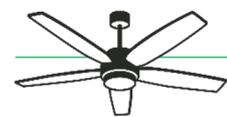


# BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIÉTÉ ET D'EFFICACITÉ

---



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

---

Etude 2 – Evaluation de l'impact des brasseurs  
d'air sur le confort acoustique des usagers  
Rapport de synthèse des études d'acoustique

---

**RAPPORT FINAL**



**FAITS & CHIFFRES**



**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

OSSAKOWSKY P., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers, 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 OSSAKOWSKY - LASA

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline

Direction/Service : DVTD/SB

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>4</b>
<b>1. RESUME</b> .....	<b>6</b>
<b>2. GENERALITES ACOUSTIQUES</b> .....	<b>6</b>
<b>3. PROTOCOLE DE MESURES ACOUSTIQUES</b> .....	<b>9</b>
3.1. <b>Objet</b> .....	9
3.2. <b>Généralités</b> .....	9
3.3. <b>Niveau de pression acoustique</b> .....	9
3.4. <b>Série des normes NF EN ISO 3740</b> .....	11
3.5. <b>NORME NF EN ISO 3746-201206</b> .....	13
3.6. <b>Méthodologie retenue</b> .....	16
<b>4. PRESENTATION DES MESURES ACOUSTIQUES REALISEES VIA LE PROTOCOLE MIS EN PLACE</b> .....	<b>19</b>
4.1. <b>Salle d'essai au laboratoire PIMENT à la Réunion</b> .....	19
4.2. <b>Salle d'essai du laboratoire EIFFEL à Paris</b> .....	22
<b>5. COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES ET DES RESULTATS DES DEUX LABORATOIRES PIMENT ET EIFFEL</b> .....	<b>25</b>
5.1. <b>Objet</b> .....	25
5.2. <b>Modifications salle d'essai PIMENT</b> .....	25
5.3. <b>Aménagement salle d'essai EIFFEL</b> .....	26
5.4. <b>Résultats Lw brasseurs d'air obtenus</b> .....	27
<b>6. MESURES ACOUSTIQUES REALISEES DANS DIFFERENTS LOCAUX EXISTANTS EQUIPES DE BRASSEUR D'AIR</b> .....	<b>29</b>
6.1. <b>Objet</b> .....	29
6.2. <b>Description des locaux retenus</b> .....	29
6.3. <b>Résultats des mesures</b> .....	30
6.4. <b>Commentaires sur l'impact des bruits extérieurs</b> .....	35
6.5. <b>Masquage sonore du au brasseur d'air</b> .....	35
6.6. <b>Analyse et commentaires</b> .....	35
<b>7. MODELISATIONS ACOUSTIQUES DES LOCAUX OU DES MESURES ONT ETE EFFECTUEES</b> .....	<b>37</b>
7.1. <b>Objet</b> .....	37
7.2. <b>Méthodologie</b> .....	37
7.3. <b>Description des locaux retenus dans l'école Jean MOULIN à MIRAMAS (13)</b> .....	37
7.4. <b>Analyses et commentaires</b> .....	40
<b>8. ETUDE PARAMETRIQUE DU NIVEAU SONORE D'UN BRASSEUR TYPE DANS DIFFERENTES SALLES EN FONCTION DU NOMBRE DE BRASSEURS ET MATERIAUX ACOUSTIQUES EN PAROIS</b> .....	<b>41</b>
8.1. <b>Objet</b> .....	41
8.2. <b>Méthodologie</b> .....	41
8.3. <b>Description des hypothèses retenues</b> .....	41
8.4. <b>Résultats des modélisations</b> .....	42

8.5.	Synthèse.....	57
<b>9.</b>	<b>OUTIL DE PREDIMENSIONNEMENT .....</b>	<b>58</b>
9.1.	Objet.....	58
9.2.	Description de la feuille de prédimensionnement.....	58
9.3.	Synthèse.....	61
<b>10.</b>	<b>ETIQUETTE ACOUSTIQUE .....</b>	<b>62</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>63</b>

# 1. Résumé

Toutes les études acoustiques effectuées dans le cadre du projet BRASSE, débuté en 2019, sont présentées dans ce rapport. Ce projet a pour but de quantifier les performances et l'acceptabilité des brasseurs d'airs en réponse aux changements climatiques et LASA a apporté son expertise pour la dimension acoustique du projet.

Les principaux objectifs ont été d'élaborer un protocole simple pour la mesure du niveau de puissance acoustique des brasseurs, de créer des simulations acoustiques dans des salles typiques où pourraient être utilisé un brasseur et de commencer à alimenter une base de données acoustiques exploitable pour les acteurs de projets de bâtiments avec brasseurs d'air.

Pour cela, LASA a participé à la mise au point de deux cellules d'essais acoustiques dans les laboratoires PIMENT à la Réunion et EIFFEL à Paris

Des essais ont ensuite été réalisés d'afin d'alimenter la base de données acoustiques BRASSE.

LASA a aussi conduit une série de mesures de bruit de ventilateur sur le terrain et dans différentes typologies de locaux avec différents brasseurs. Ces locaux ont ensuite été modélisés pour permettre la création de modèles numériques de situations génériques avec interfaçage avec la base de données afin de permettre un prédimensionnement acoustique de brasseurs.

Pour finir, LASA a produit une feuille EXCEL de prédimensionnement basée sur toutes les mesures et modélisations présentées précédemment.

Cette feuille permet d'obtenir une prédiction de niveau sonore dans un local générique en fonction des paramètres du local (nombre de brasseurs, type de paroi, ...). La feuille permet en fonction du niveau sonore visé de connaître la puissance acoustique maximale possible pour les brasseurs et propose une liste de modèles répondant à la contrainte recherchée, choisie dans la base de données.

Toutes ces étapes sont présentées dans la suite du rapport.

## 2. Généralités acoustiques

### Niveau sonore

On évalue la force d'un bruit par l'amplitude de la variation de la pression de l'air par rapport à la pression atmosphérique moyenne. L'oreille humaine transforme la pression acoustique en sensation auditive par l'intermédiaire d'un mécanisme très complexe dont la sensibilité, non linéaire, est limitée. La sensation perçue varie comme le logarithme de l'excitation. Le niveau sonore s'exprime en décibel [dB]. Ce niveau est défini comme le rapport logarithmique entre la pression acoustique  $p$  et une pression acoustique de référence  $p_0$  comme suit :

$$L_p = 20 \log p/p_0$$

- $p$  pression acoustique en Pascal [Pa]
- $p_0$  pression acoustique de référence en Pascal :  $2 \times 10^{-5}$ [Pa]

### Octave –Tiers d'octave

Une octave est une bande de fréquence dans laquelle la fréquence varie du simple au double (facteur 2 entre la plus basse et la plus haute). En acoustique, les octaves (et les tiers d'octaves également) ont été normalisées en prenant pour référence 1 000 Hz comme centre de l'octave ou du tiers d'octave. Les bandes d'octave et de tiers d'octave habituellement utilisées sont présentées sur le tableau ci-dessous :

50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k
-----	----	-------	------	----	------	-------	----	----	------	----	-----

En gris, les fréquences centrales des bandes d'octave habituelles.

### Pondération

Afin de réaliser une mesure représentative du niveau physiologique perçu, à l'aide d'un appareil de mesure (sonomètre), il est nécessaire d'introduire un filtre disposant d'une courbe de pondération correspondant à la sensibilité de l'oreille. Toutes les

fréquences composant le bruit sont alors évaluées sensiblement de la même manière qu'elles le seraient par l'oreille humaine. Le bruit est alors caractérisé par son niveau sonore global pondéré A ou niveau en dB(A).

Presque toutes les normes concernant les nuisances sonores se réfèrent à la pondération A, et les mesures correspondantes s'expriment en décibel pondéré A [dB(A)].

#### Niveau de pression acoustique continu équivalent

Afin de caractériser un bruit fluctuant par une seule valeur, on calcule le niveau de pression acoustique continu équivalent noté  $L_{eq}$ . Le niveau sonore équivalent est par définition le niveau continu stable qui contiendrait autant d'énergie que le niveau réel fluctuant dans le temps au cours de la période considérée.

Le niveau sonore équivalent peut être pondéré A, il est alors noté  $L_{A,eq}$ . Il peut être exprimé en décibel [dB] ou en décibel pondéré A [dB(A)].

#### Bruit résiduel (ou bruit de fond)

Bruit ambiant, en l'absence du (des) bruit(s) particulier(s), objet(s) de la requête considérée.

#### Bruit particulier

Composante du bruit ambiant qui peut être identifiée spécifiquement et que l'on désire distinguer du bruit ambiant notamment parce qu'il est l'objet d'une requête.

#### Bruit ambiant

Bruit total existant dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné. Il est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources proches et éloignées.

#### Emergence

L'émergence est définie dans l'arrêté 2006-1099 comme étant la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et celui du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements.

#### Courbe NR ou NC

Les courbes de critère de bruit de fond (NC pour Noise Criteria) ou plus communément les courbes de niveau de bruit (NR pour Noise Rating) ont été instaurées par une norme ISO qui leur confère ainsi un caractère international. La législation française des normes acoustiques l'inscrit sous la référence NF S 30-010.

Ces courbes définissent des valeurs en bandes d'octave de 31,5 à 8000 Hz pour un indice donné.

#### Indices fractiles

L'indice fractile LX correspond au niveau sonore atteint ou dépassé pendant X% du temps d'observation. On utilise principalement les indices fractiles L10, L50, L90. Plus le pourcentage de temps est élevé plus l'indice considéré représente le bruit de fond, sans prendre en compte les contributions des événements sonores énergétiques de courte durée, comme des passages de véhicules isolés par exemple.

#### Durée de réverbération

Par définition, la durée de réverbération  $T_r$  correspond au temps nécessaire pour qu'un son décroisse de 60 dB après extinction d'une source sonore émettant dans le local.

Le  $T_r$  défini ainsi est également appelé TR60.

Par analogie, le TR30 et les TR15 correspondent au temps nécessaire pour qu'après l'arrêt d'une source sonore, l'intensité acoustique décroisse respectivement de 30 et 15 dB.

La durée de réverbération dépend essentiellement :

- de la forme et du volume du local,
- de la nature et de la surface des matériaux recouvrant les murs, le plafond, le sol.

### Echogrammes

Les échogrammes permettent de repérer les différentes caractéristiques des réflexions sonores perçues par un récepteur dans une configuration spécifique.

L'analyse du nombre, de l'intensité et du décalage dans le temps des réflexions perçues permet de juger de la qualité d'écoute d'un lieu.

Ainsi, lorsque le récepteur reçoit deux réflexions sonores, d'intensités similaires :

- à moins de 50 ms d'intervalle : elles sont perçues comme une seule onde sonore,
- entre 50 et 80 ms d'intervalle : elles renforcent l'intelligibilité de la parole ou de la musique,
- à plus de 80 ms d'intervalle : elles provoquent un écho défavorable à l'intelligibilité.

En cas d'écho, la gêne sera d'autant plus minimisée que l'intensité de l'onde réfléchie sera inférieure à celle de l'onde directe.

### Intelligibilité de la parole (STI et RASTI)

Le STI (Speech Transmission Index) est un critère objectif directement lié à l'intelligibilité de la parole. Il est généralement utilisé pour évaluer la facilité qu'auront les auditeurs à comprendre un discours ou entendre de la musique sans que le son soit déformé.

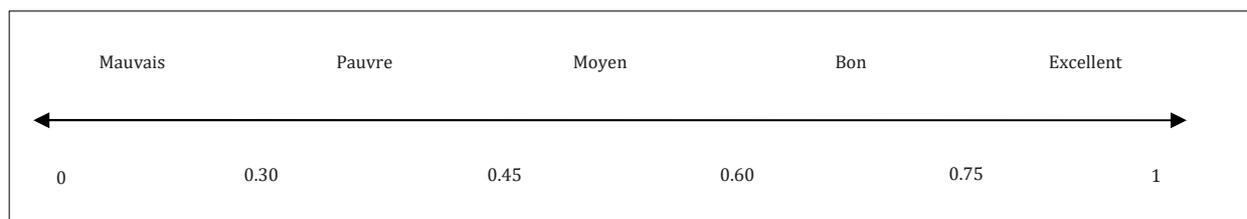
Ce critère dépend essentiellement :

- de la durée de réverbération,
- du rapport signal / bruit correspondant à la différence entre le niveau sonore de la parole reçu et le niveau ambiant.

Le STI varie entre 0 et 1.

On considère qu'il est bon à partir de 0,6 pour une salle sans sonorisation, mais on exigera un STI supérieur à 0,7 dans une salle sonorisée.

Le graphique ci-dessous indique les correspondances entre les valeurs du STI et l'intelligibilité correspondante :



Le RASTI (Rapid Speech Transmission Index) est calculé de la même façon que le STI, avec un calcul réduit aux bandes d'octaves 500 et 2 000 Hz.

## 3. Protocole de mesures acoustiques

La première partie du projet consista à mettre au point un protocole de mesure permettant la caractérisation acoustique des brasseurs. La méthodologie suivie ainsi que les modalités du protocole sont explicitées dans la partie suivante.

### 3.1. Objet

Le protocole suivant a pour objectif de décrire la méthodologie de mesures acoustiques de brasseurs d'air dans des cellules d'essai du laboratoire PIMENT à la Réunion et des laboratoire EIFFEL à Paris dans le cadre du projet BRASSE. Ce protocole a pour objet d'être extrapolé à d'autres locaux de tests pour des caractérisations acoustiques simplifiées de brasseurs.

Le protocole a pour objectif que les données acoustiques associées à un brasseur d'air soient homogènes et exploitables par un concepteur de locaux.

La puissance acoustique ( $L_w$ ) d'une source sonore permet de supprimer toute ambiguïté sur les conditions de mesures toujours associée à une donnée exprimée sous forme de niveau de pression acoustique/sonore ( $L_p$ ).

**La donnée acoustique à fournir est donc la puissance acoustique  $L_w$ ,  $L_{wA}$  en dB(A) dans le cadre du protocole** mais qui peut en complément être fournie en bande d'octave ou tiers d'octave.

***N.B. : Les données acoustiques transmises dans les fiches techniques des brasseurs d'air sont souvent inexploitable car l'unité n'est pas précisée. Le niveau de pression acoustique est inférieur (de 5 à 15 dB(A) voire plus selon les conditions de mesures) au niveau de puissance acoustique. Si cette différence peut sembler qualitative car la valeur en dB affichée est plus faible, cela ne permet pas une étude fiable.***

### 3.2. Généralités

#### 3.3. Niveau de pression acoustique

Le niveau sonore d'une source de bruit est exprimé en décibel :

$$L_p = 10 * \log \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

Avec :

$$p_0 = 2.10^{-5}$$

Cette pression acoustique  $p$  au niveau du point de mesures dépend

- De la puissance acoustique de la source
- De la distance à cette source
- Des conditions d'environnement (conditions de propagation, réflexions, diffraction, etc.)
- Du bruit de fond

L'ensemble de ces éléments, à part la distance entre la source et le récepteur, dépendent de la fréquence considérée.

Dans un local, la pression acoustique s'exprime comme la somme logarithmique du champ direct et du champ réverbéré selon la formule

$$L_{p_{total}} = L_p \text{ direct} + L_p \text{ réverbéré}$$

#### 3.3.1. Puissance acoustique

Soit, en introduisant le niveau de puissance acoustique :

$$L_{p_{total}} = L_w + 10 * \text{LOG} \left( \frac{Q}{4 * \pi * d^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Avec :

$A$  = l'Aire d'Absorption Equivalente de la salle de test

$Q$  = le coefficient de directivité de la source

$d = \text{distance source} - \text{récepteur}$

Deux stratégies sont utilisées pour faire des mesures de puissance acoustique de source. Il s'agit de créer les conditions de laboratoire pour rendre négligeable l'un ou l'autre des champs afin d'estimer la puissance acoustique à partir du champ prépondérant.

En effet, si le champ direct est négligeable devant le champ réverbéré, la puissance acoustique s'exprime comme :

$$L_w = L_p \text{ réverbéré} - 10 * \text{LOG} \left( \frac{4}{A} \right)$$

De même, si le champ réverbéré est négligeable devant le champ direct, la puissance acoustique s'exprime comme :

$$L_w = L_p \text{ direct} - 10 * \text{LOG} \left( \frac{Q}{4 * \pi * d^2} \right)$$

### 3.3.2. Salles utilisées en laboratoire

Concrètement, deux types de salles de tests acoustiques permettent de se rapprocher au mieux de ces deux situations :

- La salle réverbérante pour rendre négligeable le champ direct
- La salle anéchoïque pour rendre négligeable le champ réverbéré

Un local quelconque ne permet pas a priori de se positionner clairement dans une situation ou une autre. Le niveau sonore mesuré contient donc à parts non négligeables les contributions sonores directes et réverbérées.

### 3.4. Série des normes NF EN ISO 3740

#### 3.4.1. Tableau 1 : Vue d'ensemble des Normes internationales pour la détermination des niveaux de puissance acoustique des machines et des équipements

Paramètre	Niveau de pression acoustique							Intensité acoustique	
	ISO 3741 Laboratoire <sup>a</sup>	ISO 3743-1 Expertise <sup>a</sup>	ISO 3743-2 Expertise <sup>a</sup>	ISO 3744 Expertise <sup>a</sup>	ISO 3745 Laboratoire <sup>a</sup>	ISO 3746 Contrôle <sup>a</sup>	ISO 3747 Expertise ou contrôle <sup>a</sup>	ISO 9614-1 Laboratoire, expertise ou contrôle <sup>a</sup>	ISO 9614-2 Expertise ou contrôle <sup>a</sup>
Environnement d'essai	Salle réverbérante	Salle à parois dures	Dalle réverbérante spéciale	Champ essentiellement libre sur plan réfléchissant	Salle anéchoïque ou semi-anéchoïque	Pas d'environnement d'essai spécial	Champ essentiellement réverbéré in situ, soumis à des exigences de qualification données	Tout type	Tout type
Critère d'aptitude de l'environnement d'essai	Volume de la salle et temps de réverbération à qualifier	Volume $\geq 40 \text{ m}^3$ Coefficient d'absorption $< 0,20$	$70 \text{ m}^3 < \text{volume} < 300 \text{ m}^3$ $0,5 \text{ s} \leq T_{\text{room}} \leq 1 \text{ s}$	$K_2 \leq 2 \text{ dB}^b$	Exigences spécifiées	$K_2 \leq 7 \text{ dB}^b$	Exigences spécifiées	Exigences spécifiées pour: — intensité parasite; — vent, flux de gaz, vibrations, température; — configuration de l'environnement	Exigences spécifiées pour: — intensité parasite; — vent, flux de gaz, vibrations, température; — configuration de l'environnement
Volume de la source sonore	De préférence inférieur à 2 % du volume de la salle d'essai	De préférence inférieur à 1 % du volume de la salle d'essai	De préférence inférieur à 1 % du volume de la salle d'essai	Aucune restriction; limité uniquement par l'environnement d'essai disponible	Dimension caractéristique inférieure à la moitié du rayon de mesurage	Aucune restriction; limité uniquement par l'environnement d'essai disponible	Aucune restriction; limité uniquement par l'environnement d'essai disponible	Aucune restriction	Aucune restriction
Type du bruit émis par la source	Stable, à large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète	Tout type mais pas d'éclats isolés	Tout type mais pas d'éclats isolés	Tout type	Tout type	Tout type	Stable, à large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète	À large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète, si stationnaire dans le temps	À large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète, si stationnaire dans le temps
Limitation du bruit de fond	$\Delta L \geq 10 \text{ dB}$ $K_1 \leq 0,5 \text{ dB}^c$	$\Delta L \geq 6 \text{ dB}$ $K_1 \leq 1,3 \text{ dB}^c$	$\Delta L \geq 4 \text{ dB}$ $K_1 \leq 2 \text{ dB}^c$	$\Delta L \geq 6 \text{ dB}$ $K_1 \leq 1,3 \text{ dB}^c$	$\Delta L \geq 10 \text{ dB}$ $K_1 \leq 0,5 \text{ dB}^c$	$\Delta L \geq 3 \text{ dB}$ $K_1 \leq 3 \text{ dB}^c$	$\Delta L \geq 6 \text{ dB}$ $K_1 \leq 1,3 \text{ dB}^c$	Niveau donné par la capacité dynamique des instruments (généralement: $\Delta L \geq -10 \text{ dB}$ variabilité; exigence spécifiée pour l'indicateur de champ F1	Niveau donné par la capacité dynamique des instruments (généralement: $\Delta L \geq -10 \text{ dB}$ variabilité; exigence spécifiée pour la vérification de la répétabilité
Instruments: <sup>d</sup> a) sonomètre b) sonomètre intégrateur c) filtre de bande de fréquences d) calibre e) instrument de mesure de l'intensité acoustique	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	e) classe 1 ou 2 <sup>e</sup>	e) classe 1 ou 2 <sup>e</sup>
Niveaux de puissance acoustique pouvant être obtenus	Pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave	Pondéré A et par bandes d'octave	Pondéré A et par bandes d'octave	Pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave	Pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave	Pondéré A	Pondéré A et par bandes d'octave	Bande limitée (1/3 octave 50 Hz à 6 300 Hz) pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave. La classe de précision est déterminée à partir d'indicateurs de champ.	Bande limitée (1/3 octave 50 Hz à 6 300 Hz) pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave. La classe de précision est déterminée à partir d'indicateurs de champ.
Informations facultatives disponibles	Autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence	Autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence	Autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence	Information sur la directivité et niveaux de pression acoustique en fonction du temps; niveaux de pression acoustique d'un événement élémentaire; autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence	—	Niveaux de pression acoustique en fonction du temps	Niveaux de pression acoustique en fonction du temps	Concentration de puissance acoustique élémentaire partielle positive et/ou négative	—

<sup>a</sup> Classe de précision: laboratoire = classe 1; expertise = classe 2; contrôle = classe 3.  
<sup>b</sup>  $K_2$  est la correction d'environnement (voir 3.12).  
<sup>c</sup>  $K_1$  est la correction de bruit de fond (voir 3.11).  
<sup>d</sup> Au moins conforme à la classe " " de:  
a) CEI 61672-1, b) CEI 61672-1, c) CEI 61260, d) CEI 60942, e) CEI 61043  
<sup>e</sup> Selon la classe de précision de la méthode (classe 1 pour les méthodes de laboratoires et d'expertise et classe 2 pour la méthode de contrôle).

Tableau 1 : Vue d'ensemble des Normes internationales pour la détermination des niveaux de puissance acoustique des machines et de équipements

#### 3.4.2. Tableau 2 — Incertitude dans la détermination des niveaux de puissance, exprimée par la valeur maximale de l'écart-type de reproductibilité

Fréquence	ISO 3741	ISO 3743-1	ISO 3743-2	ISO 3744	ISO 3745	ISO 3745	ISO 3746	ISO 3747	ISO 9614-1	ISO 9614-1	ISO 9614-1	ISO 9614-2	ISO 9614-2	
					Salle anéchoïque	Salle semi-anéchoïque		Expertise	Contrôle	Laboratoire	Expertise	Contrôle	Expertise	Contrôle
Pondération A	0,5	1,5	2	1,5 <sup>a</sup>	—	—	3 <sup>a</sup> (si $K_2 \leq 5 \text{ dB}$ ) 4 <sup>a</sup> (si $5 < K_2 \leq 7 \text{ dB}$ ) 4 <sup>c</sup> (si $K_2 \leq 5 \text{ dB}$ ) 5 <sup>c</sup> (si $5 < K_2 \leq 7 \text{ dB}$ )	1,5	4	—	—	4 <sup>b</sup>	1,5 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>
Bandes d'octave (Hz)														
63	—	—	—	5 <sup>d</sup>	—	—	—	—	—	2	3	—	3	—
125	2,5	3	5	3	—	—	—	—	—	2	3	—	3	—
250	1,5	2	3	2	—	—	—	—	—	1,5	2	—	2	—
500	1,0	1,5	2	1,5	—	—	—	—	—	1,5	2	—	1,5	—
1 000 à 4 000	1,0	1,5	2	1,5	—	—	—	—	—	1	1,5	—	1,5	—
8 000	2	2,5	3	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bandes de tiers d'octave (Hz)														
50 à 80	—	—	—	5 <sup>d</sup>	2	2	—	—	—	2	3	—	3	—
100 à 160	3,0	—	—	3	1	1,5	—	—	—	2	3	—	3	—
200 à 315	2,0	—	—	2	1	1,5	—	—	—	1,5	2	—	2	—
400 à 630	1,5	—	—	1,5	1	1,5	—	—	—	1,5	2	—	1,5	—
800 à 5 000	1,5	—	—	1,5	0,5	1	—	—	—	1	1,5	—	1,5	—
6 300 à 10 000	3	—	—	2,5	1	1,5	—	—	—	2 <sup>e</sup>	2,5 <sup>e</sup>	—	2,5 <sup>e</sup>	—

<sup>a</sup> Pour une source qui émet un bruit avec un spectre relativement «plat» sur le domaine de fréquences utile.  
<sup>b</sup> Pondéré A (à partir de bandes d'octave, 63 Hz à 4 000 Hz ou à partir de bandes de tiers d'octave, 50 Hz à 6 300 Hz).  
<sup>c</sup> Pour une source qui émet un bruit contenant des sons purs prédominants.  
<sup>d</sup> Généralement pour des mesurages en plein air; bon nombre de salles ne sont pas qualifiées pour cette bande de fréquence.  
<sup>e</sup> Bande de tiers d'octave 6 300 Hz uniquement.  
— Non indiqué dans la norme.

Tableau 2 : Incertitude dans la détermination des niveaux de puissance, exprimée par la valeur maximale de l'écart-type de reproductibilité

### 3.4.3. Tableau 3 — Facteurs conditionnant le choix de la méthode

	ISO 3741	ISO 3743-1	ISO 3743-2	ISO 3744	ISO 3745	ISO 3746	ISO 3747	ISO 9614-1	ISO 9614-2
<b>Classe de précision</b>	Laboratoire (classe 1) Expertise (classe 2) Contrôle (classe 3)								
<b>Environnement conçu pour la détermination de la puissance acoustique</b>	Salle réverbérante Salle d'essai réverbérante Salle anéchoïque Salle semi-anéchoïque Salle d'essai à parois dures								
<b>Environnement in situ</b>	À l'intérieur dans un champ réverbéré À l'intérieur dans un champ relativement libre sur un plan réfléchissant À l'intérieur et à l'extérieur dans un champ essentiellement libre sur un plan réfléchissant								
<b>Niveau de bruit de fond</b>	$\Delta L \geq 10$ dB $\Delta L \geq 6$ dB $\Delta L \geq 3$ dB $\Delta L < 3$ dB								
<b>Type de bruit</b>	Tous types comme défini dans l'ISO 12001 Tous types, à l'exception des impulsions isolées Stable dans le temps								
<b>Instruments (voir Table 1)</b>	Sonomètre: classe 1 classe 2 Sonomètre intégrateur: classe 1 classe 2 Filtre de bande de classe 1 Instrument de mesure de l'intensité acoustique								
<b>Niveaux de puissance acoustique pouvant être obtenus</b>	Niveaux par bandes de tiers d'octave Niveaux par bandes d'octave Niveaux pondérés A								
<b>Information disponible en option</b>	Autres pondérations en fréquence Information sur la directivité Signature temporelle								
<p><sup>a</sup> Correction d'environnement <math>K_2 \leq 2</math> dB.      <sup>c</sup> La limite inférieure est approximativement égale à -10 dB, mais dépend des conditions de mesurage.      x Applicable.</p> <p><sup>b</sup> Correction d'environnement <math>K_2 \leq 7</math> dB.      <sup>d</sup> Pondéré A (à partir de bandes d'octave, 63 Hz à 4 000 Hz ou à partir de tiers d'octave, 50 Hz à 6 300 Hz).</p>									

Tableau 3 : Facteurs conditionnant le choix de la méthode

### 3.5. NORME NF EN ISO 3746-201206

Cette norme a été retenue comme base du protocole de détermination des puissances acoustiques des brasseurs d'air.

#### 3.5.1. Intitulé

« Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique — Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant »

#### 3.5.2. Description succincte et application au brasseur

##### 3.5.2.1. Critère de bruit de fond

Les niveaux de pression acoustique pondérés A dus au bruit de fond moyennés sur l'ensemble des positions de microphone ou des trajets microphoniques sur la surface de mesure doivent être inférieurs d'au moins 3 dB au niveau de pression acoustique moyen dû à la source de bruit en essai en fonctionnement, mesuré en présence de ce bruit de fond (voir 8.3.2).

##### 3.5.2.2. Critère d'aptitude acoustique de l'environnement d'essai

- $K2A < 7$  dB

##### 3.5.2.3. Généralités

Sonomètre de classe 2 OK pour bruit stable mais sonomètre de classe 1 conseillé

##### 3.5.2.4. Fonctionnement de la source pendant l'essai

Conditions de fonctionnement de la source en essai (par exemple) :

1. Source dans des conditions de charge spécifiées ;
2. Source sous pleine charge (si elle diffère de la charge spécifiée) ;
3. Source sous charge nulle (à vide) ;
4. Source à vitesse maximale dans des conditions définies ;
5. Source fonctionnant dans les conditions correspondant à une émission sonore maximale en utilisation normale ;
6. Source sous charge simulée et dans des conditions définies ;
7. Source effectuant un cycle de travail caractéristique dans des conditions définies. Pour le brasseur, il s'agira des différentes vitesses de rotation.

##### 3.5.2.5. Parallélépipède de référence

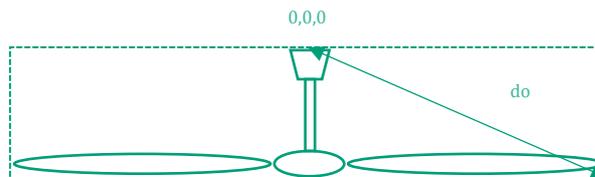


Figure 1 : Schéma du parallélépipède de référence

### 3.5.2.6. Surface de mesure hémisphérique

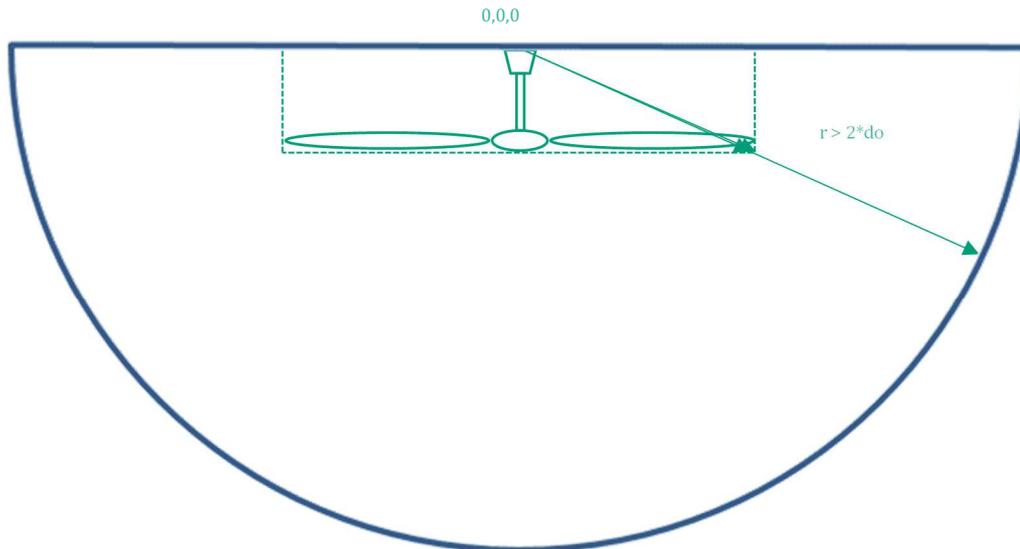


Figure 2 : Schéma de la surface de mesure hémisphérique

### 3.5.2.7. Détermination de K2A

Méthode valable dans le cas de salle d'essai de longueur et de largeur inférieures à trois fois la hauteur du plafond.

$$K_{2A} = 10 * LOG \left( 1 + 4 \frac{S}{A} \right)$$

Avec :

- A est l'aire d'absorption acoustique équivalente de la salle, en mètres carrés ;
- S est l'aire, en mètres carrés, de la surface de mesure.
- $A = \alpha * S_v$

Où :

- $\alpha$  est le coefficient d'absorption acoustique moyen, donné pour des grandeurs pondérées A dans le [Tableau 4](#);
- $S_v$  est l'aire totale, en mètres carrés, des surfaces délimitant la salle d'essai (murs, plafond et sol).

Surface de mesures :  $S = 2 * \pi * r^2$

Coefficient d'absorption acoustique moyen, $\alpha$	Description de la salle
0,05	Salle presque entièrement vide à murs lisses et durs en béton, brique, plâtre ou carrelage
0,10	Salle partiellement vide; salle à murs lisses
0,15	Salle meublée ayant la forme d'un cuboïde carré; salle de machines ou local industriel ayant la forme d'un cuboïde carré
0,20	Salle meublée de géométrie irrégulière; salle de machines ou local industriel de géométrie irrégulière
0,25	Salle contenant du mobilier rembourré; salle de machines ou local industriel à parois ou à plafond revêtus de petites quantités de matériau absorbant
0,30	Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs
0,35	Salle à murs et plafond revêtus de matériau absorbant
0,50	Salle à murs et plafond largement revêtus de matériau absorbant

Tableau 4 : Valeurs approchées du coefficient d'absorption acoustique moyen,  $\alpha$

### 3.5.2.8. Positions des points de mesure hémisphériques

- 4 positions de mesures
- Positions de mesures supplémentaires si l'étendue entre plus petite et plus grande valeur dépasse 2 fois le nombre de positions de points de mesurage.
- Réduction du nombre de points de mesures si écart entre les valeurs est inférieurs à 1dB (exemple avec diagramme de rayonnement symétrique, cas du brasseur a priori).

### 3.5.2.9. Mesurage des niveaux de pression acoustique

- Durée minimum 10 secondes, pour chaque mode de fonctionnement.
- Mesure du bruit de fond aux mêmes positions.
- Niveau moyen de pression acoustique pondéré A :

$$\overline{L'_{pA}(ST)} = 10 \lg \left[ \frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0,1L'_{pAi}(ST)} \right] \text{ dB}$$

Où  $L'_{pAi}(ST)$  est le niveau de pression acoustique temporel moyen pondéré A de la source de bruit en essai (ST) à la position i du microphone ou sur le trajet i du microphone, en décibels;

$N_M$  est le nombre de positions de microphone ou de trajets microphoniques individuels.

### 3.5.2.10. Corrections de bruit de fond

$$K_{1A} = -10 * \text{LOG}(1 - 10^{-0,1\Delta L_{pA}})$$
$$\Delta L_{pA} = \overline{L'_{pA}(ST)} - \overline{L_{pA}(B)}$$

Où :

- $\overline{L'_{pA}(ST)}$  est le niveau de pression acoustique temporel moyen pondéré A du réseau de positions de microphone sur la surface de mesure, la source de bruit en essai étant en fonctionnement, en décibels
- $\overline{L_{pA}(B)}$  est le niveau moyen de pression acoustique temporel moyen pondéré A du bruit de fond du réseau de positions de microphone sur la surface de mesure, en décibels.
- Si  $\Delta L_{pA} > 10$  dB,  $K_{1A}$  est supposée égale à zéro.
- Pour  $3 \text{ dB} \leq \Delta L_{pA} \leq 10$  dB, les corrections doivent être calculées conformément à l'Équation (12).
- Si  $\Delta L_{pA} < 3$  dB, la précision du (des) résultat(s) est réduite et la valeur de  $K_{1A}$  à appliquer dans ce cas est de 3 dB (la valeur pour  $\Delta L_{pA} = 3$  dB). Dans ce cas, il doit être clairement mentionné dans le texte du rapport d'essai, ainsi que dans les graphiques et les tableaux de résultats, que les données obtenues lors de l'essai constituent une limite supérieure du niveau de puissance acoustique de la source de bruit en essai.

### 3.5.2.11. Calcul du niveau de pression acoustique surfacique temporel moyen

$$\overline{L_{pA}} = \overline{L'_{pA}(ST)} - K_{1A} - K_{2A}$$

### 3.5.2.12. Calcul des niveaux de puissance acoustique

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 * \text{LOG} \left( \frac{S}{S_0} \right)$$

Avec :

- S = Surface de mesure
- $S_0 = 1\text{m}^2$

## 3.5.3. Incertitude de mesures

Cette incertitude de mesure correspond à l'usage de la norme 3746 et prend en compte l'écart type « forfaitaire » sur le bruit des machines  $\sigma_{\text{omc}}$  ainsi que celui de la méthodologie de mesures  $\sigma_{\text{RO}}$ .

On peut réduire cette incertitude dans le cadre de la 3746 dans le cadre de spectre « plat » des machines sans ton pur prédominant ou bien utiliser la norme 3744 qui permet de réduire l'incertitude à 1.5 dB(A) mais qui nécessite des conditions de mesures et d'environnement plus contraignantes (10 points de mesures,  $K_2 < 2$  dB

$$u(Lw) = \sigma_{\text{tot}}$$

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{omc}^2}$$

Incertitude élargie :  $U = k * \sigma_{tot}$

L'intervalle de confiance à 95% s'obtient avec  $k=2$  ( $Lw$  se situera avec 95% de chance dans l'intervalle  $(Lw - U)$  et  $(Lw + U)$ ).

$$\sigma_{omc} = 2dB$$

$$\sigma_{R0} = 1.5 dB$$

Avec les brasseurs, on a donc :

$$U = 2 * \sqrt{1.5^2 + 2^2} = 5 dB$$

### 3.6. Méthodologie retenue

#### 3.6.1. Principe général

Des salles dédiées aux tests de performances des brasseurs serviront aux mesures de niveaux de pression acoustique afin de déterminer les puissances acoustiques sur la base de la norme NF EN ISO 3746.

Cette norme permet de réaliser des mesures en niveau global pondéré A et de prendre en compte les caractéristiques acoustiques de la salle afin de calculer la correction d'environnement K2A de manière visuelle. Il est également possible de faire cette correction par la mesure du temps de réverbération afin d'améliorer la précision, a priori. Pour cela il faut calculer l'aire d'absorption équivalente de la salle grâce à la mesure du temps de réverbération et à la formule de Sabine présentée ci-dessous :

$$Tr = \frac{0.16V}{A}$$

Avec :

- Tr le temps de réverbération moyenné sur les bandes des tiers d'octaves comprises entre 400 et 1250 Hz (fréquence d'analyse que LASA juge cohérente par rapport aux mesures d'un brasseur d'air).
- V le volume de la salle
- A l'air d'absorption équivalente

De cette formule nous pouvons remonter à l'aire d'absorption équivalente. La correction d'environnement résultant de cette méthode sera nommée K2A' par la suite.

Il est également maintenu la possibilité de faire les relevés acoustiques en bande de tiers d'octave pour permettre notamment des analyses plus fines du spectre des brasseurs.

Il convient en première approche de s'assurer des caractéristiques suivantes pour permettre ces mesures normalisées :

#### Hypothèses sur la géométrie du brasseur

- Diamètre : 1.3m
- Hauteur 0.5m
- Donc une distance d0 de 0.82
- Donc avec un rayon de l'hémisphère de mesurage de 1.64m.

Avec une puissance acoustique du brasseur supposée de l'ordre de 35 dB(A) en petite vitesse

Les contraintes sont :

- **Bruit de fond inférieur à 30 dB(A)**
- **Salle :**
  - **Surface de la salle de 20m2 au minimum**
  - **Alpha moyen des parois de 0.20**

**Ou (par exemple) :**

- **Surface de la salle de 25m2 au minimum**
- **Alpha moyen des parois de 0.15**

Il est nécessaire de retenir 4 positions de mesures pour le bruit du brasseur en fonctionnement et le bruit de fond. Ces positions de bruit de fond pourraient être éventuellement réduites à 1 s'il apparait lors des premières mesures de caractérisation des salles que celui-ci est sensiblement équivalent en tous les points de mesures.

Les positions de mesures seront repérées soit par des supports fixés au sol soit suspendus au plafond permettant un positionnement précis du microphone lors des mesures.

Ces supports de sonomètres ne devront pas générer de bruit notamment s'ils sont exposés au flux d'air du brasseur.

N.B. : Ces positions dépendent donc de la dimension du brasseur d'air. Toutefois il pourra être prévu une stratégie de maximisation de la surface de mesurage permettant de prendre en compte les brasseurs les plus grands ( $r > 2 \cdot d_0$ ) afin de permettre un repérage définitif des positions de mesurage.

### 3.6.2. Schéma de positions de brasseur et de mesures

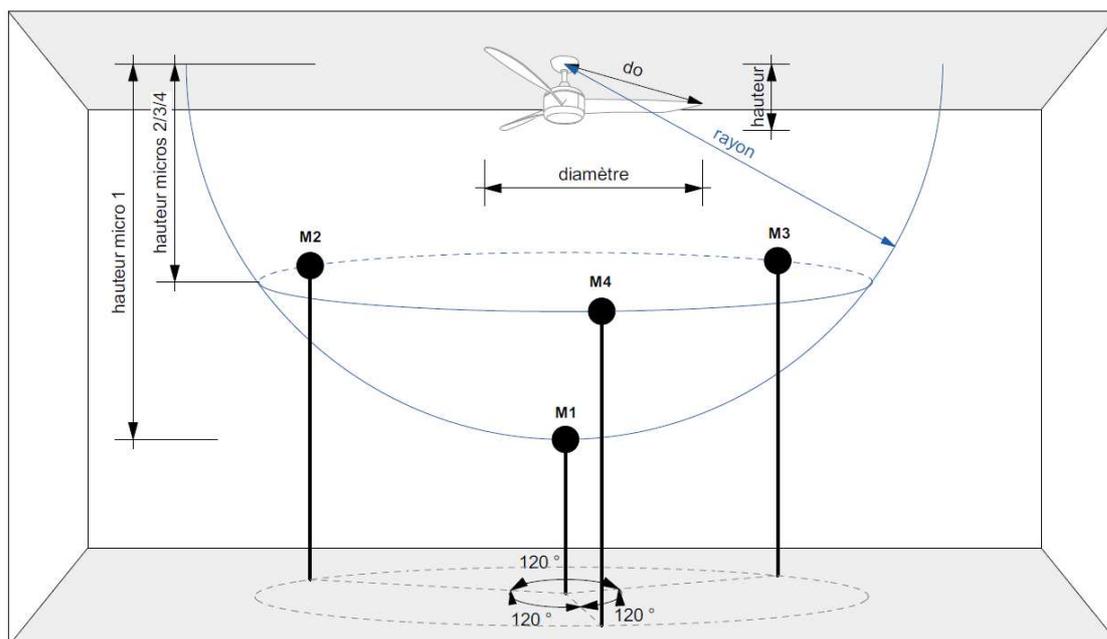


Figure 3 : Schéma de position de brasseur et de mesures

Le brasseur est positionné au centre du plafond le plus loin possible des parois latérales.

### 3.6.3. Conditions de fonctionnement : vitesses de rotation

Les différentes vitesses de rotations disponibles du brasseur seront mesurées en chaque point de mesures.

### 3.6.4. Fiche de mesures

1 fiche par régime de fonctionnement

Coordonnées des positions de mesures avec origine au point de suspension du brasseur

/\ si différences LP entre points trop élevées

!BDF si bruit de fond trop élevé

Saisie caractéristique salle d'après observations avec alpha moyen automatisée

**Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746**

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V1 : 80RPM	Fiche	Date
Lieu :	Labo Enfel Paris	Opérateur :	EAS	1	26-avr-22

Dimensions brasseur :		? Nb mesures		OK		Surface parois salle en m2		Alpha salle		0.10	
hauteur :	0.35 m	X	Y	Z	X	Y	Z	A	Sp	Visu	LpA
diam Br :	1.32 m	1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5	7.2		26.2
do =	0.75 m	2	0.45	0.77	0.45	0.7	1.2	0.7	9.4		LwA
r =	1.49	3	0.45	-0.77	0.45	0.7	-1.2	0.7	0.4		37.6
S (surface mesure)		4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7			Tr
	14.0 m2										LpA
											24.3
											LwA
											35.8 +/-
											> 4 / (LpA)

A	2.5	4.0	7.9	4.8	5.3	4.3	3.8	5.0	4.8	4.8	5.1	4.6	4.2	4.0	4.2	4.8	5.0	5.4	5.8	6.6	11.6	10.5	13.1	
Tr	2.6	1.6	0.8	1.3	1.2	1.5	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.6	0.6	0.5

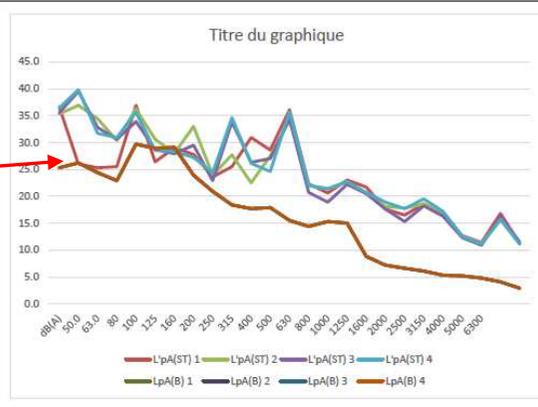
  

LpA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	36.6	26.0	25.3	25.5	36.9	26.4	29.0	27.8	23.6	25.5	30.9	28.6	36.1	22.3	20.6	23.0	21.7	17.6	16.5	18.6	16.8	12.7	11.4	16.8	11.2
2	35.3	36.9	34.4	30.4	36.2	30.6	28.0	33.0	23.9	27.7	22.5	27.5	34.1	22.0	21.4	22.7	20.5	18.1	17.8	18.6	17.0	12.5	11.2	15.6	11.2
3	35.5	39.5	32.8	30.6	33.9	28.7	27.9	29.5	22.9	33.8	26.3	27.0	34.4	20.7	18.9	22.2	20.5	17.6	15.3	18.2	16.3	12.3	10.9	16.1	11.7
4	36.4	39.8	31.7	30.9	35.6	28.5	28.3	27.2	24.4	34.6	26.1	24.6	35.7	22.0	21.4	22.7	20.7	18.9	17.7	19.5	17.2	12.6	11.1	15.7	11.1
Moy	36.0	37.7	32.1	29.8	35.8	28.8	28.3	30.0	23.7	31.9	27.5	27.2	35.2	21.8	20.7	22.7	20.9	18.1	16.9	18.8	16.8	12.5	11.2	16.1	11.3

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
2	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
3	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
4	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
Moy	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9

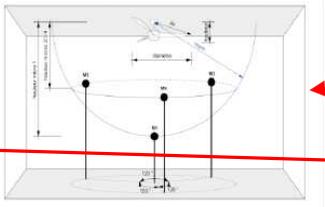
  



Titre du graphique



Remarques et commentaires :  
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSEUR.  
Hauteur de plafond mobile : 250cm  
Murs sans absorbants



## 4. Présentation des mesures acoustiques réalisées via le protocole mis en place

Les différentes séries de mesures acoustiques réalisées dans le cadre du projet BRASSE sont présentées ci-après.

Des mesures ont eu lieu dans le laboratoire PIMENT situé à la Réunion, du 18 au 20 octobre 2021 dans le cadre du séminaire organisé pour le projet BRASSE. Puis, une campagne de mesures a été réalisée dans les locaux de la soufflerie EIFFEL à Paris le 29 octobre 2021.

Ces campagnes ont conduit à des modifications des deux salles d'essai et deux nouvelles séries de mesures, sur le même brasseur, ont eu lieu le 07 mars et le 26 avril 2022 aux laboratoires PIMENT et d'EIFFEL.

Ces mesures ont permis de tester le protocole de mesures acoustiques dans la salle d'essai des brasseurs d'air du laboratoire PIMENT et de vérifier l'adéquation des locaux, avec la norme utilisée, grâce aux mesures réalisées à la soufflerie EIFFEL.

De plus, des mesures de niveau sonore acoustique ont été réalisées dans un certain nombre de locaux différents et les résultats sont présentés dans la section suivante.

### 4.1. Salle d'essai au laboratoire PIMENT à la Réunion

#### 4.1.1. Présentation de la salle d'essai du laboratoire PIMENT

La salle d'essai des brasseurs d'air du laboratoire PIMENT est située dans les locaux de l'ESIROI à Saint Pierre à la Réunion. Cette salle a été conçue spécifiquement pour les tests des brasseurs dans le cadre notamment du projet BRASSE.

Les caractéristiques de la salle sont :

- Surface : 4\*4 = 16 m<sup>2</sup>
- Hauteur sous plafond suspendu de 250 à 270cm
- Sol en béton
- Plafond suspendu en cadre métallique avec dalle de plafond en fibre minérale
- Murs en béton sauf partie haute de 2 des 4 murs en polycarbonate.

#### 4.1.2. Caractéristiques acoustiques de la salle

Les premières mesures effectuées sur site ont permis de quantifier les durées de réverbération ainsi que le bruit de fond dans la salle de test. Les résultats sont visibles dans le tableau et les graphiques suivants :

Fréquence (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
TR 250 REV (s)	3.31	1.56	1.47	1.56	1.12	1.09	0.93	0.75	0.70	0.61	0.61	0.62	0.82	0.78	0.74	0.67	0.68	0.68	0.64	0.69	0.71	0.65	0.62	0.62
TR 250 ABS (s)	1.16	1.27	2.02	1.40	0.93	0.97	0.49	0.42	0.38	0.39	0.37	0.34	0.34	0.35	0.35	0.41	0.43	0.44	0.48	0.50	0.48	0.41	0.38	0.36
TR 270 ABS (s)	1.36	1.18	1.58	1.17	0.90	0.86	0.57	0.58	0.46	0.42	0.40	0.36	0.33	0.36	0.40	0.35	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.30	0.29
BDF (dB)	40.4	23.9	29.7	27.4	20.4	16.2	18.8	18.9	13.7	11.5	11.6	11.9	8.3	7.7	10.2	7.3	7.9	9.4	8.3	8.5	9.9	9.1	9.1	9.1

Tableau 5 : Résultats des mesures de temps de réverbération pour différentes configurations de salles et du bruit de fond

Il a été mesuré un bruit de fond de de 21 dB(A). Ce bruit de fond est très bas ce qui est une caractéristique très favorable pour la mesure de bruit des brasseurs notamment à basse vitesse, toutefois le local est facilement perturbé par les bruits en provenance de la zone de commande ou de la salle de TP mitoyenne qui ne sont séparées de la salle de test que par une cloison en polycarbonate qui ne peut apporter un isolement que de l'ordre de 15 à 20 dB maximum.

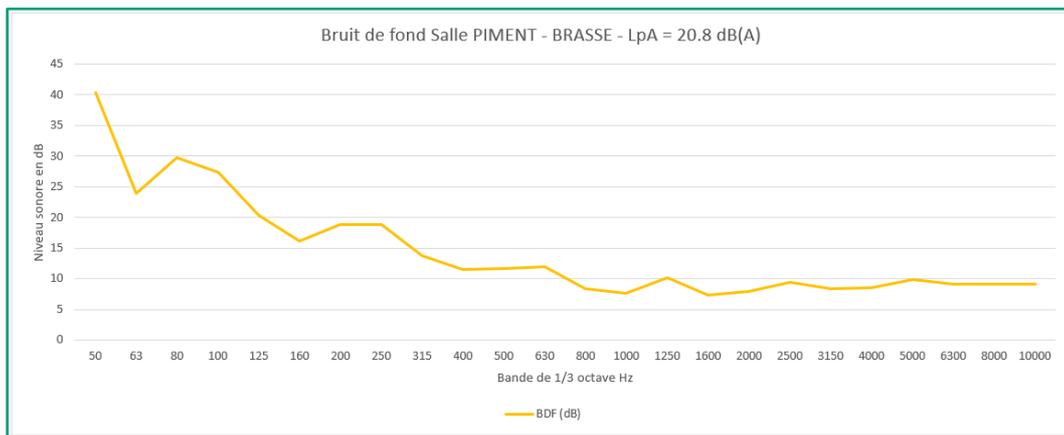


Figure 4 : Bruit de fond mesuré dans la cellule d'essai du laboratoire PIMENT

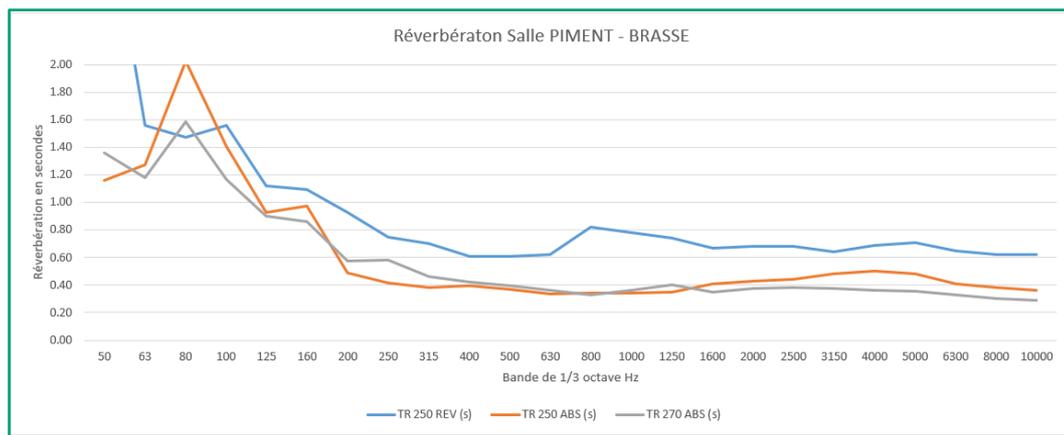


Figure 5 : Temps de réverbération mesuré dans la salle en fonction de la hauteur et des traitements acoustiques du plafond

La réverbération de la salle de test, présentée ci-dessus, montre la diminution des valeurs non négligeables (divisées par deux à certaines fréquences) à la suite de l'ajout de panneaux de fibre minérales (de plafond) posés contre les murs.

Le choix pour cette étude est de réaliser le calcul du niveau de puissance du brasseur en utilisant la mesure du temps de réverbération au lieu de déduire le coefficient d'absorption de la salle via le tableau donné par la norme. Cette méthode apporte des résultats plus précis, car les données sont mesurées et non déduites d'observations. Cette remarque est d'autant plus vraie que les évaluateurs ne sont pas spécialistes des matériaux acoustiques.

Pour exemple, si nous nous tenons à la norme dans le cas présent, la salle d'essai avec une hauteur de 2.50 m et sans matériaux absorbant sur les murs, serait vu comme une « Salle à plafond absorbant, mais sans matériaux absorbant sur les murs » (faux plafond présent dans la salle). Ce qui donnerait un  $\alpha$  moyen de 0.3 d'après le tableau de la norme. Si nous calculons maintenant le même  $\alpha$  en utilisant les valeurs de temps de réverbération mesurés, nous trouvons une valeur de  $\alpha$  moyen de 0.13.

La différence observée ici est élevée pour un indice qui évolue entre 0 et 1. Les résultats de niveau de puissance acoustique que nous obtenons, avec les deux méthodes, peuvent avoir un écart pouvant être plus élevée que l'incertitude associée au protocole. Dans notre situation, l'écart de LwA est de 3 dB(A) pour une hauteur de 2.50 m sans matériaux absorbant.

En revanche, lorsque des panneaux absorbants ont été ajoutés, le  $\alpha$  moyen, calculer en fonction du temps de réverbération remesuré, se situe aux alentours des 0.23 et se rapproche de la valeur déduite par la norme. Dans cette situation, les valeurs de puissances obtenues dans les deux situations sont assez proches.

La méthode par mesures du temps de réverbération pour obtenir K2A' est à privilégier lorsqu'il est possible de réaliser la mesure de la réverbération du local. A noter, que cette réverbération ne varie pas en fonction du brasseur testée, elle peut donc être mesurée afin de caractériser un local de manière définitive en l'absence de modification des matériaux en parois.

En réalisant l'analyse selon le temps de réverbération mesuré et sans l'ajout des matériaux absorbants, la salle de test ne permet pas d'avoir un terme K2A' satisfaisant au sens de la norme 3746 (on obtient une valeur de 8.5 pour un maximum de 7 permis dans la norme). Avec l'ajout de ces quelques matériaux le K2A' descend à 6.1 pour une hauteur de 2.5m et 5.9 pour une hauteur de 2.7m, la valeur est donc conforme à la norme. L'incertitude sera quant à elle de 4 dB(A) au lieu de 3 dB(A) pour un K2A' < 5. Il est donc essentiel de prévoir ces aménagements complémentaires afin de réduire le K2A et l'incertitude lié.

### 4.1.3. Caractérisation d'un brasseur d'air selon le protocole

L'analyse décrite ci-dessus a été effectuée pour la salle avec le plafond à 2.5 m, sans matériaux absorbant et pour la salle avec le plafond à 2.7m, avec matériaux absorbant. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (fiches mesures disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

Salle testée	Plafond à 2.5 m, sans absorbant	Plafond à 2.7 m, avec absorbant
Tr (400 - 1250 Hz)	0.7	0.42
K2A	5.6	5.0
K2A'	8.5	5.9
Incertitude	K2A' trop important → incertitude non présentée et supérieur à +/- 4 dB(A)	K2A inférieur à 7 → incertitude de +/- 4 dB(A)
LwA (V1) dB(A)	21.5	24.5
LwA (V2) dB(A)	30.5	32
LwA (V3) dB(A)	38	39.5

Tableau 6 : Résultats des mesures effectuées dans la salle PIMENT dans deux configurations différentes

Comme on peut le voir, la différence entre le K2A et le K2A' est élevé lorsqu'il n'y pas d'absorbant, ce qui peut impacter fortement les résultats. Comme dis précédemment, il faut faire attention lorsqu'on utilise la norme pour déterminer le coefficient d'absorption de la salle.

Aucune conclusion ne peut être faite sur les résultats, car l'incertitude sur le cas sans absorbant est trop élevée.

### 4.1.4. Synthèse

La cellule de test des brasseurs d'air du laboratoire PMENT de l'ESIROI permet de mesurer les niveaux sonores des brasseurs d'air de petite dimension (diamètre maximum de 1.55m) compte tenu de la taille de la cellule.

Le bruit de fond dans cette salle est suffisamment faible pour des mesures de niveau sonore de brasseur jusqu'à 25 dB(A) environ au minimum. Toutefois ce bruit de fond peut être perturbé par les bruits dans la salle mitoyenne de TP de l'ESIROI. Cela implique de la part de l'opérateur un très grand silence y compris hors de la salle de test. Il est conseillé de s'assurer par post-traitement des données mesurées que les perturbations acoustiques sont bien ôtées des calculs.

Cela nécessite par ailleurs de réaliser les mesures avec un sonomètre de classe 1 ayant un bruit de fond électronique très faible.

Pour permettre de limiter au mieux la réverbération et donc abaisser le critère K2A afin que la salle soit conforme à la norme du protocole, et même le bruit de fond dans la salle, l'ajout de panneaux absorbants sur les murs de la salle d'essai serait à réaliser. Des panneaux de laine de roche rigide de 50mm d'épaisseur minimum placés entre les montants métalliques supports des panneaux en polycarbonate conviendraient à cet usage.

A noter que l'utilisation de la norme et son approche visuelle pour déterminer le  $\alpha$  moyen n'est pas la méthode la plus précise.

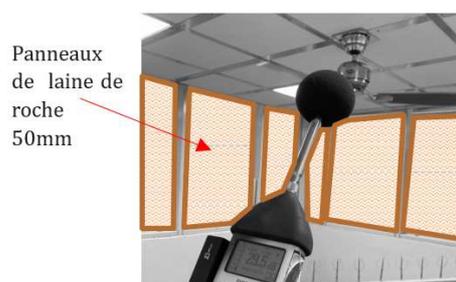


Figure 6 : Schéma des traitements acoustique apportés aux murs de la salle

## 4.2. Salle d'essai du laboratoire EIFFEL à Paris

Afin de vérifier l'adéquation des locaux, avec la norme utilisée, une seconde campagne de mesure a été effectuée dans une salle d'essai au laboratoire EIFFEIL.

### 4.2.1. Présentation de la salle d'essai du laboratoire EIFFEL

La salle prévue pour les tests dans le laboratoire EIFFEL est située dans les locaux de la soufflerie historique 67, rue BOILEAU à Paris 16<sup>ème</sup>. Une partie de cette grande halle est dédié aux mesures sur les brasseurs d'air. Un plafond léger a été mis en place au-dessus de la zone de test afin de se rapprocher des conditions d'utilisation des brasseurs d'air. Les dimensions de la salle sont de 30\*13\*9HT, soit un volume de 3510 m3. Toutefois, la zone prévue pour les brasseurs ne concerne qu'une partie de cet espace.

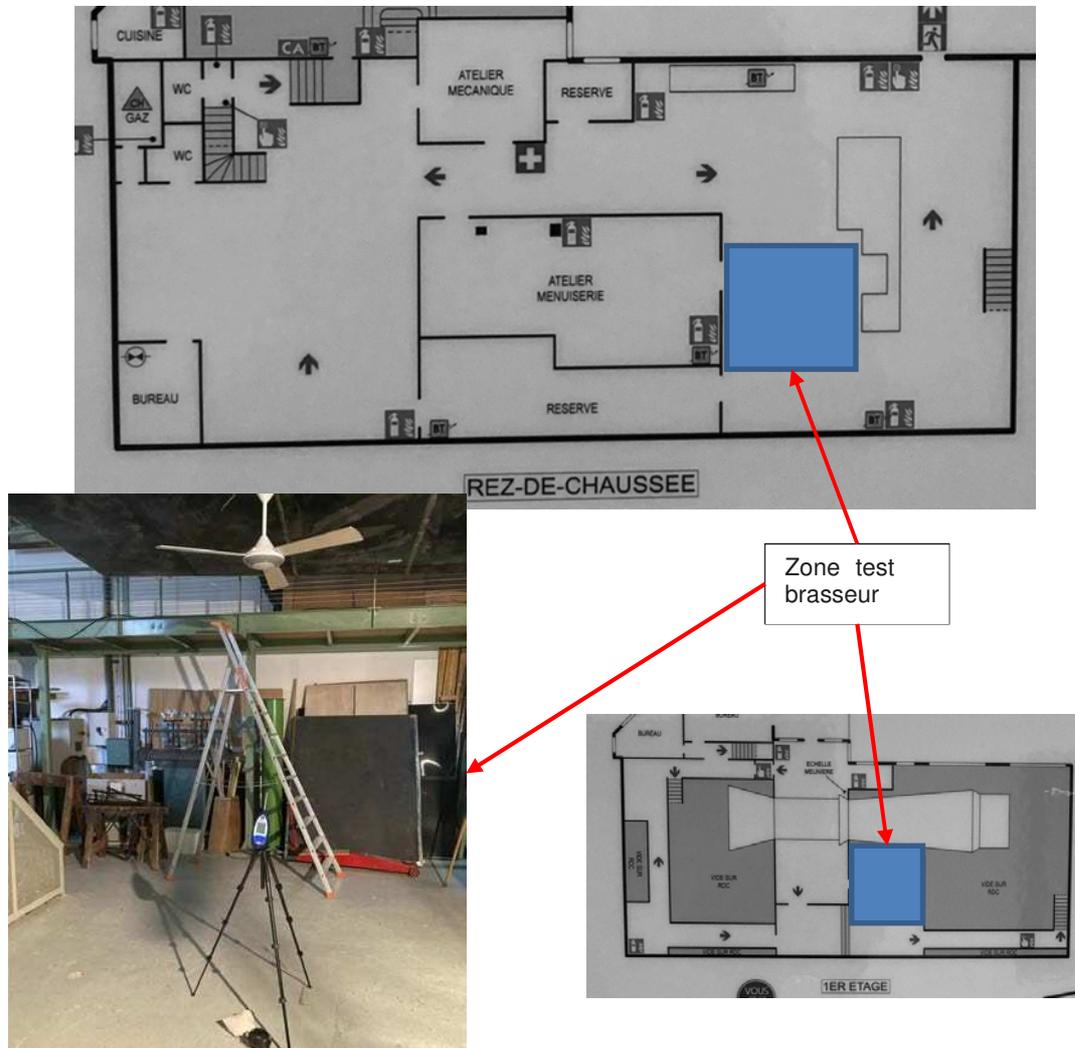


Figure 7 : Photographies de la cellule d'essai du laboratoire EIFFEL

### 4.2.2. Caractéristiques acoustiques de la salle

Comme pour la salle du laboratoire PIMENT, une première série de mesure est nécessaire pour quantifier les durées de réverbération et le bruit de fond de la salle.

Fréquence (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
TR	1.69	1.93	1.24	1.26	1.42	1.24	1.28	1.25	1.51	1.62	1.66	1.61	1.64	1.68	1.78	1.60	1.64	1.66	1.47	1.28	1.16	1.01	0.81	0.62
BDF (dB)	33	32	31	31	32	30	28	25	22	21	19	18	19	18	16	14	11	8	6	5	6	6	6	6

Tableau 7 : Résultats des mesures de temps de réverbération et du bruit de fond

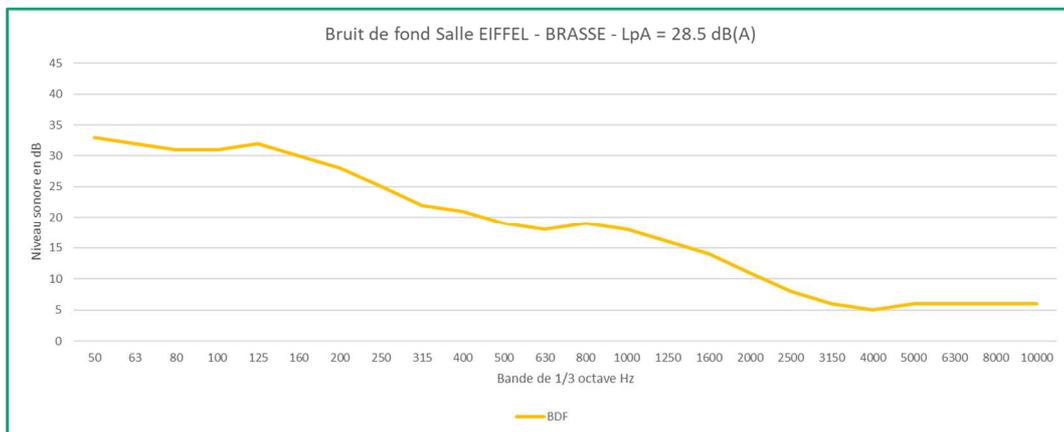


Figure 8 : Bruit de fond mesuré dans la cellule d'essai du laboratoire EIFFEL

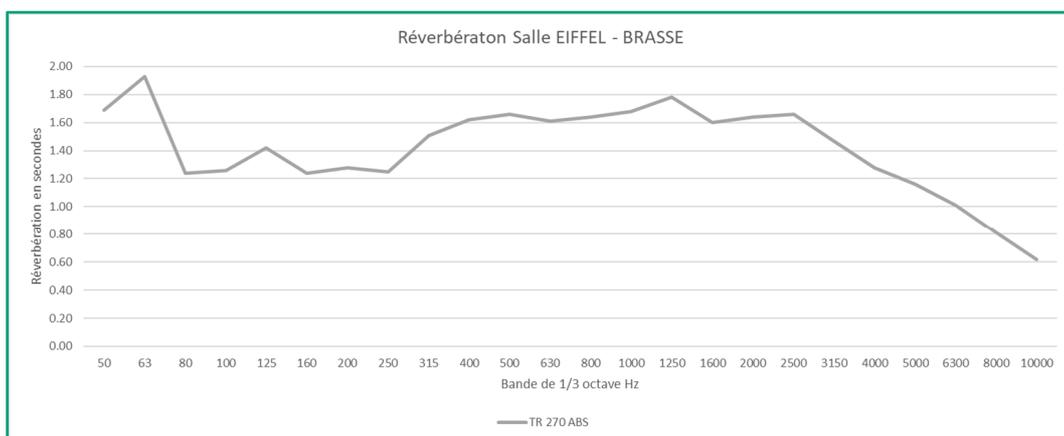


Figure 9 : Temps de réverbération mesuré dans la salle

Pour cette salle d'essai, un niveau de bruit de fond de 28.5 dB(A) a été mesuré. Cette valeur est assez élevée et cela nous empêchera de mesurer des niveaux sonores en dessous de 32.5 dB(A), car celui-ci sera trop impacté par le bruit de fond de la salle.

A noter que la zone de mesures des brasseurs d'air est située dans le halle principale de la soufflerie EIFFEL, donc à proximité des zones qui peuvent générer des perturbations acoustiques importantes qui rendraient difficiles, voire impossibles des mesures de niveau sonore des brasseurs.

La réverbération moyenne est quant à elle de 1.65 secondes dans les bandes de tiers d'octave de 400 à 1250 Hz.

#### 4.2.3. Synthèse et adéquation avec le protocole acoustique

La salle de test est à priori hors norme, dans le sens déjà où le volume de mesures est difficile à caractériser.

Il a été considéré les hypothèses suivantes pour la zone de test acoustique :

- Sol : 25m<sup>2</sup>
- Plafond : 100 m<sup>2</sup>
- Mur 1 : 25 m<sup>2</sup>
- Mur 2 : 25 m<sup>2</sup>
- Mur 3 : 90 m<sup>2</sup>
- Mur 4 : 90 m<sup>2</sup>
- Volume : 500 m<sup>3</sup>

En considérant donc ces 355m<sup>2</sup> de parois avec un coefficient type « Salle meublée ; salle de machines ou local industriel ayant la forme d'un cuboïde carré » soit 0.15, on obtient suivant l'approche normalisée un K2A de 3.1.

En tenant compte du Tr mesuré avec un volume de 500 m<sup>3</sup>, on obtient une K2A de 3.3.

Toutefois, il serait pertinent de valider ces hypothèses en mesurant les niveaux acoustiques d'une source étalon afin de valider cette valeur de K2A. Cela nous évitera de créer un biais entre le laboratoire EIFFEL et un autre, simplement à cause de ces hypothèses.

Le bruit de fond de l'ordre de 28.5 dB(A), dans cet espace, ne permet pas de mesurer des niveaux sonores dus aux brasseurs inférieurs à environ 32.5 dB(A). Compte tenues niveaux mesurés sur les brasseurs HUNTER DOUGLAS INDUSTRIE au laboratoire PIMENT, cela empêchera de réaliser les mesures pour les vitesses V1 et V2, voire V3.

Vu le bruit de fond élevé pour une salle de mesures acoustiques, on ne peut mesurer que des brasseurs générant un fort niveau sonore. Les brasseurs objet du projet BRASSE destiné principalement à un usage tertiaire ou résidentiel seront a priori plutôt silencieux.

Cela compromet la pertinence de ce local pour les mesures acoustiques. Toutefois, le volume disponible pourrait s'avérer utile pour les mesures aérauliques et acoustiques des brasseurs d'air de type BIG-FAN (grands brasseurs) impossibles à caractériser dans le laboratoire PIMENT.

Suites aux conclusions réalisées, une modification des deux salles d'essais a finalement été effectuée afin que les conditions de mesures respectent mieux les exigences de la norme, et une nouvelle série de mesures est réalisé dans les deux salles avec le même brasseur.

## 5. Comparaison des caractéristiques et des résultats des deux laboratoires Piment et Eiffel

### 5.1. Objet

Cette partie présente les résultats des mesures acoustiques réalisées sur le même brasseur dans la cellule du laboratoire PIMENT en mars 2022 et dans la cellule du laboratoire EIFFEL en avril 2022, après modifications dans les deux salles d'essais.

Cette note permet de comparer les résultats obtenus et les qualités acoustiques des deux salles.

Ne pouvant toujours pas déterminer précisément le coefficient d'absorption des salles au sens de la norme, des mesures de la durée de réverbération est effectuée et le K2A' est utilisée pour le calcul du niveau de puissance du brasseur

### 5.2. Modifications salle d'essai PIMENT

Suite aux essais réalisées en octobre 2021 qui avaient conduit entre autres à proposer l'ajout de matériau absorbants, des panneaux absorbants ont été ajoutés qui ont conduits à une modification de la réverbération.

Les caractéristiques et les performances du type de panneaux mis en œuvre est disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Ces panneaux ont été mis en œuvre entre les montants des châssis en polycarbonate sur 2 murs de la cellule d'essai

Les résultats de réverbération mesurées avant et après la pose de ces panneaux sont les suivants :

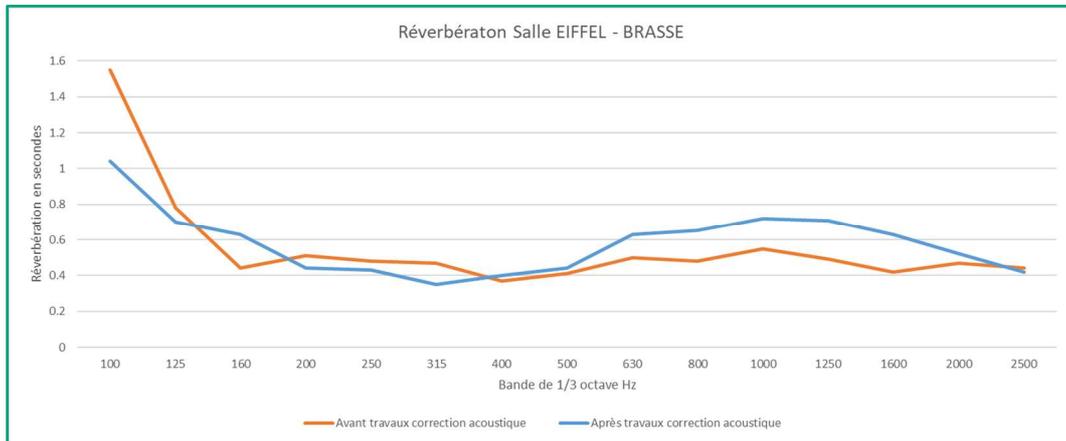


Figure 10 : Temps de réverbération dans la salle PIMENT avant et après les travaux de correction acoustique

Fréquence (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
<b>Avant modification (10/2021 - 21/01/2022) plafond à 2,50m</b>															
Mesure 1 TR30 (s)	1.77	0.98	0.42	0.55	0.57	0.42	0.35	0.44	0.46	0.48	0.59	0.47	0.43	0.48	0.47
Mesure 2 TR30 (s)	1.33	0.57	0.46	0.46	0.39	0.52	0.39	0.37	0.53	0.48	0.5	0.51	0.4	0.45	0.4
TR moyen (s)	1.55	0.78	0.44	0.51	0.48	0.47	0.37	0.41	0.50	0.48	0.55	0.49	0.42	0.47	0.44
<b>Après modification (31/01/2022 - ) plafond 2,50m</b>															
Mesure 2 (BK) TR30 (s)	1.32	0.67	0.74	0.42	0.45	0.36	0.41	0.43	0.64	0.62	0.76	0.66	0.53	0.44	0.43
Mesure 1 (BK) TR30 (s)	0.83	0.72	0.5	0.45	0.4	0.33	0.4	0.48	0.65	0.69	0.71	0.68	0.64	0.58	0.41
Mesure 2 (01dB) TR30 (s)	1.21	0.62	0.77	0.42	0.47	0.36	0.41	0.4	0.61	0.64	0.7	0.84	0.73	0.47	0.44
Mesure 1 (01dB) TR30 (s)	0.81	0.78	0.52	0.48	0.4	0.34	0.39	0.44	0.62	0.66	0.69	0.65	0.63	0.57	0.38
TR moyen (s)	1.04	0.70	0.63	0.44	0.43	0.35	0.40	0.44	0.63	0.65	0.72	0.71	0.63	0.52	0.42

Tableau 8 : Résultats des mesures de temps de réverbération avant et après les travaux de correction acoustique.

#### Commentaires :

On constate une augmentation de la durée de réverbération entre 500 et 2000 Hz jusqu'à 30% dans cette plage de fréquence ce qui est assez important.

2 modifications autre que l'ajout de ces panneaux sont intervenues qui peuvent avoir augmenté les valeurs de réverbération mesurée :

- Suppression de l'escalier d'accès à la cellule qui limite la diffusion des parois de la cellule et donc l'apport du plafond en termes d'absorption acoustique

- Suppression des panneaux de fibre de verre (surplus de dalles de faux plafonds réparties dans la cellule d'essai par LASA notamment lors des mesures d'octobre 2021)

Avec les valeurs de réverbération obtenues suite aux traitements définitifs, remplaçant les traitements provisoires des premières mesures, le terme  $K2A'$  dépasse la valeur normalisée de 7 dB(A) ( $K2A'=7.6$ ) et donc la norme de mesures ne permet pas le calcul de l'incertitude associée à cette mesure.

### 5.3. Aménagement salle d'essai EIFFEL

Entre la première campagne de mesures réalisée fin octobre 2021 et la campagne de fin avril 2022, une cellule d'essai a été aménagée par EIFFEL ayant les mêmes dimensions que la salle d'essai du laboratoire PIMENT.



Figure 11 : Photographie de la cellule d'essai du laboratoire EIFFEL après aménagement

Les caractéristiques de la salle sont maintenant :

- Surface :  $4*4 = 16 \text{ m}^2$ ,
- Hauteur sous plafond suspendu de 2m50,
- Sol en béton,
- Plafond suspendu en dalle de polystyrène lisse,
- Murs en placo.

Pour commencer, il a été mesuré un bruit de fond de 25.5 dB(A). Ce bruit de fond bas permet une mesure de bruit des brasseurs notamment à basse vitesse, toutefois le local peut être facilement perturbé par les bruits en provenance de la circulation ou de l'atelier mitoyens qui ne sont séparés de la salle de test que par une fine cloison peu performante acoustiquement

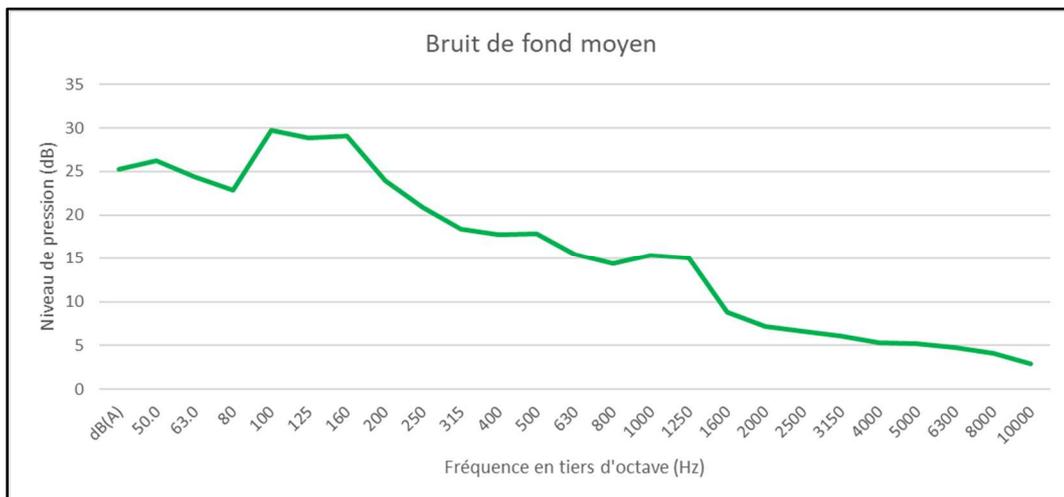


Figure 12 : Bruit de fond mesuré dans la salle après aménagement

Une mesure de la réverbération a aussi été effectuée et la moyenne est de 1.4 seconde dans les bandes de tiers d'octave de 125 à 1250 Hz.

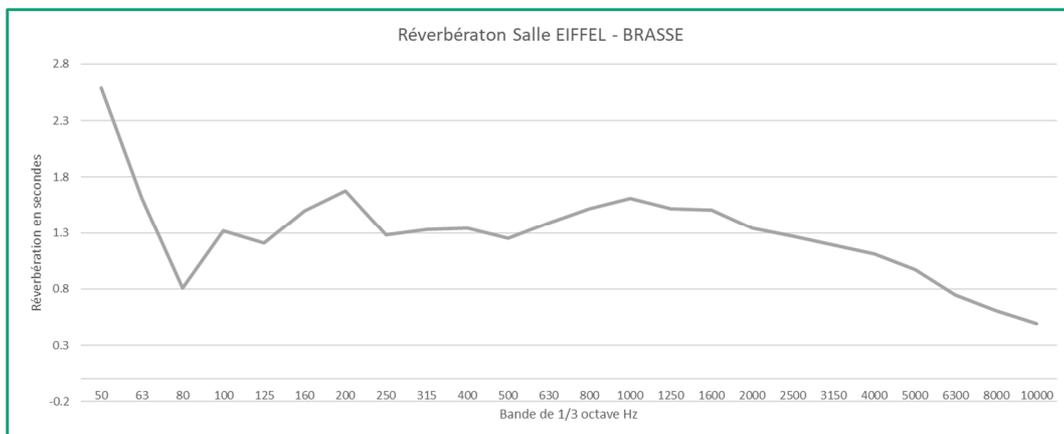


Figure 13 : Temps de réverbération mesuré dans la salle après aménagement

Les parois verticales, sol et plafond étant en matériaux lisses non absorbants acoustiquement, cela entraîne un temps réverbération trop long ne permettant pas l'obtention d'un K2A normalisée ( $K2A' = 11.3$ ).

#### 5.4. Résultats Lw brasseurs d'air obtenus

Même avec un  $K2A'$  dépassant les valeurs de la norme, des mesures de puissance acoustique ont quand même été effectuées dans les deux salles avec le même modèle de brasseur.

Dans le tableau ci-dessous vous pouvez retrouver les résultats des mesures avec les comparaisons des différents paramètres. Pour rappel, les dimensions des deux salles sont identiques, seules les matériaux et l'environnement autour sont différents. Les fiches des mesures présentées est disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Salle tester	PIMENT	EIFFEL
Tr (400 – 1250 Hz)	0.6	1.4
Bruit de fond dB(A)	22.5	25.3
K2A'	7.6	11.3
Incertitude	K2A' trop important → incertitude non présentées et supérieur à +/- 4 dB(A)	K2A' trop important → incertitude non présentées et supérieur à +/- 4 dB(A)
Equipement	Brasseur Hunter Industrie II	Brasseur Hunter Industrie II
LwA (V1) (80 RPM) dB(A)	34.7	35.8
LwA (V2) (100 RPM) dB(A)	//	39.0
LwA (V3) (120 RPM) dB(A)	//	42.6
LwA (V4) (150 RPM) dB(A)	42.4	44.2

Tableau 9 : Résultats des mesures effectuées dans les deux salles après modifications des traitements acoustique

Si on considère que l'incertitude est supérieure à 4 dB(A), même si la norme nous dit qu'on est dans une situation où l'incertitude n'est pas présentée ( $K2A > 7$ ), on remarque que la différence de résultat entre les deux salles d'essais se situe dans la plage d'incertitude ( $\pm 4$  dB(A)).

En considérant ces deux paramètres, on peut conclure que les résultats obtenus ne sont pas dénués de sens lorsqu'on les compare entre eux. En revanche, nous ne pouvons statuer sur le fait que les valeurs mesurées/calculées correspondent vraiment à la puissance du brasseur testé. Il est possible que les deux salles donnent des résultats erronés, car nous ne respectons pas les limites sur la valeur du K2A.

L'objectif à présent, serait de trouver un moyen pour réduire le temps de réverbération de la cellule PIMENT et EIFFEL afin d'obtenir un K2A inférieure à 7dB(A) dans les deux salles.

En ce qui concerne la cellule d'essai au laboratoire PIEMENT, il est possible que les panneaux en tôle perforés soient moins bons que laine nue qui était présente dans la salle avant. La cellule PIMENT actuelle manque très légèrement d'absorption en hautes fréquences, les traitements suivants peuvent être apportés :

- Moquette/tapis au sol
- Panneaux muraux en laine de roche + laine de bois type ORGANIC de 25+25mm ou VERTIQ ou WALL PANEL ou TEXAA
- Remplacement des dalles du plafond par des dalles avec  $\alpha = 1.00$ , y compris les dalles de luminaires (éclairage géré par spots ou éclairage sur les murs)

Pour la salle EIFFEL, La cellule est trop petite, avec des parois non absorbantes. Il convient de prévoir :

- Moquette/tapis au sol
- Panneaux muraux en laine de roche + laine de bois type ORGANIC de 25+25mm ou VERTIQ ou WALL PANEL ou TEXAA sur une surface minimum de 20 m<sup>2</sup> répartis sur les 4 murs de préférence

Concernant les mesures de puissances des brasseurs, tous les paramètres intéressants ont pu être testés dans différentes conditions et le protocole semble cohérent. Lors de la création des zones d'essai, il est important à prendre toutes les caractéristiques présentées précédemment afin d'obtenir une salle conforme.

Pour la suite de l'étude, de nombreuses mesures sonores effectuées dans des cas réels (brasseurs montés dans une pièce quelconque) sont présentées, ainsi qu'une étude visant à prédire et pré-dimensionner l'installation de brasseurs dans une pièce pour respecter un objectif de niveau sonore.

## 6. Mesures acoustiques réalisées dans différents locaux existants équipés de brasseur d'air

---

### 6.1. Objet

Cette partie présente les résultats des mesures acoustiques réalisées dans différents locaux en exploitation équipés de brasseurs d'air. Les locaux ont été choisis parmi différentes typologies et ont également fait l'objet de mesures aérodynamiques et thermiques en parallèle. Des enquêtes de ressenti des utilisateurs ont également été menées.

*Ces mesures acoustiques in situ seront dans la phase suivante complétées par des modélisations acoustiques des locaux et des brasseurs.*

### 6.2. Description des locaux retenus

Des photos des salles où les essais ont été effectués sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

#### 6.2.1. Locaux dans le laboratoire PIMENT à la Réunion

##### 6.2.1.1. IUT ESIROI

Mesures réalisées dans :

- Le hall (zone cafétaria) → deux « big fan »
- Une salle de TD → brasseurs d'air en plafond, ventilateur aux murs et climatisation solaire
- Une salle projet (A313) → Brasseur non allumé
- Un bureau d'enseignement. → 4 brasseurs au-dessus des 4 bureaux

Le nombre et la position des mesures dépendent de la situation.

##### 6.2.1.2. CIRBAT

Le CIRBAT, Centre d'Innovation et de Recherche du Bâti Tropical, a pour objectif de mettre à disposition des acteurs de la construction une offre cohérente et pertinente en termes d'études techniques, de diffusion des connaissances, de formations techniques et d'accompagnement à l'innovation. Il dépend de la chambre des métiers et de l'artisanat de la Réunion.

- Salle réunion → 2 brasseurs en plafond
- ORLAT (Bureau) → 2 brasseurs en plafond

##### 6.2.1.3. Chambre des métiers et de l'artisanat

- Bureau intendant → un brasseur

#### 6.2.2. Locaux à Marseille

##### 6.2.2.1. Ecole Jean MOULIN MIRAMAS (13)

- Mesures réalisées dans les classes 3 et 4 de l'école Jean Moulin à MIRAMAS.
- Chaque classe est équipée de 4 brasseurs.
- 3 positions de mesures ont été retenues dans chaque classe.

##### 6.2.2.2. Bureaux INDIGGO MARSEILLE (13)

- Mesures réalisées dans 2 bureaux équipés de 2 brasseurs et 1 bureau équipé d'un seul brasseur.
- 2 à 3 positions de mesures ont été retenues dans les locaux.

##### 6.2.2.3. Bureaux GERES AUBAGNE (13)

- Mesures réalisées dans 3 espaces : open-space (1 brasseur), bureau (1 brasseur), salle de réunion (2 brasseurs)
- 2 à 3 positions de mesures ont été retenues dans les locaux.

##### 6.2.2.4. EHPAD Soubeiran - Saint Jean du Gard (30)

- Mesures réalisées dans 2 espaces : salle de rééducation (1 brasseur) et chambre (1 brasseur)

- 4 et 3 positions de mesures ont été retenues dans les locaux.

### 6.2.2.5. Logement privé à Marseille (13)

- Mesures réalisées dans 3 pièces du logement :
  - Cuisine
  - Salon
  - Chambre

## 6.3. Résultats des mesures

Afin de comparer nos résultats avec des objectifs visés de textes réglementaires courants, nous allons considérer toutes les valeurs limites faisant référence aux bruits d'équipements -  $L_{nA,T}$  - dans des locaux.

Les valeurs limites auxquels seront comparées nos résultats correspondent aux valeurs énoncées dans :

- L'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les hôtels
  - Valeur limite (pour un équipement dans la chambre)  $L_{nA,T} = 35$  dB(A)
- L'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement
  - Valeur limite (en fonctionnement continu)  $L_{nA,T} = 33$  dB(A) à 38 dB(A)
- L'arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation
  - Valeur limite  $L_{nA,T} = 30$  dB(A)
  - *Pour des chambres, le niveau sonore de 25 dB(A) pour un brasseur d'air est un objectif à viser pour assurer un confort suffisant pour les phases de sommeil*
- Bureau individuel selon le *Référentiel Bâtiment durable CERTIVEA (juin 2022)*
  - Valeur limite  $L_{nA,T}$  de 30 dB(A) (Classe A) et 46 dB(A) (Classe F)

Soit en synthèse le tableau suivant (donné à titre informatif sur la base des textes ci-dessous et de l'expertise de LASA) :

Niveau sonore en dB(A) dans le local :	Logement (nuit-sommeil)	Logement (jour)	Bureau	Enseignement
< 20				
20-25				
25-30				
30-33				
33-38				
38-40				
> 40				

Tableau 10 : Synthèse de l'ambiance sonore dans différents locaux en fonction du niveau sonore provoqué par un brasseur d'air

8.	9. Confortable, pas de nuisance ressentie pour une majorité de personnes
10.	11. Acceptable, pas de plainte exprimée pour une majorité de personnes
12.	12. Désagréable, des nuisances sont ressenties par des personnes, des plaintes peuvent être exprimées

Tableau 11 : Signification des smileys utilisés pour décrire l'ambiance sonore

Pour tous les résultats qui sont présentée ci-dessous, des détails sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
Patio Central Sous brasseur	Vitesse maximale	2m	55.5	Enseignement / 	Brasseur type Hunter Industrie big fan
Salle de TD IUT Sous brasseur	V1	1.5m	26.5	Enseignement : 	Niveau sonore $L_{A,eq}$ en ambiance $T_p = 62.5$ dB(A) ; niveau dépassant largement le niveau des brasseurs. Influence imperceptible des brasseurs sur le niveau sonore du local en utilisation normale.
	V2	1.5m	33	Enseignement : 	
	V3	1.5m	40	Enseignement : 	
	V4	1.5m	42.8	Enseignement : 	
	V5	1.5m	49.3	Enseignement : 	
Salle projet A313	<i>Brasseurs à l'arrêt. N.B. : le bruit en provenance de l'extérieur via les jalousies impacte fortement le bruit de fond dans la salle située au-dessus de l'entrée du bâtiment.</i>				
Bureau enseignement Sous brasseur	V1	1.5m	24.0	Bureau : 	Hunter Industrie II
	V2	1.5m	34.0	Bureau : 	
	V3	1.5m	40.5	Bureau : 	
Salle réunion Sous brasseur	V1	1.5m	17.0	Bureau : 	Hunter Industrie II
	V2	1.5m	21.5	Bureau : 	
	V3	1.5m	29.5	Bureau : 	
ORLAT	Local trop impacté par le bruit extérieur				
Bureau Intendant Sous brasseur	V1	1.5m	52.5	Bureau : 	Brasseur mal fixé, bruit anormal
Bureau 1 Indiggo Sous brasseur	V1 (79rpm)	1.7m	29	Bureau : 	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	1.7m	39.5	Bureau : 	Pb variateur
	V3 (157rpm)	1.7m	42.9	Bureau : 	Pb variateur
Bureau 1 Indiggo Décagé brasseur	V1 (79rpm)	2.4m	< BDF	Bureau : 	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.4m	32.7	Bureau : 	Pb variateur
	V3 (157rpm)	2.4m	36.1	Bureau : 	Pb variateur
Bureau 2 Indiggo Centre 2 brasseurs	V1 (79rpm)	2.4m/2.4m	25.1	Bureau : 	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.4m/2.4m	33.7	Bureau : 	Pb variateur
	V3 (157rpm)	2.4m/2.4m	38.5	Bureau : 	Pb variateur
Bureau 2 Indiggo	V1 (79rpm)	1.7/2.94m	30.7	Bureau :	Hunter Industrie II

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
Sous 1 des 2 brasseurs					
	V2 (127rpm)	1.7/2.94m	40.5	Bureau : 	Pb variateur
	V3 (157rpm)	1.7/2.94m	45.6	Bureau : 	Pb variateur
Bureau 2 Indiggo Décalé des 2 brasseurs	V1 (79rpm)	2.2/3.26m	22.8	Bureau : 	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.2/3.26m	31.1	Bureau : 	Pb variateur
	V3 (157rpm)	2.2/3.26m	36.6	Bureau : 	Pb variateur
Bureau 3 Indiggo Sous brasseur	V1	1.2m	24.4	Bureau : 	Valeurs incohérentes
	V2	1.2m	15.7	Bureau : 	
	V3	1.2m	< BDF	Bureau : 	
	V4	1.2m	30.8	Bureau : 	
	V5	1.2m	38	Bureau : 	
	V6	1.2m	42.3	Bureau : 	
Bureau 3 Indiggo décalé brasseur	V1	1.84m	< BDF	Bureau : 	
	V2	1.84m	< BDF	Bureau : 	
	V3	1.84m	< BDF	Bureau : 	
	V4	1.84m	28.1	Bureau : 	
	V5	1.84m	37	Bureau : 	
	V6	1.84m	41.1	Bureau : 	
EHPAD Salle rééduc 1 Sous brasseur	V1 (79rpm)	0.80m	17.6	Enseignement : 	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	0.80m	29	Enseignement : 	
	V3 (157rpm)	0.80m	41.6	Enseignement : 	
EHPAD Salle rééduc 2 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	1.70m	23.7	Enseignement : 	Hunter Industrie II Perturbations
	V2 (127rpm)	1.70m	25.5	Enseignement : 	
	V3 (157rpm)	1.70m	36.4	Enseignement : 	

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
EHPAD Salle rééduc 3 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	3.10m	< BDF	Enseignement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	3.10m	20.8	Enseignement :	
	V3 (157rpm)	3.10m	32.9	Enseignement :	
EHPAD Salle rééduc 4 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	9.72m	< BDF	Enseignement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	9.72m	16	Enseignement :	
	V3 (157rpm)	9.72m	30	Enseignement :	
EHPAD Chambre 1 Sous brasseur	V1 (79rpm)	1.30m	12.9	Logement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	1.30m	29.7	Logement :	
	V3 (157rpm)	1.30m	39.6	Logement :	
EHPAD Chambre 2 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	2.14m	< BDF	//	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.14m	28	Logement :	
	V3 (157rpm)	2.14m	37.4	Logement :	
EHPAD Chambre 3 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	4.11m	13.6	Logement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	4.11m	21.8	Logement :	
	V3 (157rpm)	4.11m	32.5	Logement :	
GERES Open space 1 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	1.90m	< BDF	Logement :	
	V2 (127rpm)	1.90m	25.2	Bureau :	
	V3 (157rpm)	1.90m	40.1	Bureau :	
GERES Open space 2 Décalé brasseur	V1	1.92m	25.6	Bureau :	Mesures au-dessus ventilo Bruit ne varie pas avec la vitesse
	V2	1.92m	24.7	Bureau :	
	V3	1.92m	24.7	Bureau :	
GERES Bureau 1 Sous brasseur	V1	1.50m	29.7	Bureau :	« Casto » 1 <sup>er</sup> prix
	V2	1.50m	36.8	Bureau :	
	V3	1.50m	37.0	Bureau :	
GERES Bureau 2 Décalé brasseur	V1	1.60m	27.6	Bureau :	« Casto » 1 <sup>er</sup> prix
	V2	1.60m	33.7	Bureau :	
	V3	1.60m	36.6	Bureau :	

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
GERES Réu 1 Milieu 2 brasseurs	V1	1.90m	28.2	Bureau : 	« Casto » 1 <sup>er</sup> prix
	V2	1.90m	32.4	Bureau : 	
	V3	1.90m	46.8	Bureau : 	
GERES Réu 2 Décalé brasseur	V1	0.9/2.10m	23.9	Bureau : 	« Casto » 1 <sup>er</sup> prix
	V2	0.9/2.10m	28.5	Bureau : 	
	V3	0.9/2.10m	45	Bureau : 	
GERES Réu 3 Décalé brasseur	V1	1.6/2.48m	31.6	Bureau : 	« Casto » 1 <sup>er</sup> prix
	V2	1.6/2.48m	34.6	Bureau : 	
	V3	1.6/2.48m	45.6	Bureau : 	
ECOLE Classe 3 1 4 brasseurs	V1	//	24.3	Enseignement : 	Hunter Industrie II 152cm
	V2	//	27.7	Enseignement : 	
	V3	//	33.4	Enseignement : 	
ECOLE Classe 3 2 4 brasseurs	V1	//	22.5	Enseignement : 	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	28	Enseignement : 	
	V3	//	31.1	Enseignement : 	
ECOLE Classe 3 3 4 brasseurs	V1	//	24.9	Enseignement : 	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	33.3	Enseignement : 	
	V3	//	37.7	Enseignement : 	
ECOLE Classe 4 1 4 brasseurs	V1	//	24.1	Enseignement : 	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	28.5	Enseignement : 	
	V3	//	34.5	Enseignement : 	
ECOLE Classe 4 2 4 brasseurs	V1	//	< BDF	Enseignement : 	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	< BDF	Enseignement : 	
	V3	//	33.4	Enseignement : 	

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
ECOLE Classe 4 3 4 brasseurs	V1	//	< BDF	Enseignement : 	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	29.2	Enseignement : 	
	V3	//	35.7	Enseignement : 	
Logement cuisine	V1	1m	27.5	Logement : 	Hunter Industrie II 132cm (bruit de fond VMC élevé)
	V2	1m	34.5	Logement : 	
	V3	1m	42	Logement : 	
Logement séjour	V1	1m	< 24 (BDF)	Logement : 	Hunter Industrie II 132cm
	V2	1m	27.5	Logement : 	
	V3	1m	39	Logement : 	
Logement chambre	V1	1m	< 19 (BDF)	Logement : 	Hunter Industrie II 132cm
	V2	1m	29.5	Logement : 	
	V3	1m	40.5	Logement : 	

Tableau 12 : Paramètres et résultats de toutes les mesures effectuées dans des locaux équipés de brasseur d'air

#### 6.4. Commentaires sur l'impact des bruits extérieurs

Les stratégies de ventilation naturelle des bâtiments visités à la Réunion (c'est le cas également aux Antilles mais d'une manière générale dans les régions tropicales chaudes et exposées aux alizés) sont basées sur la mise en œuvre de façade poreuses équipés en général de jalousies souvent ouvertes en permanence.

De nombreux projets y compris dans les régions historiquement tempérées sont conçus aujourd'hui avec des systèmes de ventilation naturelle en façade.

Ces ouvertures peuvent être spécifiquement étudiées pour limiter le passage du bruit en provenance de l'extérieur du bâtiment, mais d'une manière générale il s'agit simplement d'éléments ouvrants ne présentant pas d'atténuation acoustique.

Cette situation favorise l'entrée de bruit en provenance de l'extérieur. Des bruits de voix, de véhicules, de chantier, d'animaux notamment les oiseaux ou les cigales par exemples peuvent avoir un impact non négligeable sur le bruit de fond dans les locaux.

Cette élévation du bruit de fond peut entraîner une gêne pour les occupants des locaux et la stratégie de ventilation naturelle des locaux doit tenir compte de cette problématique.

Cette élévation du bruit de fond peut aussi permettre de créer un effet de masquage sonore du bruit des brasseurs dont le fonctionnement même en vitesse plus élevée serait aussi acceptable qu'en vitesse minimale.

#### 6.5. Masquage sonore du au brasseur d'air

L'utilisation d'un brasseur peut aussi avoir une utilité de masquage sonore. Des gênes sonores entre occupants peuvent être ressenties dans bureaux type open-space. En effet, avec un bruit de fond faible, la perception des bruits provoqués par d'autres personnes lorsqu'on essaie de se concentrer sur son travail peut constituer une réelle gêne. Le fait d'augmenter le bruit de fond de la pièce permet de moins entendre tous ces bruits et ainsi se sentir plus dans une bulle même si on se trouve dans un open-space. Le bruit provoqué par un brasseur d'air étant surtout composé de basses fréquences et un bruit assez agréable qui peut très bien jouer ce rôle de masquage.

#### 6.6. Analyse et commentaires

Cette campagne de mesures in situ a permis de réaliser un échantillonnage rapide de mesures de niveaux sonores en conditions réelles afin de quantifier les niveaux sonores de brasseurs en fonctionnement sur des bâtiments existants.

Différents types de brasseurs ont pu être testés selon les locaux (HUNTER INDUSTRIE, CSATORAMA, ou autre).

Les résultats de mesures présentés correspondent à des installations particulières avec les caractéristiques spécifiques des différents locaux rencontrés

Pour des usages en tertiaire (bureaux, santé, enseignement), avec un niveau maximum attendu de l'ordre de 40 dB(A), les brasseurs sont utilisables sauf quelques cas en vitesse maximale qui dépassent franchement 40 dB(A) et peuvent présenter un gêne sonore évidente.

Pour un usage en logement, l'usage en vitesse 1 est en général adapté, et parfois la vitesse 2, alors que la vitesse 3 entraîne quasiment tout le temps des niveaux sonores trop élevés pour un confort admissible dans une chambre ou un séjour de logements.

## 7. Modélisations acoustiques des locaux où des mesures ont été effectuées

### 7.1. Objet

À la suite des campagnes réalisées in situ dans différentes typologies de locaux, des modélisations acoustiques de certains de ces locaux ont été réalisées.

Cette partie présente les comparaisons des résultats obtenus par calcul/par mesures et les hypothèses de calage des modèles effectués.

Cette première approche par modélisation aidera à la réalisation des modèles de locaux génériques qui seront utilisés pour le prédimensionnement acoustiques des sélections de brasseurs d'air.

### 7.2. Méthodologie

Le logiciel de modélisation d'acoustique interne des salles CATT ACOUSTIC a été utilisé pour ces calculs. Le principe de ce logiciel est de réaliser des calculs de propagation acoustique intérieure par tirs de rayon entre une ou des sources et un ou des récepteurs. Cette propagation dans un espace fermé tient compte de l'ensemble des phénomènes acoustiques rencontrés dans une salle telle que l'absorption acoustique, la diffusion/diffraction et l'atténuation avec la distance de propagation.

Les brasseurs d'air ont été modélisés comme des sources ponctuelles omnidirectionnelles et positionnés selon les relevés faits dans les différents locaux.

Les locaux et leurs aménagements ont été modélisés selon les relevés faits sur place.

Les coefficients d'absorption des différents matériaux ont été saisis en fonction des observations réalisées sur place en puisant dans les bases de données LASA et avec recalage sur les durées de réverbération modélisées et mesurées in situ.

Tous les détails sur les matériaux des salles et sur les recalages effectués sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

### 7.3. Description des locaux retenus dans l'école Jean MOULIN à MIRAMAS (13)

#### 7.3.1. Salle de classe

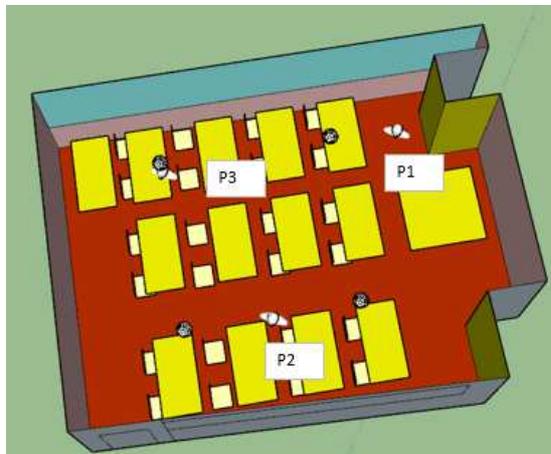


Figure 14 : Représentation de la salle de classe modélisée

		Niveau sonore SPL en dB								Aspect réglementaire (Enseignement)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	50.8	33.6	25.6	22	17.5	15.9	15.3	29.1	😊
	Modèle	✗	36.5	28.5	23.4	16.7	16.9	15.4	31.3	😊
Point 2	Mesure	44.2	35.8	26.4	22.2	17.3	16.1	15.4	30.3	😊
	Modèle	✗	35.3	29.2	22.7	16.2	15.5	14.6	30.8	😊
Point 3	Mesure	55.1	36.9	30.4	25.3	19.5	17.9	16.7	32.6	😊
	Modèle	✗	36.8	30.3	23.7	17.4	17.0	16.2	32.1	😊

Tableau 13 : Résultats mesurés et modélisés dans la salle de classe

### 7.3.2. Bureau 1 INDIGO

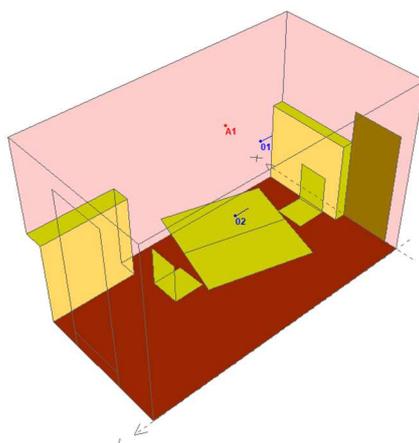


Figure 15 : Représentation du bureau 1 INDIGO modélisé

		Niveau sonore SPL en dB								Aspect réglementaire (Bureau)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	61.4	37.4	33.2	27.3	21.7	17.2	✗	34.2	😐
	Modèle	✗	36.3	32.4	27.0	21.4	16.9		33.4	😐
Point 2	Mesure	51	38	33.5	27	21.9	17.3		37.7	😐
	Modèle	51.4	37.9	33.8	28.2	22.5	17.3		38.1	😐

Tableau 14 : Résultats mesurés et simulés dans le bureau 1 INDIGO

### 7.3.3. Bureau 2 INDIGO

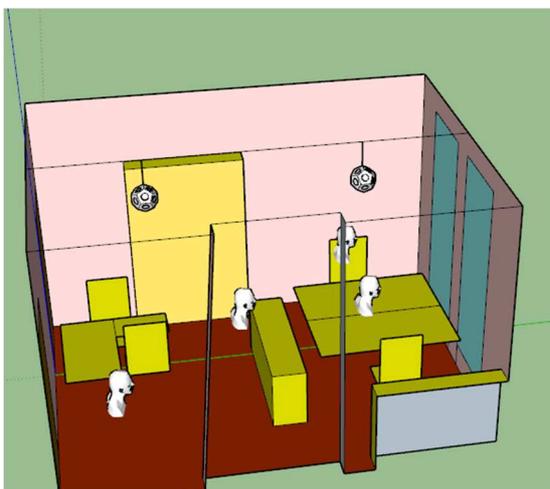


Figure 16 : Représentation du bureau 2 INDIGO modélisé

		Niveau sonore SPL en dB								Aspect réglementaire (Bureau)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	55.5	39.0	31.5	28.2	21.5	21.2	20.0	<b>38.7</b>	☺
	Modèle	54.4	38.6	31.0	28.1	20.8	21.0	19.6	<b>39.8</b>	☹
Point 2	Mesure	<del>X</del>	39.3	33.1	28.2	21.1	21.3	20.2	<b>35.2</b>	☺
	Modèle	<del>X</del>	38.1	31.3	28.1	20.9	21.0	19.4	<b>34.2</b>	☺
Point 3	Mesure	52.4	37.6	30.5	28.2	20.3	20.7	19.3	<b>36.9</b>	☺
	Modèle	53.6	38.1	30.9	28.2	20.9	21	19.6	<b>39.2</b>	☺

Tableau 15 : Résultats mesurés et simulés dans le bureau 2 INDIGO

### 7.3.4. Chambre EHPAD

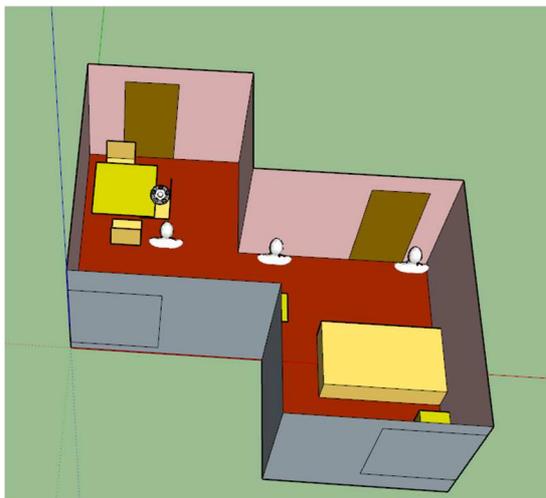


Figure 17 : Représentation de la chambre d'EHPAD modélisé

		Niveau sonore SPL en dB								Aspect réglementaire (Logement)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	44.5	42.4	38.6	34.0	27.3	20.2	18.3	40.1	☹️
	Modèle	X		39.0	34.1	26.9	20.2	18.7	40.2	☹️
Point 2	Mesure	40.8	39.8	36.5	30.8	25.7	19.9	17.9	37.1	☹️
	Modèle	X		37.3	31.9	26.5	19.5	18.0	38.2	☹️

Tableau 16 : Résultats mesurés et simulés dans la chambre d'EHPAD

### 7.4. Analyses et commentaires

Ces premières modélisations permettent d'envisager les perspectives suivantes :

- Utilisation de modèle numérique de simulation pour prévoir les niveaux sonores générés par les brasseurs et anticiper sur les positions précises de ces derniers ainsi que sur les aménagements et matériaux absorbants nécessaires pour l'atteinte d'objectifs donnés sur un projet spécifique (situation d'étude acoustique de projet)
- Utilisation de ce principe pour concevoir des modèles génériques de locaux et permettre de définir des principes des solutions d'intégration des brasseurs d'air dans différents locaux types : salle de classe, chambre à coucher, bureau individuel, espace tertiaire ouvert.
- Outil de calcul de la puissance acoustique d'un brasseur à partir de la modélisation acoustique afin de valider les données d'entrée du fabricant par exemple ou tester la robustesse du protocole de mesures des puissances acoustiques.
- Les extrapolations sur les puissances acoustiques des brasseurs type HUNTER INDUSTRIE 2 en V3 donnent des valeurs comprises entre 40 et 49 dB(A), soit 43.4 +/- 3 dB(A), ce qui compte tenu de la méthodologie rapide utilisée reste dans les tolérances habituelles en acoustiques. Une plus grande précision dans la saisie de la géométrie des locaux ainsi que des coefficients d'absorption des matériaux serait nécessaire. Toutefois, l'intérêt des modélisations est de réaliser des études paramétriques en ne faisant varier qu'un paramètre, par exemple la hauteur d'un brasseur, ou la nature d'un plafond acoustique pour quantifier les impacts sur les niveaux sonores du brasseur dans la pièce. Entre les différentes modélisations présentées dans ce rapport, tout change et y compris les brasseurs en termes de vitesse de rotation par exemple (qui varie avec la qualité du courant d'alimentation par exemple)

## 8. Etude paramétrique du niveau sonore d'un brasseur type dans différentes salles en fonction du nombre de brasseurs et matériaux acoustiques en parois

### 8.1. Objet

Après les validations du principe de modélisation acoustique des locaux réels équipés de brasseurs, le principe a été de modéliser des locaux type et cette partie présente les différents locaux modélisés ainsi que les résultats des niveaux sonores simulés et provoqués par un ou des brasseurs d'air.

Les salles testées ont été sélectionnées afin de représenter les principaux locaux où peuvent être utilisées des brasseurs.

Les locaux suivants ont été retenus :

- Bureau individuel
- Bureau type « open-space »
- Chambre
- Classe

Les différentes configurations testées dans chaque local font varier le nombre de brasseurs et les traitements acoustiques des sols et plafonds.

### 8.2. Méthodologie

Le logiciel de modélisation d'acoustique des salles CATT ACOUSTIC a été utilisé pour ces calculs. Le principe de ce logiciel est de réaliser des calculs de propagation acoustique intérieure par tirs de rayon inverse récepteur vers source. Cette propagation dans un espace fermé tient compte de l'ensemble des phénomènes acoustiques rencontrés dans une salle tels que notamment l'absorption acoustique des matériaux et de l'air, la diffusion/diffraction et l'atténuation avec la distance de propagation.

Les brasseurs d'air ont été modélisés comme des sources ponctuelles omnidirectionnelles positionnés à 0.4 m du plafond et répartis de manière homogène dans le local selon le nombre de brasseurs présents.

La puissance du brasseur provient d'une mesure effectuée par LASA le 20 octobre 2021 selon la norme NF EN ISO 3746. Le modèle du brasseur est un Hunter Industrie II et la vitesse V2 est sélectionnée, car elle représente la vitesse d'utilisation courante.

A noter, que les niveaux sonores qui auraient été obtenus en vitesse V1 et V3 sont extrapolés à partir de la différence observée sur les niveaux de puissances acoustiques mesurés en labo entre V1, V2 et V3.

**Pour les modélisations réalisées, les différences prises en compte sont les suivantes :**

$$Lw(V1) - Lw(V2) = -9 \text{ dB(A)}$$

$$Lw(V3) - Lw(V2) = +7 \text{ dB(A)}$$

Les locaux et leurs aménagements ont été modélisés pour être représentatif d'une situation standard.

Les coefficients d'absorption des différents matériaux ont été saisis en fonction des mesures et modélisations réalisées sur des locaux semblables.

Les propositions de calepinage qui suivent ne prennent pas en compte des contraintes aérodynamiques définies dans les règles de calepinage présentées dans les autres rapports du projet BRASSE. Ces propositions ont une valeur exclusivement informative afin d'observer l'impact de différentes configurations sur le confort acoustique des occupants.

### 8.3. Description des hypothèses retenues

Toutes les hypothèses effectuées concernant le coefficient d'absorption des différents matériaux modélisés, des traitements appliqués sur les locaux, de la puissance acoustique des brasseurs et des paramètres de calcul utilisés sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

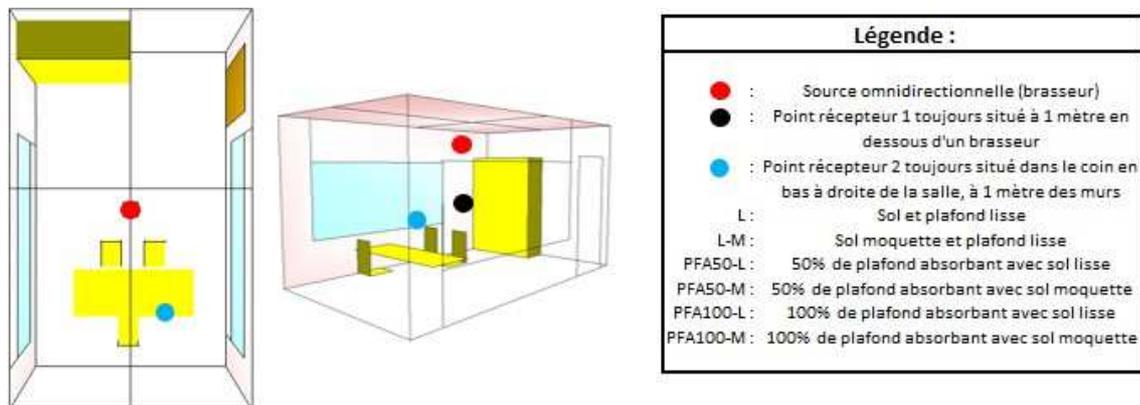
## 8.4. Résultats des modélisations

Pour tous les résultats présentés, une fiche détaillée est disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** La valeur qui est comparée aux réglementations dans les analyses, correspond au niveau sonore le plus élevé entre les deux points de réception pour chaque configuration.

### 8.4.1. Bureau de 15 m<sup>2</sup>

Pour la simulation d'un bureau simple, le choix de salle correspond à une surface de 15 m<sup>2</sup> avec une porte, deux fenêtres, trois chaises, un bureau et une armoire. La hauteur considérée est de 2.70 m.

#### 8.4.1.1. Simulation avec 1 brasseur

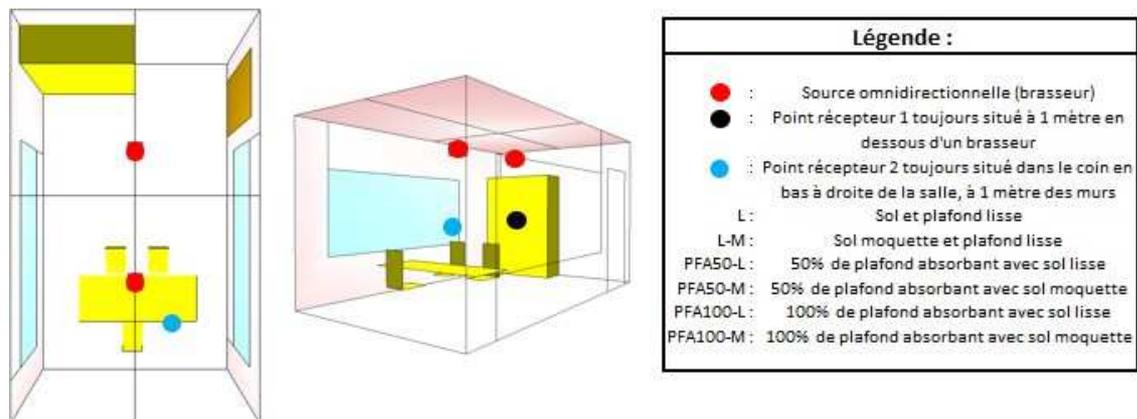


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	31.0	30.0	30.5	25.5	23.5	20.0	18.0	36.0	32.0
	Point 2	31.5	30.0	29.5	24.5	22.5	19.5	17.0	36.0	31.0
L - M	Point 1	30.0	27.5	28.0	23.5	22.5	19.5	17.5	34.5	30.0
	Point 2	28.0	26.0	27.0	23.0	21.0	18.0	16.0	33.0	29.0
PFA50-L	Point 1	27.0	25.0	24.0	20.5	19.0	16.5	16.0	31.5	27.0
	Point 2	27.0	24.5	21.5	18.5	17.0	13.5	12.5	30.5	24.5
PFA50-M	Point 1	27.5	24.5	24.0	19.5	19.0	15.5	15.0	31.5	26.5
	Point 2	25.0	24.0	22.0	17.0	17.0	13.5	12.5	29.5	24.5
PFA100-L	Point 1	27.5	24.0	23.0	18.0	16.5	13.5	13.5	31.0	25.0
	Point 2	27.0	23.0	20.0	17.0	14.5	11.5	11.0	29.5	23.0
PFA100-M	Point 1	26.5	25.0	22.5	16.5	16.5	13.5	13.0	30.5	24.5
	Point 2	24.5	20.0	19.0	16.0	13.5	11.0	10.0	27.5	22.0

Bureau 15 m <sup>2</sup> /1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😐	😐
Moquette	Lisse	😊	😐	😐
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😐
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😐
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😐
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😐

Figure 18 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 15 m<sup>2</sup> avec un brasseur

### 8.4.1.2. Simulation avec 2 brasseurs



Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	34.5	32.5	32.0	28.0	26.0	23.0	21.0	39.0	34.0
	Point 2	33.5	32.0	32.0	27.0	26.0	22.0	19.5	38.0	33.5
L - M	Point 1	33.0	30.0	30.5	26.5	24.5	21.5	19.5	37.0	32.5
	Point 2	31.0	28.0	29.5	25.5	24.0	20.5	19.0	35.5	31.5
PFA50-L	Point 1	28.5	26.0	26.5	22.5	20.5	18.5	17.5	33.0	29.0
	Point 2	27.0	26.5	25.0	20.5	19.0	17.0	15.5	32.0	27.5
PFA50-M	Point 1	28.5	27.5	27.0	22.5	20.5	18.0	17.0	33.5	29.0
	Point 2	27.5	24.5	26.0	19.0	18.0	16.0	15.0	31.5	27.0
PFA100-L	Point 1	29.0	26.5	25.0	21.0	19.0	15.5	15.0	33.0	27.5
	Point 2	26.5	24.5	23.0	17.5	17.5	14.0	13.5	30.5	25.5
PFA100-M	Point 1	29.5	27.0	24.5	21.5	18.5	15.5	15.0	33.0	27.5
	Point 2	27.5	26.0	24.0	17.0	17.0	14.0	13.5	31.5	25.5

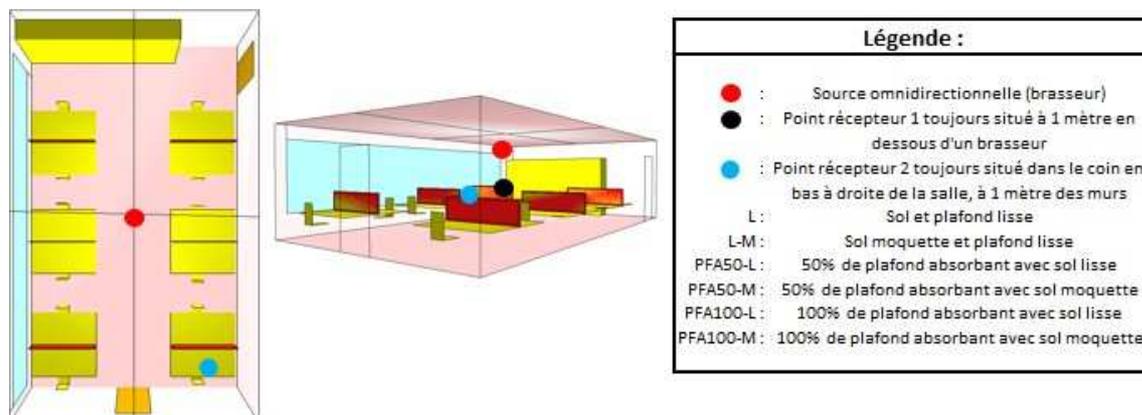
Bureau 15 m <sup>2</sup> /2 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😐	😞
Moquette	Lisse	😊	😐	😐
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😐
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😐
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😐
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😐

Figure 19 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 15 m<sup>2</sup> avec deux brasseurs

## 8.4.2. Bureau de 60 m<sup>2</sup>

Pour la simulation d'un bureau type « open space », le choix de salle correspond à une surface de 60 m<sup>2</sup> avec deux portes, une fenêtre, 12 chaises / 12 bureaux et une armoire. La hauteur considérée est de 2.70 m.

### 8.4.2.1. Simulation avec 1 brasseur

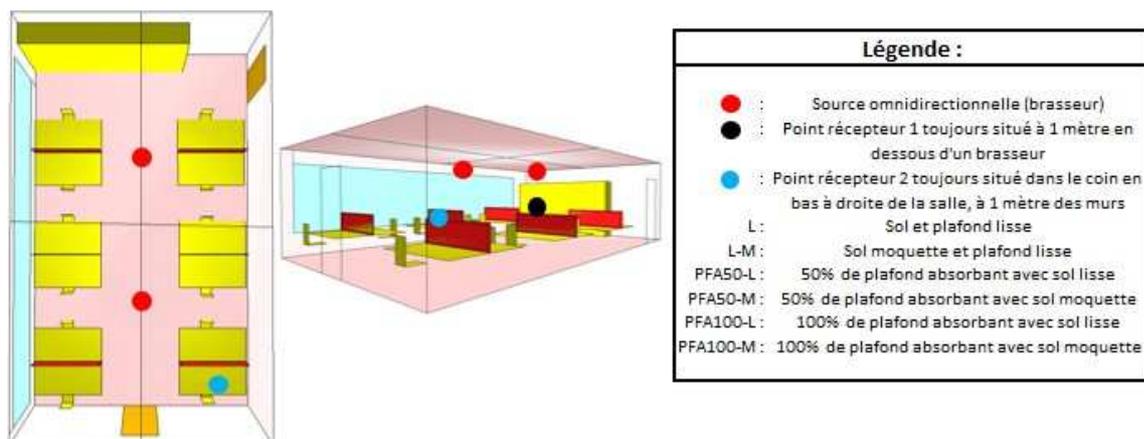


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	27.5	25.5	25.5	21.0	18.5	16.0	14.0	32.0	27.0
	Point 2	25.0	24.0	24.5	19.5	17.5	14.0	11.0	30.0	25.5
L - M	Point 1	27.0	23.5	23.5	19.5	17.5	15.0	13.5	31.0	26.0
	Point 2	23.0	21.5	22.0	17.5	15.0	12.0	9.5	28.0	23.5
PFA50-L	Point 1	24.0	20.0	21.0	17.0	15.0	13.0	12.5	28.0	23.5
	Point 2	20.0	17.0	16.5	9.5	8.5	6.0	4.5	23.5	17.5
PFA50-M	Point 1	23.5	19.5	20.5	17.0	15.0	12.5	12.0	27.5	23.0
	Point 2	19.5	16.5	14.5	9.0	8.5	5.5	4.5	22.5	16.5
PFA100-L	Point 1	24.5	20.5	16.5	14.0	12.5	10.5	9.5	27.0	20.5
	Point 2	21.0	16.5	15.5	10.0	8.0	4.5	3.5	23.5	17.0
PFA100-M	Point 1	24.0	20.0	16.5	14.0	12.0	10.5	9.5	26.5	20.5
	Point 2	18.5	16.0	14.5	8.5	6.0	3.5	2.0	22.0	15.5

Bureau 60 m <sup>2</sup> /1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😊	😐
Moquette	Lisse	😊	😊	😐
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😐
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😐
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😊
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😊

Figure 20 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m<sup>2</sup> avec un brasseur

### 8.4.2.2. Simulation avec 2 brasseurs

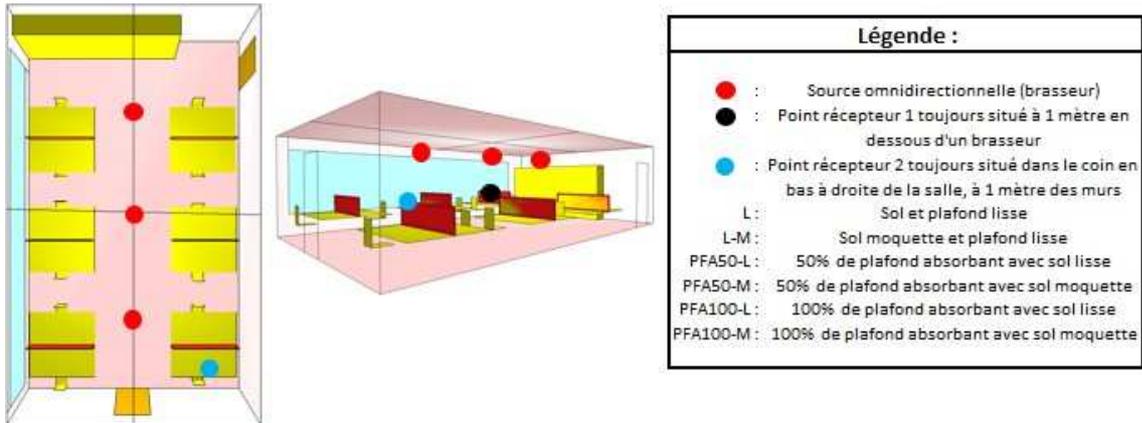


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	30.0	27.0	27.5	23.5	21.5	18.5	16.0	34.0	29.5
	Point 2	28.5	26.0	26.5	22.0	20.5	17.0	13.5	33.0	28.5
L - M	Point 1	29.0	25.5	26.0	21.5	19.5	17.5	15.5	33.0	28.0
	Point 2	26.5	25.0	25.0	19.5	18.5	15.0	12.5	31.0	26.5
PFA50-L	Point 1	27.0	22.0	22.0	19.0	17.0	14.5	14.0	30.0	25.0
	Point 2	23.5	20.5	19.0	14.0	11.5	9.5	7.5	27.0	20.5
PFA50-M	Point 1	25.0	20.5	22.0	19.0	16.5	14.5	13.5	29.0	24.5
	Point 2	21.0	21.0	18.5	14.0	12.5	9.5	7.5	26.0	20.5
PFA100-L	Point 1	25.5	23.5	20.0	16.0	14.0	12.5	11.0	29.0	23.0
	Point 2	22.5	20.0	17.5	12.5	11.0	8.5	6.5	26.0	19.5
PFA100-M	Point 1	25.5	22.5	21.5	16.5	13.5	12.0	11.0	29.0	23.0
	Point 2	21.0	20.5	16.0	12.0	10.0	7.5	6.5	25.0	19.0

Bureau 60 m <sup>2</sup> /2 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	☺	☺	☹
Moquette	Lisse	☺	☺	☹
Lisse	Ilot 50%	☺	☺	☹
Moquette	Ilot 50%	☺	☺	☹
Lisse	Plafond 100%	☺	☺	☹
Moquette	Plafond 100%	☺	☺	☹

Figure 21 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m<sup>2</sup> avec deux brasseurs

### 8.4.2.3. Simulation avec 3 brasseurs

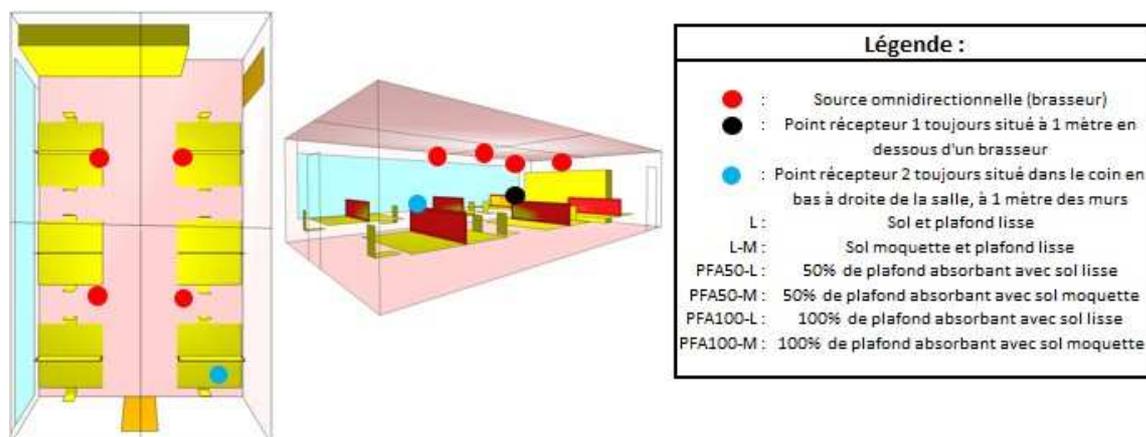


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	32.0	30.0	29.5	25.5	23.5	20.5	18.5	36.5	31.5
	Point 2	30.0	28.5	28.0	24.5	22.5	18.5	15.5	34.5	30.5
L - M	Point 1	31.0	27.0	27.5	24.0	22.0	19.5	18.0	34.5	30.0
	Point 2	27.5	25.5	25.5	21.5	20.5	17.0	14.5	32.0	28.0
PFA50-L	Point 1	28.0	25.0	24.0	22.0	19.5	17.0	16.0	32.0	27.5
	Point 2	25.0	21.5	20.0	15.0	13.5	11.0	9.5	28.0	22.0
PFA50-M	Point 1	28.5	25.0	24.0	22.0	19.5	17.0	16.0	32.0	27.5
	Point 2	23.5	21.0	19.5	15.0	14.0	10.5	10.0	27.5	22.0
PFA100-L	Point 1	28.5	24.5	23.0	19.0	16.0	14.5	13.5	31.5	25.5
	Point 2	25.0	22.0	20.0	14.0	12.5	10.0	8.0	28.0	21.5
PFA100-M	Point 1	27.5	24.0	23.0	18.5	16.0	14.5	13.0	31.0	25.0
	Point 2	23.5	20.0	18.5	14.0	11.5	9.0	8.0	26.5	20.5

Bureau 60 m <sup>2</sup> /3 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😞	😞
Moquette	Lisse	😊	😞	😞
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😞
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😞
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😞
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😞

Figure 22 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m<sup>2</sup> avec trois brasseurs

#### 8.4.2.4. Simulation avec 4 brasseurs

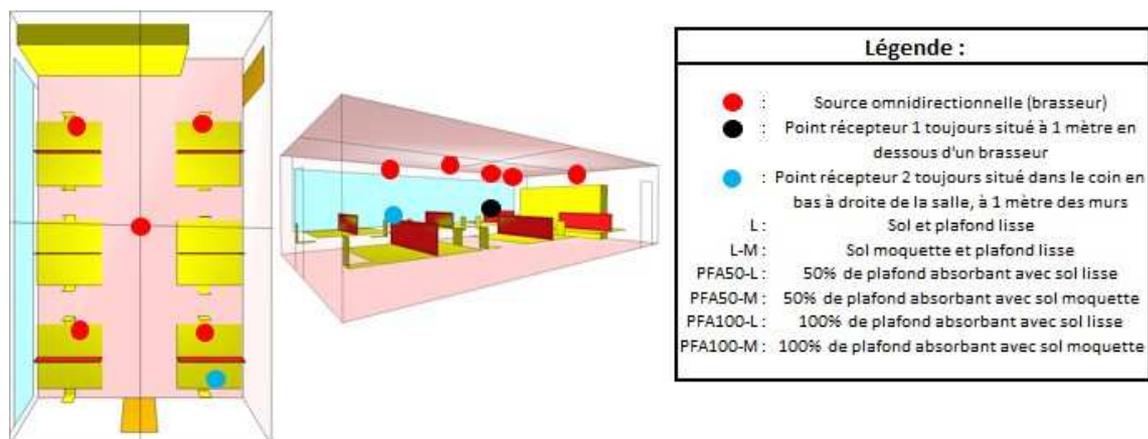


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	33.0	30.0	30.0	25.5	24.0	20.5	17.5	36.5	32.0
	Point 2	33.0	30.0	29.5	26.0	23.5	20.0	17.0	36.5	31.5
L - M	Point 1	30.0	27.5	28.0	24.0	22.5	19.5	17.0	34.5	30.0
	Point 2	29.5	27.5	26.5	23.0	21.5	18.5	16.0	34.0	29.5
PFA50-L	Point 1	25.5	24.5	25.0	19.5	16.5	14.5	13.0	30.5	26.0
	Point 2	26.0	23.5	21.5	17.5	15.0	12.5	11.5	29.5	23.5
PFA50-M	Point 1	28.0	25.0	24.5	19.0	16.5	14.5	13.0	31.5	25.5
	Point 2	26.0	22.0	22.0	17.0	14.5	12.0	11.0	29.5	23.5
PFA100-L	Point 1	28.5	25.0	24.0	18.5	15.5	14.0	12.5	31.5	25.5
	Point 2	25.5	21.5	21.0	16.5	13.0	11.5	10.5	28.5	22.5
PFA100-M	Point 1	27.5	25.0	23.5	18.0	15.5	13.5	12.5	31.0	25.0
	Point 2	23.5	23.0	20.5	16.0	13.5	11.5	10.0	28.0	22.5

Bureau 60 m <sup>2</sup> /4 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😐	😐
Moquette	Lisse	😊	😐	😐
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😐
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😐
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😐
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😐

Figure 23 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m<sup>2</sup> avec quatre brasseurs

### 8.4.2.5. Simulation avec 5 brasseurs

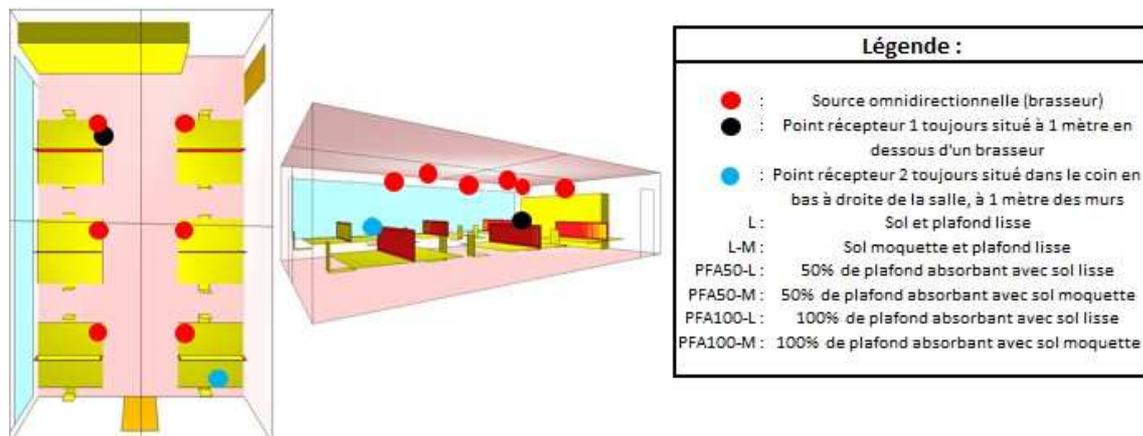


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	34.5	32.5	31.5	27.5	25.5	22.5	20.5	38.5	33.5
	Point 2	32.5	31.5	31.0	26.5	24.5	21.0	18.0	37.0	32.5
L - M	Point 1	33.0	31.0	29.5	26.5	24.5	21.5	20.0	37.0	32.5
	Point 2	30.5	28.0	29.0	24.5	23.0	20.0	17.0	35.0	30.5
PFA50-L	Point 1	31.0	27.5	26.5	23.0	20.5	18.0	17.5	34.0	29.0
	Point 2	25.5	22.5	22.5	19.0	17.0	13.5	12.5	29.5	25.0
PFA50-M	Point 1	29.5	27.5	26.0	22.5	20.0	17.5	17.0	33.5	28.5
	Point 2	25.5	23.5	22.5	18.0	16.5	13.5	12.0	29.5	24.5
PFA100-L	Point 1	30.0	27.0	25.5	21.5	18.5	16.5	16.0	33.5	28.0
	Point 2	26.0	22.0	21.5	17.0	15.0	12.5	11.5	29.0	23.5
PFA100-M	Point 1	30.5	28.0	24.5	21.0	18.5	17.0	16.0	33.5	27.5
	Point 2	27.0	24.5	22.0	17.0	15.0	12.5	11.5	30.5	24.0

Bureau 60 m <sup>2</sup> /5 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😐	😞
Moquette	Lisse	😊	😐	😐
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😐
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😐
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😐
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😐

Figure 24 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m<sup>2</sup> avec cinq brasseurs

### 8.4.2.6. Simulation avec 6 brasseurs



Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	34.5	32.5	31.5	27.5	25.5	22.0	19.0	38.5	33.5
	Point 2	32.5	31.5	31.5	27.0	25.0	22.0	19.0	37.5	33.0
L - M	Point 1	31.0	30.0	30.0	25.5	23.5	20.5	18.5	36.0	32.0
	Point 2	30.0	29.5	29.5	25.5	23.0	20.0	18.0	35.5	31.5
PFA50-L	Point 1	29.0	27.5	25.0	19.0	18.0	16.0	15.0	32.5	27.0
	Point 2	27.0	23.5	21.5	19.0	17.0	14.5	13.0	30.5	25.0
PFA50-M	Point 1	27.5	25.0	24.0	19.0	17.5	16.0	14.5	31.5	26.0
	Point 2	24.0	23.0	23.5	19.0	16.5	14.0	13.0	29.5	25.5
PFA100-L	Point 1	29.0	25.0	24.0	19.0	17.5	15.0	13.5	32.0	26.0
	Point 2	29.0	25.5	22.5	18.5	16.0	13.5	12.5	32.0	25.0
PFA100-M	Point 1	28.5	25.5	24.5	18.5	16.5	14.5	13.5	32.0	26.0
	Point 2	27.5	24.5	23.0	18.5	16.0	13.5	12.5	31.0	25.0

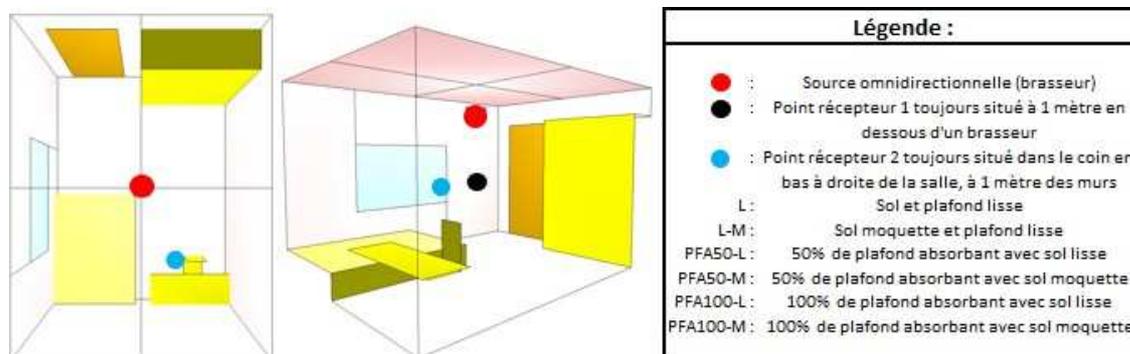
Bureau 60 m <sup>2</sup> /6 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😞	😞
Moquette	Lisse	😊	😞	😞
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😞
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😞
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😞
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😞

Figure 25 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m<sup>2</sup> avec six brasseurs

### 8.4.3. Chambre 12 m<sup>2</sup>

Pour la simulation d'une chambre, le choix de salle correspond à une surface de 12 m<sup>2</sup> avec une porte, une fenêtre, une chaise / un bureau, une armoire et un lit composé d'un sommier et d'un matelas absorbant (mobilier absorbant). La hauteur considérée est de 2.50 m.

#### 8.4.3.1. Simulation avec 1 brasseur

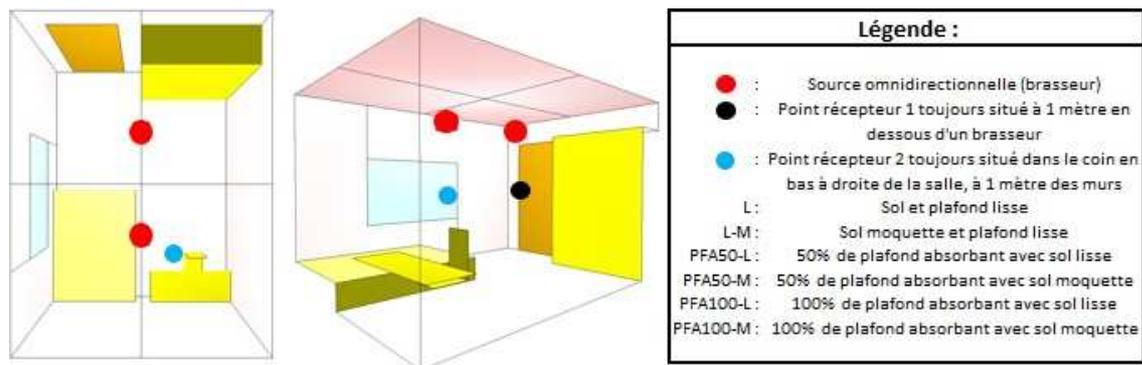


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	33.5	30.5	31.0	25.5	24.0	21.5	20.5	37.5	32.5
	Point 2	32.5	30.0	29.5	24.5	22.5	19.5	17.5	36.5	31.0
L - M	Point 1	33.0	30.0	29.5	25.0	23.5	21.0	20.0	36.5	31.5
	Point 2	29.5	27.0	28.0	23.0	22.0	18.5	17.0	34.0	29.5

Chambre 12 m <sup>2</sup> /1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)							
Sol	Plafond	V1		V2		V3	
		Sommeil	Logement (jour)	Sommeil	Logement (jour)	Sommeil	Logement (jour)
Lisse	Lisse	☹	☺	☹	☹	☹	☹
Moquette	Lisse	☹	☺	☹	☹	☹	☹

Figure 26 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour une chambre de 12 m<sup>2</sup> avec un brasseur

### 8.4.3.2. Simulation avec 2 brasseurs



Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	35.0	33.0	33.0	27.5	26.5	23.0	21.0	39.5	34.5
	Point 2	35.0	33.0	32.0	27.0	25.0	22.0	20.5	39.0	33.5
L - M	Point 1	34.5	33.0	32.0	26.5	25.5	22.5	20.5	39.0	33.5
	Point 2	34.0	31.0	31.0	26.5	24.5	21.5	19.5	38.0	33.0

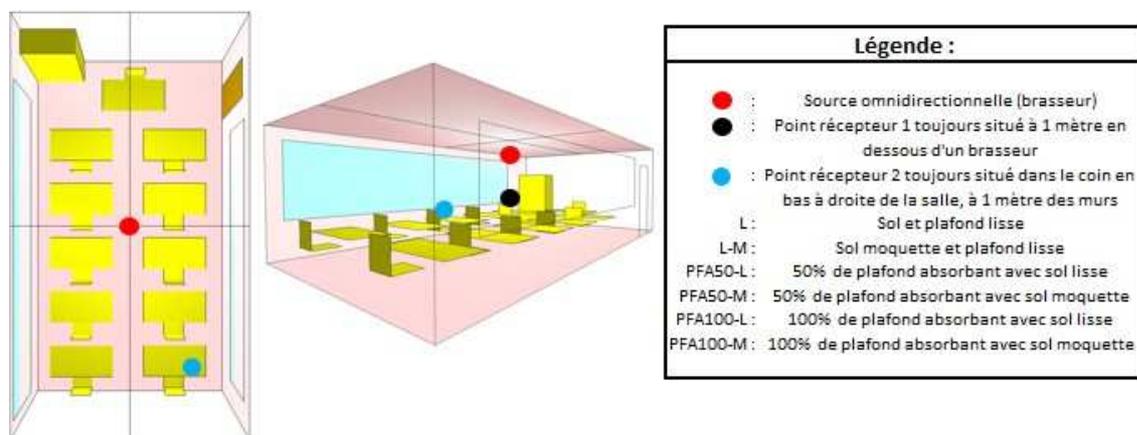
Chambre 12 m <sup>2</sup> /2 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)							
Sol	Plafond	V1		V2		V3	
		Sommeil	Logement (jour)	Sommeil	Logement (jour)	Sommeil	Logement (jour)
Lisse	Lisse	☹️	☹️	☹️	☹️	☹️	☹️
Moquette	Lisse	☹️	😊	☹️	☹️	☹️	☹️

Figure 27 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour une chambre de 12 m<sup>2</sup> avec deux brasseurs

### 8.4.4. Classe de 45 m<sup>2</sup> (Enseignement)

Pour la simulation d'une classe, le choix de salle correspond à une surface de 45 m<sup>2</sup> avec une porte, deux fenêtres, 11 chaises / 11 bureaux et une armoire. La hauteur considérée est de 2.70 m.

#### 8.4.4.1. Simulation avec 1 brasseur

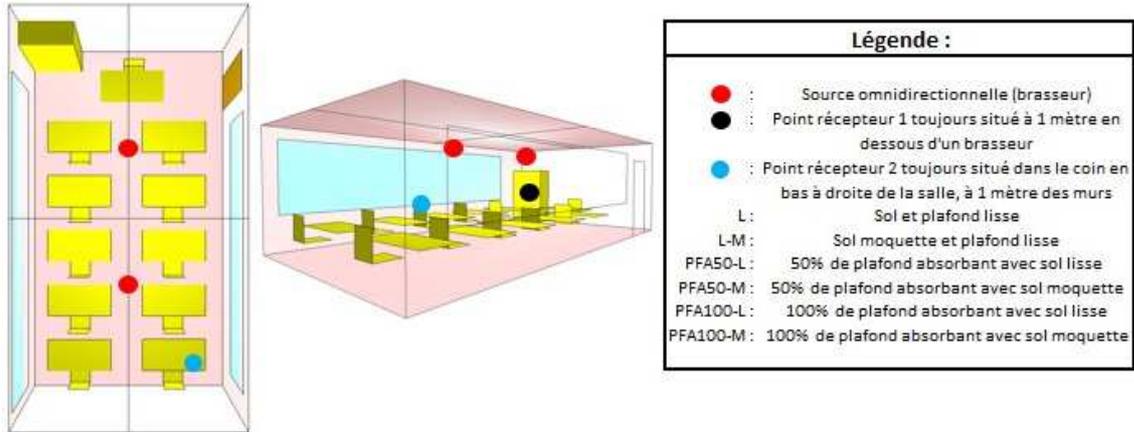


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	29.0	26.5	27.0	23.0	21.5	18.5	17.5	33.5	29.5
	Point 2	26.0	25.0	25.0	21.0	18.5	14.5	12.5	31.0	26.5
L - M	Point 1	28.5	26.0	26.0	22.5	20.5	18.0	17.0	33.0	28.5
	Point 2	24.5	22.0	22.5	18.5	16.5	13.5	11.5	29.0	24.5
PFA50-L	Point 1	28.0	24.0	24.5	20.5	19.0	16.5	16.0	31.5	27.0
	Point 2	19.5	18.5	17.5	12.5	10.5	8.0	7.0	24.0	19.0
PFA50-M	Point 1	27.5	24.0	24.5	20.5	18.5	16.5	16.0	31.5	27.0
	Point 2	20.0	19.0	17.0	12.0	9.5	8.5	7.0	24.5	19.0
PFA100-L	Point 1	25.5	23.0	19.5	16.5	14.5	12.0	11.5	29.0	23.0
	Point 2	20.5	19.5	16.0	11.0	10.0	7.0	6.0	24.5	18.5
PFA100-M	Point 1	26.0	22.5	18.5	16.5	14.0	12.0	11.0	29.0	22.5
	Point 2	20.5	16.5	16.5	10.0	9.0	7.5	6.0	23.5	18.0

Classe 45 m <sup>2</sup> /1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😊	😞
Moquette	Lisse	😊	😊	😞
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😞
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😞
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😊
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😊

Figure 28 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m<sup>2</sup> avec un brasseur

### 8.4.4.2. Simulation avec 2 brasseurs

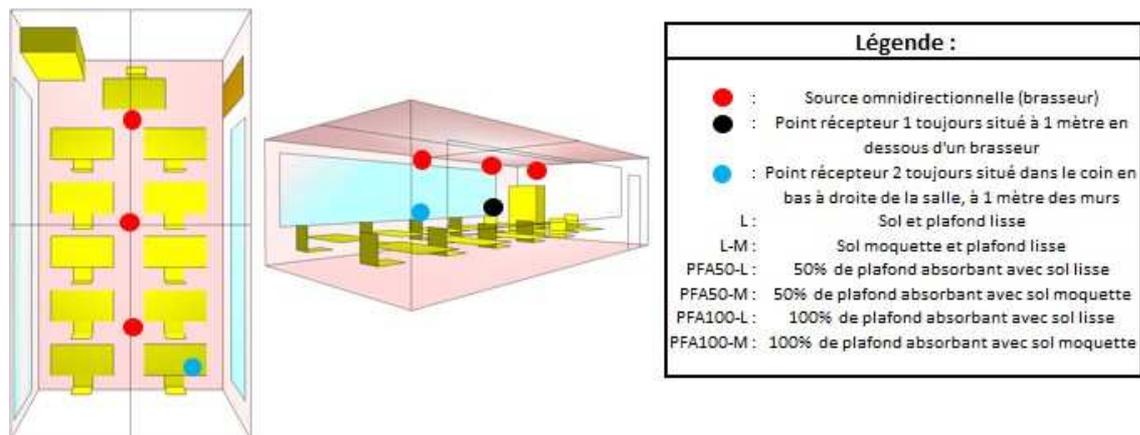


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	30.5	28.0	28.5	24.0	22.5	19.5	17.0	35.0	30.5
	Point 2	29.5	28.0	27.5	23.0	22.0	18.0	15.0	34.0	29.5
L - M	Point 1	29.0	27.0	27.0	23.0	21.5	18.5	16.5	33.5	29.5
	Point 2	28.0	25.5	24.5	21.5	20.0	17.0	14.5	32.0	27.5
PFA50-L	Point 1	27.5	24.5	24.0	21.0	18.0	16.0	15.0	31.5	26.5
	Point 2	24.0	21.5	20.0	16.0	14.5	12.0	11.0	27.5	22.5
PFA50-M	Point 1	26.5	23.5	24.0	20.5	18.0	15.5	15.0	31.0	26.5
	Point 2	23.5	20.5	20.5	16.0	14.5	11.5	10.0	27.5	22.5
PFA100-L	Point 1	28.0	24.5	20.0	18.5	16.0	13.5	13.0	31.0	24.5
	Point 2	24.0	22.0	21.0	14.5	13.0	11.0	9.5	28.0	22.0
PFA100-M	Point 1	27.0	24.5	20.5	18.0	15.5	14.0	13.0	30.0	24.0
	Point 2	22.5	22.0	20.5	14.0	13.5	10.5	9.5	27.0	22.0

Classe 45 m <sup>2</sup> /2 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	☺	☺	☹
Moquette	Lisse	☺	☺	☹
Lisse	Ilot 50%	☺	☺	☹
Moquette	Ilot 50%	☺	☺	☹
Lisse	Plafond 100%	☺	☺	☺
Moquette	Plafond 100%	☺	☺	☺

Figure 29 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m<sup>2</sup> avec deux brasseurs

### 8.4.4.3. Simulation avec 3 brasseurs

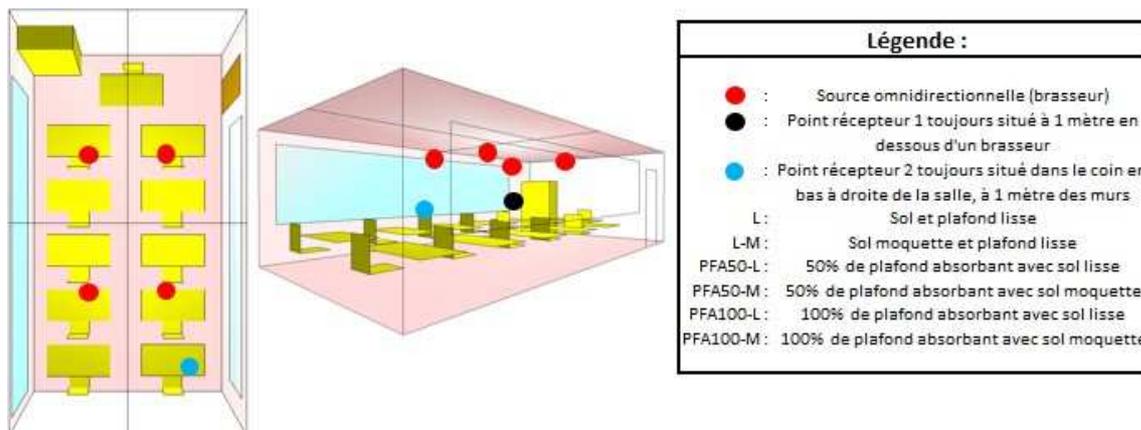


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	33.5	31.5	31.0	27.0	25.0	22.5	20.5	38.0	33.0
	Point 2	31.0	29.5	29.5	24.5	23.5	19.5	17.0	35.5	31.0
L - M	Point 1	31.5	30.0	30.0	26.0	24.0	21.5	20.5	36.5	32.5
	Point 2	29.0	28.0	28.0	23.5	21.5	18.5	16.0	34.0	30.0
PFA50-L	Point 1	29.5	26.0	27.0	24.0	22.0	19.5	19.0	34.0	30.0
	Point 2	28.5	26.5	23.0	18.0	16.0	14.0	13.0	32.0	25.0
PFA50-M	Point 1	29.5	26.0	27.0	24.5	22.0	19.5	19.0	34.0	30.0
	Point 2	26.0	24.0	22.5	17.5	15.5	14.0	12.5	30.0	24.5
PFA100-L	Point 1	30.0	27.0	24.5	21.0	18.5	16.5	15.5	33.0	27.5
	Point 2	28.0	27.0	22.5	15.5	15.0	13.0	11.0	31.5	24.5
PFA100-M	Point 1	29.5	27.0	24.0	21.0	18.5	16.5	15.5	33.0	27.5
	Point 2	26.0	25.5	23.0	16.0	14.5	12.5	11.5	30.5	24.5

Classe 45 m <sup>2</sup> /3 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolés)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😐	😞
Moquette	Lisse	😊	😊	😞
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😐
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😐
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😐
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😐

Figure 30 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m<sup>2</sup> avec trois brasseurs

#### 8.4.4.4. Simulation avec 4 brasseurs

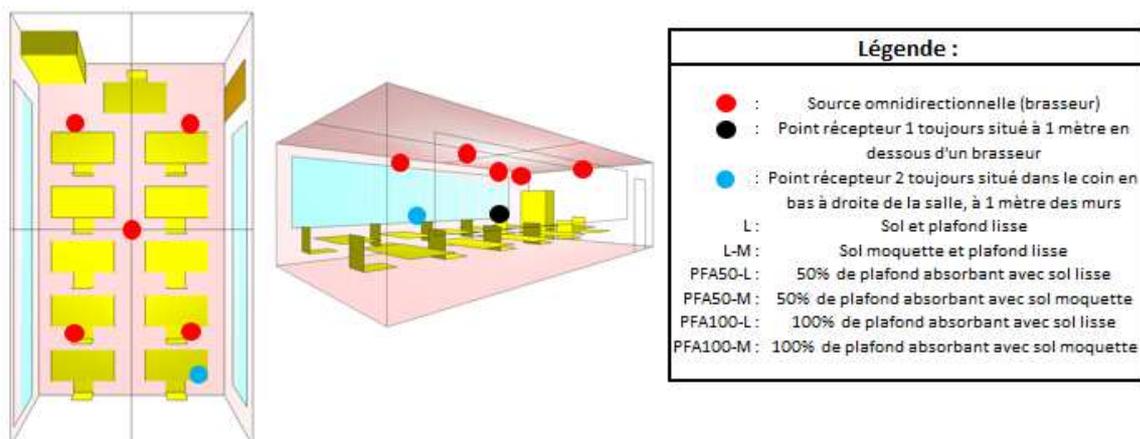


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	32.5	31.0	31.0	26.5	25.0	22.0	19.0	37.5	<b>33.0</b>
	Point 2	32.5	31.0	30.5	26.0	24.5	21.0	18.5	37.0	<b>32.5</b>
L - M	Point 1	32.0	29.5	29.0	25.0	23.0	20.0	19.0	36.0	<b>31.0</b>
	Point 2	30.5	29.5	28.5	24.0	22.5	20.0	17.5	35.5	<b>30.5</b>
PFA50-L	Point 1	30.0	28.5	24.0	20.5	18.5	15.5	15.5	33.5	<b>27.5</b>
	Point 2	28.5	26.0	23.0	18.5	16.5	14.0	13.5	31.5	<b>25.5</b>
PFA50-M	Point 1	29.5	26.5	25.0	19.5	18.5	15.5	15.5	32.5	<b>27.0</b>
	Point 2	27.0	25.5	23.0	18.0	16.5	14.0	13.0	31.0	<b>25.0</b>
PFA100-L	Point 1	29.0	27.5	25.0	19.5	18.0	15.0	15.0	33.0	<b>27.0</b>
	Point 2	28.0	25.0	23.5	17.5	16.0	13.5	13.0	31.5	<b>25.0</b>
PFA100-M	Point 1	29.5	27.5	24.5	20.0	17.5	15.0	14.5	33.0	<b>27.0</b>
	Point 2	28.0	25.5	24.5	17.0	15.5	13.5	12.5	31.5	<b>25.5</b>

Classe 45 m <sup>2</sup> /4 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😐	😞
Moquette	Lisse	😊	😊	😞
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😐
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😐
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😐
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😐

Figure 31 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m<sup>2</sup> avec quatre brasseurs

### 8.4.4.5. Simulation avec 5 brasseurs



Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	36.0	34.0	33.0	29.0	28.0	24.0	23.0	40.5	35.5
	Point 2	33.5	31.5	32.0	27.0	25.5	21.5	19.5	38.0	33.5
L - M	Point 1	34.5	33.0	31.5	28.0	26.5	23.5	22.5	39.0	34.5
	Point 2	33.5	30.0	29.5	25.0	24.0	21.0	19.0	37.0	31.5
PFA50-L	Point 1	32.5	30.0	28.5	24.5	23.5	21.0	20.0	36.5	31.5
	Point 2	27.5	24.5	24.0	20.0	18.5	15.5	14.5	31.5	26.5
PFA50-M	Point 1	33.0	30.0	28.5	25.0	23.5	21.0	20.5	36.5	31.5
	Point 2	30.0	26.5	25.0	19.5	18.0	15.0	14.5	33.0	27.0
PFA100-L	Point 1	34.0	30.0	27.5	22.5	22.0	19.5	18.5	36.5	30.0
	Point 2	29.5	27.0	24.0	17.5	17.5	14.5	14.0	32.5	26.0
PFA100-M	Point 1	33.5	30.5	27.0	23.0	22.0	19.5	18.5	36.5	30.0
	Point 2	28.0	24.5	23.5	18.5	17.0	15.0	14.0	31.5	25.5

Classe 45 m <sup>2</sup> /5 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	😊	😐	😞
Moquette	Lisse	😊	😐	😞
Lisse	Ilot 50%	😊	😊	😞
Moquette	Ilot 50%	😊	😊	😞
Lisse	Plafond 100%	😊	😊	😐
Moquette	Plafond 100%	😊	😊	😐

Figure 32 : Représentation, résultats simulés et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m<sup>2</sup> avec cinq brasseurs

## 8.5. Synthèse

Ces modélisations ont permis de mettre en évidence les commentaires suivants pour ce modèle de brasseur :

- En vitesse 1 (soit  $L_w = 24.5$  dB(A)), le niveau de bruit dans le local est confortable pour quasiment toutes les configurations quel que soit le nombre de brasseurs et les traitements des parois
- En vitesse 2 ( $L_w = 33.5$  dB(A)), dès lors que le plafond est traité acoustiquement, le niveau de bruit dans le local est confortable
- En vitesse 3 ( $L_w = 40.5$  dB(A)), le niveau de bruit dans le local est élevé et potentiellement gênant même avec des traitements acoustiques de parois.

**Dans une chambre, seule la vitesse V1** permet de maintenir un niveau sonore confortable en journée et acceptable pour la pièce de sommeil en période nocturne.

**Dans un bureau individuel de 15 m<sup>2</sup>**, le niveau sonore confortable ou acceptable avec 1 seul brasseur. L'ajout d'un deuxième brasseur, entraîne un niveau sonore désagréable en V3 en l'absence de traitement absorbant suffisants dans le local.

**Dans un open space de 60 m<sup>2</sup>**, le niveau sonore confortable ou acceptable avec 1 à 4 brasseurs. L'ajout d'un 5<sup>ème</sup> ou d'un 6<sup>ème</sup>, entraîne un niveau sonore désagréable en V3 en l'absence de traitement absorbant suffisants dans le local.

**Dans une salle de classe de 45 m<sup>2</sup>**, le niveau sonore confortable ou acceptable avec 1 ou 2 brasseurs. L'ajout d'un 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> ou d'un 5<sup>ème</sup>, entraîne un niveau sonore désagréable en V3 en l'absence de traitement absorbant suffisants dans le local.

Cette première analyse a pour objectif de permettre la création d'un outil de prédimensionnement des brasseurs d'air en termes de puissance acoustique en fonction des paramètres suivants :

- Type de local
- Traitements absorbants des parois
- Objectif de niveau sonore
- Nombre de brasseurs

En fonction de cette puissance acoustique, la base de données fabricant permettra de choisir les brasseurs compatibles. La base pourra aussi permettre de lister les brasseurs compatibles avec une configuration donnée.

## 9. OUTIL de PREDIMENSIONNEMENT

### 9.1. Objet

Sur la base des modélisations réalisées, les résultats obtenus permettent le paramétrage d'une feuille de calcul type EXCEL qui va constituer l'outil de prédimensionnement. De plus, les nombreuses mesures de puissance acoustique réalisées au laboratoire PIMENT permettent d'alimenter cette feuille de données.

La présente partie du rapport de synthèse décrit cette feuille EXCEL créée afin de traiter les données de prédimensionnement.

### 9.2. Description de la feuille de prédimensionnement

Pour commencer, la feuille demande quelques informations sur le type de local où le brasseur doit être installé. Les choix sont limités et correspondent à toutes les différentes configurations simulés et explicités dans la partie précédente.

Type de pièce : Chambre (environ 12m <sup>2</sup> )	Rappel des bornes pour chaque local (dB(A))	Logement - nuit	Logement - jour	Bureau	Enseignement
Nombre de brasseur : 1	Confortable	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 33
Traitement acoustique : Sol et plafond lisse	Acceptable	20 < ... ≤ 25	25 < ... ≤ 30	30 < ... ≤ 40	33 < ... ≤ 38
Type de local : Enseignement	Désagréable	> 25	> 30	> 40	> 38
(jj/mm/aaaa) Date : lundi 11 août 1997					
Projet : M-2007-0498-PO-ADEME SURYA BRASSEURS					
Tracer le graphique du niveau sonore dans la pièce					

Figure 33 : Représentation de la page d'accueil de la feuille de prédimensionnement

Ci-dessous, exemple de configuration :

Type de pièce :	Bureau type open space (environ 60m <sup>2</sup> )
Nombre de brasseur :	4
Traitement acoustique :	Sol lisse et 50% ilot plafond absorbant
Type de local :	Bureau
Date :	jeudi 10 août 2023
Projet :	M-2007-0498-PO-ADEME SURYA BRASSEURS
Tracer le graphique du niveau sonore dans la pièce	

Figure 34 : Exemple de configuration disponible

Une fois les paramètres sélectionnés, le bouton permet d'afficher les résultats sur une seconde feuille :

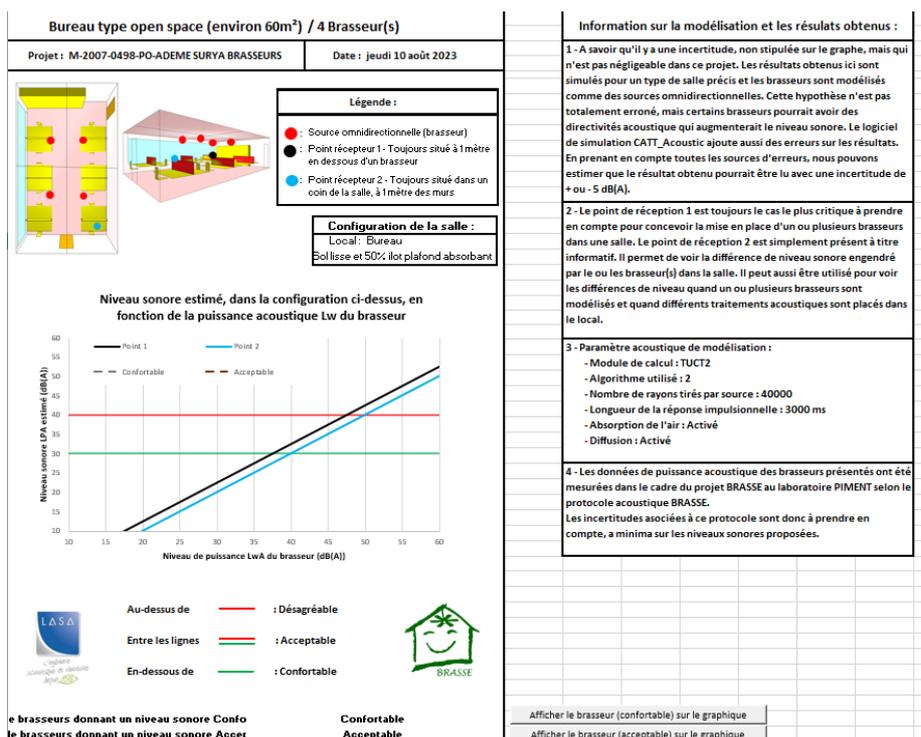


Figure 35 : Représentation de la page de présentation des données simulées

On y retrouve toutes les informations de la configuration sélectionnée, le graphique avec le niveau sonore simulé (en deux points de la pièce) en fonction du niveau de puissance du ou des brasseurs et des informations importantes à connaître afin de lire correctement les résultats.

Sur ce graphique, on retrouve les limites de niveau sonore afin d'obtenir une ambiance acoustique confortable, acceptable ou désagréable en fonction du type de local sélectionné. La détermination d'une plage de niveau de puissance du brasseur, qui donnerait un niveau sonore confortable ou acceptable est donc réalisable. Deux listes situées en bas de la page sont mis à disposition dans ce but. Elles regroupent tous les brasseurs dont le niveau sonore provoqué, dans la configuration donnée, serait confortable ou acceptable. A côté de ces listes, deux boutons sont mis à dispositions afin de tracer le brasseur sélectionné sur le graphique. Un exemple vous est fourni sur la l'image ci-dessous.

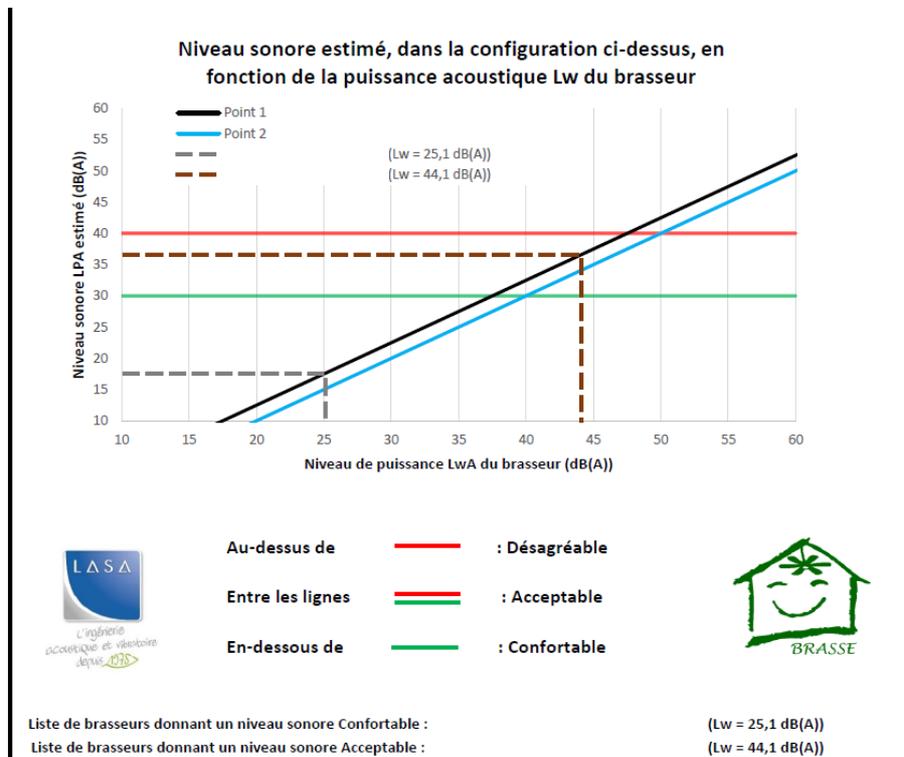


Figure 36 : Exemple d'utilisation des listes de brasseur mis à disposition

Une seconde page, avec un tableau regroupant tous les brasseurs des deux listes vous est données. On y retrouve la marque du brasseur ainsi que les vitesses utilisables pour rester dans l'ambiance sonore définie. Un tableau regroupant toutes les niveaux de puissances acoustiques des brasseurs en fonction de la vitesse est mis à disposition.

Bureau type open space (environ 60m <sup>2</sup> ) / 4 Brasseur(s)		Type de brasseur	Vitesse (RPM)	Niveau de puissance dB(A)
Projet :	M-2007-0498-PO-ADEME SURYA BRASSEURS		V1: 83	29.3
Date :	jeudi 10 août 2023		V2: 110	34.2
Tableau des brasseurs donnant un niveau sonore confortable/acceptable dans la configuration sélectionnée			V3: 130	36.1
			V4: 146	38.4
Liste des brasseurs confortable			V5: 167	42
			V6: 179	44.8
Liste des brasseurs acceptable			V1: 84	25.1
			V2: 113	31
			V3: 134	38.2
			V4: 156	40.8
			V5: 174	44.1
			V6: 189	48.6
			V1	29.3
			V2	30.7
			V3	34.9
			V4	37.6
			V5	40.1
			V6	41.9
			V1: 90	25.9
			V2: 119	34.6
			V3: 139	39.2
			V4: 156	43.4
			V5: 169	45.7
			V6: 177	46.9
			V1: 166	42.2
			V2: 277	56.7
			V3: 311	59.7
			V4: 328	60.5
			V1: 95.5	35.6
			V2: 115.9	41.3
			V3: 134.3	46
			V1: 109	29.4
			V2: 180	46.1
			V3: 207	50.6
			V1: 73	27.6
			V2: 118	35.8
			V3: 170	47.5
			V1: 66	24.2
			V2: 115	31.2
			V3: 136	36.6
			V4: 157	41.3
			V5: 169	43.9
			V6: 181	46.1
			V1: 95	27.2
			V2: 111	32.8
			V3: 126	35.8
			V4: 141	38.9
			V5: 156	43.1

Figure 37 : Représentation de la liste de brasseur fourni donnant un niveau confortable ou acceptable

Pour finir, une analyse du niveau de puissance des brasseurs en fonction de leurs vitesses en RPM est effectuée. Ce graphique, visible ci-dessous, est disponible sur la troisième page de la feuille.

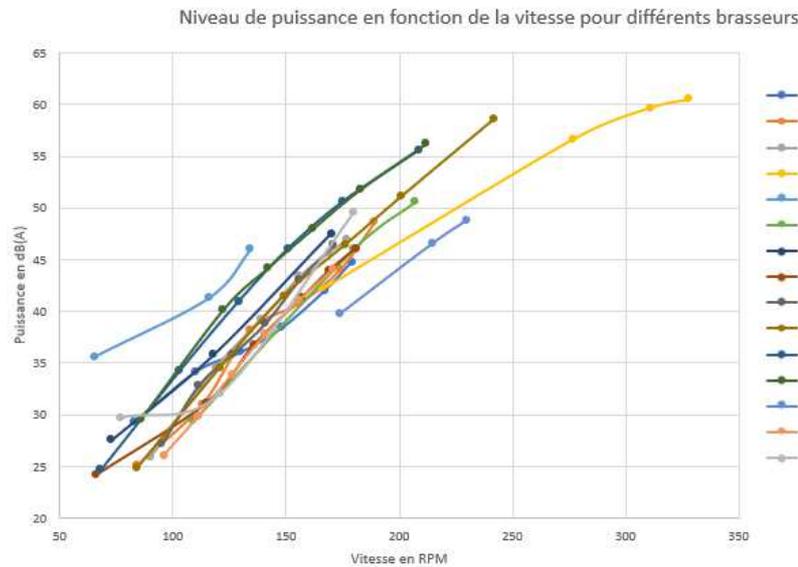


Figure 38 : Représentation du niveau de puissances sonores mesurés des brasseurs en fonction de la vitesse de rotation

Cette analyse nous a permis de constater un gabarit que presque tous les brasseurs suivent. Avec toutes les mesures réalisées, une droite linéaire est aussi extrapolée (graphique en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et donne l'équation suivante :

$$y = 0.16x + 16.5$$

$$\text{Soit } L_w \text{ en dB(A)} = 0.16 * \text{RPM} + 16.5$$

Cette équation empirique issu des mesures de  $L_w$  réalisées au laboratoire PIMENT permet de prédire un comportement « moyen » statistiquement du bruit généré par ces brasseurs. ⚠ Attention, en conséquence, aucun brasseur ne suit exactement cette formule qui permet simplement une estimation en toute première approche.

### 9.3. Synthèse

Cette feuille de traitement a pour objectif de simplifier le l'utilisation des données mesurées ainsi que d'aider les utilisateurs à sélectionner des brasseurs dans certaines conditions. Même si les résultats possèdent une incertitude plus ou moins importante, cela permet d'avoir une première approche sur les conséquences acoustique de l'utilisation d'un brasseur d'air pour ventiler une pièce. Comme on a pu le constater, certains brasseurs sont peu bruyants et peuvent être un bon compromis pour ventiler un local sans provoquer trop de bruit dans celui-ci.

Réaliser plus de mesure de puissance et d'autre simulation en prenant en considération de nouveau locaux pourraient être intéressant afin d'alimenter la base de données de cette feuille. Plus de cas différents seront étudiés avec des mesures, plus la feuille pourrait être utiliser dans des cas concrets.

Pour donner des exemples d'utilisations, des résultats obtenus avec la feuille sont présentés en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Plusieurs configurations qui pourraient être réelles sont réunis afin de se rendre compte de l'utilité que ces données pourraient avoir.

A ne pas oublier, naturellement, qu'il faut aussi ajouter à cela les contraintes thermiques afin de bien dimensionner un brasseur d'air dans un local.

## 10. Etiquette acoustique

L'étiquette acoustique doit permettre une visualisation rapide et simple du confort acoustique attendu avec l'utilisation d'un brasseur donné.

La définition des critères permettant de définir la classe acoustique d'un brasseur doit tenir compte de différentes situations qui influent sur le niveau sonore perçu par l'occupant, comme ce rapport le démontre.

La stratégie de définition d'une classe acoustique de brasseur s'est basée sur les niveaux prévisibles dans des cas types en fonction d'aménagements type et de la puissance acoustique du ou des brasseurs considérés. Le tableau ci-dessous permet de corréler les niveaux de puissance acoustique du brasseur considéré avec les niveaux sonores dans les locaux et les niveaux de confort correspondants.

Niveau sonore en dB(A) dans le local	Logement (nuit-sommeil) 1 brasseur Moquette Lw-Lp = +2 dB(A)	Bureau 15 m <sup>2</sup> 1 brasseur Moquette Plafond 50% Lw-Lp = +7 dB(A)	Enseignement 4 brasseurs Plafond 100% Sol lisse Lw-Lp = +6.5 dB(A)	LwA en dB(A) maximum du brasseur
≤ 20				≤ 22
< 25				< 27
< 30				< 32
< 33				< 35
< 38				< 40
< 40				< 42
≥ 40				≥ 42

Tableau 17 : Corrélation des niveaux de puissances acoustique avec les niveaux sonores et les niveaux de confort correspondant

Les calculs précis des niveaux sonores résultants dans les locaux en fonction de ces classes peut être obtenu par les outils de prédimensionnement ou par une étude acoustique.

A noter que le niveau de puissance acoustique dépend de la vitesse de rotation du brasseur il convient donc de connaître la classe acoustique du brasseur pour une vitesse donnée.

**Pour éviter toute confusion, cette classe acoustique pourrait être déterminée pour les vitesses les plus élevées de chaque brasseur.**

En synthèse, il est proposé cette classification.

Classe acoustique BRASSE	Lw A en dB(A) maximum du brasseur
A	≤ 22
B	< 27
C	< 32
D	< 37
E	< 42
F	< 47
G	≥ 52

Tableau 18 : Classification acoustique des brasseurs d'air en fonction de leurs puissance acoustique

A noter que cette classification recouvre tous les usages en bâtiments d'hébergement ou tertiaire.

*Cela veut dire qu'un brasseur de classe C ci-dessous est confortable dans des locaux tertiaires mais inconfortable dans une chambre la nuit.*

## 11. Conclusion

---

Les brasseurs d'air deviennent un équipement incontournable dans de nombreuses régions du monde sous l'effet conjugué du réchauffement climatique et de la recherche de sobriété énergétique. Les brasseurs d'air doivent cependant être caractérisés pour leur permettre de répondre favorablement aux différents critères de qualité associés.

En premier lieu ils doivent répondre de manière pertinente aux enjeux qui motivent leur mise en œuvre. Le projet BRASSE avait donc pour ambition première de caractériser les efficacités en termes de rafraîchissement et de limitation des consommations énergétiques.

Mais de nombreux autres aspects doivent donner satisfaction aux utilisateurs afin que cet équipement soit largement plébiscité. Un de ces aspects est notamment le bruit généré par l'équipement en particulier dans des espaces sensibles du point de vue du confort acoustique.

Les normes et réglementations définissent de manière assez précise les niveaux de bruit qui permettent l'absence de gêne exprimée en fonction des types de locaux. Les bâtiments de logements ou d'enseignement sont par exemple réglementés en France et les niveaux sonores que les équipements ne doivent pas dépasser sont définis. Les bâtiments tertiaires non réglementés sont en très large majorité conçus et construits en suivant les prescriptions des nombreux référentiels, guides et normes de qualité acoustique qui encadrent les performances de ce type de bâtiment.

La connaissance précise des caractéristiques acoustiques des équipements, tels que les brasseurs, est essentielle à la globalisation de leur mise en œuvre. En effet, en l'absence de données précises et fiables, les prescripteurs et installateurs ne peuvent s'engager sur des résultats in situ.

Ce rapport a donc présenté en premier lieu le travail réalisé pour la mise au point d'un protocole de mesures de la puissance acoustique en dB(A) d'un brasseur à partir de la mesure de la pression sonore dans un local d'essai. Ce protocole a été testé dans deux laboratoires acoustiques afin de vérifier la robustesse de la méthodologie proposée.

Ce protocole a ensuite été utilisé pour la caractérisation de nombreux brasseurs et donne satisfaction. Il peut donc être utilisé par les fournisseurs pour proposer des données normalisées aux acteurs de terrain - en particulier les bureaux d'étude acoustique - afin qu'ils puissent mener les études acoustiques des projets sur la base de données fiables et comparables exprimées en **puissance acoustique -  $L_w$** .

Le travail de mesures in situ et de recalage de modélisations acoustiques 3D de locaux types a également permis de définir des corrélations entre des niveaux de puissance acoustique de brasseur et les niveaux de bruit dans les locaux génériques étudiés. Cette approche a permis de proposer un outil de prédimensionnement ayant pour but de lister des modèles de brasseurs d'air compatibles pour des locaux et objectifs acoustiques donnés.

Une étiquette acoustique BRASSE est proposée afin de permettre un affichage simple et une comparaison des modèles de brasseurs.

Les pistes de poursuite de cette recherche pourront notamment porter sur la mise en relation des résultats issus des différentes études afin de permettre une sélection multicritère et la faisabilité concrète de la mise en place de brasseurs répondant simultanément aux diverses exigences du marché du bâtiment (bruit, rafraîchissement, design, consommation électrique, ergonomie, encombrement, prix...).

Par ailleurs, la base de données débutée dans le cadre de BRASSE qui peut déjà être exploitée devra être étoffée afin que le critère de bruit soit discriminant et permette un sursaut d'innovation et d'appropriation par les acteurs du marché du bâtiment.

Toutefois, le brasseur d'air est un outil parmi d'autres pour lutter contre les effets de réchauffement climatique dans les bâtiments. Les évolutions des usages, des modes constructifs, des habitudes de travail, des réflexions urbanistiques (...) concourront toutes ensemble à l'atteinte de cet objectif incontournable permettant aux hommes et aux femmes d'occuper confortablement les bâtiments de demain.

