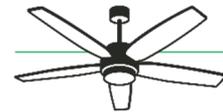


# BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIÉTÉ ET D'EFFICACITÉ

---



**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 3.3 – Retour d'expérience : mesure in-situ

---

**RAPPORT FINAL**



**FAITS & CHIFFRES**

 **surya**  
CONSULTANTS

Sept.  
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 MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Retour d'expérience : mesure in-situ - 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 : Pierre-Erwan LE MAREC (Surya Consultants), Tangi LE BERIGOT (Surya Consultants) et Frédéric BŒUF (Surya Consultants)

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

# RETOUR D'EXPERIENCE : BRASSEURS D'AIR

## MESURES DE VITESSES D'AIR IN-SITU

Pierre-Erwan LE MAREC<sup>1</sup>, Tangi LE BERIGOT<sup>1</sup>, Frédéric BŒUF<sup>1</sup>,

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

**Mots clés :** brasseur d'air, vitesse d'air, mesures, in-situ

*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].

Le but du protocole BRASSE est de caractériser les performances des brasseurs d'air commerciaux dans leur configuration standard (celle recommandée par les fabricants) afin de les comparer en termes d'impact sur le confort des usagers et d'efficacité énergétique. L'ambition du projet BRASSE 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.).

Le présent article ne traitera pas le confort acoustique et se limitera au confort thermique.

Dans une première partie du projet BRASSE [11, 12], 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 eu 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 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.).

Au-delà des indicateurs de conception et de performance, il est nécessaire de définir les règles d'implantation des brasseurs dans un projet. Dans ce contexte, les mesures en laboratoire doivent être complétées par des mesures in-situ afin d'observer le fonctionnement de brasseurs d'air en conditions réelles (géométrie variées, présence de mobilier). De telles mesures ont donc été menées dans 11 locaux qui ont fait l'objet d'une ou plusieurs campagnes des mesures dans le courant de l'été 2022. Les locaux sélectionnés sont situés dans le Sud de la France (PACA et Occitanie) et couvrent les typologies les plus courantes de locaux équipés de brasseurs d'air : logement, bureaux et enseignement.

Le présent rapport présente la méthodologie de ce retour d'expérience et d'éventuelles améliorations envisagées pour un protocole systématique de mesure de vitesses d'air in-situ ainsi que les principales observations issues de ces campagnes.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Locaux étudiés

Le tableau 1 donne la liste des locaux étudiés et leurs caractéristiques principales (les caractéristiques détaillées de chaque local et des brasseurs étudiés étant données dans chaque fiche REX) :

Tableau 1 : Locaux étudiés lors des campagnes de mesures in-situ

N° de l'étude	Nom du local	Type	Usage	Surface	Hauteur sous plafond	Nombre de brasseurs d'air	Diamètre	Hauteur sous pales
REX S-01	Appartement_Salon	Résidentiel collectif	Salon	19,0 m <sup>2</sup>	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
REX S-02	Appartement_Chambre	Résidentiel collectif	Chambre	11,8 m <sup>2</sup>	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
REX S-03	BE_Bureau 2 postes	Tertiaire	Bureau	13,4 m <sup>2</sup>	3,18 m	1	152 cm	2,82 m
REX S-04	BE_Bureau 3 postes	Tertiaire	Bureau	20,4 m <sup>2</sup>	3,18 m	2	152 cm	2,82 m
REX S-05	ONG_Bureau 2 postes	Tertiaire	Bureau	13,1 m <sup>2</sup>	3,09 m	1	112 cm	2,67 m
REX S-06	ONG_Bureau 4 postes	Tertiaire	Bureau	22,7 m <sup>2</sup>	3,91 m	2	112 cm	3,49 m
REX S-07	ONG_Salle de réunion	Tertiaire	Salle de réunion	22,7 m <sup>2</sup>	3,40 m	2	132 cm	2,94 m
REX S-08	Ecole_Classe 1	Ecole	Salle de classe	55,5 m <sup>2</sup>	3,06 m	4	152 cm	2,70 m
REX S-09	Ecole_Classe 2	Ecole	Salle de classe	55,5 m <sup>2</sup>	3,26 m	4	152 cm	2,90 m
REX S-10	Ehpad_Chambre 218	EHPAD	Chambre	25,0 m <sup>2</sup>	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
REX S-11	Ehpad_Salle ergo	EHPAD	Salle de kiné/ergo	85,9 m <sup>2</sup>	2,32 m	1	132 cm	1,96 m

### 2.2 Mesure in-situ de la vitesse d'air et des conditions d'ambiance.

Le protocole de mesure de vitesse d'air in-situ utilisé dans le cadre de ce retour d'expérience s'est voulu au plus proche du protocole utilisé en laboratoire. L'analyse des mesures effectuées en laboratoire a conduit à des recommandations sur de nombreux points du protocole (hauteurs de mesure, définition des positions de mesures, fréquence d'échantillonnage, etc.). Ces recommandations n'ont pas pu toutes être intégrées dans le protocole de mesures in-situ puisque celles-ci ont été postérieures à l'analyse des mesures en laboratoire. Après analyses de l'ensemble des mesures effectuées, de nouvelles recommandations concernant le cas particulier des mesures in-situ seront données en fin de ce document.

Le trépied vertical de mesure de vitesse d'air Anémoma® (cf. Figure 1) développé par Surya Consultants a été utilisé. Il comprend 4 anémomètres omnidirectionnels à boule chaude (HD403TS2, DeltaOhm S.r.L, Italie [13]) situés à des hauteurs de 36 cm, 60 cm, 120 cm et 170 cm. La gamme de mesure de ces capteurs va de 0,1 à 5,0 m/s avec une précision de  $\pm (0,2 \text{ m/s} + 3\% \text{ de la valeur mesurée})$ . Pour chaque mesure, les anémomètres [13] ont été orientés perpendiculairement à l'axe radial passant par le centre du brasseur et la boule chaude de l'anémomètre. Un niveau laser 3 axes a été utilisé afin de s'assurer de l'alignement vertical de l'ensemble des capteurs à l'aplomb du point de mesure.

Le trépied Anemoma® ayant été originellement conçu pour l'étude de la déstratification en présence de brasseurs d'air dans des locaux de grandes hauteurs, il permet de mesurer la température de l'air et l'humidité relative à la même hauteur et avec la même fréquence d'échantillonnage que les mesures de vitesse d'air. Ces mesures ont été moyennées entre les différentes hauteurs et sur l'ensemble de la durée d'une même série d'essais afin de définir les conditions d'ambiances qui sont données avec une précision de 0,5 °C et 5 % HR.



Figure 1 : Trépied de mesure de vitesse d'air Anémoma®

Deux protocoles ont été utilisés dans le cadre de ce retour d'expérience lors de deux campagnes successives nommées ci-après « Campagne 1 » et « Campagne 2 » et notées respectivement C1 et C2. Les deux protocoles se distinguent par l'échantillonnage de la mesure :

- Protocole Surya\_V1 : Le temps d'acquisition varie entre 2 et 6 minutes selon les essais. La fréquence d'échantillonnage est d'une mesure par minute, cette mesure étant obtenue dans le mode « slow » des anémomètres, c'est-à-dire une moyenne de 10 mesures instantanées réalisées à une fréquence de 5 Hz sur un intervalle de 2 s. Ce protocole correspond au fonctionnement standard de l'Anémoma® qui est originellement dédié à la mesure de déstratification (brasseurs soufflant vers le haut). Dans un contexte plus turbulent de brasseurs soufflant vers le bas dans un objectif d'amélioration du confort, cet échantillonnage s'est avéré trop limité pour obtenir des valeurs exactes avec un intervalle de confiance satisfaisant.
- Protocole Surya\_V2 : La fréquence d'échantillonnage a été réduite à 1 mesure toutes les 7 secondes (toujours en mode « slow » des anémomètres) et le temps d'acquisition a été défini pour chaque mesure afin qu'il soit suffisant pour obtenir à la fois le régime permanent et à la fois une vitesse moyenne considérée exacte, c'est-à-dire en faisant une erreur inférieure à 0,05 m/s avec un intervalle de confiance à 95 %, selon le critère proposé pour le protocole de mesures de vitesse d'air en laboratoire [14].

Lors de chaque essai, toutes les ouvertures (portes, fenêtres et grilles de ventilation si existantes) ont été fermées afin de s'affranchir des mouvements d'air parasites. Aucun usager ni opérateur n'était présent pendant l'acquisition dans les locaux où se situaient la mesure. Aucun autre appareil pouvant générer de la chaleur n'était en fonctionnement. Les bouches de ventilation mécanique, lorsqu'elles étaient présentes, n'ont pas été obstruées.

Les positions de mesure ont été choisies par l'opérateur afin d'observer un phénomène ou les conditions spécifiques en un point (position probable d'un usager par exemple). Le tableau 2 présente un résumé des différentes campagnes de mesures et des conditions d'ambiance rencontrées lors de ces campagnes.

L'ensemble de brasseurs observés lors de cette étude sont des brasseurs équipés de moteurs à induction à courant alternatif pilotés par un dispositif de commande à 3 vitesses. Les vitesses d'air ont été mesurées pour la plupart des positions de mesures à deux vitesses de fonctionnement : la vitesse maximale (V3) et la vitesse intermédiaire (V2). Les vitesses de rotation n'ont pas été mesurées lors de l'étude et les vitesses fournies par les constructeurs seront données à titre indicatif quand elles sont disponibles.

L'étude dans la salle d'ergothérapie de l'EHPAD Soubeiran de Saint Jean du Gard a été menée de façon différente puisque que des mesures spécifiques ont été réalisées pour évaluer la vitesse d'air en fonction de l'éloignement aux brasseurs dans deux cas :

- L'espace sous le brasseur est libre de tout mobilier
- Une table circulaire de 120 cm de diamètre et 73 cm de hauteur est placée à l'aplomb du brasseur.

Cette étude particulière est présentée en première partie des résultats afin de rappeler les caractéristiques des écoulements générés par les brasseurs déjà observées lors des essais en laboratoire [11].

**Tableau 2 :** Description des différentes campagnes d'essais

N° de l'étude	Nom du local	Campagne	Date	Température	Humidité relative	Nombre de points de mesures
REX S-01	Appartement_Salon	C2	25/08/2022	27,5 °C	80 %	2
REX S-02	Appartement_Chambre	C2	25/08/2022	28 °C	75 %	1
REX S-03	BE_Bureau 2 postes	C1	04/07/2022	31 °C	70 %	7
		C2	25/08/2022	28,5 °C	65 %	2
REX S-04	BE_Bureau 3 postes	C1	04/07/2022	31 °C	70 %	5
		C2	25/08/2022	29,5 °C	60 %	3
REX S-05	ONG_Bureau 2 postes	C1	04/07/2022	30,5 °C	65 %	2
		C2	25/08/2022	27,5 °C	60 %	2
REX S-06	ONG_Bureau collectif	C1	04/07/2022	30 °C	65 %	6*
REX S-07	ONG_Salle de réunion	C1	04/07/2022	31 °C	65 %	3
		C2	25/08/2022	26,5 °C	60 %	4
REX S-08	Ecole_Classe 1	C1	06/07/2022	33 °C	40 %	6*
REX S-09	Ecole_Classe 2	C1	06/07/2022	31,5 °C	45 %	8*
REX S-10	Ehpad_Chambre 218	C2	04/08/2022	28,5 °C	55 %	4
REX S-11	Ehpad_Salle ergo	C2	04/08/2022	28 °C	60 %	5

\*lors de certains de ces essais, le capteur situé à 170 cm de hauteur était défectueux.

Sur 11 pièces instrumentées dans 5 bâtiments différents, ces essais réalisés en 60 positions de mesures différentes pour deux vitesses de rotation et quatre hauteurs de mesures ont permis d'obtenir **un total de 478 mesures de vitesse d'air** exploitables et exploitées.

### 2.3 Détermination des vitesses moyennes

Afin d'éviter toute confusion entre les différentes vitesses mentionnées dans cet article, il convient de poser les définitions de l'ensemble de termes utilisés :

- **La vitesse de fonctionnement** : c'est le mode de fonctionnement sélectionné sur la commande du brasseur (V1, V2 ou V3 dans cette étude)
- **La vitesse de rotation** : c'est la vitesse à laquelle tourne les pales du brasseur, exprimée en tours par minutes. Elle n'a pas été mesurée in-situ et des valeurs sont données à titre indicatif lorsqu'elles sont fournies par le fabricant.
- **La vitesse mesurée** : c'est la moyenne des vitesses mesurées par l'anémomètre à une hauteur donnée sur l'ensemble de la durée d'acquisition. Elle est toujours associée à un écart type.
- **La vitesse ressentie** : c'est la moyenne des vitesses mesurées à trois hauteurs différentes, correspondant aux hauteurs considérées comme caractéristiques (chevilles, bassin et tête) pour les deux postures habituelles : assis (hauteurs 36 cm, 60 cm et 120 cm) et debout (hauteurs 36 cm, 120 cm et 170 cm). Elles sont exprimées donc par les relations suivantes :
  - En position assise :

$$v_{assis} = \frac{1}{3}(v_{0.36} + v_{0.6} + v_{1.2})$$

- En position debout :

$$v_{debout} = \frac{1}{3}(v_{0.36} + v_{1.2} + v_{1.7})$$

Où  $v_{assis}$  et  $v_{debout}$  sont respectivement les vitesses ressenties en positions assise et debout,  $v_{0.36}$ ,  $v_{0.6}$ ,  $v_{1.2}$  et  $v_{1.7}$  sont respectivement les vitesses mesurées à 36 cm, 60 cm, 120 cm et 170 cm.

Lors de cette étude, afin de suivre au plus près les protocoles utilisés en laboratoire [15, 16], les hauteurs de mesures n'ont pas été choisies avec respect des normes ISO 7726 [17] et ASHRAE 55 [18]. Ce n'est que postérieurement à l'ensemble des campagnes de mesures que les recommandations du projet BRASSE [12] ont préconisé d'utiliser les hauteurs de mesures stipulées par ces deux normes (0,1 m à la place de 0,36 m et 1,1 m à la place de 1,2 m).

Comme le stipule la norme ISO 7726, les vitesses mesurées sont données avec leur écart type calculés sur l'ensemble de la durée d'acquisition afin de montrer l'intensité des fluctuations de la vitesse d'air. Afin d'exprimer l'intensité de ses fluctuations sur la vitesse ressenties dans chaque posture, il a été décidé de calculer la moyenne des écarts type aux 3 hauteurs de référence de chaque posture. En effet, les trois valeurs de vitesse étant hétérogènes, la valeur de l'écart type sur l'ensemble des trois séries de mesure aux différentes hauteurs n'exprimerait pas seulement les fluctuations de la vitesse d'air mais également la disparité des vitesses aux différents endroits du corps humain. Le terme « écart-type moyen » sera donc utilisé pour exprimer les fluctuations de la vitesse ressentie.

#### *2.4 Détermination des indicateurs de confort*

L'effet de rafraîchissement (CE) à la vitesse d'air moyenne dans les conditions d'ambiance de l'essai et en considérant un clo de 0,5 et un met de 1,1 pour un usager assis et 1,4 pour un usager debout. Le CE a été déterminé selon la norme ASHRAE 55 [18] à l'aide de l'outil en ligne développé par le CBE de Berkeley [19].

Les résultats sont représentés en plan et repérés par une cible de couleur. La couleur de cette cible correspond à l'évaluation du confort suivant l'indicateur PMV pour les vitesses d'air élevées définie par la norme ASHRAE 55 [18] et prenant en compte l'effet rafraîchissant. Afin de traduire les différentes sensations de confort, l'échelle de couleur utilisée est la suivante :

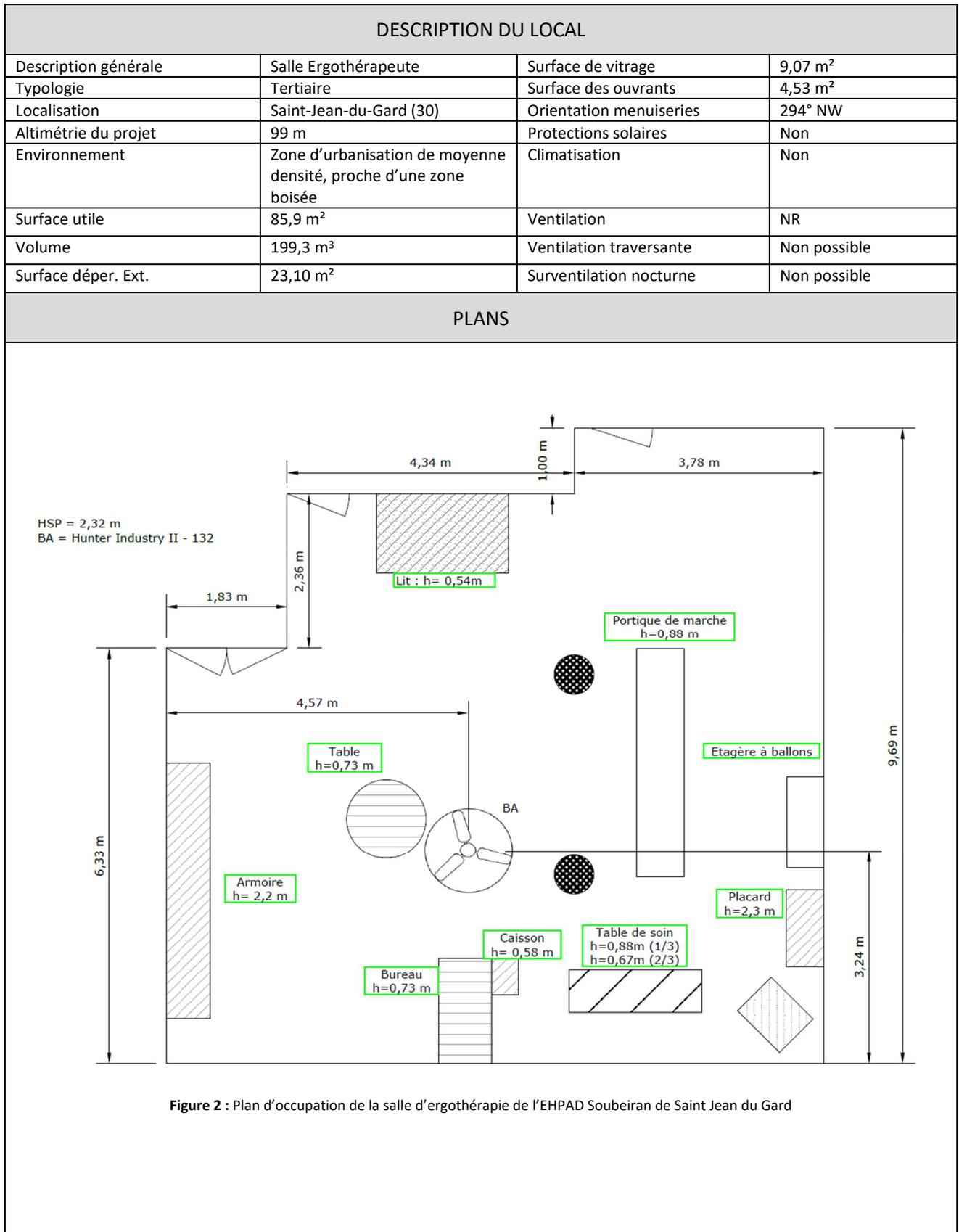
- Vert :  $-0,5 < PMV < 0,5$  : neutre
- Orange :  $0,5 < PMV < 1,5$  : légèrement chaud
- Rouge :  $1,5 < PMV < 2,5$  : chaud
- Marron :  $PMV > 2,5$  : très chaud

Lorsqu'une même représentation rassemble les résultats de deux campagnes, la dénomination C1 pour 'Campagne 1' ou C2 pour 'Campagne 2' est ajoutée au centre de la cible.

Les conditions d'ambiance sont indiquées sur chaque fiche REX. La couleur de ces indications correspond à l'évaluation du confort suivant l'indicateur PMV pour une vitesse nulle. Si cette évaluation diffère entre la posture assise et la posture debout, cela est précisé. L'échelle considérée correspond à l'échelle présentée ci-avant.

### 3. Résultats

#### 3.1 Etude préliminaire de l'écoulement en conditions réelles : EHPAD – Salle ergo



PHOTOS



**Figure 3** : Différentes vues de la salle d'ergothérapie de Saint Jean du Gard  
(a) *Vue vers la façade NW*, (b) *Vue vers la façade SE*

## DESCRIPTION DU BRASSEUR

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nombre de pales	3		
Hauteur de pales	1,96 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	3,24 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficacité énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)	26,3	32,8	39



Figure 4 : Hunter Industrie II 132 cm

## PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/08/2022
Durée de la campagne	Entre 6 et 60 min par point
Nombre de points	5
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	68



Figure 5 : Trépied Anémoma

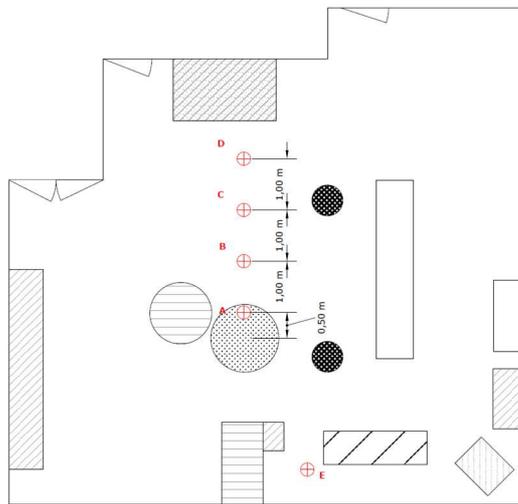


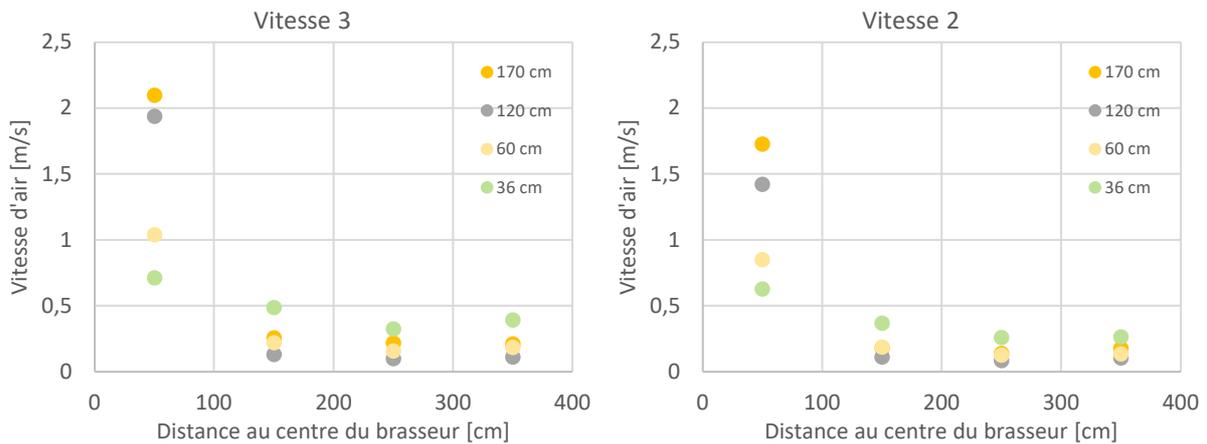
Figure 6 : Positions de mesures – Salle ergothérapie de l’EHPAD de Saint Jean du Gard

## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28°C / 60%

### 1- Champ de vitesse d'air à différentes vitesses de fonctionnement

Lors de ces essais particuliers, les vitesses d'air aux 4 hauteurs par rapport au sol ont été mesurées à différentes distances par rapport au centre du brasseur (50 cm, 150 cm, 250 cm et 350 cm) à deux vitesses de fonctionnement (V2 et V3). La figure 7 présente les résultats obtenus :



**Figure 7 :** Mesures de vitesses d'air en fonction de la distance par rapport au centre du brasseur pour différentes hauteurs de mesure par rapport au sol à deux vitesses de fonctionnement

A la vitesse maximale de fonctionnement (V3), les vitesses maximales sont observées à 50 cm du centre du brasseur, ce qui correspond approximativement au pic de vitesse observé dans la zone d'influence directe situé sous le brasseur lors des mesures en laboratoire [11]. Dans cette zone, les vitesses d'air diminuent au fur et à mesure que le flux d'air descendant se rapproche du sol. Celles-ci varient entre 2,10 m/s à 1,70 m du sol et 0,71 m/s à 0,36 m. Les points mesurés entre 150 et 350 cm du centre du brasseur se situent en dehors de la zone d'influence directe, dans la zone de recirculation où les vitesses mesurées sont relativement homogènes pour les hauteurs de 60 cm, 120 cm et 170 cm au-dessus du sol. La vitesse moyenne mesurée sur l'ensemble de ces points est de 0,18 m/s avec un écart type de  $\pm 0,05$  m/s. Les points de mesures à 36 cm de hauteur se situent dans la zone de diffusion au sol où les vitesses sont sensiblement plus élevées, avec une vitesse moyenne mesurée de 0,40 m/s (écart type de  $\pm 0,08$  m/s).

Le même comportement est observé à vitesse 2. Les vitesses maximales observées en zone d'influence varient entre 0,63 m/s à 0,36 m du sol et 1,73 m/s à 1,70 m, soit **une diminution d'environ 20 % de la vitesse d'air en vitesse 2 par rapport à la vitesse 3**. En zone d'entraînement, pour les hauteurs comprises entre 60 cm et 170 cm, la vitesse moyenne mesurée est de 0,14 m/s avec un écart type de  $\pm 0,03$  m/s. Dans la zone de diffusion au sol ( $h = 36$  cm), les vitesses sont plus importantes, avec une vitesse moyenne de 0,30 m/s.

### 2- Influence du mobilier sur le champ de vitesse d'air

Ces essais particuliers ont pour objectif d'observer l'impact d'un élément de mobilier situé juste en dessous d'un brasseur. La table circulaire située initialement à proximité du brasseur a été utilisée à cette fin (diamètre = 120 cm, hauteur = 73 cm). Les essais ont été réalisés à la vitesse 3. La figure 8 présente les résultats obtenus :

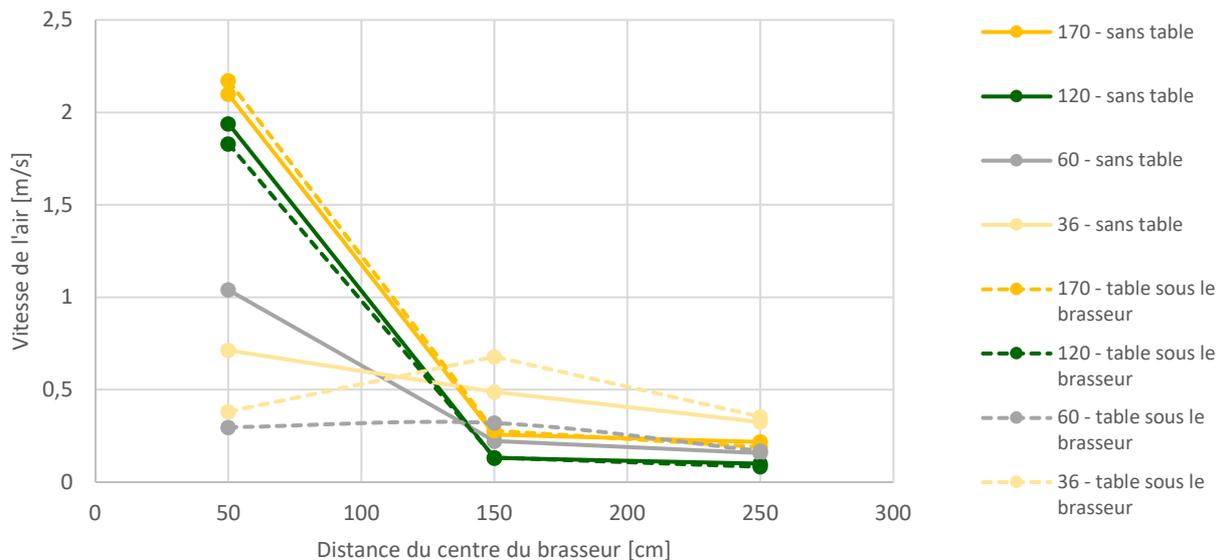
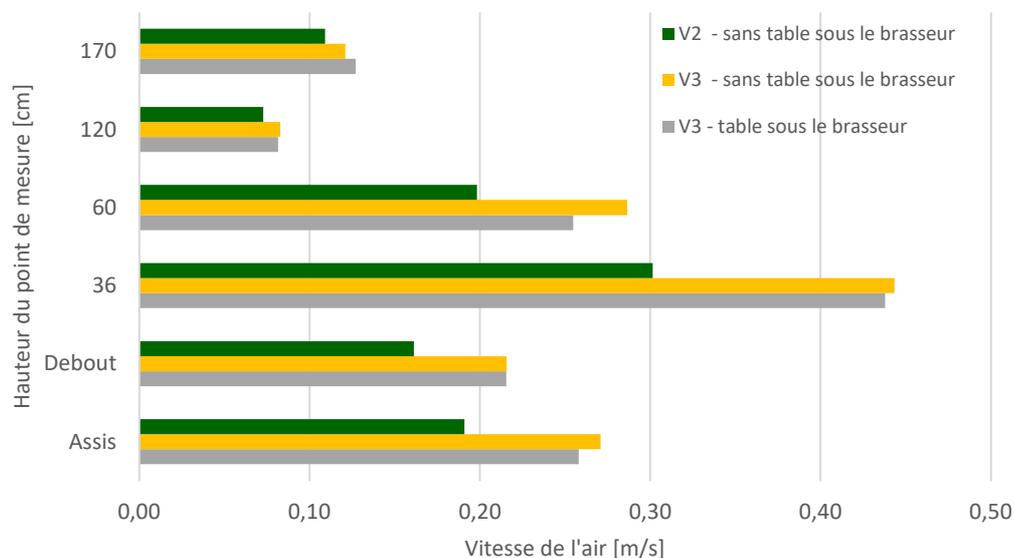


Figure 8 : Influence de la présence d'une table circulaire sous le brasseur sur le champ de vitesse

En zone d'influence directe, les vitesses d'air ne sont pas impactées pour les hauteurs de 120 cm et 170 cm. En revanche, les vitesses pour les hauteurs de mesures se situant sous le niveau de la table sont fortement réduites, le flux d'air étant dévié vers la périphérie au niveau du plateau de la table. Cette déviation du flux d'air entraîne une augmentation sensible de la vitesse d'air pour la position de mesure à 150 cm du centre du brasseur pour les hauteurs inférieures à la hauteur du plateau. A 2,5 m du centre du brasseur, cet effet particulier de la déviation du flux d'air n'est plus observé. **La présence d'une table sous le brasseur n'aura donc un effet positif sur la vitesse d'air, et donc sur l'amélioration du confort thermique, qu'en périphérie directe de celle-ci, c'est-à-dire seulement pour les utilisateurs qui y sont attablés, ce qui est en accord avec les résultats trouvés dans la littérature [20].**

### 3- Vitesses d'air ressenties au poste de travail identifié.

Bien que l'usage de cette salle en fasse un lieu dans lequel un brassage homogène serait souhaitable, il a été décidé d'effectuer un relevé de vitesses d'air au niveau du bureau de l'ergothérapeute, seul poste de travail fixe de cette pièce. Le trépied de mesure a été positionné de façon à représenter au mieux la vitesse d'air ressentie par l'ergothérapeute lorsqu'il est assis à son bureau. Ce point est situé à 2,83m du centre du brasseur et 0,68 m cm du mur le plus proche. La figure 9 représente les vitesses d'air mesurées aux différentes hauteurs ainsi que les vitesses d'air moyennes ressenties en posture assise et en posture debout pour les trois configurations étudiées : V3 avec et sans table sous le brasseur et V2 sans table sous le brasseur.



**Figure 9** : Vitesses d'air mesurées aux différentes hauteurs et ressenties dans les deux postures au niveau du bureau dans les différentes configurations étudiées.

Ces essais montrent que le passage de vitesse 3 à vitesse 2 diminue la vitesse d'air ressentie par l'utilisateur en position assise de 30 % au niveau du poste de travail, ce qui est essentiellement dû à la forte diminution des vitesses mesurées : - 32 % à 36 cm et -31 % à 60 cm. Cet effet est moindre en position debout (-25 %), les vitesses mesurées aux plus grandes hauteurs étant moins impactées : - 12 % à 120 cm et -10 % à 170 cm.

On observe également que les vitesses à 60 cm de hauteur sont plus importantes à proximité du bureau de l'ergothérapeute (situé à 2,83 m du brasseur) qu'au point de mesure situé à 2,5 m du brasseur mais éloigné de tout mobilier. En effet la vitesse mesurée à 60 cm de hauteur au niveau du bureau augmente de 0,16 m/s au point de mesure à 2,5 m à 0,29 m/s au point de mesure situé au bureau en vitesse 3 (+81 %) et de 0,13 m/s à 0,20 m/s en vitesse 2 (+ 54 %). Cette augmentation sensible des vitesses à cette hauteur à proximité du bureau peut s'expliquer par une déviation vers le haut du flux de diffusion au sol en présence d'un bureau. Cet effet entraîne par ailleurs une augmentation de la vitesse moyenne ressentie en position assise de 0,20 m/s en 2,50 m du brasseur à 0,27 m/s au niveau du bureau (+ 35 %).

Ces essais montrent par ailleurs, qu'à vitesse identique, la déviation du flux d'air générée par la table positionnée sous le brasseur n'a qu'un effet très limité (et compris dans l'écart-type) sur les valeurs de vitesses obtenues quel que soit la hauteur d'observation ou la posture. Cette observation est cohérente avec la conclusion de la section précédente restreignant l'influence d'une table positionnée sous un brasseur à sa périphérie directe.

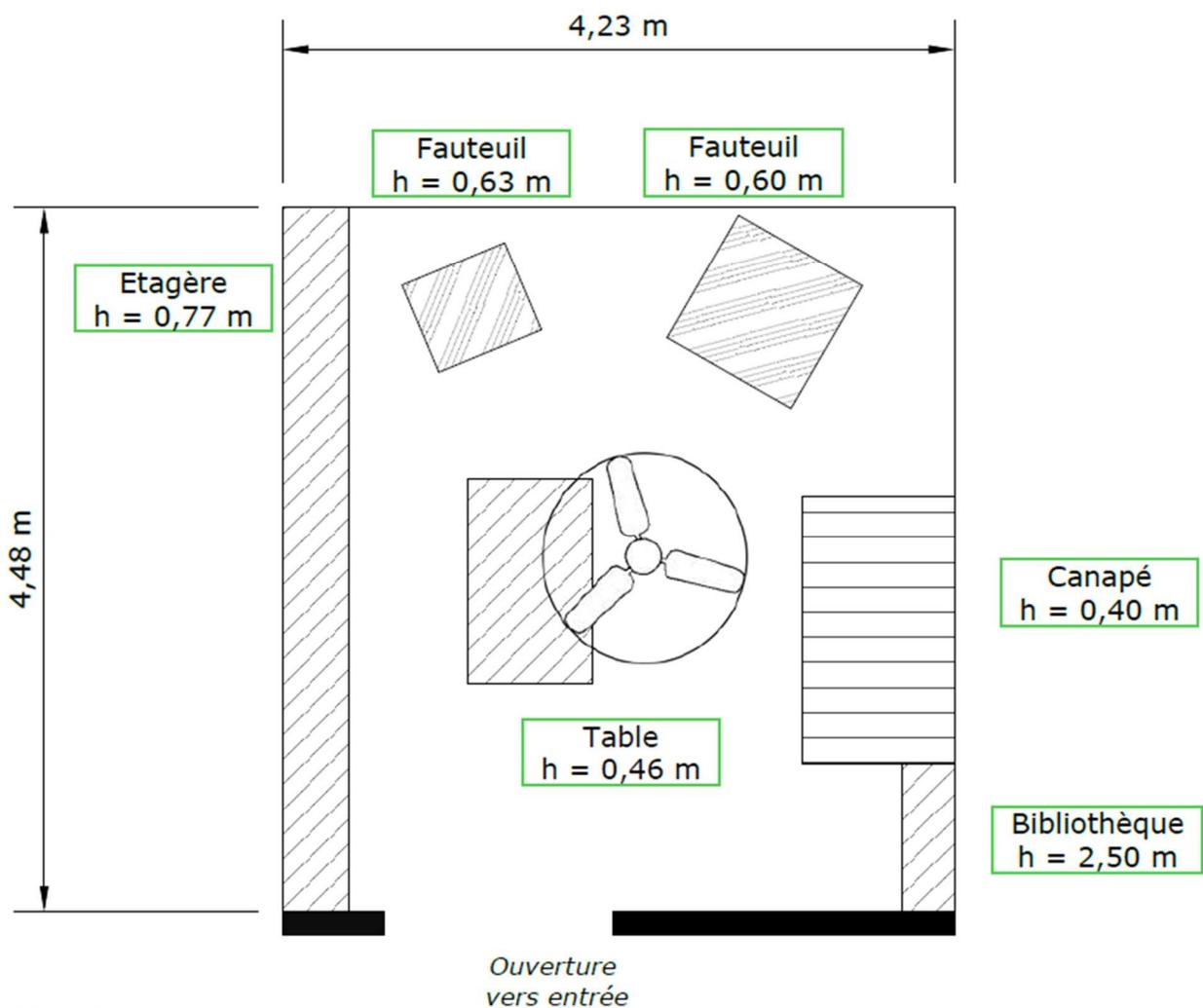
On observe enfin que, dans l'ensemble des configurations, **la vitesse ressentie quelle que soit la posture ne peut pas être décrite par une mesure à une hauteur unique étant donné la forte hétérogénéité des mesures aux différentes hauteurs**. Le critère d'homogénéité du champ de vitesse d'air donné par la norme ISO 7726 [17] oblige à avoir une différence entre les vitesses mesurées à chaque hauteur et la vitesse moyenne dans la posture considérée inférieure à deux fois la valeur de précision de l'anémomètre requise par cette norme (0,05 m/s), soit 0,10 m/s. Les écarts avec la moyenne en position assise sont respectivement de 0,17, 0,02 et 0,19 m/s à 36 cm, 60 cm et 120 cm et les écarts avec la moyenne en position debout sont respectivement de 0,23, 0,13 et 0,09 m/s à 36 cm, 120 cm et 170 cm, ce qui confirme l'hétérogénéité du champ de vitesse d'air au sens de la norme en présence d'un brasseur d'air, alors même que ce point de mesure est situé dans la zone de recirculation dans laquelle les vitesses sont les moins hétérogènes.

On constate toutefois que la vitesse moyenne ressentie en position assise est très proche de la vitesse mesurée à 60 cm, ce qui pourrait permettre d'envisager une unique mesure de vitesse à cette hauteur dans le cadre d'un protocole simplifié. Cette observation doit cependant être vérifiée sur l'ensemble des mesures de cette étude afin d'être confirmée et qu'une telle simplification puisse être proposée. Cette analyse sera proposée en fin de ce document dans le cadre des recommandations sur un protocole de mesures in-situ. Une telle proposition ferait toutefois sortir ces mesures du champ de la norme ISO 7726 et par extension de la norme ISO 7730 [21] relative à la qualité des ambiances thermiques intérieures ainsi que des normes de confort thermiques qui lui sont associées, l'ASHRAE 55 [18] et EN 16798 [21].

### 3.2 REX S-01 : APPARTEMENT – Salon

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salon au R+3	Surface de vitrage	5,94 m <sup>2</sup>
Typologie	Logement	Surface des ouvrants	4,75 m <sup>2</sup>
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	235 SW
Altimétrie du projet	31 m	Protections solaires	Balcon
Environnement	Urbain moyennement dense	Climatisation	Non
Surface utile	18,95 m <sup>2</sup>	Ventilation	Non
Volume	47,37 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Oui
Surface déper. Ext.	10,57 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Manuelle possible

#### PLANS



HSP = 2,50 m  
 BA = Hunter Industry II - 132

PHOTO



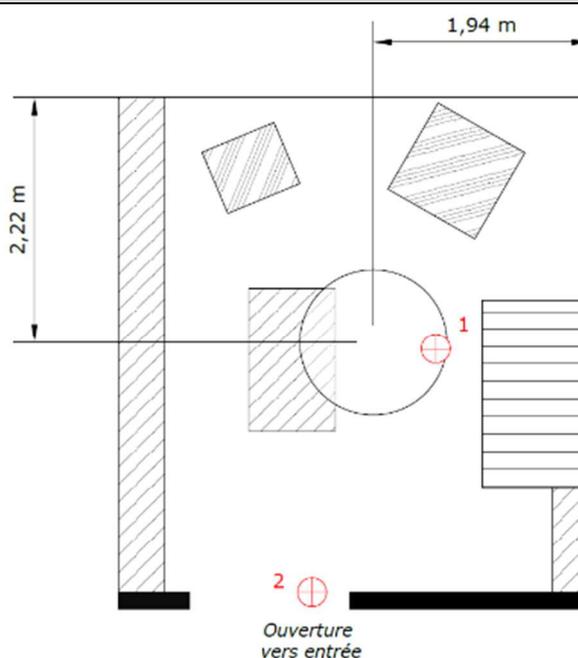
DESCRIPTION DU BRASSEUR

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Distance au mur	1,94 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficiency énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)	26,3	32,8	39



PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	25/08/2022
Durée de la mesure	Entre 10,9 et 39,3 min./pt
Nombre de points	2
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	32



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 27,5°C / 80%

Représentation des principaux résultats en plan :

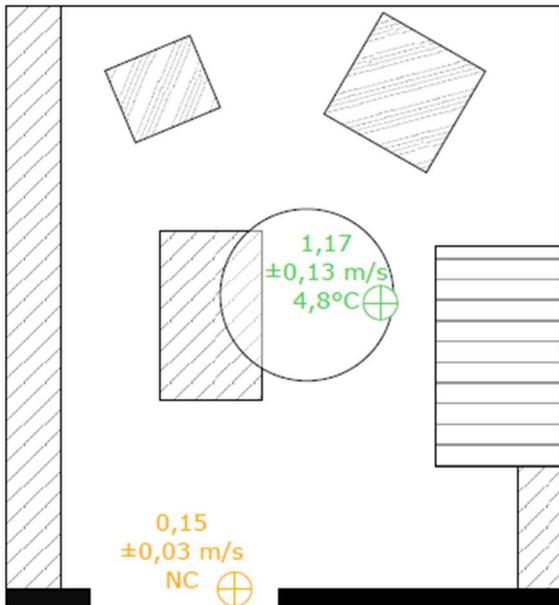


Figure Rex S-01-1 : Position debout – V2

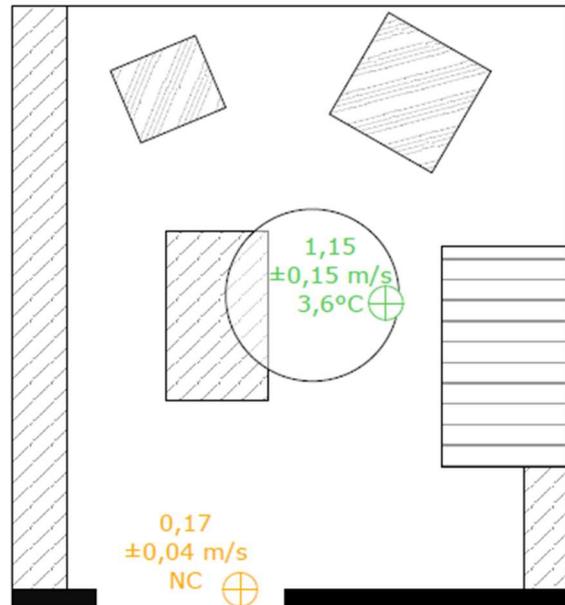


Figure Rex S-01-2 : Position assise – V2

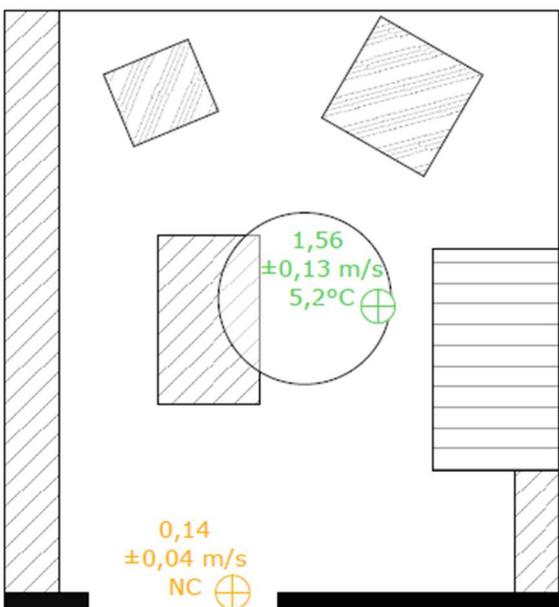


Figure Rex S-01-3 : Position debout – V3

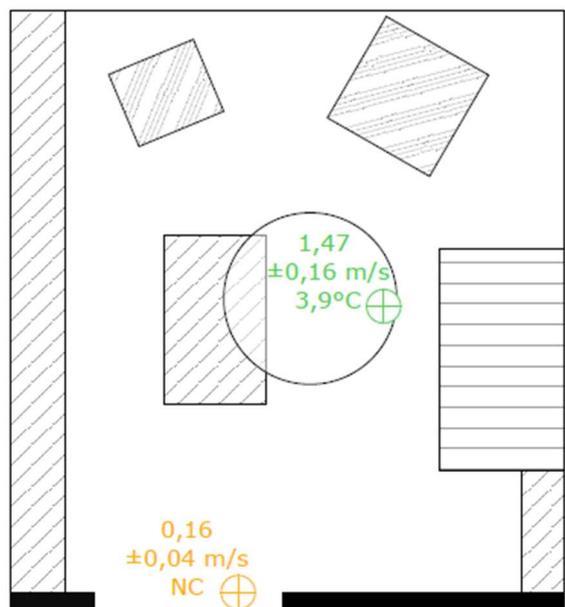


Figure Rex S-01-4 : Position assise – V3

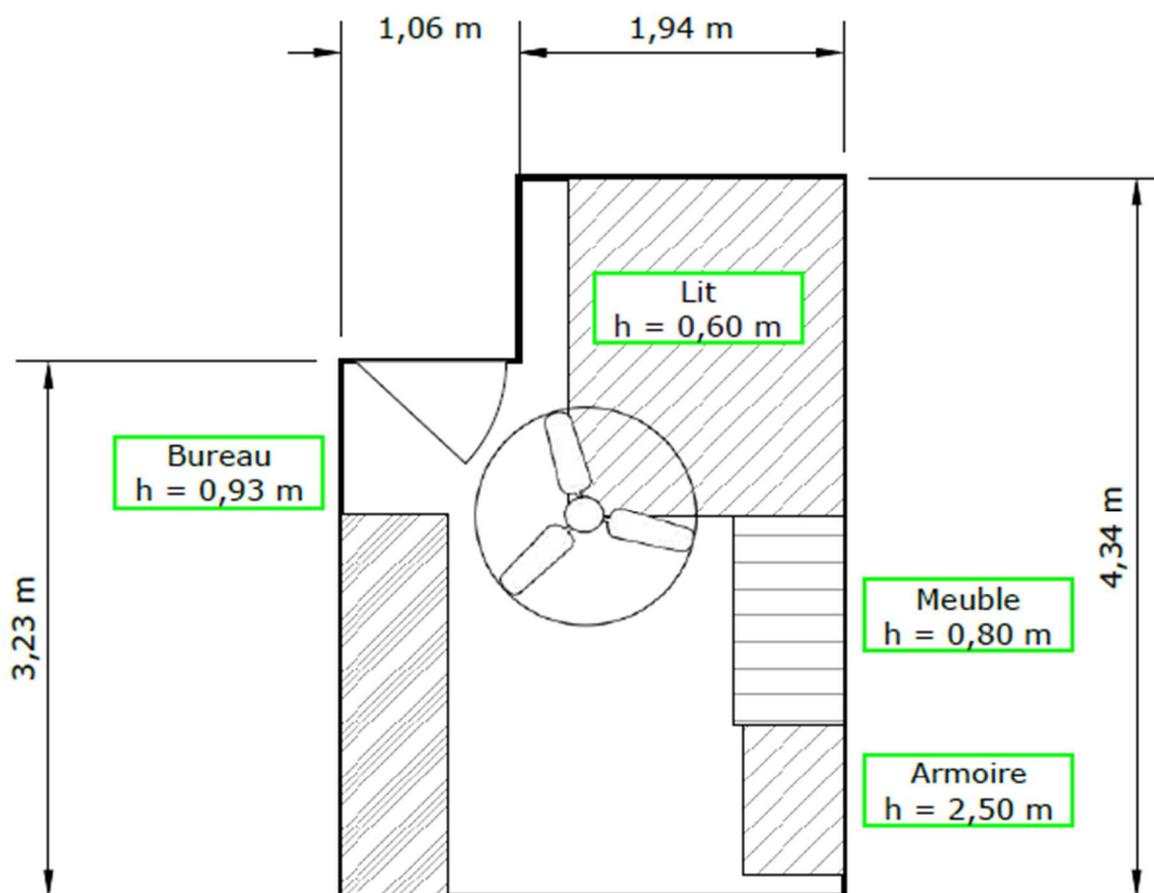
### Observations particulières :

- Une position de mesure a été choisie au niveau de l'ouverture vers l'entrée de l'appartement. Les vitesses d'air qui y sont mesurées sont très faibles quelles que soient la vitesse et la posture, ce qui semble indiquer que le courant d'air vers cette pièce contiguë est très limité.
- Diminution de la vitesse d'air de V3 à V2 = 21 % (assis) et 25 % (debout) sous le brasseur, pas d'impact au niveau de l'ouverture

### 3.3 REX S-02 : APPARTEMENT – Chambre

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Chambre au R+3	Surface de vitrage	2,20 m <sup>2</sup>
Typologie	Logement	Surface des ouvrants	2,20 m <sup>2</sup>
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	30 NE
Altimétrie du projet	31 m	Protections solaires	Non
Environnement	Urbain moyennement dense	Climatisation	Non
Surface utile	11,84 m <sup>2</sup>	Ventilation	Non
Volume	29,60 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Oui
Surface déper. Ext.	7,50 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Manuelle possible

#### PLANS



HSP = 2,50 m  
 BA = Hunter Industry II - 132

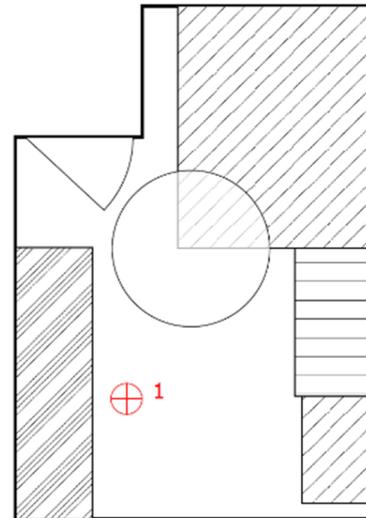
### DESCRIPTION DU BRASSEUR

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,14 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	10 cm		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficacité énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)	26,3	32,8	39



### PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	25/08/2022
Durée de la mesure	Entre 18,8 et 20,1 min./pt
Nombre de points	1
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	8



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28°C / 75%

Représentation des principaux résultats en plan : ±

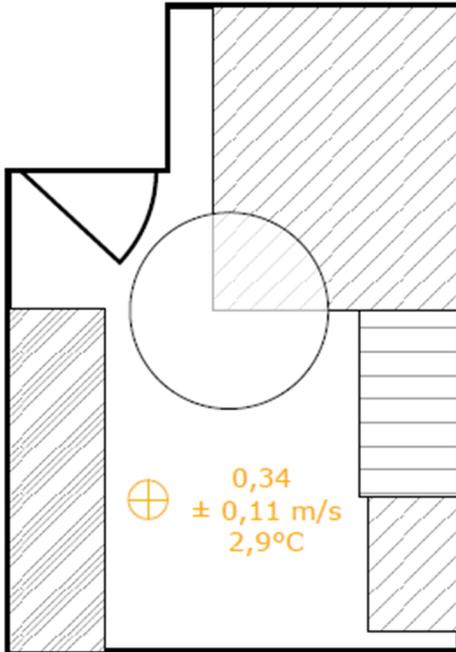


Figure Rex S-02-1 : Position debout – V2

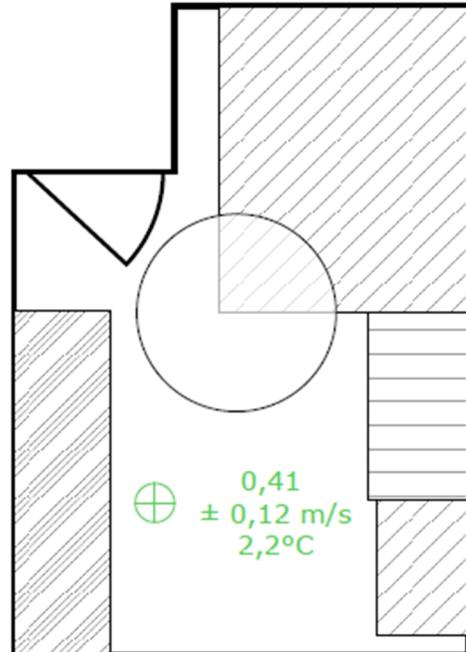


Figure Rex S-02-2 : Position assise – V2

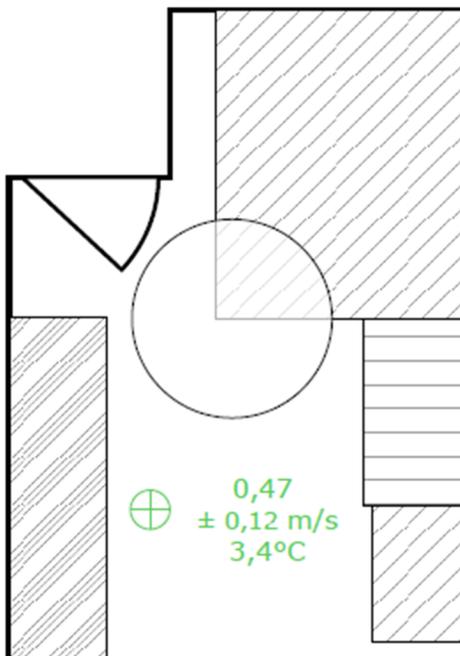


Figure Rex S-02-3 : Position debout – V3

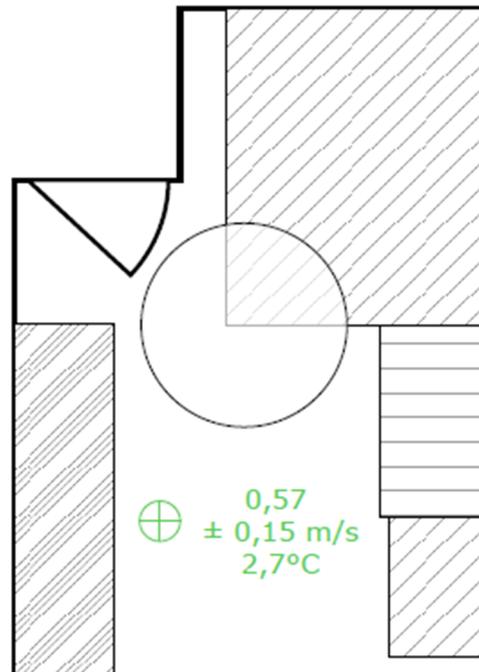


Figure Rex S-02-4 : Position assise – V3

Observations particulières :

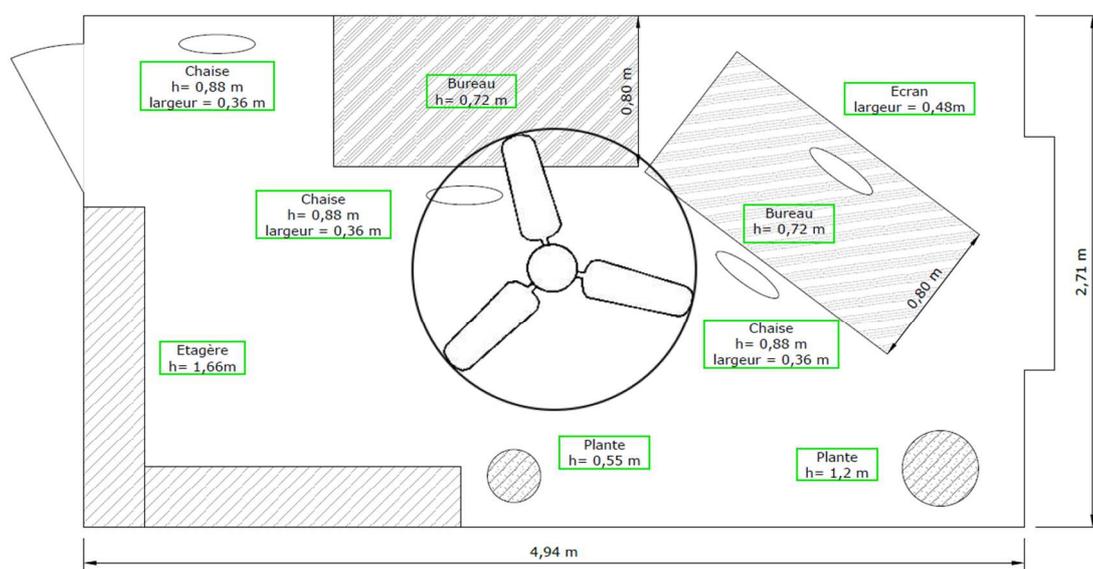
- Diminution de la vitesse de V3 à V2 = 28 % dans les deux postures

### 3.4 REX S-03 : BUREAU D'ETUDES – Bureau 2 postes

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Bureau 2 postes	Surface de vitrage	2,80 m <sup>2</sup>
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	2,24 m <sup>2</sup>
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	344° N
Altimétrie du projet	12 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	13,38 m <sup>2</sup>	Ventilation	Non
Volume	42,58 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Non
Surface déper. Ext.	8,61 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Non

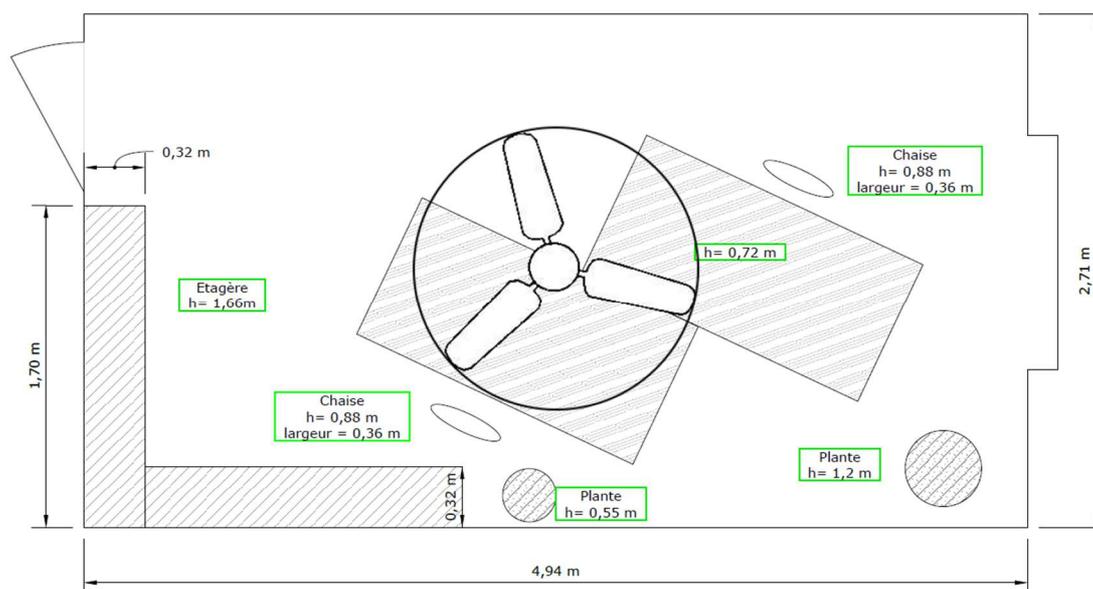
### PLANS

Plan avec mobilier de la campagne 1 :



BA : Hunter Industry II 150  
HSP = 3,18 m  
HSBA = 2,82 m

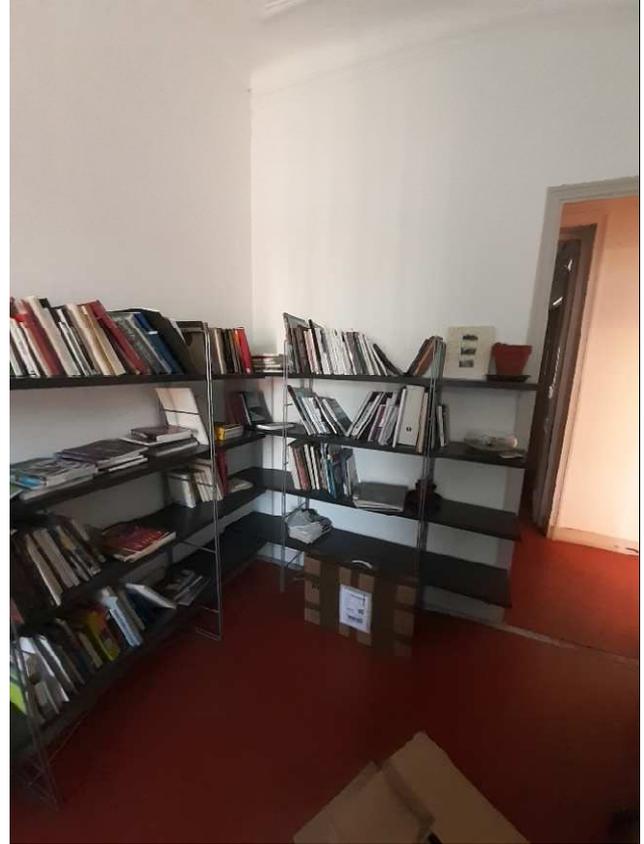
Plan avec mobilier de la campagne 2 :



PHOTO



*Vue côté fenêtre*



*Vue côté porte*

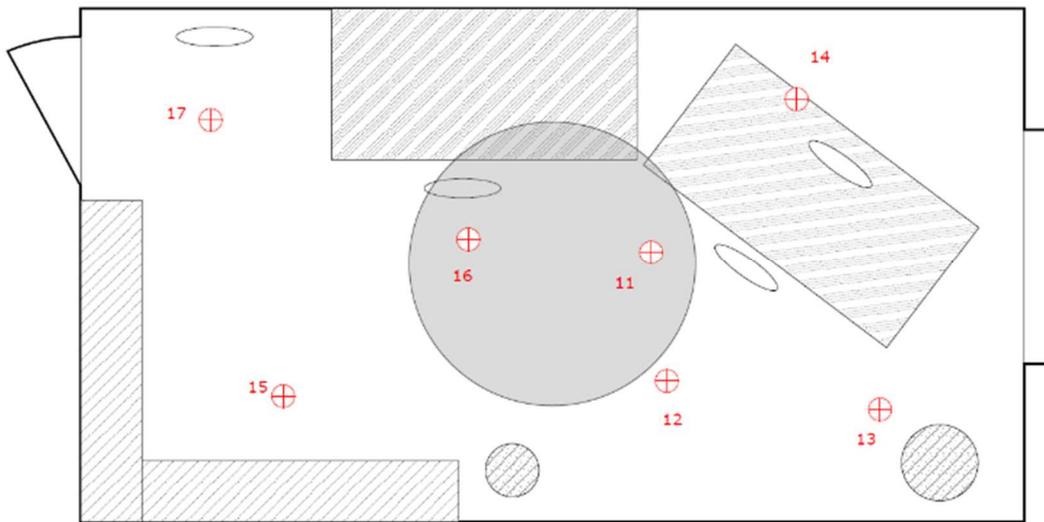
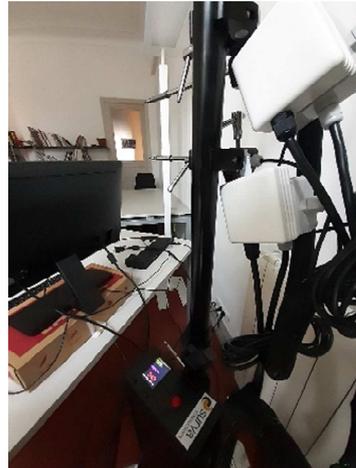
## DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Tribeca		
Diamètre	152 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur sous pales	2,82 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance mini. au mur	1,35 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande	Mobile		
Nombre de vitesses	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146
Débit (m <sup>3</sup> /h)	4078	7115	10340
Puissance absorbée (W)	16	38,5	72
Efficacité énergétique (m <sup>3</sup> /W/h)	261	185	144
Bruit (dBA)	-	-	-

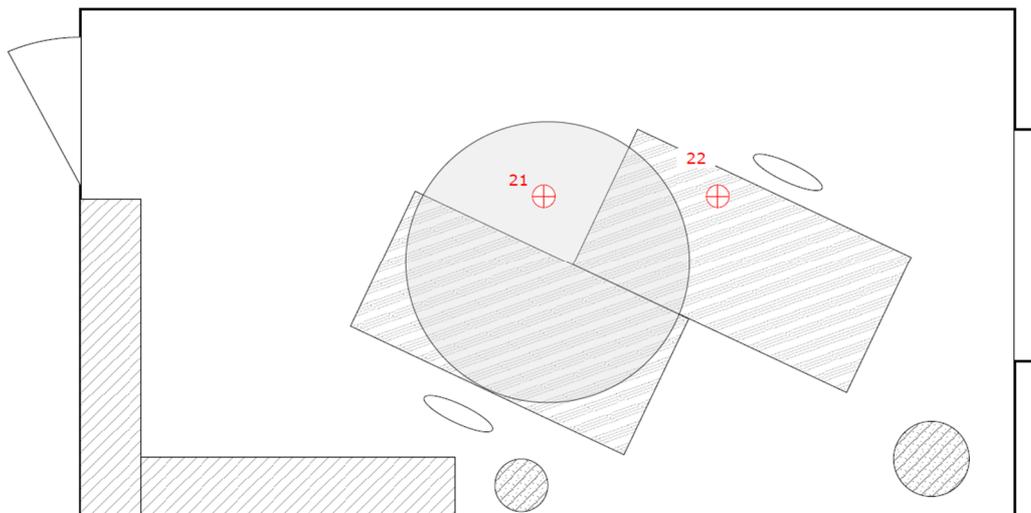


## PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1 et Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022 et 25/08/2022
Durée de la mesure	C1 : Entre 2 et 15min./pt. C2 : Entre 9,6 et 21,1min./pt.
Nombre de points	C1 : 7 C2 : 2
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	C1 : 70 C2 : 16



*Campagne 1*



*Campagne 2*

## RESULTATS

### 1- Première campagne

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 31°C / 70%

Représentation des principaux résultats en plan :

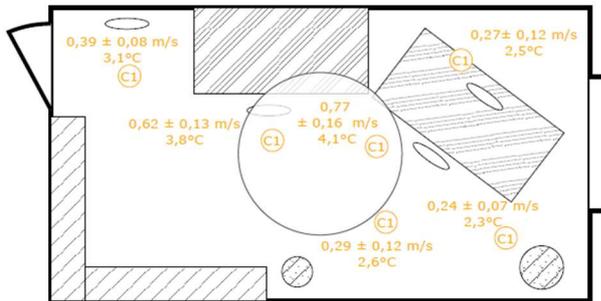


Figure Rex S-03-1 : Position debout – V2

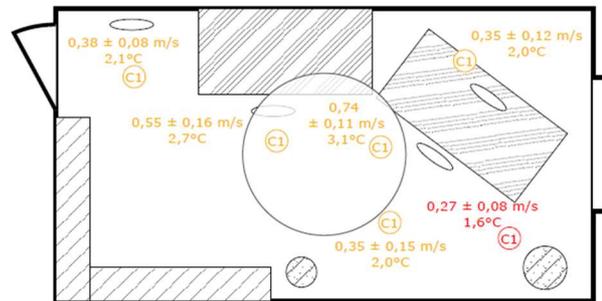


Figure Rex S-03-2 : Position assise – V2

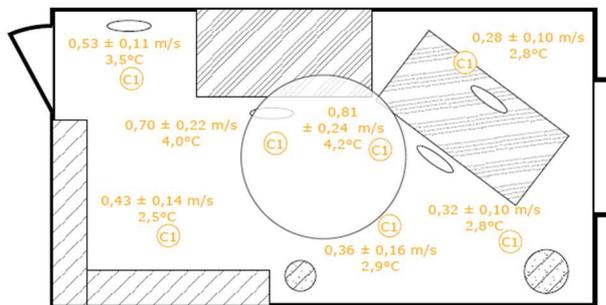


Figure Rex S-03-3 : Position debout – V3

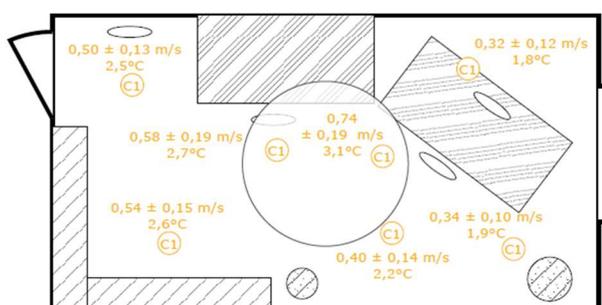


Figure Rex S-03-4 : Position assise – V3

### Observations particulières :

Il est difficile de dégager des tendances claires à l'analyse de ces mesures car l'échantillonnage de la mesure était trop lent lors de la première campagne pour obtenir des valeurs moyennes avec un intervalle de confiance satisfaisant. Plusieurs observations sont donc à relativiser au regard de l'écart type inhérent aux mesures de vitesses d'air en écoulement turbulent tel que celui rencontré en présence de brasseurs :

- Les différences de vitesses mesurées entre les deux positions choisies sous le brasseur sont comprises dans l'écart-type qui atteint jusqu'à  $\pm 0,24$  m/s dans le cas de plusieurs mesures, l'écart type moyen étant de  $\pm 0,23$  m/s en vitesse 3 et  $\pm 0,15$  m/s en vitesse 2 sur l'ensemble des 5 mesures réalisées à chaque position.
- La variation des vitesses d'air mesurées suite à la diminution de la vitesse de fonctionnement de V3 à V2 varie entre -46 % (point 13, h = 170 cm) et + 37 % (point 14, h = 36 cm), la valeur moyenne étant de -16 % sur l'ensemble des 30 valeurs mesurées.
- Les vitesses mesurées au point 17 (le plus proche de la porte) sont plus élevées que les autres vitesses mesurées aux autres points situés en zone de recirculation. Si cette observation peut être justifiée par un courant d'air dû à une mauvaise étanchéité à l'air, il nous est impossible d'en avoir la certitude alors même qu'il s'agit de la position où les écarts types sont les plus faibles (0,1 m/s), ce qui tendrait à montrer un écoulement plus laminaire. Une mesure à brasseur immobile a été réalisée au centre de la pièce et a conduit à une valeur de vitesse de 0,06 m/s, ce qui ne permet pas de montrer ou d'infirmer l'existence d'un courant d'air extérieur au niveau de la porte

A l'issue de cette première campagne d'essai, ces observations ont conduit à modifier la fréquence des mesures en passant de 1 mesure par minutes à 1 mesure toutes les 7 secondes afin de pouvoir augmenter l'exactitude des mesures réalisées sans trop augmenter la durée d'acquisition. Le critère d'exactitude défini pour les essais en laboratoire a été utilisé afin de valider les durées d'acquisition lors de la seconde campagne d'essai.

## 2- Seconde campagne

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28,5°C / 65%

Représentation des principaux résultats en plan :

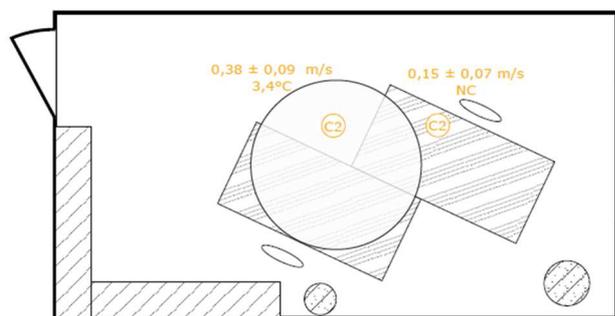


Figure Rex S-03-5 : Position debout – V1

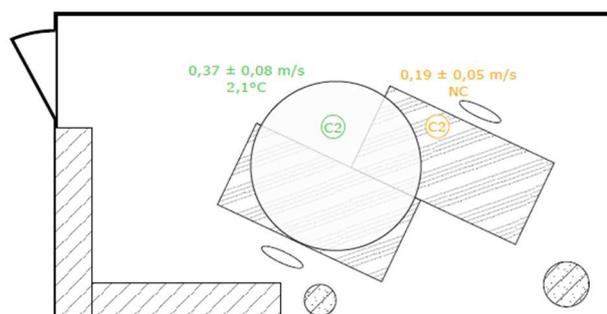


Figure Rex S-03-6 : Position assise – V1

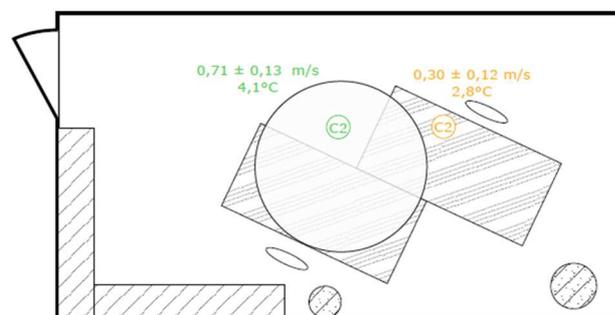


Figure Rex S-03-7 : Position debout – V3

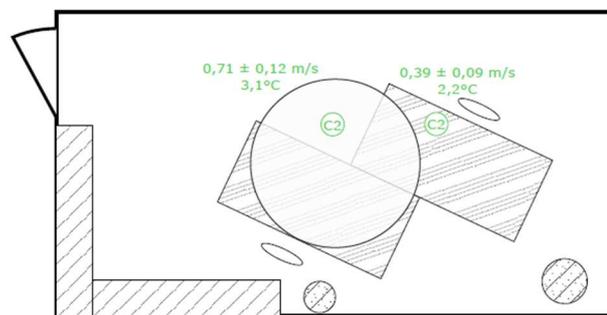


Figure Rex S-03-8 : Position assise – V3

### Observations particulières :

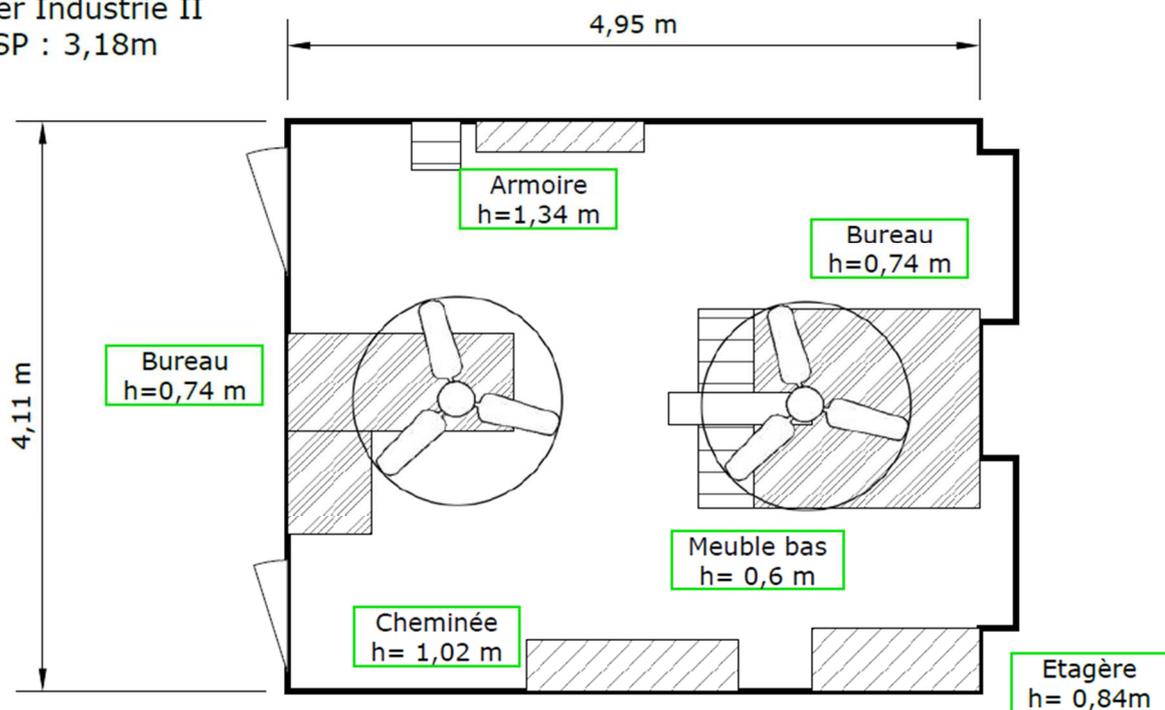
- Le mobilier du bureau a été déplacé entre les deux campagnes, il est donc difficile de comparer les mesures.
- Suite à une erreur de l'opérateur, les mesures ont été réalisées en vitesse 1 au lieu d'être réalisées en vitesse 2, ce qui empêche de vérifier le pourcentage de diminution de la vitesse lors du passage de V3 à V2.
- Les vitesses obtenues à la vitesse 3 sont similaires à celles obtenues lors de la première campagne.
- Pour les mesures sous le brasseur en vitesse 3, les écarts types sont plus faibles dans cette seconde campagne (entre  $\pm 0,11$  et  $\pm 0,15$  m/s selon les hauteurs pour un écart type moyen de  $\pm 0,12$  m/s) que lors de la première campagne (entre  $\pm 0,14$  et  $\pm 0,29$  m/s selon les hauteurs pour un écart type moyen de  $\pm 0,23$  m/s). Cela montre que l'augmentation de la fréquence d'échantillonnage permet de mieux rendre compte de la distribution des valeurs de vitesses qui, comme montré lors des études en laboratoire [11], suit une loi normale autour de la moyenne. L'obtention de valeurs extrêmes sur un échantillon limité pouvant fausser aussi bien la moyenne ou l'écart-type de la distribution.
- Le passage de V3 à V1 entraîne une diminution de la vitesse d'air ressentie de 45 % sous le brasseur (variant entre 42 et 49 % selon les hauteurs de mesures) et de 50 % au niveau du bureau (variant entre 50 et 53 % selon les hauteurs de mesures).

### 3.5 REX S-04 : BUREAU D'ETUDES – Bureau 3 postes

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Bureau 3 postes	Surface de vitrage	5,60 m <sup>2</sup>
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	4,48 m <sup>2</sup>
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	344° N
Altimétrie du projet	12 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	20,35 m <sup>2</sup>	Ventilation	Non
Volume	64,70 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Non
Surface déper. Ext.	13,07 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Non

### PLANS

Hunter Industrie II  
HSP : 3,18m



La lampe centrale à une hauteur maximale de 1,88m

PHOTO



Vue côté fenêtre



Vue côté porte

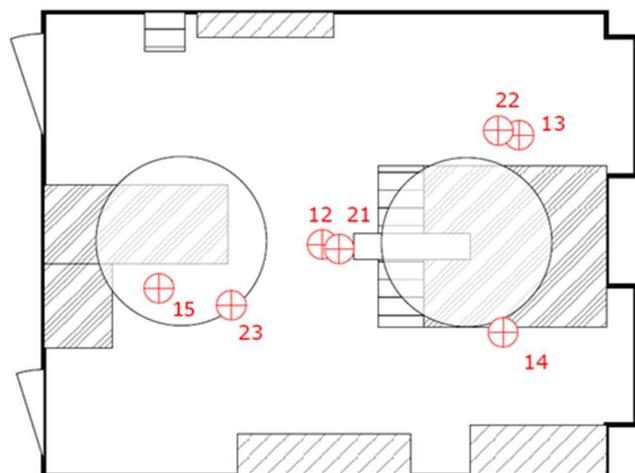
DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	2		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	152 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur sous pales	2,82 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance mini. au mur	1,21 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande	Mobile		
Nombre de vitesse	3		
Vitesses	V1	V2	V3
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146
Débit (m <sup>3</sup> /h)	4078	7115	10340
P max	16	38.5	72
Efficacité énergétique (m <sup>3</sup> /W/h)	261	185	144
Bruit (dBA)	-	-	-



PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1 et Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022 et 25/08/2022
Durée de la mesure	C1 : Entre 3 et 6min./pt. C2 : Entre 5,7 et 17,7min./pt
Nombre de points	8
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	C1 : 30 C2 : 24



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure :

- C1 : 31°C / 70%
- C2 : 29,5°C / 60%

Représentation des principaux résultats en plan :

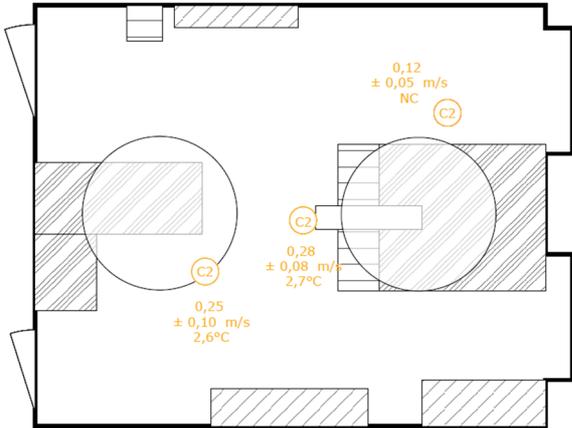


Figure Rex S-04-1 : Position debout – V1

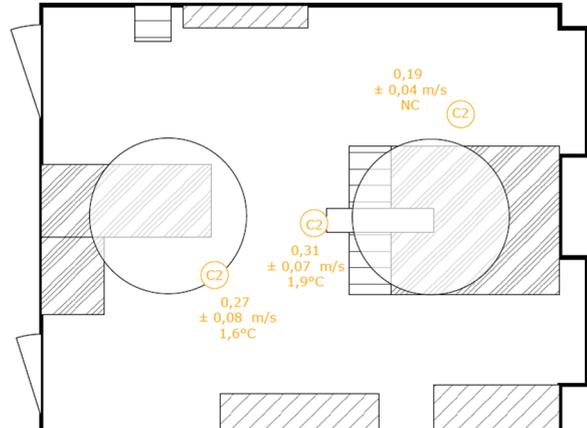


Figure Rex S-04-2 : Position assise – V1

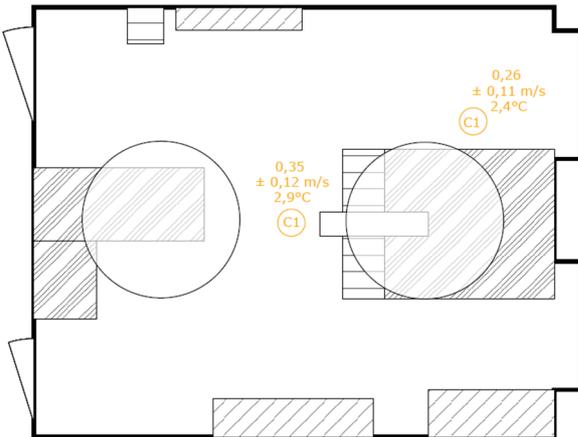


Figure Rex S-04-3 : Position debout – V2

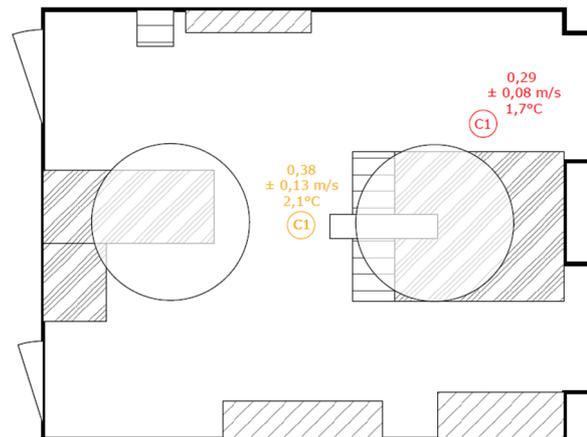


Figure Rex S-04-4 : Position assise – V2

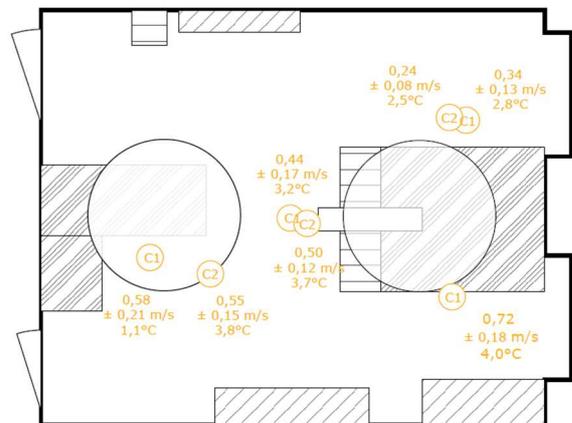


Figure Rex S-04-5 : Position debout – V3

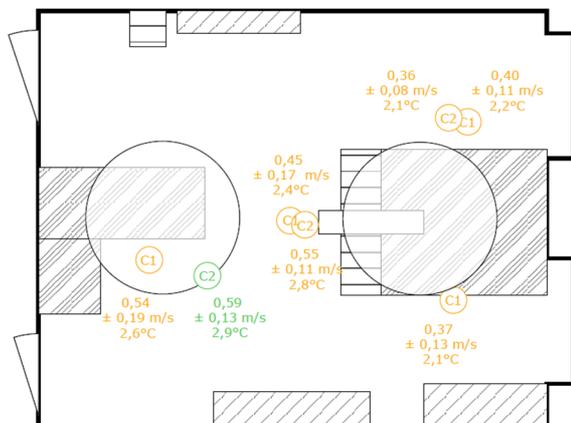


Figure Rex S-04-6 : Position assise – V3

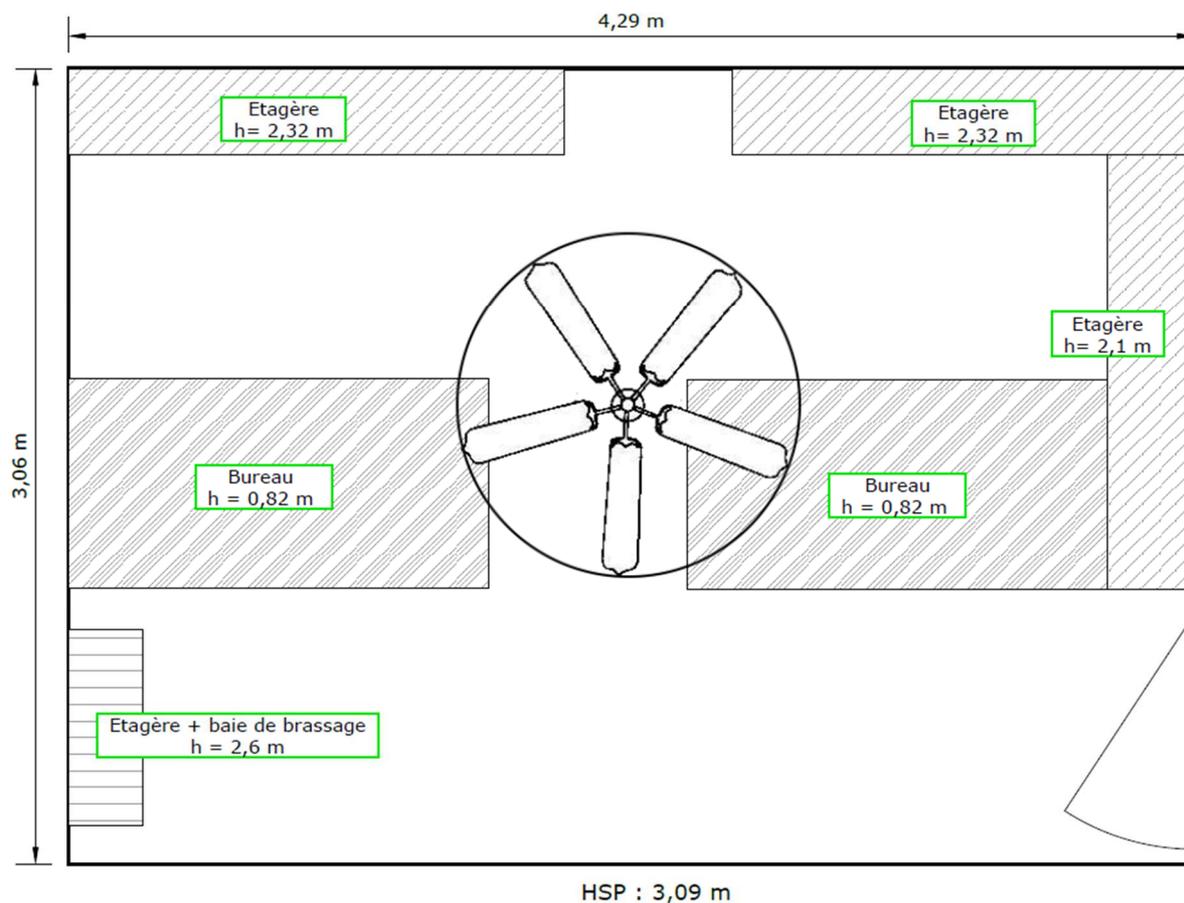
**Observations particulières :**

- Pour les raisons énoncées dans le REX S-03, les essais de la campagne 1 peuvent présenter des écarts-types importants explicables par un échantillonnage de la mesure inadapté. On observe encore que la nouvelle fréquence d'échantillonnage permet d'obtenir des écarts types plus faibles (compris entre 0,08 m/s et 0,21 m/s selon les mesures lors de la campagne et entre 0,04 m/s et 0,15 m/s lors de la campagne 2), signifiant une mesure plus exacte car moins aléatoire.
- Suite à une erreur de l'opérateur, les essais de la campagne 2 ont été effectués en vitesse 1 au lieu de vitesse 2.
- La diminution de la vitesse d'air ressentie dans chaque posture lors du passage de V3 à V1 est de 44 % entre les brasseurs et de 51 % au niveau des deux bureaux. La diminution de la vitesse d'air ressentie dans chaque posture lors du passage de V3 à V2 est de 22 % au niveau des deux bureaux.
- Pour chaque vitesse de fonctionnement, les vitesses d'air ressenties dans chaque posture sont relativement uniformes sur l'ensemble de positions en zone de recirculation.
- Les points situés entre les brasseurs ne présentent globalement pas de valeurs de vitesses plus élevées que dans le reste de la zone d'entraînement.
- Au point 14, il est observé une valeur de vitesse moyenne très élevée pour la position 'debout'. Ceci est lié à des vitesses mesurées au-dessus du plan du bureau élevées (à 1,70m de hauteur : 1,30 m/s - à 1,32m de hauteur : 0,64 m/s). Ce constat peut s'expliquer par la surface des deux bureaux accolés qui est importante (elle recouvre la surface du brasseur) et devient ainsi la nouvelle surface d'impact. La hauteur sous brasseur se voit par conséquent réduite et le comportement du flux d'air modifié. Le fait qu'il n'est pas constaté les mêmes valeurs au point 13 peut s'expliquer par le sens de rotation du brasseur.

### 3.6 REX S-05 : ONG – Bureau 2 postes

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Bureau	Surface de vitrage	3,52 m <sup>2</sup>
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	3,00 m <sup>2</sup>
Localisation	Aubagne (13)	Orientation menuiseries	319 NW
Altimétrie du projet	205 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	13,12 m <sup>2</sup>	Ventilation	NR
Volume	40,56 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Non
Surface déper. Ext.	9,45 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Non

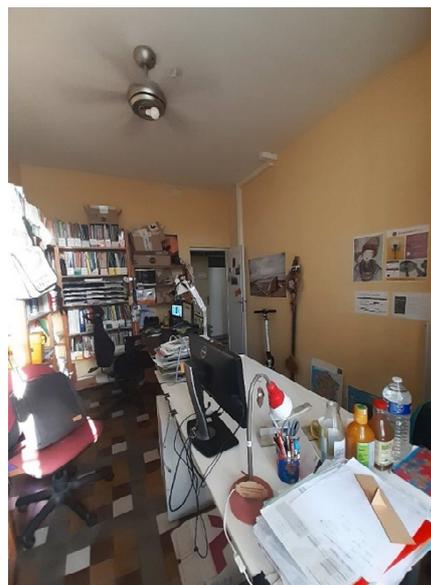
### PLANS



## PHOTOS



*Vue côté fenêtre*



*Vue côté porte*

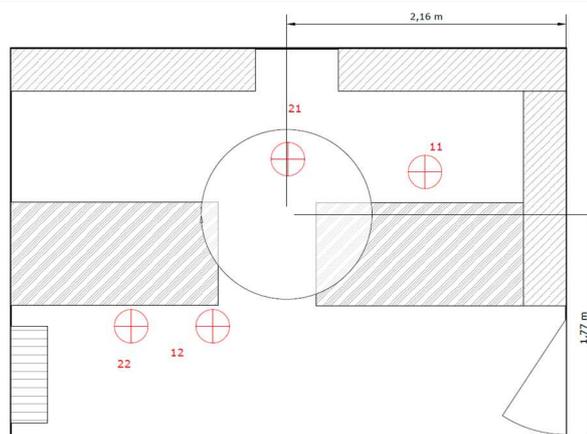
## DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	TRISTAR		
Modèle	VE-5815		
Diamètre	112 cm		
Nbre. De pales	5		
Hauteur de pales	2,67 m		
Distance pales/plafond	42 cm		
Distance au mur	1,29 m		
Réversible été/hiver	Non		
Eclairage intégré	Oui		
Commande	Mobile		
Nombre de Vitesse	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	-	-	-
Débit (m <sup>3</sup> /h)	-	-	6 155
Puissance absorbée (W)	-	-	45,6
Efficacité énergétique (m <sup>3</sup> /W/h)	-	-	132,6
Bruit (dBA)	-	-	45.2



## PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1 & Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022 & 25/08/2022
Durée de la campagne	C1 : entre 4 et 6 min./pt. C2 : entre 6,4 et 17,5 min./pt.
Nombre de points	4
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	C1 : 10 C2 : 16



## RESULTATS

### Conditions d'ambiance lors de la mesure :

- C1 : 30,5°C / 65%
- C2 : 27,5°C / 60%

### Représentation des principaux résultats en plan :

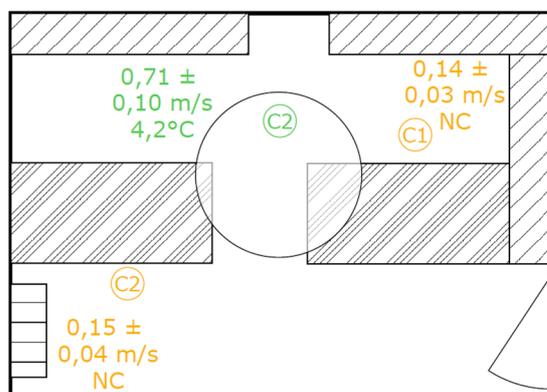


Figure Rex S-05-1 : Position debout – V2

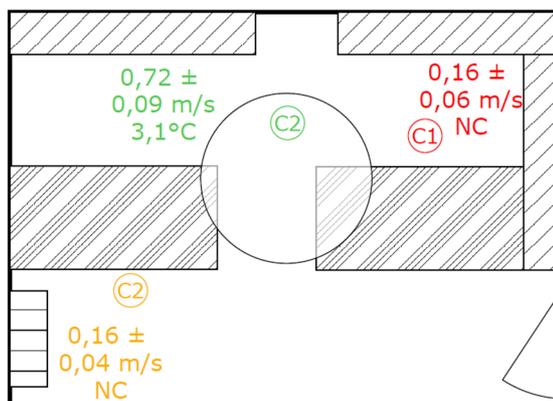


Figure Rex S-05-2 : Position assise – V2

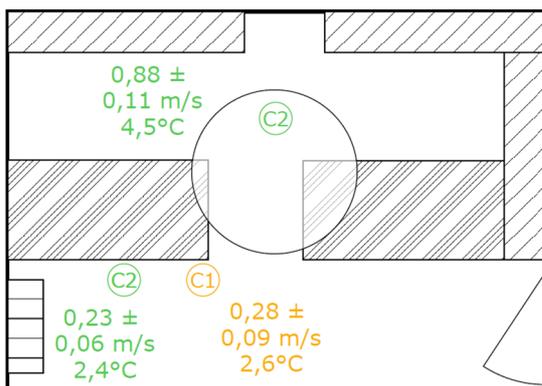


Figure Rex S-05-3 : Position debout – V3

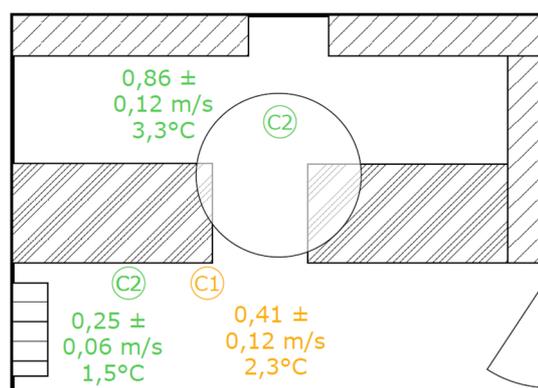
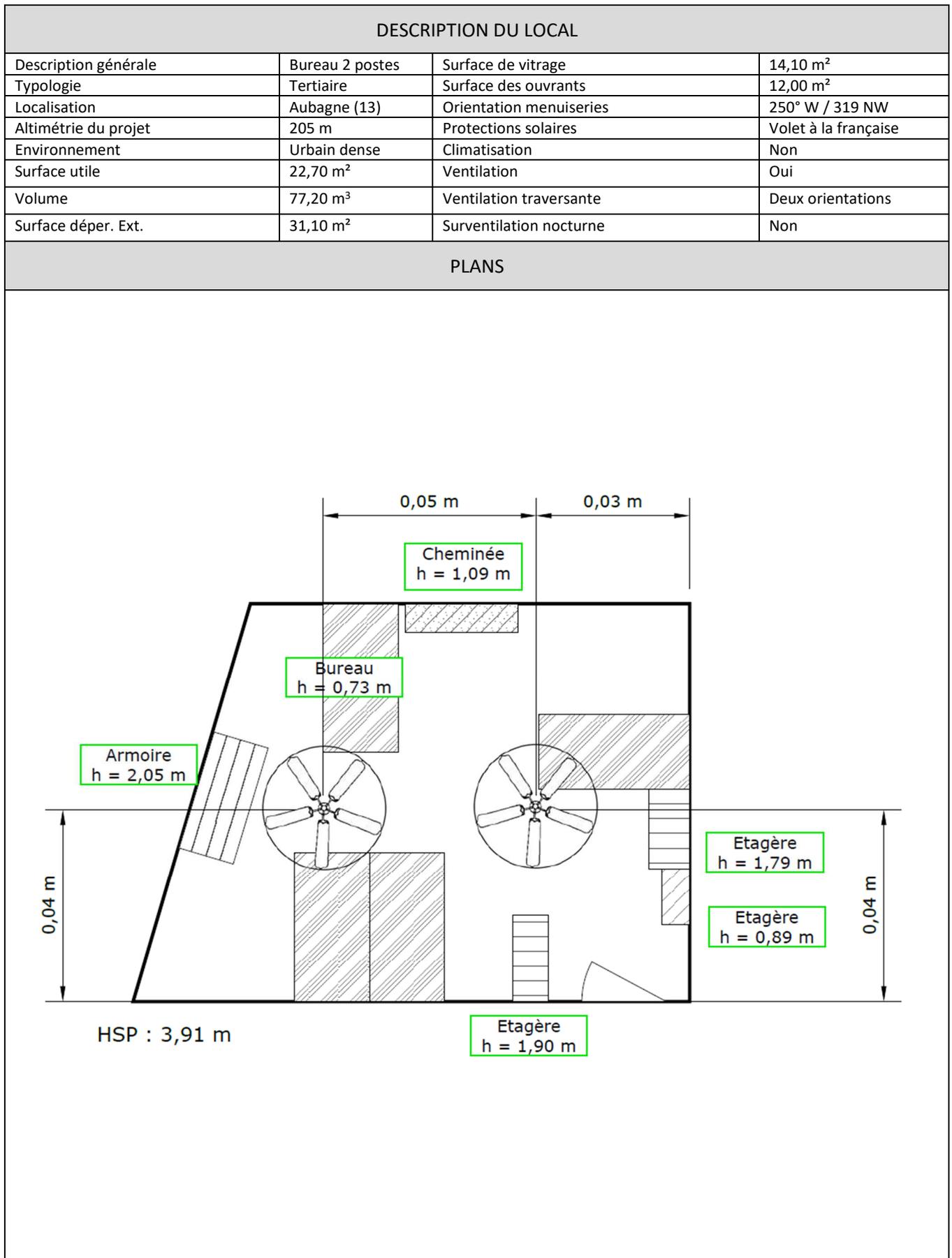


Figure Rex S-05-4 : Position assise – V3

### Observations particulières :

- La diminution de vitesse de V3 à V2 conduit à une diminution des vitesses d'air ressenties sous le brasseur (position de mesure 21) de l'ordre de 20 % et varie entre 10 et 28 % selon les hauteurs.
- La diminution de vitesse de V3 à V2 en zone de recirculation ne peut être observée qu'au point 22. Elle conduit à une diminution des vitesses d'air ressenties de l'ordre de 35 % (entre 27 et 39 % selon les hauteurs)
- A vitesse 2, les vitesses d'air ressenties au niveau de chaque bureau sont quasiment égales, ce qui s'explique par une configuration très symétrique. Seuls les points de mesure proches du sol (36 cm) présentent des valeurs de vitesse différentes à ces deux positions. Ceci pourrait s'expliquer par des obstacles spécifiques en amont des positions de mesure.
- A vitesse 3, les deux points de mesures au niveau du bureau (point 12 et 22) présentent des vitesses mesurées à 36 cm et 60 cm très différentes, ce qui conduit à des vitesses ressenties en position assise très différentes. Au niveau du point 12, les vitesses mesurées sont en effet plus importantes (0,49 m/s à 60 cm et 0,58 m/s à 36 cm) car il se situe dans la zone d'élargissement du flux d'air descendant avant la zone de diffusion au sol (phénomène décrit dans l'étude des mesures en laboratoire [11]). Le point 22, se trouvant un peu plus loin, est dans la zone de diffusion au sol où seule la vitesse à 36 cm est plus élevée que les autres (0,16 m/s à 60 cm et 0,37 m/s à 36 cm).

### 3.7 REX S-06 : ONG – Bureau 4 postes



## PHOTOS



*Vue côté fenêtre*



*Vue côté porte*

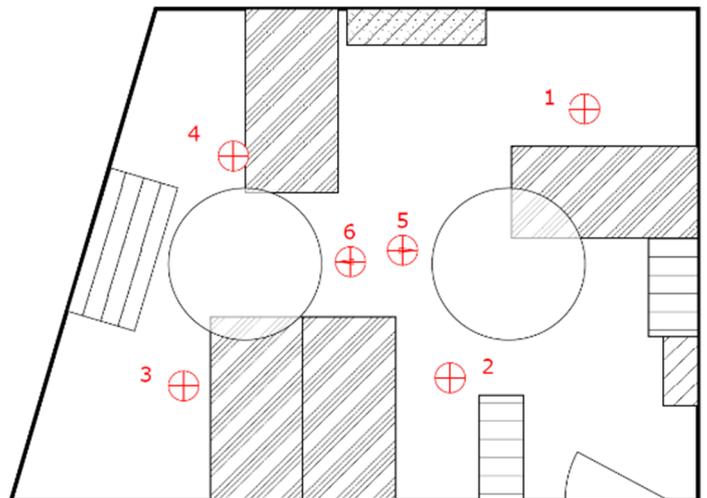
## DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	TRISTAR		
Modèle	VE-5815		
Diamètre	112 cm		
Nbre. De pales	5		
Hauteur de pales	3,49 m		
Distance pales/plafond	42 cm		
Distance au mur	1,63 m		
Réversible été/hiver	Non		
Eclairage intégré	Oui		
Commande	Mobile		
Nombre de Vitesse	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	-	-	-
Débit (m³/h)	-	-	6 155
Puissance absorbée (W)	-	-	45,6
Efficacité énergétique (m³/W/h)	-	-	132,6
Bruit (dBA)	-	-	45.2



## PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022
Durée de la campagne	Entre 2 et 6 min./pt.
Nombre de points	6
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	25



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 30°C / 65%

Représentation des principaux résultats en plan :

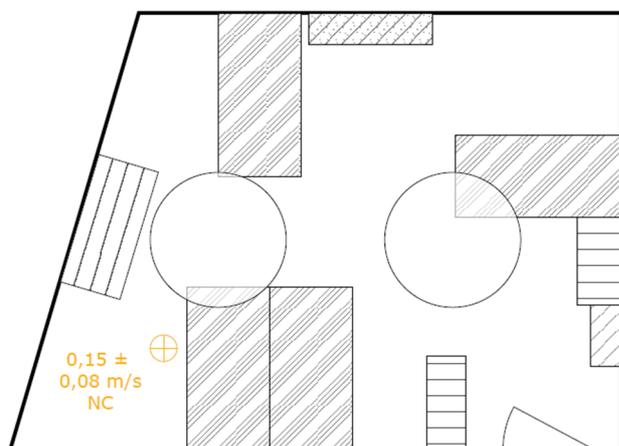


Figure Rex S-06-1 : Position debout – V2

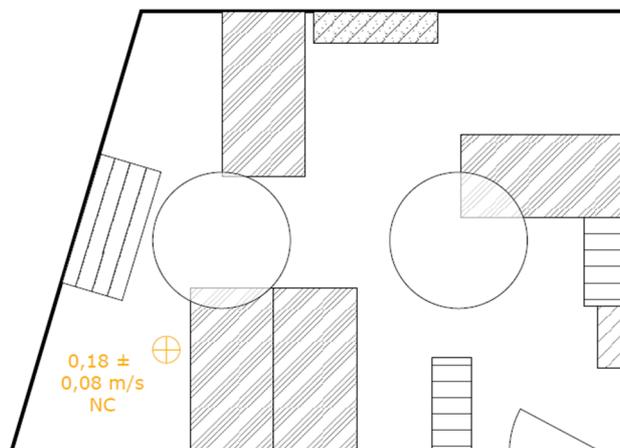


Figure Rex S-06-2 : Position assise – V2

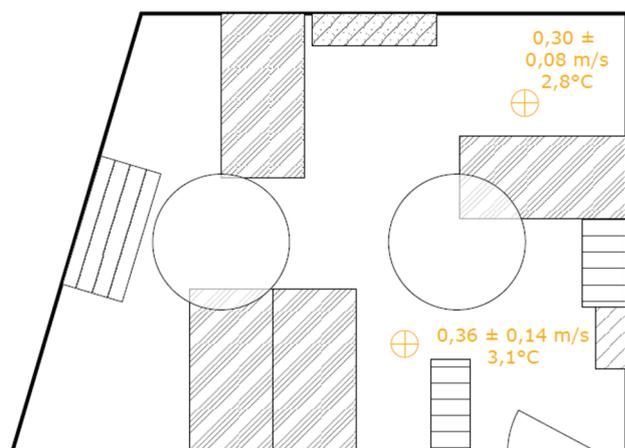


Figure Rex S-06-3 : Position debout – V3

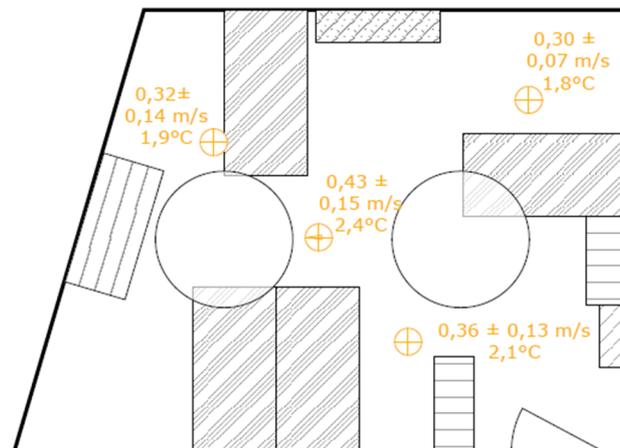


Figure Rex S-06-4 : Position assise – V3

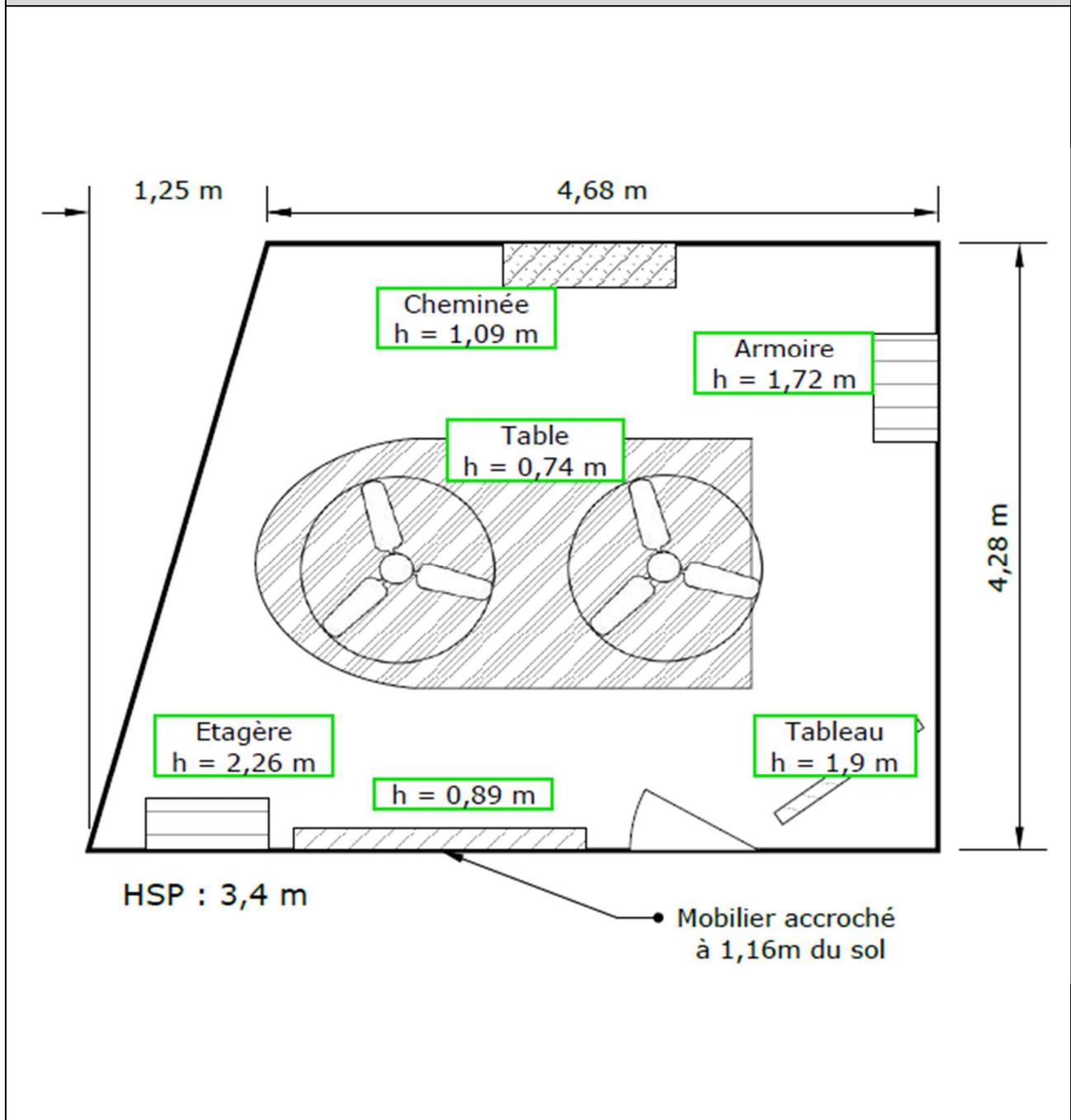
### Observations particulières :

- Suite à un problème matériel au niveau de l'interface d'acquisition, la plupart des mesures effectuées en vitesse 2 lors de cette campagne ne sont pas exploitables. Par ailleurs, l'anémomètre à 170 cm a été défectueux à partir du point de mesure n°3, c'est pourquoi une partie des vitesses ressenties en position debout n'ont pas pu être exprimées.
- En zone d'entraînement, quel que soit la position de mesure (excepté le point entre les brasseurs où la vitesse est plus élevée), les vitesses ressenties dans les deux postures sont très semblables.

### 3.8 REX S-07 : ONG – Salle de réunion

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salle de réunion	Surface de vitrage	14,10 m <sup>2</sup>
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	12,00 m <sup>2</sup>
Localisation	Aubagne (13)	Orientation menuiseries	250° W / 319 NW
Altimétrie du projet	205 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	22,70 m <sup>2</sup>	Ventilation	Oui
Volume	77,20 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Deux orientations
Surface déper. Ext.	31,10 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Non

### PLANS



## PHOTOS



Vue de la partie Ouest



Vue de la partie Nord-Ouest

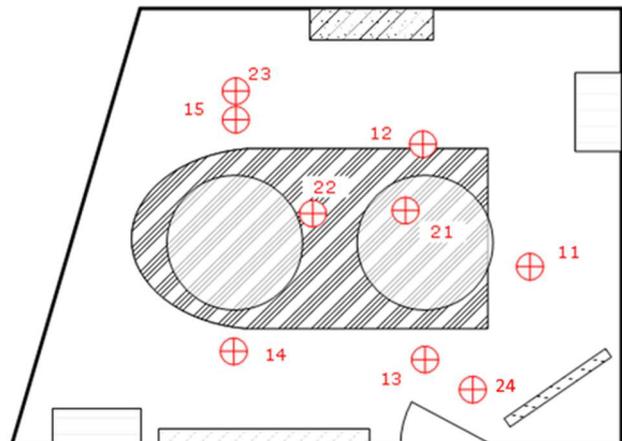
## DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	2		
Marque	INSPIRE		
Modèle	PMC52-3-1L		
Diamètre	112 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,94 m		
Distance pales/plafond	46 cm		
Distance mini. au mur	1,53 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Oui		
Commande	Mobile		
Nombre de vitesses	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	-	-	-
Débit (m <sup>3</sup> /h)	-	-	9450
Puissance absorbée (W)	-	-	55
Efficiencé énergétique (m <sup>3</sup> /W/h)	-	-	170
Bruit (dBA)	-	-	< 47,7



## PROTOCLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1 & Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022 & 25/08/2022
Durée de la mesure	C1 : Entre 3 et 5min./pt C2 : Entre 6,2 et 25,8min./pt
Nombre de points	8
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	C1 : 35 C2 : 32



## RESULTATS

### Conditions d'ambiance lors de la mesure :

- C1 : 31°C / 65%
- C2 : 26,5°C / 60%

### Représentation des principaux résultats en plan :

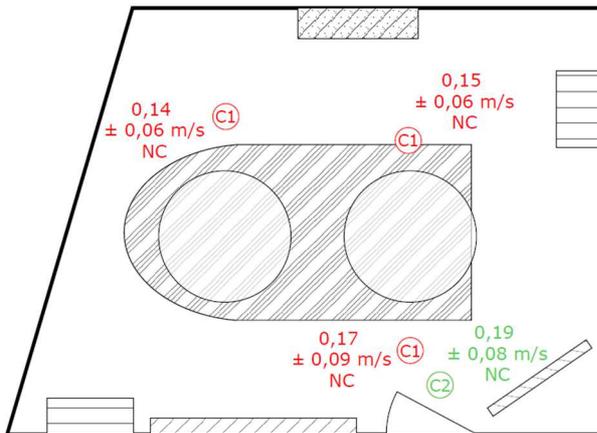


Figure Rex S-03-1 : Position debout – V2

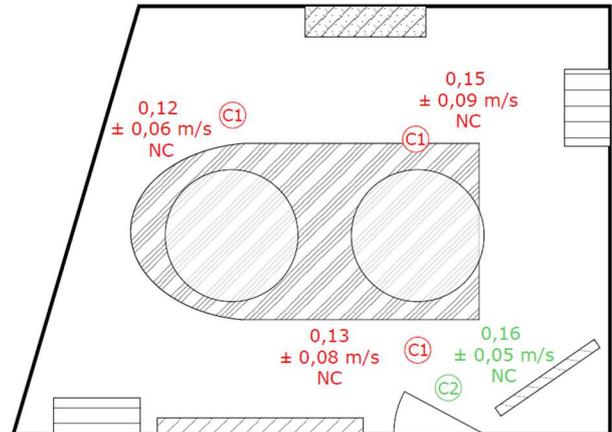


Figure Rex S-03-2 : Position assise – V2

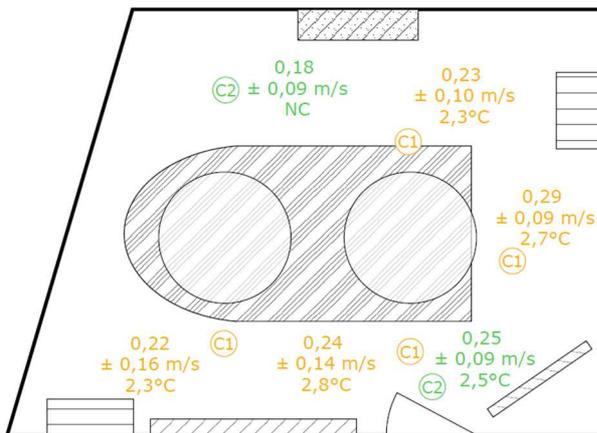


Figure Rex S-03-3 : Position debout – V3

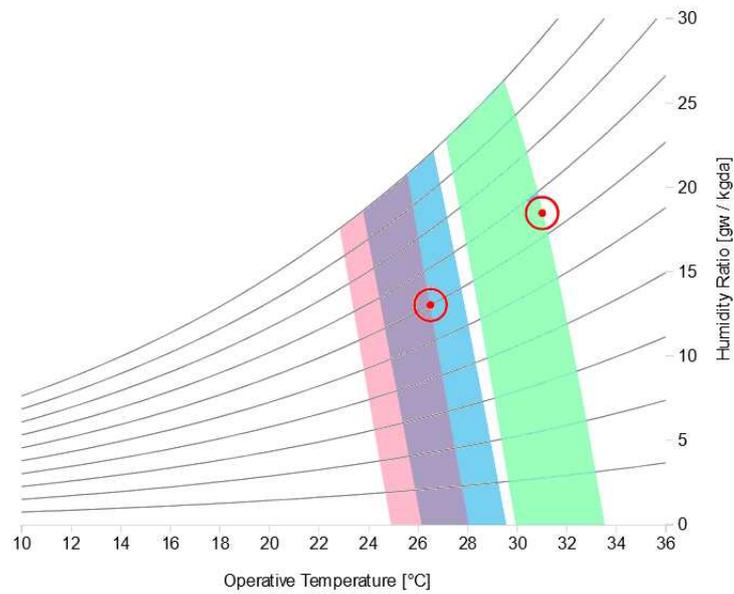


Figure Rex S-03-4 : Position assise – V3

### Observations particulières :

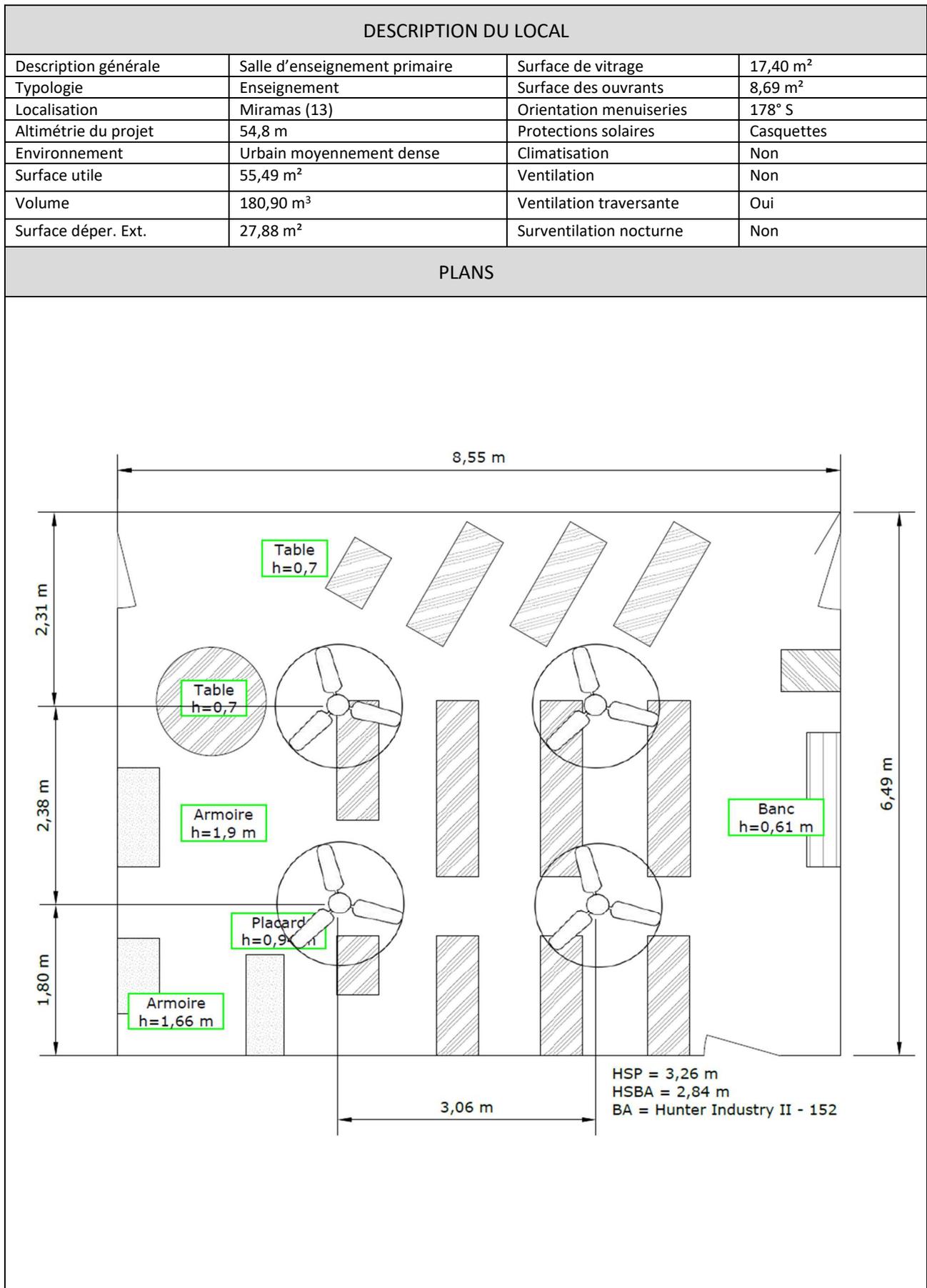
- Les valeurs obtenues pendant les deux campagnes sont cohérentes en tenant compte de l'écart-type. Toutes les valeurs sont par conséquent exploitables.
- Les vitesses ressenties sont similaires dans l'ensemble de la zone d'entraînement.
- La température de l'air étant supérieure de 4 °C lors de la première campagne par rapport à la seconde, les effets rafraichissants sont également plus élevés à cause d'un échange évaporatif plus important sans pour autant assurer le confort.
- La Figure 10 montre qu'en l'absence de vitesse d'air les conditions d'ambiance mesurée (T et HR) lors des deux campagnes ne permettent pas de situer l'utilisateur en confort (zone rouge). La mise en marche des brasseurs en vitesse de fonctionnement 3 permet de satisfaire le confort de l'utilisateur au sens de l'ASHRAE Standard 55-2010 avec les conditions d'ambiance observées lors de la campagne 2 mais pas avec celles de la campagne 1 (zone bleue). On constate que, pour les températures intérieures élevées observées lors de la première campagne, ces deux brasseurs ne parviennent pas à maintenir l'utilisateur dans une situation de confort. En effet, pour atteindre, le confort en zone d'entraînement dans les

conditions de la campagne 1, il est nécessaire de générer, au minimum, une vitesse d'air de 2,3m/s en moyenne (zone verte)



**Figure 10** : Diagramme de l'air humide intégrant les zones de confort selon l'ASHRAE Standard 55-2020 en fonction des vitesses d'air mesurée (zone rouge : absence de vitesse d'air / zone bleue : vitesse moyenne mesurée pour une position assise en zone d'entraînement / zone verte : vitesse minimum pour atteindre le confort dans les conditions de la campagne 1) – V3

### 3.9 REX S-08 : ECOLE – Salle d'enseignement sans faux-plafonds



PHOTO



Vue côté fenêtre



Vue côté porte

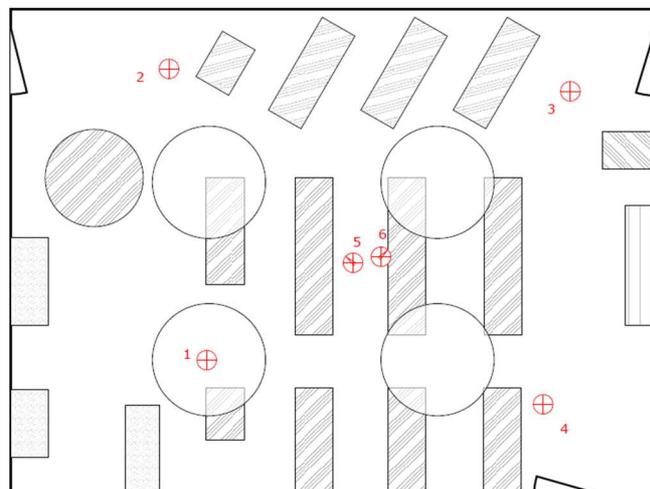
DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Tribeca		
Diamètre	152 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur sous pales	2,90 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	1,80 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande	Murale (sur mesure)		
Nombre de vitesse	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146
Débit (m <sup>3</sup> /h)	4078	7115	10340
Puissance absorbée (W)	16	38.5	72
Efficacité énergétique (m <sup>3</sup> /W/h)	261	185	144
Bruit (dBA)	-	-	-



PROTOCLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	06/07/2022
Durée de la mesure	Entre 3 et 4 min./pt.
Nombre de points	6
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m
Nbre de mesure	32



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 33°C / 40%

Représentation des principaux résultats en plan :

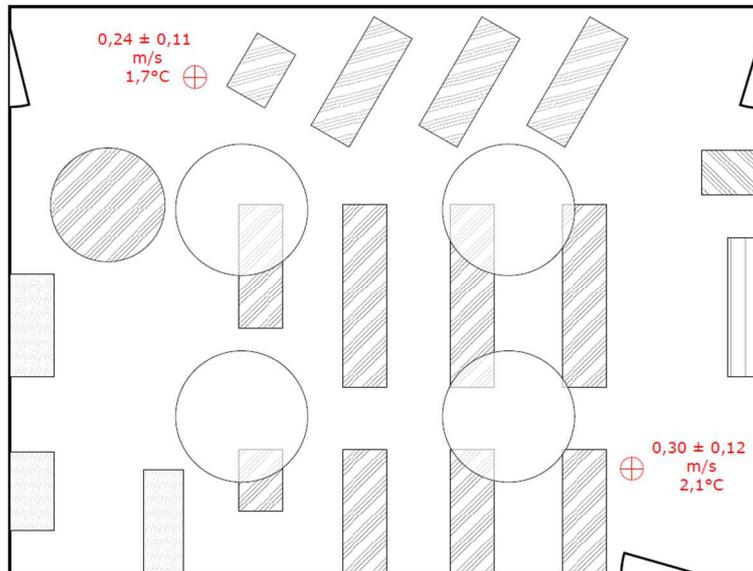


Figure Rex S-10-1 : Position assise – V2

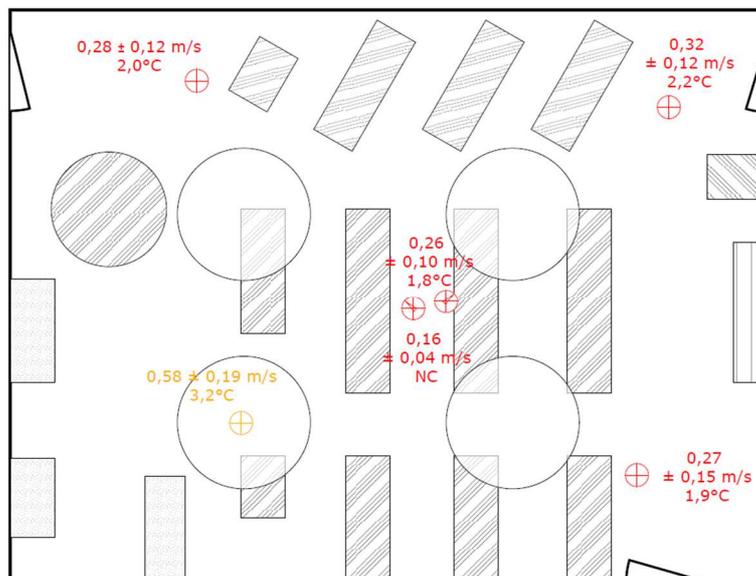
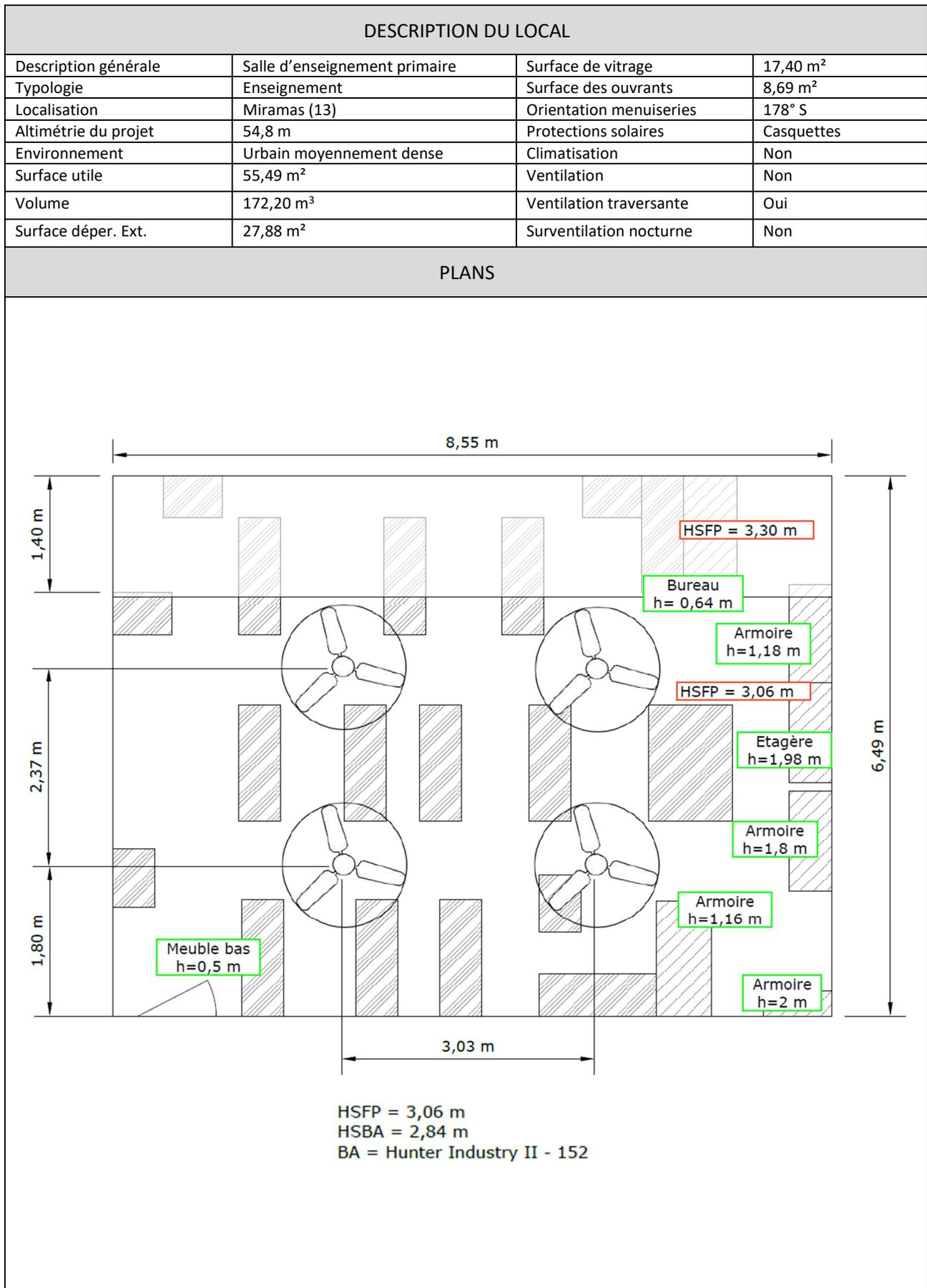


Figure Rex S-10-2 : Position assise – V3

Observations particulières :

- La diminution de vitesse de V3 à V2 conduit à une diminution des vitesses d'air ressenties en zone de recirculation de l'ordre de 10%.
- Les valeurs en zone d'entraînement sont similaires (dans l'écart-type de la mesure)
- La différence entre les valeurs obtenues au point 6 et au point 5 s'explique par des valeurs à 1,20m et 0,60m plus élevées au point 6. La seule différence constatée entre ces deux points est l'orientation des capteurs et leurs distances au centre du brasseur situé dans leur axe. Dans le cas du point 5, la distance est plus importante.



## PHOTO



Vue côté fenêtre



Vue côté porte

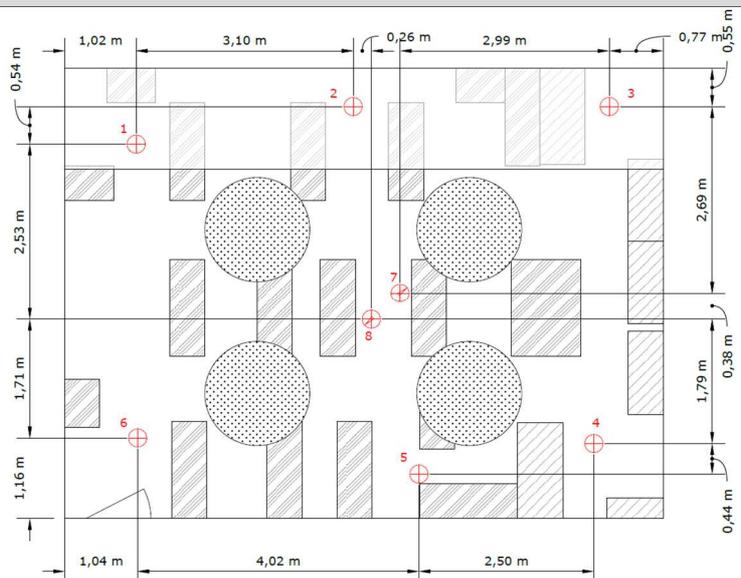
## DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Tribeca		
Diamètre	152 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur sous pales	2,70 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	1,80 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande	Murale (sur mesure)		
Nombre de vitesse	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146
Débit (m <sup>3</sup> /h)	4078	7115	10340
Puissance absorbée (W)	16	38.5	72
Efficacité énergétique (m <sup>3</sup> /W/h)	261	185	144
Bruit (dBA)			



## PROTOCLE DE MESURE

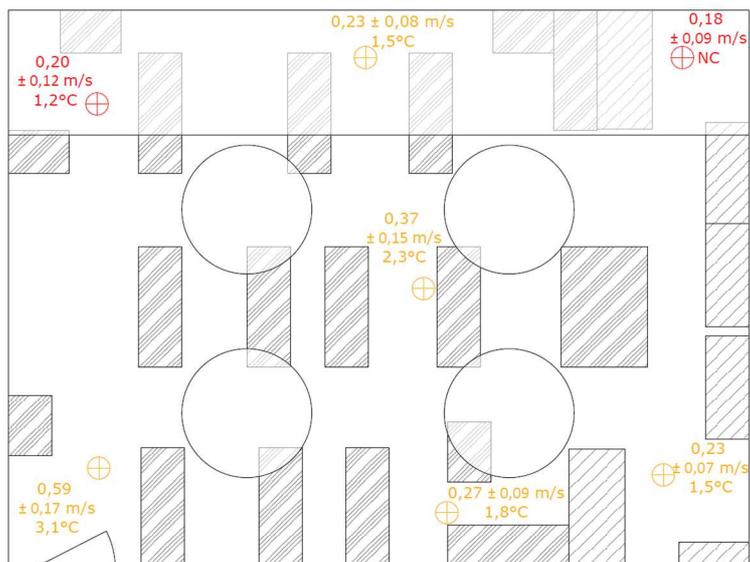
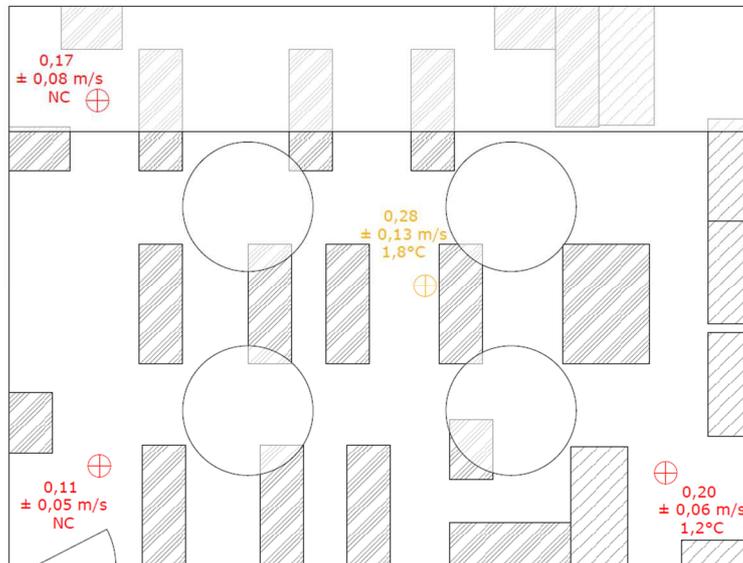
Nom du protocole	Surya_V1
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	06/07/2022
Durée de la campagne	Entre 4 et 44min./pt.
Nombre de points	8
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m
Nbre de mesure	48



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 31,5°C / 45%,

Représentation des principaux résultats en plan : ±



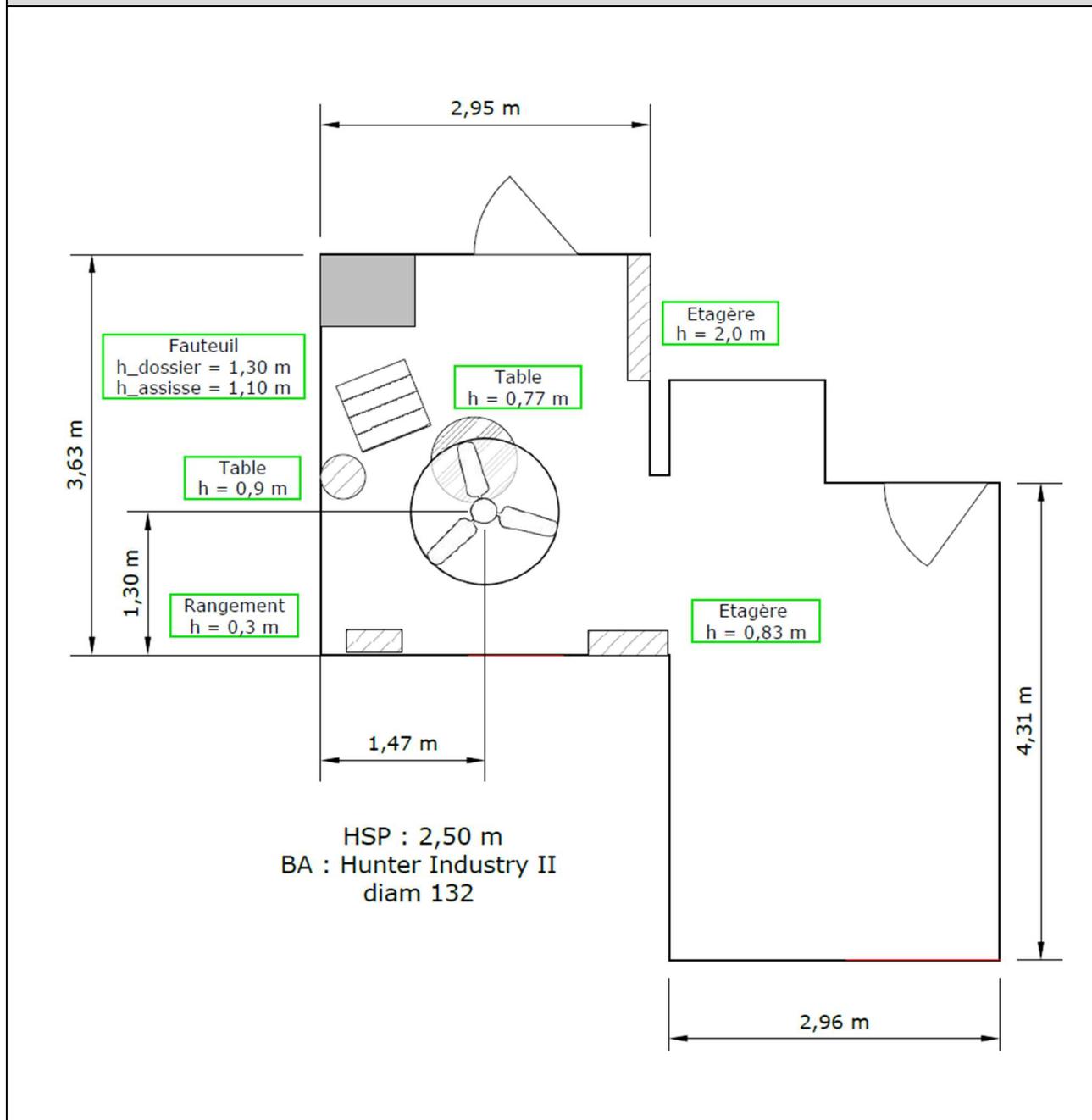
### Observations particulières :

- Les vitesses ressenties sont uniformes sur la périphérie de la pièce (en tenant compte de l'écart-type de la mesure) et légèrement supérieures entre les quatre brasseurs.
- Au niveau du point 6, situé près de la porte de la salle, les vitesses mesurées sont plus élevées que dans le reste de la pièce en vitesse 3 et plus faibles en vitesse 2, ce qui pourrait indiquer la présence d'un courant d'air extérieur venant perturber le flux du brasseur à cet endroit et qu'on l'on pourrait attribuer à un défaut d'étanchéité de la porte.
- La diminution de la vitesse de fonctionnement de V3 à V2 entraîne une diminution de la vitesse d'air comprise entre -10 % et -13 % en périphérie de la pièce (excepté au point 6 près de la porte où un comportement différent est observé) et de -25 % entre les brasseurs.

3.11 REX S-10 : EHPAD – Chambre de résident

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Chambre de résident	Surface de vitrage	5,0 m <sup>2</sup>
Typologie	Logement	Surface des ouvrants	4,5 m <sup>2</sup>
Localisation	Saint-Jean-du-Gard (30)	Orientation menuiseries	222° SW
Altimétrie du projet	99 m	Protections solaires	Non
Environnement	Zone d'urbanisation de moyenne densité, proche d'une zone boisée	Climatisation	Non
Surface utile	25,04 m <sup>2</sup>	Ventilation	NR
Volume	62,61 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Non possible
Surface déper. Ext.	13.14 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Manuelle possible

PLANS



## PHOTOS



*Vue de la partie 'nuit' de la chambre, le rail de levage ne permet pas l'installation d'un brasseur*



*Vue la partie 'jour' de la chambre*

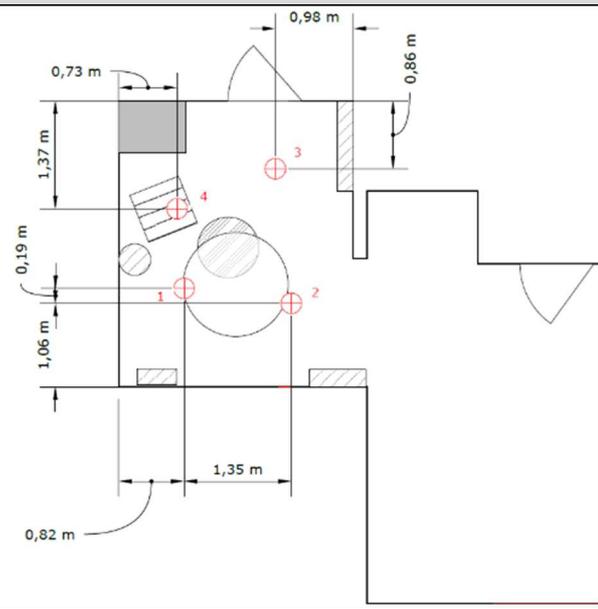
## DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,14 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	1,30 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficiencé énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA) <sup>2</sup>	26,3	32,8	39



PROTOCLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/08/2022
Durée de la mesure	Entre 5,8 et 10 min./pt.
Nombre de points	4
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170 cm <i>Pour le point 4, afin de mesurer les vitesses au-dessus du fauteuil, les hauteurs sont : 0,94m / 1,20m / 1,70m</i>
Nbre de mesure	32



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28,4°C / 50% au début de campagne - 30,1°C / 50% en fin de campagne

Représentation des principaux résultats en plan :

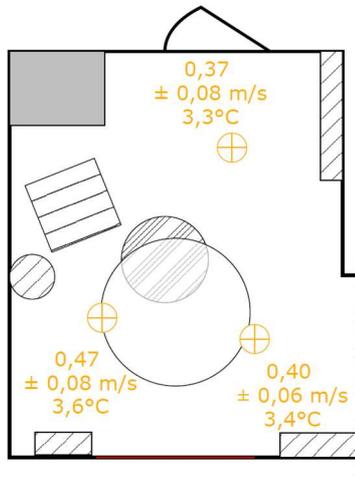


Figure Rex S-02-1 : Position debout – V2

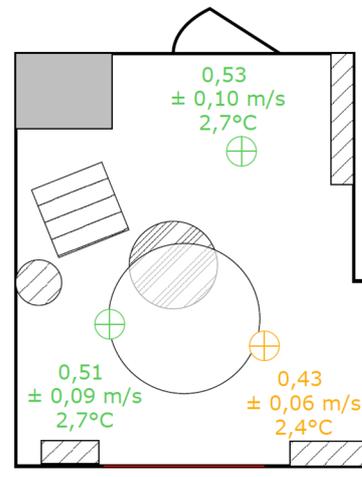


Figure Rex S-02-2 : Position assise – V2

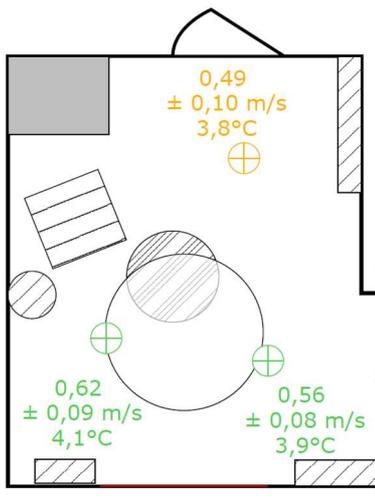


Figure Rex S-02-3 : Position debout – V3

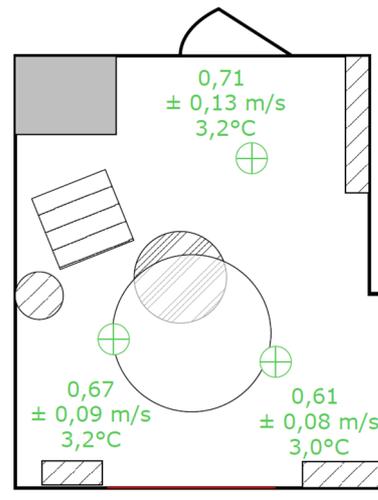


Figure Rex S-02-4 : Position assise – V3

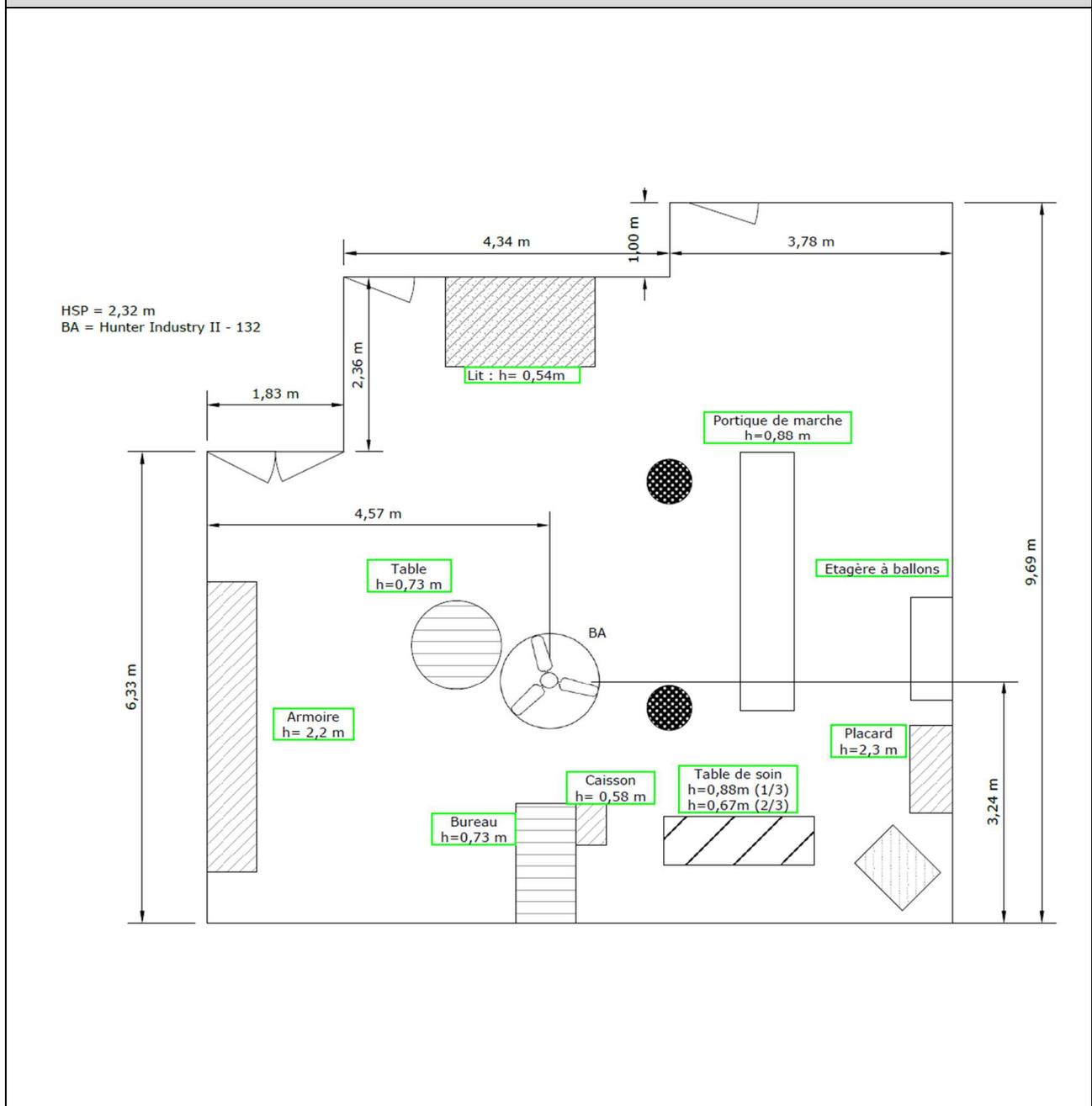
Observations particulières :

- La température de l'air mesurée dans la pièce s'est élevée de 1,5 °C pendant la campagne de mesure. Cela est dû à la fermeture des fenêtres et de la porte qui était initialement ouverte afin d'avoir une ventilation naturelle traversante. Il est à noter également que le couloir au nord de ce logement est pourvu d'une climatisation.
- Les vitesses mesurées en ces trois positions suggèrent que les vitesses ressenties sont uniformes dans cette pièce.

3.12 REX S-11 : EHPAD – Salle ergo

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salle Ergothérapeute	Surface de vitrage	9,07 m <sup>2</sup>
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	4,53 m <sup>2</sup>
Localisation	Saint-Jean-du-Gard (30)	Orientation menuiseries	294° NW
Altimétrie du projet	99 m	Protections solaires	Non
Environnement	Zone d'urbanisation de moyenne densité, proche d'une zone boisée	Climatisation	Non
Surface utile	85,9 m <sup>2</sup>	Ventilation	NR
Volume	199,3 m <sup>3</sup>	Ventilation traversante	Non possible
Surface déper. Ext.	23,10 m <sup>2</sup>	Surventilation nocturne	Non possible

PLANS



## PHOTOS



*Vue vers la façade NW*



*Vue vers la façade SE*

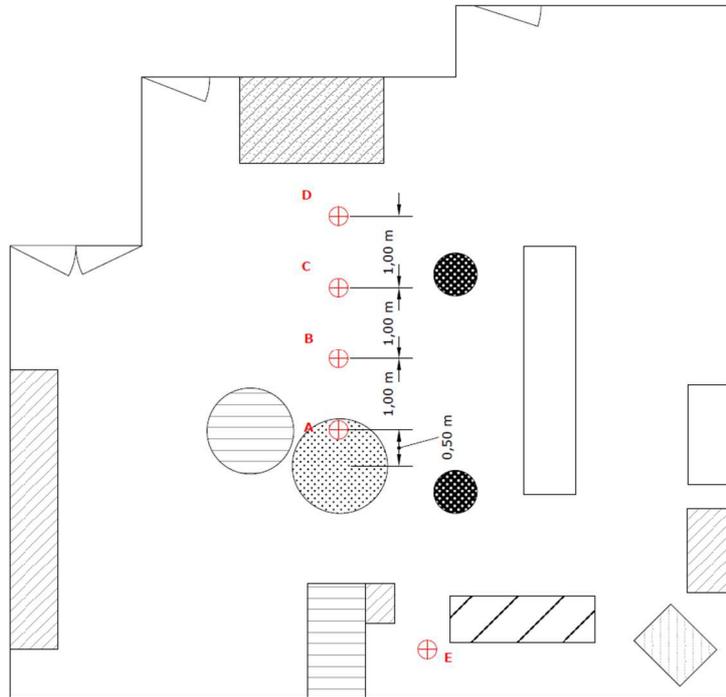
## DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,14 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	3,24 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
<b>Données Constructeur</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m <sup>3</sup> /h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficiéce énergétique (m <sup>3</sup> /h/W)	321	191	136
Bruit (dBA) <sup>2</sup>	26,3	32,8	39



PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/08/2022
Durée de la campagne	Entre 6 et 60 min par point
Nombre de points	5
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	68



## RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28°C / 60%

Représentation des principaux résultats en plan

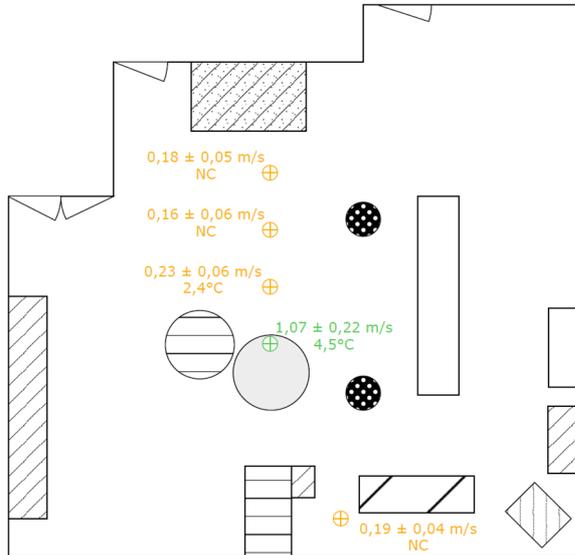


Figure Rex S-01-1 : Position debout – V2

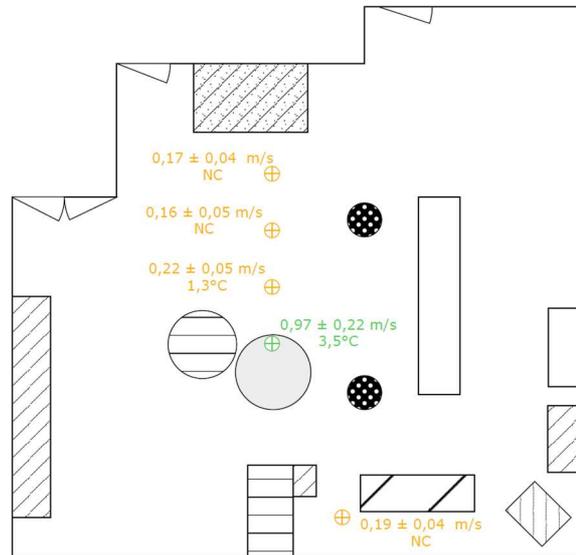


Figure Rex S-01-2 : Position assise – V2

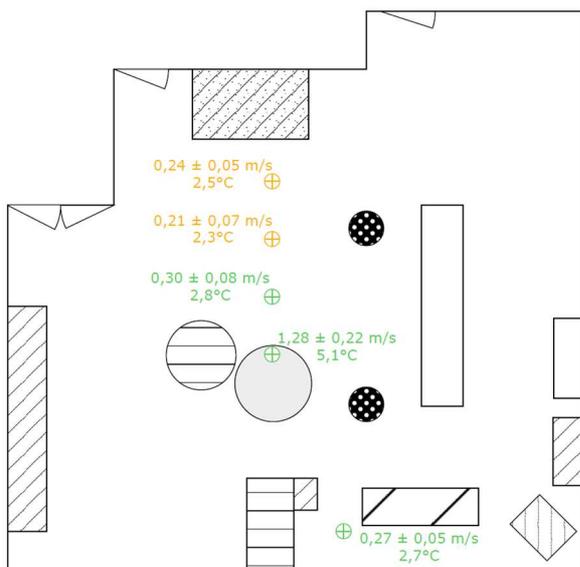


Figure Rex S-01-3 : Position debout – V3

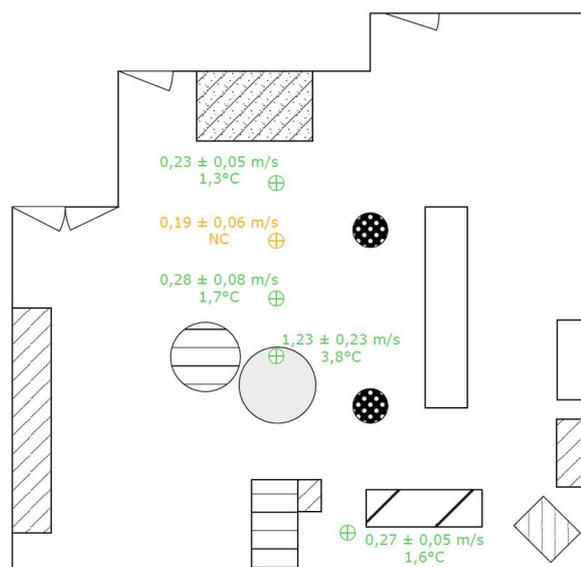


Figure Rex S-01-4 : Position assise – V3

### Observations particulières :

- Les vitesses ressenties en zone d'entraînement sont uniformes (en tenant compte de l'écart-type de la mesure)
- Les vitesses ressenties sous le brasseur sont beaucoup plus élevées, montrant une grande variabilité de ressenti entre les personnes se situant sous le brasseur et celles se trouvant en dehors de la zone d'influence directe. Ceci s'explique par un calepinage inadapté aux dimensions de cette pièce. La petite hauteur sous plafond de cette pièce (2,32m) limite fortement l'usage de grands brasseurs, il est donc nécessaire d'opter pour un découpage en petites zones de mêmes dimensions proches du carré et équipées chacune d'un brasseur de petite taille ayant des distances pales/plafond inférieures à 20 cm. Dans ce cas, les performances des brasseurs seront très réduites et la multiplication des brasseurs affectera la consommation énergétique.
- Sous le brasseur, la diminution de vitesse de fonctionnement de V3 à V2 entraîne une diminution de la vitesse d'air ressentie de 17 % en position debout et de 21 % en position assise. Aux différents points de mesures de la zone d'entraînement, cette diminution est comprise entre 23 et 29 % en posture debout et entre 19 et 30 % en posture assise.

## 4. Analyse générale des mesures in-situ

### 4.1 Impact de la posture, du niveau d'activité et de la vêtue sur l'effet rafraichissant

Dans ces analyses, il a été décidé d'étudier les vitesses ressenties dans deux postures différentes, liées chacune à un niveau d'activité différent (1,1 met en position assis et 1,4 met en position debout) et pour un coefficient de vêtue constant (0,5 clo). Il est indispensable de rappeler pour la bonne compréhension de ces résultats que pour une même vitesse ressentie, **l'effet rafraichissant est d'autant plus important que le niveau d'activité est élevé**, l'élévation du métabolisme du corps humain entraînant une augmentation des échanges thermiques convectif et évaporatif avec l'extérieur. Et que les valeurs d'effet rafraichissant présentées sont obtenues en considérant que l'usager a adapté sa vêtue aux températures ambiantes.

### 4.2 Description du champ de vitesse

Globalement, les résultats des mesures de vitesses sont conformes aux attentes et ont permis d'observer le flux d'air dans un local induit par un brasseur d'air.

Sur l'ensemble des mesures, il a été observé les deux zones de comportement déjà observées lors des études en laboratoire :

- la zone d'influence directe (sous le brasseur) où les vitesses d'air ressenties sont les plus élevées. Dans cette zone les vitesses d'air mesurées sont plus élevées en hauteur, traduisant les pertes de charges rencontrées par le flux d'air descendant.
- la zone d'entraînement où les vitesses d'air ressenties sont plus faibles et sont uniformes quelle que soit la position de mesure. Dans cette zone, on observe que les vitesses d'air mesurées sont plus élevées au niveau du sol, ce qui est dû au courant de diffusion par le sol.

Dans la plupart des cas, les vitesses ressenties dans la zone d'entraînement sont de l'ordre de 0,3 m/s induisant ainsi un effet de rafraichissement très limité (de l'ordre de 1,5 °C à 2,5 °C selon la posture). Cependant, dans deux cas (les chambres de l'appartement et de l'EHPAD), les vitesses ressenties sont plus élevées (de l'ordre de 0,6 m/s, ce qui correspond à un effet rafraichissant de l'ordre de 3 à 4 °C selon la posture), **montrant ainsi le potentiel des brasseurs lorsque le calepinage et le matériel sont performants**.

Dans la zone d'entraînement, les vitesses constatées en position assise sont globalement plus élevées que les vitesses constatées en position debout, alors qu'elles sont plus faibles sous le brasseur. Ceci vient du fait que, par définition, la vitesse moyenne en position assise intègre les vitesses les plus proches du sol, c'est-à-dire les vitesses les plus élevées en zone d'entraînement et les vitesses les plus faibles en zone d'influence directe.

### 4.3 Impact de la vitesse de fonctionnement

**La diminution de la vitesse de fonctionnement sur l'ensemble des modèles de brasseurs étudiés conduit à une diminution de la vitesse d'air ressentie :**

- **de l'ordre de 25 % lors du passage de V3 à V2**
- **de l'ordre de 50 % lors du passage de V3 à V1**

Toutefois, dans certains cas, en présence des brasseurs les plus grands (Hunter Tribeca 152 cm), la diminution observée lors du passage de V3 à V2 est plus faible (de l'ordre de 10 à 15 %). Ce constat a été corroboré par les retours des usagers sur site qui précisaient utiliser les brasseurs uniquement en mode V2, le mode V3 apportant plus de désagrément, notamment acoustique, que de confort. Mis à part un problème matériel qui pourrait être envisagé, cette observation pourrait être dû à un « étouffement » du brasseur à vitesse élevée, observable en vitesse 3, mais qui ne se produirait pas (ou peu) en vitesse 2. En effet, dans les 4 configurations étudiées où ce modèle a été utilisé, on constate que les distances entre le bout de pales des brasseurs et les murs ou entre les brasseurs eux-mêmes sont plus petites que les distances minimales recommandées pour éviter ce phénomène et issues des différentes études du projet BRASSE [11, 12, 20].

### 4.4 Impact du mobilier sur le champ de vitesse

La présence du mobilier a permis de constater des modifications du flux d'air. Deux types de positionnement sont observés :

- Présence de mobilier sous le brasseur : un plateau (par exemple une table ou un bureau) situé sous le brasseur aura pour conséquence de surélever la surface d'impact et d'augmenter les vitesses aux moyennes hauteurs (hauteurs dépendantes de la hauteur de l'obstacle) en périphérie directe de l'obstacle. Et en s'éloignant de l'obstacle, les vitesses mesurées convergent vers les valeurs de vitesses constatées en l'absence du plateau. Cette configuration sera donc particulièrement intéressante pour les espaces de bureau, de réunion ou de repas dans la mesure où elle permet d'augmenter la vitesse ressentie par les usagers assis autour de ce plateau.

- Sur le chemin du flux d'air : deux cas de figure ont été observés. Le premier concerne les cas où un obstacle 'plein' tel qu'un meuble bas ou une cloison séparatrice se situe sur le chemin du flux d'air. Dans ce cas, le flux d'air sera très logiquement fortement perturbé et les vitesses constatées après cet obstacle seront très faibles (les courants de circulation font qu'il sera tout de même toujours constaté une vitesse d'air). Le second cas de figure concerne les cas où un obstacle 'non plein' tel qu'un bureau ajouré ou une chaise légère se situe sur le chemin du flux d'air. Dans ce cas, le flux se voit peu perturbé par l'obstacle et il est observé des valeurs de vitesse similaires avant et après l'obstacle.

#### 4.5 Impact des conditions d'ambiance sur le niveau de confort

Les doubles campagnes réalisées dans certains locaux ont permis de constater qu'en dépit de vitesses et des CE induits identiques, le confort était évalué en sens de l'indicateur PMV de l'ASHRAE 55 de manière différente. En effet, les secondes campagnes ont été réalisées dans des environnements moins chauds. Les différences de température de l'ordre de 2°C permettent d'obtenir des PMV situés en dessous de 0,5, permettant de s'assurer statistiquement du confort d'un maximum d'usager. La Figure 10 illustre ce constat et montre que **l'effet rafraichissant est un indicateur qu'il ne faut absolument pas décorrélér des conditions d'ambiance, de la posture et de la vêtire puisque ces paramètres vont faire évoluer les zones de confort et l'évaluation du CE.**

#### 4.6 Comparaison des configurations étudiées.

La donnée usuellement fournie par les fabricants pour évaluer la performance d'un brasseur est son débit. Pourtant, le seul débit d'un brasseur est insuffisant et il est nécessaire de le rapporter à la surface du brasseur afin d'avoir une information homogène à une vitesse et donc identifiable à une potentielle amélioration du confort. Raftery et al. [23] ont montré que c'est effectivement cette grandeur, qu'ils nomment « Fan Air Speed », qui doit être utilisée comme caractéristique d'un brasseur afin d'effectuer des comparaisons de performances. La traduction littérale « vitesse d'air du brasseur » n'étant pas satisfaisante, nous avons choisi d'utiliser le terme « vitesse d'air caractéristique » représenté par l'acronyme FAS pour renvoyer à cette grandeur. Le tableau 3 présentent les valeurs de FAS calculées à partir des données du constructeur pour chaque brasseur, ainsi que la moyenne des vitesses ressenties dans chaque posture, sous le brasseur et en zone d'entraînement dans chaque cas d'étude. On constate que les différents modèles rencontrés lors de ces études ont alors des vitesses caractéristiques très similaires (à  $\pm 5\%$ ) et peuvent donc être considérés de performances équivalentes selon les données constructeurs. Or, une variabilité des vitesses d'air pour les différents locaux est constatée. Ce dernier constat peut s'expliquer soit par un calepinage non optimisé soit par des données constructeurs ne permettant pas une bonne appréciation de la vitesse d'air caractéristique.

**Tableau 3 : Comparaison des vitesses ressenties obtenues en vitesse 3 dans les différentes études**

Modèle de brasseur	Vitesse caractéristique à $V_{max}$ FAS <sub>max</sub> (m/s)	Cas d'étude	Vitesse ressentie sous le brasseur à $V_{max}$ * (m/s)		Vitesse ressentie en zone d'entraînement à $V_{max}$ * (m/s)	
			Assis	Debout	Assis	Debout
Tristar 112 cm	1,74	ONG_Bureau 2 postes	0.86	0.88	0.33	0.26
		ONG_Bureau 4 postes	-	-	0.35	0.33
Inspire 132 cm	1,92	ONG_Salle de réunion	-	-	0.20	0.24
Hunter 132 cm	1,81	Appartement_Salon	1.47	1.56	-	-
		Appartement_Chambre	-	-	0.57	0.47
		EHPAD_Chambre	0.96	0.96	0.64	0.59
		EHPAD_Salle ergo	1.23	1.28	0.24	0.26
Hunter 152 cm	1,81	BE_Bureau 2 postes	0.68	0.74	0.42	0.37
		BE_Bureau 3 postes	0.50	0.62	0.44	0.38
		Ecole_salle 1	0.58	-	0.26	-
		Ecole_salle 2	-	-	0.25	-

\*moyenne calculées entre les différentes positions de mesure dans cette zone

Les vitesses ressenties sous le brasseur sont très dépendantes de la position de mesure la vitesse variant fortement en le centre du brasseur et l'extrémité des pales. La détermination de la vitesse moyenne dans cette zone nécessite de mettre en œuvre un protocole similaire à celui utiliser en laboratoire, ce qui semble difficile à réaliser lors de mesures in-situ. Par ailleurs, la présence de mobilier sous le brasseur empêche souvent de réaliser cette mesure. Il est donc plus pertinent de s'intéresser aux mesures effectuées en zone d'entraînement pour comparer les différentes études.

Comme évoqué en section 4.2, les vitesses ressenties en zone d'entraînement sont en général de l'ordre de 0,3 m/s et sont plus élevées en position assise qu'en position debout. On constate cependant des exceptions, dans les chambres de l'appartement et de l'EHPAD, les vitesses sont plus élevées (de l'ordre de 0,6 m/s), ce qui pourrait être attribué à un meilleur calepinage permettant d'exprimer le plein potentiel des brasseurs. Ce constat est justifié par d'autres parties du projet BRASSE [20]. Par ailleurs, dans deux situations, les vitesses en position debout sont plus élevées que les vitesses ressenties en position assise (ONG Salle de réunion & EHPAD Salle Ergo). Ces résultats sont à relativiser par les très faibles vitesses mesurées dans ces situations, les écarts observés entre les deux postures étant très faibles au regard des écarts types sur les mesures et de la précision des capteurs.

#### 4.7 Limites de la présente étude

Du fait de l'étendue limitée de la gamme de diamètre de brasseur, l'impact de la taille du brasseur est difficilement discutable par l'analyse de ces mesures. De façon générale, le choix de la taille du brasseur est lié à la fois aux besoins identifiés (uniformité ou variabilité du champ de vitesse) et au calepinage. Si, dans le cas où un champ de vitesse variable selon les positions est préférable, des petits brasseurs sont tout à fait pertinents, le cas d'un champ de vitesse uniforme peut être atteint par deux calepinages fondamentalement différents :

- Des petits brasseurs en grands nombres couvrant chacun une petite zone
- Des grands brasseurs en petits nombres couvrant chacun une grande zone

Si ces deux approches peuvent conduire à des champs de vitesse uniformes, ce que les simulations par CFD démontrent [20], il conviendra de choisir entre les deux options de calepinage sur la base d'autres critères que le seul critère de confort thermique en prenant en compte par exemple les aspects financiers, acoustiques et énergétiques pouvant être problématique avec la multiplication du nombre de brasseurs dans une même pièce. Cette discussion particulière est abordée dans notre étude sur les règles de calepinage [24].

Les couplages entre les brasseurs et la ventilation naturelle et entre les brasseurs d'air et la climatisation ne sont également pas étudiés dans le cadre du projet et nous avons pu constater que ces couplages ne sont pas négligeables pour obtenir le confort (exemple la chambre de l'EHPAD pour la climatisation ou la ventilation traversante dans le salon de l'appartement).

#### 4.8 Protocole de mesure

Lors de la mise en place d'un protocole de mesure in-situ de la vitesse d'air ressentie en présence de brasseurs d'air, les trois points suivants doivent impérativement être respectés :

- Les vitesses mesurées aux différentes hauteurs étant très hétérogènes, il est indispensable de les mesurer aux 4 hauteurs recommandées par les normes ISO 7726 et ASHRAE 55 pour exprimer les vitesses moyennes ressenties dans chaque posture.
- Les fluctuations de la vitesse mesurée étant importantes (écart type de l'ordre de 30 % de la valeur moyenne), il est indispensable d'adapter l'échantillonnage de la mesure de façon à avoir un intervalle de confiance satisfaisant selon la méthode proposée lors des études en laboratoire [11, 12]. Dans la présente étude, la méthode d'échantillonnage a ainsi été améliorée en cours d'étude et l'on a pu constater la diminution de l'écart type lorsque l'échantillon était de taille adaptée (de l'ordre de 300 mesures sous le brasseur et de 30 mesures en zone d'entraînement), permettant ainsi de s'affranchir du caractère aléatoire de la mesure au sein de la distribution de la vitesse.
- Une mesure à « air immobile » (brasseur éteint) doit impérativement être réalisée en chaque position de mesure de façon à caractériser les éventuels courants d'air extérieurs et à quantifier l'amélioration du confort apportée par les brasseurs. Compte tenu des très faibles vitesses et fluctuations généralement observées dans ce cas, une mesure très courte (de l'ordre de la minute) est suffisante.

Il est difficile de définir une méthode systématique de choix des positions de mesures. En effet, l'analyse des mesures réalisée dans le présent article permet d'identifier des points forts et des manques dans l'approche empirique qui a été suivie. La présente étude nous permet de conclure qu'il semble pertinent de mesurer la vitesse ressentie sous le brasseur lorsque cela est compatible avec la disposition du mobilier et en zone d'entraînement. Sous le brasseur, les vitesses d'air fluctuant de manière importante sous le brasseur [11], il ne sera pas possible d'effectuer une mesure permettant d'être représentative de l'impact du brasseur sur les vitesses d'air. En zone d'entraînement, le mobilier en place aura un impact plus ou moins importants sur les mouvements d'air (cf. 4.4), il peut alors être difficile de sélectionner la position représentative. D'une manière générale, il est donc plus pertinent de choisir une position correspondante à une position d'usage. Par exemple, lorsqu'une table se trouve sous le brasseur, il est plus pertinent de mesurer la vitesse ressentie en plusieurs points autour de la table plutôt que de chercher à déterminer la vitesse au centre de la table, c'est-à-dire en un point où il n'y aura pas d'usager. En l'absence de points particuliers identifiables, il faut essayer de couvrir au maximum la pièce en choisissant au moins trois positions autour de chaque brasseur.

En première approche, les essais à la vitesse de fonctionnement maximale du brasseur sont les plus importants afin d'exprimer le plein potentiel de l'appareil. Toutefois, des mesures aux différentes vitesses pourraient permettre de s'assurer du bon fonctionnement du brasseur sur l'ensemble de sa gamme de vitesse (cf. section 4.3).

Ces observations permettent d'affiner le protocole de mesure élaboré dans le cadre du projet BRASSE et permettant de caractériser de manière fine l'impact d'un brasseur sur son environnement. Elles permettent également de conclure qu'un protocole simplifié permettant la généralisation de la vérification de l'impact des brasseurs en exploitation n'est pas envisageable.

## 5. Conclusion

La présente étude avait pour objectif d'observer l'impact des brasseurs d'air sur le confort des usagers en situation réelle. Ceci afin d'affiner les règles d'implantation des brasseurs dans un projet.

Les différentes observations ont permis de constater que globalement, les résultats des mesures de vitesses sont conformes aux attentes et que le flux d'air induit par un brasseur d'air dans un local présente deux principales zones : une zone d'influence directe et une zone d'entraînement. En revanche, il a été constaté des configurations avec des mouvements d'air moins importants qu'attendus. Les trois raisons principales de ce constat sont les suivantes : des calepinages non optimisés (par exemple : distance brasseurs-mur trop faible), des distances entre brasseurs (dans le cadre de configuration multiple) trop faibles et/ou des brasseurs trop grands pour l'espace dans lesquels ils sont situés.

Les mesures ont été effectuées à plusieurs vitesses de fonctionnement. Ainsi il a été observé, dans les configurations ne présentant pas d'étouffement, pour l'ensemble des brasseurs une diminution de la vitesse d'air ressentie de l'ordre de 25% lors du passage de V3 à V2 et de l'ordre de 50% lors du passage de V3 à V1.

Il a été également constaté que les données constructeurs n'étaient pas nécessairement représentatives des performances constatées in-situ. Les différents brasseurs installés dans les locaux audités présentaient des performances (FAS) proches alors que des différences importantes de vitesse d'air ont été constatées par la mesure. Ces différences peuvent s'expliquer par une installation non optimisée (cf. commentaire ci-avant) mais aussi par des données présentées par les fabricants pouvant ne pas être fiables liés à des essais en laboratoire non pertinentes ou efficaces.

La présente étude a permis également d'observer des phénomènes spécifiques, et notamment l'impact du mobilier. Ces observations permettent d'en apprendre davantage sur l'impact du mobilier sur les flux d'air en présence d'un brasseur d'air (cf. 3.1 - étude préliminaire) mais aussi de conclure sur des recommandations spécifiques. Il a été observé, de manière assez évidente, qu'en présence de mobilier 'non plein', les mouvements d'air étaient moins perturbés qu'en présence de mobilier 'plein'. Ainsi il est nécessaire de mettre en avant l'importance du choix du mobilier dans la mise en place d'une stratégie de confort basée sur l'usage de brasseurs d'air plafonniers.

Cette étude permet également d'observer l'importance de la posture, du niveau d'activité, de la vêtue et des conditions d'ambiance sur le confort des usagers.

La vitesse d'air ressentie étant différente entre une position assise et une position debout, le ressenti de l'utilisateur sera inévitablement différent. Il en est de même de son niveau d'activité. En effet, l'élévation du métabolisme du corps humain entraînant une augmentation des échanges thermiques convectif et évaporatif avec l'extérieur, l'effet rafraichissant sera d'autant plus important que le niveau d'activité sera élevé. Le niveau de vêtue a également son importance. En effet, l'effet rafraichissant sera d'autant plus faible que la vêtue de l'utilisateur sera isolante (clo plus élevé). Dans un souci de cohérence, le parti pris du projet BRASSE est d'étudier le confort uniquement dans le cas où l'utilisateur s'adapte aux conditions d'ambiance et que par conséquent il adapte sa vêtue en fonction. Le projet BRASSE considère donc que l'utilisateur doit se mettre dans une situation favorable pour satisfaire son confort et donc porter une tenue légère estivale. L'étude montre également l'impact des conditions d'ambiance sur l'évaluation du confort. Et confirme que le brasseur d'air peut satisfaire le confort de l'utilisateur que si les conditions d'ambiance intérieure sont maîtrisées et donc que les brasseurs d'air sont associés à une conception pertinente, à des équipements efficaces et en bon état et à un usage vertueux des locaux.

Et enfin, l'étude in-situ a permis de valider un protocole de mesure de vitesse d'air in situ. Ce protocole s'est inspiré du protocole élaboré pour les laboratoires. La version finale est satisfaisante tant en termes de fiabilité de la mesure et de représentativité et permet donc des observations pertinentes. En revanche, il a été conclu qu'une simplification de celui-ci n'était pas possible. En effet, en raison de la grande variabilité -horizontale et verticale- des vitesses d'air générées par des brasseurs plafonniers, il est nécessaire de récupérer un nombre de données importantes (4 hauteurs de mesures à minimum 3 emplacements) afin d'avoir une approche suffisamment robuste. Le caractère turbulent des flux ne permet pas non plus de se satisfaire de matériel plus simple, tels que des anémomètres unidirectionnels. Les essais in-situ, pour être fiables et pertinents, doivent être proches de la qualité des essais en laboratoire, à la fois en ce qui concerne le protocole, les matériels, mais aussi les opérateurs.

L'ensemble de cette étude permet donc d'enrichir la connaissance des brasseurs d'air et plus spécifiquement les règles de calepinage éditées dans le cadre du projet BRASSE. Les phénomènes non expliqués, observés dans le cadre de cette étude seront étudiés à l'aide de la CFD dans une autre partie du projet.

## 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 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
- [12] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF 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
- [13] HD403TS... Series – Hotwire Air Speed Transmitters : [https://www.deltaohm.com/wp-content/uploads/document/DeltaOHM\\_HD403TS\\_datasheet\\_ENG.pdf](https://www.deltaohm.com/wp-content/uploads/document/DeltaOHM_HD403TS_datasheet_ENG.pdf)
- [14] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., 2023. BRASSE\_Protocol\_mesure\_2023\_0\_1 – Projet BRASSE
- [15] Blanchard B. (2019) Mise au point d'un banc d'essais pour la caractérisation des brasseurs d'air, rapport d'étude EDF-ADEME n° Aé - 19-123, Eiffel Aérodynamique.
- [16] Renaud A., Vahombey S., Banc d'essai de brasseur d'air. Rapport de stage -ESIROI
- [17] Norme ISO 7726 (1998), Ergonomie des ambiances thermiques – Appareils et méthodes de mesure des grandeurs physiques
- [18] ASHRAE Standard 55 (2020), Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- [19] CBE Comfort Tool, <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- [20] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Simulation des écoulements par CFD - Projet BRASSE
- [21] Norme ISO 7730 (2006), Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local
- [22] NF EN 16798-1 (mai 2019) : Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1 – Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique.

[23] Raftery P., Douglass-Jaimes D. (2020), Ceiling Fan Design Guide, First Edition, CBE y.

[24] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023– Implantation des brasseurs d'air et impact en configurations réelles – Règles de calepinage - Projet BRASSE