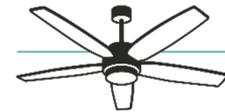


# BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIÉTÉ ET D'EFFICACITÉ

---



**BRASSE**  
**BRASSEUR D'AIR :**  
UNE SOLUTION  
DE SOBRIÉTÉ  
ET D'EFFICACITÉ

Etude 3 – Evaluation de l'impact des brasseurs d'air  
sur le confort thermique des usagers  
Rapport 3.5 – Vers une base de données BRASSE :  
validation du protocole 2023-1-0 et étude des  
indicateurs sur une gamme de brasseurs élargie

---

**RAPPORT FINAL**



**FAITS & CHIFFRES**



**Nov.  
2023**

## BRASSE

### Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

#### Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE<sup>1</sup>.

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

#### Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

#### Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
  1. Retour d'expérience technique préliminaire
  2. Analyse en sciences sociales
  3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
  4. POE
- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants** : bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA** : laboratoire privé en acoustique
- **ISEA** : cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion** : Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB** : aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM** : centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

<sup>1</sup> BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

## CITATION DE CE RAPPORT

LE BERIGOT T., LE MAREC P.E, BŒUF F., DAVID M., 2023. Vers une base de données BRASSE : validation du protocole 2023 1.0 et étude des indicateurs sur une gamme de brasseurs élargie - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

### Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Tangi LE BERIGOT (Surya Consultants), Pierre-Erwan LE MAREC (Surya Consultants), Frédéric BŒUF (Surya Consultants), Mathieu DAVID (Université de la Réunion – Laboratoire PIMENT)

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline - Direction/Service : DVTD/SB

# VERS UNE BASE DE DONNEES BRASSE : VALIDATION DU PROTOCOLE V1.0 ET ETUDE DES INDICATEURS SUR UNE GAMME DE BRASSEURS ELARGIE

Tangi LE BERIGOT<sup>1</sup>, Pierre-Erwan LE MAREC<sup>1</sup>, Frédéric BCEUF<sup>1</sup>, Mathieu DAVID<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Surya Consultants, France,

<sup>2</sup>Laboratoire PIMENT, Université de la Réunion, France,

## Mots clés : brasseur d'air, vitesse d'air, essai, caractérisation

*Cet article s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. ». Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'ADEME.*

### 1. Introduction

La consommation d'énergie liée au refroidissement des bâtiments augmente plus rapidement que par le passé et cette tendance devrait se poursuivre jusqu'à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle [1]. À l'heure actuelle, la consommation d'énergie pour le refroidissement peut atteindre jusqu'à 9,3 % de la consommation mondiale totale d'énergie dans les bâtiments commerciaux [1] et pourrait être intensifiée en raison des problèmes de réchauffement de la planète [2, 3]. Bien que différentes stratégies d'économie d'énergie soient utilisées dans le bâtiment pour réduire cette demande de refroidissement, elles peuvent être coûteuses et/ou complexes [4, 5]. Par conséquent, l'utilisation d'une solution simple et abordable et la modification des paradigmes actuels de traitement de l'ambiance thermique dans les bâtiments modernes peuvent être suggérées comme urgentes.

Le brasseur d'air est un dispositif mécanique à faible consommation d'énergie qui peut être une solution d'amélioration de confort thermique appropriée répondant à l'ensemble des enjeux actuels [6]. Il n'a pas pour objectif, à l'inverse du climatiseur beaucoup plus énergivore, de refroidir et de maintenir la température d'ambiance. Il s'agit d'un dispositif de circulation d'air peu coûteux et pratique qui peut améliorer la sensation thermique des occupants en faisant circuler l'air dans une zone intérieure [7, 8].

S'il existe de nombreux avantages potentiels à l'application des brasseurs d'air, leur taux de pénétration sur le marché est encore limité ce qui est dû au manque d'informations concises sur les impacts des brasseurs d'air et les méthodologies d'évaluation des impacts [9, 10].

L'ambition du projet BRASSE [11] est de développer le bon usage du brasseur d'air dans le secteur du bâtiment comme adaptation frugale aux changements climatiques. Il convient ici de rappeler que le projet BRASSE n'a pas vocation à proposer des solutions d'optimisation de conception des brasseurs pour les fabricants et que ces objectifs techniques sont de définir :

- des indicateurs de performance orientés confort (thermique et acoustique) ;
- des indicateurs physiques permettant une bonne prise en compte des brasseurs en conception ;
- un protocole de mesures en laboratoire permettant d'obtenir ces indicateurs ;
- des règles de calepinage pour les utilisateurs (bureaux d'étude, etc.).

Dans une première partie du projet BRASSE [12, 13, 14], des mesures de vitesse d'air ont été réalisées en laboratoire afin d'établir un protocole permettant de définir les indicateurs de conception et de performances pour les brasseurs. De telles mesures ont pour objectif de caractériser l'impact des brasseurs sur le confort de l'utilisateur et leur niveau de performance dans des conditions standardisées. Ces indicateurs permettent alors de comparer les brasseurs entre eux afin de faire un choix éclairé de matériel, les choix d'implantation de brasseur (nombre, position, diamètre et hauteur) étant définis par ailleurs en phase de conception selon le projet (géométrie, usage, etc.).

Afin de valider la qualité métrologique du protocole et la pertinence des indicateurs, le protocole de mesure en laboratoire BRASSE\_2023\_1.0 [14] a été mis en œuvre pour caractériser 9 brasseurs d'air commerciaux. Ce rapport présente les résultats des

essais et leur analyse en termes de qualité métrologique et de faisabilité opérationnelle. Les indicateurs de conception et de performances sont calculés à l'aide de la procédure de calcul proposée par le protocole BRASSE. L'influence des principaux paramètres opérationnels (diamètre, vitesse de rotation et puissance absorbée) sur les indicateurs est étudiée et une comparaison entre les indicateurs BRASSE et les données constructeurs disponibles sur les différentes documentations techniques est réalisée. Pour finir, le principe d'élaboration d'une échelle de classement des brasseurs vis-à-vis de chaque indicateur est proposé.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Brasseurs d'air

9 brasseurs d'air plafonniers ont été testés lors de cette phase. Ils ont été sélectionnés de manière à obtenir une certaine représentativité des types d'équipements présents sur le marché :

- Brasseurs issus de 6 marques différentes
- 4 diamètres variant entre 107 cm et 142 cm / 5 brasseurs ayant un diamètre de 132cm
- 6 brasseurs équipés de moteurs AC / 3 brasseurs équipés de moteurs DC,
- 8 brasseurs à 3 pales / 1 brasseur à 5 pales / 1 brasseur à 6 pales,
- 4 distances de montage (hauteurs entre les pales/plafond) variant entre 27 cm et 36 cm,
- 5 brasseurs ont 3 vitesses, 2 brasseurs ont 5 vitesses, 2 brasseurs ont 6 vitesses,
- Le débit maximal fourni par les constructeurs varie entre 9000 et 13 800 m<sup>3</sup>/h,

Le Tableau 1 détaille l'ensemble des caractéristiques des brasseurs testés. La dernière colonne correspond à l'ordre des brasseurs s'ils étaient classés par ordre croissant de débit constructeur maximal (1 étant le brasseur présentant le plus faible débit constructeur et 9 étant celui présentant le débit constructeur le plus élevé).

Brasseur	Diamètre [cm]	Nb de pales	Distance pales/plafond [cm]	Nb de vitesses	Type de moteur	Données constructeur				
						Débit à Vmax [m <sup>3</sup> /h]		Puissance à Vmax (W)		Niveau sonore à Vmax (dBA)
B001	132	3	33	3	AC	8902	1	66	1	39
B002	142	3	30	6	DC	9960	4	35	8	45
B003	107	6	30	3	AC	11150	5	58	5	42
B004	132	5	27	3	AC	9174	3	58	4	42
B005	112	4	39	3	AC	11400	8	60	3	45
B006	132	3	23	6	DC	13400	7	32	9	45
B007	132	3	27	3	AC	9835	2	63,5	2	39
B008	122	3	30	5	DC	13800	9	35	7	45
B010	132	4	29	5	DC	10250	6	39	6	45

Tableau 1 : Caractéristiques des brasseurs testés

### 2.2 Mesures selon le protocole BRASSE V1.0

Le protocole de mesure en laboratoire utilisé est le protocole 'BRASSE\_Protocol\_mesure\_2023\_0\_1' [14]. Les essais ont été réalisés dans la cellule d'essai de brasseurs d'air du laboratoire PIMENT de l'Université de la Réunion durant l'été 2023. Les brasseurs d'air ont été testés tel que fournis par les distributeurs avec les tiges par défaut. Seule la vitesse maximale accessible à partir de la commande fournie a été utilisée pour ces essais afin d'estimer le plein potentiel de chaque appareil.

Les vitesses d'air ainsi que la vitesse de rotation et la puissance absorbée ont été mesurées avec le matériel décrit dans les rapports 3.1 [12] et 3.2 [13]. La puissance acoustique a été mesurée avec le matériel décrit dans le rapport 2 [17].

### 3. Résultats

#### 3.1 Mesures acoustiques

Le tableau 2 montre les résultats des mesures de puissance acoustique et de vitesse de rotation pour les différents brasseurs classés du moins bruyant au plus bruyant. On constate en premier lieu que les puissances acoustiques fournies par les constructeurs sont plutôt justes pour les brasseurs les moins bruyants alors qu'elles sont clairement minimisées pour les brasseurs les plus bruyants. On observe ensuite sans surprise qu'il y a une forte corrélation entre vitesse de rotation élevée et bruit important.

Brasseur	Puissance acoustique BRASSE [dBA]	Puissance acoustique constructeur [dBA]	Vitesse de rotation mesurée [tr/min]	
B010	36,6	45	164	2
B001	41,9	39	164	1
B003	43,9	42	168	3
B004	45	42	175	4
B005	46,3	45	230	8
B007	47,5	39	185	5
B006	51,9	42	226	7
B002	53,6	45	211	6
B008	58	45	329	9

Tableau 2 : Puissances acoustiques et vitesses de rotation

#### 3.2 Mesures de vitesses d'air

Cette série de mesures a permis de mettre en œuvre pour la première fois le protocole de mesures de vitesses d'air en suivant l'ensemble des recommandations effectuées dans les rapports 3.1 [12] et 3.2 [13] et ayant abouti à sa version 1.0. Un point particulier devait être vérifié pour valider la faisabilité opérationnelle de ce protocole : la durée d'essai. En effet, afin d'assurer la qualité de la mesure, il est nécessaire d'avoir un nombre de mesures suffisant pour estimer la vitesse en un point. Ce nombre d'essais étant défini par rapport à l'écart type sur les valeurs de vitesses mesurées, il est variable d'un point à un autre et peut devenir élevé dans les zones de turbulence entraînant de fait une durée d'essai très élevée et, par suite, un coût prohibitif pour les fabricants.

La figure 1 montre, que dans la grande majorité des essais, une fréquence d'échantillonnage de 8 Hz permet d'utiliser une durée d'essai de 3 min (minimum défini par le protocole). Pour 12 points de mesure sur 178 au total (dont 5 pour le seul brasseur B006), il a été nécessaire d'augmenter la durée d'essai à 6 min. Le critère de validation de la qualité métrologique est donc pertinent et utilisable sur le plan opérationnel avec une fréquence d'échantillonnage de 8 Hz puisqu'il ne conduit pas à une durée d'essai excessive.

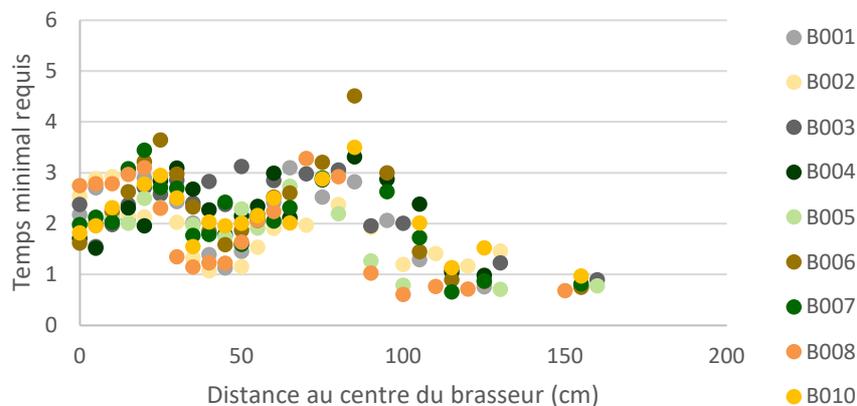
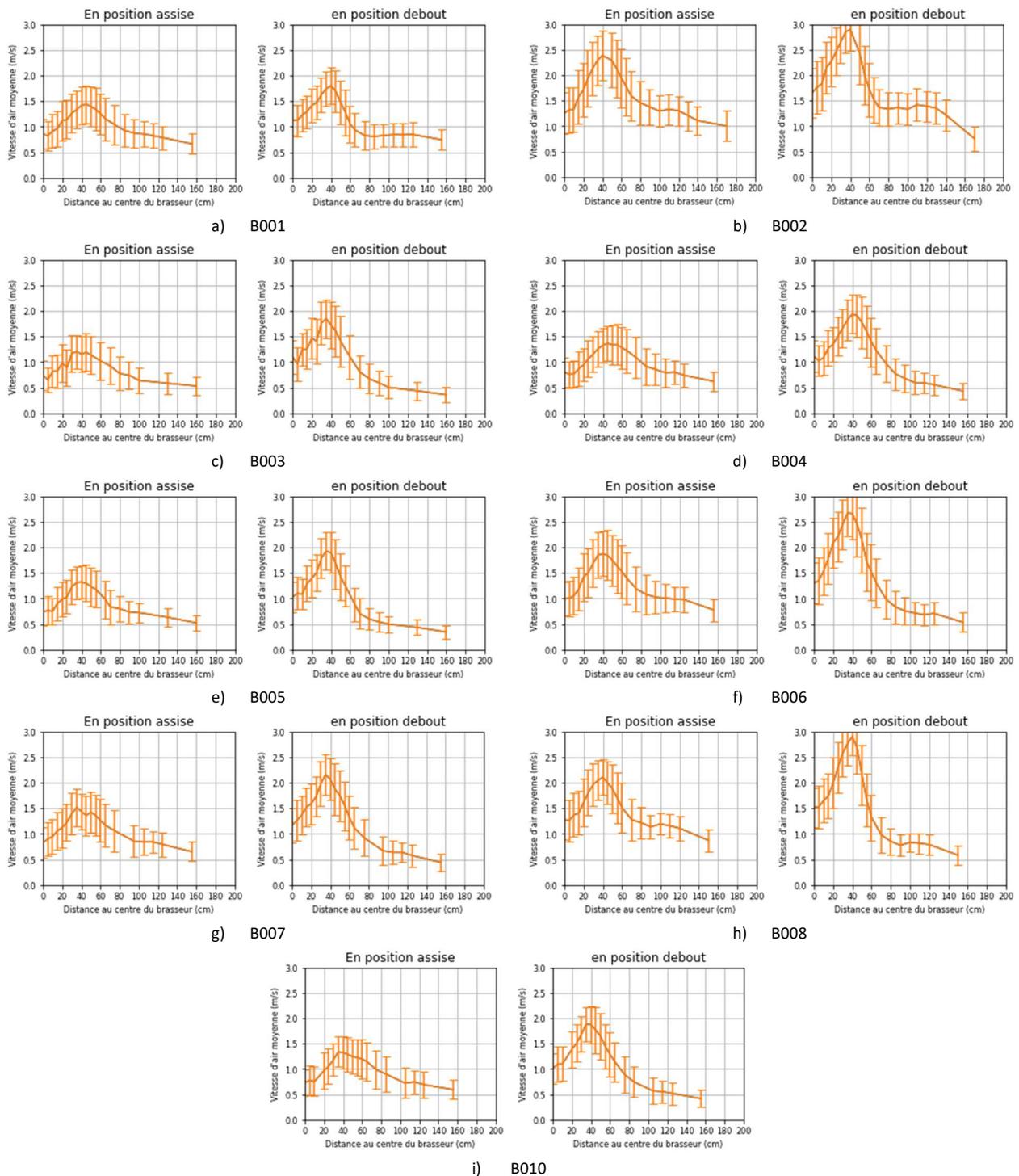


Figure 1 : Temps de mesure minimal requis à une fréquence d'échantillonnage de 8 Hz pour les différents points de mesure sur toute la gamme de brasseurs testés

La Figure 2 montre l'évolution des vitesses moyennes en position assise et en position debout en fonction de la distance du centre du brasseur pour chacun des brasseurs. On observe une grande variabilité de performances entre les différents brasseurs de la gamme testée. La vitesse d'air maximale ressentie dans la zone d'influence directe varie de 1,2 m/s à 2,4 m/s en position assise et de 1,8 m/s et de 2,9 m/s en position debout.



**Figure 2 :** Evolutions des vitesses moyennes en position assises et en position debout en fonction de la distance du centre du brasseur – BRASSE 2023

La figure 2 montre que le rayon d'influence varie entre 60 cm et 85 cm pour la posture assise et entre 55 cm et 70 cm pour la posture debout. Le rayon d'influence en position debout est toujours inférieur au rayon d'influence en position assise ce qui s'explique par l'élargissement de la zone d'influence directe quand le flux d'air se rapproche du sol. On constate également que le rayon d'influence en position debout est, en règle générale, inférieur au rayon du brasseur, ce qui montre la contraction du flux d'air en sortie du brasseur. Seuls les deux brasseurs de petits diamètres ne montrent pas cette tendance, ce qui pourrait être lié à des difficultés de

détection du rayon d'influence dans ce cas où les vitesses d'air sont plus faibles. Il sera nécessaire de réaliser des travaux complémentaires pour vérifier cette hypothèse et améliorer, si besoin, la méthode de détection du rayon d'influence.

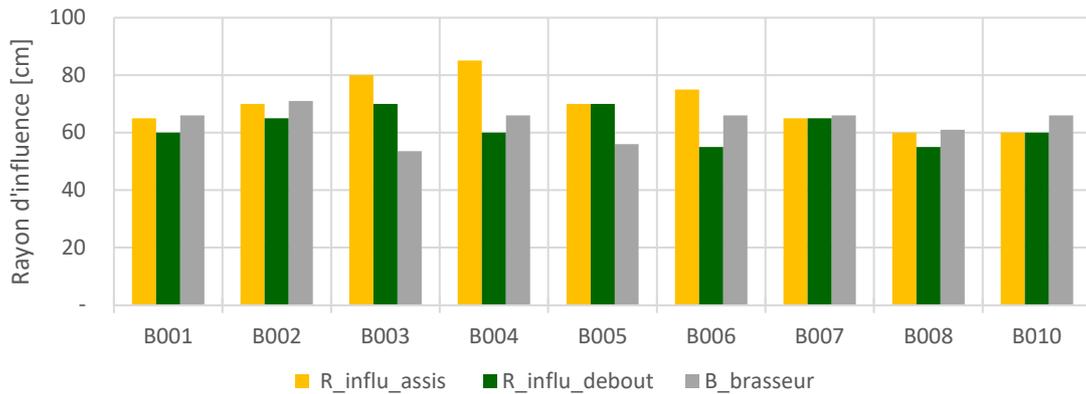


Figure 3 : Evolutions des rayons d'influence pour les postures assise et debout – BRASSE 2023

La Figure 4 permet d'analyser l'influence des paramètres du brasseur (diamètre, vitesses de rotation) sur les vitesses moyennes dans les différentes zones et les différentes postures. De façon générale, on peut logiquement observer que des brasseurs de plus grand diamètre et/ou ayant des vitesses de rotation plus élevées génèrent des vitesses plus élevées. On peut toutefois observer deux exceptions à cette règle : le brasseur B008 surperforme malgré un diamètre plus faible (122 cm) parce que sa vitesse de rotation est très élevée (1,5 fois plus élevée que celle des brasseurs générant des vitesses équivalentes) et le brasseur B005 contre-performe malgré une vitesse de rotation élevée à cause d'un petit diamètre. Sur l'échantillon testé, l'étude des autres paramètres du brasseur (nombre de pales et distance de montage) ne permet pas dégager une tendance, leur influence sur la vitesse étant moins directe que pour les deux premiers paramètres.

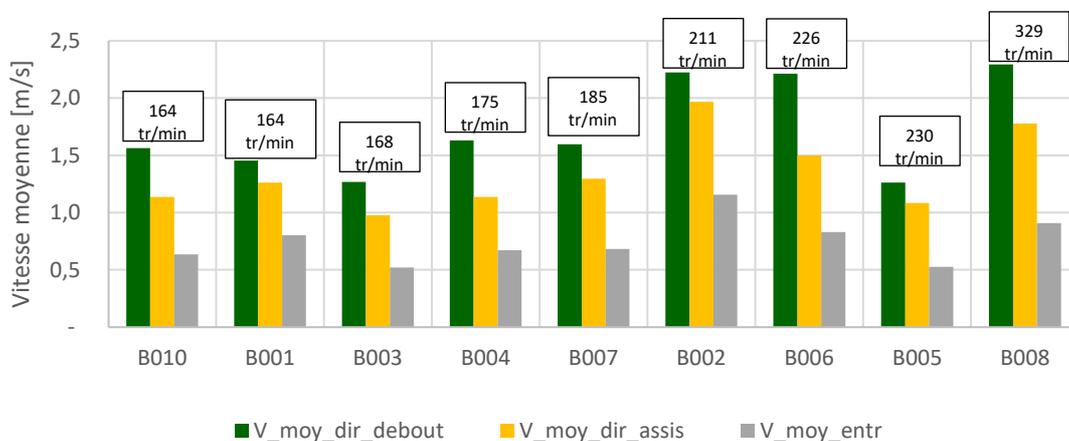
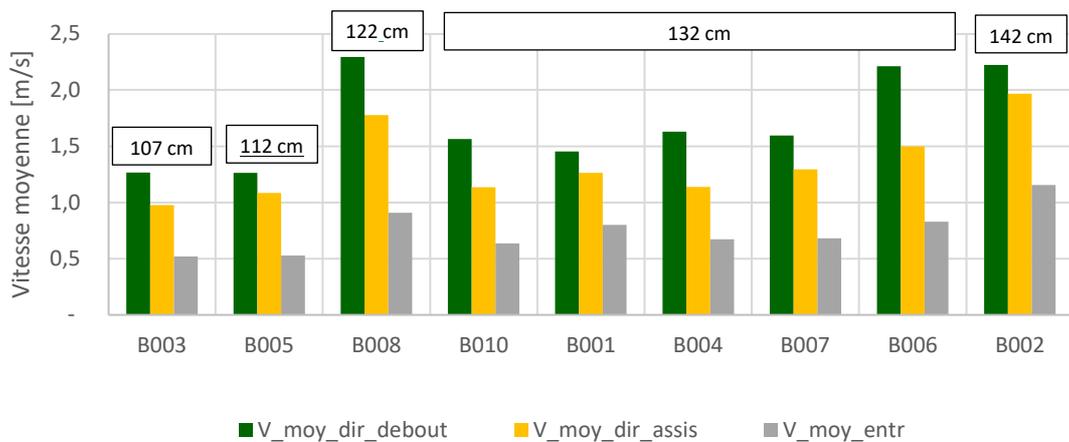


Figure 4 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classés (a) par diamètres croissants et (b) par vitesses de rotation croissantes

Afin d'étudier l'influence du couple {diamètre + vitesse de rotation}, il est possible de calculer le produit (diamètre<sup>2</sup> x vitesse de rotation), cet indicateur étant homogène à la surface « balayée » par le brasseur à chaque minute. Le figure 5 présente les vitesses d'air obtenues pour chaque brasseur en les classant par ordre de « surfaces balayées par minute » croissantes. On peut constater que cet indicateur permet d'obtenir un classement s'approchant du classement obtenu par les mesures de vitesse d'air. Toutefois, s'il traduit bien l'idée que la vitesse de rotation et le diamètre sont les deux paramètres dont le couplage va particulièrement influencer la vitesse d'air, cet indicateur n'explique pas l'ensemble des différences observées. En effet, dans le cas du brasseur B005, l'indicateur « surface balayée par minute » ne permet pas d'expliquer la sous performance de ce modèle que l'on pourrait alors attribuer à un mauvais design du produit.

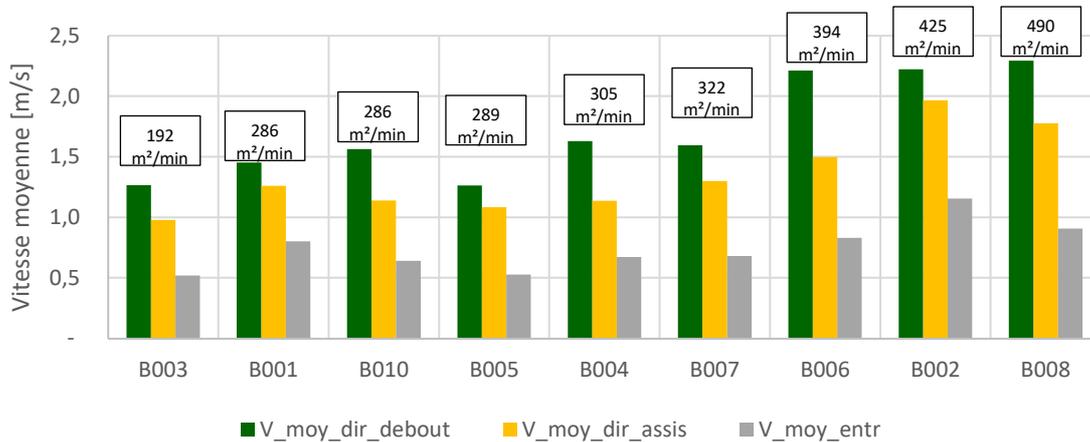


Figure 5 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classées par « surfaces balayées par minute » croissantes

Afin d'étudier la pertinence du débit fourni par le constructeur, la figure 6 présente les vitesses d'air obtenues pour chaque brasseur en les classant selon cet indicateur. On constate que l'indicateur « débit » ne permet pas de rendre compte de la vitesse d'air et donc du potentiel d'amélioration du confort thermique. De plus, seul un constructeur indique le protocole de mesure utilisé pour obtenir le débit présenté. Il est donc possible de se questionner sur la pertinence des valeurs proposées et/ou sur la pertinence de comparer des débits qui pourraient être obtenus avec des protocoles de mesure différents.

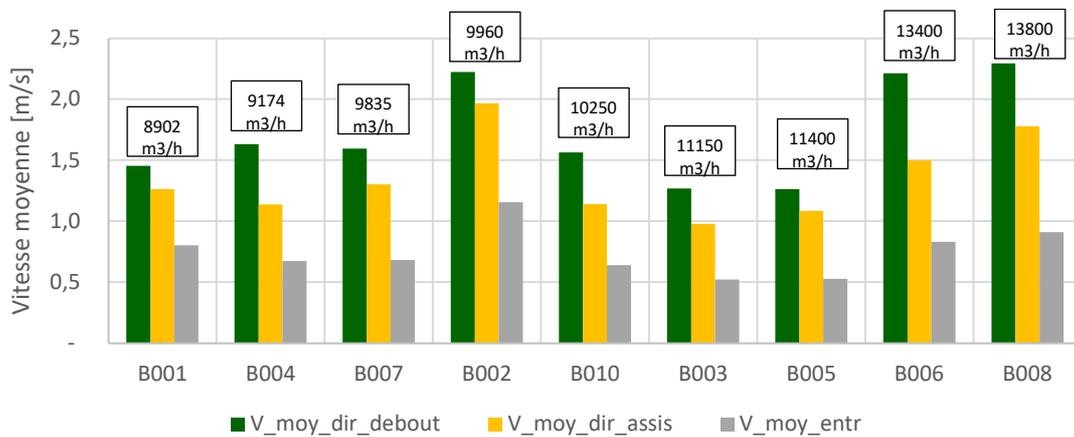


Figure 6 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classées par « débits constructeurs » croissants

En rapportant le « débit constructeur » à la surface du brasseur ( $\pi D^2/4$ ), on peut obtenir un indicateur homogène à une vitesse dite vitesse caractéristique du brasseur [16]. La figure 7 présente les vitesses d'air obtenues pour chaque brasseur en les classant selon cet indicateur. On peut constater que la vitesse caractéristique du brasseur n'est pas non plus un indicateur permettant de rendre compte de la performance du brasseur. Ceci montre que même rapporté à la taille du brasseur, le débit constructeur ne peut pas être vu comme un indicateur pertinent pour traduire le potentiel d'amélioration du confort thermique.

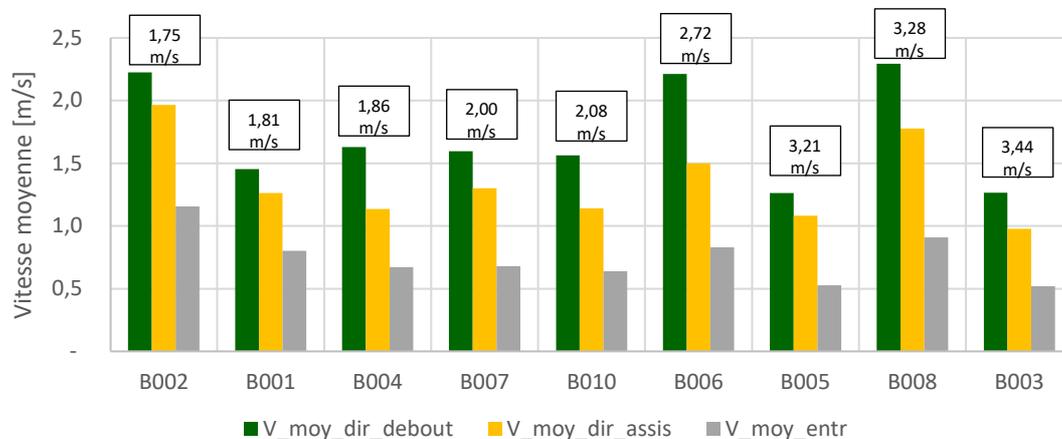


Figure 7 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classées par « vitesses caractéristiques » croissantes

Le tableau 3 résume l'ensemble des résultats obtenus pour chacun des indicateurs en classant les brasseurs en fonction de la vitesse moyenne en zone d'entraînement. On constate en comparant les 3 vitesses moyennes que la hiérarchie est assez bien respectée en passant de l'une à l'autre et que, si interversion il y a, c'est pour des valeurs assez proches l'une de l'autre souvent inférieure à l'incertitude de mesure (0,05 m/s). Par ailleurs, en comparant les vitesses moyennes obtenues aux puissances acoustiques mesurées, on constate que les brasseurs les plus performants sont également les plus bruyants. Toutefois, on peut remarquer qu'à vitesse d'air semblable, il est préférable d'avoir un plus grand brasseur qui tourne moins vite afin de minimiser le bruit.

Brasseur	Diamètre [cm]	Nb. de pales	Débit constructeur maximal [m³/h]		Puissance acoustique [dBA]	Vitesse fonctionnement [tr/min]		V_moy_dir_assis [m/s]		V_moy_dir_debout [m/s]		V_moy_entr [m/s]	
B003	107	6	11150	5	43,9	168	3	0,98	1	1,27	2	0,52	1
B005	112	4	11400	8	46,3	230	8	1,08	2	1,26	1	0,53	2
B010	132	4	10500	6	36,6	164	1	1,14	4	1,56	4	0,64	3
B004	132	5	9174	3	45	175	4	1,14	3	1,63	6	0,67	4
B007	132	3	9835	2	47,5	185	5	1,30	6	1,60	5	0,68	5
B001	132	3	8902	1	41,9	164	2	1,26	5	1,45	3	0,80	6
B006	132	3	13400	7	51,9	226	7	1,50	7	2,21	7	0,83	7
B008	122	3	13800	9	58	329	9	1,78	8	2,29	9	0,91	8
B002	142	3	9960	4	53,6	211	6	1,97	9	2,22	8	1,16	9

Tableau 3 : Vitesses moyennes des brasseurs testés classées par ordre croissant de vitesses d'air en zone d'entraînement – BRASSE 2023

### 3.3 Effet rafraichissant standard

Le protocole BRASSE définit un effet rafraichissant dans des conditions standardisées [13]. Le Tableau 4 présente l'ensemble de CE ressenti en zone d'entraînement (CE\_entr), en zone d'influence directe pour la posture assise (CE\_dir\_assis) et pour la posture debout (CE\_dir\_debout). L'effet rafraichissant en zone d'influence directe pour la posture debout varie entre 3,84 °C et 4,55 °C, l'effet rafraichissant en zone d'influence directe pour la posture assise varie entre 3,50 °C et 4,55 °C et l'effet rafraichissant en zone d'entraînement varie de 2,56 °C à 3,73 °C. L'effet rafraichissant étant une fonction de la vitesse, les classements selon l'effet rafraichissant sont les mêmes que ceux obtenus selon les vitesses moyennes et l'ensemble des analyses effectuées dans la partie précédente s'applique à cette partie.

#essai	Débit constructeur maximal [m³/h]		CE_dir_assis [°C]		CE_dir_debout [°C]		CE_entr [°C]	
B003	11150	5	3,50	1	3,84	1	2,56	1
B005	11400	8	3,64	2	3,84	2	2,58	2
B010	10500	6	3,70	4	4,11	4	2,88	3
B004	9174	3	3,70	3	4,16	6	2,96	4
B001	8902	1	3,87	6	4,13	5	2,98	5
B007	9835	2	3,84	5	4,02	3	3,22	6
B006	13400	7	4,05	7	4,51	7	3,27	7
B008	13800	9	4,26	8	4,55	9	3,40	8
B002	9960	4	4,38	9	4,52	8	3,73	9

Tableau 4 : CE standard dans les différentes zones d'observation pour chaque brasseur et classement

### 3.4 Efficacité des brasseurs d'air

Le protocole BRASSE définit une efficacité des brasseurs d'air dans des conditions standardisées (CFE) [13]. Le Tableau 5 présente l'ensemble des CFE constatés en zone d'entraînement (CFE\_entr), en zone d'influence directe pour la posture assise (CFE\_dir\_assis) et pour la posture debout (CFE\_dir\_debout) ainsi que les puissances constatées lors des essais et les puissances et débits fournis par les constructeurs. On constate la présence de deux groupes distincts : les brasseurs équipés de moteur AC avec des puissances variant entre 50 et 72 W et les brasseurs équipés de moteur DC avec des puissances variant de 25 à 37,5 W, soit une baisse de l'ordre de 50 % de la puissance absorbée en passant d'un moteur AC à un moteur DC. En règle générale, on trouve une bonne corrélation entre les valeurs fournies par le constructeur et les valeurs mesurées, ce qui peut s'expliquer par la facilité de cette mesure. Il est toutefois possible de constater, pour certains équipements, une différence significative entre les puissances fournies par les constructeurs et les puissances mesurées dans le cadre de BRASSE. Néanmoins, les différences observées ne favorisent pas systématiquement le fabricant.

En zone d'influence en position debout, les CFE varient de 0,053 à 0,076 °C/W pour les moteurs AC et de 0,110 à 0,178 °C/W pour les moteurs DC. En zone d'influence en position assise, ils varient de 0,048 à 0,072 °C/W pour les moteurs AC et de 0,099 à 0,167 °C/W pour les moteurs DC. En zone d'entraînement, ils varient de 0,035 à 0,051 °C/W pour les moteurs AC et de 0,077 à 0,133 °C/W pour les moteurs DC. On constate que dans les trois cas les classements sont les mêmes, ce qui permettra de ne choisir qu'un seul des trois CFE pour établir une classification.

#essai	Diamètre (cm)	Type de moteur	Puissance absorbée à vitesse max. – donnée protocole [W]		Puissance absorbée à vitesse max. – donnée constructeur [W]		CFE_dir_assis [°C/W]		CFE_dir_debout [°C/W]		CFE_entr [°C/W]	
B003	107	AC	72,2	1	58	5	0,048	1	0,053	1	0,035	1
B001	132	AC	64,8	2	66	1	0,059	2	0,062	2	0,050	2
B004	132	AC	59,1	3	58	4	0,063	3	0,070	4	0,050	3
B007	132	AC	57,8	4	63,5	2	0,065	4	0,070	3	0,050	4
B005	112	AC	50,8	5	60	3	0,072	5	0,076	5	0,051	5
B010	132	DC	37,5	8	39	6	0,099	6	0,110	6	0,077	6
B006	132	DC	40,2	6	32	9	0,101	7	0,112	7	0,081	7
B002	142	DC	38,5	7	35	8	0,114	8	0,117	8	0,097	8
B008	122	DC	25,5	9	35	7	0,167	9	0,178	9	0,133	9

**Tableau 5** : Puissances absorbées à vitesse maximale et CFE standard dans les différentes zones d'observation pour chaque brasseur et classement

### 3.5 Analyse croisée des indicateurs de performances

Il est possible de répartir les brasseurs par classes de valeurs obtenues des différents indicateurs de performances. Les tableaux 6, 7 et 8 montrent respectivement ces représentations pour l'effet rafraichissant, l'efficacité du brasseur et la puissance acoustique.

D'après le tableau 6, on peut observer que, dans le cas de l'effet rafraichissant, les classements obtenus par les différents brasseurs ne sont pas cohérents entre les différentes zones et les différentes postures, ce qui empêche en l'état d'utiliser un seul classement pour traduire les trois valeurs. Dans le cas de l'efficacité du brasseur, le tableau 7 montre que les classements obtenus pour les trois valeurs de CFE sont les mêmes, un unique classement pour les trois CFE est donc envisageable. Cependant, lors de la répartition en classe, les brasseurs peuvent basculer vers une classe supérieure ou inférieure à cause des effets de seuil qui sont inévitables lorsque l'on procède à ce type de classification. Pour cet indicateur, on constate à nouveau deux groupes distincts selon le type de moteur (AC ou DC).

En utilisant cette approche pour définir une méthode de classement, les largeurs de classes seront modifiées à chaque nouvel ajout d'un brasseur dans la base de données. Cependant, ces fluctuations diminueront à mesure que l'effectif de brasseur testés augmentera. Pour chacun des trois indicateurs, il sera donc nécessaire d'effectuer des essais sur un panel beaucoup plus élargi de brasseurs pour pouvoir définir des largeurs de classes rendant compte de la réalité du marché.



Tableau 6 : Répartition des brasseurs pour les 3 indicateurs d'effet rafraichissant



Tableau 7 : Répartition des brasseurs pour les 3 indicateurs d'efficacité du brasseur

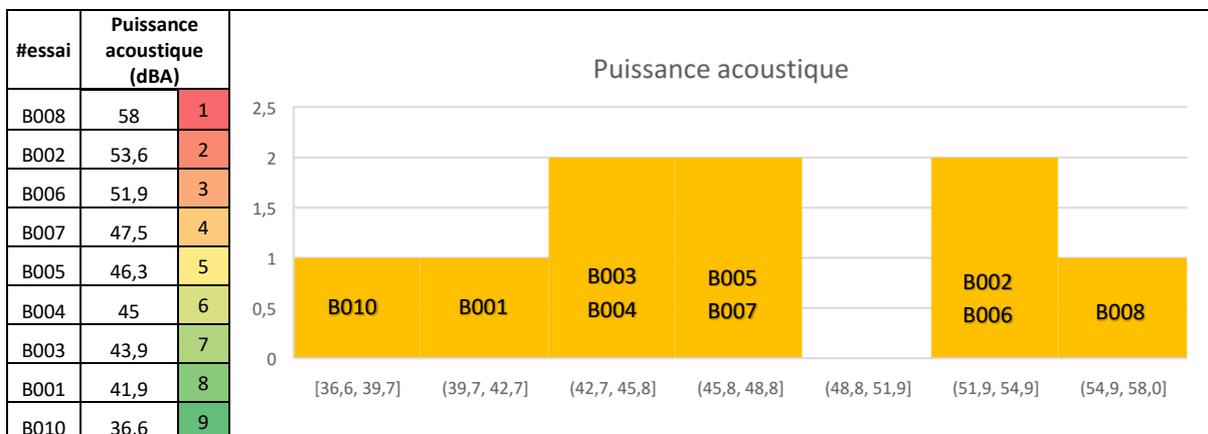


Tableau 8 : Répartition des brasseurs pour les 3 indicateurs d'effet rafraichissant

Le tableau 9 présentent un résumé des indicateurs de performances obtenus pour les différents brasseurs. Nous nous limitons ici à présenter les indicateurs d'effet rafraichissant et d'efficacité énergétique dans la zone d'influence directe en position debout, car la mesure des vitesses d'air liées à ces indicateurs est la moins soumise aux différentes perturbations, étant la plus proche du brasseur.

A nouveau, il est possible de constater que les brasseurs ayant les meilleures performances en termes de confort sont également les plus bruyants. De façon générale, et en accord avec les analyses précédemment établies, il conviendra de choisir le brasseur ayant le diamètre le plus grand possible de façon à minimiser le bruit en maximisant le confort thermique et de privilégier les modèles disposant d'un moteur DC pour réduire la consommation énergétique.

#essai	Effet rafraichissant (dir_debout) [°C]	Efficacité du brasseur (dir_debout) [°C/W]	Puissance acoustique [dBA]
B001	4,02	0,062	41,9
B002	4,52	0,117	53,6
B003	3,84	0,053	43,9
B004	4,16	0,07	45
B005	3,84	0,076	46,3
B006	4,51	0,112	51,9
B007	4,02	0,07	47,5
B008	4,55	0,178	58
B010	4,11	0,11	36,6

**Tableau 9** : Résumé des indicateurs de performances et classement des différents brasseurs

## 4. Conclusion

L'objectif de cette étude était de valider la qualité métrologique du protocole et la pertinence des indicateurs de conception (vitesse d'air) et de performances (effet rafraichissant, efficacité du brasseur et puissance acoustique) par la mise en œuvre du protocole BRASSE V1.0 [14] pour caractériser 9 brasseurs d'air commerciaux. Les mesures de vitesses d'air, de vitesse de rotation, de puissance électrique absorbée et de puissance acoustique ont été réalisés par le laboratoire PIMENT à l'été 2023.

Les mesures de puissance acoustique ont conduit à montrer que la puissance acoustique était directement corrélée à la vitesse de rotation, les brasseurs tournant le plus vite étant les plus bruyants. La comparaison aux données fournies par les constructeurs a permis de mettre en évidence que les données étaient minimisées dans le cas des brasseurs les plus bruyants.

Les mesures de vitesses d'air ont permis de vérifier la qualité métrologique de la méthode d'échantillonnage proposée dans les rapports 3.1 [12] et 3.2 [13]. Cette méthode conduit à des durées d'essai de 3 min dans la très grande majorité des cas, ce qui confirme la faisabilité opérationnelle de ce protocole.

Les résultats des mesures de vitesse d'air ont été traités selon la procédure de calcul proposée par le protocole BRASSE afin d'obtenir les indicateurs de conception : les vitesses d'air moyennes en zone d'influence directe pour les positions debout et assise, et, la vitesse d'air moyenne en zone d'entraînement. Une étude de l'influence des paramètres opératifs (diamètre, vitesse de rotation, nombre de pales, distance de montage) sur les vitesses d'air a été réalisée. Il a été observé que le diamètre et la vitesse de rotation sont les deux paramètres prépondérants et un indicateur couplant leur effet a été proposé : la « surface balayée par minute ». Bien que présentant une bonne corrélation avec la vitesse d'air, cet indicateur ne suffit à prédire parfaitement les vitesses d'air générées par le brasseur. Par ailleurs, les vitesses moyennes obtenues ont été mises en rapport avec les débits fournis par les constructeurs sans montrer aucune corrélation, même lorsqu'ils étaient rapportés au diamètre du brasseur pour exprimer la vitesse caractéristique du brasseur. Ces résultats démontrent donc que seule la détermination de ces vitesses permet d'aboutir à une évaluation du potentiel d'amélioration du confort thermique.

Les effets rafraichissants (CE) en zone d'influence directe pour les positions debout et assise, et en zone d'entraînement ont été calculées à partir des vitesses d'air moyennes évoquées précédemment et toutes les observations réalisées sur les vitesses d'air peuvent être réitérées pour les effets rafraichissants.

Les mesures de puissance électrique absorbée ont permis de mettre en évidence deux groupes distincts de brasseurs en termes de performances énergétiques : les brasseurs équipés de moteur AC et les brasseurs équipés de moteur DC. Le passage d'un moteur AC à un moteur DC permet de réduire la consommation énergétique de l'ordre de 50 %. Ces mesures ont permis d'aboutir à l'indicateur d'efficacité du brasseur (CFE). En toute logique, ce sont les brasseurs équipés de moteur DC qui présentent les meilleures performances.

L'analyse croisée de ces trois indicateurs de performances permet de définir, qu'en règle générale, il conviendra de choisir le brasseur ayant le diamètre le plus grand possible de façon à minimiser le bruit en maximisant le confort thermique et de privilégier les modèles disposant d'un moteur DC pour réduire la consommation énergétique.

L'analyse des échantillons disponibles et testés permet d'esquisser des classements. Il semble réaliste d'imaginer à termes que ces classements puissent servir de base à une étiquette produit comme il en existe pour l'électro-ménager. Mais l'évaluation d'un nombre important de brasseurs d'air sera nécessaire afin de proposer des valeurs de largeurs de classes et de répartitions qui permettront de représenter au mieux les performances des produits. Il y aura également des choix à faire entre les indicateurs représentés sur l'étiquette produit nécessairement en petit nombre et l'ensemble des indicateurs à intégrer à la fiche produit pour informer correctement les prescripteurs

## Références

- [1] Santamouris M. (2016) Cooling the buildings – past, present and future, *Energy and Buildings*, vol. 128, p. 617-638
- [2] Santamouris M., Cartalis C., Synnefa A. (2015) On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review, *Energy and Buildings*, vol. 98, p. 119-124
- [3] Bamdad K., Cholette M. E., Omrani S., Bell J. (2021) Future energy-optimised buildings — Addressing the impact of climate change on buildings, *Energy and Buildings*, vol. 231, p. 110610
- [4] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2017) Ant colony algorithm for building energy optimisation problems and comparison with benchmark algorithms, *Energy and Buildings*, vol. 154, p. 404-414
- [5] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2018) Building energy optimisation under uncertainty using ACOMV algorithm, *Energy and Buildings*, vol. 167, p. 322-333
- [6] Yang B., Wang F. (2018) Supplementary opinions on alternative cooling technologies in hot climate, *International Journal of Biometeorology*, vol. 62, p. 1927-1928
- [7] Sadripour S., Mollamahdi M., Sheikhzadeh G. A. (2017) Providing thermal comfort and saving energy inside the buildings using a ceiling fan in heating systems, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 39, p. 4219-4230
- [8] Mihara K., Sekhar C., Takemasa Y. (2019) Thermal comfort and energy performance of a dedicated outdoor air system with ceiling fans in hot and humid climate, *Energy and Buildings*, vol. 203, p. 109-118
- [9] He Y., Chen W., Wang Z., Zhang H. (2019) Review of fan-use rates in field studies and their effects on thermal comfort, energy conservation, and human productivity, *Energy and Buildings*, vol. 194, p. 140-162
- [10] Litvine D., De Laage R., Hoarau S. (2022) Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air : Une étude qualitative de l'offre et de la demande. Tache 4 du Projet BRASSE – Pour le compte de l'ADEME
- [11] LE BERIGOT T., BOEUF F., OSSAKOWSKY P., DAVID M., GARDE F., LITVINE D., DE LAAGE R., VASQUEZ C (2021) Rapport d'avancement du projet BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques.
- [12] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., BLANCHARD B., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Analyse des protocoles de mesures de vitesse d'air - Projet BRASSE
- [13] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Indicateurs de performance des brasseurs - Projet BRASSE
- [14] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., 2023. BRASSE\_Protocole\_mesure\_2023\_0\_1 – Projet BRASSE
- [15] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Retour d'expérience : mesure in-situ - Projet BRASSE
- [16] Raftery P, Fizer J, Chen W, He Y, Zhang H, Arens E, Schiavon S, Paliaga G (2019), Ceiling fans: Predicting indoor air speeds based on full scale laboratory measurements, *Building and Environment*, vol. 155, pp. 210-223.
- [17] OSSAKOWSKY P., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers, Projet BRASSE