



**Confort optimisé pour réduire  
la climatisation en Outre-mer**



*Porteur de projet*



*Partenaire 1*



*Partenaire 2*

**Version 2 septembre 2023**

## Table des matières

<b>Note introductive au projet COCO</b>	<b>4</b>
<b>Confort Optimisé pour réduire la Climatisation en Outre-mer</b>	<b>4</b>
<b>Tâche 0 - BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES INDICATEURS DE CONFORT DANS LES MILIEUX TROPICAUX</b>	<b>7</b>
<b>1 Notion de confort thermique</b>	<b>8</b>
1.1 Confort thermique	8
1.2 Evaluation du confort thermique : indicateurs et outils graphiques	9
1.3 Appréciation des indices du confort thermique	15
<b>2 Evolutions et évaluations des indicateurs thermiques pour les milieux tropicaux</b>	<b>16</b>
2.1 Evolutions de l'évaluation du confort pour les milieux tropicaux	16
2.2 Evaluation des indicateurs existants pour le milieu tropical	18
<b>3 Etat de l'art des protocoles</b>	<b>20</b>
3.1 Questionnaire	20
3.2 Mesures conditions climatiques	23
<b>4 Sources</b>	<b>27</b>
<b>Tâche 1.1 - pratiques des Bureaux d'études et des architectes - Résultats des enquêtes</b>	<b>29</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>30</b>
<b>2 Résultats des enquêtes auprès des architectes</b>	<b>30</b>
2.1 Localisation des ateliers	30
2.2 Localisation de l'activité	31
2.3 Type de bâtiment construit	31
2.4 Approche bioclimatique	32
2.5 Le confort thermique des occupants	32
2.6 Justification de la performance thermique des projets	32
2.7 Intégration d'un thermicien dans l'équipe de maîtrise d'œuvre	33
2.8 L'accompagnement d'un thermicien	33
2.9 Bilan sur la quantité thermique de bâtiment après sa conception	33
2.10 Les paramètres de confort thermique	34
2.11 Connaissance du diagramme de Givoni	34
2.12 Leurs attentes	34
<b>3 Résultats des enquêtes auprès des bureaux d'études</b>	<b>35</b>
3.1 Missions d'accompagnement du volet environnemental des projets	35
3.2 Attente des maîtres d'ouvrage	36

3.3	Les outils d'évaluation thermique utilisés _____	36
3.4	Bilan sur la quantité thermique de bâtiment après sa conception _____	37
3.5	Les indicateurs de suivi du confort thermique _____	37
3.6	Cohérence des résultats des simulations avec le terrain _____	38
3.7	Compréhension par les maîtres d'ouvrage des indicateurs utilisés _____	38
3.8	Le confort thermique en mode non climatisé _____	39
3.9	Le confort thermique en mode climatisé _____	40
<b>Tâche 1.2 - Protocoles de mesures &amp; questionnaires _____</b>		<b>41</b>
<b>1</b>	<b>Protocole de mesures COCO _____</b>	<b>42</b>
1.1	Bibliographie pour la démarche _____	42
1.2	Matériel & méthode _____	43
1.3	Bureaux _____	43
1.4	Commerces _____	62
1.5	Logement _____	67
1.6	Enseignement _____	74
<b>Tâches 2 &amp; 3 - analyse des enquêtes réalisées en Martinique et à Mayotte _____</b>		<b>78</b>
<b>1</b>	<b>Réalisation des enquêtes _____</b>	<b>79</b>
1.1	Objectifs initiaux _____	79
1.2	Enquêtes réalisées _____	79
1.3	Protocole de mesures et moyens mis en œuvre _____	80
1.4	Bilan des enquêtes _____	83
<b>2</b>	<b>Résultats par territoire Martinique/Mayotte _____</b>	<b>85</b>
2.1	Caractéristiques de l'échantillon : _____	85
2.2	Analyse sur l'ensemble des enquêtes _____	90
2.3	Analyse par type de bâtiments _____	102
2.4	Conclusions _____	110
<b>3</b>	<b>Compilation des données Martinique/Mayotte _____</b>	<b>111</b>
<b>4</b>	<b>Conclusions _____</b>	<b>115</b>

# **NOTE INTRODUCTIVE AU PROJET COCO CONFORT OPTIMISE POUR REDUIRE LA CLIMATISATION EN OUTRE-MER**

Le projet COCO (Confort Optimisé pour réduire la Climatisation en Outre-mer) vise à 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.

Nous sommes partie du contexte suivant :

- De plus en plus de climatiseurs sont installés, en 2050, il pourrait y avoir 4 fois plus de climatiseurs dans le monde.
- Le taux d'équipement des ménages en climatisation est de l'ordre de 25 % à Mayotte et 50 % à La Martinique.
- Les réglementations thermiques en application ne tiennent pas ou peu compte du confort thermique.
- Le document existant aujourd'hui (le diagramme de Givoni) n'est pas adapté au climat tropical.

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, la Martinique et 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).

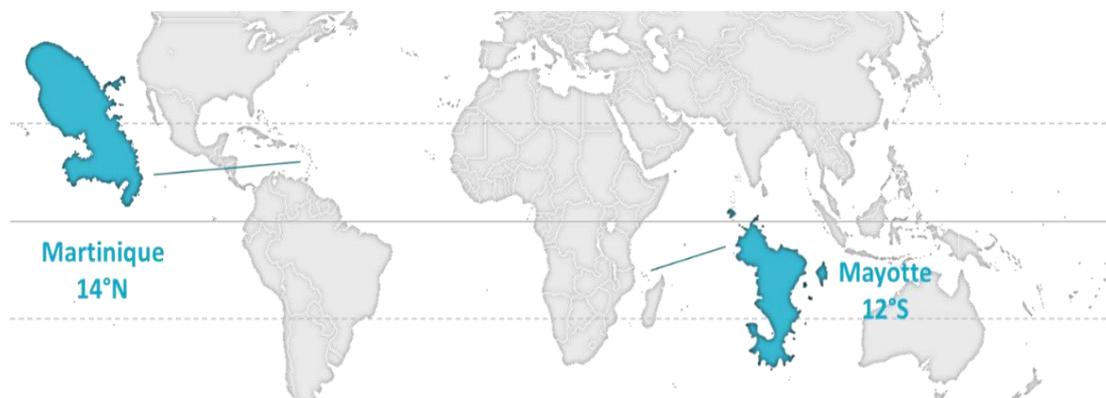


Figure 1 : Carte du Monde ciblant la Martinique et Mayotte

Ce projet est réalisé par le bureau d'étude IMAGEEN basé à la Réunion, l'association KEBATI situé à La Martinique et le bureau d'étude Watt Smart implanté en Martinique.

L'étude bibliographique réalisée en début du projet COCO, montre qu'il n'y a pas de méthode généralisable à l'ensemble des zones climatiques ou aux différents types de bâtiments (ventilation naturelle ou air conditionné). Le PMVe est un modèle PMV avec un facteur « e » qui traduit l'adaptation psychologique et la réduction du métabolisme en corrigeant la différence entre le PMV calculé et le ressenti des occupants d'un bâtiment en ventilation naturelle dans un milieu chaud et humide.

$$PMVe = e \times PMV$$

Le PMV ajusté (PMVe) permet d'obtenir des résultats proches de la sensation thermique réelle dans une salle de classe. L'écart est ainsi diminué entre la prédiction et la perception réelle.

Le facteur « e » varie entre 0.5 et 1. Ce paramètre a été déterminé pour Singapour (latitude 1°N)  $e=0,7$  et pour Brisbane (27°S) à  $e=0,9$ . Le paramètre « e » est déterminé à partir de l'écart entre la régression linéaire prédit et la régression linéaire obtenu avec les réponses aux questionnaires. Ce facteur traduit les habitudes des occupants au climat chaud et à l'occupation de bâtiment non-climatisé.

L'approche PMVe aurait dû être traité dans ce rapport mais avec les difficultés rencontre sur le terrain, nous avons fini les enquêtes trop tard pour pouvoir tester la méthode PMVe. Nous avons privilégié le traitement du diagramme de Givoni en premier car ce dernier nous semble plus lisible en termes de lecture du confort thermique.

# **TACHE 0 - BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES INDICATEURS DE CONFORT DANS LES MILIEUX TROPICAUX**

# 1 Notion de confort thermique

## 1.1 Confort thermique

### 1.1.1 La notion de confort thermique

Le confort thermique est une notion de ressenti spécifique à chaque individu. Elle peut être définie comme un degré de désagrément ou de bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement (intérieur du bâtiment).

Le confort est donc lié à l'interaction entre l'individu ayant une perception propre et l'environnement caractérisé par une ambiance physiquement mesurable. On distingue deux types de paramètres :

- **Le paramètre physique** : défini par les interactions physiques que l'individu a avec son environnement
- **Le paramètre psychologique (et sensoriel)** : caractérisé par les sensations de confort éprouvé par l'homme. Ce paramètre est subjectif et propre à chaque individu.

Le paramètre psychologique dépend de nombreux facteurs complexes comme la culture, perception de l'environnement, le bien-être psychique, le stress... Il est trop complexe et diversifié pour être étudié.

*La définition la plus classique et assez simpliste du confort thermique est l'absence d'inconfort.*

### 1.1.2 Les paramètres affectant le confort thermique

Les études se concentrent donc sur les paramètres physiques influençant les échanges thermiques entre l'individu et son environnement :

#### 1.1.2.1 Mécanisme physique d'échange

Ces échanges se font suivant plusieurs mécanismes distincts :

- **Par rayonnement** : rayonnements infrarouges entre le corps et l'environnement (parois)
- **Par conduction** : contact direct entre le corps et l'environnement (les mains ...)
- **Par convection** : échange de chaleur entre le corps et l'air ambiant.
- **Par évaporation** : la transpiration en s'évaporant rafraîchit la surface de la peau.

#### 1.1.2.2 Facteurs physiques qui influencent les échanges thermiques

Certains facteurs physiques influençant les échanges thermiques dépendent de l'environnement et d'autres facteurs sont propres à l'individu.

Paramètres physiques de l'environnement	La température de l'air et ses fluctuations (convection)
	Le rayonnement thermique (rayonnement infra-rouge))
	La température des objets avec lesquels la personne est en contact (conduction)
	L'humidité de l'air (évaporation)
	La vitesse de l'air (évaporation)

La température ambiante est un paramètre essentiel du confort thermique. Ce paramètre agit sur les échanges convectifs, conductifs et respiratoires. La température intérieure est également influencée par les gains thermiques internes comme les appareils électronique, l'éclairage, le métabolisme d'autres occupants de la pièce...

La vitesse de l'air joue un rôle important dans les échanges convectifs et évaporatoires.

L'humidité relative de l'air influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur.

Paramètre physique propre à l'individu	Métabolisme (température corporelle)
	Habillement (facilite la régulation du corps)

L'activité physique influence le métabolisme du corps humain, c'est-à-dire la température du corps. La sensation de confort est donc influencée par la température interne du corps. Lors d'une activité sédentaire (travail au bureau par exemple), le métabolisme n'a pas une influence forte sur la sensation de confort thermique.

Il faut bien noter que le métabolisme qui représente la quantité de chaleur produite par le corps humain est influencé par des paramètres physiologiques notamment par le poids, la taille et le sexe...

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimental. La résistance thermique des vêtements modifie les échanges entre le corps et l'environnement. La nature et l'épaisseur des vêtements modifient modifie les échanges thermiques.

## 1.2 Evaluation du confort thermique : indicateurs et outils graphiques

Afin d'améliorer le confort des occupants dans les bâtiments, de nombreuses recherches ont été faite pour classifier la sensation thermique. Cette évaluation a mené les chercheurs à concevoir des outils, des indicateurs ou des diagrammes pour prédire une sensation thermique moyenne.

Ces outils ont été élaborés dans le but de concevoir des bâtiments ayant des caractéristiques thermiques plus adaptées au besoin des occupants.

Actuellement dans le contexte du réchauffement climatique, la consommation énergétique des bâtiments est un réel enjeu. Une évaluation du confort thermique et une conception en accord avec celle-ci permet de réaliser des bâtiments sobres en énergie (limitation des systèmes de régulation thermique : climatisation et chauffage).

### 1.2.1 Indicateur issu d'un modèle statique

#### 1.2.1.1 Température opérative

D'après l'ISO 7730 [1], le Top est la température opérative. Cet indice de confort intègre comme paramètres physiques : la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante. Il s'agit donc d'un indice d'appréciation des effets convectifs et radiatifs sur le confort de l'individu.

$$T_{op} = \alpha T_a + (1 - \alpha) T_{mrt}$$

Top : La température opérative [°C] / Ta : La température d'air [°C] / T<sub>mrt</sub> : La température moyenne radiante [°C] / α : Coefficient en fonction de la vitesse de l'air

Le tableau ci-dessous nous donne quelques valeurs du coefficient ( $\alpha$ ) en fonction de la vitesse de l'air.

Vitesse de l'air (m/s)	0 - 0.2	0.2 – 0.6	0.6 – 0.7
$\alpha$ : coefficient	0.5	0.6	0.7

### 1.2.1.2 Méthode de Novell

Novell a déterminé une équation permettant d'estimer la température par heure basée sur les températures minimum, maximales et moyennes.

$$Th = T_{min} + (\Delta \times C_{onst})$$

Th : température horaire / Tmin : température moyenne journalière minimale /

$\Delta$  : écart journalier (Tmax – Tmin) /  $C_{onst}$  : constante correspond à une heure précise de la journée

Il considère que la plage de température confortable est comprise entre 21.1°C et 26.7°C. A partir des résultats, la méthode Novell permet d'évaluer un pourcentage sur une durée de personne en sensation thermique neutre (confortable), chaude (>26.7°C) et froide (<21.1°C).

### 1.2.1.3 Les indices PMV et PDD

Les modèles statiques sont une approche pour évaluer le confort thermique intérieur ou prédire la sensation thermique d'un groupe d'individu. A partir d'une étude réalisée en laboratoire sous des conditions stables, Fanger [2] a développée deux indicateurs de confort thermique : le PMV (Vote Moyen Prévisible) et le PPD (Pourcentage prévisible d'insatisfaits)

Vote moyen prévisible : PMV

Le PMV est un modèle analytique crée en milieu tempéré afin de prédire une évaluation du confort thermique moyen d'un large groupe d'individu. Ce modèle est basé sur l'équilibre thermique entre une personne et son environnement. Une valeur de PMV exprime une sensation thermique avec l'échelle ci-dessous. Le PMV zéro exprime une sensation de confort. On considère que la sensation de confort thermique s'étale entre -1 à 1. Ce modèle de confort thermique a été adopté par des standards internationaux comme ISO 773 [1] ou ASHRAE Standard 55 [3] et le standard européen EN15251[4]. Cette indice est beaucoup utilisé dans les bâtiments avec de l'air conditionné.

VALEURS DE L'INDICE PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
SENSATION THERMIQUE	Chaud	Tiède	Légèrement tiède	Neutre	Légèrement Frais	Frais	Froid

Le PMV dépend de 6 variables : la température de l'air, la température radiante, l'humidité relative, la vitesse de l'air, le métabolisme de l'individu et le niveau vestimentaire de l'individu.

$$PMV = f(T_a, T_{mr}, RH, V_a, M, I_{cl})$$

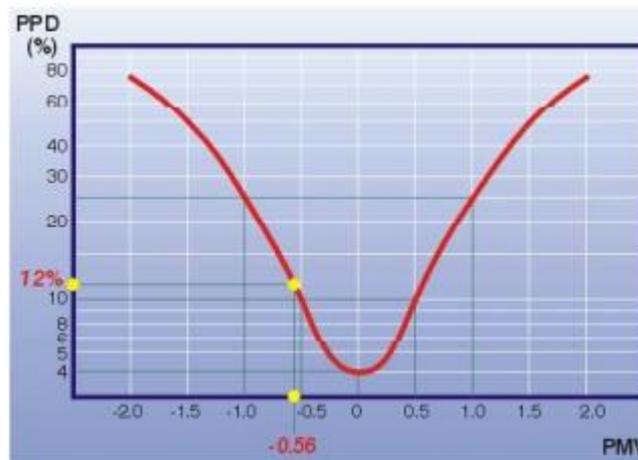
$T_a$  : Température intérieure de l'air /  $T_{mr}$  : Température moyenne radiante / RH : Humidité relative (%)

$V_a$  : Vitesse de l'air (m/s) / M : niveau du métabolisme (met) /  $I_{cl}$  : niveau d'habillement (clo)

Pourcentage prévisible d'insatisfaction : PDD

Il est difficile que 100% des personnes interrogées soient en situation de confort car il existe des différences physiologiques en les individus mais on peut limiter au maximum les situations d'inconfort. L'indice PPD est le

pourcentage prévisible d'insatisfaction. Une personne est considérée en situation d'inconfort si sur l'échelle, le PMV est supérieur à 2 ou inférieur à -2. Le PPD est calculé à partir du PMV afin de prédire le pourcentage d'inconfort.



$$PPD (\%) = 100 - 95 \exp [-(0.335PMV^4 + 0.219 PMV^2)]$$

La norme ISO 7730 [1], indique que pour être en zone de confort thermique il faut :

$$-0.5 < PMV < 0.5 \text{ soit } PPD < 10\%$$

#### Evolution du PMV : CPMV prenant en compte les radiations du soleil

Le PMV développé par Fanger [2] négligeait la radiation du soleil. Huan Zhang et al [5]. a donc effectué une correction du PMV prenant en compte la radiation du soleil : le CPMV (vote moyen prévisible corrigé). Afin de développer cet indice, 998 enquêtes ont été menée en automne 2017 sur trois bâtiments différents avec des enveloppes vitrées à Tianjin (nord de la chine). Les réponses aux questionnaires permettent d'avoir le vote de sensation thermique (TSV) considéré comme la vraie valeur de la sensation thermique. Les résultats ont montré que les régressions linéaires des TSV et PMV était très différente tandis que le CPMV avait une bonne prédiction.

$$CPMV = [0.303 \times \exp(-0.036M) + 0.0275] \times \{M - W - 3.05 [5.733 - 0.007 (M - W) - P_a] - 0.42 (M - W - 58.15) - 1.73 \times 10^{-2} \times M (5.867 - P_a) - 0.0014M (34 - T_a) - R_1 + R_2 - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)\}$$

$R_2$  : charge calorifique du rayonnement solaire pour un humain par surface corporelle (W/m<sup>2</sup>)

$R_1$  : transfert de chaleur par rayonnement de longue durée entre l'homme et l'environnement (W/m<sup>2</sup>)

$T_a$  : Température intérieure de l'air /  $T_{cl}$  : Température de la surface des habits (°C) /  $f_{cl}$  : facteur des surfaces des habits /  $M$  : niveau du métabolisme (met)

Dans ce cas le pourcentage prévisible d'inconfort devient :

$$PDD = 100 - 95 \exp [-(0.3353 CPMV^4 + 0.2179 CPMV^2)]$$

Cette étude a permis de valider l'utilisation de l'indice CPMV pour les bâtiments avec des variations solaires.

Les indices de confort PMV et PDD restent très largement utilisés pour estimer le taux de confort et d'inconfort. En effet, leurs équations assez simples et leur recommandation dans la norme internationale ISO 7730 [1] encourage leur utilisation. L'usage de l'indice CPMV reste plus exceptionnel. Cependant Humphreys et Nicol [6] ont montré que le PMV a systématiquement une différence entre les résultats prédit et la sensation réelle des occupants.

## 1.2.2 Indicateurs issus du modèle adaptatif

### 1.2.2.1 Démarche du modèle adaptatif

Le premier modèle adaptatif du confort a été proposé par Brager [7] en 1970 en réponse à l'augmentation du prix du pétrole. L'étude de Humphreys and Nicol développe un principe de l'approche adaptative : « si les personnes se trouvent en sensation d'inconfort, les personnes répondent de manière à rétablir leur confort. » [6] Cette recherche sur l'ajustement du confort thermique résulte d'un souhait de prise en compte des paramètres physiologiques, psychologiques et comportementaux. En effet, les individus peuvent donc avoir des réponses comportementales à un inconfort : ouvrir les fenêtres, enlever des vêtements ou boire. L'adaptation peut aussi être physiologique par un processus corporel de thermorégulation comme la sudation.

L'aspect psychologique est un facteur complexe, il est difficile de l'intégrer à un modèle mais il est essentiel pour évaluer le confort thermique. **Afin d'évaluer cet aspect, de nombreuses recherches ont été menées pour collecter les sensations thermiques des occupants d'un bâtiment. C'est le début des enquêtes in situ. L'approche adaptative du confort thermique est basée sur les résultats de ces enquêtes.** Les résultats des différents modèles provenant de cette approche prennent en considération le vote de la sensation thermique des occupants.

### 1.2.2.2 Echelle des enquêtes in-situ sur la sensation thermique

Lors d'enquête in-situ pour connaître les sensations de confort thermique des occupants, cinq échelles sont proposées par Bonhomme [8] : trois échelles sont élaborées pour recueillir les jugements et les échelles supplémentaires expriment l'acceptabilité personnelle.

Les trois échelles permettant de définir les jugements des occupants sont ci-dessous :

*1-Echelle de perception : "« Comment vous sentez vous ? " (Échelle à 7 niveaux)*

degré	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
formulation	Très chaud	chaud	légèrement chaud	Ni chaud ni froid	légèrement froid	froid	Très froid

*2-échelle évaluative : " trouvez-vous cela ?" (Échelle à 5 niveaux)*

degré	4	3	2	1	0
formulation	Extrêmement inconfortable	très inconfortable	inconfortable	légèrement inconfortable	confortable

*3- échelle de préférence : " veuillez indiquer comment vous préféreriez être maintenant " ? (7 niveaux)*

degré	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
formulation	Beaucoup plus chaud	plus chaud	Légèrement chaud	ni plus chaud ni plus froid	Légèrement plus froid	plus froid	beaucoup plus froid

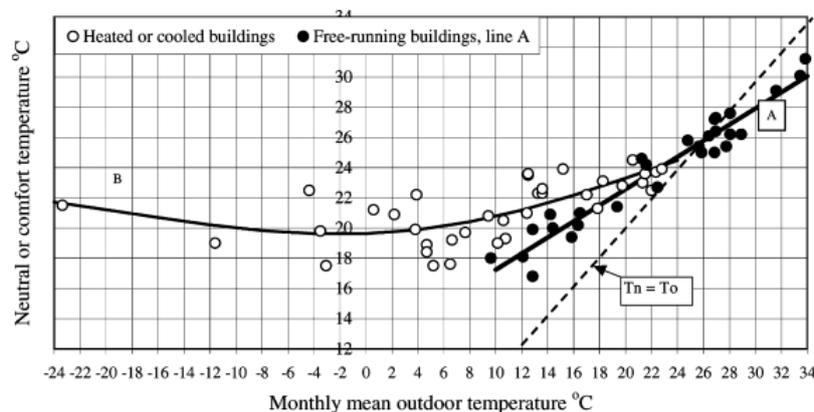
### 1.2.2.3 Application de la méthode de confort adaptatif

Plusieurs équations sur le confort adaptatif ont été développées dans la littérature en utilisant les paramètres spécifiques aux individus et à la région dans lequel ils sont localisés. Ces modèles montrent des meilleurs résultats comparés au modèle connu de Fanger [2].

Humphreys and Nicol [6] effectue pendant son étude un grand nombre d'enquête in situ à travers le monde. Son étude montre une relation entre température de confort et le climat extérieur. Il effectue la corrélation entre les entre la température de confort et le climat extérieur pour les bâtiments climatisés et les bâtiments en ventilation naturelle.

Humphreys montre que les personnes étant dans un bâtiment en ventilation naturelle sont beaucoup plus tolérantes à la chaleur. Les températures neutres dites de confort sont plus élevées en fonction de la

température extérieure dans un bâtiment en ventilation naturelle que dans un bâtiment climatisé, voire ci-dessous.



Afin de prendre en compte le mécanisme adaptatif dynamique, Humphreys and Nicol propose d'utiliser la moyenne mobile exponentielle (Tm) pour présenter le climat extérieur.

$$T_{rm} = (1-\alpha)(T_{od-1} + \alpha T_{od-2} + \alpha^2 T_{od-3} + \dots)$$

$\alpha$  : constante qui a une valeur entre 0.6 et 0.9 (D'après ASHARAE 55 [3]  $\alpha=0.9$  pour les milieux tropicaux)

$T_{od-1}$  : Température moyenne journalière de jours successifs (°C) il est recommandé d'utiliser les températures extérieures de 7 à 30 jours consécutifs.

Fanger argues [9] a montré une faiblesse du modèle adaptatif qui est de ne pas prendre en compte le métabolisme, les vêtements et les quatre paramètres thermiques classiques qui sont connu pour avoir un impact sur la sensation thermique. Le PMV et PDD prend en compte 6 paramètres mais ignore le climat extérieur, l'attente des occupants et l'adaptation psychologique[9].

### 1.2.3 Indicateur issu du modèle hybride

Les méthodes hybrides consistent en la combinaison des deux méthodes précédentes. L'objectif est d'obtenir un indice de confort le plus précis possible en combinant les paramètres utilisés pour calculer par exemple le PMV en prenant en compte l'adaptation des individus.

#### 1.2.3.1 Vote moyen prévisible adaptative : aPMV (bâtiment en ventilation naturelle)

Yao and al. ont développé un nouveau standard d'évaluation de confort thermique : Adaptive Predictive Average Vote (aPMV)[10]. The aPMV est un modèle théorique adaptatif pour évaluer le confort thermique intérieur combinant le PMV et le modèle adaptatif. C'est la base de la théorie de la « boîte noire » avec les facteurs culturels, climatiques, sociétaux, psychologiques qui ont un impact sur l'évaluation du confort thermique. Cette théorie a été développée sur une enquête sur 3 621 étudiants dans un bâtiment non climatisé localisé à Chongqing (China). Les réponses aux questionnaires menés ont montré une différence entre le AMV (Actuel Men Vote) trouvé à partir de l'enquête et le PMV calculé à partir de l'équation de Fanger [9]. L'analyse statistique permet de calculer le coefficient d'adaptabilité  $\lambda$  de Chongqing.

$$aPMV = PMV / (1 + \lambda \times PMV)$$

Le coefficient lambda est obtenu par la méthode des moindres carrés afin diminuant l'écart entre le TSV et le PMV :

$$\lambda = (\sum_{i=1}^N \frac{1}{TSVi} - \sum_{i=1}^N \frac{1}{PMVi}) / N$$

Cette étude a estimé un  $\lambda=0.21$  (PMV >0) et un  $\lambda = -0.49$  (PMV <0) pour respectivement les climats chauds et les climats froids de la région chinoise.

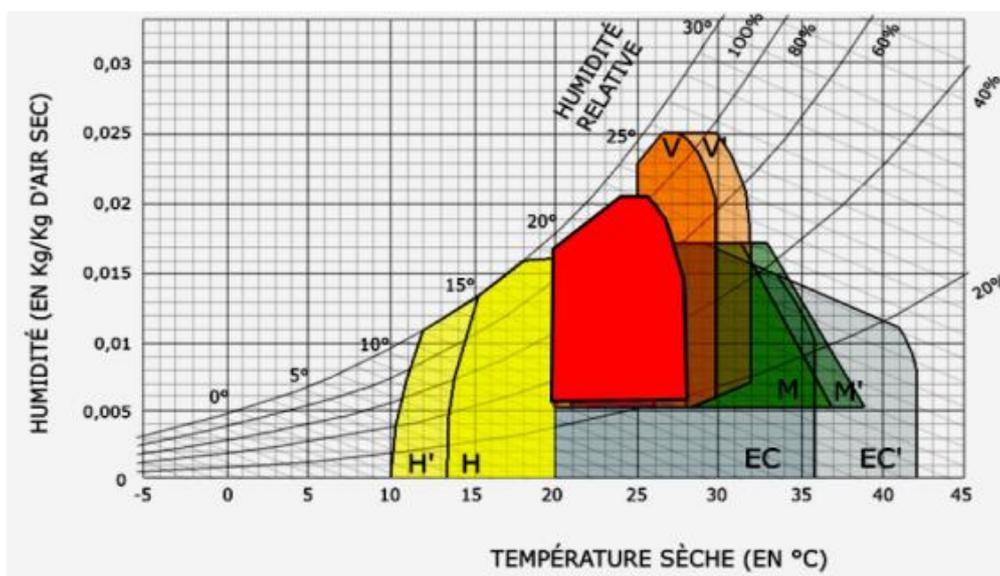
Lors de l'étude de Chen and al.[11] le modèle de Yao and al. a été utilisé dans des résidences avec des modes mixtes climatisés et non climatisés. L'utilisation de l'indice aPMV lors de cette étude a révélé de bon résultat. Cette étude indique donc la possibilité d'utiliser cet indice dans un environnement climatisé.

## 1.2.4 Outils graphiques d'évaluation du confort thermique

En plus des indicateurs de confort thermique, des chercheurs ont développés des diagrammes bioclimatiques. Ces diagrammes permettent de visualiser la zone de confort et permettent de faciliter l'appropriation et l'utilisation de ces notions par les concepteurs. C'est un outil décisionnel.

### 1.2.4.1 Diagramme bioclimatique

V. Olgya a proposé en 1953, le premier diagramme bioclimatique. Une zone de confort est indiquée sur un diagramme psychrométrique ou aussi appelé diagramme de l'air humide.

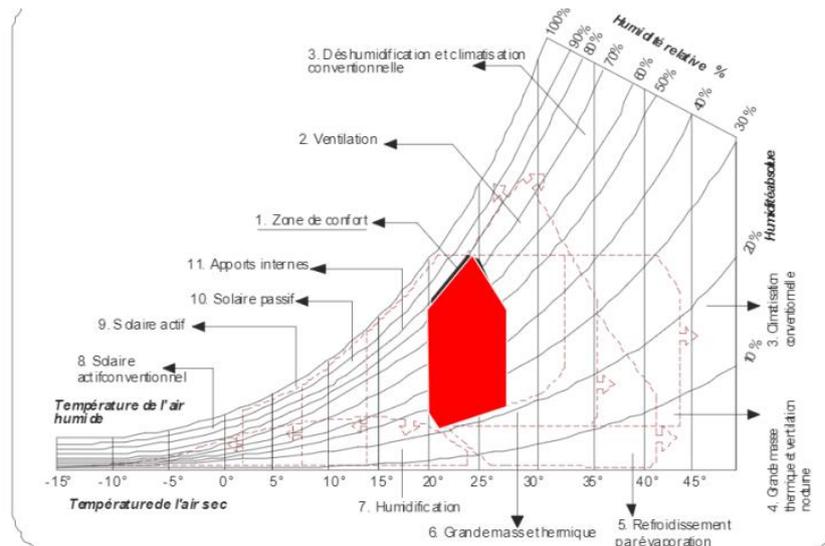


-  -zone du confort thermique
-  - zone d'influence de la ventilation à 0,5m/s (VV')
-  -zone de l'inertie thermique (MM')
-  -zone d'influence du refroidissement évaporatif (EC et EC'),
-  -zone de non-chauffage par la conception solaire passive (H et H')

Les zones de confort tracées dépendent des conditions du bâtiment. Il peut donc suggérer des solutions constructives et fonctionnelle afin d'améliorer le confort thermique des occupants (inertie thermique, résistances thermiques, ventilation, captation solaire, système de chauffage et de climatisation naturelle).

### 1.2.4.2 Diagramme de Givoni

A partir de recherche antérieure d'Olgyay, Givoni [12] élabore une méthode plus précise. Sa méthode expérimentale représente les limites des zones de confort sur un diagramme psychrométrique. Dans son ouvrage « L'homme, l'architecture, le climat », il élabore un diagramme indiquant la zone de confort en fonction des caractéristiques thermo-hygro-métrique et juxtapose des dispositifs ou techniques de réajustement variables climatiques :



### 1.3 Appréciation des indices du confort thermique

L'étude de H Mr Sellem et D Alkama [13] publiée en 2009 étudie et compare différents indicateurs en milieu chaud et sec. Cette enquête a été menée sur trois bâtiments administratifs de bureaux à Biskra en Algérie.

Les résultats de l'enquête ont été analysés et comparés avec trois méthodologies d'analyses bioclimatiques. Le taux de satisfaction du confort est comparé à un diagramme psychrométrique de Givoni obtenu après une simulation thermique dynamique par logiciel informatique (Climate Consultant 04, CC04 / Derob-Lth). L'analyse thermique perçue est également comparée à celle calculée par la méthode Novell. La dernière analyse effectuée est entre l'analyse d'ambiance thermique obtenue lors de l'enquête et les indices thermiques (PMV et Top).

L'étude montre une cohérence au mois de mars entre les résultats apportés par le diagramme de Givoni et la perception des occupants. En revanche les résultats ont une forte incohérence au mois de juin. Les ressentis d'inconfort sont beaucoup plus importants que les résultats du diagramme.

Tableau 3: Mois de Juin

Perception (%)	Très satisfait (-2)	Plutôt satisfait (-1)	Satisfait (0)	Plutôt pas satisfait (+1)	Pas du tout satisfait (+2)
	0	0	10,84	45,80	43,33
Diagramme de Givoni	0	5 %	<b>Zone de confort</b>	35 %	25 %
Nb de Jours			35%		

La comparaison entre l'analyse thermique et la méthode montre également des résultats assez proches en mars mais des résultats ayant un grand écart en juin. En effet la sensation de chaleur est beaucoup plus importante en vrai que calculé par la méthode de Novell. Les indicateurs de confort thermique utilisés (PMV et Top) possèdent également un écart important avec les résultats des sensations perçues par les occupants.

Les résultats de l'étude scientifique mettent en avant l'écart significatif entre le taux de confort perçus par les occupants et celui calculé par les techniques d'analyses bioclimatiques.

**Cette étude confirme l'hypothèse de l'inadaptation des techniques de calcul par diagrammes et indices bioclimatiques. Les enquêtes de perception de confort sont les techniques les plus adaptées pour évaluer une sensation de confort auprès des utilisateurs. Cet outil pourra permettre de construire de nouvelles limites de confort thermique avec des mesures in-situ adaptées aux conditions climatiques de chaque territoire.**

L'évaluation du confort est donc spécifique à chaque territoire. Nous allons nous intéresser à l'évaluation du confort en milieu tropical.

## 2 Evolutions et évaluations des indicateurs thermiques pour les milieux tropicaux

La sensation de confort est différente pour chaque individu et elle est influencée par les paramètres culturels, sociologiques, climatiques. Les individus s'adaptent à leur environnement et obtiennent des sensibilités différentes. Les indicateurs présentés précédemment sont principalement issus de recherche dans l'hémisphère nord et sont donc issus d'un climat tempéré. Dans cette partie nous allons nous intéresser à l'évolution et l'évaluation des indicateurs pour caractériser le confort dans un milieu tropicale (chaud et humide).

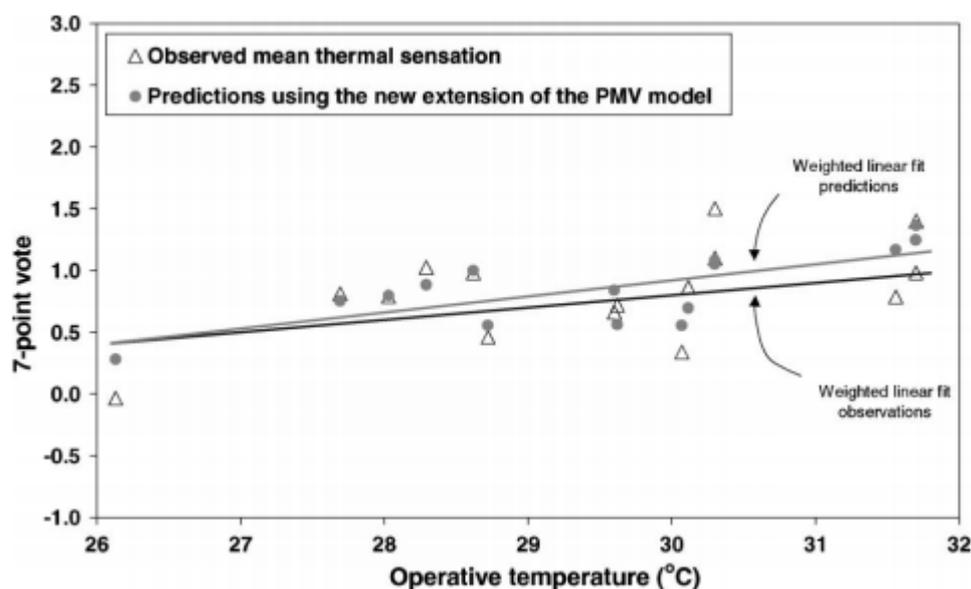
### 2.1 Evolutions de l'évaluation du confort pour les milieux tropicaux

#### 2.1.1 PMVe pour les environnements tropicaux en ventilation naturelle

Pour appliquer l'indice PMV à un bâtiment dans un milieu chaud en ventilation naturelle, une amélioration a été faite par rapport au modèle d'origine. En effet, les personnes habituées au bâtiment en ventilation naturelle en milieu tropical sont moins exigeantes envers les conditions intérieures que les utilisateurs d'air conditionné. Fanger et Toftum [9] propose une extension du modèle PMV avec un facteur « e ». Ce facteur traduit l'adaptation psychologique et la réduction du métabolisme en corrigeant la différence entre le PMV calculé et le ressenti des occupants d'un bâtiment en ventilation naturelle dans un milieu chaud et humide.

Le facteur « e » varie entre 0.5 et 1 et dépend des caractéristiques de l'environnement. Ce paramètre a été déterminé avec 3200 études réalisées dans différentes villes Bangkok (e=0.6), Singapour (e=0.7), Athens (e=0.7) et Brisbane (e=0.9). Le paramètre « e » est déterminé à partir de l'écart entre la régression linéaire prédit et la régression linéaire obtenu avec les réponses aux questionnaires. Ce facteur traduit les habitudes des occupants au climat chaud et à l'occupation de bâtiment non-climatisé.

$$PMVe = e \times PMV$$



La grande limite de cet indicateur adaptatif c'est que le paramètre « e » est propre au lieu de développement de la méthode.

### 2.1.2 $PMV_{new}$ pour les environnements tropicaux ventilé naturellement ou climatisé

Olissan and al. [14] a aussi développé un modèle hybride sur le confort thermique combinant le PMV et le vote de sensation thermique des occupants :  $PMV_{new}$ . Ce modèle a été créé afin d'accéder au confort thermique des occupant de bâtiment en ventilation naturelle [14] ou climatisé [15], localisé au Benin. Dans cette région, le climat est chaud et humide. Les auteurs estiment la différence entre le vote de sensation thermique et l'indice PMV de Fanger en faisant une régression multilinéaire qui dépend de variable de la température et de l'humidité relative de l'air intérieure.

$$PMV_{new} = PMV - \Delta PMV$$

$$\Delta PMV = a.Ta + b.RH$$

Ta : Température intérieure (°C) / RH : Humidité relative intérieure (%) / a et b : constante issu de la régression multilinéaire

### 2.1.3 TSI : Tropical Summer Index (ventilation naturelle)

L'indicateur TSI a été développé dans l'étude de Sharma et Ali [16] en 1986 afin d'obtenir un indicateur spécifique au milieu très chaud et humide.(L'inde). L'utilisation de cet indicateur est justifiée lorsque le climat est chaud et humide, que les flux radiants ne sont pas trop forts et que la vitesse de l'air est assez importante pour permettre l'évaporation de la transpiration. Cet indicateur a été réalisé suite à une enquête sur 18 jeunes hommes pendant trois années consécutives en Inde entre mai et juillet.

L'indicateur « Tropical Summer Index » est une température globale (avec Hr =50%) retranscrivant la même sensation thermique que l'environnement étudié. Cet indicateur de température global prend en compte la température de l'air, la température radiante, l'humidité et la vitesse de l'air.

L'humidité et les mouvements d'air sont pris en compte séparément dans l'équation de confort par les termes  $t_w$  et  $V^{1/2}$ .

$$TSI = \frac{1}{3}t_w + \frac{3}{4}t_g - 2V^{1/2}$$

$t_w$ : Wet-bulb Temperature (°C) /  $t_g$ : Globe temperature (°C) /  $V^{1/2}$ : Square root of air velocity (m/s)<sup>1/2</sup>.

L'indice TSI (the tropical summer index) s'exprime par une simple équation mathématique utilisable par des architectes ou des concepteurs. Pour faciliter l'utilisation du TSI, cet indicateur est présenté dans le diagramme psychrométrique pour différentes températures sèches et humidités

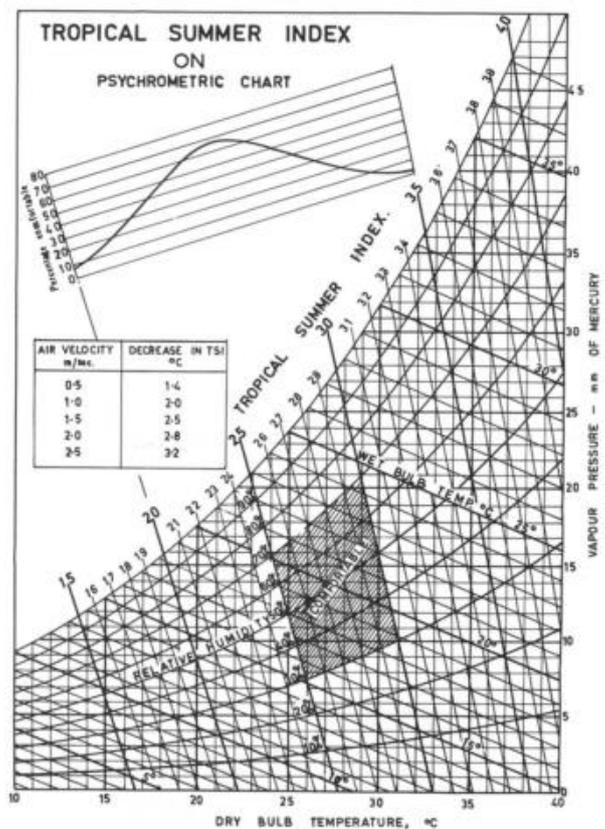


Fig. 5. Tropical summer index lines and comfort zone.

### 2.1.4 Carte de l'évaluation des sensations thermique en milieu tropical

L'étude menée par Harimi Djamila and al. [17] avait comme objectif de faciliter la compréhension de la perception du confort thermique afin de limiter l'augmentation de l'utilisation de la climatisation et de minimiser l'impact énergétique. L'objectif est de développer une carte de la perception thermique des habitants en climat humide et tropical (Malaisie) afin d'estimer le confort thermique d'après une température intérieur. En utilisant la méthode Sharma et Ali [16] avec une régression logistique, une carte de l'évaluation des sensations thermique a été élaborée en fonction du TSI.

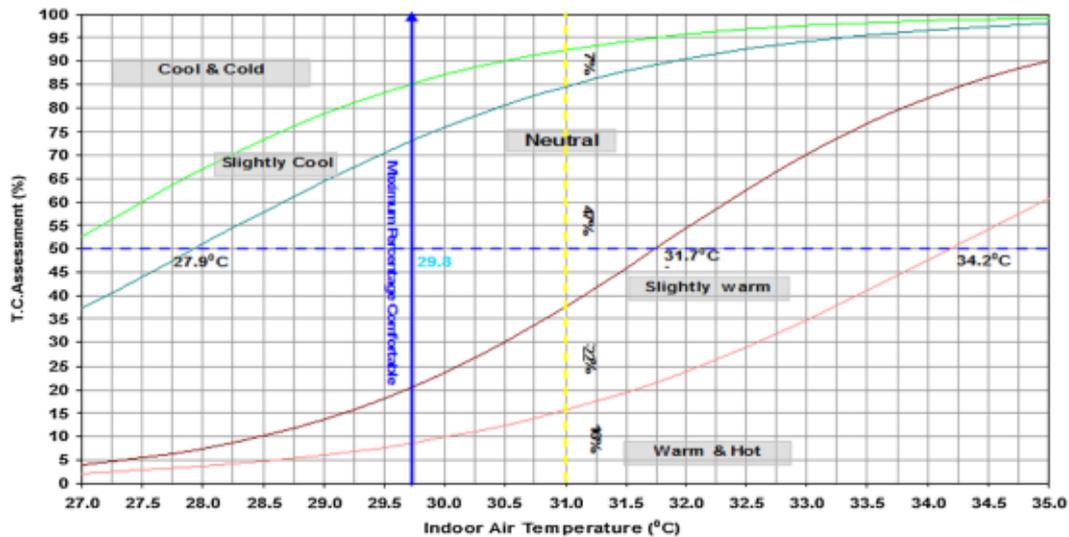


Fig. 10. Thermal perception map assessment.

## 2.2 Evaluation des indicateurs existants pour le milieu tropical

### 2.2.1 Bâtiment climatisé

#### Bureaux

L'étude de Gratien Kiki and al.[18] a comme objectif d'identifier le modèle sur le confort thermique le plus adapté à l'évolution dans un bâtiment climatisé au Bénin. Au cours de l'étude, 205 questionnaires ont été effectués dans les bureaux de la caisse nationale de sécurité sociale située à Cotonou. Les personnes questionnées sont des personnes acclimatées au territoire, vivant depuis plus de 8 ans au Bénin.

L'étude exclue les indicateurs de confort ne correspondent pas aux conditions d'un bâtiment climatisé. Ainsi, le ePMV limité à la ventilation naturelle n'est donc pas étudié ainsi que le CPMV car le rayonnement solaire est limité dans des bureaux.

L'étude analyse l'indice PMV standard et deux modèles hybrides : aPMV de Yao and al.[10] et PMVnew de Olissan [14]. Une moyenne mobile exponentielle de la température extérieure pondérée sur 30 jours a donc été réalisée. Les votes de sensation thermique ont permis de définir le coefficient  $\lambda$  pour aPMV et la régression de PMVnew.

L'étude montre une différence significative entre le vote de sensation thermique (TSV) et la prédiction moyenne de vote de Fanger (PMV). Les résultats obtenus avec le modèle de Yao and al. (aPMV) et Olissan and al. (PMVnew) sont assez représentatifs de la réalité. Comme a montré l'étude de Chen and al.[11], le coefficient lambda ( $\lambda$ ) est propre à chaque région. Dans cette étude, la variation entre aPMV et PMV est faible, le  $\lambda$  obtenu est de 0.5. Le résultat de la régression de la formule de PMVnew avec les conditions environnementales du sud du Bénin sont :

$$PMV_{new} = PMV - (0.13Ta - 0.032 RH)$$

Pour exprimer la réelle sensation thermique des occupants un PMVnew adaptatif a été trouvé à partir de la différence de régression entre PMV et TSV. Ils ont obtenu une équation ajustée au territoire :

$$PMV_{new} = PMV - (0.054Ta - 0.041 RH)$$

#### Salle de classe

Gabriel Guevara, Guillermo Soriano et al. [19] ont effectué une étude sur le confort thermique dans les salles de classe d'université dans trois régions en Equateur (Quito, Guayaquil et Tema). Cette enquête a été menée en décembre 2017 et janvier 2018, avec 429 questionnaires. Dans cette étude, des salles climatisées et en ventilation naturelle sont analysées.

Cette étude a montré que le modèle PMV ne prédit pas bien les sensations thermiques des étudiants en salle climatisée. En général, le modèle de prédiction sous-estime la température neutre pour les étudiants en climat tropical (Guayaquil et Tena). La méthode adaptative ANSI/ASHRAE 55 [3] permet d'obtenir un pourcentage d'acceptabilité de 80 à 90%

## 2.2.2 Bâtiment en ventilation naturelle

#### Evaluation générale

L'étude de T Rakotoariveto and al. explique dans l'article « Thermal comfort analysis : comparison between model and experimental data in tropical climate. » [20] sa démarche pour comparer les indices de confort en climat tropical.

L'étude s'interroge sur la pertinence de l'application en milieu tropical des modèles de confort répandus habituellement. Cet article permet de comparer les résultats entre une étude expérimentale sur le confort (enquête sur la sensation de confort dans un bâtiment en ventilation naturelle.) et des indices de prédiction de confort.

L'étude est réalisée dans une salle de dimensions 5 × 5 × 3m au Tampon (Ile de La Réunion) avec des étudiants volontaires. Les résultats du questionnaire de confort sont comparés à des indices théoriques de confort.

Cette étude a effectué de nombreuses comparaisons entre les résultats de l'enquête et les résultats d'une multitude d'indices de confort. L'étude montre que le modèle le plus réaliste, parmi tous les résultats obtenus, est le modèle de Sharma et Ali [16].

Harimi Djamila et al. [17] ont également mené une enquête sur l'évolution du confort thermique intérieur en milieu tropical (Malaisie). Cette étude a été réalisée à la fois dans des salles de classe, des bureaux et des bâtiments résidentiels. Après plusieurs études et test la méthode retenue est également la méthode Sharma and Ali [16].

La bonne performance du modèle Sharma et Ali s'explique par les conditions climatiques et le contexte similaire dans lequel cette approche a été développée (En inde avec un climat chaud et humide).

**Cela confirme que la similitude des climats favorise l'efficacité des modèles. Ces résultats soulignent la nécessité d'adapter les modèles au contexte local et de ne pas les conserver tels quels.**

#### Salle de classe

Nyuk Hien et Shab Sahn Khoo [19] ont effectuée une étude sur le confort thermique et son influence sur les performances des étudiants en 2002 à Singapour. Les salles de classe étudiées ne sont pas climatisées et généralement équipées de brasseurs d'air mécanique. Cette enquête a été menée sur 493 étudiants et 13 enseignants.

L'étude a montré que le PMV lié à la norme ASHRAE 55-92 [3] n'est pas adapté à la sensation réelle de confort. L'étude a été poursuivie afin de trouver les outils de prédiction de confort plus adaptés à la réelle sensation thermique. L'étude utilise l'indice ePMV, le PMV est ajusté afin d'améliorer le modèle. L'étude obtient une valeur e = 0.7.

Le PMV ajusté (ePMV) permet d'obtenir des résultats proches de la sensation thermique réelle dans une salle de classe. L'écart est ainsi diminué entre la prédiction et la perception réelle.

### 3 Etat de l'art des protocoles

Dans cette partie nous allons nous intéresser, aux protocoles expérimentaux utilisés lors des expériences de confort présentés précédemment. L'objectif de ce paragraphe est d'effectuer un état de l'art des différentes méthodes et protocoles scientifiques lors d'une expérience sur le confort thermique. Nous pourrions examiner différents protocoles pour les trois types de bâtiments tertiaires (bureaux, établissement scolaire et commerces) et pour les logements.

#### 3.1 Questionnaire

##### 3.1.1 Les normes utilisées

Lors d'enquête sur le confort, nous retrouvons généralement dans la littérature scientifique, l'utilisation de deux échelles :

- Une échelle de confort avec 5 échelons
- Une échelle de sensation thermique à 7 échelons suivant la Norme ANSI/ASHRAE 55 [3]

Dans les normes française et européenne ISO 7730 [1], on retrouve une utilisation d'une échelle de sensation thermique à sept niveaux lors du calcul du vote moyen prévisible (PMV).

	<b>Tableau 1 — Échelle de sensation thermique à sept niveaux</b> <table border="1"> <tr><td>+ 3</td><td>Chaud</td></tr> <tr><td>+ 2</td><td>Tiède</td></tr> <tr><td>+ 1</td><td>Légèrement tiède</td></tr> <tr><td>0</td><td>Neutre</td></tr> <tr><td>- 1</td><td>Légèrement frais</td></tr> <tr><td>- 2</td><td>Frais</td></tr> <tr><td>- 3</td><td>Froid</td></tr> </table>	+ 3	Chaud	+ 2	Tiède	+ 1	Légèrement tiède	0	Neutre	- 1	Légèrement frais	- 2	Frais	- 3	Froid
+ 3	Chaud														
+ 2	Tiède														
+ 1	Légèrement tiède														
0	Neutre														
- 1	Légèrement frais														
- 2	Frais														
- 3	Froid														
Echelle extraite de la norme ANSI/ASHRAE 55	Echelle extraite de la norme ISO 7730														

Les échelles peuvent être considérées comme équivalentes selon la nuance de la traduction.

Dans la Norme NF ISO 10551 [21], il est recommandé d'utiliser des échelles à 7 degrés bipolaire pour juger son environnement de la façon la plus neutre possible.

##### 3.1.2 L'importance du choix d'une échelle

La présentation d'une échelle, le nombre de choix et les termes utilisés ont une influence très forte sur les résultats. Dans l'étude de confort réalisée par Nyuk Hien Wong et Shan Shan Khoo [22] dans des salles de classe à situer à Singapour, ils utilisent deux échelles pour comparer les réponses.

Les deux échelles choisies sont l'échelle ASHRAE et l'échelle Bedford :

Ces deux échelles de sensation thermique sont proches, elles ont toutes les deux sept échelons. Les nuances de vocabulaire diffèrent entre deux échelles.

Bedford	ASHRAE
Much too Warm	Hot
Too Warm	Warm
Comfortably Warm	Slightly Warm
Comfortable	Neutral
Comfortably Cool	Slightly Cool
Too Cool	Cool
Much Too Cool	Cold

Les études de confort montrent des résultats différents avec les deux échelles ci-dessous :

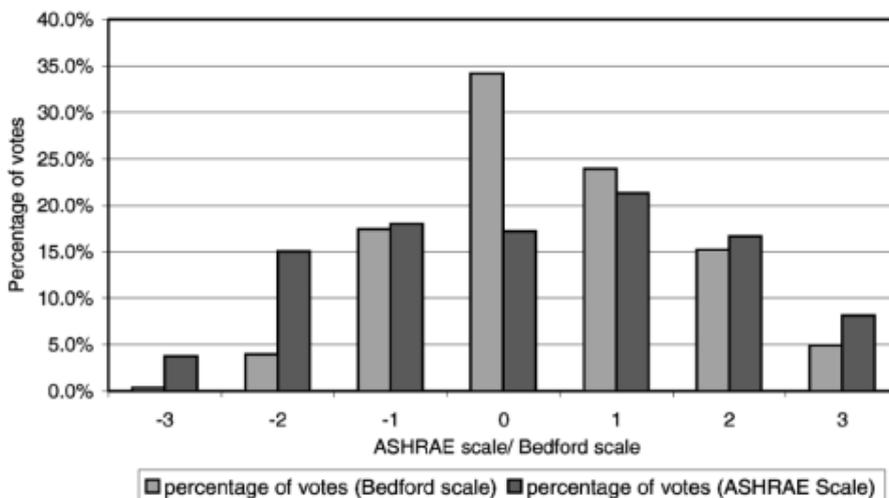


Fig. 13. Relative frequency of votes on ASHRAE scale and Bedford comfort scale on both days.

La comparaison entre ces deux différentes méthodes de ressenti du confort thermique montre une différence selon l'échelle utilisée pour estimer le ressenti thermique. Le pourcentage de personne votant dans les catégories froides avec l'échelle ASHRAE est plus importante. Les personnes votant dans les extrêmes froids avec l'échelle ASHRAE ne sont donc pas forcément en inconfort.

**Le choix des échelles a donc une influence forte sur les résultats. Nous allons donc être vigilants à choisir des échelles adaptées aux enquêtes.**

### 3.1.3 Etat de l'art des questionnaires utilisés

La qualité des enquêtes de confort dans des bâtiments tertiaires (bureaux, commerces et établissements scolaires) et dans des logements dépend de la qualité des questionnaires. Nous nous sommes donc intéressés aux différents questionnaires réalisés lors d'enquête de confort dans des bâtiments similaires.

Nous avons étudié des questionnaires de confort réalisés au cours de travaux de recherches effectués en français.

Dans l'étude de confort réalisée par Virginie GROSDÉMOUGE [23] dans le quartier de la Ravine Blanche à la Réunion, le questionnaire a été réalisé pour étudier le confort dans les logements :

On retrouve trois paramètres d'évaluation :

- La sensation thermique sur 7 échelons
- La sensation de confort sur 6 échelons
- La sensation du mouvement de l'air sur 7 échelons

ur le confort dans les logements

Casquettes  Varangue  Autre : \_\_\_\_\_

**CONFORT THERMIQUE : COMBIEN FAIT-IL CHEZ VOUS ?**

13. Comment vous sentez-vous dans votre logement en général? (cochez une case)

	ETE							HIVER						
	Très	Assez	Peu	0	Peu	Assez	Très	Très	Assez	Peu	0	Peu	Assez	Très
Séjour	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Chambre parents	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Chambre enfants	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7

14. En général trouvez-vous les conditions dans votre logement ?

	Très	Assez	Peu	Assez	Très			
En été	Inconfortable	1	2	3	4	5	6	Confortable
En hiver	1	2	3	4	5	6		

15. Comment jugez-vous le « courant d'air » dans votre logement ?

	Faible	1	2	3	4	5	6	7	Fort
Séjour	1	2	3	4	5	6	7		
Chambre parents	1	2	3	4	5	6	7		
Chambre enfants	1	2	3	4	5	6	7		

Lors de l'étude menée par Aurélie Lenoir [24] dans le bâtiment ENERPOS, de l'IUT de Saint Pierre, on retrouve 6 paramètres pour évaluer le confort et les sensations issus des conditions climatiques :

- Echelle de sensation thermique : 7 échelons
- Echelle de confort thermique : 5 échelons
- Echelle de préférence thermique : 7 échelons
- Echelle de confort concernant le mouvement de l'air : 5 échelons
- Echelle sur le ressenti de l'humidité de l'air : 7 échelons
- Echelle de confort concernant l'humidité de l'air : 5 échelons

10. En ce moment vous avez ?	<input type="checkbox"/> Froid	<input type="checkbox"/> Légèrement froid	<input type="checkbox"/> Ni chaud, ni froid	<input type="checkbox"/> Légèrement chaud	<input type="checkbox"/> Chaud	<input type="checkbox"/> Très chaud	<input type="checkbox"/> Extrêmement chaud
11. Vous trouvez cette ambiance ?	<input type="checkbox"/> Confortable	<input type="checkbox"/> Légèrement inconfortable	<input type="checkbox"/> Inconfortable	<input type="checkbox"/> Très inconfortable	<input type="checkbox"/> Extrêmement inconfortable		
12. Vous préféreriez avoir :	<input type="checkbox"/> Beaucoup plus froid	<input type="checkbox"/> Plus froid	<input type="checkbox"/> Un peu plus froid	<input type="checkbox"/> Aucun changement	<input type="checkbox"/> Un peu plus chaud	<input type="checkbox"/> Plus chaud	<input type="checkbox"/> Beaucoup plus chaud
13. Au sujet des mouvements d'air, vous les trouvez :	<input type="checkbox"/> Confortables	<input type="checkbox"/> Légèrement inconfortables	<input type="checkbox"/> Inconfortable	<input type="checkbox"/> Très inconfortables	<input type="checkbox"/> Extrêmement inconfortables		
14. Vous auriez préféré :	<input type="checkbox"/> Moins de mouvements	<input type="checkbox"/> Un peu moins de mouvements	<input type="checkbox"/> Aucun changement	<input type="checkbox"/> Un peu plus de mouvements	<input type="checkbox"/> Beaucoup plus de mouvements		
17. Vous avez trouvé l'air :	<input type="checkbox"/> Très sec	<input type="checkbox"/> Sec	<input type="checkbox"/> Ni sec, ni humide	<input type="checkbox"/> Légèrement humide	<input type="checkbox"/> Humide	<input type="checkbox"/> Très humide	<input type="checkbox"/> Extrêmement humide
18. Vous avez trouvé cet environnement :	<input type="checkbox"/> Confortable	<input type="checkbox"/> Légèrement inconfortable	<input type="checkbox"/> Inconfortable	<input type="checkbox"/> Très inconfortable	<input type="checkbox"/> Extrêmement inconfortable		
19. Vous auriez préféré que l'air soit :	<input type="checkbox"/> Beaucoup plus	<input type="checkbox"/> Un peu plus sec	<input type="checkbox"/> Sans changement	<input type="checkbox"/> Un peu plus	<input type="checkbox"/> Beaucoup plus humide		

Extrait du questionnaire utilisé pendant les enquêtes de confort à l'ENERPOS

La sensation thermique et les préférences sont évaluées avec une échelle de 7 points compris respectivement entre « froid » et « chaud » et entre « très froid » et « très chaud ». Une échelle à cinq points pour l'acceptation et pour la satisfaction. L'enquête a été conduite sur des personnes qui étaient assise depuis au moins 30 min.

**Table 4**  
Thermal comfort scales.

Scale	Thermal sensation (TS)	Thermal comfort (TC)	Thermal preference (TP)	Thermal acceptability (TA)
-3	Cold		Much cooler	
-2	Cool		Cooler	
-1	Slightly cool		Slightly cooler	
0	Neutral		No change	
1	Slightly warm	Comfortable	Slightly warmer	Clearly acceptable
2	Warm	Slightly uncomfortable	Warmer	Just acceptable
3	Hot	Uncomfortable	Much warmer	Just unacceptable
4		Very Uncomfortable		Clearly unacceptable
5		Extremely Uncomfortable		unacceptable

Dans la littérature internationale nous avons retrouvé le même type d'échelle pour l'évaluation du confort thermique.

Dans l'article « Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique-Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec », l'évaluation du confort utilise une méthode basée sur une enquête auprès des utilisateurs en 5 points (de -2 à +2) pour qualifier la satisfaction et en 9 points (de -4 à +4) pour qualifier les sensations :

- Les questionnaires de sensation de confort auprès des utilisateurs est établi avec une échelle de cinq valeurs :

Perception	Très satisfait (-2)	Plutôt satisfait (-1)	Satisfait (0)	Plutôt pas satisfait (+1)	Pas du tout satisfait (+2)
------------	---------------------	-----------------------	---------------	---------------------------	----------------------------

- Pour le ressenti une échelle de 9 est utilisée :

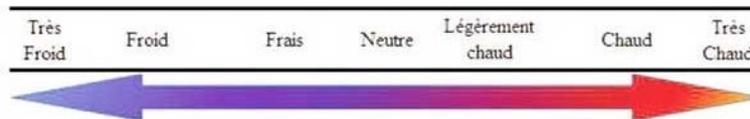
Perception	Excessivement froid	Très froid	Froid	Légèrement froid	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud	Excessivement chaud
------------	---------------------	------------	-------	------------------	--------	------------------	-------	------------	---------------------

Une analyse statique par logiciel traite ensuite les informations afin de pouvoir exploiter les résultats.

L'article « Evaluation of thermal comfort in an office building in the humid tropical climate of Beni ». Rédigé par Gratien Kiki, Clément Kouchade, Aristide Houngan, Stephe Junior Zannou-Tchoko, Philippe André, pose trois questions :

- Quel est votre sensation thermique ?
- Quel est votre préférence thermique ?
- Quel était votre activité avant le questionnaire ? ...

Pour répondre au questionnaire, sept points de l'échelle ASHAE sont utilisés.



Les chercheurs ont effectué un total de 217 questionnaires avec 205 questionnaires viables. Le questionnaire a été effectué le matin et l'après-midi par alternance. L'enquête a eu lieu du 17 juin au 20 juillet 2019.

**En conclusion :**

**Dans la majorité des articles, les questionnaires ont des échelles d'évaluation des sensations thermiques variant de 5 à 7 points. Pour pouvoir être le plus juste, nous retenons pour nos questionnaires l'échelle à 7 points.**

### 3.2 Mesures conditions climatiques

#### 3.2.1 Matériel et protocole de mesure

Pour la partie instrumentation, nous devons définir le protocole de mesure des paramètres physiques mesurés simultanément avec le déploiement des questionnaires de confort. Il s'agit notamment de définir les hauteurs des mâts de mesure par rapport à la position des personnes interrogées. Là encore que dit la littérature ?

La Norme ISO 7726 définit dans le tableau ci-dessous, les hauteurs des différentes parties du corps en position assise ou debout :

Tableau 5 — Hauteurs de mesure des grandeurs physiques d'une ambiance

Position des capteurs	Coefficients de pondération des mesures pour le calcul des valeurs moyennes				Hauteur recommandée (seulement à titre indicatif)	
	Ambiance homogène		Ambiance hétérogène		Assis	Debout
	Classe C	Classe S	Classe C	Classe S		
Niveau tête			1	1	1,1 m	1,7 m
Niveau abdomen	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Niveau chevilles			1	1	0,1 m	0,1 m

Dans l'article intitulé « Thermal comfort in classrooms in the tropics », publié dans Elsevier en 2002 et écrit par Nyuk Hien Wong et Shan Shan Khoo, la température radiante moyenne est mesurée avec un globe noir de 150 mm de diamètre. Les mesures sont **prises à 1 m du sol** pour représenter la hauteur des occupants qui sont assis.

Dans l'article intitulé « Thermal confort in university classrooms : An experimental study in the tropics » publié dans l'ELSEVIER en 2021 et écrit par Gabriel Guevara, Guillermo Soriano et Isabel Mino-Rodriguez, les données du globe noir ont été prises à une hauteur **de 0,6m du sol**, qui représente **le centre de gravité d'une personne en position assise**.

Dans l'article intitulé « Effects of temperature, air movement and initial metabolic rate on thermal sensation during transient state in the tropics », un globe thermomètre et un thermocouple de type T sont placés à 1.1 m de hauteur avec une prise de mesure toute les 5 minutes.

### Les mesures dans les bureaux

Dans l'article « Evaluation of thermal comfort in an office building in the humid tropical climate of Beni ». [18] parallèlement au questionnaire, la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air a été mesurée dans le bâtiment des bureaux. Le dispositif utilise EasyLog-USB température, hygrométrie et anémomètre.

Dans l'étude, il a été considéré que les mesures étaient homogènes dans la salle. Cette hypothèse est faite car les occupants sont placés à une même distance de leurs ordinateurs.

**La différence des mesures entre chaque bureau et les mesures principales sont de l'ordre de 1.5°C et 0.2 kPa. Dans la référence ISO 7726, l'écart à ne pas dépasser est de 1.5°C pour la température et de 0.3kPa pour l'humidité. Pour la vitesse de l'air, l'écart entre les mesures ponctuelles et la mesure moyenne est de 0.1 m/s contre un écart accordé de 0.22m/s. Par conséquent, l'hypothèse d'homogénéité de l'environnement a été validée.**

### Salle d'enseignement

Une étude menée par Nyuk Hien Wong et Shan Shan Khoo.[22] s'intéressant à l'influence du confort thermique dans une salle de classe. Les salles de classes étudiées sont des classes du primaire et secondaire à Singapour généralement équipées de ventilateurs et brasseurs d'air mécanique.

Pour cette étude, les mesures liées aux paramètres de l'environnement ont été réalisées en 5 points dans chaque salle de classe.

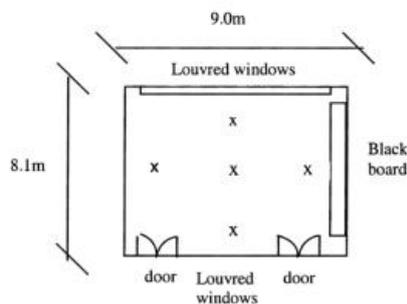


Fig. 6. Sampling locations for physical objective measurements.

Les mesures effectuées sont : la température de l'air intérieur, l'humidité relative et la vitesse de l'air. La température radiante moyenne est estimée avec un globe noir de 150 mm de diamètre. Les mesures sont prises à **1 m du sol** pour représenter la hauteur des occupants qui sont assis.

A chaque point d'échantillonnage, les deux équipements ont été laissés à fonctionner pendant environ **3 min** avant que les valeurs maximales, minimales et moyennes des paramètres ne soient enregistrées

Les mesures des paramètres de l'environnement sont attribuées aux étudiants selon leur localisation dans leur salle. En rajoutant deux paramètres supplémentaire personnels : le fonctionnement du métabolisme et le niveau d'habit de l'occupant : le indice PMV (Predicted Mean Vote) est calculé.

Les prédictions de sensation thermiques (PMV) sont ensuite comparées avec les réelles sensations des occupants évalués avec un questionnaire (TSV).

Dans l'étude présentée dans l'article « *Thermal comfort in university classrooms : An experimental study in the tropics* » [19], le confort thermique est étudié dans plusieurs salles de classe localisées dans trois régions d'Equateur : Quito, Guayaquil et Tema.

Les paramètres intérieurs mesurés sont : la température intérieure, l'humidité relative et la vitesse de l'air. La moyenne de la température radiante a été calculée en suivant les recommandations du ASHRAE avec un globe noir de diamètre de 150 mm. Les données ont été prises à une hauteur de **0.6m du sol**, qui représente le centre de gravité d'une personne en position assise.

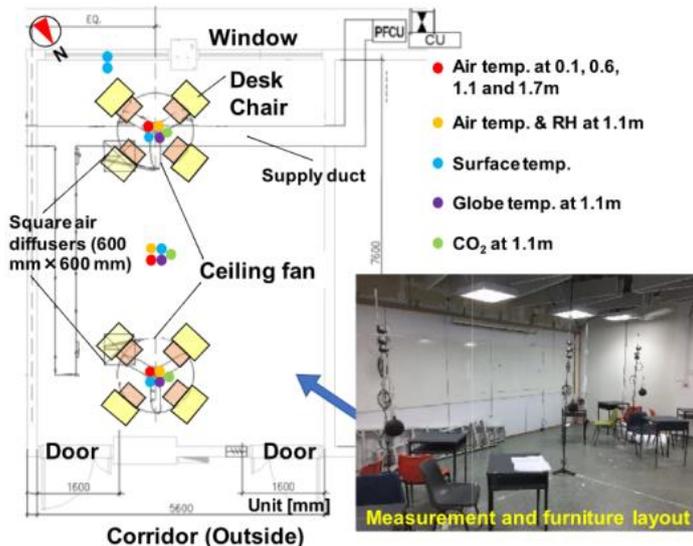
Pour étudier le confort thermique adaptatif, la moyenne des températures extérieures extrait d'une station météo climatique a été faite de manière simultanée à la prise des données intérieures.

Pendant le questionnaire, les données physiques sont mesurées au centre de la salle.



Dans l'article « *Effects of temperature, air movement and initial metabolic rate on thermal sensation during transient state in the tropics* », une étude est décrite sur le confort thermique dans une salle présente dans l'université de Singapour.

La salle de l'expérience est présentée ci-dessous. **Afin de réduire l'impact du rayonnement solaire, les fenêtres au sud ont leur volet roulant blanc fermé.**



Les mesures sont effectuées au niveau des bureaux et au centre de la salle.

Les mesures effectuées sont la température de l'air à différente altitude : 0.1, 0.6, 1.1, 1.7 et 2.2m. La température globale est mesurée en utilisant un globe thermomètre et un thermocouple de type T à **1.1 m de hauteur**. L'humidité relative et la vitesse de l'air sont également mesurées.

Les meures relevées sont ensuite corrélées à la sensation de confort thermique des occupants.

## 4 Sources

- [1] « NF EN ISO 7730 », *Afnor EDITIONS*. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-7730/ergonomie-des-ambiances-thermiques-determination-analytique-et-interpretati/fa119159/756> (consulté le 3 novembre 2021).
- [2] P. O. Fanger, *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Inc.,US, 1972.
- [3] « Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy ». <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy> (consulté le 3 novembre 2021).
- [4] « CEN\_06\_prEN\_15251\_FinalDraft.pdf ». Consulté le: 3 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.sysecol2.ethz.ch/OptiControl/LiteratureOC/CEN\\_06\\_prEN\\_15251\\_FinalDraft.pdf](https://www.sysecol2.ethz.ch/OptiControl/LiteratureOC/CEN_06_prEN_15251_FinalDraft.pdf)
- [5] H. Zhang, R. Yang, S. You, W. Zheng, X. Zheng, et T. Ye, « The CPMV index for evaluating indoor thermal comfort in buildings with solar radiation », *Build. Environ.*, vol. 134, p. 1-9, avr. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.037.
- [6] J. F. Nicol et M. A. Humphreys, « Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings », *Energy Build.*, vol. 34, n° 6, p. 563-572, juill. 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00006-3.
- [7] G. S. Brager et R. J. de Dear, « Thermal adaptation in the built environment: a literature review », *Energy Build.*, vol. 27, n° 1, p. 83-96, févr. 1998, doi: 10.1016/S0378-7788(97)00053-4.
- [8] S. Bonhomme, « Méthodologie et outils pour la conception d'un habitat intelligent », *undefined*, 2008, Consulté le: 9 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/M%C3%A9thodologie-et-outils-pour-la-conception-d%27un-Bonhomme/2bb04a4efe01ddf0c7c3b9bff308c3ef8f81bdd2>
- [9] P. Fanger et J. Toftum, « Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates », *Energy Build.*, vol. 34, p. 533-536, juill. 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00003-8.
- [10] R. Yao, B. Li, et J. Liu, « A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV) », *Build. Environ.*, vol. 44, p. 2089-2096, oct. 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.02.014.
- [11] S. Chen, X. Wang, I. Lun, Y. Chen, J. Wu, et J. Ge, « Effect of inhabitant behavioral responses on adaptive thermal comfort under hot summer and cold winter climate in China », *Build. Environ.*, vol. 168, p. 106492, janv. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106492.
- [12] B. Givoni et J.-L. Izard, *L'Homme, l'architecture et le climat*. Paris, France: Éditions du Moniteur, 1978.
- [13] H. M'sellem et A. Djamel, « Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique-Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et ... », *Rev. Énerg. Renouvelables*, vol. 12, p. 3-471, sept. 2009.
- [14] « EXAMEN DU PMV/PPD DE FANGER DANS LES AMBIANCES NATURELLEMENT VENTILEES DE LA BANDE COTIERE DU BENIN - PDF Téléchargement Gratuit ». <https://docplayer.fr/160384349-Examen-du-pmv-ppd-de-fanger-dans-les-ambiances-naturellement-ventilees-de-la-bande-cotiere-du-benin.html> (consulté le 5 novembre 2021).
- [15] O. A. Olissan, « Influence de la fenestration en vitre sur le confort thermique des bâtiments en climat tropical et humide : cas de la bande côtière du Bénin », Université de Liège, Liège, Belgique, 2017. Consulté le: 9 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/217393>
- [16] M. R. Sharma et S. Ali, « Tropical summer index—a study of thermal comfort of Indian subjects », *Build. Environ.*, vol. 21, n° 1, p. 11-24, janv. 1986, doi: 10.1016/0360-1323(86)90004-1.
- [17] D. Harimi, C. C. Ming, et S. Kumaresan, « A generalized thermal perception approach for indoor thermal comfort assessment in the humid tropics of Malaysia », *Energy Build.*, vol. 88, p. 276-287, févr. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.12.013.

- [18] G. Kiki, C. Kouchadé, A. Houngan, S. J. Zannou-Tchoko, et P. André, « Evaluation of thermal comfort in an office building in the humid tropical climate of Benin », *Build. Environ.*, vol. 185, p. 107277, nov. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107277.
- [19] G. Guevara M, G. Soriano, et I. Miño-Rodríguez, « Thermal comfort in university classrooms: An experimental study in the tropics », *Build. Environ.*, vol. 187, p. 107430, janv. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107430.
- [20] T. Rakotoarivelo, F. Miranville, C. Gronfier, et B. Malet-Damour, *Thermal comfort analysis: comparison between model and experimental data in tropical climate*. 2021.
- [21] « Norme NF EN ISO 10551 ». <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-10551/ergonomie-des-ambiances-thermiques-evaluation-de-linfluence-des-ambiances-t/fa102552/18718> (consulté le 21 février 2022).
- [22] N. H. Wong et S. Khoo, « Thermal comfort in classrooms in the tropics », *Energy Build. - ENERG BLDG*, vol. 35, p. 337-351, mai 2003, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00109-3.
- [23] V. Grosdemouge, « Proposition d'indicateurs de confort thermique et estimation de la température radiante moyenne en milieu urbain tropical. Contribution à la méthode nationale d'évaluation des ÉcoQuartiers », phdthesis, Université de la Réunion, 2020. doi: 10/document.
- [24] A. Lenoir, « On Comfort in Tropical Climates. The Design and Operation of Net Zero Energy Buildings. », p. 236.

# TACHE 1.1 - PRATIQUES DES BUREAUX D'ETUDES ET DES ARCHITECTES - RESULTATS DES ENQUETES

## 1 Introduction

Les enquêtes ont été réalisées de novembre 2021 à février 2022. Deux questionnaires ont été élaborés :

- Un à destination des bureaux d'études
- Un à destination des architectes

Ce sont des questionnaires en ligne envoyés par mailing sur les territoires de La Guadeloupe, La Martinique, La réunion et Mayotte

**Seuls 8 questionnaires ont été renseignés** au niveau de bureaux d'études et **27 du côté des architectes**.

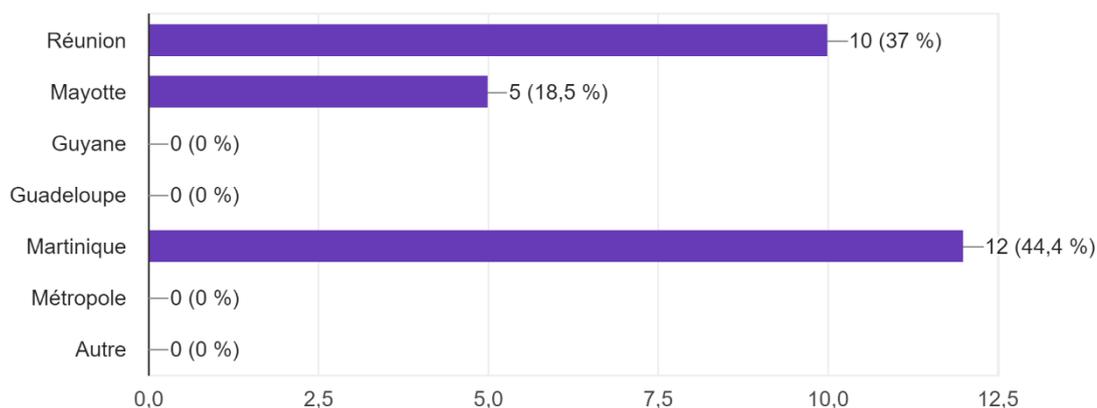
Le faible nombre de réponses des bureaux d'études est en liens avec le nombre réduit de ces derniers exerçant réellement dans la qualité environnementale du bâtiment.

## 2 Résultats des enquêtes auprès des architectes

27 architectes ont répondu au questionnaire dont le contenu est en annexe.

### 2.1 Localisation des ateliers

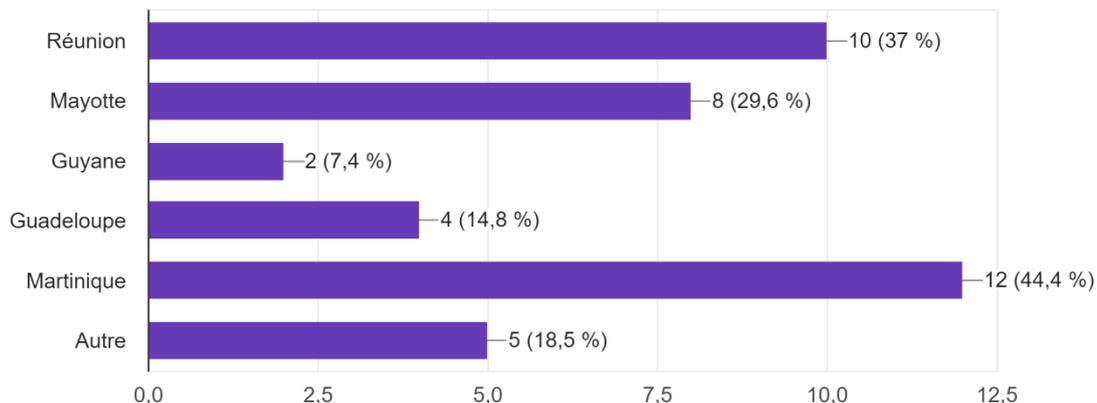
27 réponses



Les architectes qui ont répondu aux questionnaires sont principalement en Martinique, à la Réunion et à Mayotte.

## 2.2 Localisation de l'activité

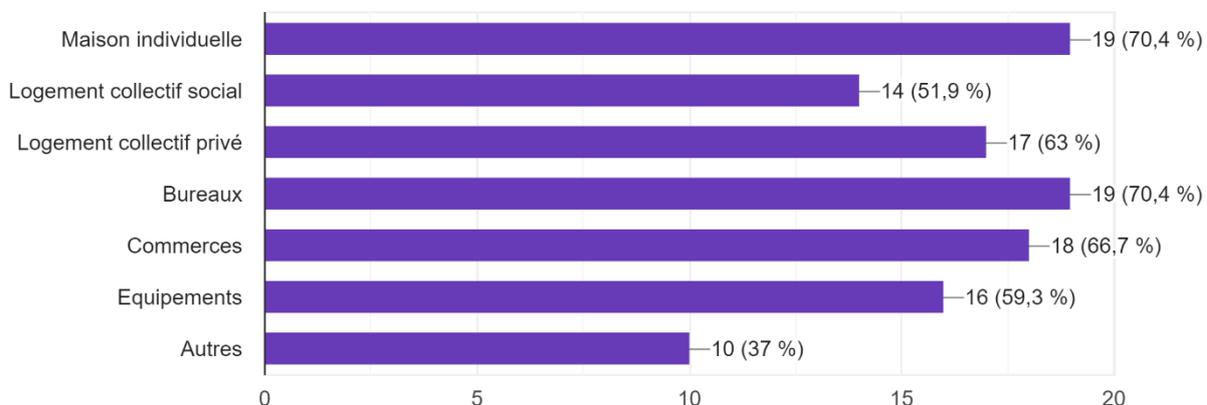
27 réponses



Les cabinets d'architectures basés en Martinique exercent en Martinique, en Guadeloupe et occasionnellement en Guyane. Ceux de la Réunion principalement à la réunion mais 3/ 10 interviennent également à Mayotte. Ceux de Mayotte n'exercent qu'à Mayotte.

## 2.3 Type de bâtiment construit

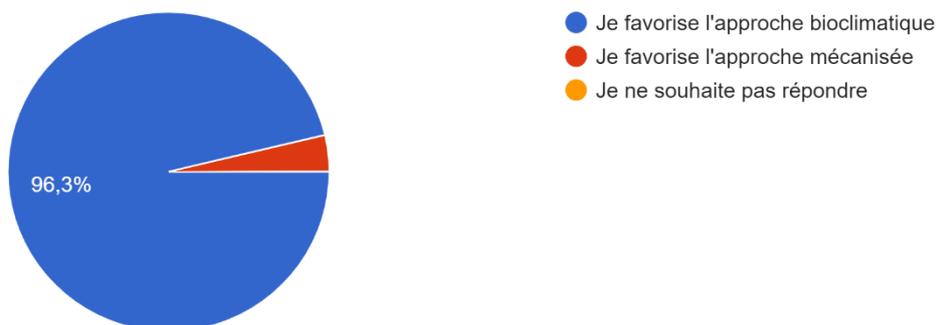
27 réponses



Une majorité des architectes (plus de 70%) réalise des maisons individuelles et des bureaux. Globalement, ils interviennent sur différentes typologies de bâtiment.

## 2.4 Approche bioclimatique

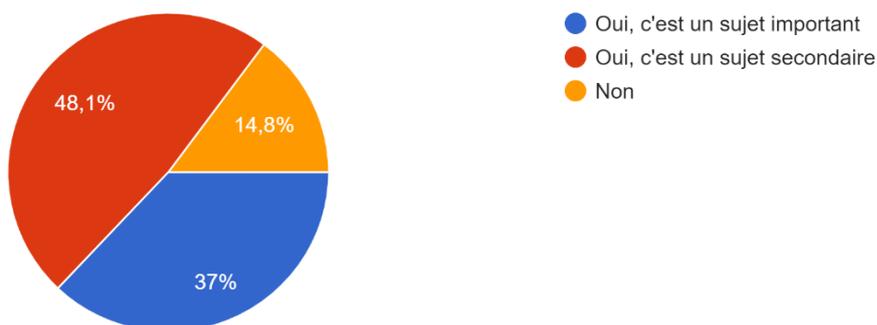
27 réponses



La majorité des architectes déclarent être partisan d'une approche bioclimatique qui favorise les protections solaires et le rafraîchissement passif (ventilation naturelle) plutôt qu'une approche mécanisée qui favorise la conception d'un bâtiment étanche et isolé nécessitant le recours à la climatisation.

## 2.5 Le confort thermique des occupants

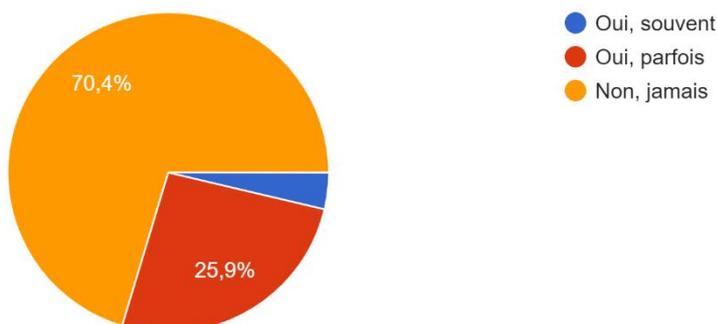
27 réponses



Ils déclarent que le confort thermique des occupants est un sujet de préoccupation plutôt secondaire chez les maîtres d'ouvrage à 48,1%. Seulement 37% déclarent que le maître d'ouvrage considère que le confort thermique est un sujet central du programme.

## 2.6 Justification de la performance thermique des projets

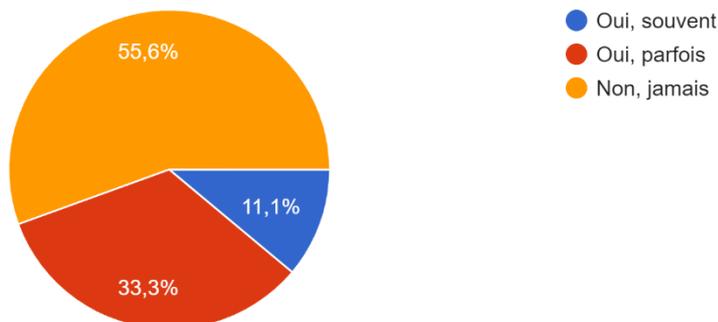
27 réponses



A plus de 70%, les architectes n’ont pas à justifier de la performance thermique de leurs projets. Les préoccupations des maîtres d’ouvrage, par rapport au sujet du confort thermique, dépend avant tout du type de bâtiment à construire : logements sociaux ou privés, industriels, bureaux, commerces, etc...

## 2.7 Intégration d’un thermicien dans l’équipe de maîtrise d’œuvre

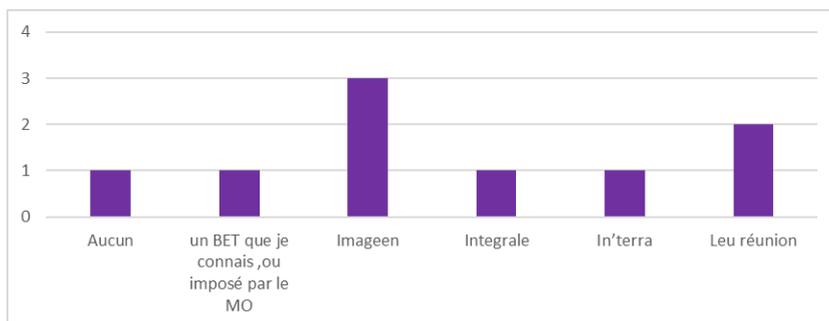
27 réponses



Plus de 55% des architectes déclarent ne jamais s’associer à l’expertise d’un thermicien pour optimiser la performance thermique de l’enveloppe (isolation, protections solaires...) et évaluer le niveau de confort thermique des futurs occupants ou les besoins de climatisation.

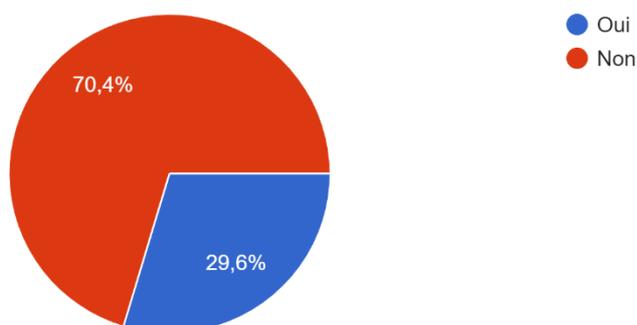
## 2.8 L’accompagnement d’un thermicien

A la question « Si vous êtes accompagnés par une expertise d’un thermicien lors de vos projets, avec quels bureaux d’études thermiques travaillez-vous ? » seuls 1/3 des architectes ont répondu à la question. Et avec peu de diversité dans les réponses : 4 bureaux d’études sur les territoires de la Réunion et Mayotte et aucune réponse du côté des Antilles.



## 2.9 Bilan sur la quantité thermique de bâtiment après sa conception

27 réponses



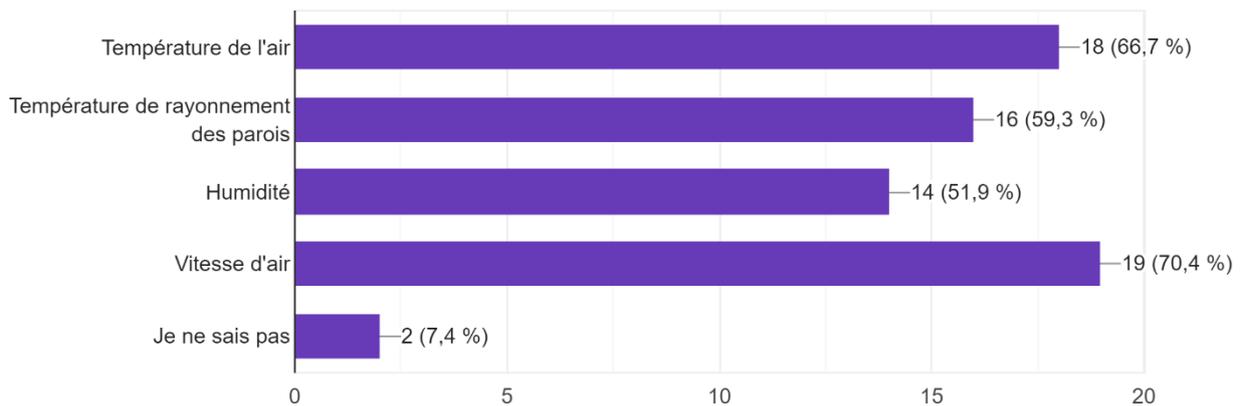
Dans 70% des cas il n’y a aucun retour d’expérience sur le confort thermique des occupants sur les bâtiments après sa livraison (après 1 ou 2 années d’exploitation).

Pour les 8 réponses positives l'évaluation se fait par des enquêtes qualitatives auprès des occupants et éventuellement de la mesure (pour 2 d'entre eux).

## 2.10 Les paramètres de confort thermique

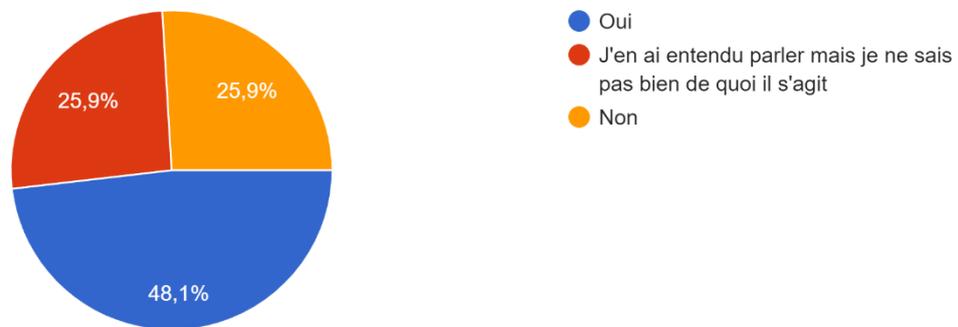
A la question « Quels sont les paramètres du confort thermique qui ont le plus d'importance selon vous ? » 70% des architectes répondent la vitesse de l'air puis la température de l'air. L'humidité n'est considérée comme un paramètre de confort que par la moitié d'entre eux.

27 réponses



## 2.11 Connaissance du diagramme de Givoni

27 réponses



Seuls 48% (13/27) des architectes connaissent l'utilité du diagramme de Givoni.

## 2.12 Leurs attentes

A la question « Quelles seraient vos éventuelles attentes pour mieux évaluer le confort thermique des bâtiments en conception de bâtiment neuf ou sur un bâtiment existant ? », les réponses sont les suivantes :

- Une réelle implication des thermiciens dans la conception des projets (choix matériaux, ...)
- Avoir la liste et coordonnées des techniciens compétents
- L'utilisation d'un outil de calcul au sein des logiciel de CAO
- Les études des bureaux d'étude QEB avec lesquels nous collaborons pour la plupart basés à Mayotte se basent sur les données générales du territoire et non sur la spécificité du site. Nous souhaiterions observer de leur part une approche du site au cas par cas, avec un déplacement systématique sur site

à différentes heures de la journée et différentes saisons. Ou alors placer une station météo permettant de relever précisément les données du site. Il me paraît improbable qu'un bureau en QEB puisse travailler sans se rendre sur place ! Peut-être qu'une mise à disposition simplifiée de petites stations météo permettrait une analyse plus fine des sites.

- Il faudrait faire appel à un BE thermique pour chaque projet ou bien avoir un logiciel adapté (simplifié par rapport à un logiciel de BE) et une personne formée dans l'agence pour faire et interpréter les simulations.
- Meilleure évaluation des flux d'air principaux sur le territoire mahorais
- Outils simplifiés stade esquisse
- Instrumenter systématiquement les projets réalisés, réaliser des bilans énergétiques, et informer et former les usagers
- Actualisation plus détaillée des données climatiques par site et non par zone
- Une grille d'évaluation à transmettre à la maîtrise d'ouvrage
- Des logiciels compatibles avec les logiciels de modélisation pour vérifier l'aéroulque des petits projets.

### 3 Résultats des enquêtes auprès des bureaux d'études

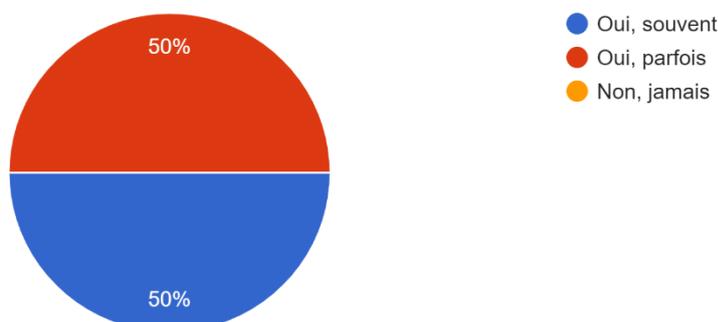
Du côté des bureaux d'études la participation est extrêmes faible principalement dû au faible nombre présent sur les territoires d'outre-mer. Nous regrettons cependant que certains de nos confrères n'ont pas pris le temps de la réponse.

BET	Nombre de réponses
INTERRA	1
TRIBU	2
INTEGRALE Ingénierie	1
Watt Smart	2
BET IMAGEEN	2

Nota : les personnes travaillant sur le projet COCO n'ont volontairement pas répondu au questionnaire. Le questionnaire est disponible en annexe.

#### 3.1 Missions d'accompagnement du volet environnemental des projets

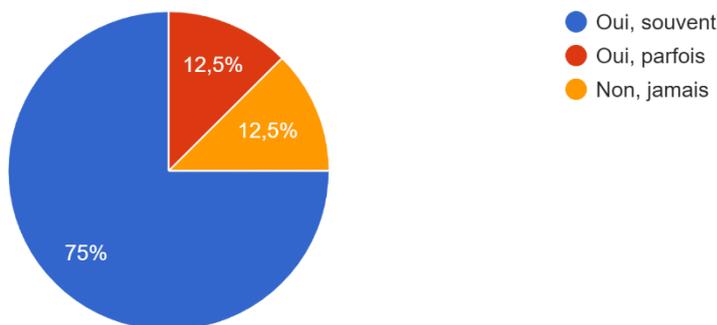
8 réponses



Globalement, l'ensemble des personnes répondant au questionnaire réalisent des études d'accompagnement sur la partie environnementale ou énergie de projets de construction ou de rénovation de bâtiment en milieu tropical (Réunion, Mayotte, Guyane ou Antilles).

### 3.2 Attente des maîtres d’ouvrage

8 réponses

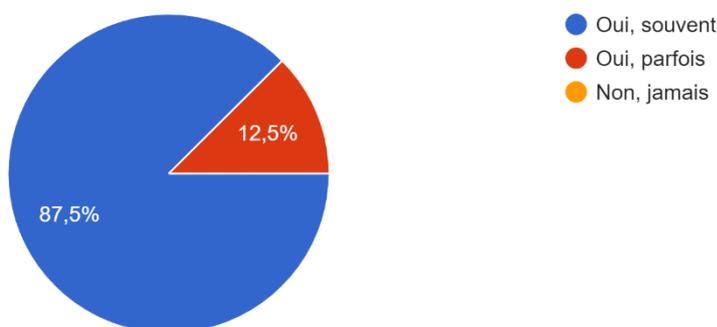


Une majorité des personnes déclare que les maîtres d’ouvrages attendent des éléments précis pour évaluer le niveau de confort thermique des futurs occupants.

Cette réponse n’est pas en contradiction avec celle des architectes, puisque les bureaux d’études thermique n’interviennent pas sur tous les projets de conception. Mais quand leur présence est demandée, une attente des justifications des performances environnementales sont attendues de la part des maîtres d’ouvrage.

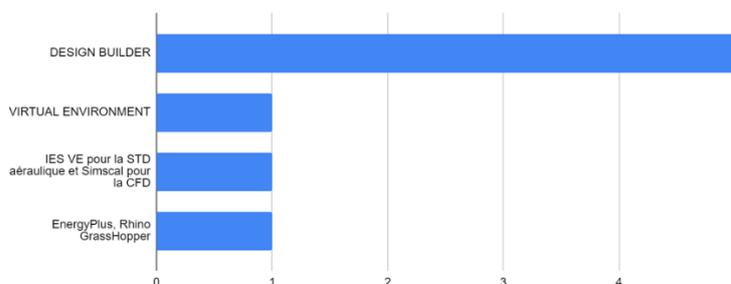
### 3.3 Les outils d’évaluation thermique utilisés

8 réponses



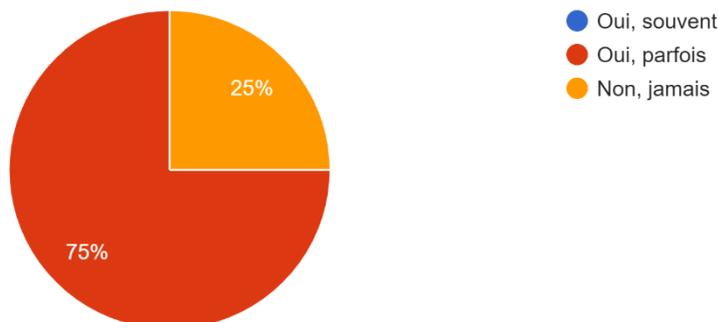
7/8 personés déclarent utiliser un outil de simulation thermique dynamique

L’outil de simulation thermique dynamique pour évaluer le niveau de confort thermique le plus utilisé est Design Builder.



### 3.4 Bilan sur la quantité thermique de bâtiment après sa conception

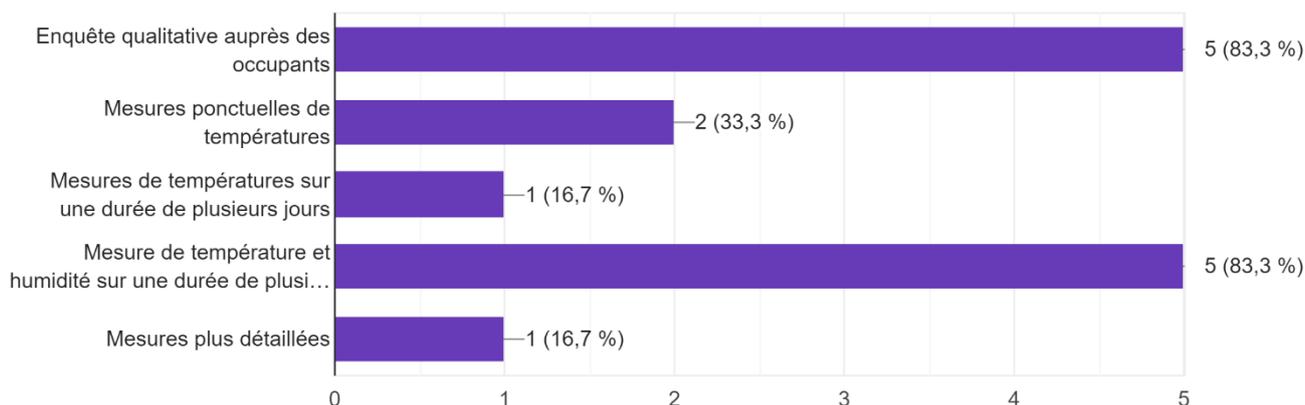
8 réponses



Le retour d'expérience sur le confort thermique des occupants sur des bâtiments existe mais n'est pas systématique.

Dans le cas d'un suivi la méthode la plus utilisée sont les Enquête qualitative auprès des occupants et les mesures de températures et humidité sur plusieurs jours.

6 réponses



### 3.5 Les indicateurs de suivi du confort thermique

#### 3.5.1 En zone climatisée

Réponses	Nombre
Température d'air / température des parois / vitesse d'air	1
Température de consigne (dimensionnement) et Température + Vitesse de l'air selon sensibilité	1
Aucun	2
Température d'air, humidité, sondage	1
Diagramme de Givoni	3

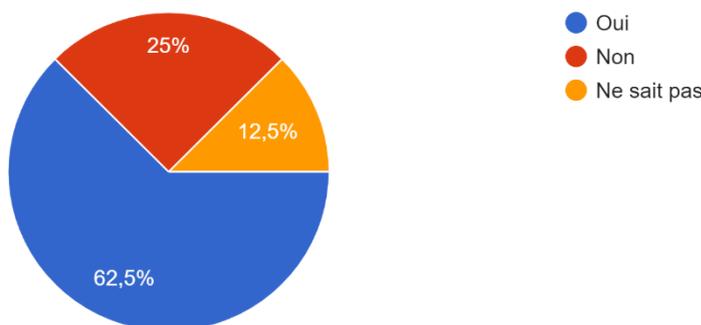
### 3.5.2 En zone non climatisée

Réponses	Nombre
Diagramme de Givoni (taux d'inconfort / Nombres d'heures annuelles de température opérative dépassant 30°C)	6
Température + Hygrométrie + Vitesse de l'air	2
Température d'air, humidité, sondage	

La majorité des bureaux d'études traduisent le niveau de confort ou d'inconfort en utilisant le diagramme de Givoni.

### 3.6 Cohérence des résultats des simulations avec le terrain

8 réponses



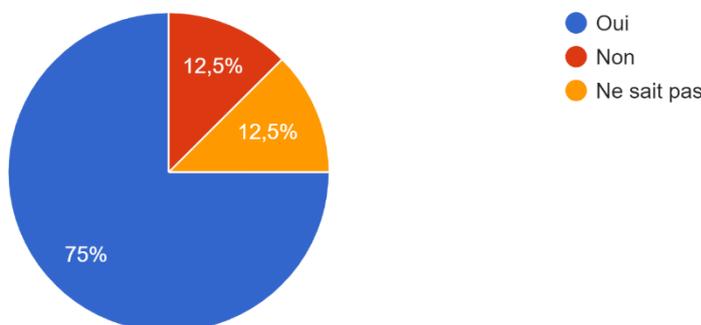
5/8 des personnes trouvent que les résultats sont cohérents avec la réalité du terrain.

2/8 ne trouvent les résultats des simulations incohérentes avec le réel.

Une personne ne sait pas si ces résultats sont cohérents avec la réalité du terrain.

### 3.7 Compréhension par les maîtres d'ouvrage des indicateurs utilisés

8 réponses



6/8 des personnes pensent que les indicateurs utilisés sont suffisamment clairs pour les maîtres d'ouvrage.

Mais Ils pensent que ces indicateurs présentent des limites, notamment :

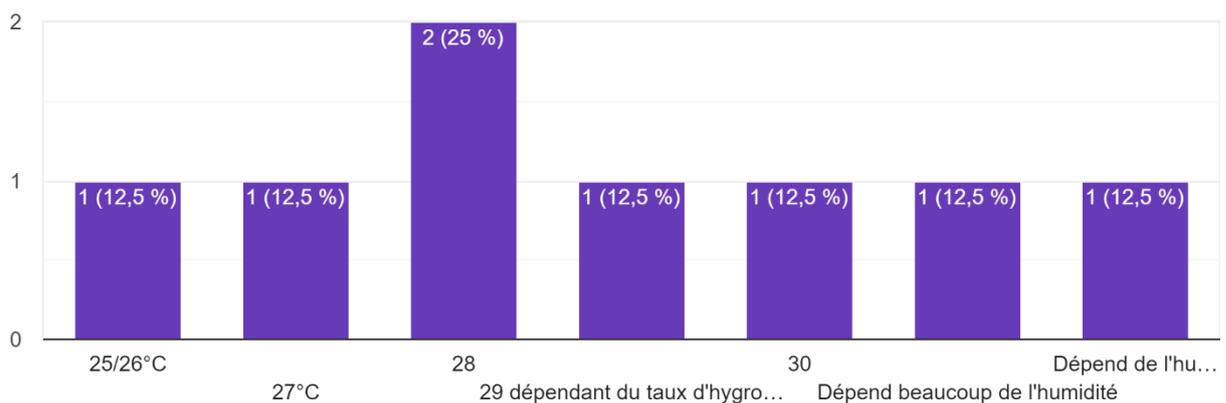
- Le taux d'inconfort de Givoni est parfois sous-estimé par une surestimation des vitesses d'air (la vitesse d'air de 1 m/s avec les brasseurs d'air ou l'ouverture des fenêtres n'est pas forcément atteinte dans le réel),
- De la définition de l'objectif, la mesure et vérification et le manque de sensibilisation des occupants,
- Des limites du logiciel. (Géométrie, prise en compte de certains paramètres, grand volume, la prise en compte des données de ventilation)
- La mauvaise retranscription de l'adaptation à l'humidité et au climat local
- La non prise en compte de certaines contraintes sociales liées au CLO
- Les diagrammes ont tendance à indiquer plus vite de l'inconfort dans le chaud par rapport au ressenti des gens, et pas assez dans le froid
- La non prise en compte de l'aspect radiatif qui peut être source d'inconfort.

### 3.8 Le confort thermique en mode non climatisé

#### 3.8.1.1 Les températures de confort

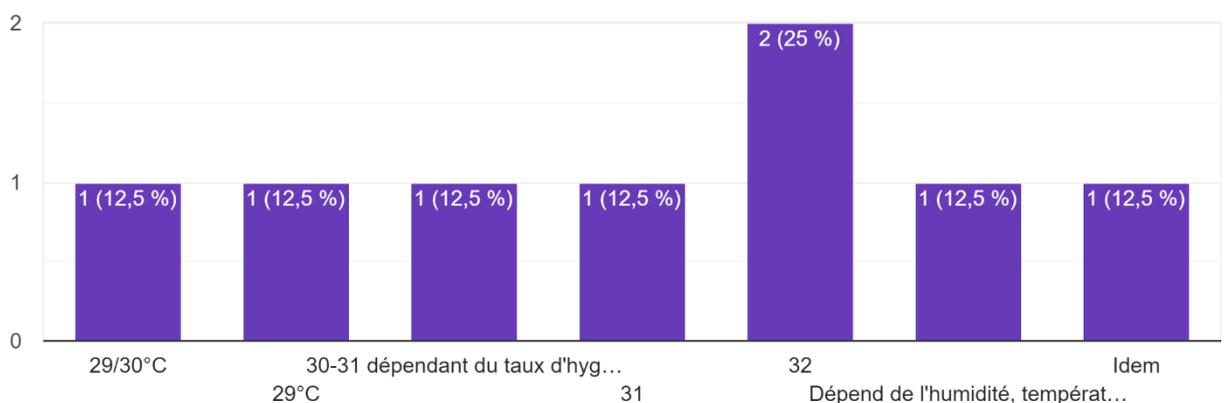
A la question « A partir de quelle température (sans vitesse d'air) diriez-vous qu'on peut considérer que la majorité des personnes est en inconfort ? » les réponses ne sont pas homogènes mais la notion du taux d'humidité à une répercussion sur la température de confort.

8 réponses



La même question est posée pour une vitesse d'air de 1m/s

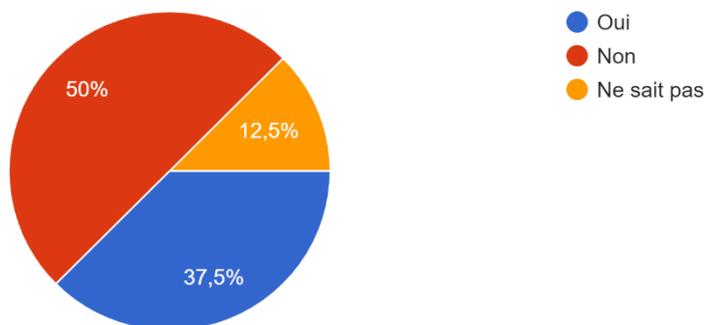
8 réponses



Les réponses sont plutôt autour de 30°C et fonction du taux d'humidité.

### 3.8.2 Les zones de confort de Givoni

8 réponses



A la question « Trouvez-vous que les indicateurs utilisés sont cohérents avec la réalité du terrain ? » 4/8 pensent que les limites actuelles des zones de Givoni ne sont adaptées au climat tropical l'autre moitié pense qu'elles le sont.

Ils proposent des pistes de réflexion pour de nouveaux indicateurs pour évaluer le confort thermique en mode non-climatisé :

- Se baser plus sur des indicateurs naturels que sont ombrage, brise et évapotranspiration car s'entêter à construire des bâtiments fermés n'ira pas dans le sens de la frugalité en climat tropical.
- Il serait intéressant de revoir Givoni pour les zones très humide comme Mayotte, où le confort semble atteint pour des humidités plus fortes que celle de Givoni
- La prise en compte de vitesse d'air et la corrélation des données de sondage avec l'utilisation des brasseurs d'airs.
- Actualiser Givoni - définir une température opérative de confort en fonction du vent et des situations (logement, tertiaire, commerce...)
- PMV-PPT
- Acceptation d'une humidité et d'une température plus importante par l'acclimatation des habitants.

## 3.9 Le confort thermique en mode climatisé

### 3.9.1 Les températures de consigne de la climatisation

A la question « A partir de quelle température (sans vitesse d'air) diriez-vous qu'on peut considérer que la majorité des personnes est en inconfort ? », les réponses sont disparates. Ce qui dénote d'un manque de cadre (référentiel, réglementaire ou autre) fixant des objectifs de performance.

- 24°C
- 28 (2 réponses)
- 30
- Dépend de l'humidité, température des parois, CLO...
- 26-27 dépend de l'habillement et de l'activité
- 27°C
- 25°C

5/8 estiment que le diagramme de Givoni n'est pas adapté à la traduction du confort en zone climatisée.

# TACHE 1.2 - PROTOCOLES DE MESURES & QUESTIONNAIRES

# 1 Protocole de mesures COCO

## 1.1 Bibliographie pour la démarche

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés au protocole déjà effectué lors d'étude sur le confort thermique dans des salles d'enseignement.

Une étude menée par Nyuk Hien Wong et Shan Shan Khoo [1] sur des classes du primaire et secondaire à Singapour. Pour cette étude, les mesures liées aux paramètres de l'environnement ont été réalisées en 5 points dans chaque salle de classe.

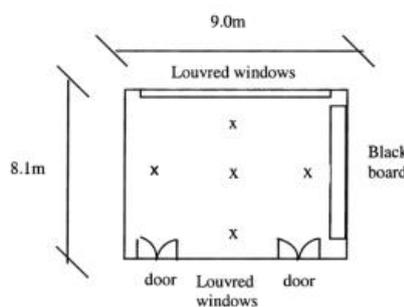


Fig. 6. Sampling locations for physical objective measurements.

A chaque point d'échantillonnage, les capteurs (température de l'air intérieur, humidité relative, vitesse de l'air et température radiante moyenne) ont été laissés à fonctionner pendant environ **3 min** avant que les valeurs maximales, minimales et moyennes des paramètres ne soient enregistrées

Les paramètres de l'environnement ont été attribués aux étudiants selon leur place dans la salle.

Dans l'article « Evaluation of thermal comfort in an office building in the humid tropical climate of Beni'' [2], étude porte sur une grande salle de bureaux. Les mesures des paramètres de l'environnement (température de l'air, température radiante, vitesse de l'air et humidité d'air) ont été pris à un seul endroit : au centre de la salle. La salle est considérée homogène. Des prises ponctuelles de mesure dans la salle ont pu permettre de valider l'hypothèse d'homogénéité de l'environnement selon la référence ISO 7726.

### Etude expérimentale du temps de stabilisation des boules noirs :

Rayonnement solaire très fort	Rayonnement solaire moyen (lumineux)	Rayonnement solaire faible (milieu homogène)
Le temps de stabilisation d'une boule noire dans un environnement avec du rayonnement solaire très fort est de <b>20-30 min</b>	Le temps de stabilisation d'une boule noire dans un environnement lumineux (rayonnement moyen) est d'environ <b>10 min</b>	Le temps de stabilisation d'une boule noire dans un environnement ayant peu de rayonnement solaire est de quelques minutes <b>3-5 min</b>

## 1.2 Matériel & méthode

### 1.2.1 Le matériel

Les paramètres de mesures physiques retenus sont les mêmes que ceux rencontrés dans la littérature :

- Température de l'air ambiant,
- Humidité relative,
- Température de rayonnement (globe noir 150 mm),
- Vitesse d'air.

Le matériel retenu est utilisé par l'université de La Réunion pour ce type d'instrumentation :

- Mât de mesure précis (température, humidité, température de rayonnement, vitesse d'air) Centrale d'acquisition Ahlborn
- Mât de mesure précis (température, humidité, température de rayonnement, vitesse d'air) Centrale d'acquisition Testo

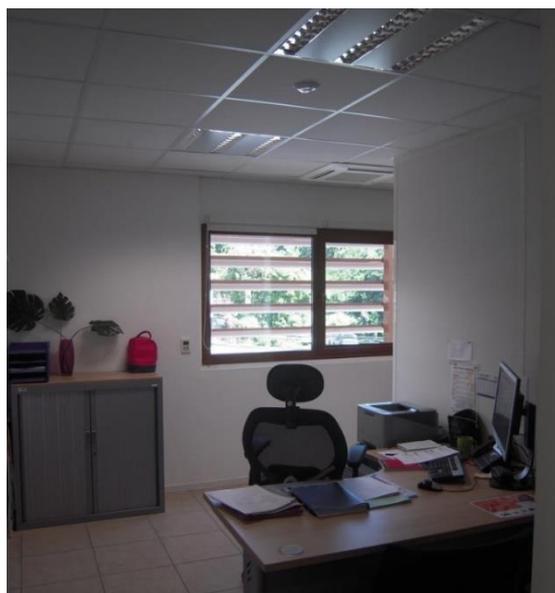
### 1.2.2 La méthode

Notre méthode consiste à faire des mesures sur certains paramètres du confort à un instant  $t$  et à les mettre en relation avec l'évaluation du confort faite par les occupants au même instant. Cette évaluation du confort est faite à travers un court questionnaire.

Une « enquête » correspond à une réponse au questionnaire, associée à une mesure des différents paramètres du confort.

Il est important d'étaler la réalisation des enquêtes sur les différentes saisons climatiques pour avoir des conditions variées de températures, humidité, vitesse de vent, ... Par ailleurs, ces différentes conditions sont également obtenues des bâtiments de différents niveaux de performance thermique. Les bâtiments performants devraient générer des conditions moins chaudes que les bâtiments mal protégés de la chaleur.

## 1.3 Bureaux



### 1.3.1 Matériel

Le mat utilisé est le mat Testo avec une sonde température/hygométrie, une boule noire et une sonde de vélocité de l'air.

Pour instrumenter les conditions de l'environnement d'une personne assise : la barre horizontale du mat est située à 0.8m du sol.

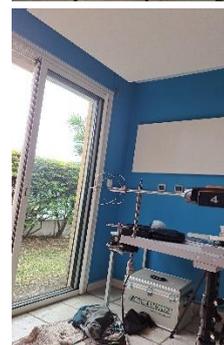


### 1.3.2 Positionnement des mâts de mesures

Lors de la présentation des résultats des études, Mathieu David du laboratoire PIMENT- Université de la Réunion a fait remarquer qu'il peut y avoir des différences de mesures de la vitesse de vent selon que le fil chaud est à l'horizontale ou à la verticale. Les mesures étant réalisées dans les deux sens, nous avons réalisé des tests comparatifs entre les deux positions et entre les deux types d'appareils de mesures qui ont été utilisés pour cette étude.

Pour ce faire les mesures réalisées sont les suivantes :

- Sous un brasseur d'air :
  - Les de sondes de mesure (Ahlborn et Testo) sont à verticale
  - Les de sondes de mesure (Ahlborn et Testo) sont à l'horizontale
  - La sonde Ahlborn à la verticale la sonde Testo à l'horizontale
  - La sonde Testo à la verticale la sonde Ahlborn à l'horizontale
  
- Face / perpendiculaire à la fenêtre :
  - Les de sondes de mesure (Ahlborn et Testo) sont à verticale
  - Les de sondes de mesure (Ahlborn et Testo) sont à l'horizontale
  - La sonde Ahlborn à la verticale la sonde testo à l'horizontale
  - La sonde Testo à la verticale la sonde Ahlborn à l'horizontale



Les deux premières mesures, dans chacun configuration, permettent de tester les appareils entre eux. Les deux mesures suivantes permettent de mesurer l'écart entre la position verticale et horizontale pour chaque sonde.

Caractéristique de la sonde AHLBORN	Caractéristique de la sonde TESTO
<p>Étendue de mesure : 0,05 à 1,000 m/s</p> <p>Résolution : 0.001 m/s</p> <p>Précision : ± (3 % de la mesure, + 1 % de la pl. éch. +2 chiffres)</p> <p>Conditions nominales : 23 °C ±3 K, 50 % h.r., 1013 mbar.</p> <p>Compensation de température : dans la plage 0 à 60 °C</p>	<p>Étendue de mesure : 0 à 5 m/s</p> <p>Précision : ±(0,03 m/s + 4 % v.m.)</p> <p>Résolution : 0,01 m/s</p>

1.3.2.1 Mats sous brasseur d'air

Mesure 1

Testo : 0,42 m/s

Ahlborn : 0,42 m/s

Deux mats à la verticale

Variation = 0 m/s

mat horizontal

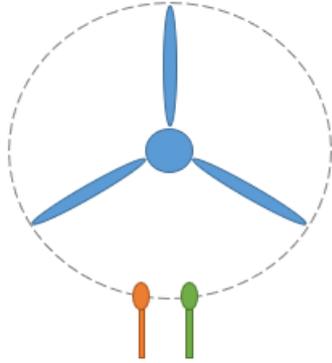
mat vertical

Mesure 2

Testo : 0,28 m/s  
 Ahlborn 0,25 m/s

Deux mats à l'horizontale

Variation = 0,03m/s - variation au centième n négligeable au regarde de la plage de l'incertitude des sondes



Sonde  
 AHLBORN

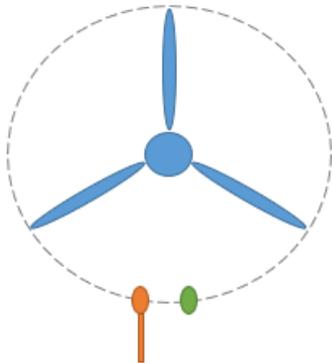
Sonde  
 TESTO

Mesure 3

Testo : 0,53 m/s  
 Ahlborn 0,58 m/s

Testo à l'horizontale / Ahlborn à la verticale

Variation = 0,05m/s - variation au centième n négligeable au regarde de la plage de l'incertitude des sondes



Sonde  
 AHLBORN

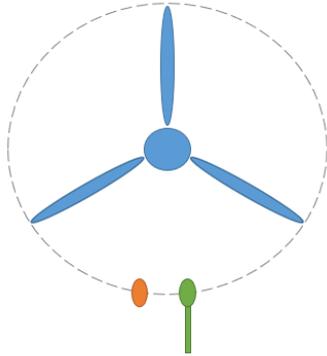
Sonde  
 TESTO

Mesure 4

Testo : 0,39 m/s  
 Ahlborn 0,42 m/s

Testo à la verticale / Ahlborn à l'horizontale

Variation = 0,03m/s - variation au centième n négligeable au regarde de la plage de l'incertitude des sondes



Sonde AHLBORN

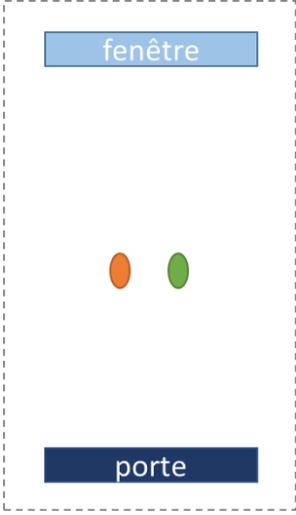
Sonde TESTO

1.3.2.2 Mats perpendiculaires à la fenêtre

**Mesure 1**

Testo :	0,05 m/s	<b>Deux mats à la verticale</b>	Variation = 0,01 m/s - variation au centième n négligeable au regard de la plage de l'incertitude des sondes
Ahlborn	0,04 m/s		

fenêtre



porte



  
 mat horizontal

  
 mat vertical

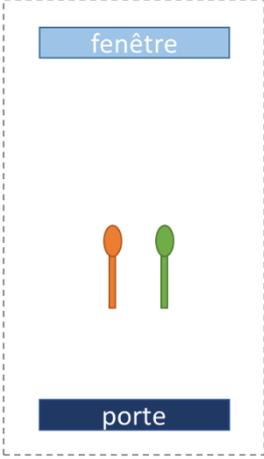
  
 Sonde  
AHLBORN

  
 Sonde  
TESTO

**Mesure 2**

Testo :	0,17 m/s	<b>Deux mats à l'horizontale</b>	Variation = 0,04 m/s - variation au centième n négligeable au regard de la plage de l'incertitude des sondes
Ahlborn	0,21 m/s		

fenêtre



porte



  
 mat horizontal

  
 mat vertical

  
 Sonde  
AHLBORN

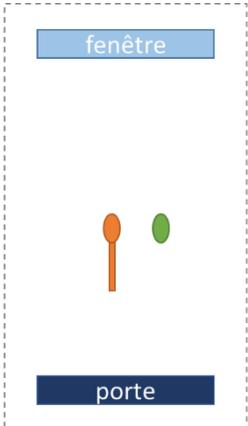
  
 Sonde  
TESTO

**Mesure 3**

Testo : 0,06 m/s  
 Ahlborn : 0,05 m/s

Testo à l'horizontale / Ahlborn à la verticale

Variation = 0,01m/s - variation au centième n négligeable au regard de la plage de l'incertitude des sondes



mat horizontal    mat vertical

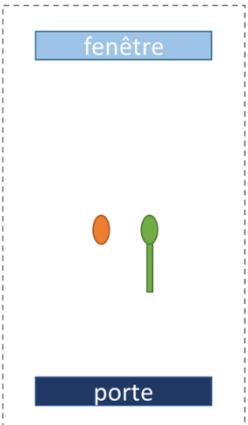
Sonde AHLBORN    Sonde TESTO

**Mesure 4**

Testo : 0,03 m/s  
 Ahlborn : 0,01 m/s

Testo à la verticale / Ahlborn à l'horizontale

Variation = 0,02m/s la mesure est trop faible, elle est dans la plage d'incertitude des appareils




mat horizontal    mat vertical

Sonde AHLBORN    Sonde TESTO

1.3.2.3 Mats parallèles à la fenêtre

**Mesure 1**

Testo : 0,05 m/s  
Ahlborn 0,04 m/s

**Deux mats à la verticale**

Même mesure que dans le cas précédent

fenêtre

porte



  
mat horizontal

  
mat vertical

Sonde  
AHLBORN

Sonde  
TESTO

**Mesure 2**

Testo : 0,12 m/s  
Ahlborn 0,10 m/s

**Deux mats à l'horizontale**

Variation = 0,02 m/s - variation au centième n négligeable au regard de la plage de l'incertitude des sondes

fenêtre

porte



  
mat horizontal

  
mat vertical

Sonde  
AHLBORN

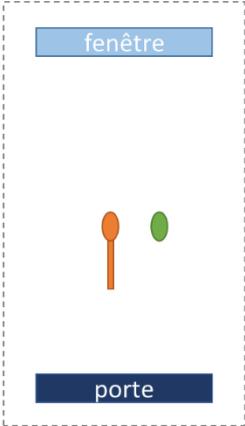
Sonde  
TESTO

Mesure 3

Testo : 0,23 m/s  
Ahlborn 0,24 m/s

Testo à l'horizontale / Ahlborn à la verticale

Variation = 0,01m/s - variation au centième n négligeable au regarde de la plage de l'incertitude des sondes



fenêtre

porte

mat horizontal mat vertical

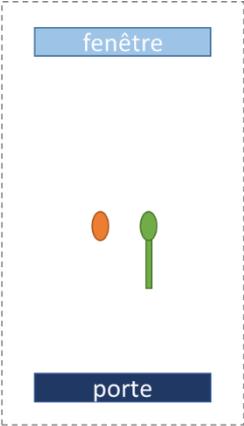
Sonde AHLBORN Sonde TESTO

Mesure 4

Testo : 0,14 m/s  
Ahlborn 0,11 m/s

Testo à la verticale / Ahlborn à l'horizontale

Variation = 0,03 m/s la mesure est trop faible, elle est dans la plage d'incertitude des appareils




fenêtre

porte

mat horizontal mat vertical

Sonde AHLBORN Sonde TESTO

Quel que soit le cas de figure, la différence entre les deux mesures est des quelques centièmes (entre 0 et 0,05 m/s) ce qui n'est pas significatif dans l'analyse des résultats de l'étude COCO.

Pour rappel, dans le cadre de l'étude COCO, les valeurs de vitesse d'air inférieurs à 0,2 m/s sont considérées comme une vitesse d'air nulle et les plages de vitesse d'air sont au dixième et non au centième.

### 1.3.3 Questionnaire en ligne

Pour chaque nouvelle enquête, dupliquer un questionnaire spécifique au lieu et à la date :

[V4 Mayotte Questionnaire de confort dans des bureaux](#)

[V2 Martinique Questionnaire de confort dans des bureaux](#)

#### **PRECISIONS :**

- **Installation du mât de mesure et déplacement dans différents bureaux au cours de la journée :**

**Déplacement dans le bâtiment :** privilégier des personnes interrogées avec des orientations de façade aléatoire au cours de la journée. Dans un grand bâtiment de bureaux à plusieurs plateaux, si l'enquête est effectuée sur plusieurs jours, nous avons effectué un plateau par jour avec une circulation différente sur chaque plateau.

Possibilité de passer 2 fois dans chaque bureau le matin et l'après-midi pour avoir des conditions différentes (exemple : bureau plein ouest qui n'aura pas le soleil le matin mais l'aura l'après-midi)

#### **Installation du mat :**

Le mat est positionné à proximité de la personne interrogé en étant vigilant à trois facteurs :

La boule noire doit être positionnée afin que son exposition au rayonnement lumineux soit similaire à l'exposition de la personne interrogée

La chaleur corporelle de l'intervenant (de Kebati ou Imageen) ne doit pas influencer la température de la boule noire. Ne pas se placer trop près du mat.

Placer la sonde de vitesse d'air de tel sorte à capter un mouvement d'air similaire à la personne interrogée.

**Si la personne interrogée utilise un ventilateur ou un brasseur d'air, privilégier le placement du mat par rapport à la position de la sonde de vitesse d'air**

- **Questionnaire et relève des mesures sur le mât :**

#### **Réalisation du questionnaire**

Pour effectuer le questionnaire, l'intervenant est muni d'une tablette ou d'un smartphone pour enregistrer les réponses orales sur le questionnaire en ligne (googleform).

Pour les bureaux à 2-3 personnes, il est envisageable de faire répondre les personnes directement sur les ordinateurs afin d'éviter qu'ils s'influencent.

#### **Mesure sur mat**

Le matériel nécessite un temps d'adaptation pour se mettre dans les conditions d'ambiance après un changement de bureau.

Lors d'un changement important de conditions (passage d'une zone sans rayonnement à avec rayonnement, ou d'une zone climatisée à non climatisée, ...), prévoir un temps d'adaptation de **10 minutes minimum**. Pour les autres cas, nous pouvons prévoir **7 ou 8 min d'adaptation**.

La réalisation d'une mesure moyennée :

L'appareil est configuré pour réaliser une mesure avec un intervalle de **30 sec** sur une durée de **3min**

A la fin de la mesure, on obtient une donnée minimale, maximale et la moyenne.

Vérifier que la différence entre la température radiante (boule noire) minimale et maximale soit inférieure à 1°C.

### 1.3.4 Protocole simplifié

1. Installer le mat selon les indications ci-dessus et regarder l'heure du positionnement du mat
2. Expliquer la démarche à la personne interrogée et lui faire faire le questionnaire.
3. Lorsque vous avez positionné le mat depuis 7-8 min ou 10 min selon le contexte, lancer les mesures
4. Effectuer les relevés des conditions de la salle
5. Effectuer le relevé des mesures. Si le  $\Delta T > 1^\circ\text{C}$  de la boule noire relancer la mesure.

**Nombre d'enquêtes réalisables par jour : 30**

- 1 enquête toutes les 15 min en moyenne
- Présence 8h par jour

**Nombre de jours d'enquêtes nécessaires pour atteindre l'objectif de 250 enquêtes par territoire : 8,5 jours**

### 1.3.5 Panel de bâtiments

Nous ciblons les bâtiments avec un nombre important de bureaux afin de pouvoir réaliser un maximum d'enquêtes une même journée : les bâtiments administratifs des collectivités, des agences de l'Etat ou d'entreprises privées.

### 1.3.6 Questionnaire pour les bureaux

Le questionnaire vise à déterminer le niveau de confort ressenti par la personne interrogée à un instant t. Ce questionnaire reprend les paramètres retrouvés dans la bibliographie à savoir :

- Le ressenti de chaleur ou de froid sur une échelle de 7 points,
- Le ressenti d'humidité sur une échelle de 7 points,
- Le ressenti de vitesse de vent sur une échelle de 5 points,
- L'évaluation du confort sur une échelle de 7 points,

Comme tout questionnaire celui-ci début par l'identification de la personne (sexe, âge, vêtue, ...).

Le questionnaire intègre également la notion d'acclimatation de la personne à travers le nombre d'années de présence sur le territoire.

1. 1/ Depuis combien de temps êtes-vous dans le bureau ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Moins de 15 min
- Entre 15 et 59 min
- 1 h ou plus

2. 2/ Si vous êtes dans le bureau depuis moins d'une heure, avez-vous pratiqué une activité physique avant ?

*Une seule réponse possible.*

- Oui, une activité physique à faible intensité (exemple : marche à pied à allure normale)
- Oui, une activité physique à forte intensité (activité sportive, course à pied, marche rapide ...)
- Non, aucune activité physique

3. 3/ Etes-vous : \*

*Une seule réponse possible.*

- Une femme
- Un homme
- Autre

## 4. 4/ Quel est votre âge ? \*

Une seule réponse possible.

- Moins de 15 ans  
 De 15 à 19 ans  
 De 20 à 29 ans  
 De 30 à 59 ans  
 Plus de 59 ans

## 5. 5/ Actuellement, portez-vous le masque ? \*

Une seule réponse possible.

- Oui  
 Non

## 6. 6/ Habillement du haut du corps (possibilité de cocher plusieurs cases : chemise \* + veste) ?

Plusieurs réponses possibles.

- Vêtement à manches courtes léger (chemise légère, chemisier fin, tee-shirt, débardeur fin, haut de robe fine)  
 Vêtement à manches courtes épais (polo, chemise épaisse, tee-shirt épais, haut de robe épaisse)  
 Vêtement à manches longues léger (chemise fine, tee-shirt fin à manches longues, gilet ou pull fin ...)  
 Vêtement à manches longues épais (chemise épaisse, polo à manches longues, pull épais ...)

## 7. 7/ Habillement du bas du corps ? \*

Plusieurs réponses possibles.

- Vêtement court (short, jupe ...)  
 Vêtement long léger (pantalon fin ...)  
 Vêtement long épais (jean, pantalon épais ...)

## 8. 8/ Habillement pieds : \*

Plusieurs réponses possibles.

- Chaussures fermées (baskets, ...)  
 Chaussures ouvertes (sandales, tongs ...)

9. 9/ Depuis combien de temps vivez-vous aux Antilles/Mayotte ? \*

Une seule réponse possible.

- Depuis toujours  
 Plus de 5 ans  
 Entre 6 mois et 5 ans  
 Moins de 6 mois

10. 10/ Avez-vous l'habitude de vivre en milieu climatisé lorsque vous êtes à la maison ? \*

Une seule réponse possible.

- Oui, la journée et la nuit  
 Oui, la nuit uniquement  
 Non ou très rarement

11. 11/ Actuellement dans le bureau, jugez-vous que l'air soit :

Une seule réponse possible par ligne.

	Très Humide	Humide	Légèrement Humide	Ni humide / Ni sec	Légèrement Sec	Sec	Très Sec
-	<input type="radio"/>						

12. 12/ Actuellement dans le bureau, jugez-vous que le mouvement d'air soit : \*

Une seule réponse possible par ligne.

	Inexistant	Faible	Moyen	Fort	Très fort
-	<input type="radio"/>				

13. 13/ Actuellement dans le bureau, il fait : \*

Une seule réponse possible par ligne.

	Très Froid	Froid	Légèrement froid	Ni froid / ni chaud	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
-	<input type="radio"/>						

14. 14/ D'après vos réponses aux 3 dernières questions, trouvez-vous les conditions dans le bureau :

*Une seule réponse possible par ligne.*

	Très Inconfortable	Inconfortable	Légèrement inconfortable	Neutre (ni inconfortable / ni confortable)	Légèrement confortable	Con
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Nous vous remercions pour votre participation !

POLITIQUE DE CONFIDENTIALITÉ ET DE PROTECTION DES DONNÉES PERSONNELLES.

En date du 25 mai 2018, le règlement N°2016/679 dit Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) est entré en vigueur. Il a pour but de protéger les données personnelles de chacun.

A cet effet, les bureaux d'études Watt Smart, IMAGEEN et l'association KEBATI s'engagent à protéger, dans le cadre du RGPD, les données à caractère personnel qu'ils détiennent.

"Le bureau d'études IMAGEEN" donne également la possibilité de demander l'accès aux données à caractère personnel, à leur rectification, à leur effacement, au droit d'opposition et de limitation ainsi qu'au droit à la portabilité des données. Pour exercer ces droits, il suffit de s'adresser à la référente en charge de l'accès aux droits par courriel à "[bet@imageen.re](mailto:bet@imageen.re)" ou par courrier en l'envoyant à "IMAGEEN SCOP ARL, 8 rue Henri Cornu, CS61071, 97495 Sainte-Clotilde."

Il est également possible de disposer du droit d'introduire une réclamation auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) en cas de difficulté avec la gestion de ses données à caractère personnel.

Informations sur la configuration du bureau

15. Nom du bâtiment

---



---



---



---



---

16. 19/ Type de bureau

*Une seule réponse possible.*

- Bureau individuel
- Bureau partagé (2-4 personnes)
- Open space

17. 20/ Est-ce que le poste de travail est proche d'une ou de plusieurs façades vitrées (moins de 2m) ?

*Une seule réponse possible.*

- Oui  
 Non

18. 21/ Si oui, quelle(s) sont les orientation(s) des façades vitrées ?

*Plusieurs réponses possibles.*

- Nord  
 Nord-Est  
 Nord-Ouest  
 Est  
 Ouest  
 Sud-Est  
 Sud-Ouest  
 Sud  
 Autre : \_\_\_\_\_

19. 22/ Si oui, est-ce qu'une protection solaire verticale intérieure ou extérieure est présente et déployée sur les façades vitrées ?

*Une seule réponse possible.*

- Oui, entièrement déployée  
 Oui, en partie déployée  
 Non

20. 23/ Si oui, est-ce que du rayonnement solaire atteint directement l'occupant ou son environnement proche ?

*Une seule réponse possible.*

- Aucun  
 Léger  
 Moyen  
 Important  
 Autre : \_\_\_\_\_

21. 24/ Est-ce que les fenêtres sont ouvertes ?

*Une seule réponse possible.*

- Oui, entièrement
- Oui, en partie
- Non, fermées
- Autre : \_\_\_\_\_

22. Note : fenêtres / ensoleillement

---

---

---

---

---

23. 25/ Courant d'air

*Une seule réponse possible.*

- Nul
- Léger
- Moyen
- Important

24. 26/ Climatisation \*

*Une seule réponse possible.*

- Non climatisé
- Climatisation en fonctionnement
- Climatisation à l'arrêt

25. Notes : Climatisation

---

---

---

---

---

## 26. 27/ Brasseurs d'air ou ventilateur

*Une seule réponse possible.*

- Sans brasseurs
- Avec brasseurs en fonctionnement
- Avec brasseurs à l'arrêt

## 27. Notes : Brasseurs d'air / ventilateur

---

---

---

---

---

## 28. 37/ Eclairage \*

*Une seule réponse possible.*

- En partie en fonctionnement
- En fonctionnement intégral
- Eclairage éteint

## 29. Notes : Eclairage

---

---

---

---

---

## 30. Note spécifique

---

---

---

---

---

Informations à demander à l'intervenant

31. 15/ Quelle est la température de la salle ? \*

---

32. 16/ Quelle est l'humidité relative de la salle ? \*

---

33. 17/ Quelle est la vitesse de l'air ? \*

---

34. 18/ Quelle est la température radiante ? \*

---

## 1.4 Commerces



### 1.4.1 Protocole

- Installation du mât de mesure à un endroit de passage fréquent qui ne gêne pas l'acte d'achat des clients : galeries de circulations des grandes surfaces
- Le mât pourra rester au même endroit ou éventuellement être déplacé à un endroit où les conditions sont différentes (plus ou moins proche de l'entrée, proche d'une verrière, ...)
- **Questionnaire en même temps que la relève des mesures sur le mât** : 1 personne à la fois
- Possibilité de faire une 2<sup>ème</sup> enquête avec la même personne avec et sans vitesse d'air générée par un ventilateur sur pied

**Nombre d'enquêtes réalisables par jour : 50**

- 1 enquête toutes les 10 min en moyenne
- Présence 8h par jour

**Nombre de jours d'enquêtes nécessaires pour atteindre l'objectif de 1000 enquêtes par territoire : 20 jours**

### 1.4.2 Panel de bâtiments

Pour des raisons pratiques, nous ciblons principalement les grandes surfaces commerciales plutôt que les petits commerces car il n'est pas envisageable de positionner notre matériel dans des trop petits espaces si cela peut gêner l'acte d'achat des clients.

Nous avons ciblé les centres commerciaux comme la Galéria, Place d'Armes, Océanis, ou Cour Perrinon en Martinique. D'autres grandes surfaces qui disposent d'une galerie commerciale pourront également être sollicitées.

A Mayotte, les surfaces commerciales ciblées sont le Jumbo score et le centre commercial Baobab de Mamoudzou. Des supermarchés possédant des galeries seront également envisagés. Mais pour privilégier le confort thermique passif (espace sans climatisation) la majorité des questionnaires ont été réalisés au niveau du marché couvert de Mamoudzou.

### 1.4.3 Questionnaire pour les commerces

DATE : /\_\_/\_\_/ \_\_/\_\_/ 2022

(MUETTE - CODER UNIQUEMENT)

DEBUT. NOTER L'HEURE DE DEBUT DE L'INTERVIEW : /\_\_\_\_ //\_\_\_\_ / h /\_\_\_\_ //\_\_\_\_ /

#### Nous allons tout d'abord commencer par quelques questions sur vous

##### A TOUS

#### A1 – Quel est votre âge ?

(Enq : Noter en clair)

**Attention : âge minimum 16 ans**

1. De 16 à 19 ans
2. De 20 à 29 ans
3. De 30 à 59 ans
4. 60 ans et plus

#### QUESTIONS NON POSEES - CODER LES REPONSES

##### A TOUS

#### S1 – Genre

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. Femme
2. Homme

##### A TOUS

#### S2 – L'interviewé porte-il un masque ?

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. Oui
2. Non

##### A TOUS

#### A2 – Combien de temps avez-vous passé dans ce commerce ?

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. Moins de 15 minutes
2. Entre 15 et 29 minutes
3. Entre 30 et 59 minutes
4. 1 heure ou plus

##### A TOUS

#### A3 – Vous êtes-vous rendus dans ce commerce ?

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. En voiture
2. A pied

3. Autre : \_\_\_\_\_

**A TOUS**
**A4 – Habitez-vous à Mayotte depuis... ?**

(Enq : Coder sans poser - 1 seule réponse possible)

1. Toujours
2. Plus de 5 ans
3. 5 ans à 6 mois
4. Moins de 6 mois

**A TOUS**
**A5 – Concernant vos habits, que portez-vous... ?**
**... en haut du corps ?**

(Enq : Citer – Plusieurs réponses possibles) Exemple : Tee-shirt + veste

Sans manches / Manches courtes		Tissu léger : chemise fine, débardeur, tee-shirt...	
Manches longues		Tissu épais : polo, pull épais, chemise épaisse...	

**... en bas du corps ?**

(Enq : Citer - 1 seule réponse possible par colonne)

Court : short, jupe...		Tissu léger : pantalon lin, coton...	
Long : pantalon fin...		Tissu épais : jean, pantalon épais...	

**...au pieds ?**

(Enq : Citer - 1 seule réponse possible)

Chaussures fermées (baskets...)	
Chaussures ouvertes (sandales, tongs...)	
Pieds nus	

**A TOUS**
**A6 – Avez-vous l'habitude d'être en milieu climatisé... ?**

(Enq : Plusieurs réponses possibles sauf item NON)

ALEA DES PROPOSITIONS		Oui, en journée	Oui la nuit	NON
A	A votre travail ?	1	2	3
B	Chez vous ?	1	2	3

## Parlons à présent du confort thermique dans le commerce où vous étiez

### A TOUS

#### B1 – Actuellement, comment trouvez-vous l'air ?

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. Très humide
2. Humide
3. Légèrement humide
4. Ni humide/ni sec
5. Légèrement sec
6. Très sec

### A TOUS

#### B2 – Et trouvez-vous le courant d'air... ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

1. Très fort
2. Fort
3. Moyen
4. Faible
5. Inexistant

### A TOUS

#### B3 – Et diriez-vous qu'il fait... ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

1. Très chaud
2. Chaud
3. Légèrement chaud
4. Ni chaud / ni froid
5. Légèrement froid
6. Froid
7. Très froid

### A TOUS

#### B4 – Au final, avez-vous trouvé la température dans le commerce ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

1. Très confortable
2. Confortable
3. Neutre
4. Légèrement inconfortable
5. Inconfortable
6. Très inconfortable

### A TOUS

Je vous remercie pour le temps que vous avez bien voulu consacrer à cette étude. Je vous rappelle que cette enquête est totalement anonyme et que les données ne sont utilisées que sous formes statistiques.

A TOUS

Conformément à la loi applicable, vous disposez de droits relatifs à vos données personnelles tels que le droit d'accès, de rectification, de suppression de vos données que vous pouvez exercer en vous adressant par courriel à : dpo.france@ipsos.com ou par courrier à : Ipsos – Data Protection Officer - 35 rue du Val de Marne, 75013 Paris.

Vos données seront conservées par Ipsos pendant douze mois suivant la fin de l'étude.

En cas de non-conformité, vous avez le droit d'introduire une réclamation auprès de l'autorité de contrôle, la CNIL.

NOM DU COMMERCE si enquête réalisée hors du marché couvert

FIN. NOTER L'HEURE DE FIN DE L'INTERVIEW : / \_\_\_\_ // \_\_\_\_ / h / \_\_\_\_ // \_\_\_\_ /

**DONNEES RELEVES PAR L'ACCOMPAGNATEUR**A TOUS

S6 – Température de la salle

A TOUS

S7 – Humidité relative

A TOUS

S8 – Vitesse de l'air

A TOUS

S9 – Température radiante

## 1.5 Logement



### 1.5.1 Protocole

- **2 possibilités :**
  - 1/ Installation du mât de mesure dans le séjour d'un logement avec enregistrement des données pendant tout un weekend (du vendredi soir au lundi) : les occupants pourraient remplir le questionnaire en ligne à différents moments du weekend (matin, après-midi, soirée) suite à un rappel envoyé par message
  - 2/ Visite courte (1h) en journée ou début de soirée avec installation du mât de mesure et déplacement dans différentes pièces du logement (séjour, chambre, cuisine) et questionnaires des occupants effectués en direct

**C'est la deuxième solution qui a été retenu**

**Nombre d'enquêtes réalisables :**

3 logements par jours

- 1 enquête dans 3 pièces différentes par logement
- 1 occupant (car moins d'occupants présents à la maison en semaine)
- **9 enquêtes par jour avec présence de l'enquêteur en continu**

**Nombre de jours d'enquêtes nécessaires pour atteindre l'objectif de 150 enquêtes par territoire :**

Durée des enquêtes : **17 jours**

## 1.5.2 Questionnaire pour les logements

DATE : /\_\_/\_\_/ \_\_/\_\_/ 2022

(MUETTE - CODER UNIQUEMENT)

DEBUT. NOTER L'HEURE DE DEBUT DE L'INTERVIEW : /\_\_//\_\_ / h /\_\_//\_\_ /

### Nous allons tout d'abord commencer par quelques questions sur vous

#### A TOUS

**A1 – Quel est votre âge ?**

(Enq : Noter en clair)

**Attention : âge minimum 16 ans**

5. De 16 à 19 ans
6. De 20 à 29 ans
7. De 30 à 59 ans
8. 60 ans et plus

#### QUESTIONS NON POSEES - CODER LES REPONSES

#### A TOUS

**S1 – Genre**

(Enq : 1 seule réponse possible)

3. Femme
4. Homme

#### A TOUS

**S2 – L'interviewé porte-il un masque ?**

(Enq : 1 seule réponse possible)

3. Oui
4. Non

#### A TOUS

**A2 – Depuis combien de temps êtes-vous présent dans ce logement ?**

(Enq : 1 seule réponse possible)

5. Moins de 15 minutes
6. Entre 15 et 59 minutes
7. 1 heure ou plus

#### SI A2=1 ou 2

**A3 – Avez-vous pratiqué une activité physique avant d'arriver dans ce logement ?**

(Enq : 1 seule réponse possible)

4. Oui, une activité physique à faible intensité (marche à allure normale par exemple)

5. Oui, une activité physique à forte intensité (activité sportive, course à pied, marche rapide...)
6. Non, aucune activité physique

### A TOUS

#### A4 – Habitez-vous à Mayotte depuis... ?

(Enq : Coder sans poser - 1 seule réponse possible)

5. Toujours
6. Plus de 5 ans
7. 5 ans à 6 mois
8. Moins de 6 mois

### A TOUS

#### A5 – Concernant vos habits, que portez-vous... ?

##### ... en haut du corps ?

(Enq : Citer – Plusieurs réponses possibles) Exemple : Tee-shirt + veste

Sans manches / Manches courtes		Tissu léger : chemise fine, débardeur, tee-shirt...	
Manches longues		Tissu épais : polo, pull épais, chemise épaisse...	

##### ... en bas du corps ?

(Enq : Citer - 1 seule réponse possible par colonne)

Court : short, jupe...		Tissu léger : pantalon lin, coton...	
Long : pantalon fin...		Tissu épais : jean, pantalon épais...	

##### ...au pieds ?

(Enq : Citer - 1 seule réponse possible)

Chaussures fermées (baskets...)	
Chaussures ouvertes (sandales, tongs...)	
Pieds nus	

### A TOUS

#### A6 – Avez-vous l'habitude d'être en milieu climatisé... ?

(Enq : 1 seule réponse possible)

ALEA DES PROPOSITIONS		Oui, en journée	Oui la nuit	NON
A	A votre travail ?	1	2	3
B	Chez vous ?	1	2	3

## Parlons à présent du confort thermique au sein de votre logement

### A TOUS

#### B1 – Actuellement, comment trouvez-vous l'air dans votre logement ?

(Enq : 1 seule réponse possible)

7. Très humide
8. Humide
9. Légèrement humide
10. Ni humide/ni sec
11. Légèrement sec
12. Très sec

### A TOUS

#### B2 – Et trouvez-vous le courant d'air... ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

6. Très fort
7. Fort
8. Moyen
9. Faible
10. Inexistant

### A TOUS

#### B3 – Et diriez-vous qu'il fait... ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

8. Très chaud
9. Chaud
10. Légèrement chaud
11. Ni chaud / ni froid
12. Légèrement froid
13. Froid
14. Très froid

### A TOUS

#### B4 – Au final, trouvez-vous que vous êtes... ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

7. Très confortable
8. Confortable
9. Neutre
10. Légèrement inconfortable
11. Inconfortable
12. Très inconfortable

## Parlons à présent de votre logement

### S3 – Combien de chambres avez-vous ?

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. 1 chambre
2. 2 chambres
3. 3 chambres
4. 4 chambres
5. 5 chambres ou plus

### A TOUS

#### C1 – La pièce dans laquelle on se trouve actuellement est-elle équipée de... ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible par ligne)

ALEA DES PROPOSITIONS		OUI, il est en fonctionnement actuellement	OUI, mais il est éteint actuellement	NON
A	Brasseurs d'air ou Ventilateur(s) sur pied / muraux	1	2	3
B	Brasseurs d'air ou Ventilateur(s) au plafond	1	2	3

### A TOUS

#### C2 – Et l'éclairage dans cette pièce est-il allumé ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

1. Oui, tous les éclairages sont allumés
2. Oui, les éclairages sont allumés en partie
3. Oui, mais ils sont tous éteints actuellement

### A TOUS

#### C3 – Est-ce qu'une protection solaire verticale intérieure ou extérieure est présente et déployée sur les façades vitrées de la pièce où vous vous trouvez ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

1. Oui, entièrement déployée
2. Oui, en partie déployée
3. Non

### A TOUS

#### C4 – Actuellement, est-ce que du rayonnement solaire vous atteint directement ou votre environnement proche ?

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

1. Aucun
2. Légèrement
3. Moyennement
4. Enormément
5. Autre : ...

A TOUS**C5 – Les fenêtres sont-elles ouvertes ?**

(Enq : Citer – 1 seule réponse possible)

1. Oui, entièrement
2. Oui, en partie
3. Non, fermées
4. Autre : ...

**Pour finir, afin de compléter les enseignements de cette enquête, nous souhaiterions prendre quelques mesures de température chez vous. Cela ne prendra qu'une minute.**

**Je vous rappelle que cette enquête est totalement anonyme et que les données ne sont utilisées que sous formes statistiques.**

**DONNEES RELEVES PAR L'ACCOMPAGNATEUR**A TOUS**S4 – Type de logement**

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. Maison individuelle
2. Logement collectif - Immeuble

SI LOGEMENT COLLECTIF = S3=2**S5 – Etage**

(Enq : 1 seule réponse possible)

1. Rez-de-chaussée
2. R+1
3. R+2
4. R+3
5. R+4
6. Autre

A TOUS**S6 – Orientation**A TOUS**S7 – Localisation**A TOUS**S8 – Température de la pièce**A TOUS**S9 – Humidité relative**

A TOUS

S10 – Vitesse de l'air

A TOUS

S11 – Température radiante

A TOUS

Je vous remercie pour le temps que vous avez bien voulu consacrer à cette étude. Je vous rappelle que cette enquête est totalement anonyme et que les données ne sont utilisées que sous formes statistiques.

A TOUS

Conformément à la loi applicable, vous disposez de droits relatifs à vos données personnelles tels que le droit d'accès, de rectification, de suppression de vos données que vous pouvez exercer en vous adressant par courriel à : [dpo.france@ipsos.com](mailto:dpo.france@ipsos.com) ou par courrier à : Ipsos – Data Protection Officer - 35 rue du Val de Marne, 75013 Paris.

Vos données seront conservées par Ipsos pendant douze mois suivant la fin de l'étude.

En cas de non-conformité, vous avez le droit d'introduire une réclamation auprès de l'autorité de contrôle, la CNIL.

FIN. NOTER L'HEURE DE FIN DE L'INTERVIEW : / \_\_\_\_ // \_\_\_\_ / h / \_\_\_\_ // \_\_\_\_ /

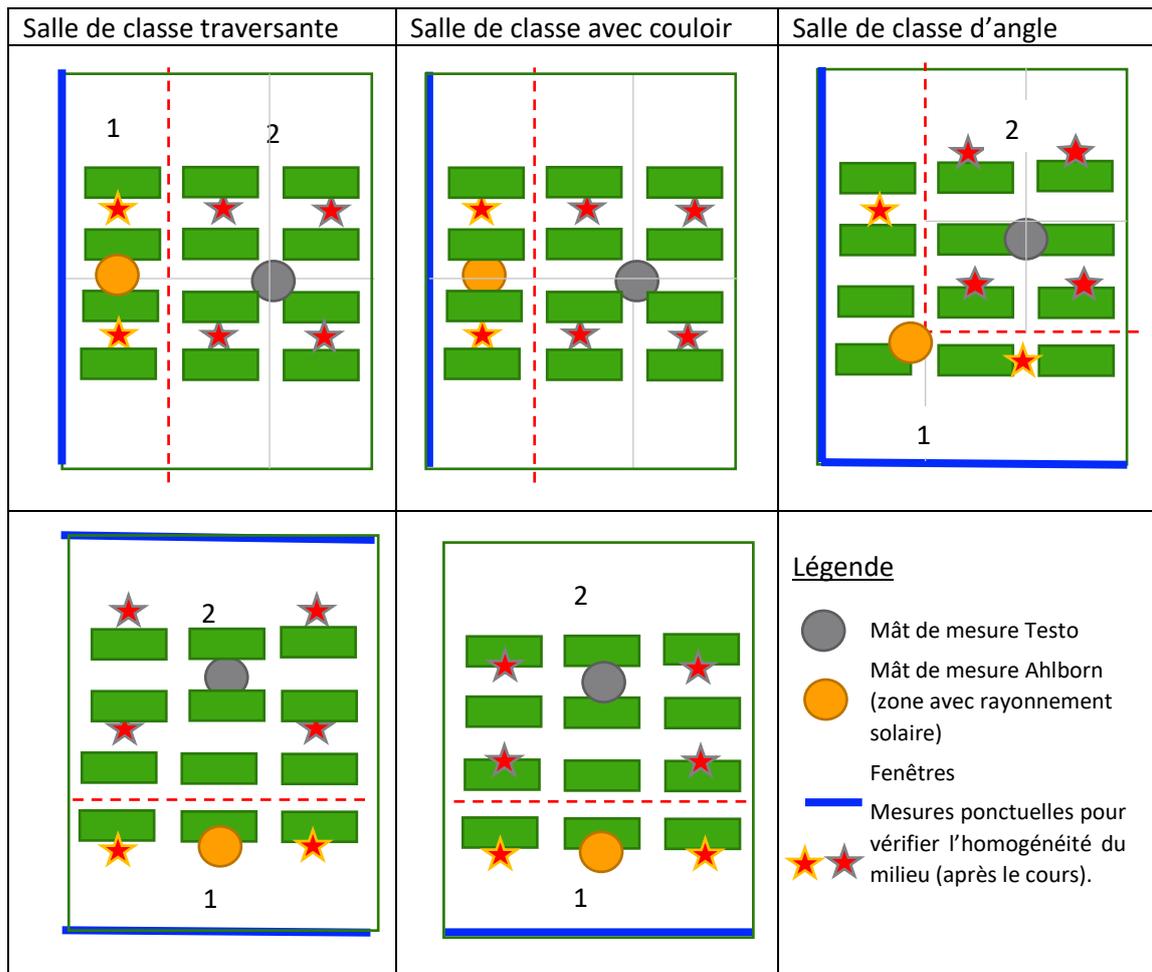
## 1.6 Enseignement



Collège Robert 3 - Martinique

### 1.6.1 Protocole

- Expliquer la démarche au professeur avec un flyer par exemple
- Placer les mats à 0.8m du sol
- Faire le schéma (tables, fenêtres, brasseurs d'air...), prendre les photos de la salle
- Définir les zones :
  - Zone soumis à un rayonnement solaire direct: Zone 1
    - Définir des zones ponctuelles : -Zone 1A
    - Zone 1B
  - Zone non-soumis à un rayonnement solaire : Zone 2
    - Définir des zones ponctuelles : -Zone 2A
    - Zone 2B
    - Zone 2C
    - Zone 2D
- Installation des mâts de mesure avant le commencement du cours selon l'organisation de la salle.  
Exemples :



- Au début du cours présenter la démarche à la classe
- Remplir l'Excel : condition de la salle avant le questionnaire
- 10 min avant la fin du cours distribuer les questionnaires dans les bonnes zones
- Lancer les mesures moyennées sur 3 min avec un intervalle de 30s
- Remplir les 2 mesures
- Faire des mesures ponctuelles pour vérifier l'homogénéité de la salle pendant l'intercours par exemple (4 ou 6 mesures et l'emplacement des deux mats fixes). Attention pour contrôler l'homogénéité recréer les mêmes conditions que pendant le cours précédent (fenêtres ouvertes ou fermées, brasseur d'air allumé ou non...)
- Si les étudiants changent effectuer la même expérience dans la même salle sinon changer de salle.

Nombre d'enquêtes réalisables par jour : 200

- 25 élèves par classe
- 8 séquences par jour

Nombre de jours d'enquêtes nécessaires pour atteindre l'objectif de 1500 enquêtes par territoire : 7,5 jours

## 1.6.2 Panel de bâtiments

Nous ciblons 3 à 4 bâtiments de collèges, lycées et universités par territoire avoir un panel de bâtiment diversifié :

Performance thermique du bâtiment	Climatisé	Non-climatisé	Avec brasseurs d'air
<b>Bonne</b>	1	1	1
<b>Mauvaise</b>	1	1	1

Différentes salles de classe avec des caractéristiques différentes sont également être choisies dans un même établissement.

En Martinique, une approche a déjà été initiée avec un professeur du lycée de Trinité. Le collège du Robert 3 qui a fait l'objet d'une démarche de performance énergétique et l'université de Schoelcher a également été sollicités pour une démarche similaire.

A Mayotte, une première enquête a été mené dans l'université de formation et de recherche de Mayotte. (CUFR) situé à Dembeni. Ces enquêtes n'ont concerné que des salles climatisées. 10 lycées et collèges constituent le plus gros des questionnaires.

### 1.6.3 Questionnaires pour les établissements d'enseignement



## Questionnaire sur le confort thermique dans le cadre du projet COCO

A l'occasion d'une étude sur le confort thermique en **climat tropical**, lauréate de l'appel à projets OMBREE (programme inter Outre-Mer pour des Bâtiments Résilients et Économés en Énergie), nous étudions le **confort thermique** dans les établissements scolaires **en Martinique et à Mayotte**. Les rapports d'enquête utilisent des compilations d'informations et ne révèlent en aucun cas l'identité des personnes ayant participé. **Merci de répondre à toutes les questions** (une seule réponse possible par question, exceptée la question 4).

Date : ...../...../2022    Heure : ..... h .....    Etablissement : .....  
 Salle : .....    Zone (prédéfinie par l'enquêteur) : 1A  1B  2A  2B  2C  2D

1. Quel est votre âge ?  < 15 ans  15-19  20-29  30-59  > 59
2. Quel est votre sexe ?  Masculin  Féminin
3. Actuellement, portez-vous un masque ?  Oui  Non
4. Quels habits portez-vous en haut du corps ? (possibilité de cocher plusieurs cases : ex. tee-shirt + sweat-shirt)
  - Vêtement à **manches courtes léger** (tee-shirt ou débardeur fin, haut de robe fine)
  - Vêtement à **manches courtes épais** (polo ou tee-shirt épais, haut de robe épaisse)
  - Vêtement à **manches longues léger** (tee-shirt fin à manches longues, gilet ou pull fin, ...)
  - Vêtement à **manches longues épais** (sweat-shirt ou pull épais, chemise à manches longues, ...)
5. Quels habits portez-vous en bas du corps ?
  - Vêtement **court** (short, jupe, ...)
  - Vêtement **long léger** (pantalon fin, ...)
  - Vêtement **long épais** (jean, pantalon de survêtement, ...)
6. Que portez-vous aux pieds ?
  - Chaussures fermées** (baskets ...)
  - Chaussures ouvertes** (sandales, tongs ...)
7. Depuis combien de temps vivez-vous aux Antilles/Mayotte ?
  - Depuis toujours
  - > 5 ans
  - entre 6 mois et 5 ans
  - < 6 mois
8. Avez-vous l'habitude de vivre en milieu climatisé lorsque vous êtes à la maison ?
  - Oui, la journée et la nuit
  - Oui, la nuit uniquement
  - Non

9. Actuellement dans la salle, il fait :



10. Actuellement dans la salle, comment trouvez-vous le mouvement d'air :



11. Actuellement dans la salle, il fait :



12. Actuellement dans la salle, c'est :



Merci pour votre participation !



Soutenu par



Porté par



# TACHES 2 & 3 - ANALYSE DES ENQUETES REALISEES EN MARTINIQUE ET A MAYOTTE

# 1 Réalisation des enquêtes

## 1.1 Objectifs initiaux

Les objectifs du projet COCO sont les suivants :

- Informer les acteurs de la construction en forgeant un discours cohérent sur la possibilité de construire des bâtiments bioclimatiques à Mayotte et à La Martinique.
- Sensibiliser les utilisateurs des bâtiments à la notion de confort thermique dans un but de réduire la consommation de la climatisation.
- Définir des méthodes d'évaluation et des indicateurs du confort thermique pour les bureaux d'études dans l'Outre-mer.

La méthode choisie pour évaluer le confort thermique est de croiser des mesures physiques des paramètres de l'ambiance (température de l'air, de température rayonnante, taux d'humidité et vitesse de l'air) à des questionnaires évaluant le confort auprès des usagers.

Dans un premier temps, il a fallu choisir un nombre d'enquêtes par territoire. Le but étant d'avoir un échantillon large de bâtiments au sein de La Martinique et de Mayotte. Nous avons ciblé plusieurs catégories de bâtiments, à savoir l'enseignement (les salles de classes), les commerces, les bureaux et les logements.

Nous nous sommes fixé des objectifs minimaux par catégorie de bâtiment et par territoire :

	Objectifs minimaux
	Martinique & Mayotte
Enseignement	1 000
Commerces	800
Bureaux	200
Logements	100
TOTAL	2 100

Tableau 1 : Objectifs initiaux de nombre d'enquêtes par territoire

## 1.2 Enquêtes réalisées

Lors de la réalisation d'enquêtes à La Martinique et à Mayotte, plusieurs difficultés parfois similaires, parfois différentes ont été rencontrées. Nous nous sommes rendu compte qu'il était plus facile ou plus difficile de réaliser des enquêtes dans certaines catégories de bâtiment :

- La Covid19 : la période des enquêtes a débuté pendant la COVID 19 avec des périodes de confinements,
- Des enquêtes dans les locaux ventilés naturellement : pour la pertinence de l'étude, il est important d'avoir des plages de conditions climatiques les plus larges possibles (large plage de température, large plage d'humidité). De ce fait, nous avons cherché à limiter le nombre des locaux climatisés, dont les conditions de température et d'humidité sont automatiquement contrôlés. Ce critère a été difficile à appliquer dans les commerces en Martinique où la majorité d'entre eux sont climatisés. Les mêmes conditions de traitement d'air sont rencontrées dans le secteur des bureaux où la quasi-totalité des locaux sont climatisés sur les deux territoires.
- L'accès aux établissements scolaires à Mayotte : il a été difficile d'obtenir les autorisations d'accès aux établissements scolaires à Mayotte ce qui a réduit la période des enquêtes à la période entre octobre et novembre. Si cette période est estivale (températures élevées), elle n'est pas encore dans la période des fortes pluies génératrice de fort taux d'humidité.

Toutes ces contraintes nous ont obligé à revoir nos objectifs de base selon le territoire. Le tableau ci-dessous représente les objectifs initiaux et ceux actualisés tout en respectant les 2 100 enquêtes minimums pour chacun des territoires :

	Objectifs minimaux	Objectifs actualisés	
	Martinique & Mayotte	Martinique	Mayotte
Enseignement	1000	1500	1200
Commerces	800	200	500
Bureaux	200	250	250
Logements	100	150	150
TOTAL	2100	2100	2100

Tableau 2 : Objectifs initiaux / objectifs actualisés de nombre d'enquêtes par territoire

Dans le tableau 3 ci-dessous, représente le nombre d'enquêtes réellement réalisées pour chacun des territoires.

	Nombres d'enquêtes minimales		Nombre d'enquêtes réalisées	
	Martinique	Mayotte	Martinique	Mayotte
Enseignement	1500	1200	1 504	1 284
Commerces	200	500	201	505
Bureaux	250	250	249	217
Logements	150	150	88	70 (+ 24) <sup>1</sup>
TOTAL	2 100	2 100	<b>2 042</b>	<b>2 100</b>

Tableau 3: Nombres d'enquêtes minimales / nombre d'enquêtes réalisées par territoire

**Nous avons donc un total de 4 142 enquêtes à analyser (2 042 pour la Martinique et 2 100 pour Mayotte).**

### 1.3 Protocole de mesures et moyens mis en œuvre

La méthode consiste à faire des mesures sur certains paramètres du confort à un instant t et à les mettre en relation avec l'évaluation du confort faite par les occupants au même instant. Cette évaluation du confort sera faite à travers un court questionnaire.

Nous avons réalisé les enquêtes sur les différentes saisons climatiques pour avoir des conditions variées de températures, humidité, vitesse de vent, ...

Le fait de mesurer les températures, les vitesses et les humidités relatives de l'air en même temps que le questionnaire, nous permet de nous affranchir de la qualité architecturale et bioclimatique du bâtiment.

Si le bâtiment ne permet pas la décharge thermique, les conditions intérieurs ont une température plus élevée que celle de l'air extérieure mais cela n'a pas d'importance puisque le ressenti de la personne interrogée est en rapport avec les conditions intérieures du bâtiment.

De même, ces paramètres de mesures nous permettent de nous affranchir d'un zonage géographique puisque qu'il n'y a pas de variations climatiques significatives dans les différentes régions de chacun des deux territoires.

Une « enquête » correspond à une réponse au questionnaire, associée à une mesure des différents paramètres du confort.

<sup>1</sup> Les 24 ont été oubliés dans le traitement des données qui est réalisé sur 2 076 enquêtes et non 2 100 enquêtes

Les paramètres mesurés sont les suivants : la température de l'air (°C), la température radiante (°C), la vitesse de l'air (m/s) et le taux d'humidité (%). Ils sont mesurés grâce à différents appareils placés sur un mât de mesure (de la marque testo).

Voici le mât de mesure :



- 1 Sonde de turbulence (vitesse de l'air)
- 2 Sonde boule noire (température rayonnante)
- 3 Sonde (température de l'air / du taux d'humidité)
- 4 Télécommande



Figure 2 : Mât de mesure

Les questionnaires sont quasiment identiques pour chacune des catégories de bâtiments, vous trouverez en annexe les différents questionnaires. Le questionnaire comprend plusieurs paramètres tels que le métabolisme de la personne, son activité, son niveau d'habillement, ses habitudes et son ressenti.

Le matériel utilisé est le suivant :

- Mât de mesure (précis)\_Centrale d'acquisition Ahlborn
- Matériel de mesures ponctuelles (moins précis) \_ Centrale d'acquisition Testo

Étude expérimentale du temps de stabilisation des boules noirs :

Rayonnement solaire très fort	Rayonnement solaire moyen (lumineux)	Rayonnement solaire faible (milieu homogène)
Le temps de stabilisation d'une boule noire dans un environnement avec du rayonnement solaire très fort est de 20-30 min	Le temps de stabilisation d'une boule noire dans un environnement lumineux (rayonnement moyen) est d'environ 10 min	Le temps de stabilisation d'une boule noire dans un environnement ayant peu de rayonnement solaire est de quelques minutes 3-5 min

### 1.1.1 Enseignement

#### Protocole :

Les mâts utilisés sont le mât Ahlborn et le mât Testo (pour les mesures ponctuelles pour évaluer l'homogénéité des conditions de confort).

- Au début du cours présenter la démarche à la classe
- Placer les mâts à 0.8m du sol
- Remplir l'Excel : condition de la salle avant le questionnaire
- Faire le schéma (tables, fenêtres, brasseurs d'air...), prendre les photos de la salle et définir les zones
- 10 min avant la fin du cours distribuer les questionnaires dans les bonnes zones
- Lancer les mesures moyennées sur 3 min avec un intervalle de 30s

- Faire des mesures ponctuelles pour vérifier l'homogénéité de la salle pendant l'intercours par exemple (4 ou 6 mesures et l'emplacement des deux mâts fixes). Attention pour contrôler l'homogénéité recrée les mêmes conditions que pendant le cours précédent (fenêtres ouvertes ou fermées, brasseur d'air allumé ou non...)

### 1.1.2 Commerces

#### **Protocole :**

Le mat utilisé est le mât Testo avec une sonde température/hygrométrie, une boule noire et une sonde de vitesse de l'air.

- Installer le mât à un endroit de passage fréquent qui ne gêne pas l'acte d'achat des clients : galeries de circulations des grandes surfaces (la barre horizontale du mat est située à 0.8m du sol) et noter l'heure du positionnement
- Expliquer la démarche à la personne interrogée
- Lorsque vous avez positionné le mat depuis 7-8 min ou 10 min selon le contexte, lancer les mesures moyennées sur 3 min avec un intervalle de 30s
- Effectuer les relevés des conditions de la salle
- Questionnaire en même temps que la relève des mesures sur le mât : 1 personne à la fois
- Effectuer le relevé des mesures.

### 1.1.3 Bureaux

#### **Protocole :**

Le mat utilisé est le mât Testo avec une sonde température/hygrométrie, une boule noire et une sonde de vitesse de l'air.

- Installer le mât (la barre horizontale du mat est située à 0.8m du sol) et noter l'heure du positionnement
- Expliquer la démarche à la personne interrogée et lui faire faire le questionnaire.
- Lorsque vous avez positionné le mat depuis 7-8 min ou 10 min selon le contexte, lancer les mesures moyennées sur 3 min avec un intervalle de 30s
- Effectuer les relevés des conditions de la salle
- Donner le questionnaire
- Effectuer le relevé des mesures.

### 1.1.4 Logements

Le mat utilisé est le mât Testo avec une sonde température/hygrométrie, une boule noire et une sonde de vitesse de l'air.

#### **Protocole :**

- Installer le mât et noter l'heure du positionnement
- Expliquer la démarche à la personne interrogée
- Lorsque vous avez positionné le mat depuis 7-8 min ou 10 min selon le contexte, lancer les mesures moyennées sur 3 min avec un intervalle de 30s
- Effectuer les relevés des conditions de la pièce
- Questionnaire en même temps que la relève des mesures sur le mât
- Effectuer le relevé des mesures.

## 1.4 Bilan des enquêtes

Les 2 042 enquêtes réalisées en Martinique sont principalement localisées dans la région centre et sud de l'île. Nous n'avons pas pu obtenir d'établissements dans la région nord.



Bleu : enseignements  
Jaune : commerces  
Rouge : bureaux  
Marron : logements

Figure 2: Répartition des enquêtes sur le territoire Martiniquais

Sur le territoire mahorais, 1 076 enquêtes ont été réalisées principalement dans le chef-lieu Mamoudzou pour les bureaux et les commerces. Les établissements scolaires sont répartis sur toute l'île et les logements ont été réalisés dans le nord-est et le chef-lieu de l'île



Bleu : bureaux  
Jaune : commerces  
Rouge : logements  
Marron : enseignements

Figure 3 : Répartition des enquêtes sur le territoire Mahorais

La barrière de la langue mahoraise avait été anticipée dans les logements et les commerces avec l'accompagnement d'un institut de sondage local. Cependant des difficultés ont également été rencontrées dans certains établissements scolaires dans lesquels, il a fallu expliquer, voir recourir à l'aide des enseignants, les différentes questions.

Si nous devons établir un bilan sur le déroulement d'enquête de ce type sur des projets similaires, nous estimons qu'il est important d'avoir

- Un binôme d'enquêteurs principalement dans les commerces
- Choisir des enquêteurs "locaux" pour éviter une barrière de la langue
- Utiliser seulement le mât de mesure Testo qui est mobile, léger, facile à monter et sur batterie
- Étaler les enquêtes sur une large période afin d'avoir des paramètres nuancés selon la saison (humide/intermédiaire/sèche)

## 2 Résultats par territoire Martinique/Mayotte

### 2.1 Caractéristiques de l'échantillon :

#### Martinique

Saisons et conditions climatiques :

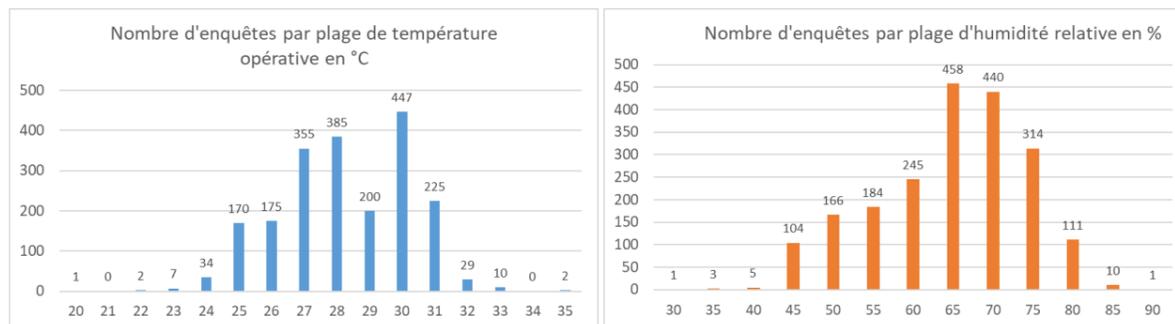
Type de bâtiment	Nombre d'enquêtes												Total
	janv-21	févr-21	mars-21	avr-21	mai-21	juin-21	juil-21	août-21	sept-21	oct-21	nov-21	déc-21	
Bureau	3	9	31	41	29	63	9	13	18		29	4	249
Commerce				61	54			15			71		201
Enseignement	26	208	496		50	29			618		30	47	1504
Logement						9	19	29	13		13	5	88
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>217</b>	<b>527</b>	<b>102</b>	<b>133</b>	<b>101</b>	<b>28</b>	<b>57</b>	<b>649</b>		<b>143</b>	<b>56</b>	<b>2042</b>

Nombre d'enquêtes	
Saison fraîche	829 41%
Saison intermédiaire	364 18%
Saison chaude et humide	849 42%

A La Martinique, on constate une bonne répartition des enquêtes selon les saisons climatiques. Ce qui permet de couvrir une large plage de conditions climatiques.

	Moyennes mesurées			
	T° air	T° opérative	Humidité relative (%)	Vitesse d'air
Non climatisé	28,8	29,1	68,6	0,27
Climatisé	25,7	26,3	55,7	0,15

- La température d'air moyenne est de 29°C dans les espaces non climatisés avec une humidité relative de 69%.
- La vitesse d'air moyenne en ventilation naturelle (espace non climatisé) est de 0,3 m/s ce qui est relativement faible. Cela s'explique en partie par la très faible présence de brasseurs d'air ou de ventilateurs.
- La température dans les espaces climatisés est inférieure de 3°C en moyenne par rapport aux espaces non climatisés et l'humidité relative est inférieure de 12%.



Les enquêtes couvrent une plage de températures assez large entre 24 et 31°C (peu d'enquêtes avant 24°C et au-delà de 31°C) En termes de température, le maximum d'enquêtes est atteint à 30°C (447 enquêtes), et en termes d'humidité relative, le maximum d'enquêtes est atteint à 65% (458 enquêtes).

#### Mayotte

Saisons et conditions climatiques :

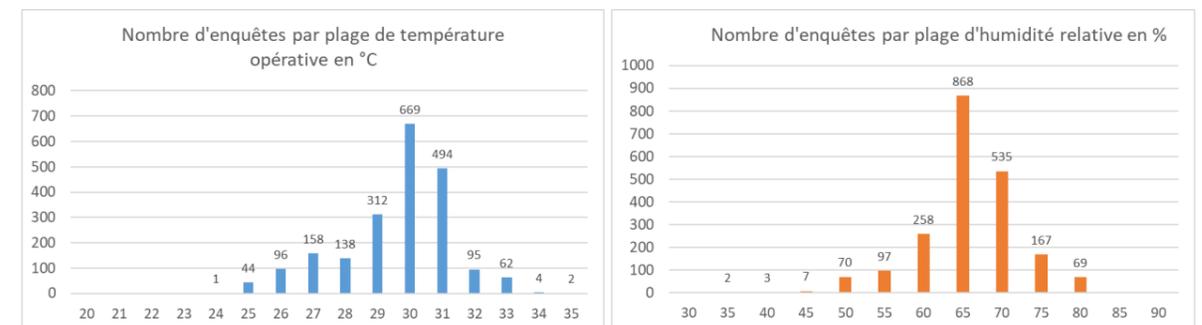
Type de bâtiment	Nombre d'enquêtes												Total
	janv	févr	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	déc	
Bureau	0	0	0	0	0	0	0	8	38	0	171	0	217
Commerce	0	0	0	0	505	0	0	0	0	0	0	0	505
Enseignement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	362	922	0	1284
Logement	0	0	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	70
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>575</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>38</b>	<b>362</b>	<b>1093</b>	<b>0</b>	<b>2076</b>

Nombre d'enquêtes	
Saison fraîche	583 28%
Saison intermédiaire	400 19%
Saison chaude et humide	1093 53%

A Mayotte, un peu plus de la moitié des enquêtes a été réalisée durant la saison chaude mais pas forcément la plus humide. Les enquêtes ont été majoritairement réalisées dans des conditions de températures élevées.

	Moyennes mesurées			
	T° air	T° opérative	Humidité relative (%)	Vitesse d'air
Non climatisé	29,9	30,0	66,8	0,49
Climatisé	26,6	27,1	58,7	0,15

- La température d'air moyenne est de 30°C dans les espaces non climatisés avec une humidité relative de 67%.
- La vitesse d'air moyenne en ventilation naturelle (espace non climatisé) est de 0,5 m/s. Cette valeur est plus élevée à Mayotte qu'à La Martinique car la ventilation naturelle est plus utilisée et les brasseurs d'air sont davantage présents dans les bâtiments mahorais.
- La température dans les espaces climatisés est inférieure de 3°C en moyenne par rapport aux espaces non climatisés et l'humidité relative est inférieure de 8%.

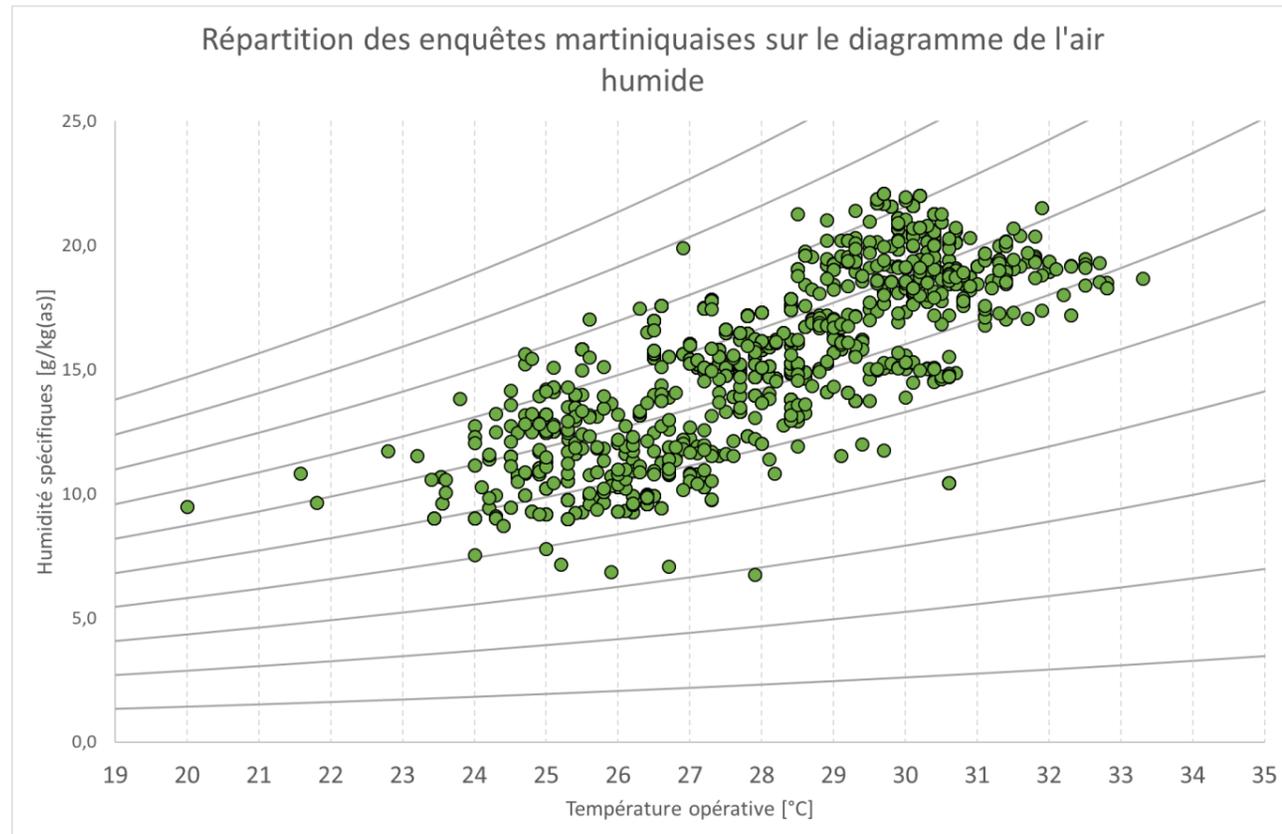


Les enquêtes couvrent une plage de températures assez large entre 25 et 33°C (1 enquêtes à 24°C et très peu d'enquêtes au-delà de 33°C). En termes de température, le maximum d'enquêtes est atteint à 30°C (669 enquêtes), et en termes d'humidité relative, le maximum d'enquêtes est atteint à 65% (868 enquêtes).

Les températures relevées durant les enquêtes sont assez bien réparties, elles couvrent une plage entre 27°C et 31°C de façon assez homogène. Moins de températures élevées sont atteintes en Martinique qu'à Mayotte.

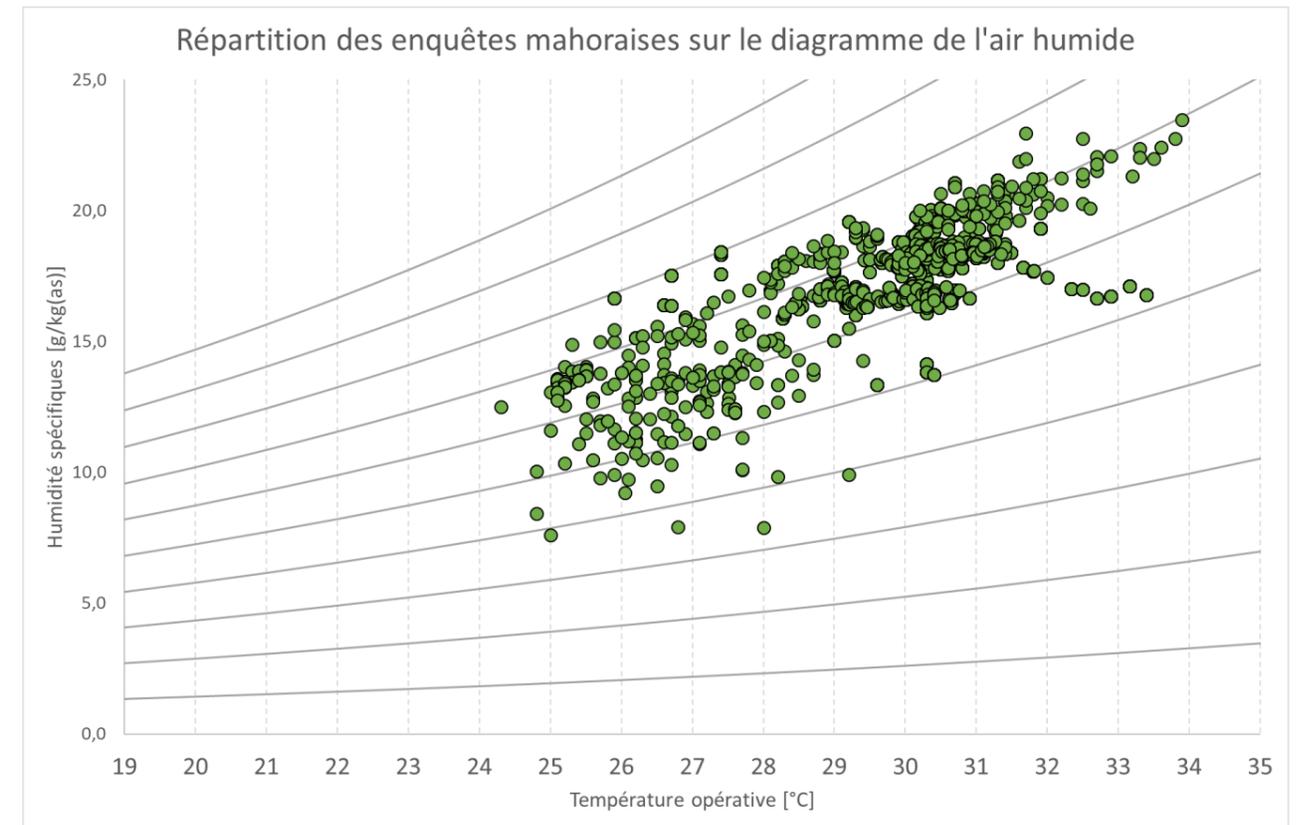
Les humidités atteintes sont davantage caractéristiques du climat tropical humide que les humidités relevées à Mayotte.

La répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide témoigne de l'homogénéité de l'échantillon martiniquais.



Les températures relevées durant les enquêtes sont élevées, avec près de 65% des enquêtes réalisées dans des conditions de température supérieures à 29,5°C. Cependant, les humidités relevées n'atteignent pas (ou très peu) les taux très importants caractéristiques d'un climat tropical humide. En effet, seuls 3% des enquêtes atteignent 80% d'humidité.

La répartition des enquêtes sur le diagramme de l'air humide témoigne de la concentration des températures élevées de l'échantillon mahorais, et des taux d'humidité atteignant ponctuellement 80%.

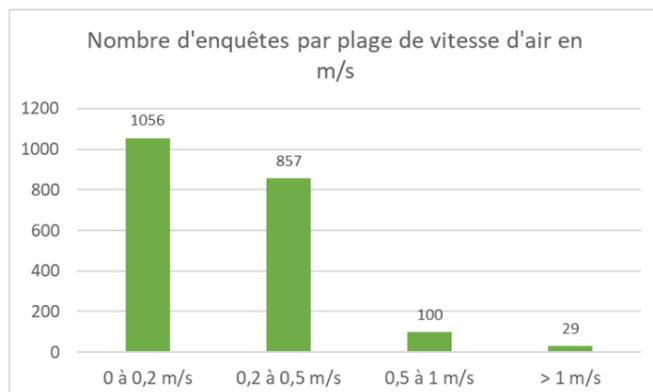


Plusieurs facteurs sont à l'origine des caractéristiques de l'échantillon de Mayotte :

- L'année 2022, au cours de laquelle les enquêtes ont été réalisées a été une année sèche pour la région mahoraise.
- Les périodes d'enquêtes ont été limitées aux déplacements sur place.

## Martinique

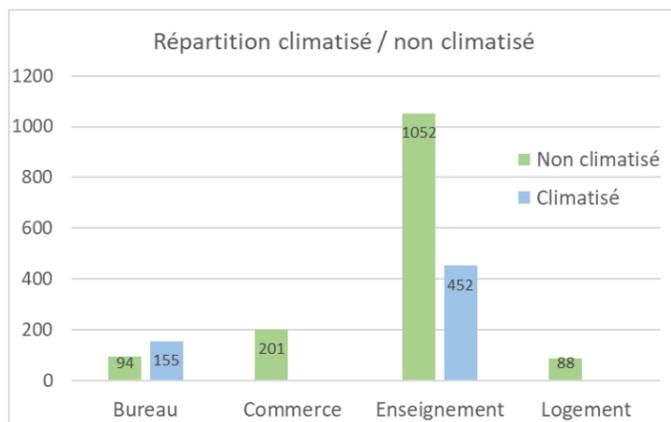
### Analyse des vitesses d'air instrumentées au cours des enquêtes



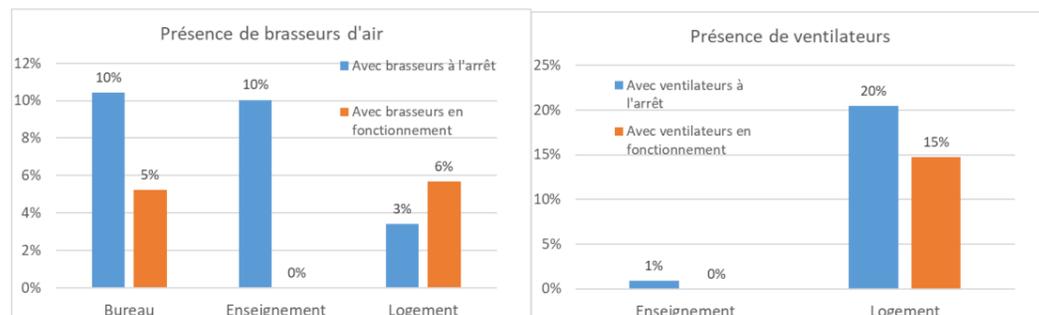
→ 94% des enquêtes présentent une vitesse d'air mesurée inférieure à 0,5 m/s.

L'absence de vitesses d'air importantes dans les bâtiments instrumentés est dû au taux important de climatisation des bâtiments en Martinique (voir ci-après), et à la faible présence de brasseurs d'air.

### Équipement des espaces :



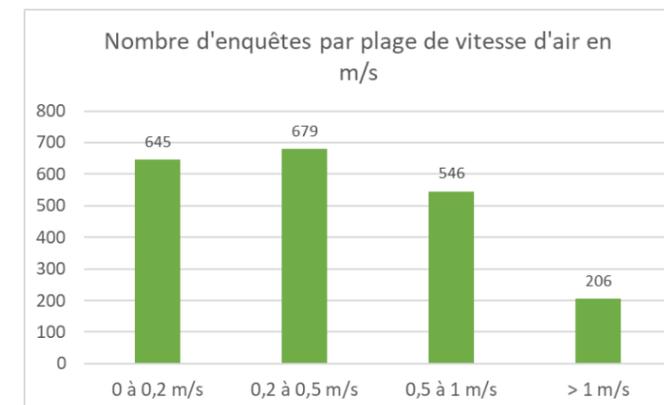
→ On constate une majorité d'enquêtes en milieu climatisé dans les bureaux (62%) et une part significative dans l'enseignement (30%).



→ Le taux d'équipement en brasseur d'air ou ventilateur est très faible et très peu étaient en fonctionnement lors des enquêtes. On constate tout de même 35% de ventilateurs dans les logements dont 15% en fonctionnement.

## Mayotte

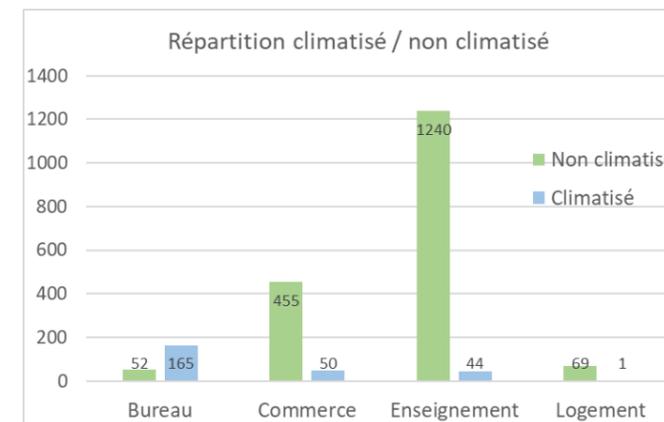
### Analyse des vitesses d'air instrumentées au cours des enquêtes



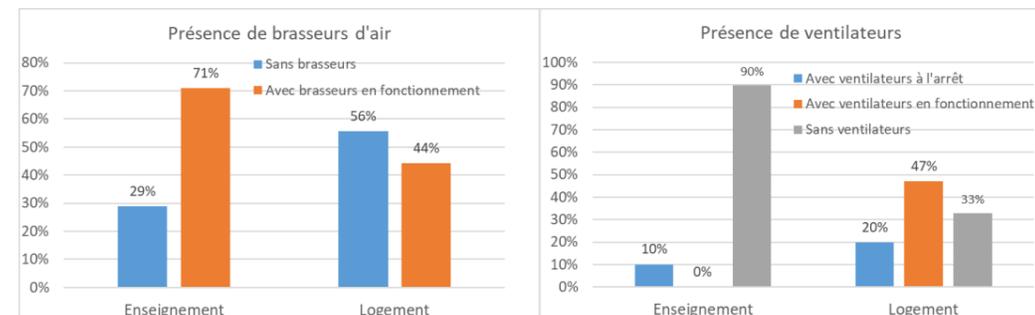
→ Les enquêtes sur le territoire de Mayotte sont assez bien réparties en termes de vitesse d'air.

La ventilation naturelle traversante est relativement bien exploitée dans les bâtiments instrumentés. De plus, les brasseurs d'air sont bien intégrés dans la conception / rénovation des établissements recevant du public et les bureaux à Mayotte. (Voir ci-après)

### Équipement des espaces :



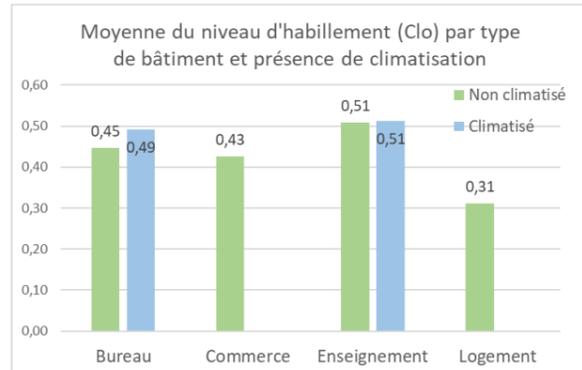
→ On constate une majorité d'enquêtes en milieu climatisé dans les bureaux (76%). Cependant, sur l'échantillon complet, 87% des enquêtes ont été réalisées en milieu non climatisé.



→ Le taux d'équipement en brasseurs d'air et ventilateurs à Mayotte est important. En effet, plus de 70% des salles de classes enquêtées sont munies de brasseurs d'air qui fonctionnent. Seuls 30% des logements ne sont munis ni en brasseurs d'air, ni en ventilateurs, tandis qu'on atteint 70% des logements démunis de ces systèmes en Martinique.

## Martinique

### Niveau d'habillement :

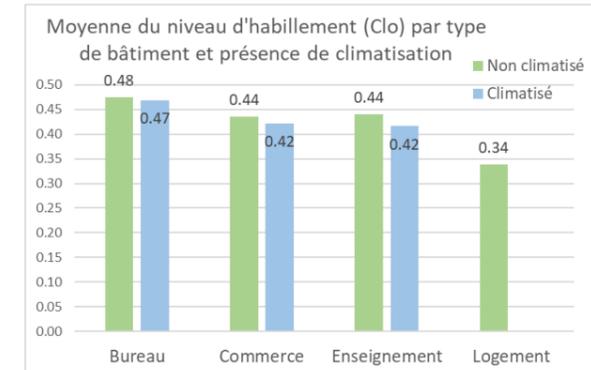


- Le niveau d'habillement moyen est relativement élevé pour des bâtiments non climatisés (moyenne à 0,48 Clo) excepté dans les logements (0,31 Clo) sachant que le Clo pour un climat tropical est de 0,3.
- On constate une très faible différence d'habillement entre les zones climatisées et non climatisées dans les bureaux et l'enseignement.
- Dans l'enseignement à La Martinique l'uniforme est de rigueur (photo ci-dessous). L'habillement des élèves est généralement composé de chaussures fermées, pantalon épais de type jean et polo à manche courte, ce qui correspond à un Clo d'environ 0,5. Ce type d'habillement n'est pas particulièrement adapté pour des bâtiments fonctionnant en ventilation naturelle en climat tropical mais plutôt pour des bâtiments climatisés



## Mayotte

### Niveau d'habillement :



- Le niveau d'habillement moyen sur l'échantillon complet vaut 0,44 clo.

Pour rappel, une seule enquête réalisée dans les logements s'est déroulée dans un lieu climatisé. Tout comme à La Martinique, on constate une très faible différence d'habillement entre les zones climatisées et non climatisées.

Contrairement aux établissements scolaires martiniquais, les collèges et lycées mahorais n'ont pas pour habitude d'imposer l'uniforme aux élèves. C'est pourquoi le niveau d'habillement moyen (Clo moyen) est inférieur sur la région de Mayotte. Néanmoins, le Clo moyen reste assez élevé car les mahoraises ont pour habitude de porter un vêtement traditionnel constitué de plusieurs couches légères appelé le Salouva. Les hommes quant à eux ont plus ou moins l'habitude de s'habiller avec des vêtements longs et légers.

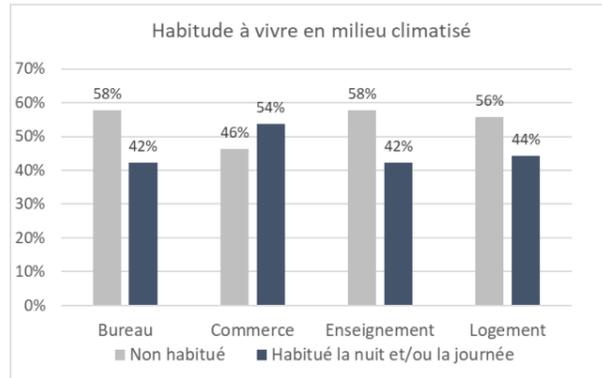


Tenue vestimentaire	Habillement
Nu.	0
Short.	0,1
Tenue tropicale type (short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales).	0,3
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures).	0,5
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures).	0,7

Valeur du niveau d'habillement (Clo) en fonction de la tenue

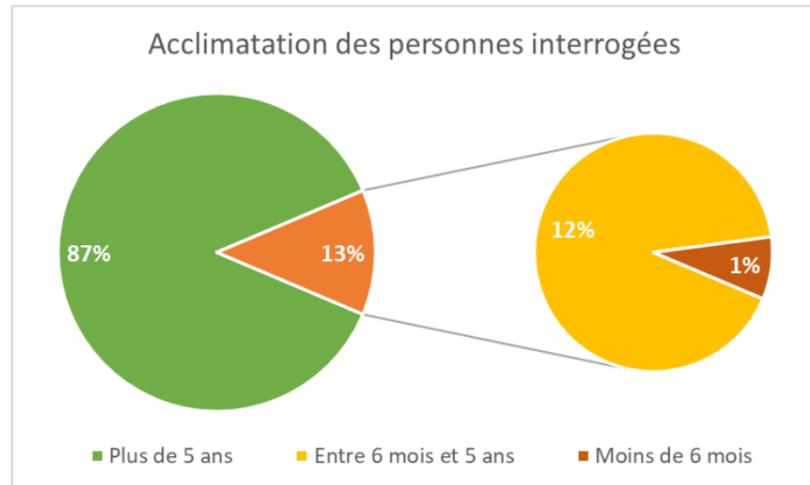
### Martinique

**Habitude à vivre en milieu climatisé :**



→ Une part significative des personnes enquêtées (43% en moyenne) sont habituées à vivre en milieu climatisé (majoritairement la nuit)

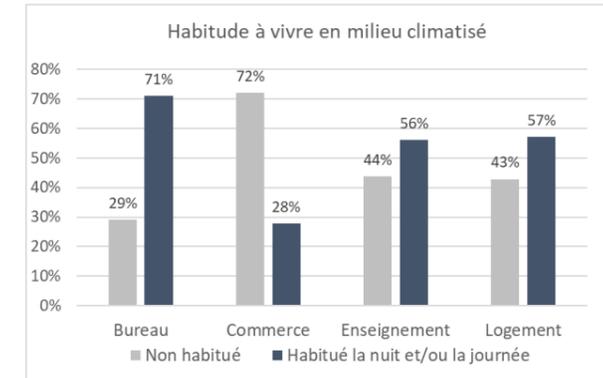
**Acclimatation des personnes interrogées**



→ 87% des personnes interrogées sont acclimatés aux conditions climatiques martiniquaises. Parmi l'échantillon, seul 1% des personnes interrogées déclarent être sur place depuis moins de 6 mois. L'échantillon est suffisamment représentatif pour les études de confort.

### Mayotte

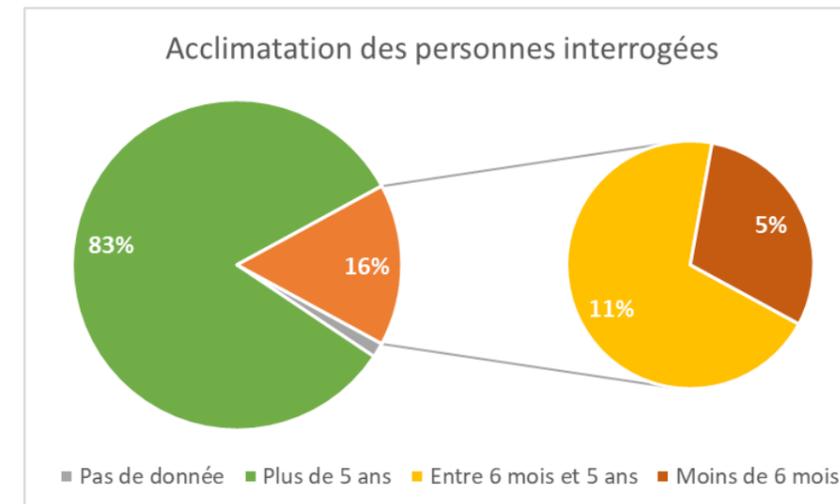
**Habitude à vivre en milieu climatisé :**



→ Une part significative des personnes enquêtées (51%) déclarent être habituées à vivre en milieu climatisé.

Cette information est contradictoire avec le taux d'équipement en climatisation des bâtiments mahorais, particulièrement en enseignement et dans les logements, dans lesquels les taux d'équipement en climatisation sont relativement faibles, tandis qu'une majorité de personnes interrogées déclarent y être habitué. Cette contradiction est sans doute issue de la barrière de la langue entre mahorais et enquêteurs. En effet, à quelques reprises, les personnes enquêtées demandaient des explications sur ce que nous appelons « la climatisation ». Il semblerait que pour beaucoup d'entre eux, « la climatisation » inclut les brasseurs d'air et ventilateurs.

**Acclimatation des personnes interrogées**



→ 83% des personnes interrogées sont acclimatés aux conditions climatiques martiniquaises. Parmi l'échantillon, seuls 5% des personnes interrogées déclarent être sur place depuis moins de 6 mois. L'échantillon est suffisamment représentatif pour les études de confort.

## 2.2 Analyse sur l'ensemble des enquêtes

En répondant aux enquêtes, les personnes interrogées ont dû décrire leur sensation de confort dans les conditions instrumentées, à travers diverses questions. Afin de traduire leurs réponses en niveau de confort, nous avons procédé comme présenté ci-dessous :

1. Nous avons associé les réponses sur les sensations de chaleur et de confort à des chiffres allant de -3 à 3, à l'aide de deux échelles :

Rappel des échelles de réponses sur l'inconfort et la sensation de chaleur de -3 à +3.

12. Actuellement dans la salle, il fait : (cocher la case correspondant)

Très froid    Froid    Légèrement froid    Ni froid, ni chaud    Légèrement chaud    Chaud    Très chaud

13. Actuellement dans la salle, il fait : (cocher la case correspondant)

Très inconfortable    Inconfortable    Légèrement inconfortable    Neutre (ni inconfortable, ni confortable)    Légèrement confortable    Confortable    Très confortable

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

On obtient alors un couple de deux chiffres par enquêtes : un caractérisant la sensation de chaleur, l'autre le confort thermique.

2. Nous avons ensuite catégorisé les couples de valeurs en 4 catégories :

Qualification du confort des personnes interviewées :

	Les personnes que l'on considère se déclarer comme « <b>confortable sans sensation de chaleur</b> » sont celles qui ont cochées une case entre "Neutre" et "Très confortable" (0 à 3) et n'ayant pas de ressenti de chaleur (-3 à 0)
	Les personnes que l'on considère se déclarer comme « <b>confortable avec sensation de chaleur</b> » sont celles qui ont cochées une case entre "Neutre" et "Très confortable" (0 à 3) et ayant un ressenti par rapport à la température entre "légèrement chaud" et "très chaud" (1 à 3). Ces personnes sont probablement à la limite de basculer vers l'inconfort.
	Les personnes que l'on considère se déclarer comme « <b>inconfortable chaud</b> » sont celles qui ont cochées une case entre "Très inconfortable" et "Légèrement inconfortable" (-3 à -1) et ayant un ressenti par rapport à la température entre "légèrement chaud" et "très chaud" (1 à 3)
	Les personnes que l'on considère se déclarer comme « <b>inconfortable froid</b> » sont celles qui ont cochées une case entre "Très inconfortable" et "Légèrement inconfortable" (-3 à -1) et ayant un ressenti par rapport à la température entre "très froid" et "légèrement froid" (-3 à -1)

3. Nous avons présenté les résultats sous forme de graphiques et statistiques, en utilisant le code couleur suivant :

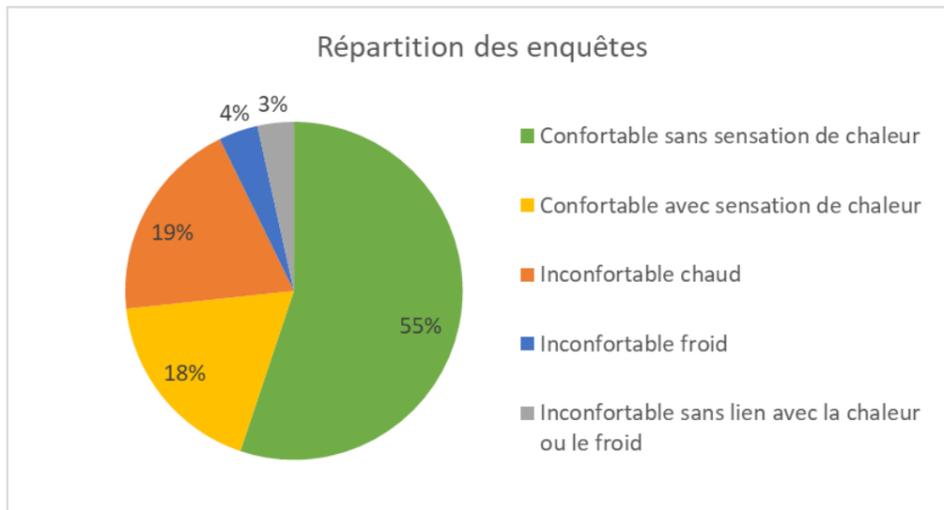
Code couleur utilisé dans les graphiques de l'analyse :

<span style="color: green;">●</span>	Confortables sans sensation de chaleur
<span style="color: yellow;">●</span>	Confortables avec une sensation de chaleur
<span style="color: orange;">●</span>	Inconfortables liée à la sensation de chaleur
<span style="color: blue;">●</span>	Inconfortables liée à la sensation de froid

2.2.1 Echantillon complet

Martinique 2 042 enquêtes

Confortable sans sensation de chaleur	Confortable avec sensation de chaleur	Inconfortable chaud	Inconfortable froid	Inconfortable sans lien avec la chaleur ou le froid
1126	371	397	77	71
55%	18%	19%	4%	3%



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.

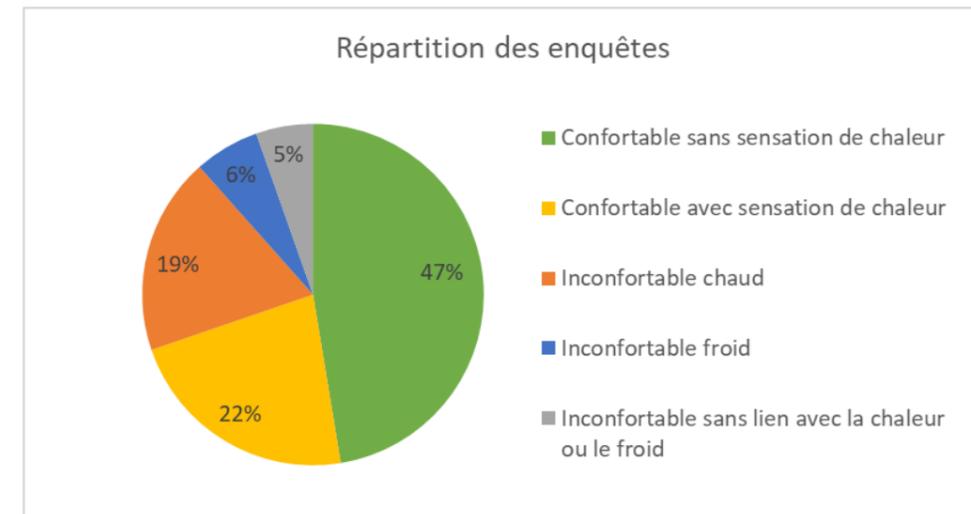
Dans la suite des études, on présentera les résultats des enquêtes sur le diagramme de l'air humide avec les zones de confort de Givoni, en y plaçant des bulles de taille proportionnelle au nombre d'enquêtes réalisées dans les mêmes conditions, selon la température opérative et l'humidité relative instrumentées lors de l'enquête.

Pour rappel, Baruch Givoni était un architecte israélien, pionnier de l'architecture bioclimatique. Il est à l'origine du diagramme de Givoni qui délimite des zones dans lesquelles les personnes se sentent en confort en fonction de la température, de l'humidité et de la vitesse d'air.

Cette étude nous permettra de qualifier le confort des populations locales acclimatées au climat tropical humide caractéristique de Mayotte et de la Martinique.

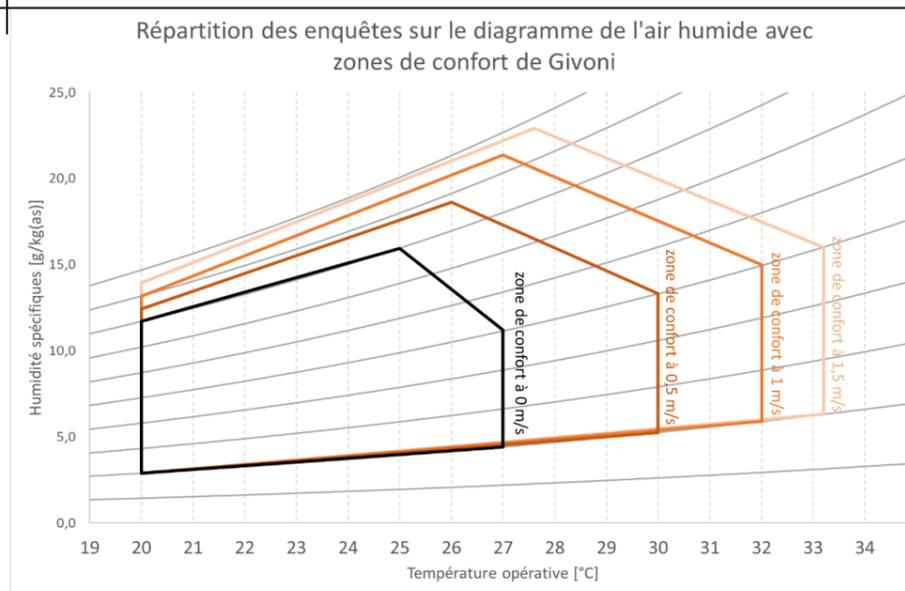
Mayotte - 2076 enquêtes

Confortable sans sensation de chaleur	Confortable avec sensation de chaleur	Inconfortable chaud	Inconfortable froid	Inconfortable sans lien avec la chaleur ou le froid
984	464	388	128	112
47%	22%	19%	6%	5%



Sur les 2 076 enquêtes réalisées à Mayotte,

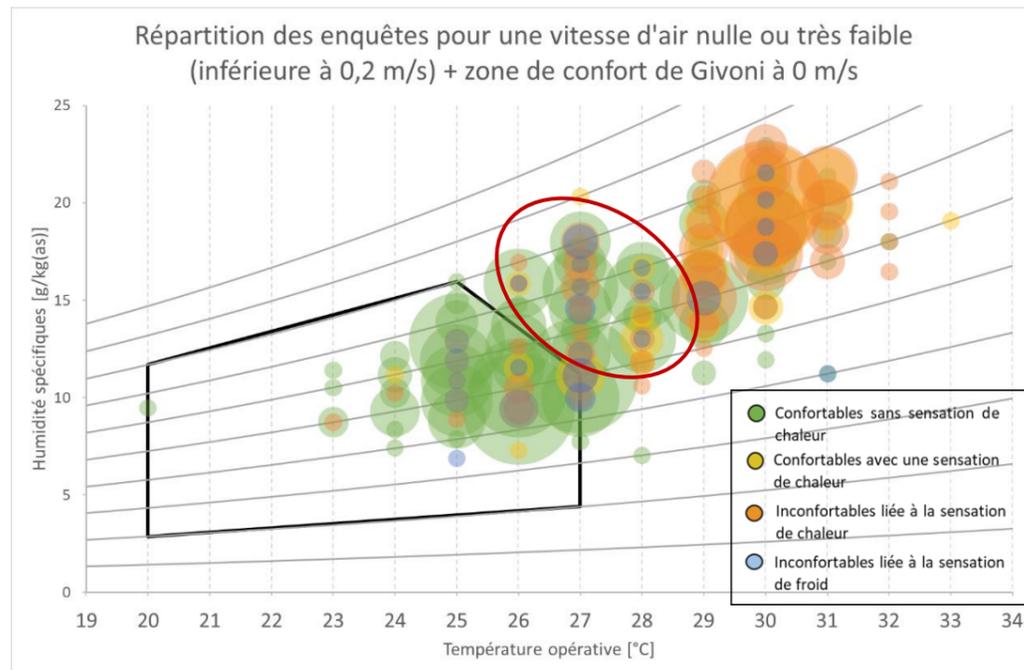
- 70% des personnes déclarent être en situation de confort dont 22% avec une sensation de chaleur.
- 19% se déclarent en inconfort lié à la chaleur et 6% lié au froid
- 5% des personnes enquêtées se déclarent en inconfort sans lien avec la chaleur ou le froid. Ce dernier lot d'enquête n'a pas été intégré aux résultats présentés car l'inconfort est probablement lié à d'autres paramètres.



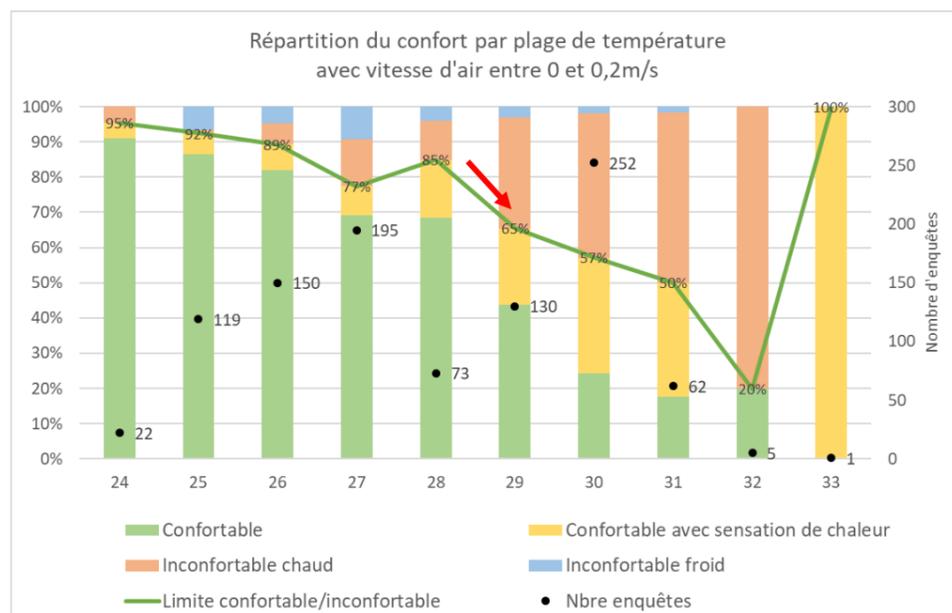
2.2.1.1 Echantillon complet : Jugement du confort par plage de vitesse d'air

Martinique

- **Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s - 1056 enquêtes**



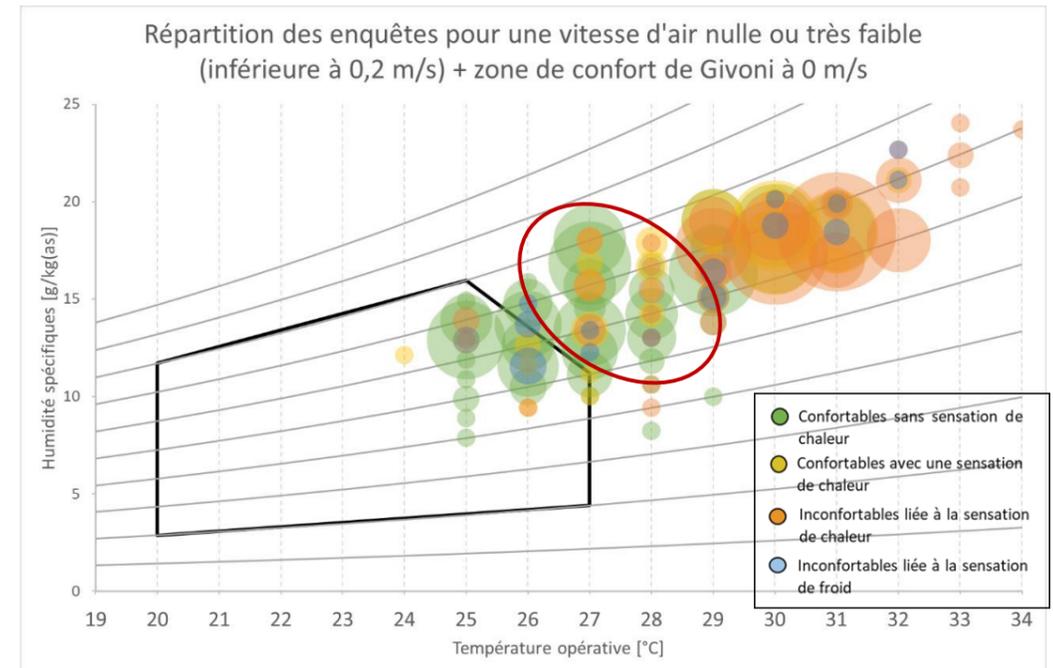
Une part significative de personnes déclare être en situation de confort au-delà des limites des zones de confort de Givoni. C'est notamment le cas à des températures entre 26 et 28°C avec une humidité de 50 à 80% (zones entourées en rouge). On peut analyser statistiquement la répartition du confort par plage de température :



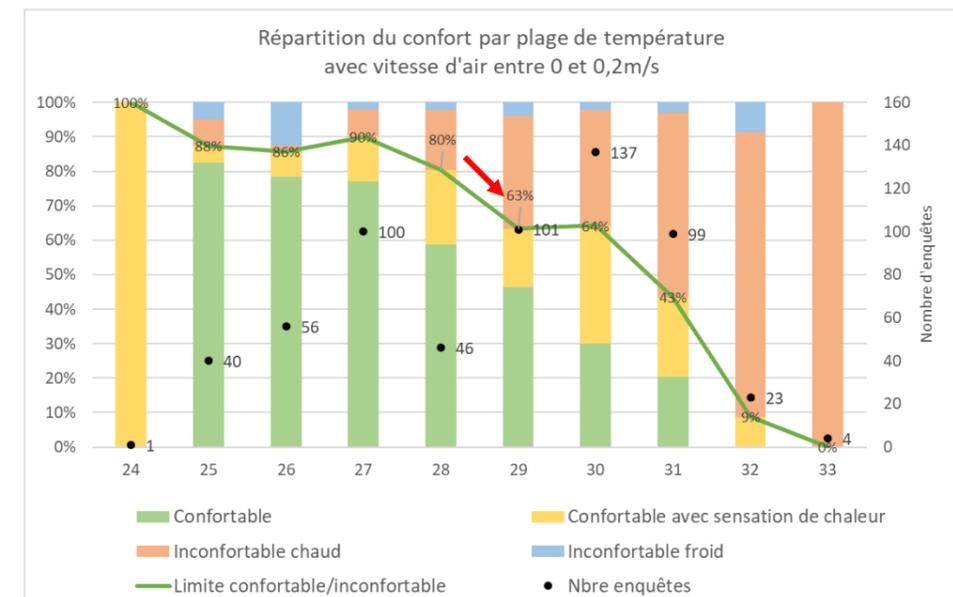
A vitesse d'air nulle, on constate une **chute du taux de confort à partir de 29°C** (85% de confortable à 28°C et 65% à 29°C). La part de personnes qui déclarent être en situation de confort avec une sensation de chaleur devient majoritaire à partir de 30°C.

Mayotte

- **Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 645 enquêtes**



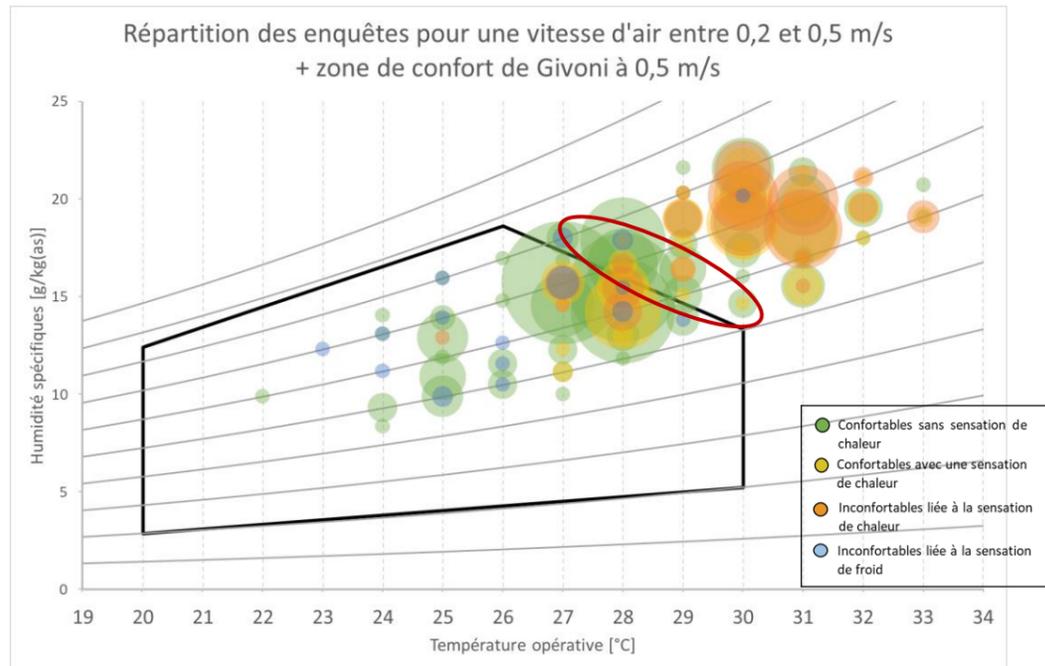
Une part significative de personnes déclare être en situation de confort au-delà des limites des zones de confort de Givoni (zones entourées en rouge). De façon similaire au territoire Martiniquais, on observe une zone hors de la zone de Givoni dans laquelle des taux de confort importants sont atteints. On peut analyser statistiquement la répartition du confort par plage de température :



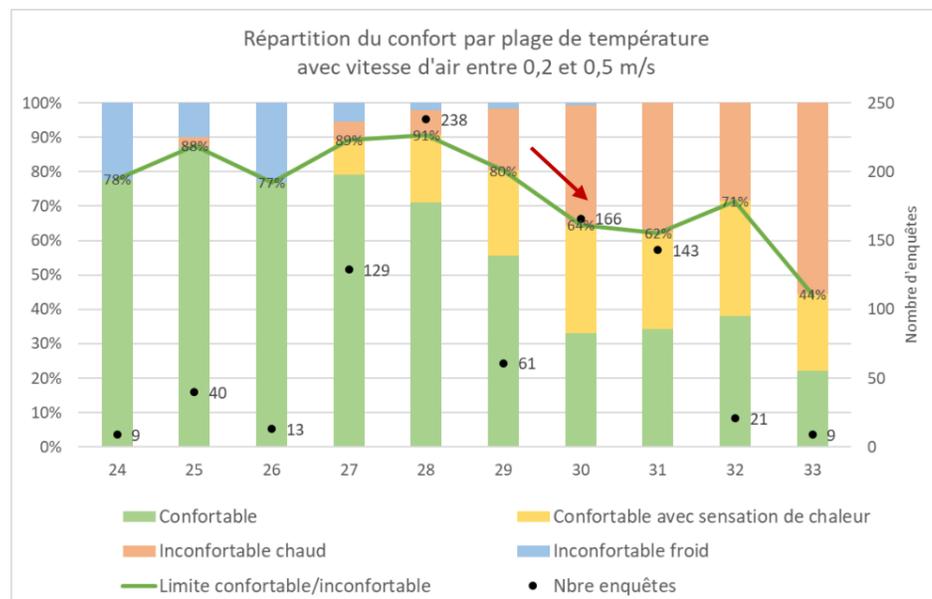
A des vitesses d'air nulles, les tendances d'évolution du taux de confort observées en Martinique en fonction de la température se confirment sur le territoire de Mayotte. On constate une **chute du taux de confort à partir de 29°C**. En effet, le taux de confort passe de 80% pour une température de 28°C à 63% pour une température de 29°C.

### Martinique

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s - 857 enquêtes**



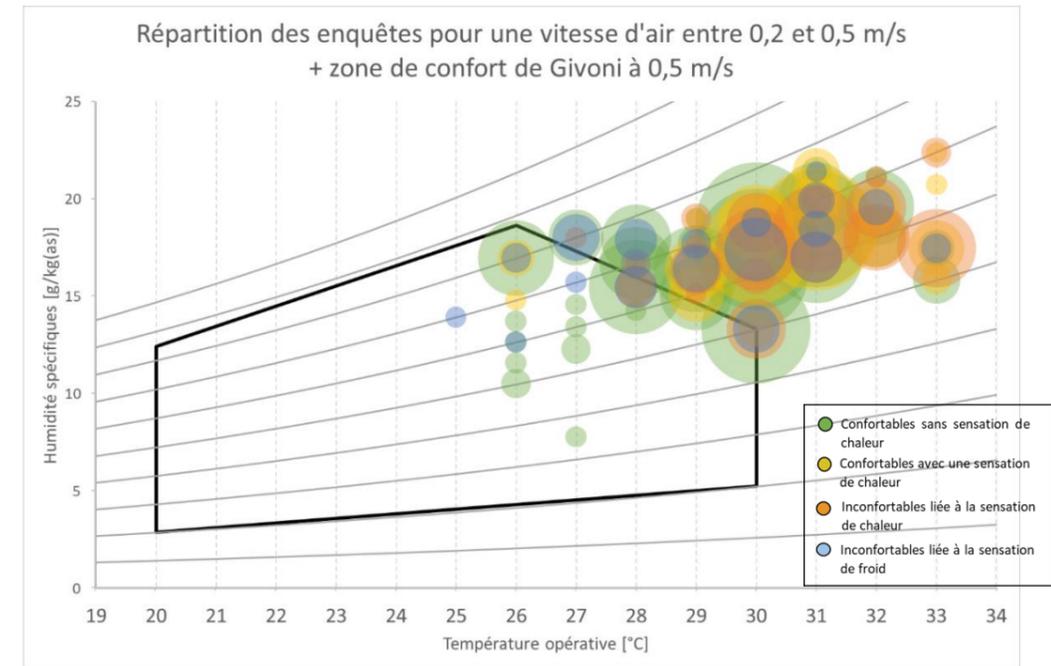
Avec une vitesse d'air nulle, on observe une zone au-delà de 29°C et 70% d'humidité où la plupart des personnes interrogées se déclarent en situation d'inconfort liée à la sensation de chaleur. Avec une légère vitesse d'air (<0,5 m/s) cette zone semble se décaler vers une température plus élevée.



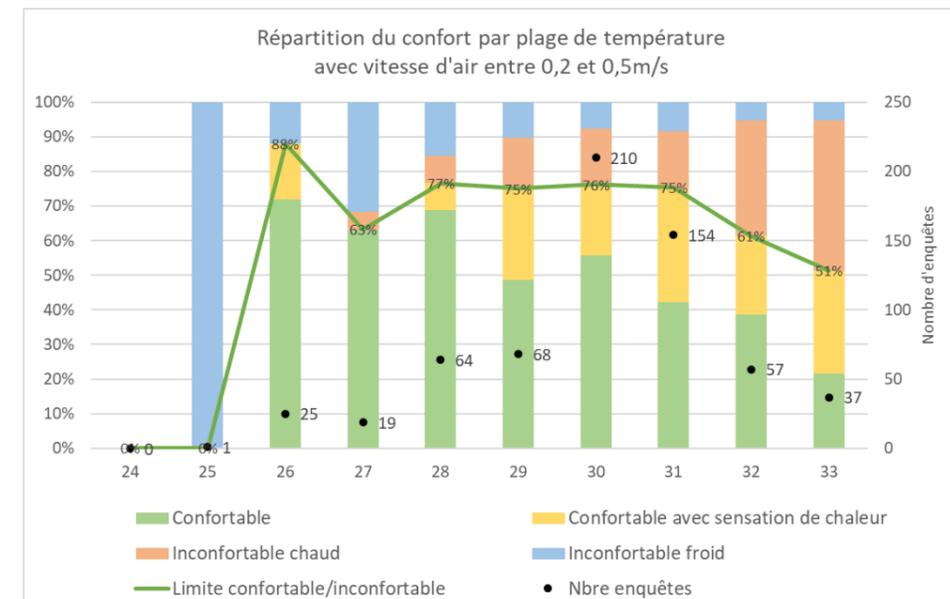
Avec une légère vitesse d'air l'évolution est plus progressive lorsque la température augmente. La part de confortable passe en dessous de 80% à partir de 30°C. Par ailleurs, les températures entre 30 et 32° semblent un peu mieux tolérées. En globalité, on remarque que la vitesse d'air légère **lisse l'évolution du taux de confort** lorsque la température augmente. En effet, la chute du confort est moins brutale que pour une vitesse d'air nulle.

### Mayotte

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s - 679 enquêtes**



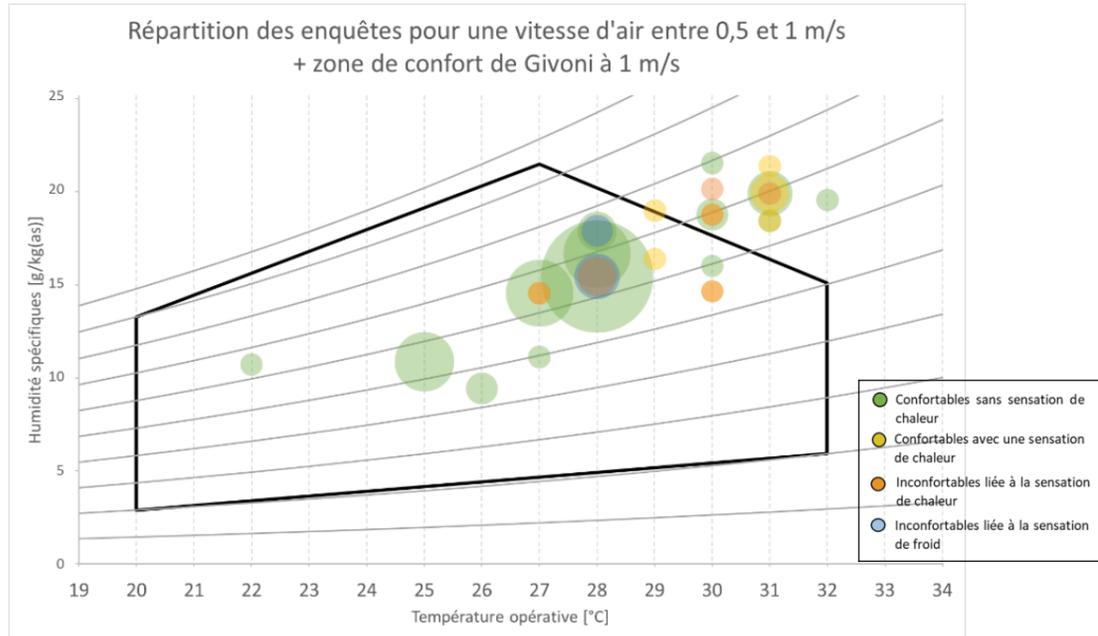
Graphiquement, on constate une part plus importante d'inconfort froid (surfaces des bulles bleues plus importantes) lorsqu'on introduit une vitesse d'air légère. Au vu des résultats sur le graphique, il paraît difficile de clairement identifier une zone de confort au-delà de la zone de Givoni.



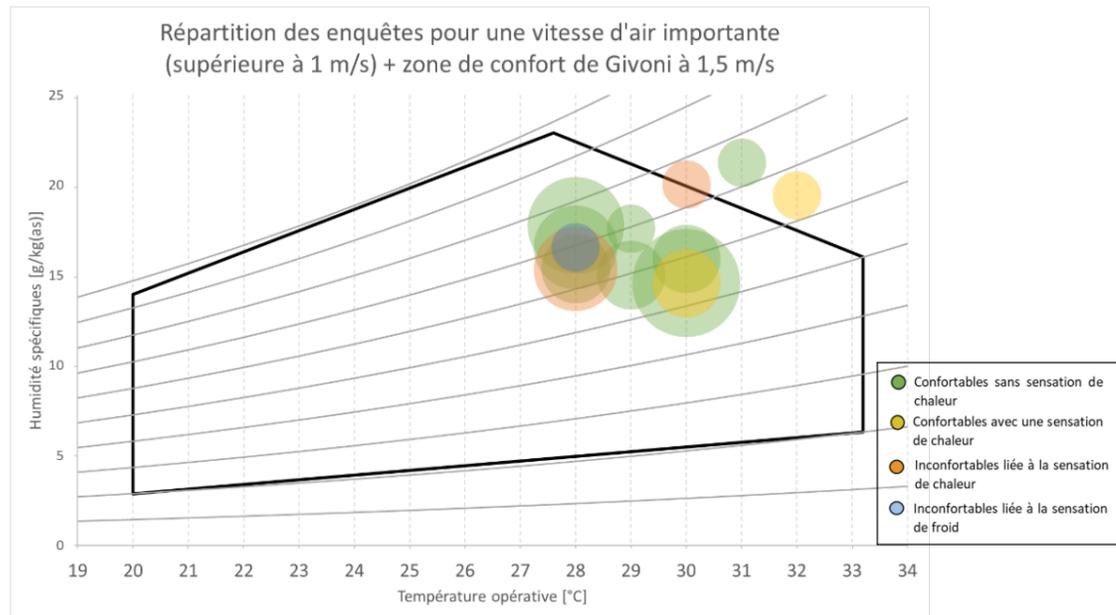
A des vitesses d'air faibles, l'évolution du taux de confort en fonction de la température met en évidence une **diminution du confort à partir de 32°C**. Jusque 31°C, à minima 75% des personnes enquêtées se déclarent en situation confortable. Les taux d'inconfort froid sont plus élevés que pour des vitesses d'air inférieures. L'inconfort froid est probablement directement dû à cette vitesse d'air. En globalité, on remarque que la vitesse d'air légère **lisse l'évolution du taux de confort** lorsque la température augmente. En effet, la chute du confort est moins brutale que pour une vitesse d'air nulle.

### Martinique

- **Vitesse d'air moyenne [0,5 ; 1[ m/s - 100 enquêtes**



- **Vitesse d'air forte > 1 m/s - 29 enquêtes**



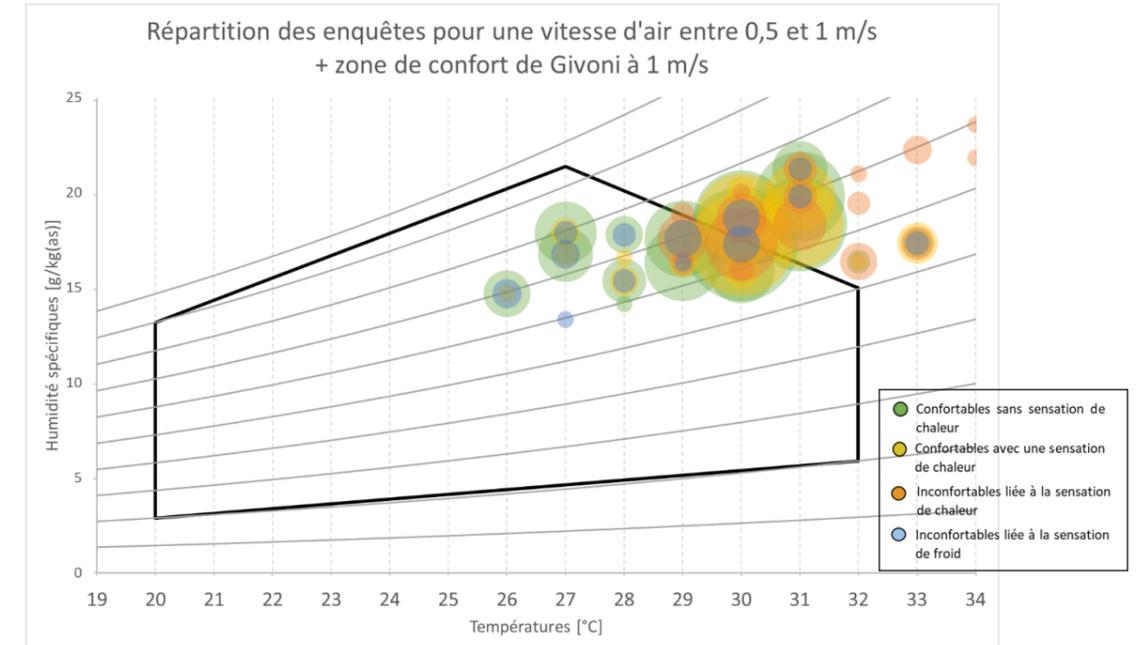
Le nombre d'enquête avec des vitesses d'air supérieur à 0,5 m/s en Martinique est faible : 100 enquêtes entre 0,5 et 1 m/s et 29 enquêtes avec une vitesse d'air supérieure à 1 m/s.

Du fait de la faible taille de l'échantillon **il est difficile de tirer des conclusions** mais on constate malgré tout que la part de personnes qui se déclarent confortable est importante (environ 80% pour les vitesses supérieures à 0,5 m/s).

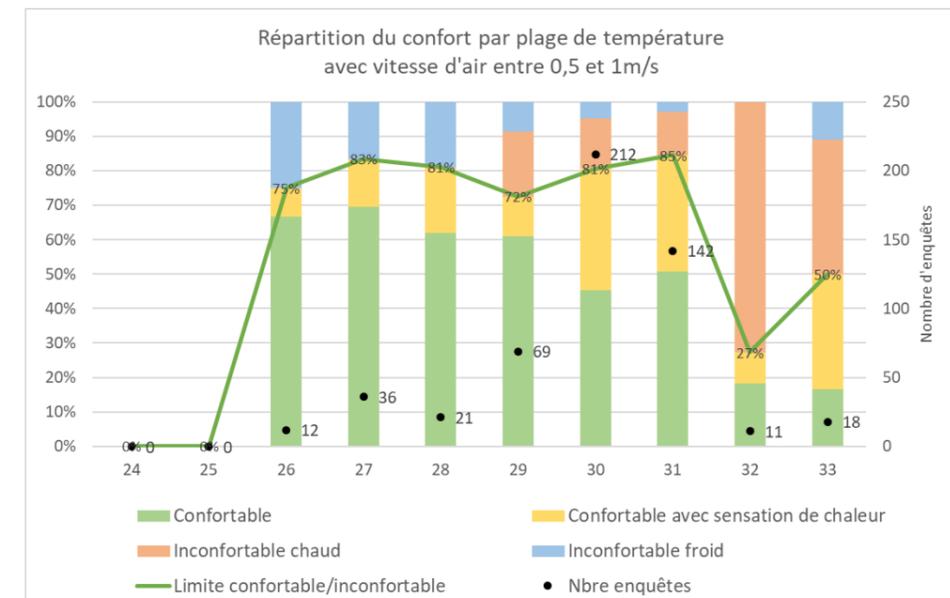
Pour rappel, le nombre d'enquêtes réalisées à des vitesses d'air importantes est réduit de par le fort taux de climatisation, et la limitation de l'usage de la ventilation naturelle traversante en Martinique. (Voir caractéristiques des échantillons)

### Mayotte

- **Vitesse d'air moyenne [0,5 ; 1[ m/s - 546 enquêtes**



A Mayotte, les vitesses d'air supérieures à 0,5 m/s sont plus fréquentes qu'en Martinique (voir caractéristiques des échantillons). Une fois encore, il paraît difficile de clairement identifier une zone de confort au-delà de la zone de Givoni graphiquement. Mais il reste intéressant d'analyser statistiquement la répartition du confort par plage de température.

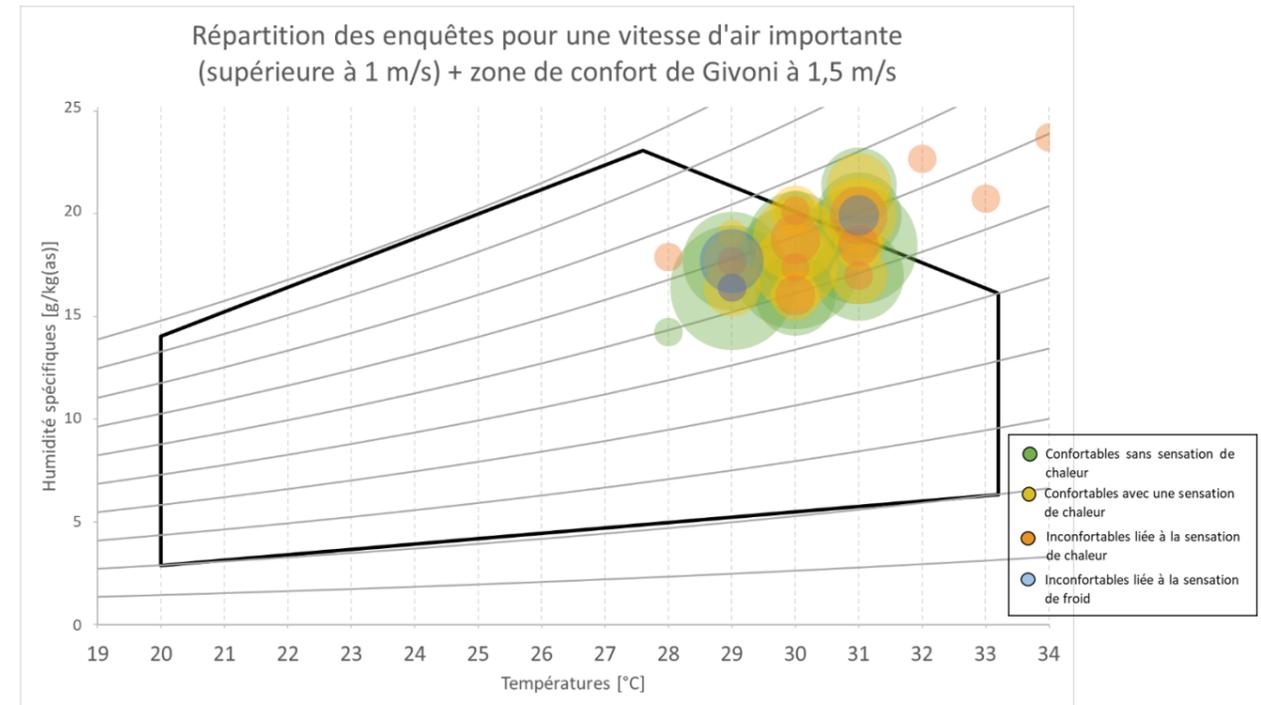


Une diminution du taux de confort à 32°C se retrouve également pour des vitesses d'air moyennes (entre 0,5 et 1 m/s). Cette diminution est ici drastique, le taux de confort passe de 85% pour 31°C à 27% pour 32°C. Néanmoins, le nombre d'enquêtes réduit à 32°C pour cette vitesse d'air (11) peut biaiser les statistiques.

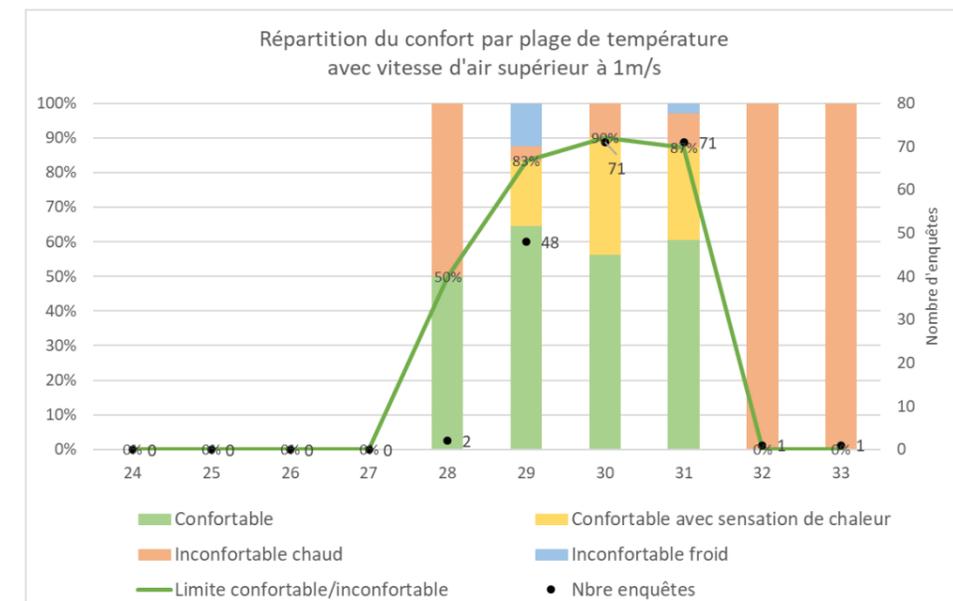
On retiendra principalement que, **les taux de confort entre 27°C et 31°C sont plus importants** pour des vitesses d'air moyennes que pour des vitesses d'air faibles. En effet, le taux de confort atteint dépasse généralement les 80%.

### Mayotte

- **Vitesse d'air forte > 1 m/s - 206 enquêtes**



206 personnes ont été interrogées dans des conditions de vitesse d'air supérieures à 1 m/s à Mayotte. La majorité de ces enquêtes ont été réalisées dans des conditions de température et d'humidité incluses dans la zone de confort. Analysons la répartition du confort par plage de température.

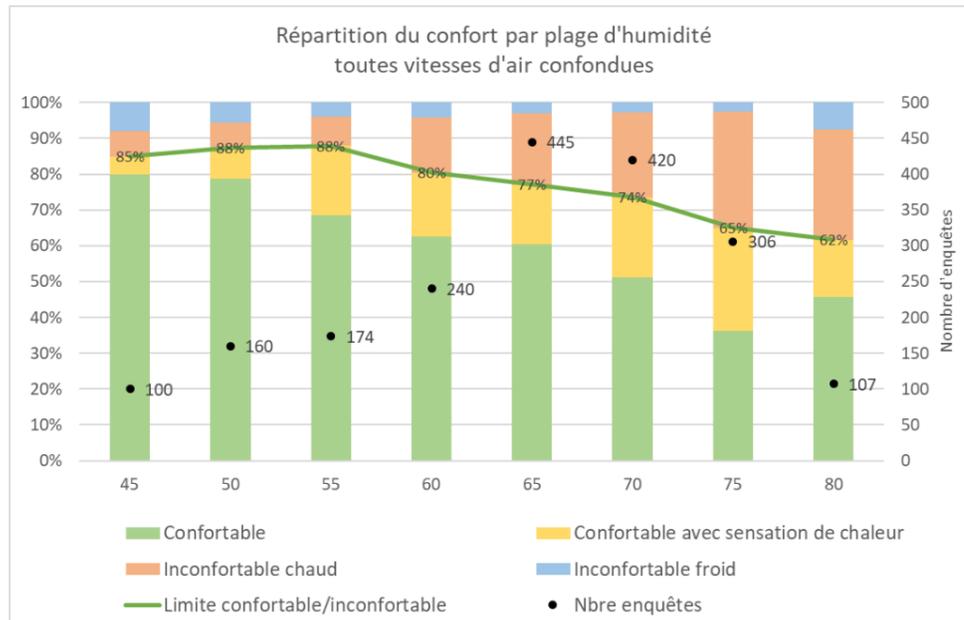


Les enquêtes effectuées à cette vitesse d'air couvrent moins de températures que les enquêtes réalisées aux vitesses d'air inférieures. Les enquêtes réalisées à 29, 30 et 31 °C sont tout de même analysables de par la taille des échantillons. **A 29°C, 30°C et 31°C, on atteint des taux maximums de confort (83% à 90%)** par rapport aux taux de confort atteints pour ces mêmes températures à des vitesses d'air inférieures.

2.2.1.2 Echantillon complet : Jugement du confort par plage d'humidité relative

Martinique

Jugement du confort par plage d'humidité relative :



On constate une augmentation progressive de l'inconfort avec l'augmentation de l'humidité mais pas de véritable chute à partir d'une valeur seuil. **L'influence de l'humidité sur le confort existe mais elle semble secondaire par rapport à l'influence de la température.**

2.2.1.3 Echantillon complet : influence de l'habillement

Influence de l'habillement :

Le niveau d'habillement moyen (Clo moyen) représentatif de l'échantillon martiniquais est de 0,49 Clo.

Habillement	Nombre enquêtes	Taux de confort
< Clo moyen = 0,49	514	78%
> Clo moyen = 0,49	1 457	75%

Sur tout l'échantillon

Lorsqu'on compare le taux de confort en fonction de l'habillement sur l'ensemble de l'échantillon, **on n'observe pas de différence significative**. Cela s'explique car l'influence des autres paramètres (T°C, vitesse d'air, ...) perturbe l'analyse. Il est préférable d'évaluer l'influence de l'habillement dans des conditions climatiques similaires.

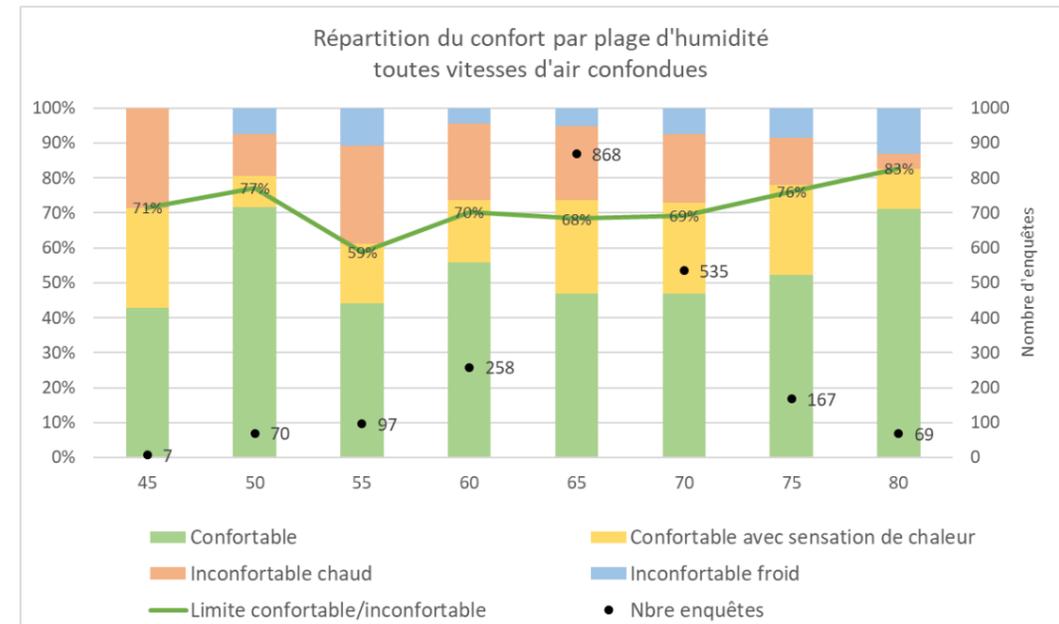
Habillement	Nombre enquêtes	Taux de confort
< Clo moyen = 0,49	70	83%
> Clo moyen = 0,49	133	67%

Echantillon avec une température de 28/29°C et vitesse d'air < 0,2 m/s

→ A une température comprise entre 28 et 29°C et avec une vitesse d'air à inférieure à 0,2 m/s, il semble qu'un habillement plus léger (< 0,49 Clo) permet d'avoir un taux de confort plus élevé (83% contre 67% avec un Clo > 0,49).

Mayotte

Jugement du confort par plage d'humidité relative :



L'évolution du taux de confort en fonction de l'humidité est difficilement interprétable avec les résultats de l'échantillon mahorais. Sur l'échantillon mahorais, **l'évolution du taux d'humidité semble peu corrélée à l'évolution du taux de confort.**

Influence de l'habillement :

Le niveau d'habillement moyen (Clo moyen) représentatif de l'échantillon mahorais est de 0,44 Clo.

Habillement	Nombre d'enquêtes	Taux de confort
< 0,44 (Clo)	782	74%
>= 0,44 (Clo)	1294	74%

Sur tout l'échantillon

Lorsqu'on compare le taux de confort en fonction de l'habillement sur l'ensemble de l'échantillon, on ne constate **pas d'influence claire de l'habillement sur le taux de confort**. Avec l'échantillon disponible, il n'a pas été possible d'identifier 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.

Pour évaluer clairement l'influence de l'habillement, il aurait été nécessaire d'étudier un échantillon caractérisé par :

- Une taille plus importante qui couvre toutes les plages de température de façon homogène.
- Davantage de variété dans l'habillement.

## Martinique

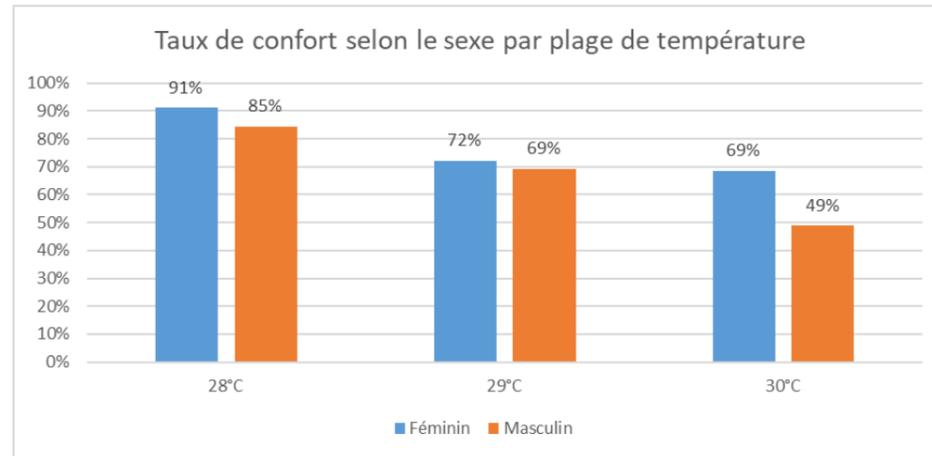
### 2.2.1.4 Echantillon complet : influence du sexe

#### Influence du sexe :

Sexe	Nombre enquêtes	Taux de confort
Féminin	1026	78%
Masculin	944	73%

Sur tout l'échantillon

→ Le taux de confort pour l'échantillon féminin est légèrement plus important.



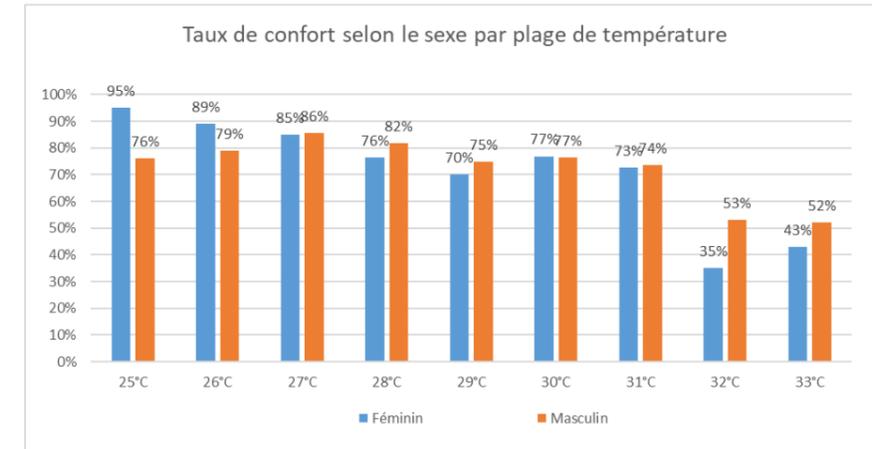
Echantillon avec une température entre 28 et 30°C

→ La tendance se confirme dans des conditions climatiques similaires proche des limites du confort

Remarque : le CLO moyen chez les femmes est de 0,468 et chez les hommes de 0,51. La vêtue des hommes est légèrement plus importante que chez les femmes, elle peut participer à l'écart entre les pourcentages de confort homme/femme.

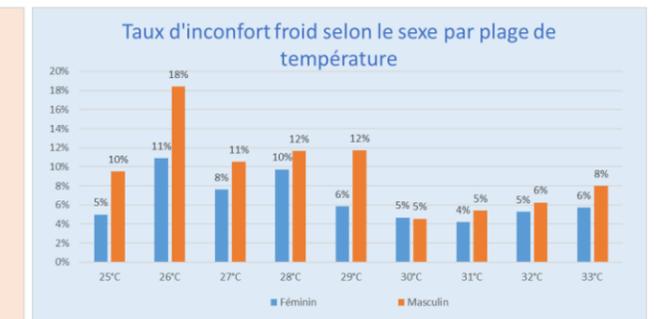
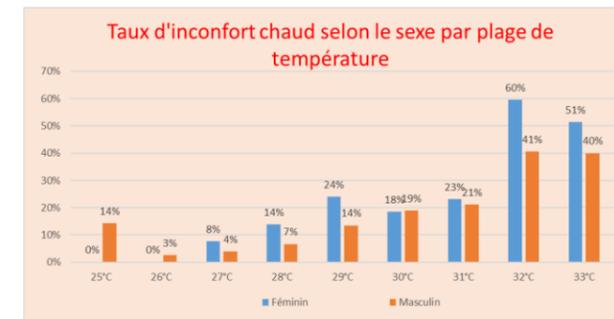
## Mayotte

#### Influence du sexe :



A Mayotte, sur une plage de températures plus large, on peut constater que

- Les taux de confort des femmes sont plus élevés pour des températures moins élevées (25°C / 26°C)
- Les taux de confort des hommes sont plus élevés pour des températures plus élevées, allant de 27 à 33°C.



En analysant un peu plus en détails les taux d'inconfort froid et chaud, on peut constater que

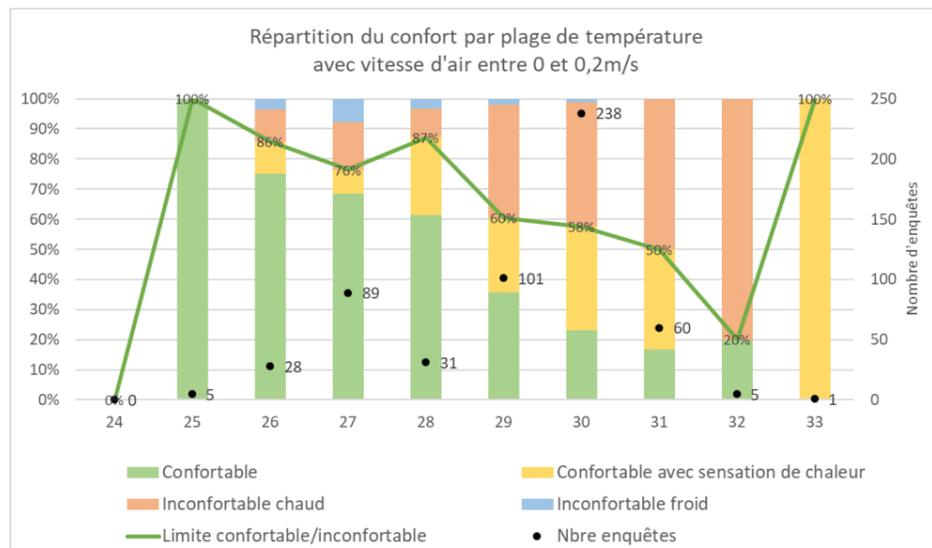
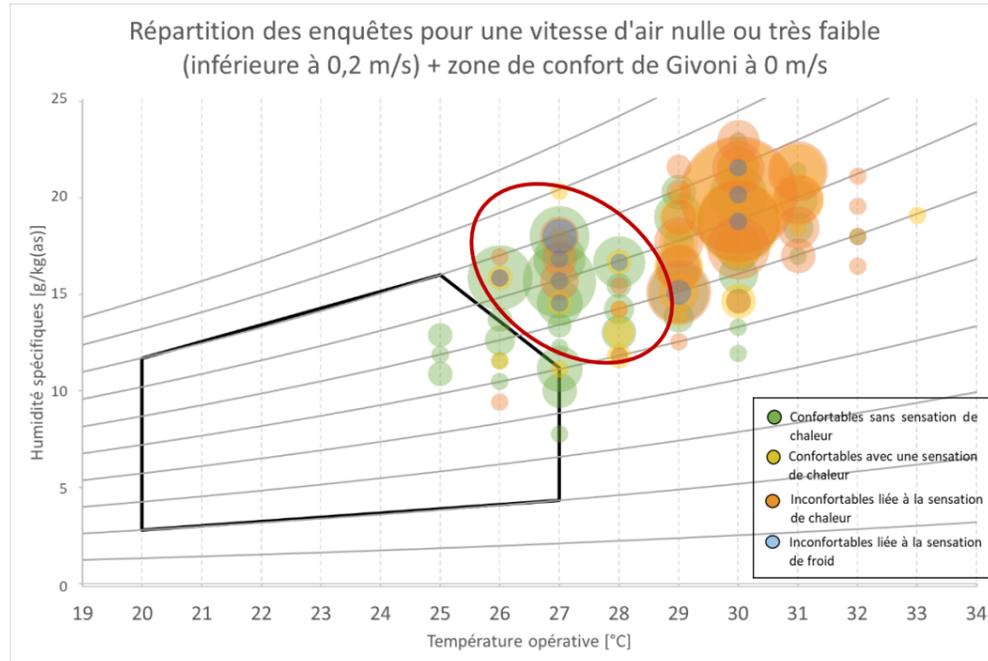
- Les taux d'inconfort chaud sont plus importants chez les femmes.
- Les taux d'inconfort froid sont plus importants chez les hommes.

Remarque : le CLO moyen chez les femmes est de 0,43 et chez les hommes de 0,44. La vêtue n'intervient pas dans les écarts de confort entre les hommes et les femmes dans cet échantillon.

2.2.2 Echantillon sans climatisation ou climatisation à l'arrêt

Martinique

- **Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s - 575 enquêtes**

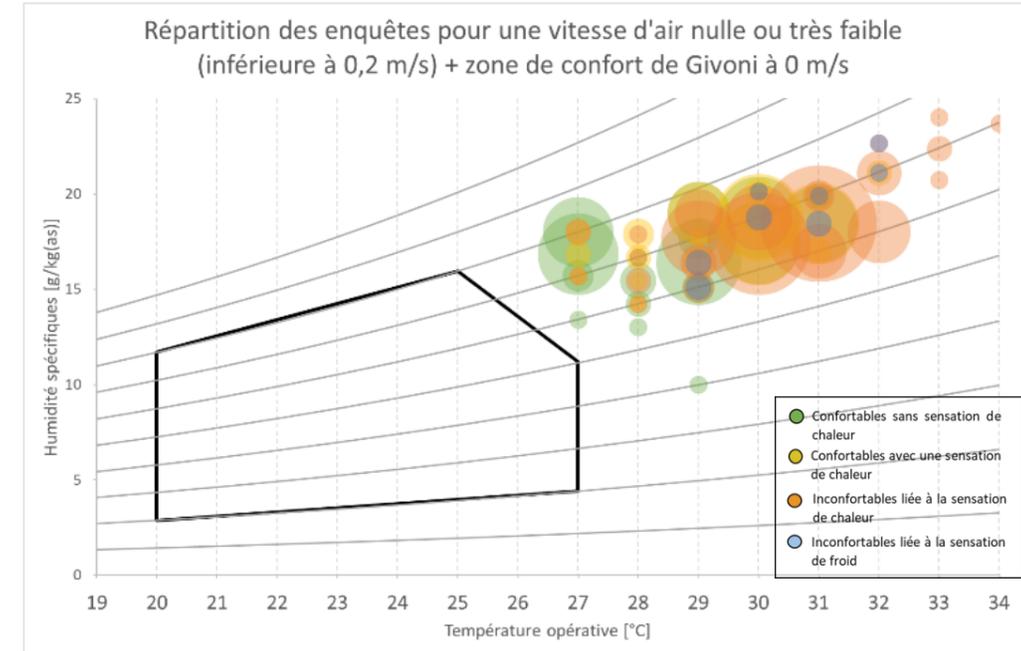


Les conclusions sont les mêmes que pour l'échantillon complet :

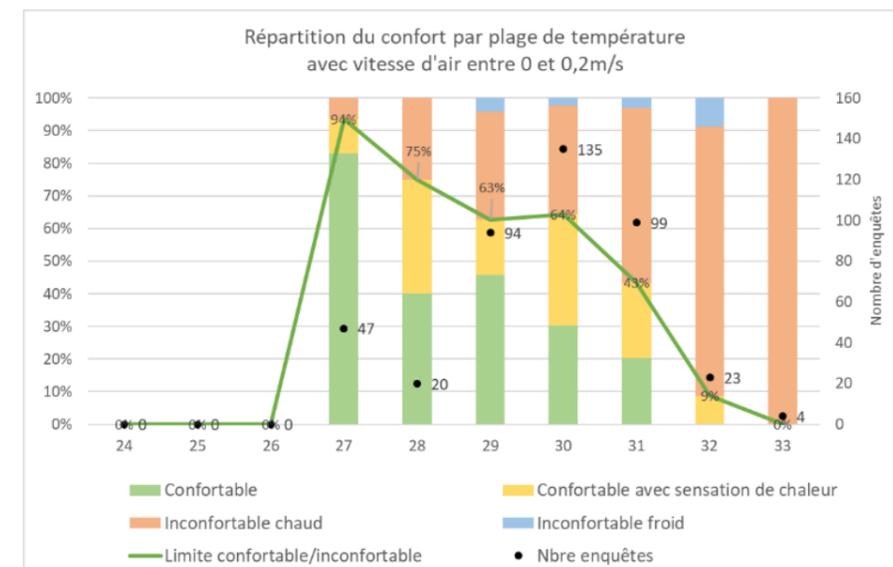
- Avec une vitesse d'air inférieure à 0,2 m/s on constate **une chute du niveau de confort à partir de 29°C** (87% de confortable à 28°C et 60% à 29°C).
- Les quelques points d'inconfort lié au froid sont surprenants du fait que les locaux n'étaient pas climatisés. Le niveau d'habillement de ces personnes reste dans la moyenne (Clo de 0,49) en revanche la plupart ne sont pas habitués à vivre en milieu climatisé (73%). Cela pourrait expliquer une plus grande tolérance au climat tropical et donc une plus grande sensibilité au froid même à des températures élevées.

Mayotte

- **Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s - 449 enquêtes**



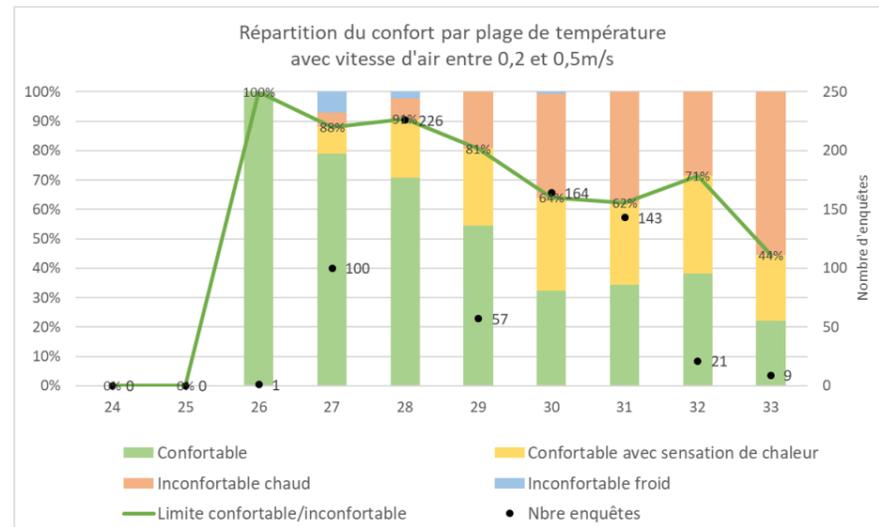
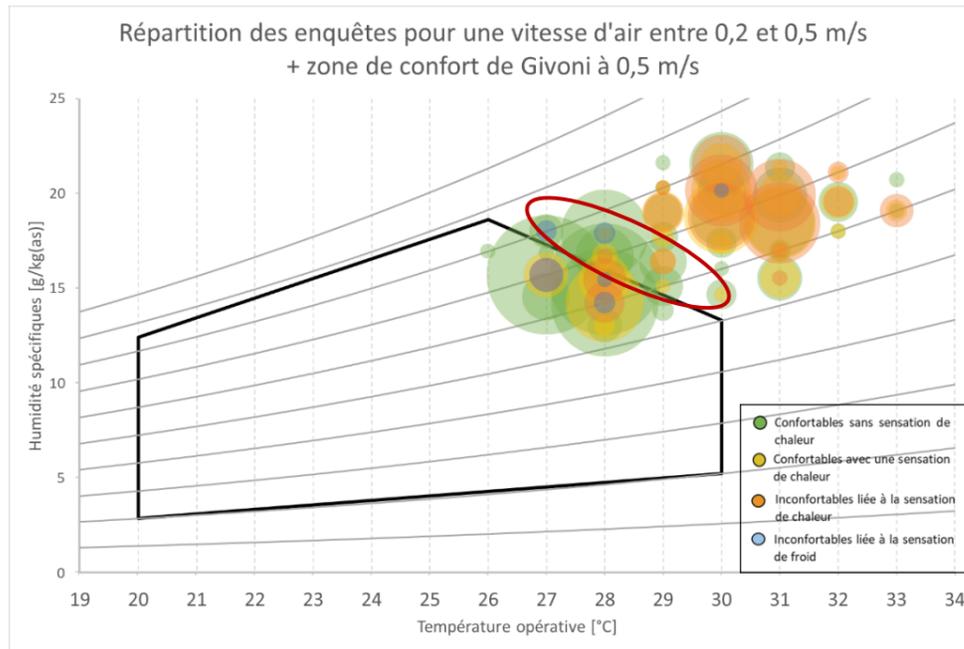
Les conditions instrumentées en milieu non climatisé à vitesse d'air nulle se situent, généralement bien au-delà de la zone de confort de Givoni. Pour les températures supérieures à 28°C, on constate une part importante d'inconfort lié à la sensation de chaleur dans les enquêtes. Analysons en détails la répartition du confort par plage de températures :



A vitesse d'air nulle, on atteint uniquement des températures supérieures ou égales à 27°C. Les taux de confort restent supérieurs à 75% jusqu'à 28°C. De façon similaire à l'échantillon complet, **le taux de confort chute rapidement avec l'augmentation de la température à cette vitesse d'air.**

### Martinique

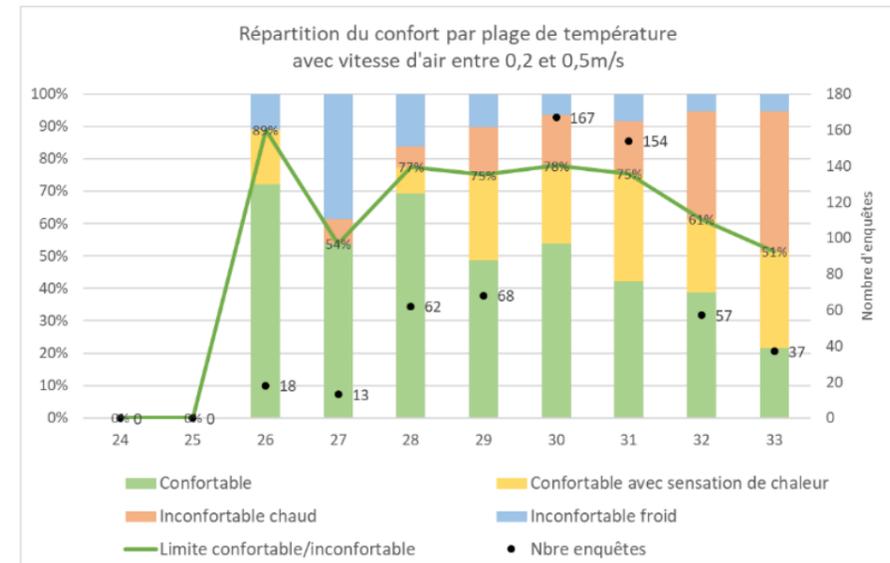
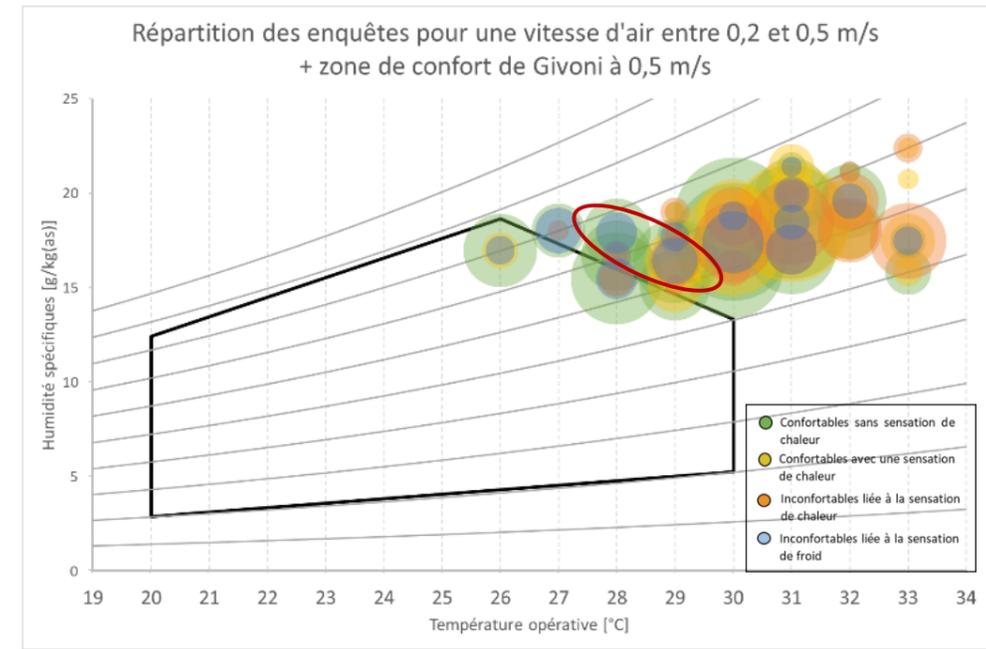
- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s – 744 enquêtes**



Avec une légère vitesse d'air **la diminution du taux de confort est plus progressive lorsque la température augmente**. La part de confortable passe en dessous de 80% à partir de 30°C. Par ailleurs, **les températures entre 30 et 32° semblent un peu mieux tolérées**.

### Mayotte

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s – 619 enquêtes**



Avec une vitesse d'air faible, des taux de confort satisfaisants semblent être atteints aux limites extérieures de la zone de Givoni. Des taux d'inconfort froid plus importants qu'en l'absence de vitesse d'air semblent se distinguer.

En milieu non climatisé, on constate que **l'introduction d'une vitesse d'air permet de lisser efficacement les taux de confort**. Cette tendance se retrouve sur l'analyse de l'échantillon complet. Lorsque pour des vitesses d'air nulles, le taux de confort n'atteint 75% que jusqu'à 28°C, il peut atteindre ces **75% jusque 31°C avec une vitesse d'air faible**.

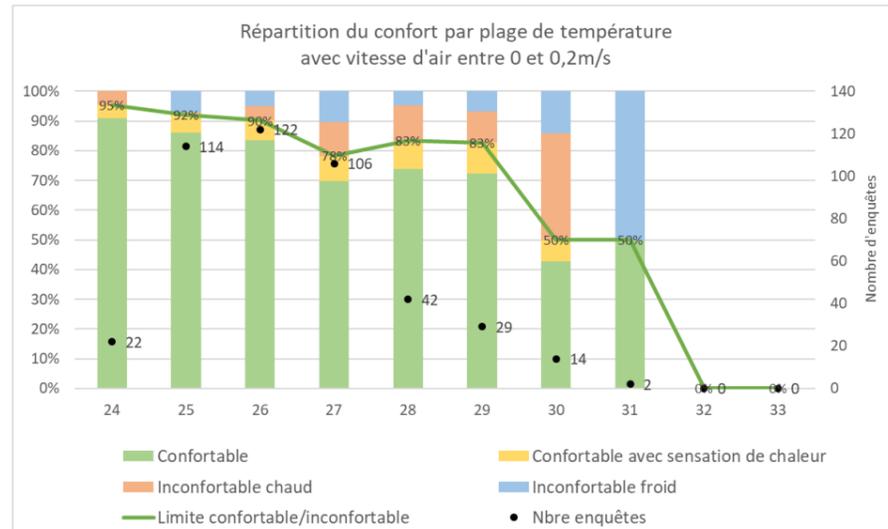
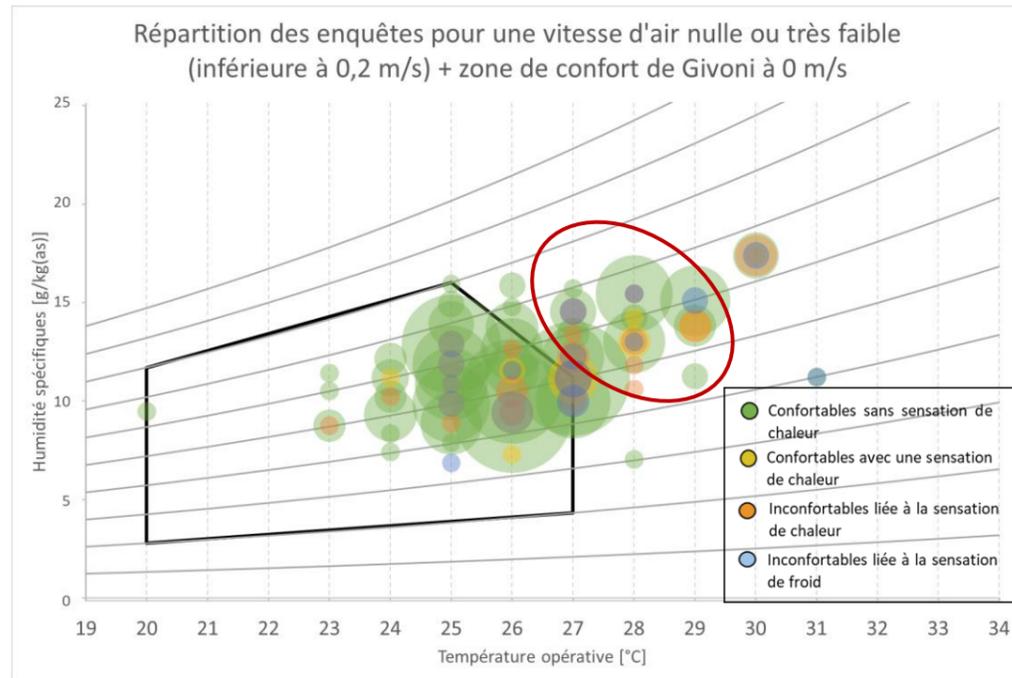
Avec une vitesse d'air légère, le taux d'inconfort froid est plus important que sans vitesse d'air, pour les mêmes températures. **Cette tendance se retrouve sur l'analyse de l'échantillon complet**

**Pour des vitesses d'air supérieures à 0,5 m/s, les résultats de l'échantillon « non climatisé » correspondent aux résultats de l'échantillon complet.**

2.2.3 Echantillon avec climatisation en fonctionnement

Martinique

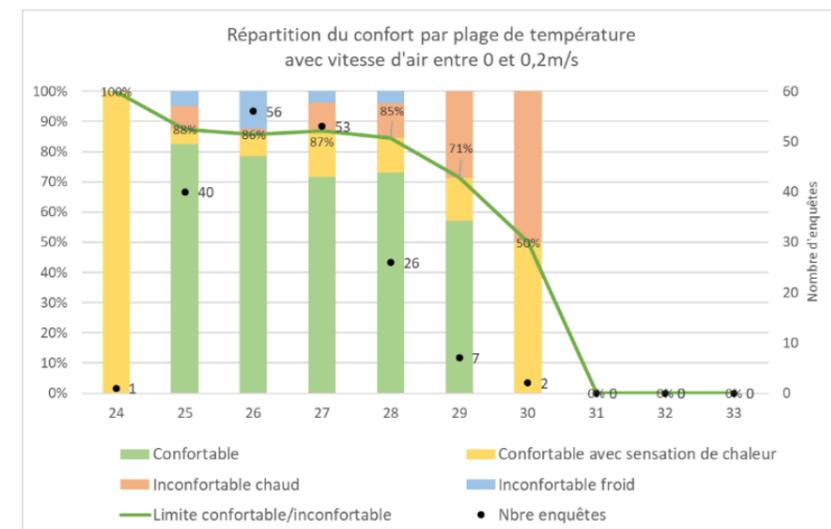
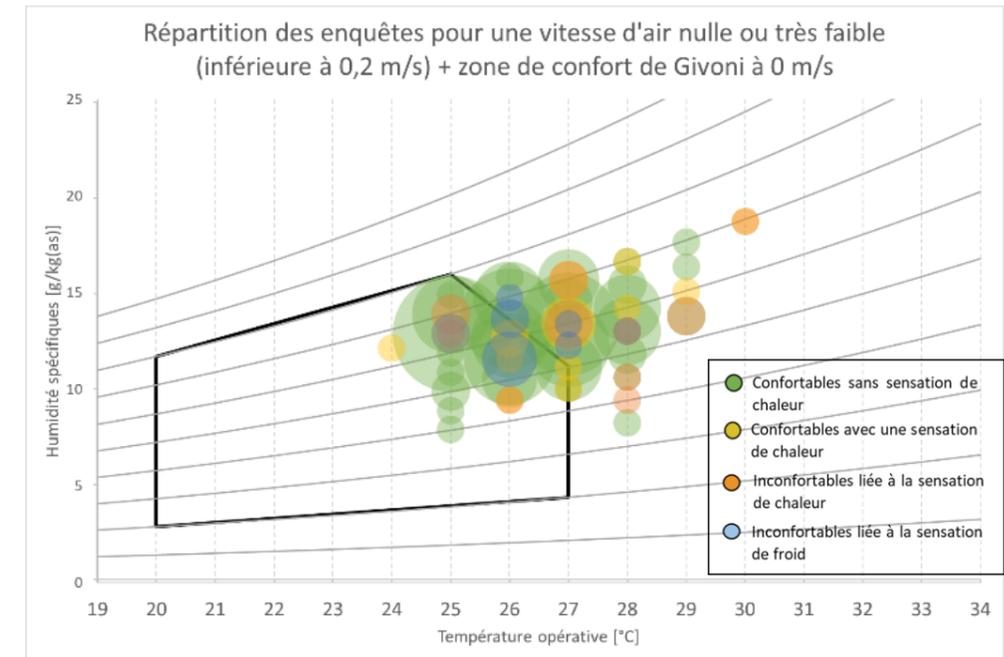
- Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 481 enquêtes



L'inconfort lié à la chaleur n'est pas un sujet en milieu climatisé. Il est tout de même intéressant de noter qu'un grand nombre de personnes se déclarent en confort en dehors de la zone de Givoni à 0 m/s. On constate qu'il est possible de climatiser à une température entre 26 et 28°C tout assurant une part de confort satisfaisante. La climatisation fait chuter l'humidité, ce qui est également favorable.

Mayotte

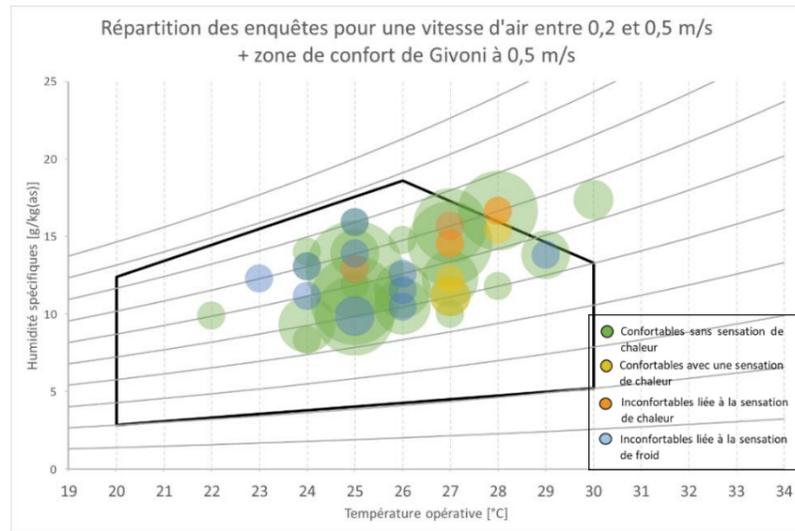
- Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 196 enquêtes



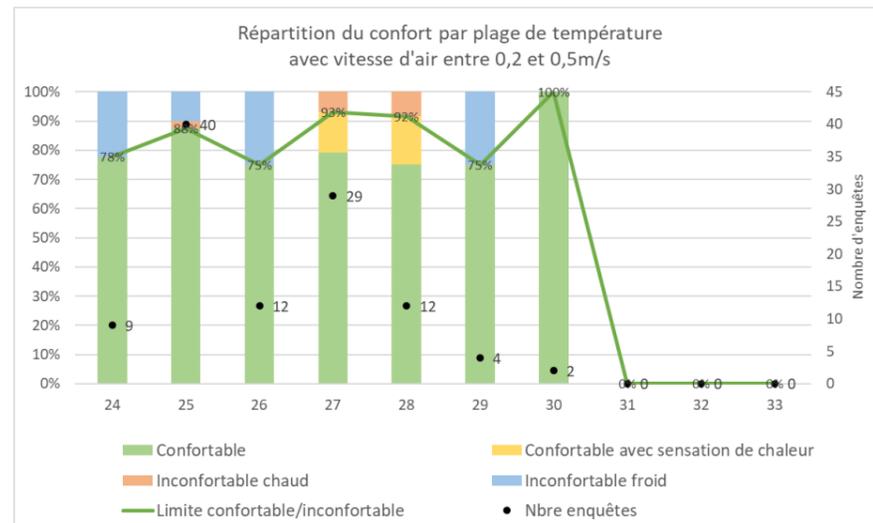
Avec la climatisation, on atteint des températures entre 24°C et 30°C sans vitesse d'air. Les personnes interrogées se sont déclarées majoritairement en situation de confort en milieu climatisé. On constate tout de même une diminution du taux de confort à partir de 29°C en milieu climatisé, pour des vitesses d'air nulles. De façon similaire à la Martinique, on observe des taux de confort élevé avec une climatisation à 26°C, 27°C ou 28°C.

### Martinique

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s 113 enquêtes**



Les conditions de température et d'humidité instrumentées lors des enquêtes à cette vitesse d'air, en milieu climatisé, sont quasiment toutes incluses dans la zone de confort de Givoni. Des taux de confort importants sont observés.

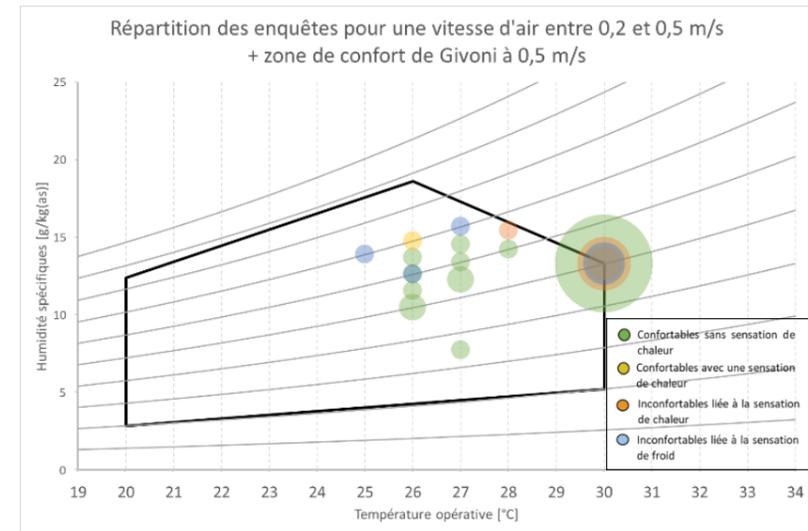


Malgré le nombre réduit d'enquêtes réalisées à cette vitesse d'air en milieu climatisé, la tendance observée en milieu climatisé est confirmée : **l'inconfort chaud n'est pas un sujet en milieu climatisé**, et les taux de confort sont relativement élevés. **Le taux d'inconfort lié au froid est légèrement plus important en présence d'une vitesse d'air entre 0,2 et 0,5 m/s** (10% au lieu de 7%) mais cela ne représente que 11 enquêtes.

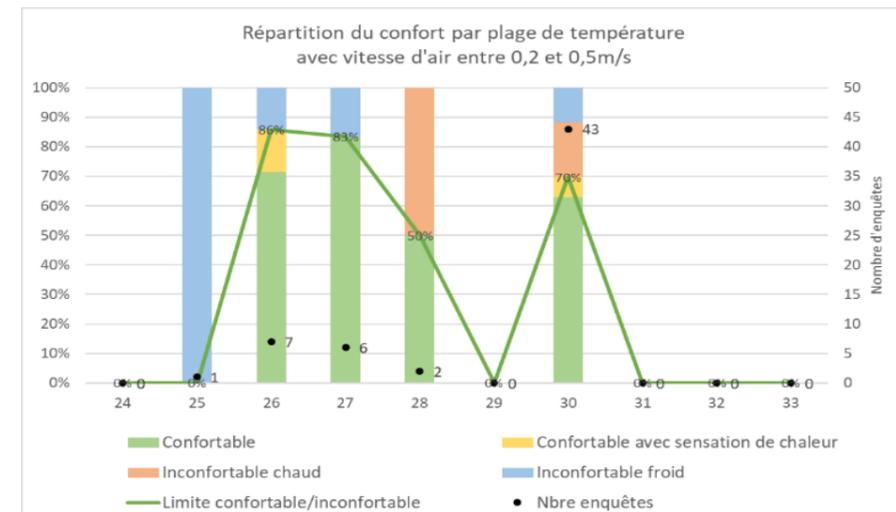
**Toutes vitesses d'air confondues, en Martinique, le taux d'inconfort est très faible lorsque les locaux sont climatisés** : seulement 7% d'inconfort chaud et 7% d'inconfort froid sur tout l'échantillon climatisé.

### Mayotte

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s 60 enquêtes**



Les conditions de température et d'humidité instrumentées lors des enquêtes à cette vitesse d'air, en milieu climatisé, sont quasiment toutes incluses dans la zone de confort de Givoni. La seule température pour laquelle l'échantillon est analysable est 30°C.



Peu d'enquêtes ont été réalisées en milieu climatisé pour une vitesse d'air supérieure à 0,2 m/s. On peut cependant comparer le taux de confort à 30°C, en milieu non climatisé et climatisé : A 30°C, **le taux de confort est supérieur en milieu non climatisé** pour des vitesses d'air faibles. En effet, il atteint 78%, alors qu'il n'atteint que 70% en milieu climatisé. Même si la part de confort avec sensation de chaleur est plus importante en milieu non climatisé, **on constate que le taux d'inconfort froid est plus important en milieu climatisé**.

Remarque : Très peu d'enquêtes (4) réalisées en milieu climatisé ont été réalisées dans des conditions de vitesses d'air supérieure à 0,5 m/s. En effet, en milieu climatisé :

- Les ouvrants donnant sur l'extérieur sont généralement fermés.
- Les occupants d'un bâtiment n'ont pas l'habitude de coupler l'utilisation de la climatisation et des brasseurs d'air. Seuls 17% des enquêtes réalisées en milieu climatisé présentent un brasseur d'air en fonctionnement.

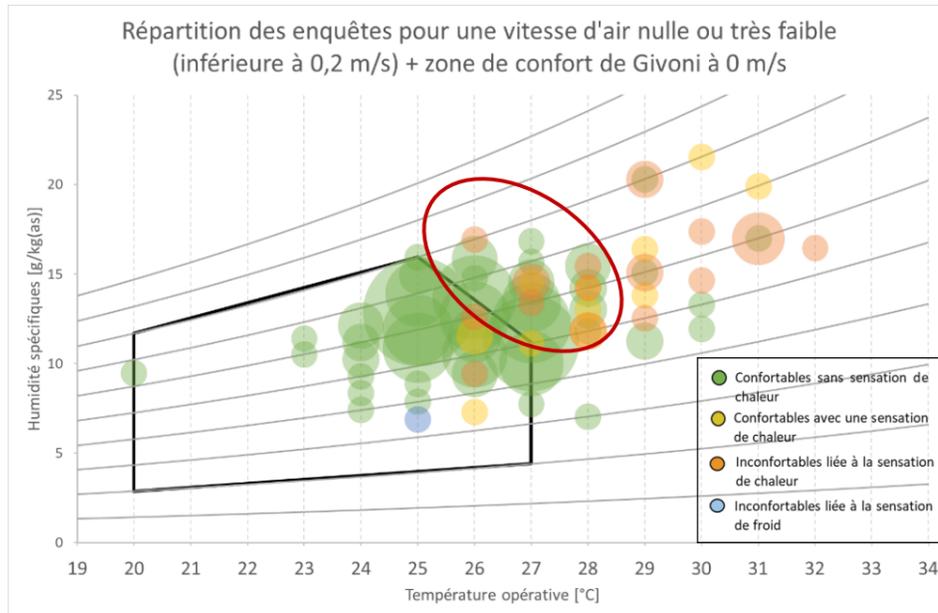
Par conséquent, **pour des vitesses d'air supérieures à 0,5 m/s, les résultats de l'échantillon global correspondent aux résultats de l'échantillon « non climatisé ».**

## 2.3 Analyse par type de bâtiments

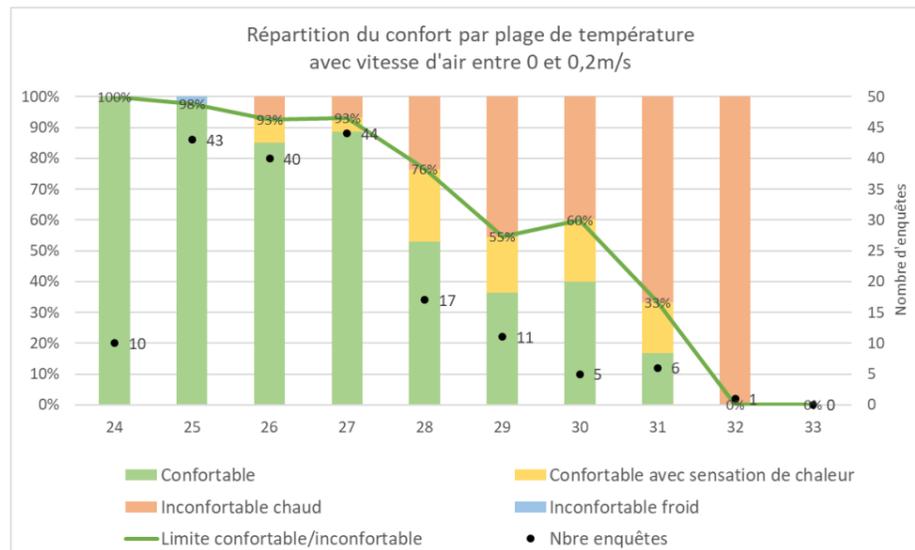
### 2.3.1 Bureaux

#### Martinique

- **Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 187 enquêtes**



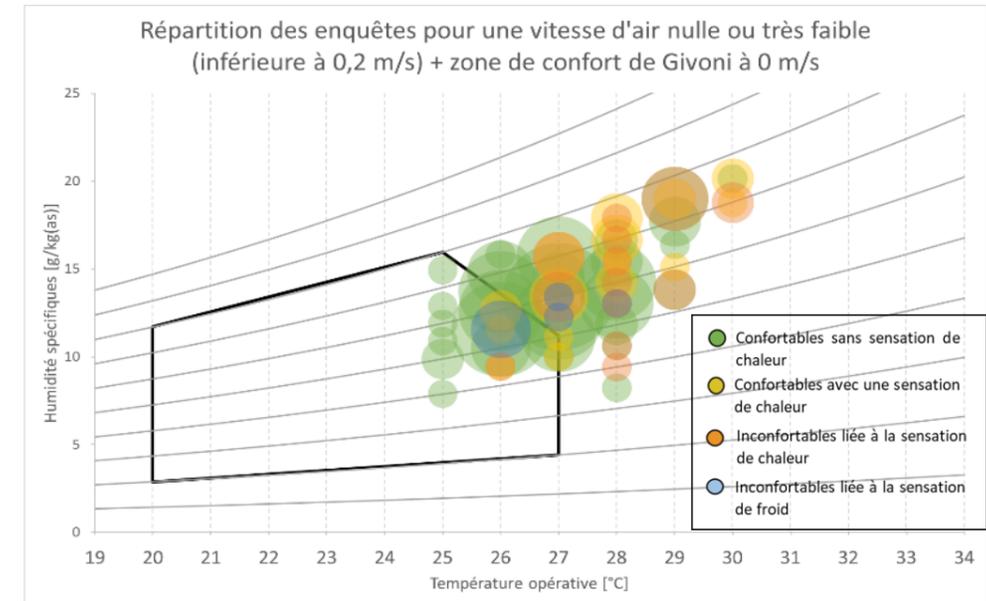
Dans les bureaux, une part significative de personnes se déclarent en confort même en dehors de la zone de Givoni. Le taux de confort global est élevé avec 87% pour une vitesse d'air inférieure à 0,2 m/s.



A vitesse d'air nulle, la diminution de confort est progressive à partir de 28°C. Jusqu'à 27°C la grande majorité des personnes sont en situation de confort. A 28°C le taux de confort est légèrement en dessous de 80% et à 29°C il est de 55%. Il faut prendre en compte que le nombre d'enquêtes à ces températures est relativement faible.

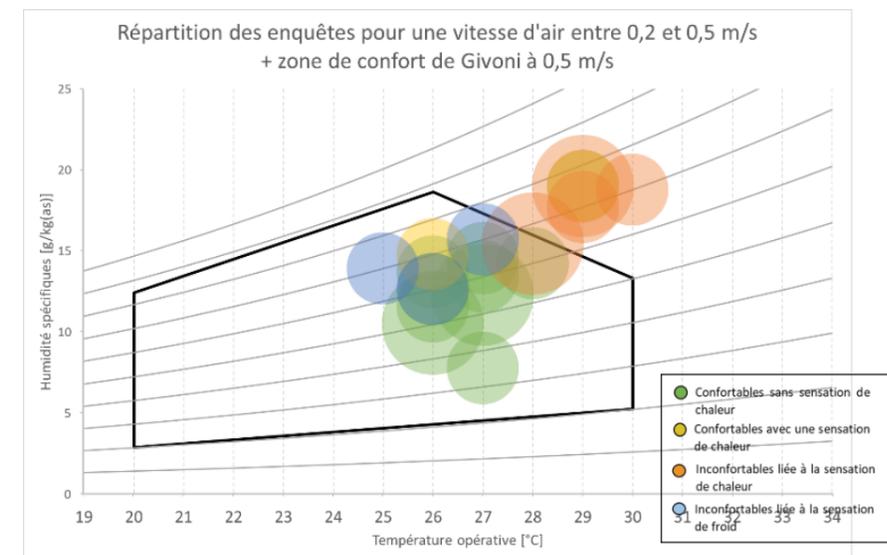
#### Mayotte

- **Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 183 enquêtes**



Pour rappel, 76% des bureaux sont climatisés, et les bureaux climatisés représentent 63% de l'échantillon global d'enquêtes réalisées en milieu climatisé. Par conséquent, la majorité des enquêtes dans les bureaux a été réalisée à vitesse d'air nulle.

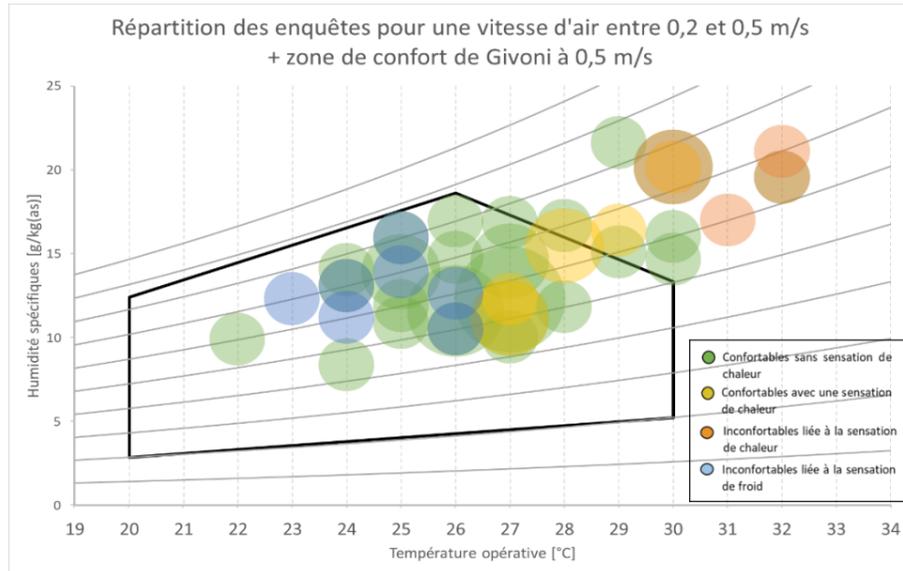
- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5] m/s 23 enquêtes**



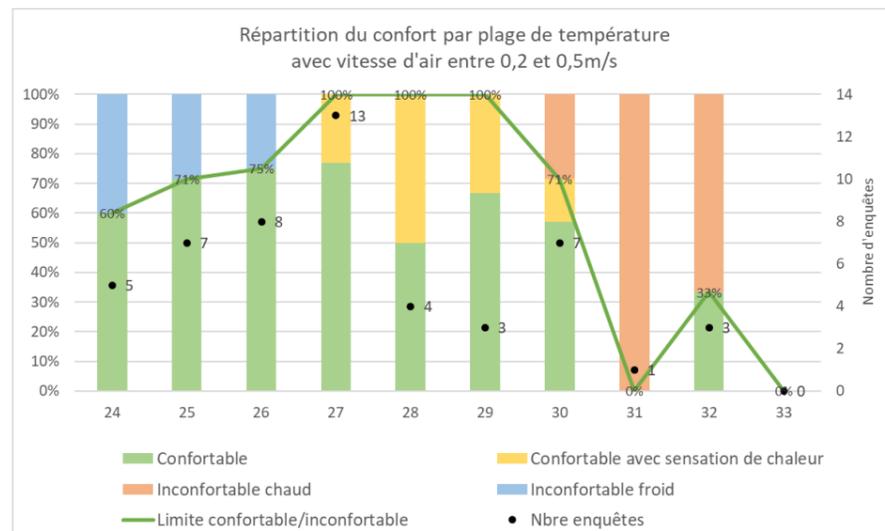
La taille réduite de l'échantillon des bureaux ainsi que la part importante d'enquêtes réalisées à vitesse d'air nulle orientent l'analyse statistique sur l'échantillon bureaux toutes vitesses d'air confondues au lieu d'une analyse statistique par vitesse d'air.

### Martinique

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s - 55 enquêtes**



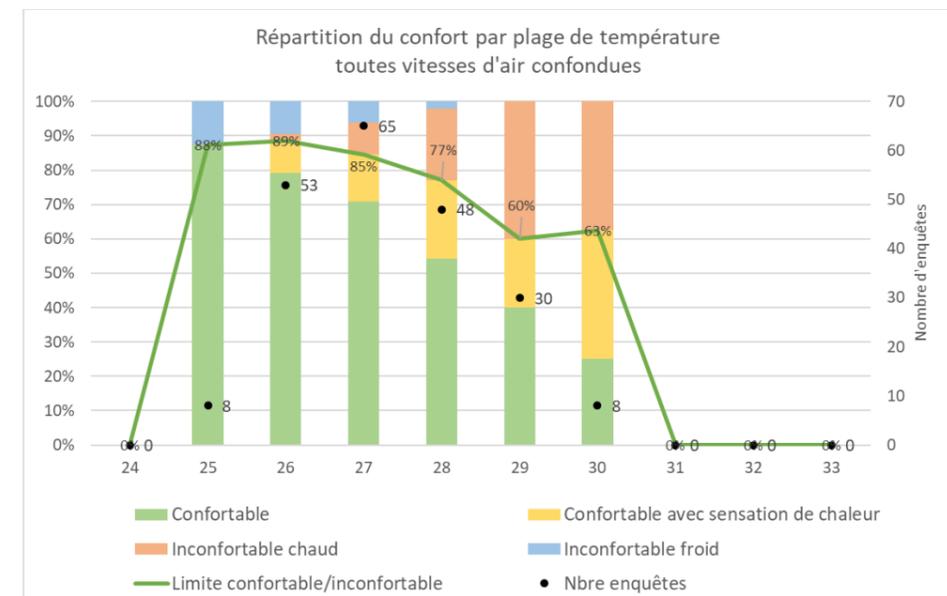
Le taux de confort est de 77% pour une vitesse d'air en 0,2 et 0,5 m/s. La part d'inconfort froid est significative avec une vitesse d'air entre 0,2 et 0,5 m/s (13%). Cet inconfort apparaît pour des températures en dessous de 26°C.



Avec une légère vitesse d'air le nombre d'enquêtes est trop faible pour tirer des conclusions. Cependant on peut noter tout de même la présence significative de **l'inconfort froid à des températures en dessous de 26°C en présence d'une vitesse d'air**. **Toutes les personnes se déclarant en inconfort lié au froid étaient en milieu climatisé.**

### Mayotte

- **Toutes vitesses d'air confondues – 217 enquêtes**



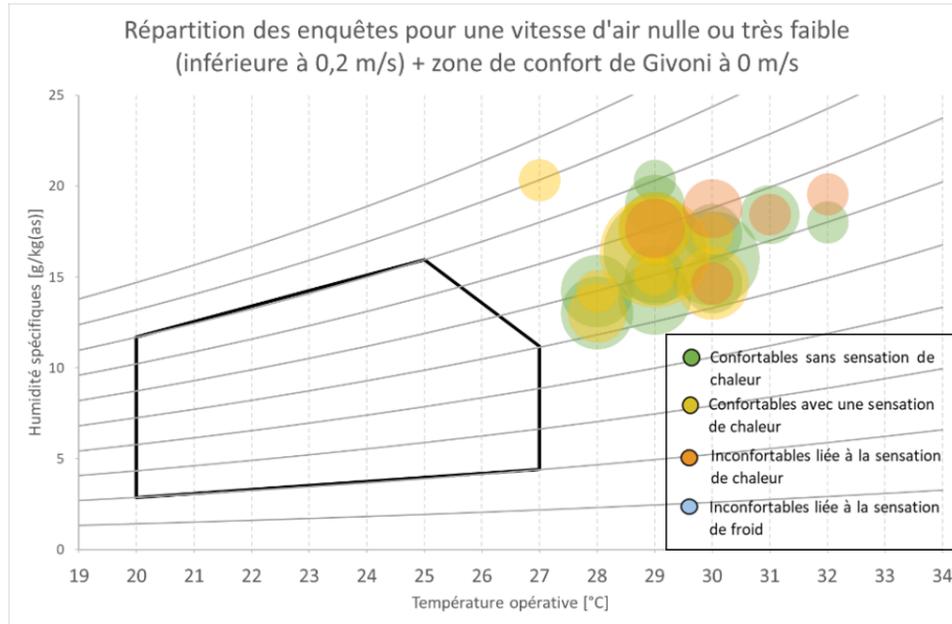
Avec une majorité de bureaux climatisés, les vitesses atteintes lors des enquêtes ont été principalement nulles (< 0,2 m/s). Les tendances d'évolution du taux de confort s'approchent donc **des tendances d'évolution de l'échantillon climatisé tous usages confondus pour une vitesse d'air nulle** :

- **Températures entre 25°C et 30°C**
- **Baisse significative du taux de confort à 29°C**
- **Augmentation progressive du taux de confort avec sensation de chaleur.**
- **Augmentation progressive du taux d'inconfort chaud.**

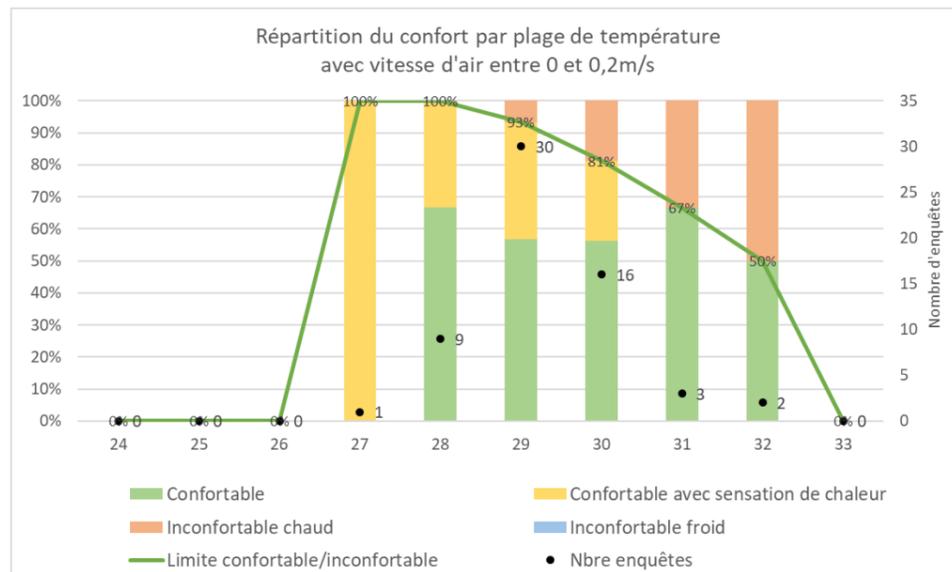
2.3.2 Commerces :

Martinique 201 enquêtes

- Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2[ m/s – 61 enquêtes



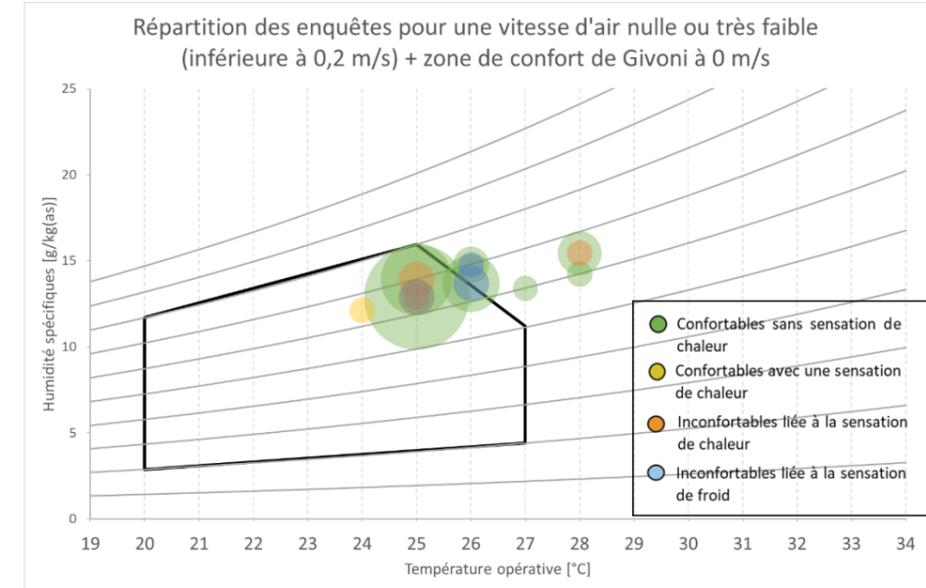
Dans les commerces (dont 100% sont en ventilation naturelle), les conditions de température et humidité sont assez élevées. Malgré cela, le taux de confort est élevé avec 89% des personnes qui se déclarent en confort avec une vitesse d'air inférieure à 0,2 m/s.



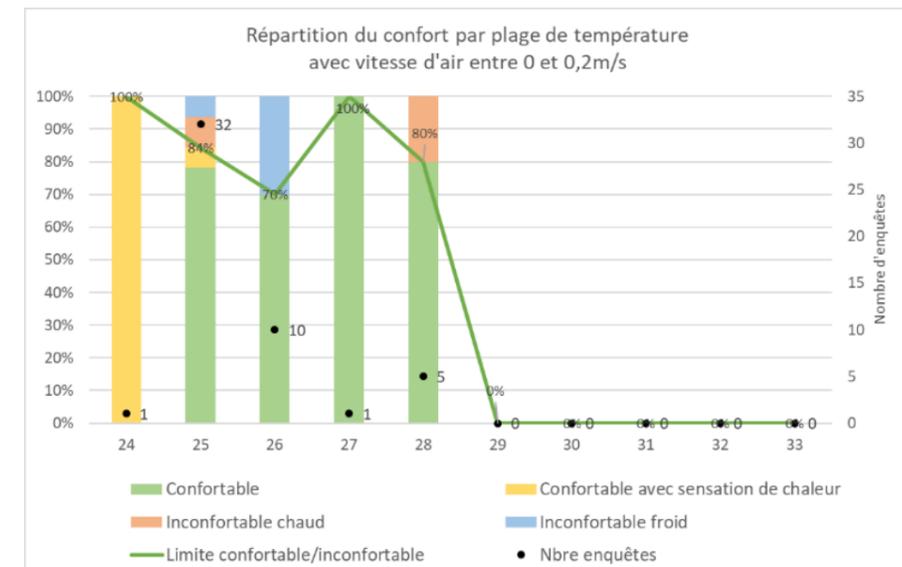
A vitesse d'air nulle, le taux de confort est supérieur à 80% jusqu'à 30°C. On constate donc **une tolérance à la chaleur plus importante que pour l'échantillon complet non climatisé dans les mêmes conditions de vitesse d'air**. Il est possible que les personnes soient plus tolérantes du fait qu'elles proviennent de l'extérieur où les conditions sont généralement plus défavorables et également du fait qu'elles ne restent que quelques minutes dans le commerce.

Mayotte 505 enquêtes

- Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2[ m/s – 55 enquêtes



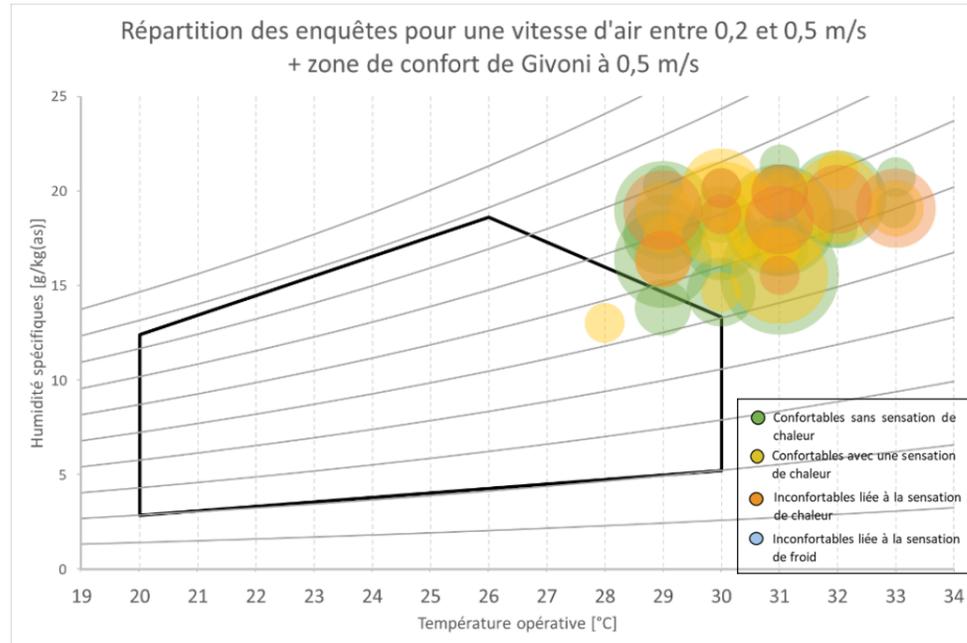
L'échantillon des enquêtes réalisées en commerce à vitesse d'air nulle est constitué de 55 enquêtes. 49 d'entre elles, soit 90% de cet échantillon a été réalisé en milieu climatisé. Les 6 enquêtes réalisées à 27 et 28 °C ont été réalisées en milieu non climatisé. Les conditions instrumentées ne permettent pas d'identifier de zone de confort au-delà de zone de confort de Givoni.



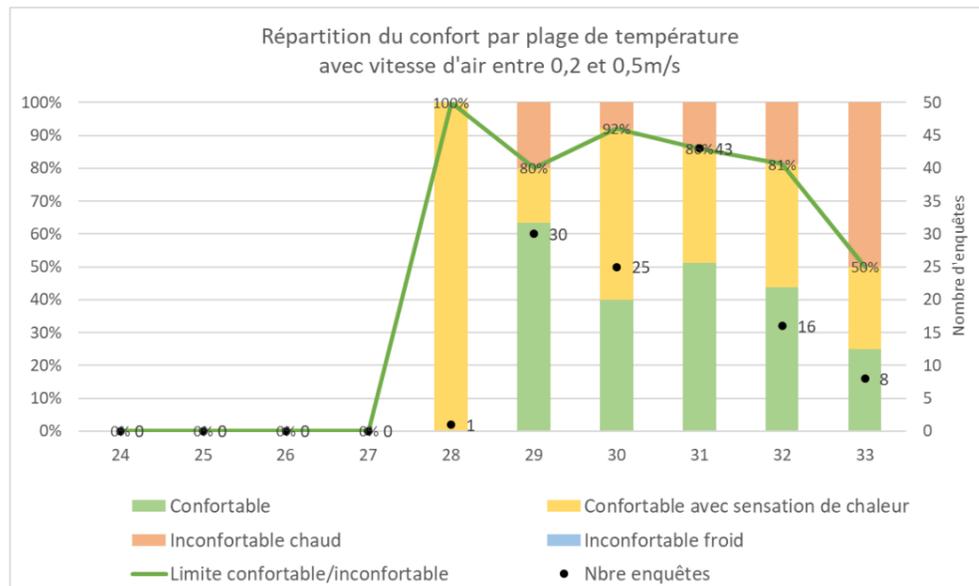
L'échantillon étudié correspond à la part des commerces climatisés. Les résultats de cet échantillon **suivent les tendances de l'échantillon climatisé** (taux de confort importants, températures peu élevées)

### Martinique

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5] m/s - 124 enquêtes**



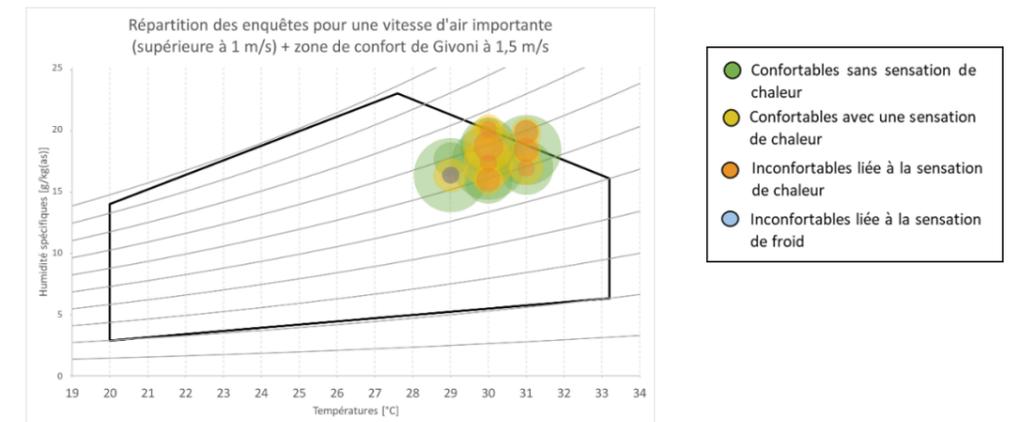
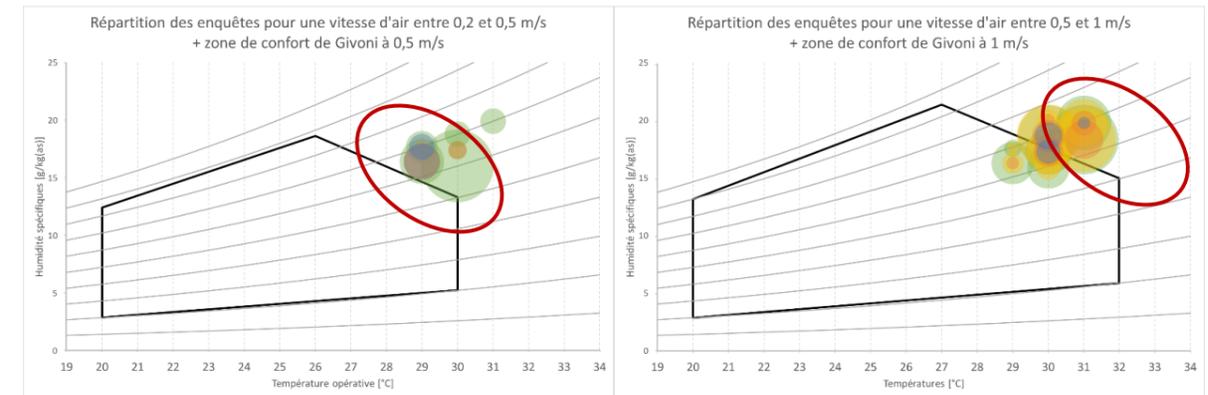
Le taux de confort est élevé : 83% avec une vitesse d'air entre 0,2 et 0,5 m/s, même si une part significative se déclarent en confort avec une sensation de chaleur



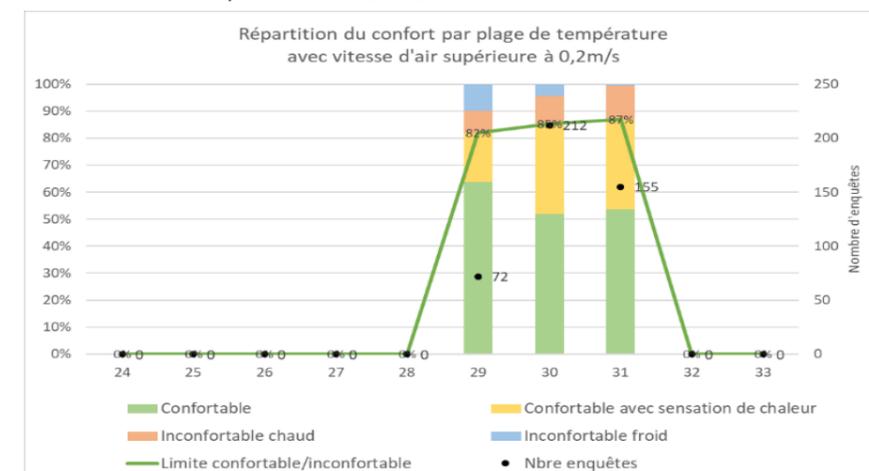
Avec une légère vitesse d'air, le taux de confort est supérieur à 80% jusqu'à 32°C même si environ la moitié sont en confort avec une sensation de chaleur. Il est possible que les personnes soient plus tolérantes du fait qu'elles proviennent de l'extérieur où les conditions sont généralement plus défavorables et également du fait qu'elles ne restent que quelques minutes dans le commerce.

### Mayotte

- **Vitesse d'air supérieure à 0,2 m/s – 450 enquêtes**



Cet échantillon correspond à la part d'enquêtes réalisée en commerce non climatisé. Les conditions instrumentées permettent d'identifier des zones de confort au-delà de zone de confort de Givoni, pour les vitesses d'air entre 0,2 et 1 m/s. Les plages de températures étant réduites, la répartition des enquêtes par plage de température sera représentée pour toutes les vitesses supérieures à 0,2 m/s.



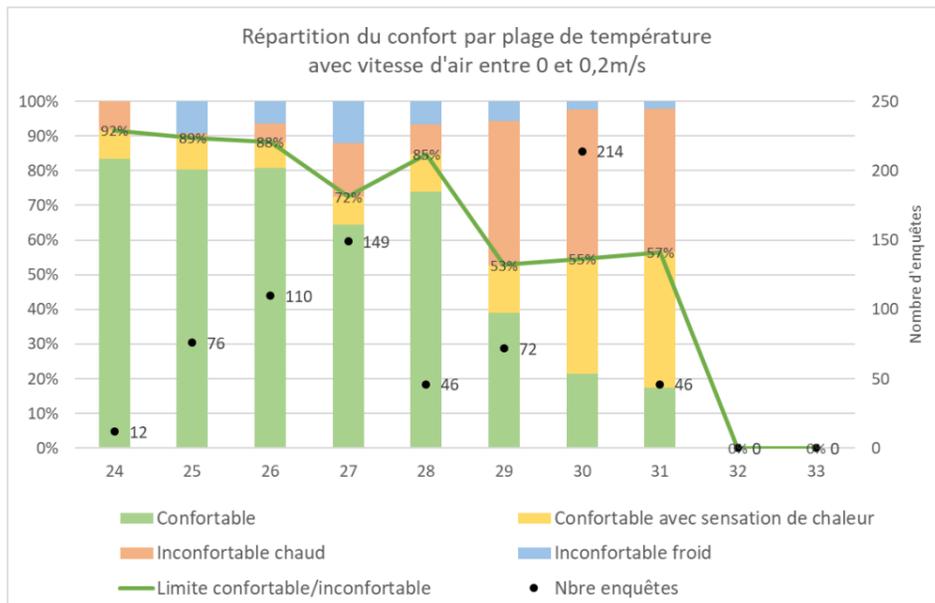
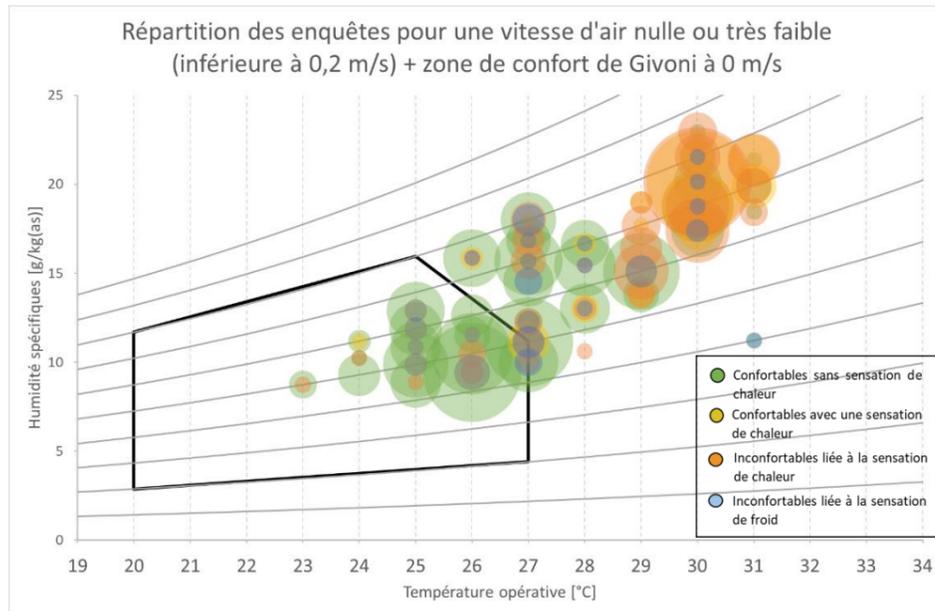
Les températures atteintes sont plus importantes pour les commerces en ventilation naturelle, que les commerces climatisés. Pourtant, les taux de confort restent relativement élevés à des températures élevées.

Analyse : Des taux de confort supérieurs à 80% sont atteints sans climatisation, pour des températures plus importantes qu'en milieu climatisé. La vitesse d'air permet l'amélioration du confort sans avoir recours à la climatisation.

2.3.3 Enseignement :

Martinique 1504 enquêtes

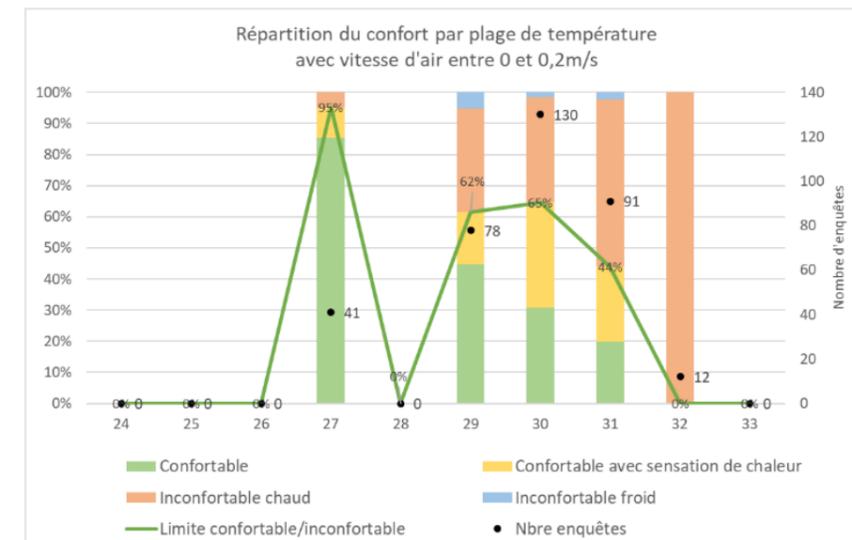
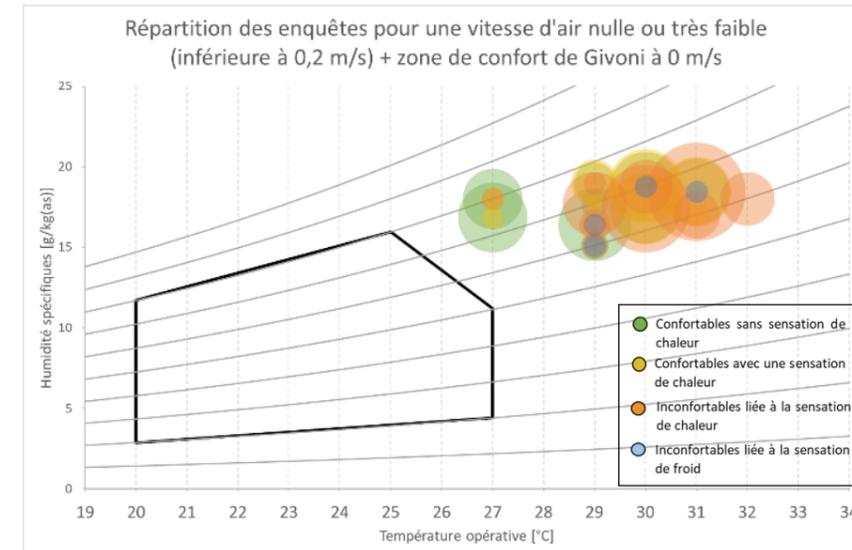
- Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 762 enquêtes



→ Dans l'enseignement, **les tendances sont les mêmes que celles observées sur l'échantillon complet : une part significative de personnes déclare être en situation de confort au-delà des limites des zones de confort de Givoni**. On observe une chute du taux de confort à 29°C. Cela s'explique car 74% des enquêtes de l'échantillon complet ont été réalisées dans des bâtiments d'enseignement.

Mayotte 1 284 enquêtes

- Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 377 enquêtes

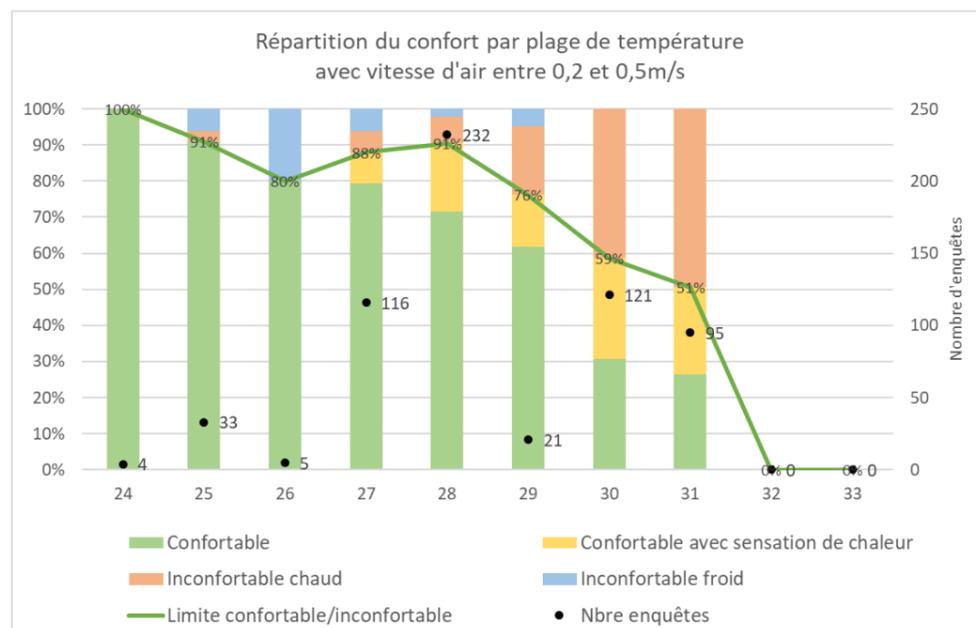
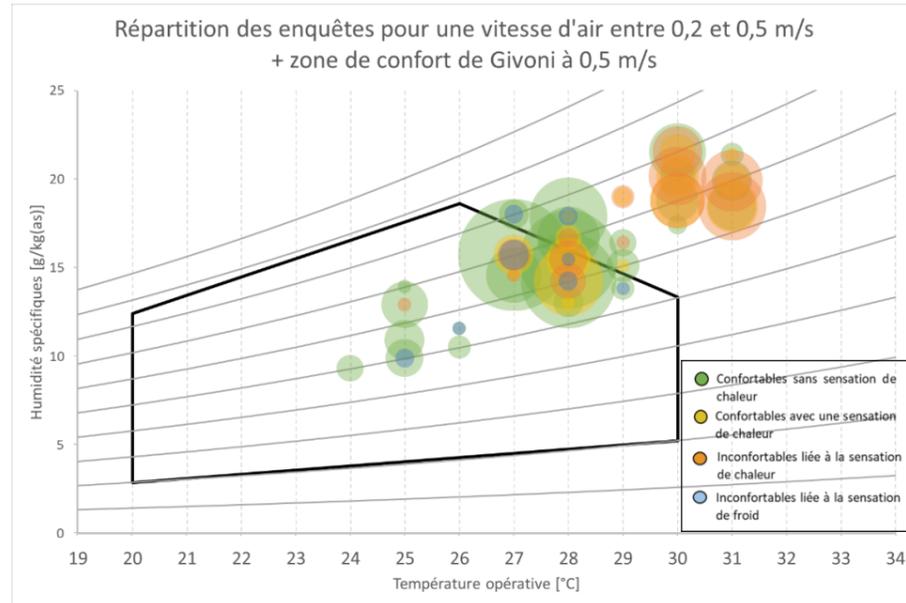


L'échantillon représente 377 enquêtes. Les enquêtes ont été réalisées dans des **conditions de températures relativement élevées**, en effet, plus de 300 d'entre elles ont été réalisées à des températures supérieures à 29°C. **Dès 29°C, on constate un taux d'inconfort important** : près de 40% d'inconfort (environ 35% d'inconfort chaud + 5% d'inconfort froid). Au-delà de 29°C, le taux de confort se dégrade, en parallèle de l'augmentation de la part d'inconfort chaud.

A cette vitesse d'air, le maximum d'enquêtes (130) a été réalisé à 30°C. **Le taux de confort dans ces conditions atteint 65%** (30% de confort sans sensation de chaleur + 35% de confort avec sensation de chaleur)

### Martinique

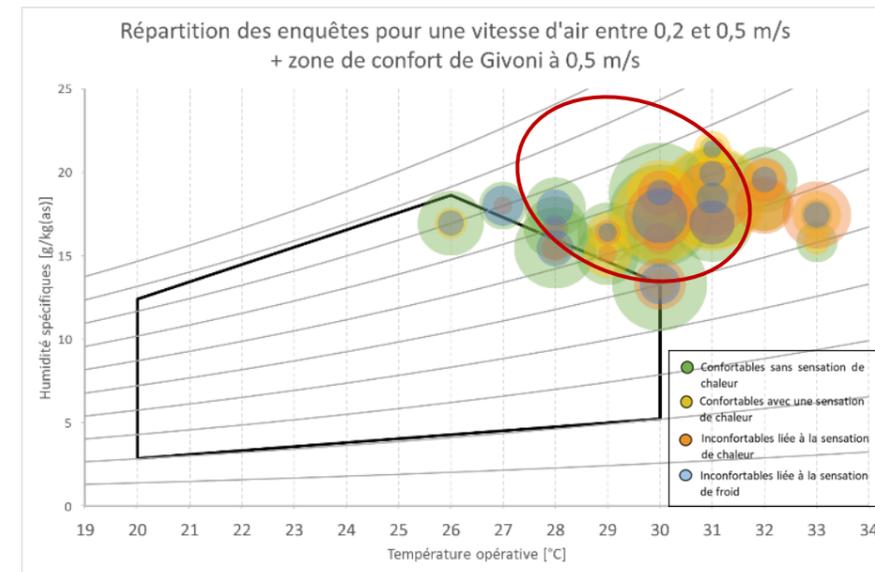
- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s - 650 enquêtes**



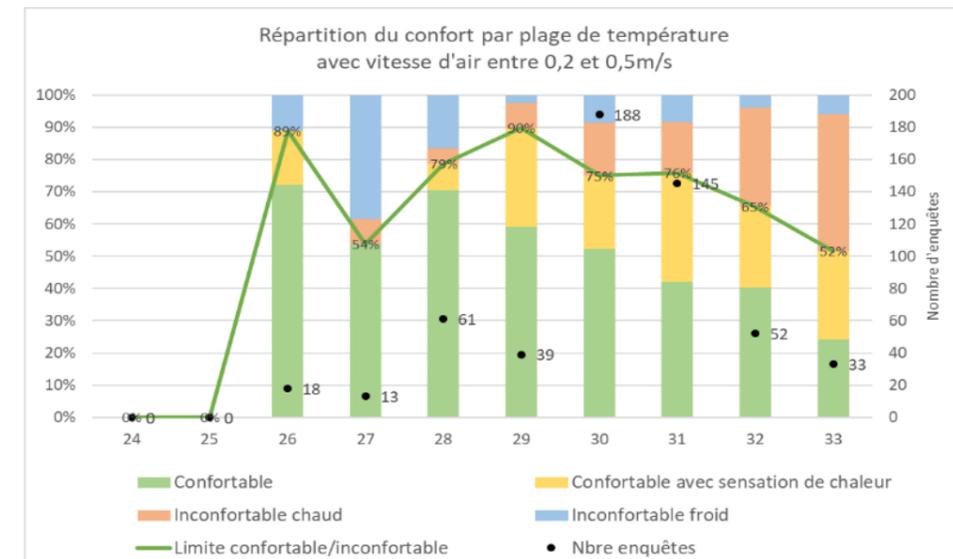
Une fois de plus, on observe les **mêmes tendances que sur l'échantillon complet**. La diminution du taux de confort est plus progressive avec vitesse d'air (encore 76% de confort à 29°C), et **les taux de confort à partir de 27°C sont plus importants pour les mêmes températures que pour une vitesse d'air nulle**.

### Mayotte

- **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s 588 enquêtes**



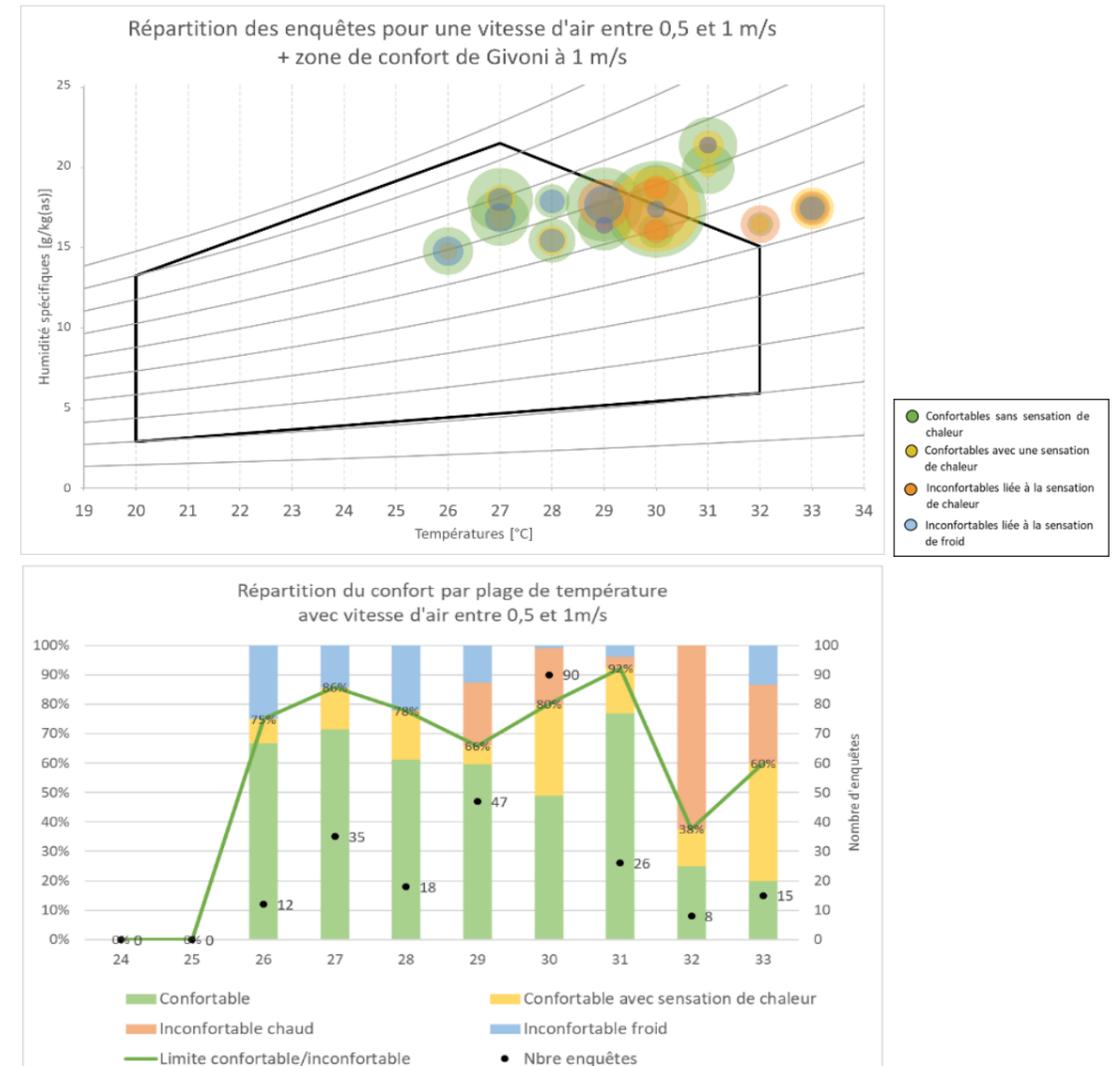
Les conditions instrumentées présentent majoritairement des situations hors de la zone de confort de Givoni caractérisées par des niveaux de confort relativement élevés.



L'échantillon représente 588 enquêtes. **Le taux de confort reste supérieur à 75% jusque 31°C**. Par rapport à une vitesse d'air nulle, **le taux de confort est passé de 62% pour 29°C à 90% pour 29°C avec une vitesse d'air faible**. Le taux de confort diminue progressivement à partir de 30°C, en parallèle de l'augmentation du taux d'inconfort chaud. **On constate donc une amélioration nette du confort pour des températures plus élevées**, néanmoins, on constate également des taux importants **d'inconfort froid pour des températures inférieures à 29°C**. En comparant le taux d'inconfort froid à 27°C sans vitesse d'air et avec vitesse d'air faible, on constate une augmentation significative de la part d'inconfort froid avec une vitesse d'air faible. L'introduction de la vitesse d'air semble donc avoir tendance **à améliorer le taux de confort des élèves mahorais lorsque la température est supérieure ou égale à 29°C, mais semble le dégrader lorsque la température est inférieure à 29°C**. A cette vitesse d'air, le maximum d'enquêtes (188) a été réalisé à 30°C. **Le taux de confort dans ces conditions atteint 75%** (50% de confort sans sensation de chaleur + 25% de confort avec sensation de chaleur)

## Mayotte

- Vitesse d'air moyenne [0,5 ; 1[ m/s - 267 enquêtes



L'évolution du taux de confort en fonction de la température dans ces conditions présente un taux de confort relativement important jusqu'à 31°C. Peu d'enquêtes ont été réalisées à des températures supérieures, mais on peut notifier une **baisse importante du taux de confort après 31°C**. A cette vitesse d'air, le maximum d'enquêtes (90) a été réalisé à 30°C. **Le taux de confort dans ces conditions atteint 80%** (50% de confort sans sensation de chaleur + 30% de confort avec sensation de chaleur)

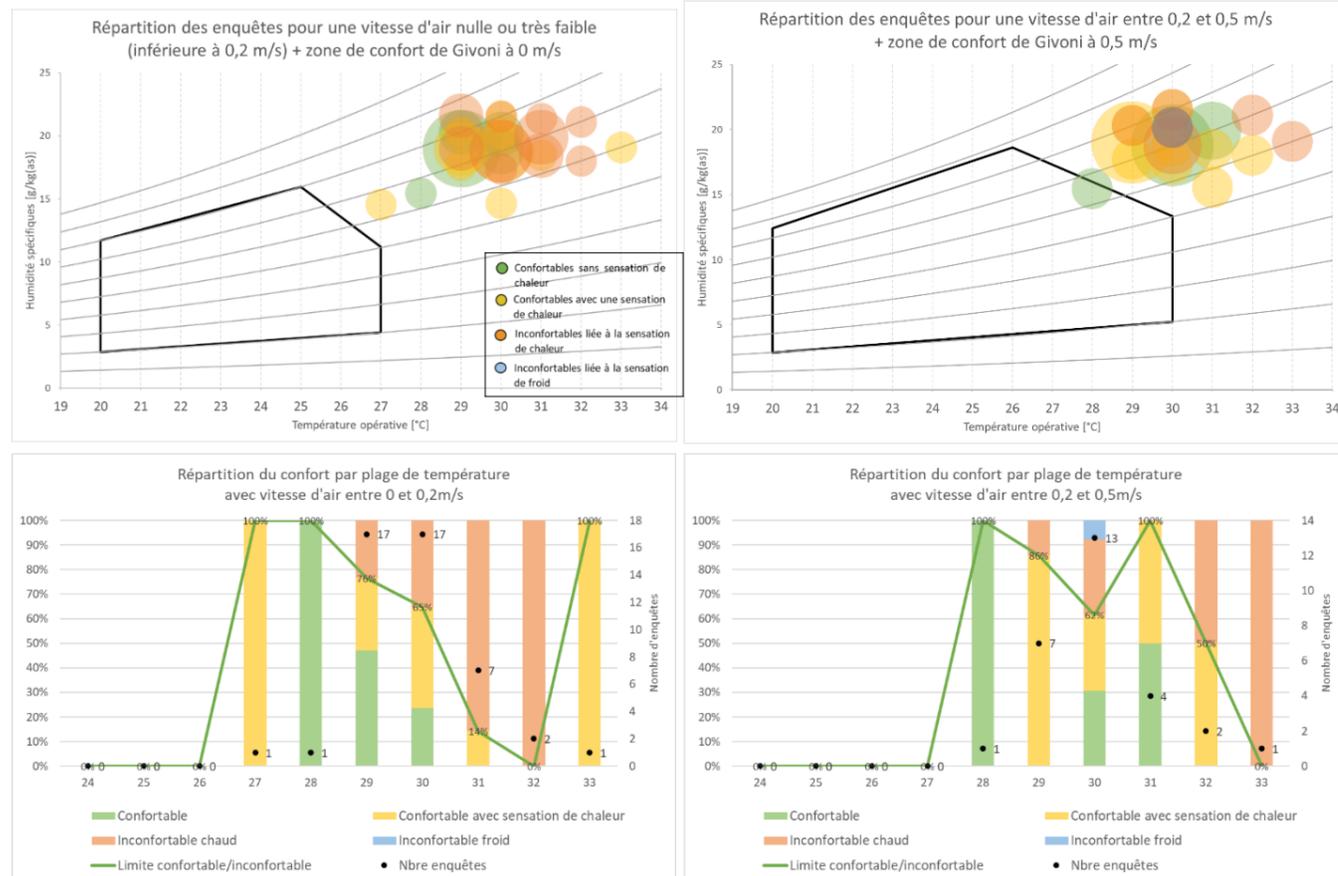
En enseignement, les maximums d'enquêtes pour les vitesses d'air inférieures à 1 m/s ont été atteints à 30°C. Il est donc intéressant d'étudier l'évolution du taux de confort à 30°C en parallèle de l'augmentation de la vitesse d'air. Le taux de confort a progressivement augmenté à 30°C avec l'augmentation de la vitesse d'air : il est passé de :

- 65% de confort à vitesse d'air nulle ou très faible
- A 75% de confort à vitesse d'air légère
- A 80% de confort à vitesse d'air moyenne.

**La vitesse d'air légère a permis d'améliorer nettement le confort (+10% de confort)**, tandis que le passage d'une vitesse d'air légère à une vitesse d'air moyenne a amélioré le confort de façon moins significative. Seules 52 enquêtes ont été réalisées à une vitesse d'air supérieure à 1 m/s dans l'enseignement.

2.3.4 Logements :

Martinique 88 enquêtes



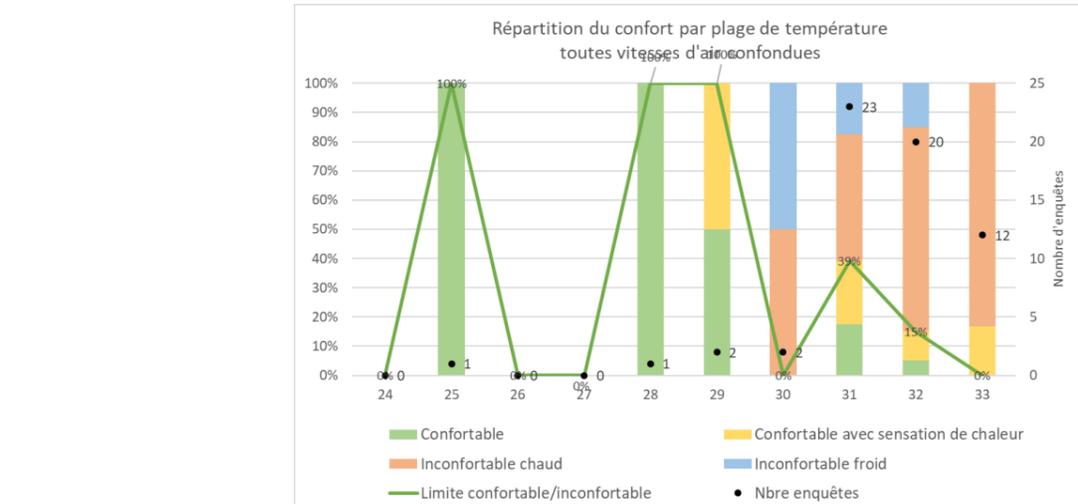
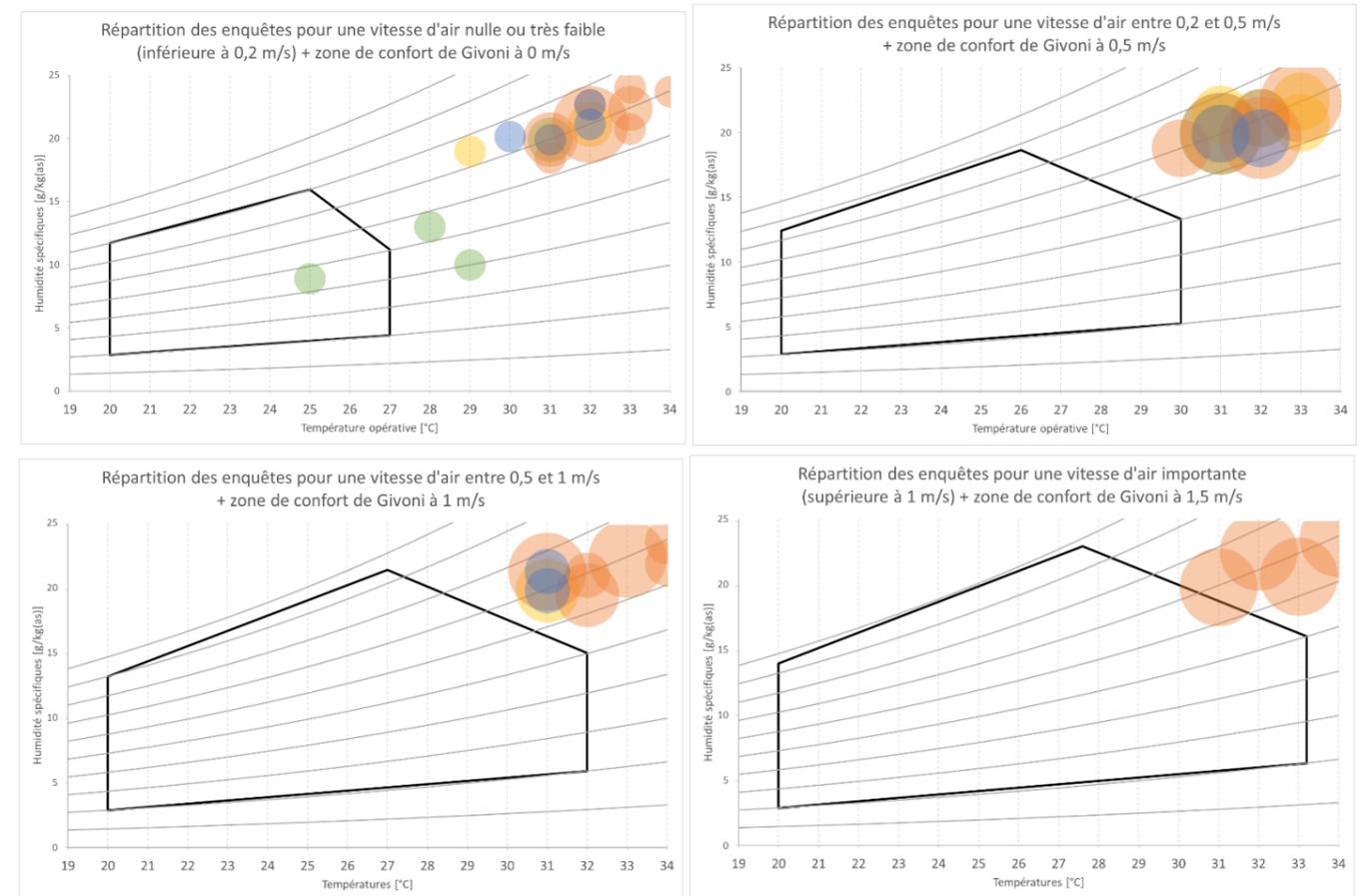
Dans les logements, les conditions de température et d'humidité sont plutôt élevées. Cela s'explique car les enquêtes ont été principalement réalisées en saison chaude.

**A vitesse d'air nulle**, le taux de confort global est de seulement 61% avec des températures comprises entre 27 et 33°C. **Dans ces conditions de vitesse d'air**, 76% des personnes se déclarent en confort à une température de 29°C et 65% à 30°C. La taille de **l'échantillon est trop petit pour conclure sur une température limite**.

**Avec une légère vitesse d'air**, le taux de confort global est de 71% même si la majorité se déclarent en confort avec une sensation de chaleur. **L'échantillon est également trop petit pour conclure** mais on constate **qu'une part importante de personnes se déclarent en confort à des températures relativement élevées (29/30/31°C)**, même s'ils se déclarent principalement en confort avec une sensation de chaleur.

**Avec une vitesse d'air entre 0,5 et 1m/s**, le taux de confort global est de 75% mais cela ne représente que 12 enquêtes.

Mayotte 70 enquêtes



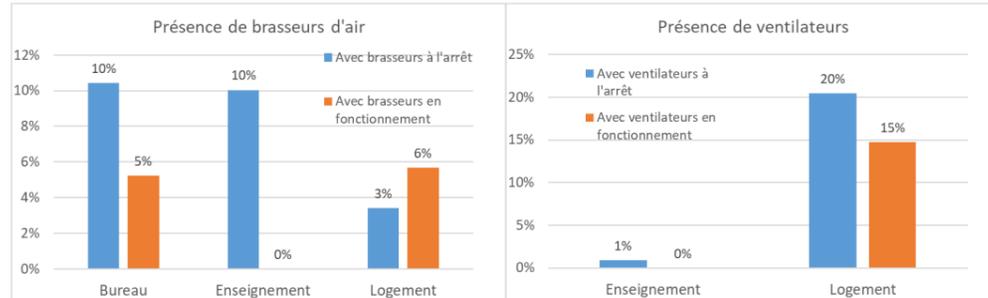
Les températures instrumentées sont également importantes à Mayotte, (31,6°C en moyenne). Ces températures s'expliquent par l'enveloppe à faible résistance thermique des logements instrumentés, composée pour la majorité de tôles. **La taille réduite de l'échantillon d'enquêtes en logements ne permet pas de conclure**, mais on constate qu'à 31°C et 32°C, les taux de confort sont très faibles, inférieurs à 40%, toutes vitesses d'air confondues.

## 2.4 Conclusions

### Martinique

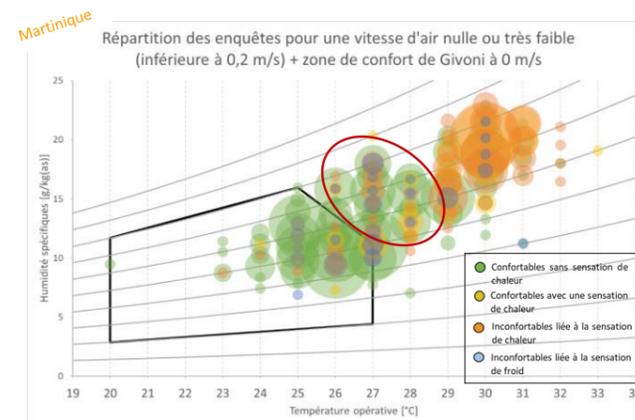
La réalisation des enquêtes a été plus facile dans les établissements scolaires et dans les bureaux. Elle s'est avérée plus difficile dans les commerces d'une part à cause de la généralisation de la climatisation et d'autre part, la disponibilité des passants n'était pas souvent au rendez-vous.

Les températures varient entre 24°C et 33°C pour des humidités relatives entre 40% et 85%. Les vitesses d'air rencontrés sont plutôt très faibles (inférieur à 0,5 m/s) qui démontre un faible taux d'équipement et d'usage des brasseurs d'air et des ventilateurs : entre 10 et 15% pour brasseurs d'air et 35% de ventilateurs dans les logements



30% de l'échantillon est réalisé dans des locaux climatisés principalement des bureaux et des salles de classe. Ce taux n'est pas représentatif du taux d'équipement en climatisation sur le territoire. Il est lié à une volonté délibérée de privilégier les locaux non climatisés pour pouvoir balayer la plage de température et d'humidité la plus large possible. Néanmoins les enquêtes réalisées dans des locaux climatisés (sur les deux territoires) montrent de l'inconfort froid en fonction des températures (24, 25°C) et des vitesses d'air (26 à 27°C et vitesse d'air entre 0,1 et 0,5 m/s). Ces conclusions sont en faveur d'un confort thermique obtenu par l'association d'un système de rafraîchissement (27°C) et un brasseur d'air.

Sur les deux territoires, nous constatons que le ressenti lié au confort thermique est similaire. La zone la plus marquante est celle à vitesse nulle ou très faible (entre 0,1 et 0,2 m/s) où le confort est atteint à 80 – 85% pour 28°C/80% d'humidité et à 90% pour 27°C/80% d'humidité.

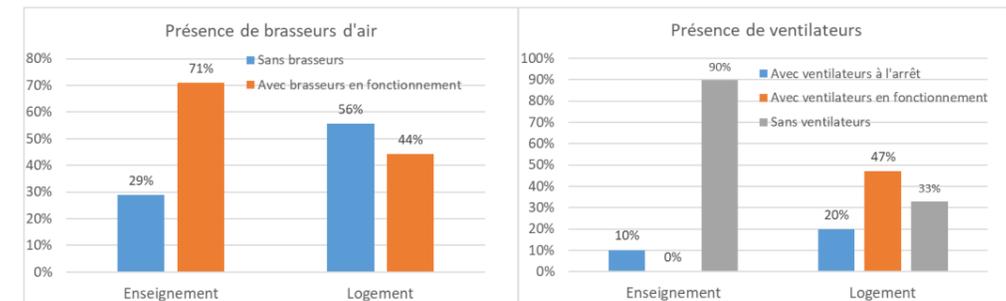


### Mayotte

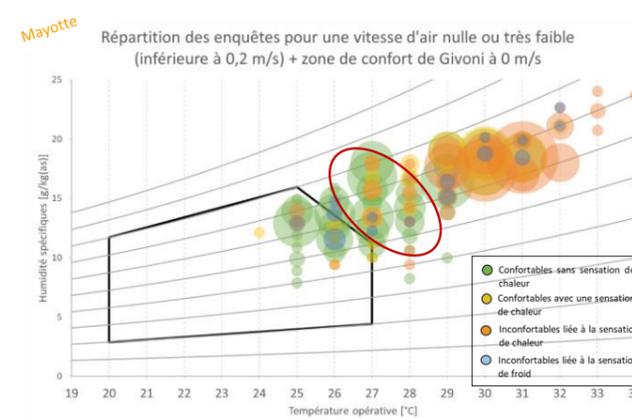
L'association des enquêteurs d'IPSOS avec les techniciens d'Imageen a permis d'avoir un nombre d'enquêtes très important dans les commerces et les logements. Il est indéniable que pour des enquêtes de cette ampleur il faut s'associer avec des professionnels dont c'est le métier. Ils connaissent le terrain, permettent de franchir la barrière de la langue et mettre à la portée de tous le questionnaire (n'étant eux même pas des techniciens).

Les difficultés rencontrées aux niveaux des établissements scolaires ont réduit le temps passé sur le terrain (50% des questionnaires sur deux mois de l'année octobre et novembre 2022) et par conséquent réduit la plage d'humidité enregistrée avec des taux atteignant rarement 80%.

Globalement, les températures enregistrées sont entre 25 et 34°C pour des humidités variant entre 45% et 80%. Les humidités de 80% sont rencontrées pour des températures de 26 et 27°C. A des températures plus élevées le taux d'humidité n'a pas dépassé les 75%. Les vitesses d'air enregistrées à Mayotte sont plus importantes qu'en Martinique, dépassant dans certains cas 1m/s. Le taux d'équipements en brasseur d'air et ventilateurs dans les logements et les salles d'enseignement est très important avec plus de 50% d'équipement dans les logements et 70% dans les salles de classe.



Seulement 12% des enquêtes ont été réalisées dans des locaux climatisés.



Il est indéniable que pour de faibles vitesses d'air le confort thermique, des personnes acclimatées au milieu tropical, couvre une zone du diagramme de l'air humide plus large que celle habituellement utilisée sur le diagramme de Givoni. Par contre, le niveau de confort chute brutalement de 20 à 30 points quand la température dépasse 28°C.

A La Martinique, pour une vitesse de 0,2 à 0,5 m/s, le confort est assuré chez 91% des personnes interrogées à 28°C et chez 80% des personnes interrogées à 29°C et des taux d'humidité de 65 à 75%. Au-delà de ce taux nous n'avons pas de données permettant d'évaluer le confort.

Pour Mayotte la lecture est perturbée par un taux d'inconfort froid ! Si on intègre l'inconfort froid (pour les températures de 29 et de 30 °C) on obtient un taux de confort respectivement de 85% et 84%.

Pour des vitesses supérieures à 0,5 m/s, nous manquons de données sur La Martinique mais à Mayotte nous avons 546 personnes interrogées dans la zone 0,5 – 1m/s et 206 personnes soumettent à une vitesse d'air supérieur à 1m/s. Dans le premier cas le confort est atteint à 80% à 30°C et plus de 1m/s de vitesse d'air le confort est à 80% à 31°C.

### 3 Compilation des données Martinique/Mayotte

A partir du moment où le ressenti des deux territoires sont similaires, il est possible de fusionner les deux bases de données pour avoir un meilleur traitement statistique.

- **Vitesse d'air nulle ou très faible [0 ; 0,2] m/s – 1 701 enquêtes**

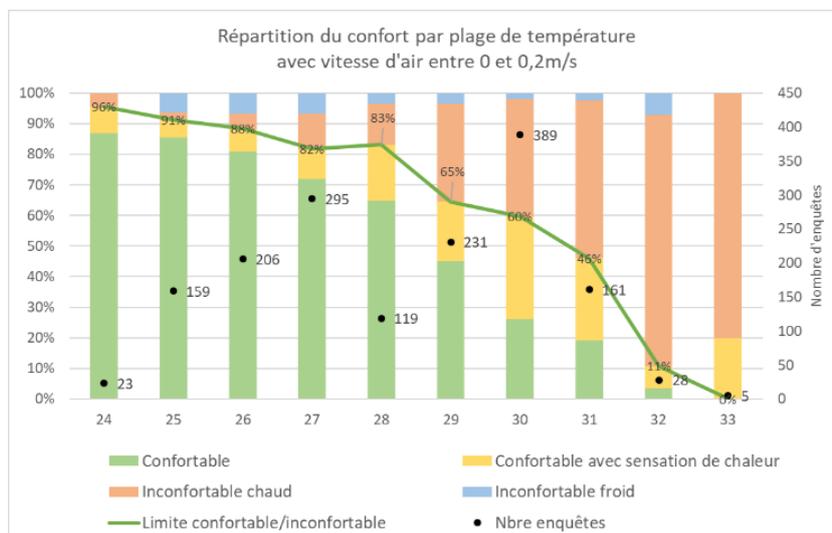


Tableau 4 répartition du confort par plage de température et pour une vitesse de vent nulle à très faible

On retrouve du déclaratif en inconfort froid à des températures supérieures à 25°C qui perturbe l'interprétation des résultats. Globalement nous confirmons le taux de 83% de confort jusqu'à une hygrométrie de 80% pour une température de 28°C. A 29°C il y a une perte de 20 points qui marque la limite de la notion de confort avec une vitesse d'air très faible.

Nous pouvons agrandir la zone de confort de vent calme (vitesse d'air < 0,2 m/s) sur le diagramme de l'air humide.

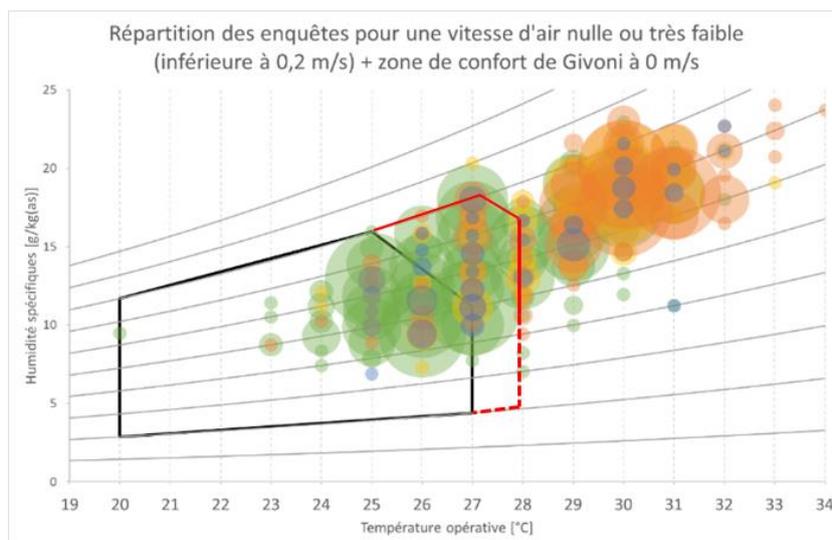


Tableau 5: proposition d'un zonage de confort à vitesse d'air nulle à très faible

Une faible vitesse d'air (entre 0,1 et 0,2 m/s) permet un ressenti de confort de 88% des personnes interrogées à 28°C.

• **Vitesse d'air légère ou faible [0,2 ; 0,5[ m/s – 1 536 enquêtes**

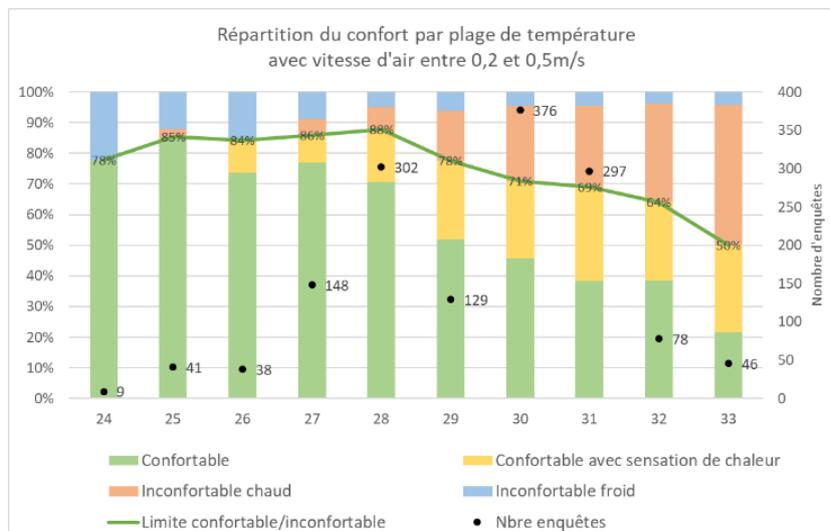


Tableau 6: répartition du confort par plage de température et pour une vitesse de vent entre 0,2 et 0,5 m/s

Avec une vitesse de 0,5 m/s 88% des personnes interrogées sont en situation de confort à 28°C et 78% à 29°C. Seulement, en examinant les taux d'humidité avec ces températures, il n'y a pas ou très peu (2 personnes) en condition de confort à un taux d'humidité supérieur à 75%. Faute de données dans ces conditions, nous ne pouvons pas aboutir à une analyse de cette zone.

Température	% d'hygrométrie	[ 0,2 - 0,5 m/s [			
		Confortable sans sensation de chaleur	Confortable avec sensation de chaleur	Inconfortable chaud	Inconfortable froid
28	30				
28	35				
28	40				
28	45				
28	50	1			
28	55	5	2		
28	60	52	27	7	2
28	65	75	16	12	5
28	70	35	6	3	2
28	75	45	1		6
28	80				
28	85				
28	90				
29	30				
29	35				
29	40				
29	45				
29	50				
29	55	5			1
29	60	19	8	1	
29	65	27	12	9	5
29	70	7	3	1	2
29	75	7	9	9	
29	80	1	1	1	
29	85	1			
29	90				

Tableau 7 : répartition du confort à 28 et 29°C pour une vitesse d'air < 0,5 m/s

Dans ces conditions et avec un nombre aussi faible d'enquête, il est impossible de statuer sur un éventuel élargissement de la zone de confort.

• **Vitesse d'air moyenne [0,5 ; 1] m/s – 646 enquêtes**

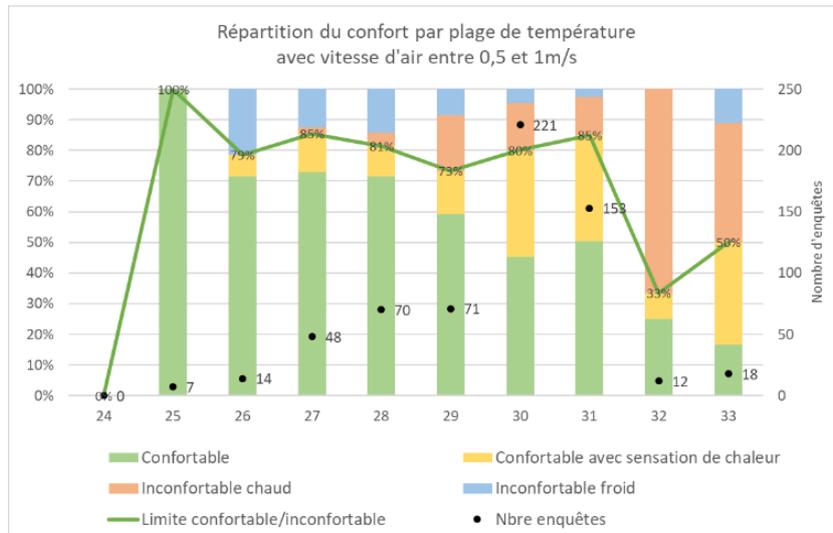


Figure 4: répartition du confort par plage de température et pour une vitesse de vent entre 0,5 et 1 m/s

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% et ce pour un taux d'humidité compris entre 65 et 75% (au-delà de ces valeurs nous n'avons pas de données qui permettent de juger du confort des personnes). Par contre, le taux de personnes déclarant être en confort chute à 33% pour une température de 32°C.

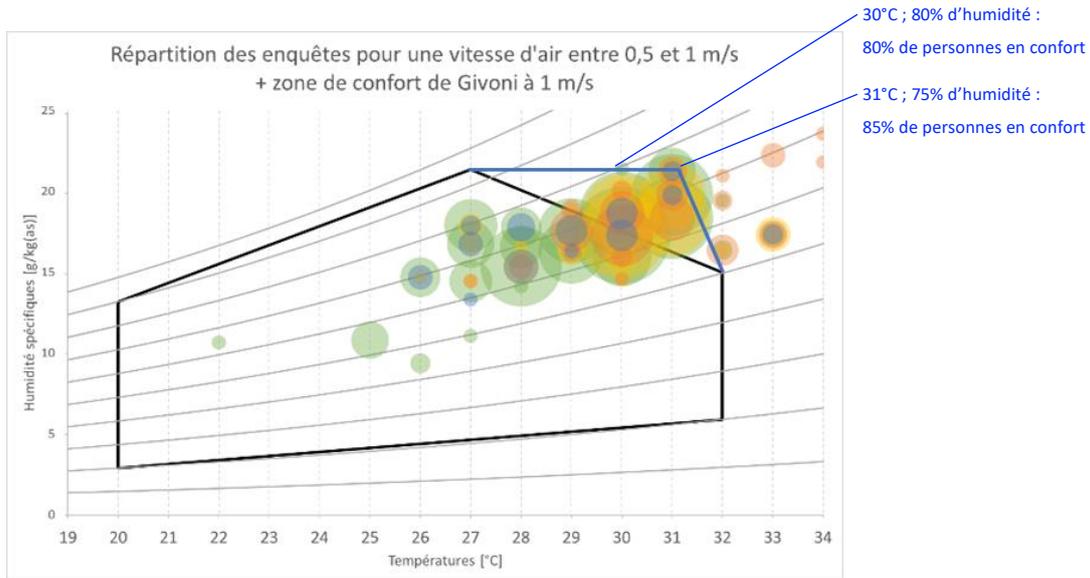


Figure 5: proposition d'un zonage de confort à 1 m/s

• **Vitesse d'air forte > 1 m/s - 235 enquêtes**

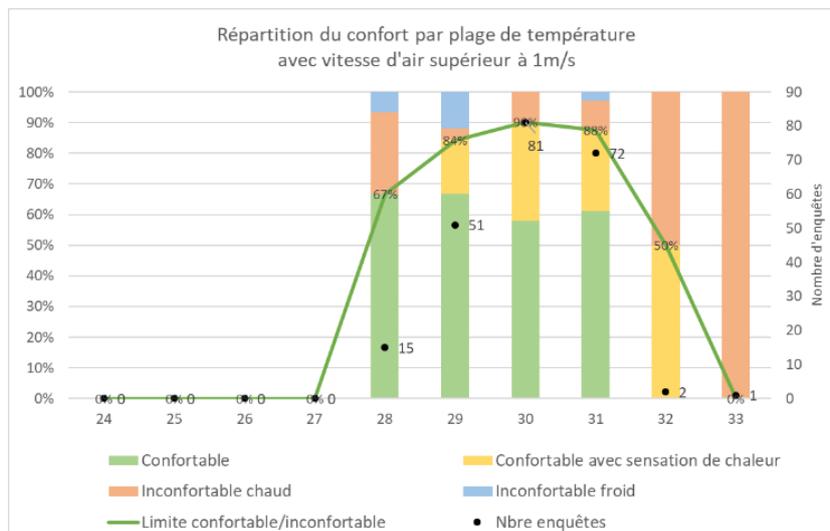


Figure 6 : répartition du confort par plage de température et pour une vitesse de vent >1 m/s

Avec une vitesse d'air supérieure à 1 m/s, les résultats sont similaires à ceux de la zone 0,5 à 1m/s :

- 90% (contre 80% à 1m/s) de personnes déclarent être en confort à 30°C avec un taux d'humidité compris entre 55 et 75%
- 88 % (contre 85% à 1m/s) de personnes déclarent être en confort à 31°C avec un taux d'humidité compris entre 65 et 75%
- Chute des déclarations de confort (avec une sensation légèrement chaude) à 50% à 32°C mais l'échantillon est très restreint.

## 4 Conclusions

Le projet COCO a 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 CLO et l'acclimatation ont été également enregistrés pour évaluer leur impact sur le confort des personnes interrogées. Cette recherche vise à montrer jusqu'à quelle condition le confort passif peut être assuré et à partir de quelle condition le recours à un système énergétique serait indispensable. Il nous semble important de prendre conscience et d'intégrer systématiquement le recours au fonctionnement passif pour la réduction drastique de la consommation énergétique.

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 passive 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  $1^{\circ}\text{C}$  et 4 mesures (soit 0,1%) présentent un écart de plus de  $2^{\circ}\text{C}$ . Ces derniers sont tous dans des locaux climatisés.

Concernant le CLO, sur les deux territoires ce dernier est entre 0,4 et 0,5 soit une vêtue légèrement supérieure aux recommandations comme tenue tropicale CLO = 0,3. Cela est 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.

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.

Nous nous sommes focalisés dans un premier temps sur le diagramme de l'air humide car il offre une lecture et une évaluation simple et rapide des niveaux de confort atteints.

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, la tolérance à des taux d'humidité relative est plus importante que celles définies dans les zones du diagramme de GIVONI.

Après analyse de chacune des zones nous avons pu déduire les enseignements suivants :

- La zone de confort à faible mouvement d'air est plus importante en température et en humidité puisqu'elle couvre une plage allant jusqu'à  $28^{\circ}\text{C}$  pour une humidité relative de 70%.
- La zone de confort à 1 m/s est étendue à des taux d'humidité plus élevés à 75% pour des températures de  $31^{\circ}\text{C}$ . Ce taux d'humidité ne s'applique pas à la température de  $32^{\circ}\text{C}$ .
- La zone de confort avec une vitesse d'air à 1,5 m/s n'apporte pas d'amélioration significative par rapport à la zone de confort de 1 m/s puisque nous obtenons les mêmes taux de confort pour les deux zones

L'étude montre également que l'inconfort froid est exprimé dans les locaux climatisés (bureaux et commerce) pour une température de  $24^{\circ}\text{C}$ . Cette sensation d'inconfort froid s'exprime également pour des températures de  $25/26^{\circ}\text{C}$  avec la présence d'un mouvement d'air.

La proposition que nous faisons pour la réévaluation des zones de confort :

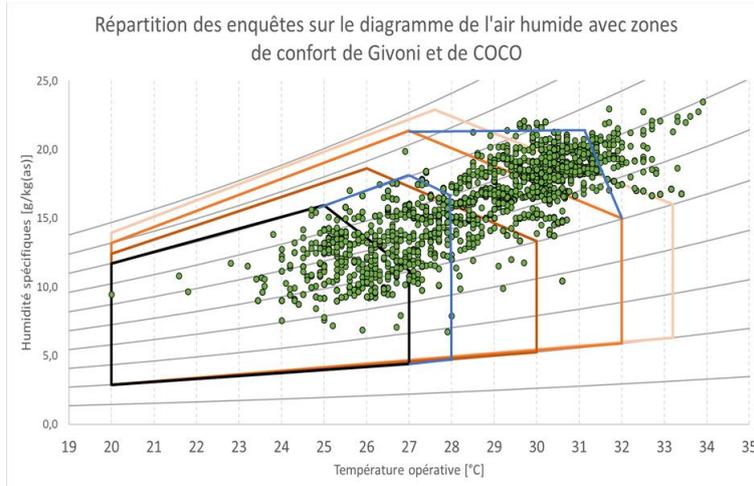


Figure 7: délimitation des zones de confort selon Givoni et COCO sur l'ensemble de l'échantillon (Martinique et Mayotte)

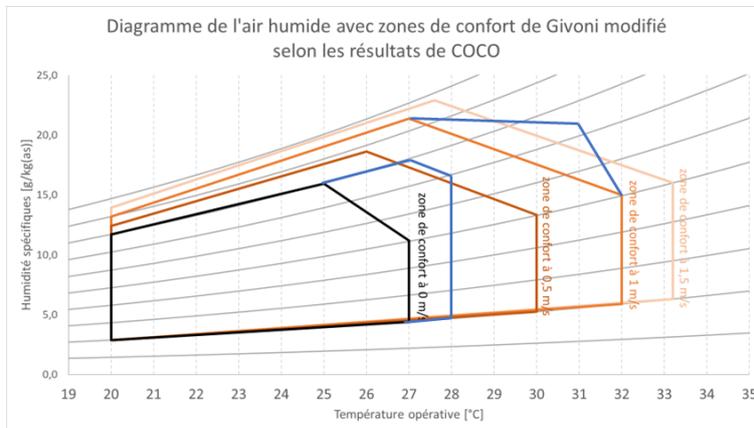


Figure 8: délimitation des zones de confort selon Givoni et COCO

Les zones du diagramme avec des fortes températures et un taux d'humidité relativement faible (inférieur à 45%) ne sont pas traitées car il n'y a pas de mesures dans ces zones. Ces taux d'hygrométrie faibles ne caractérisent pas le climat tropical humide.

Les travaux qui ont été réalisés à La Réunion au cours de la thèse d'Aurèlie LENOIR au sein du laboratoire PIMENT, vont dans le même sens :

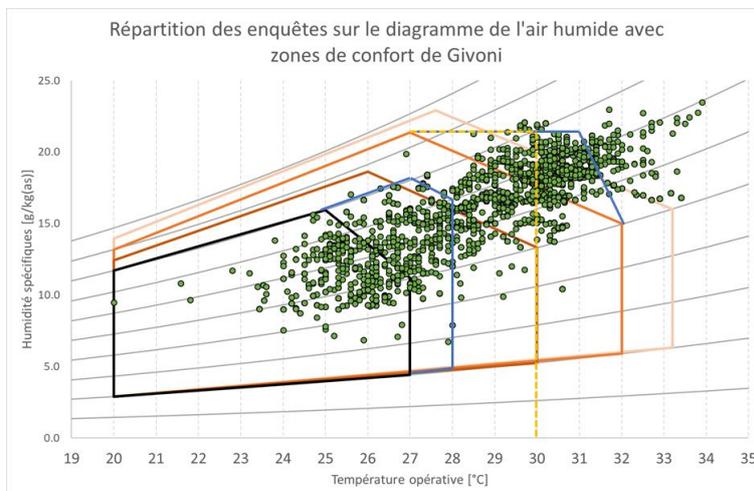


Figure 9 : délimitation des zones de confort selon Givoni , COCO et thèse A LENOIR

Les travaux réalisés sur un échantillon de 2 092 concluent que jusqu'à 30°C et 80% d'humidité, le confort est assuré à 95% chez les personnes interrogées. La limite de 30°C est liée à l'absence de données expérimentales au cours de ces travaux et doivent être revus à la lumière des nouvelles enquêtes réalisées à La Martinique et à Mayotte.

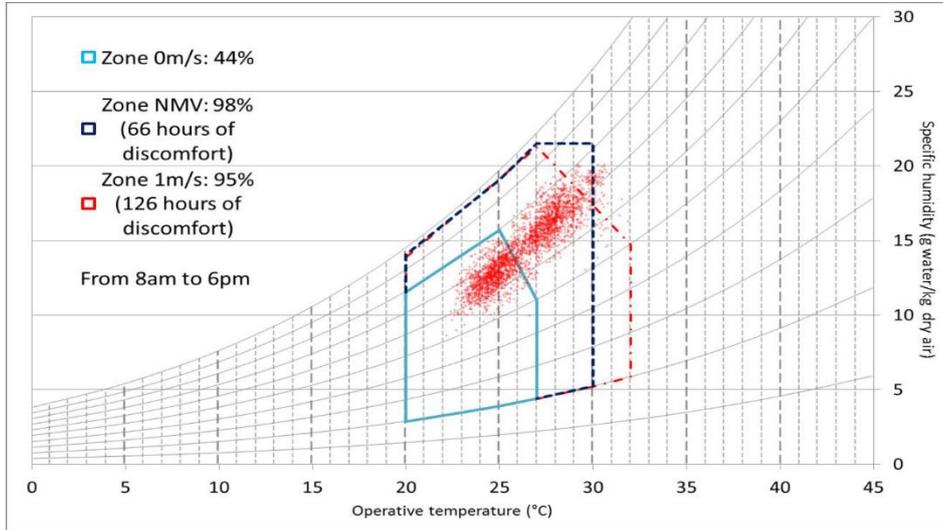


Figure 10 : Données expérimentales des enquêtes de confort thermique comparées aux zones de confort définies par Givoni et la nouvelle zone de confort NMV.

Sur la base de l'ensemble des données récolté et traité sur les territoires de La Martinique, de La Réunion et de Mayotte, nous proposons ce diagramme de confort COCO :

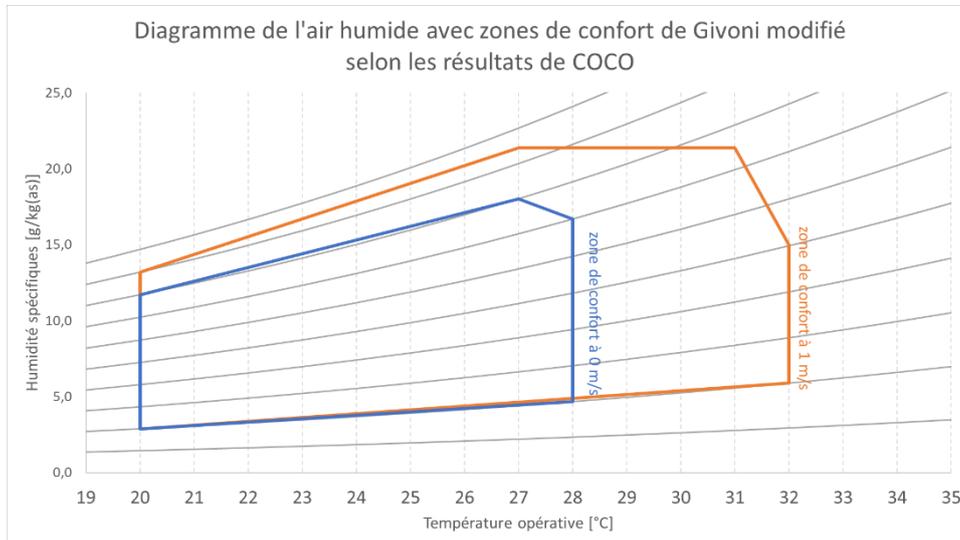


Figure 11: Diagramme de confort COCO

Ce diagramme est applicable sur les territoires qui ont servi à le réaliser : Martinique, Réunion et Mayotte mais également en Guadeloupe dont le climat est voisin de celui de La Martinique. La Guyane ayant un climat équatorial humide l'usage de ce diagramme demande à être validé par des enquêtes locales.