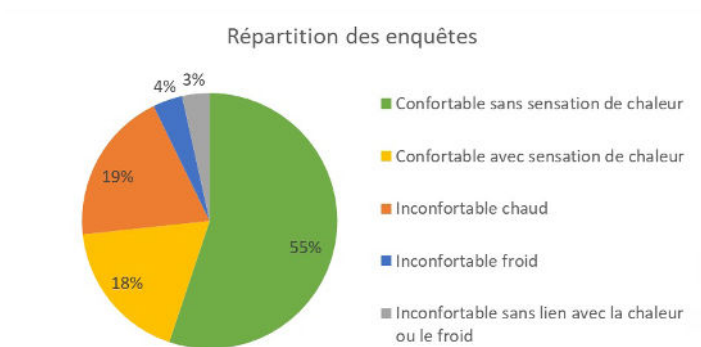


Figure 6 : répartition des sensations de confort déclarées lors des enquêtes à La Martinique

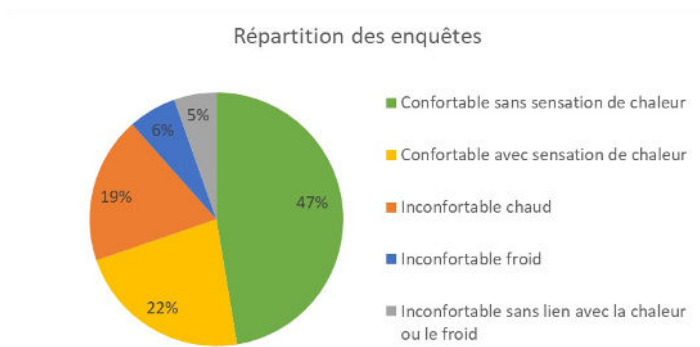


Figure 7 : répartition des sensations de confort déclarées lors des enquêtes à Mayotte

Sur les 2 042 enquêtes réalisées à La Martinique,

- 73% des personnes déclarent être en situation de confort dont 18% avec une sensation de chaleur,
- 19% se déclarent en inconfort lié à la chaleur et 4% lié au froid,
- 3% des personnes enquêtées se déclarent en inconfort sans lien avec la chaleur ou le froid.

Ce dernier lot d'enquête n'a pas été intégré aux résultats présentés car l'inconfort est probablement lié à d'autres paramètres.

Sur les 2 076 enquêtes réalisées à Mayotte,

- 70% des personnes déclarent être en situation de confort dont 22% avec une sensation de chaleur,
- 19% se déclarent en inconfort lié à la chaleur et 6% lié au froid,
- 5% des personnes enquêtées se déclarent en inconfort sans lien avec la chaleur ou le froid.

Ce dernier lot d'enquête n'a pas été intégré aux résultats présentés car l'inconfort est probablement lié à d'autres paramètres.

L'étude a révélé que le ressenti de confort thermique sur les deux territoires est similaire. Il a été donc possible de fusionner les deux bases de données pour avoir un meilleur traitement statistique.

L'analyse de l'ensemble des enquêtes sur les 2 territoires pour lesquelles la vitesse d'air était nulle ou très faible ($<0,2$ m/s) donne les résultats suivants :

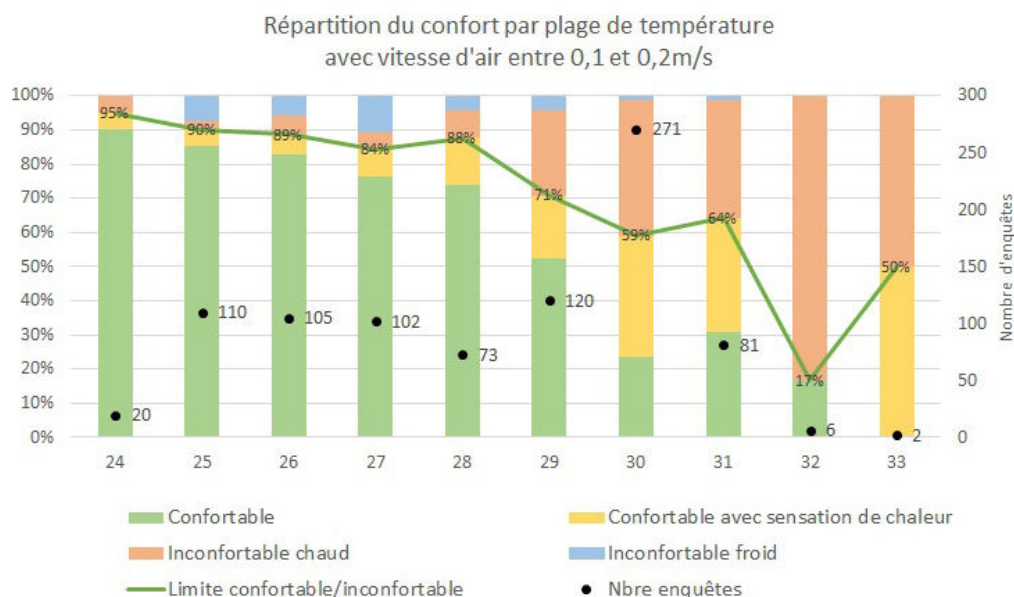


Figure 8 : répartition du confort par plage de température pour les enquêtes avec une vitesse d'air nulle à très faible – 1 701 enquêtes sur les 2 territoires

On constate que 83% des personnes interrogées déclarent être en confort pour une température atteignant les 28°C. Ce résultat est valable pour une hygrométrie relative allant jusqu'à 70% car nous n'avons pas d'enquêtes avec une hygrométrie plus haute à cette température.

A 29°C il y a une perte de 20% qui marque la limite de la notion de confort avec une vitesse d'air très faible.

Ces résultats semblent montrer qu'il est possible d'agrandir la zone de confort à 0 m/s décrite dans le diagramme de Givoni. L'intégration des résultats des enquêtes sur le diagramme de l'air humide permet d'illustrer cela :

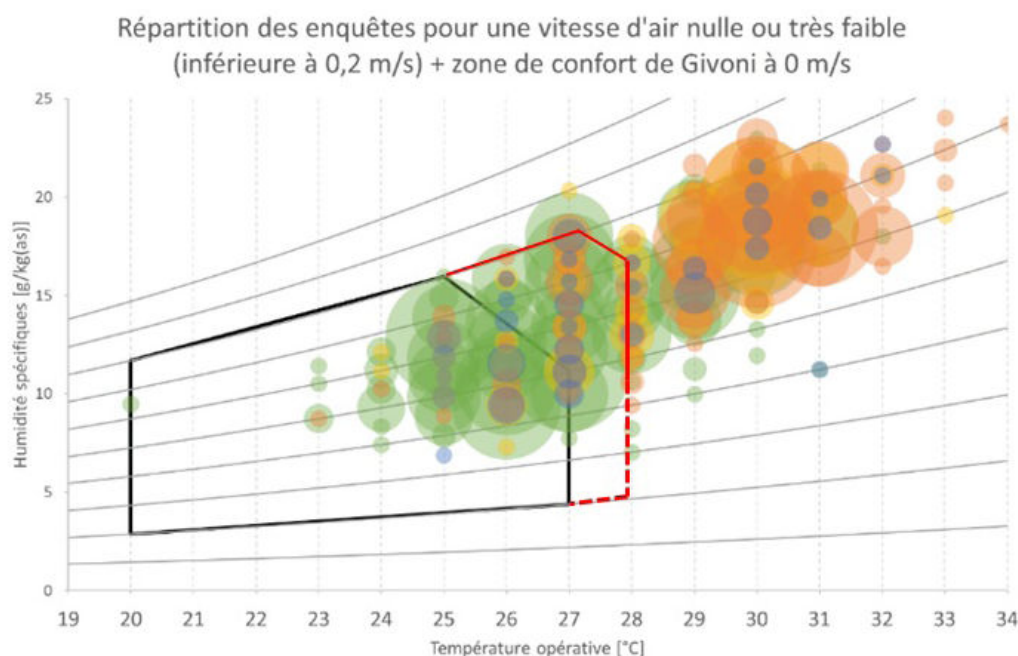


Figure 9 : proposition d'agrandissement de la zone de confort à vitesse d'air nulle à très faible en rouge

L'analyse de l'ensemble des enquêtes sur les 2 territoires avec une vitesse d'air significative (entre 0,5 et 1 m/s) donne les résultats suivants :

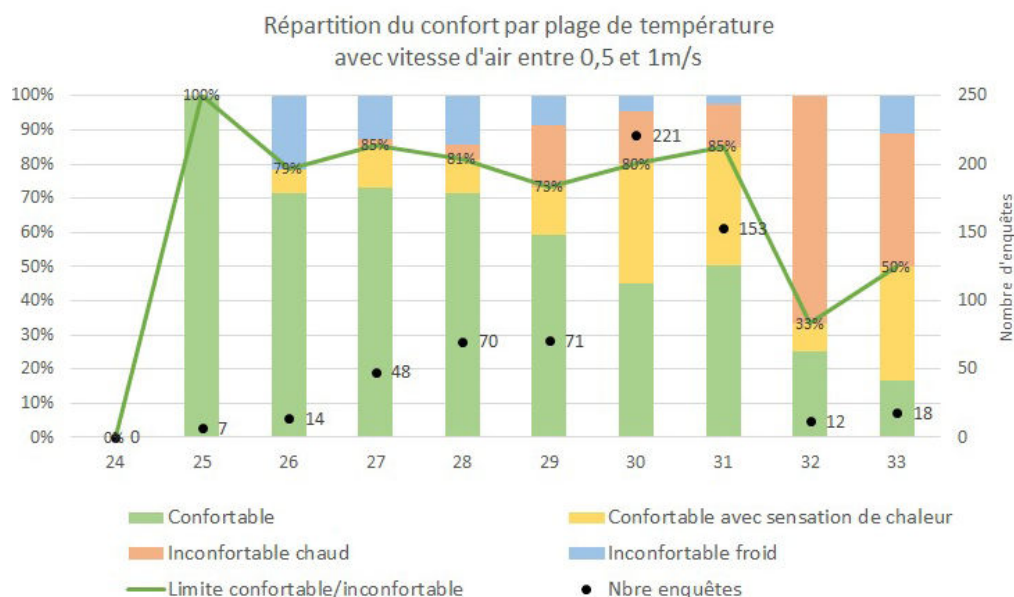


Figure 10 : répartition du confort par plage de température pour une vitesse d'air entre 0,5 et 1 m/s – 646 enquêtes sur les 2 territoires

L'ensemble des enquêtes avec une vitesse d'air comprise entre 0,5 à 1m/s montre que jusqu'à 31°C les personnes se déclarent en confort à 85%. Ce résultat est valable pour une hygrométrie relative allant jusqu'à 75% car nous n'avons pas d'enquêtes avec une hygrométrie plus haute à cette température.

Par contre, le taux de personnes déclarant être en confort chute à 33% pour une température de 32°C.

Ces résultats semblent montrer qu'il est possible d'agrandir la zone de confort à 1 m/s décrite dans le diagramme de Givoni. L'intégration des résultats des enquêtes sur le diagramme de l'air humide permet d'illustrer cela :

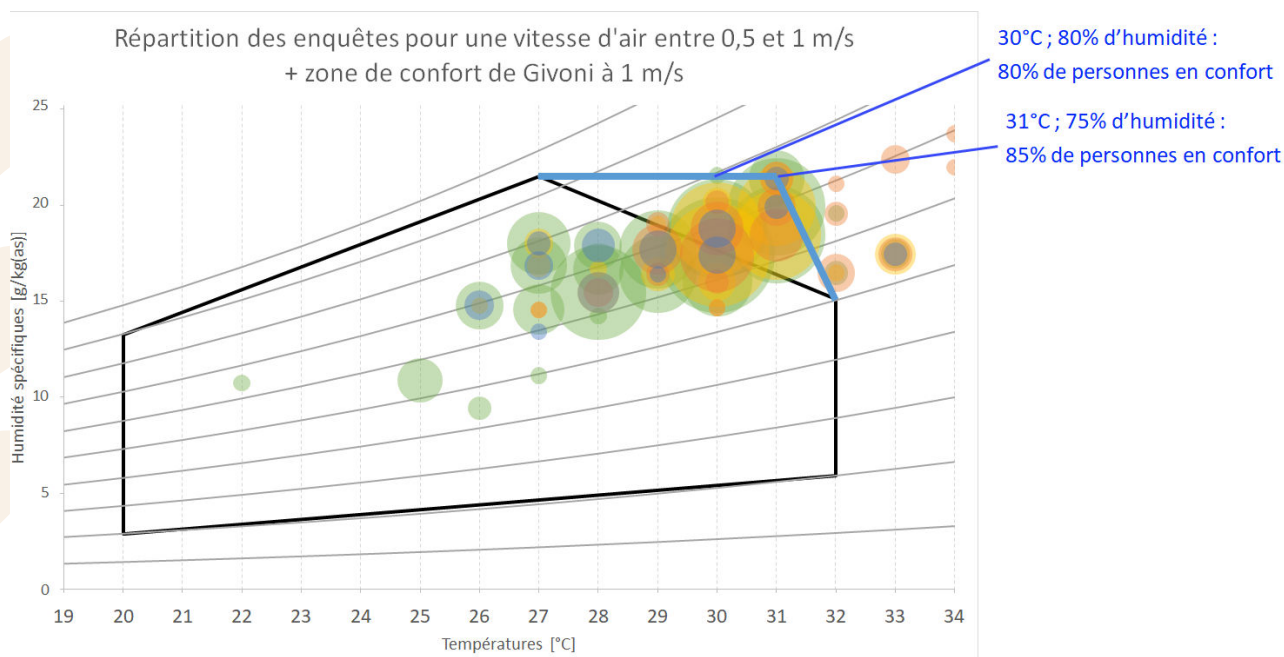


Figure 11 : proposition d'agrandissement de la zone de confort à 1 m/s en bleu

3. Les enseignements de l'étude COCO

Le projet COCO a eu pour but de qualifier les niveaux de confort hygrothermique en milieu tropical humide en recherchant les conditions limites du confort passif (en ventilation naturelle sans recours à un système de traitement d'air) en fonction des variables suivantes : la température, l'humidité relative et la vitesse d'air. D'autres paramètres comme le CLO⁴ et l'acclimatation ont été également enregistrés pour évaluer leur impact sur le confort des personnes interrogées.

Nous avons volontairement fait abstraction de la qualité passive des bâtiments occupés par les personnes interrogées. L'objectif de l'étude étant de qualifier le niveau de confort des occupants, pas d'évaluer la performance thermique de ces bâtiments. Nous avons néanmoins mis en place un garde-fou avec la mesure de la température opérative qui traduit plus le ressenti des personnes que la température de l'air ambiant. Globalement, sur un échantillon de 4 142 personnes, l'écart entre la température opérative et la température d'air est de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Seuls 12 mesures (soit 0,29%) présentent un écart supérieur à 1°C et 4 mesures (soit 0,1%) présentent un écart de plus de 2°C . Ces derniers sont tous dans des locaux climatisés.

Sur la base de l'ensemble des données récoltées et traitées sur les territoires de La Martinique et de Mayotte, nous proposons une évolution du diagramme de confort adapté au climat tropical :

Concernant le CLO, la moyenne est à la Martinique de 0,49 et à Mayotte de 0,44, ce qui correspond à une vêtue supérieure aux recommandations comme tenue tropicale (CLO = 0,3). Cela est en parti dû aux pratiques et coutumes locales : port de l'uniforme dans les établissements scolaires en Martinique, port de l'habit traditionnel (le Salouva) à Mayotte. Avec l'échantillon disponible, il n'a pas été possible d'identifier clairement une corrélation entre taux de confort et habillement à la fois sur l'échantillon complet, mais également en discrétisant les conditions climatiques par pas de températures et d'humidités.

Du point de vue de l'acclimatation entre 83 et 87% des personnes interrogées sont présentes sur ces territoires depuis plus de 5 ans et 12% depuis plus de 6 mois. Nous pouvons considérer que l'échantillon de l'étude est acclimaté au climat tropical humide.

Les 4 142 enquêtes réalisées sur les territoires de La Martinique et Mayotte sur le secteur tertiaire (bureaux, commerces et enseignement) et dans les logements ont mis en évidence, qu'en milieu tropical humide, les occupants ont une tolérance à la température et à l'humidité relative plus importante que les limites définies dans le diagramme de Givoni existant.

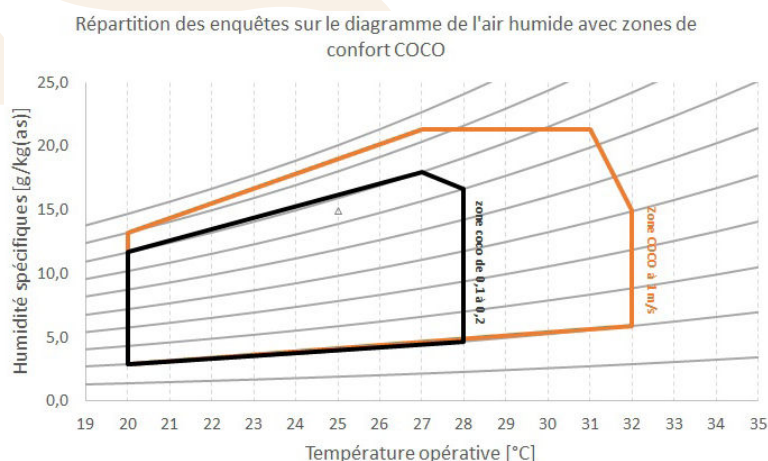


Figure 12 : Diagramme de confort COCO⁵

Ce diagramme est applicable sur les territoires étudiés (Martinique et Mayotte) mais également en Guadeloupe dont le climat est voisin de celui de La Martinique. A la Réunion, les conditions climatiques étant plus favorables (période fraîche plus longue), le degré d'acclimatation à des températures et humidités élevées des habitants reste à confirmer par des enquêtes locales. En Guyane, il en est de même car le climat est plus chaud et humide que dans les territoires étudiés.

⁴ Indicateur du niveau d'habillement

⁵ Un outil est adossé à ce guide permettant de matérialiser les taux de confort sur les diagrammes de Givoni et de COCO

1. Exemple d'application à un logement :

Comparaison du taux de confort calculé à partir des deux versions du diagramme de Givoni et de COCO avec des données de mesures réelles réalisées pendant une année dans un logement en Martinique :

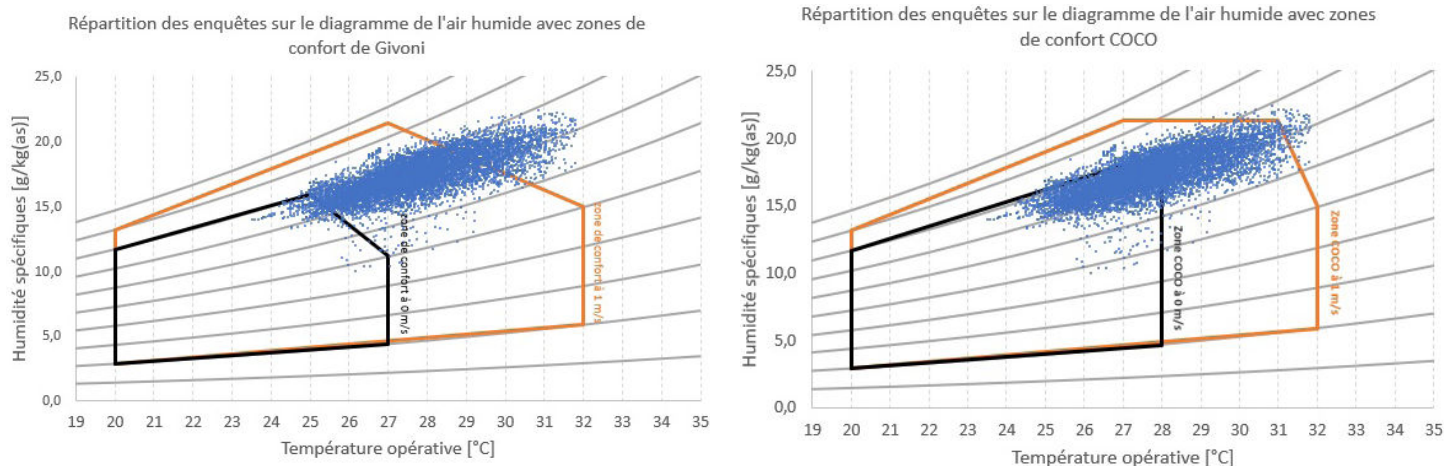


Figure 13 : Comparatif du diagramme de Givoni (à gauche) et de COCO (à droite) pour un logement

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort de Givoni	315	7126
Pourcentage des heures confortables selon Givoni	4%	81%

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort COCO	3787	8655
Pourcentage des heures confortables avec COCO	43%	99%

Selon le diagramme de Givoni, le nombre d'heures sur l'année entière considéré comme confortable est de 4% à 0 m/s alors qu'il est de 43% avec la nouvelle zone proposée dans le cadre du projet Coco. Par ailleurs, on atteint 99% du temps confortable à 1 m/s. Le résultat est plus positif et certainement plus représentatif de la réalité pour ce logement.

2. Exemple d'application à une salle de classe :

Comparaison du taux de confort calculé à partir des 2 versions du diagramme de Givoni et de COCO avec des données de mesures réelles réalisées pendant le mois de mars dans une salle de classe à La Réunion :

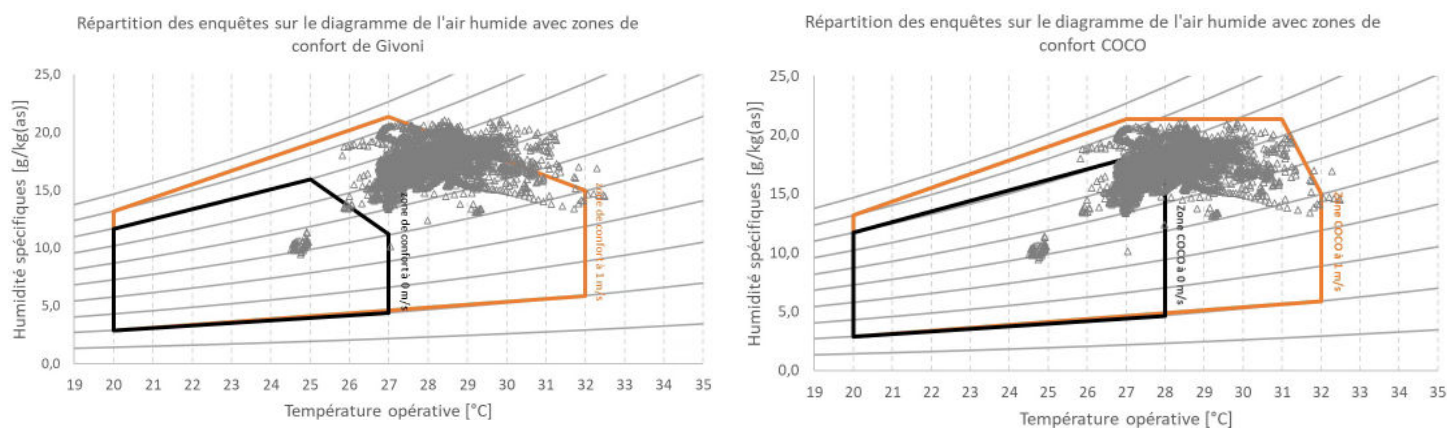


Figure 14 : Comparatif du diagramme de Givoni (à gauche) et de COCO (à droite) pour une salle de classe

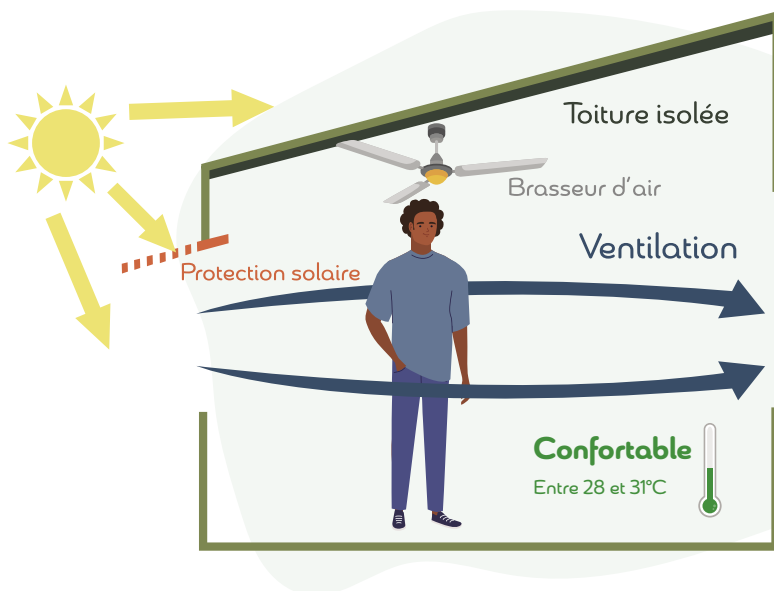
	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort de Givoni	55	3681
Pourcentage des heures confortables selon Givoni	1%	88%

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort COCO	1171	4168
Pourcentage des heures confortables avec COCO	28%	100%

3. Le potentiel du confort passif en outre-mer :

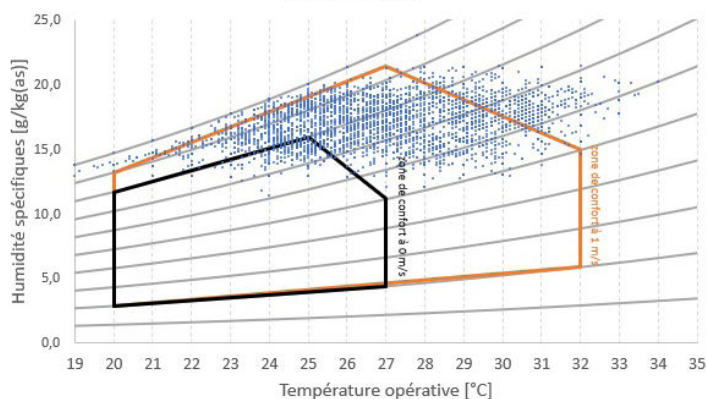
Un bâtiment performant thermiquement en climat tropical est un bâtiment dont l'environnement est largement végétalisé, avec une protection solaire idéale et une ventilation naturelle traversante efficace. Dans ce cas, le potentiel de confort théorique dans ce bâtiment est celui du fichier météo du lieu (pas de surchauffe induite à l'intérieur). Partant de cette hypothèse, selon le diagramme de Givoni et le diagramme Coco, le confort attendu dans chacun des 5 territoires d'outre-mer serait le suivant⁶ :

Notions de confort thermique

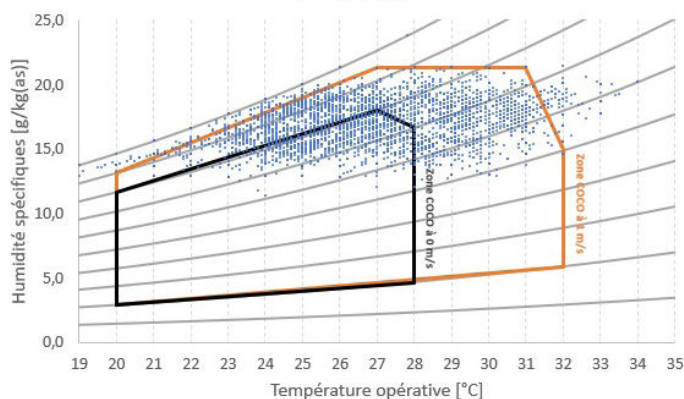


● Martinique : 14°N

Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort de Givoni



Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort COCO



Nombre d'heures totales : 8760

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort de Givoni	722	7170
Pourcentage des heures confortables selon Givoni	8%	82%

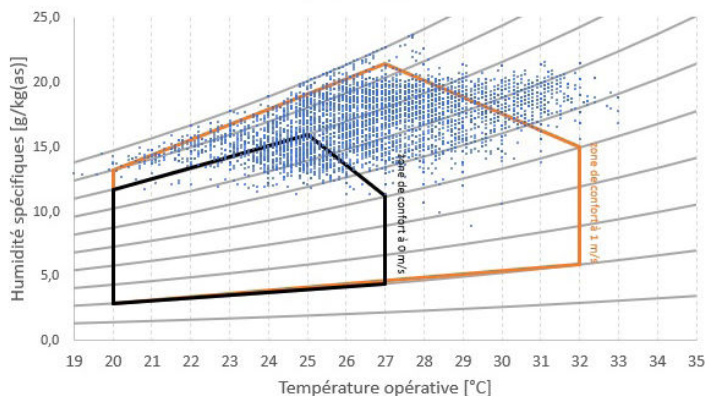
	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort COCO	2641	8260
Pourcentage des heures confortables avec COCO	30%	95%

D'après le diagramme Coco, il est possible d'atteindre le confort thermique passif 95% du temps sur une année à La Martinique avec une vitesse d'air de 1 m/s, contre 82% d'après le diagramme de Givoni.

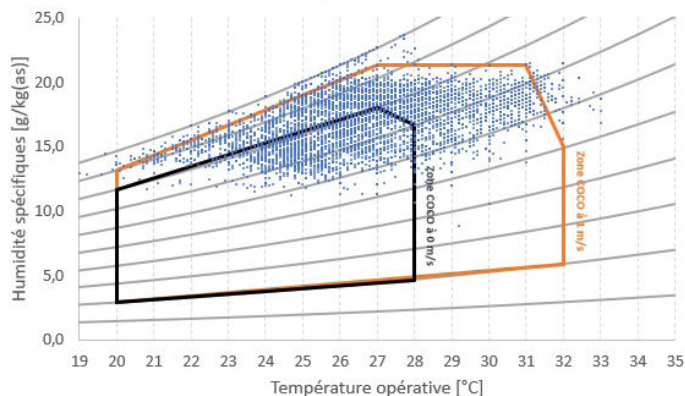
⁶ Les données météorologiques utilisées sont issues du site <https://climate.onebuilding.org/sources/default.html>

● Mayotte : 12°S

Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort de Givoni



Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort COCO



Nombre d'heures totales : 8760

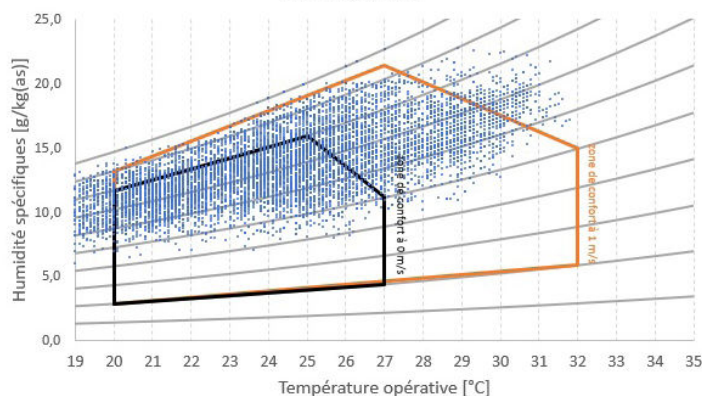
	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort de Givoni	926	6997
Pourcentage des heures confortables selon Givoni	11%	80%

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort COCO	3052	8315
Pourcentage des heures confortables avec COCO	35%	95%

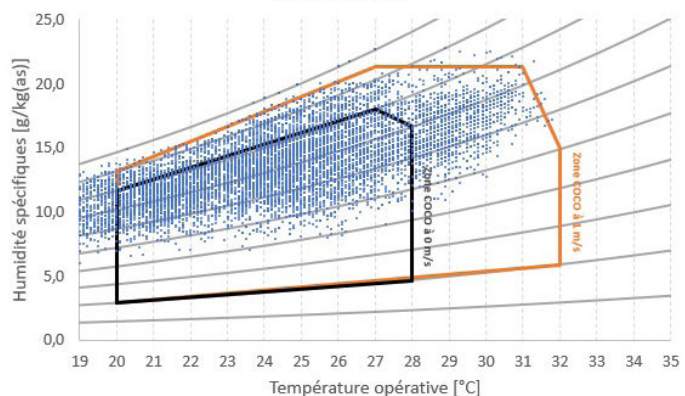
Il est possible d'atteindre le confort thermique passif 95% du temps sur une année à Mayotte avec une vitesse d'air de 1 m/s.

● Réunion : 21°S

Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort de Givoni



Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort COCO



Nombre d'heures totales : 8760

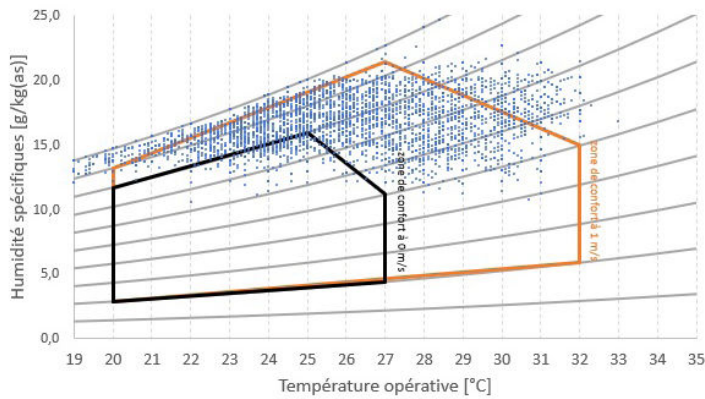
	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort de Givoni	4184	7742
Pourcentage des heures confortables selon Givoni	48%	88%

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort COCO	5537	8043
Pourcentage des heures confortables avec COCO	63%	92%

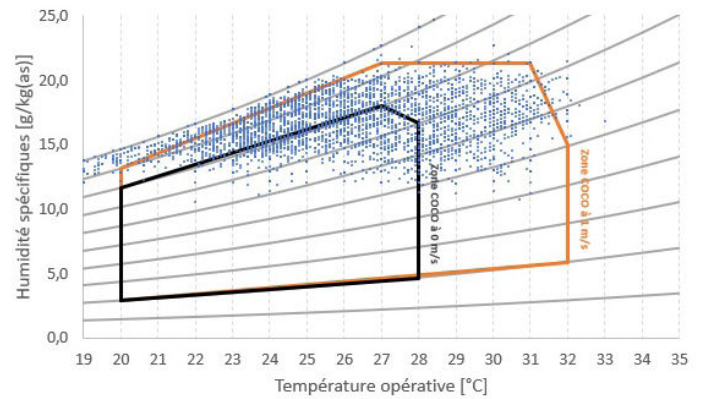
Il est possible d'atteindre le confort thermique passif 92% du temps sur une année à La Réunion. Ce faible taux s'explique par de l'inconfort froid pour les températures inférieures à 20°C. En faisant l'abstraction de cette partie le confort thermique passif est atteint 99% du temps. Il est même possible d'atteindre le confort 63% de l'année **sans vitesse d'air**.

● Guadeloupe : 16°N

Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort de Givoni



Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort COCO



Nombre d'heures totales : 8760

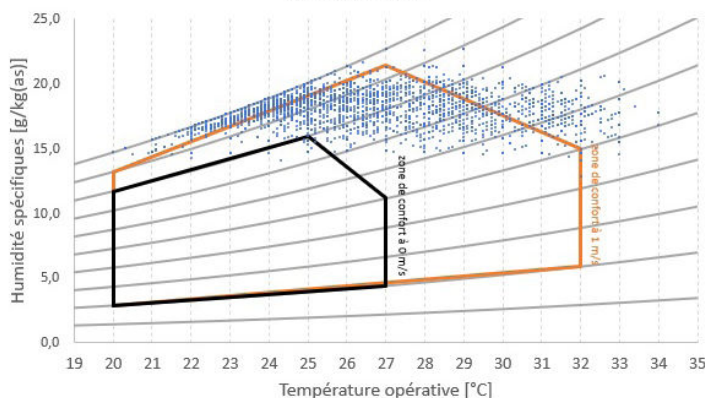
	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort de Givoni	681	6940
Pourcentage des heures confortables selon Givoni	8%	79%

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort COCO	2330	7811
Pourcentage des heures confortables avec COCO	27%	89%

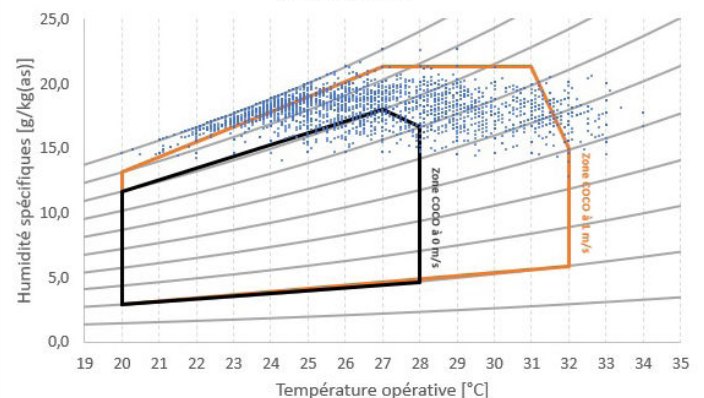
Il est possible d'atteindre le confort thermique passif 89% du temps sur une année en Guadeloupe. De même qu'à la Réunion mais dans une moindre mesure, il y a de l'inconfort froid et des taux d'humidité plus élevés à des températures relativement basses. En faisant abstraction des points froids, le taux de confort thermique passif est de 92% du temps.

● Guyane : 5°N

Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort de Givoni



Répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec zones de confort COCO



Nombre d'heures totales : 8760

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort de Givoni	32	5227
Pourcentage des heures confortables selon Givoni	0%	60%

	à 0 m/s	à 1 m/s
Nombre d'heures dans la zone de confort COCO	673	6437
Pourcentage des heures confortables avec COCO	8%	73%

En raison notamment des taux d'humidité élevés sur ce territoire, avec une part significative de points au-dessus de 95% d'humidité, le confort thermique passif est théoriquement plus compliqué à obtenir avec seulement 73% du temps sur l'année confortable. Il serait toutefois intéressant de confirmer cela en étudiant le ressenti de confort thermique sur ce territoire à une humidité supérieure à 95% pour des températures inférieures à 28°C.

Deuxième enseignement : La climatisation permet d'atteindre le confort à des températures élevées et génère de l'inconfort en dessous de 25°C

L'étude montre que l'inconfort lié au chaud n'est pas un sujet en milieu climatisé (bureaux, enseignement et commerces). On constate des taux de confort élevés (>80%), même avec des températures allant jusqu'à 28°C sans vitesse d'air. **La présence d'une vitesse d'air dans un local climatisé permet d'augmenter la température de consigne de la climatisation et réduit ainsi sa consommation énergétique.**

Par ailleurs, une part significative d'inconfort lié au froid est parfois exprimée dans les locaux climatisés (pour des températures inférieures à 25°C). Cette sensation d'inconfort froid est souvent liée à la présence d'un mouvement d'air.

