

BRASSE

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

Stratégie et règles de calepinage pour
une conception optimale avec des
brasseurs d'air plafonniers

V1.0 - Octobre 2023

Ces règles ont été développées dans le cadre du projet de recherche BRASSE : Brasseur d'air, une solution de sobriété et d'efficacité. Ce projet a été lauréat de l'appel à projet recherche « BATResp 2020 » de l'ADEME.

L'ensemble des justifications des différents points développés dans cette méthode est détaillé dans les rapports de recherche disponibles notamment sur la librairie en ligne de l'ADEME.

BRASSE et les membres de son consortium n'ont aucun intérêt économique sur le marché des brasseurs d'air. Aucun conflit d'intérêt ne perturbe la sincérité de l'ensemble des membres de BRASSE.

Ces règles ont été établies dans l'intérêt du public à la lumière des résultats du projet BRASSE, de l'information disponible et des pratiques acceptées de l'industrie et la recherche. Toutefois, BRASSE ne garantit pas, ne certifie pas et n'assure pas la sécurité ou la performance des produits, composants ou systèmes testés, installés ou exploités conformément à la présente méthodologie.

Ces règles ont été développées par :

- Pierre-Erwan LE MAREC, ingénieur de recherche en thermique et dynamique des fluides, Surya Consultants
- Tangi LE BERIGOT, ingénieur de recherche et d'étude en confort thermique des bâtiments, Surya Consultants
- Frédéric BŒUF, ingénieur d'étude en confort thermique des bâtiments, Surya Consultants



Toute utilisation de ce document est autorisée
Toute utilisation à des fins commerciales de ce document est proscrite
Aucune modification de ce protocole est autorisée.





1. Préalables

Les règles de calepinage BRASSE ont pour ambition d'aider à atteindre une conception optimale avec des brasseurs d'air plafonniers à pales. Leur objectif est de valoriser les brasseurs d'air à leur plein potentiel, et de maximiser la vitesse d'air induite dans l'ensemble d'un local. Si toutefois il s'avérait nécessaire, pour quelque raison que ce soit, d'adapter ces orientations, la vitesse d'air induite par le brasseur d'air serait alors réduite et le plein potentiel de rafraîchissement du brasseur ne serait pas atteint, baissant ainsi son efficacité. En revanche, même non optimisé, un brasseur d'air fournira toujours une vitesse d'air pouvant, dans certains cas, satisfaire le confort des usagers.

Nous attirons également l'attention du concepteur sur le fait que maximiser la vitesse d'air dans un local ne suffit pas pour permettre à l'utilisateur d'être en situation de confort. La vitesse d'air est une composante intervenant dans la sensation de confort de l'utilisateur. La température de l'air, l'humidité relative, la température moyenne de rayonnement, le métabolisme d'activité et la vêtue sont autant d'autres paramètres qui doivent être pris en compte pour une bonne évaluation du confort. Nous conseillons aux concepteurs de considérer également ces paramètres pour s'assurer de la bonne conception de leurs espaces équipés de brasseurs d'air.

Et enfin, il est rappelé au concepteur que d'autres contraintes peuvent devoir être prises en compte comme celles liées aux équipements d'éclairage, au type de commande pour les brasseurs d'air, à l'installation électrique, aux systèmes de sécurité incendie et aux systèmes et équipements de chauffage, de ventilation et de climatisation. L'impact de ces éléments sur la conception avec des brasseurs d'air doit être évalués et considérés par le concepteur et le cas échéant ce dernier devra adapter les règles BRASSE aux contraintes susnommées. Les recommandations liées à ces contraintes ne font pas partie du présent document. En revanche, si la synthèse nécessite de remettre en question le diamètre du ou des brasseurs préconisés, leur nombre ou bien leurs placements, il sera nécessaire que le concepteur réalise un nouveau calepinage en contraignant les choix possibles en fonction.

2. La stratégie de calepinage : A-t-on besoin d'une vitesse d'air uniforme sur l'ensemble de la pièce ?

Pour chaque opération et pour chaque local, le concepteur doit se questionner sur la stratégie de calepinage des brasseurs d'air et répondre en premier lieu à la question suivante : « Le brasseur d'air a-t-il pour objectif de rafraîchir de façon homogène et simultanément l'ensemble de la pièce ? » Dans l'affirmative, on dira que l'on cherche l'**uniformité**¹ du champ de vitesses d'air. Et par opposition, dans l'affirmative de la question suivante « le rafraîchissement indépendant d'une ou plusieurs parties de la pièce est-il préférable ? », on dira que l'on recherche la **variabilité** du champ de vitesses d'air.

Pour répondre à ces deux questions, l'usage de la pièce doit être identifié. Si sur un même espace, l'usage veut que chaque usager puisse agir sur son confort (cas par exemple d'un open-space – 'image a' de la figure 1) ou que des contraintes externes imposent des besoins spécifiques sur certaines zones et pas ailleurs (cas par exemple de la zone proche d'une paroi vitrée – 'image b' de la figure 1), alors dans ces cas de figure, le concepteur ne devra pas nécessairement rechercher l'uniformité. En revanche, s'il est nécessaire que l'ensemble des usagers puissent être favorablement impacté par les brasseurs d'air ou que l'usage n'est pas encore suffisamment défini ou peut évoluer, ou encore que l'utilisateur n'ait pas la possibilité d'agir sur les équipements (hall de gare ou d'aérogare par exemple), alors il est nécessaire de rechercher l'uniformité afin que l'ensemble des usagers reçoivent une vitesse d'air la plus uniforme possible quel que soit l'endroit où il se situe dans le local.

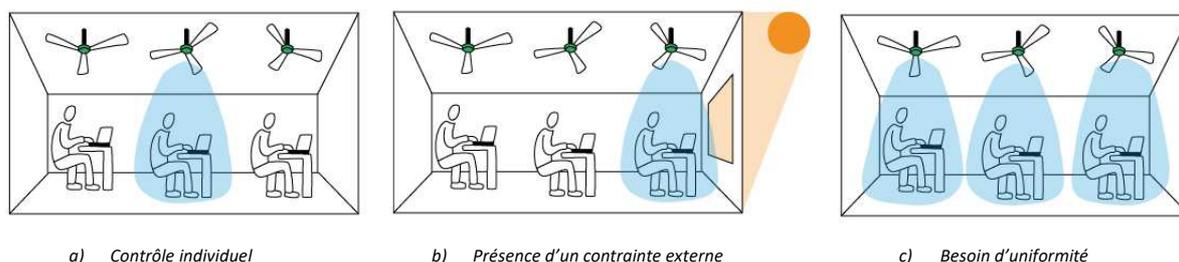


Figure 1 : Illustrations de configuration d'usages [Images BRASSE, inspirées du Ceiling Fan Design Guide, Paul Raftery and David Douglass-Jaimes, 2010]

Dans le cas de la recherche de l'uniformité, les règles présentées ci-après vous permettront d'obtenir une configuration optimale, c'est-à-dire une configuration pour laquelle la vitesse d'air sur l'ensemble de la pièce a été maximisée.

Dans le cas où il n'y a pas la recherche de l'uniformité, la conception consistera à choisir le brasseur permettant d'obtenir la vitesse d'air jugée pertinente (a priori maximale) à l'endroit souhaité. Pour cela, il sera nécessaire de se baser sur les critères de performance permettant de comparer l'impact d'un brasseur sur le confort présentés au paragraphe 4 de ce présent document.

¹ Attention : rechercher une vitesse d'air identique sur l'ensemble n'est pas possible en raison de la physique des phénomènes. Il est donc bien question ici de recherche de l'uniformité, c'est-à-dire une vitesse d'air la plus uniforme possible sur l'ensemble de l'espace.

3. Le calepinage BRASSE

3.1. Les règles à respecter

Afin d'avoir une conception optimale et l'uniformité du confort sur l'ensemble de l'espace, le calepinage du ou des brasseurs d'air doit répondre aux règles suivantes :

1. **Diamètre** : le diamètre du brasseur doit être le plus grand possible. Il s'agit du **premier paramètre d'aide à la décision** (critère de choix) : **Plus le brasseur sera grand, plus il sera efficace (confort thermique, acoustique et consommation énergétique).**
2. **Symétrie** : La configuration doit être la plus symétrique possible, c'est-à-dire que **le brasseur doit être positionné au centre de la pièce** (ou de chacune des cellules obtenues après découpage de la pièce, voir règle n°3).
3. **Découpage en plusieurs cellules** : Si nécessaire, et sous réserve d'avoir des dimensions suffisantes, la pièce peut être découpée en plusieurs cellules de mêmes dimensions ayant un **facteur de forme** (FF = longueur/largeur) inférieur à celui de la pièce d'origine et se rapprochant au maximum de 1 (cellule carrée pour encore plus de symétrie). Le facteur de forme sera donc un deuxième **paramètre d'aide à la décision** : **plus le facteur de forme de la pièce ou des cellules sera proche de 1, plus le champ de vitesses sera uniforme.**

Toutefois, il serait contre-productif de découper excessivement la pièce dans l'unique but de réduire le facteur de forme. En effet, cela conduirait à trop réduire la surface de cellule et, par la suite, le diamètre du brasseur, ce qui contreviendrait à la règle n°1.

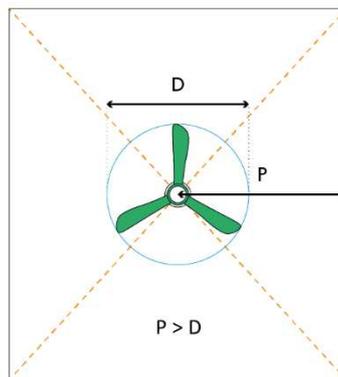
4. **Facteur de couverture de la cellule** : Le facteur de couverture de la cellule FCC est un paramètre permettant de **s'assurer que la taille du brasseur n'est ni trop petite ni trop grande par rapport à la taille de la cellule**. En effet, un brasseur trop grand pourrait être « étouffé » par la proximité des parois et, de surcroît, il empêcherait de positionner les autres éléments du plafond comme les systèmes d'éclairage, de sécurité incendie, etc. A l'opposé, un brasseur trop petit conduirait à des vitesses d'air trop faibles, voire imperceptibles, en dehors de la zone située directement sous le brasseur et limiterait ainsi très fortement son champ d'action. **Ce facteur doit donc être compris entre 0,2 et 0,4** et est donné par l'expression :

$$FCC = \frac{\text{Diamètre}}{\sqrt{\text{Surface de cellule}}}$$

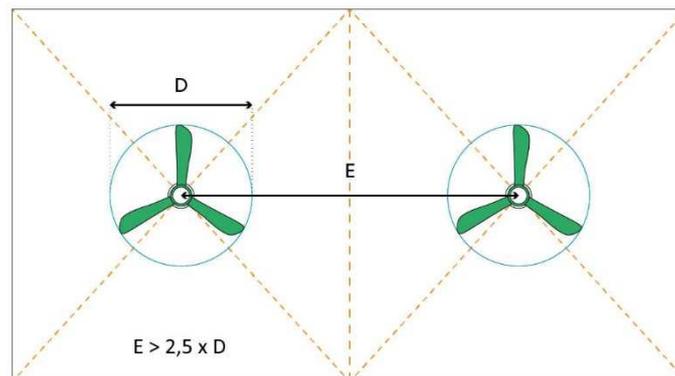
S'ajoutant au facteur de forme, il s'agit du troisième **paramètre d'aide à la décision** qui va cette fois permettre de maximiser la vitesse d'air moyenne dans la cellule : **plus le facteur de couverture de cellule sera proche de 0,4, plus la vitesse sera élevée.**

Un **facteur de couverture de cellule inférieur à 0,2** obligera le concepteur à **redécouper la pièce** avec un nombre de cellules plus important.

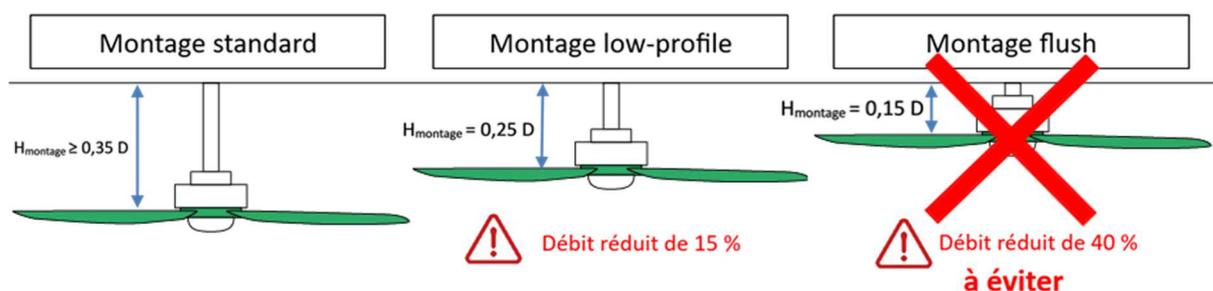
5. **Distance aux murs :** La distance entre le centre du brasseur et les murs doit être supérieure au diamètre du brasseur afin de permettre un écoulement optimum de l'air dans la pièce. Il s'agit du quatrième paramètre.



6. **Distance inter-brasseurs :** Dans le cas d'un découpage en plusieurs cellules, la présence de plusieurs brasseurs va générer des zones de courant d'air descendant turbulent entre les brasseurs. Afin de permettre un écoulement optimum dans ces zones, le cinquième paramètre qu'est la distance entre le centre de deux brasseurs adjacents doit être supérieure à 2,5 fois le diamètre du brasseur.



7. **Distance de montage** : La distance entre le plan de rotation des pales et le plafond est nommée distance de montage (notée $H_{montage}$). Celle-ci doit être **supérieure à 0,35 fois le diamètre pour permettre un écoulement d'air optimum**, on parlera alors de **montage standard**. Toutefois, la hauteur sous pales exigée et la hauteur sous plafond disponible ne permettant pas toujours de respecter une telle distance, il est possible de **réduire la distance de montage jusqu'à 0,25 fois le diamètre. Ceci a par conséquence de réduire la vitesse d'air de l'ordre de 15 %**. On parle alors de **montage « low-profile »**. Certains fabricants de brasseurs proposent également des solutions permettant de réduire la distance de montage à 0,15 fois le diamètre, on parle de montage « flush ». Ce type de montage réduit les performances du brasseur de plus de 40 % et doit être évité au maximum.

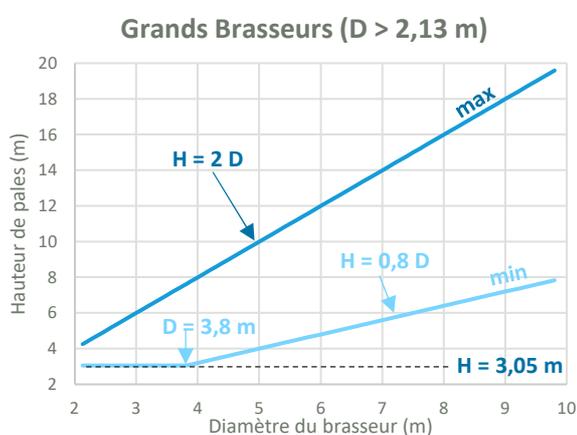
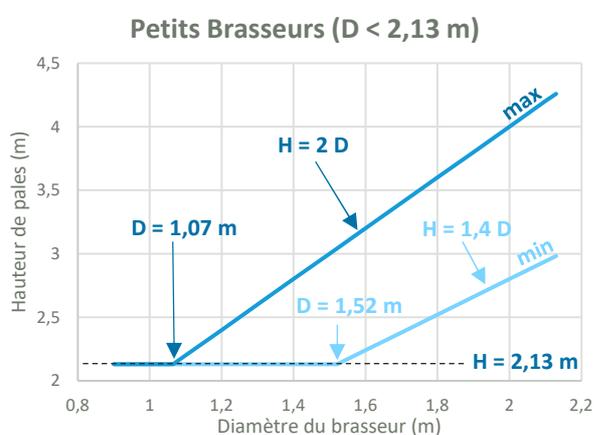


ATTENTION : Tout équipement doit mis en œuvre conformément aux dispositions prévues par le fabricant de l'équipement. Dans le cas où la distance de montage doit être différentes de celles par défaut prévue par le fabricant, il est nécessaire de se rapproche de ce dernier afin d'obtenir, si cela est disponible, une tige de taille différente permettant d'obtenir une distance de montage adaptée au besoin. En aucun cas, la tige peut être modifiée par un tiers.

8. **Hauteurs de pales :** Il est important de positionner le brasseur à une hauteur permettant son bon fonctionnement mais également à une hauteur sécurisante pour les usagers :

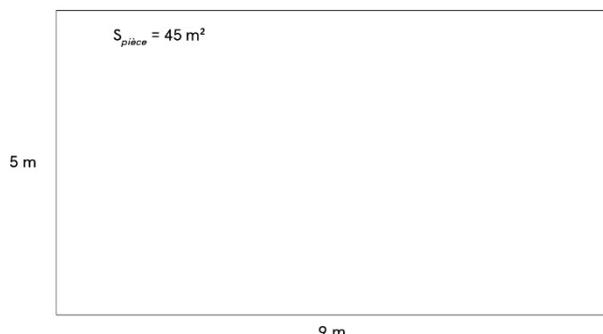
- Les **brasseurs de petites tailles ($D < 2,13$ m)** doivent être positionnés **au-dessus de 2,13 m** pour assurer la sécurité des usagers. Afin d'éviter la sensation de gêne et d'« écrasement » que procure des appareils de plus en plus grand, il est également recommandé de les positionner à une **hauteur supérieure à 1,4 fois le diamètre**. Par ailleurs, afin d'assurer une vitesse d'air optimale aux usagers, ils doivent être positionnés à une **hauteur inférieure à 2 fois le diamètre**.
- Les **brasseurs de grandes tailles ($D > 2,13$ m)** doivent être positionnés **au-dessus de 3,05 m** pour la sécurité des usagers. Par ailleurs, afin d'assurer un écoulement d'air optimum, ils doivent être placés à des **hauteurs comprises entre 0,8 et 2 fois le diamètre**.

Les courbes suivantes résument l'ensemble des conditions sur les hauteurs de pales :

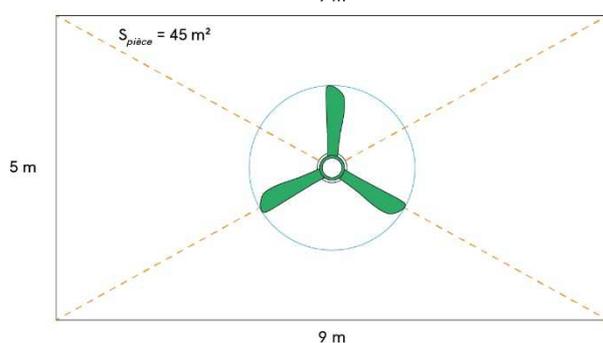


3.2. La procédure à suivre

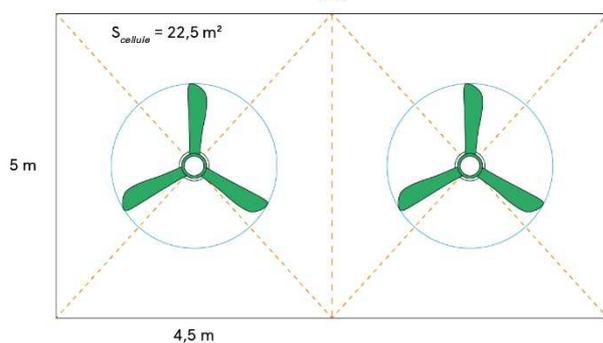
Afin d'illustrer la procédure à suivre pour tenir compte de l'ensemble de ces règles, prenons un exemple concret :



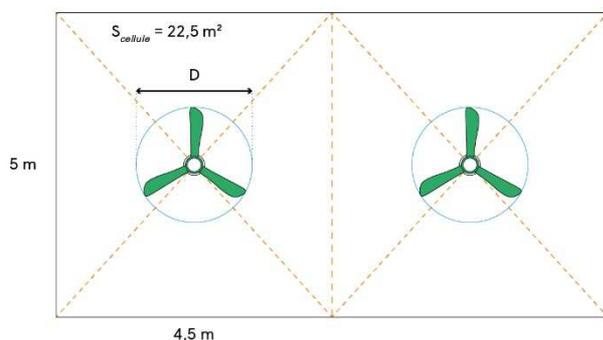
- Considérons une pièce de 5 mètres de largeur et 9 mètres de longueur, soit une surface de 45 m^2 .
Nous considérons dans un premier temps que la hauteur sous plafond (H_{sp}) n'est pas une contrainte.



- **La configuration doit être le plus symétrique possible (brasseur centré).**
Les règles de calepinage indiquent que la configuration doit être le plus symétrique possible. Nous prédisposons donc le brasseur au centre de cette pièce.



- **Pour valider un découpage en plusieurs cellules, le facteur de forme de la cellule FF doit diminuer pour se rapprocher de 1.**
Le facteur de forme initial de cette pièce vaut 1,8 ($=9/5$).
Il est donc nécessaire de diviser la pièce en au moins deux cellules égales. Dans ce cas de figure, une seule division suffit puisque le facteur de forme de chaque cellule vaudra 1.11 ($=5/4.5$) lorsqu'on divise la pièce en deux.

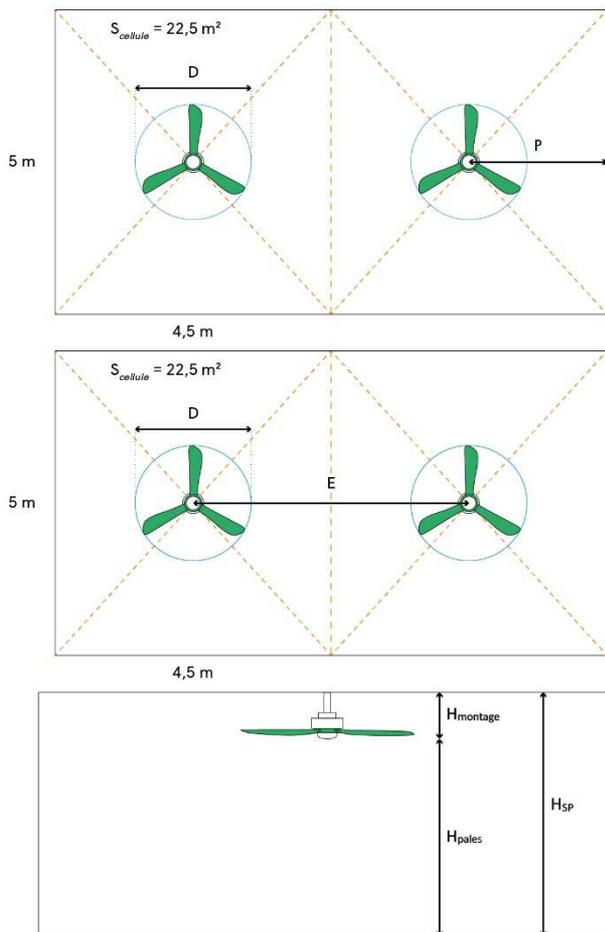


- **Le facteur de couverture de la cellule doit être compris en 0,2 et 0,4.**
Dans notre configuration, le diamètre doit par conséquent être compris entre :

$$0,2 \sqrt{5 \cdot 4,5} < D < 0,4 \sqrt{5 \cdot 4,5}$$

Nous cherchons à maximiser la taille du brasseur (règle n°1), nous retiendrons donc que selon ce critère :

$$D_{max} = 0,4 \sqrt{5 \cdot 4,5} = 1,90 \text{ m}$$



- La distance entre le centre du brasseur et les murs (noté P ci-contre) doit être supérieure à **1 fois le diamètre du brasseur**.
Ce critère est d'ores et déjà respecté puisque :

$$P = 2,25 \text{ m} > 1,90 \text{ m}$$

- La distance entre le centre de deux brasseurs adjacents (noté E ci-contre) doit être supérieure à **2,5 fois le diamètre du brasseur**.
Le diamètre maximum sera alors :

$$D_{max} = \frac{E}{2,5} = \frac{4,5}{2,5} = 1,80 \text{ m}$$

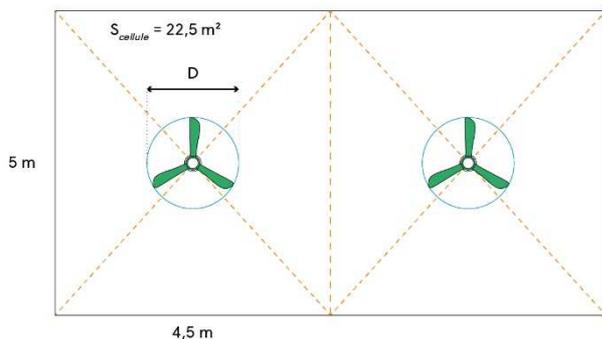
- La distance de montage (plafond-pales / noté $H_{montage}$ ci-contre) doit être supérieure à **0,35 fois le diamètre pour être dans le cas d'un montage standard**. Il est possible de la réduire jusqu'à **0,25 fois le diamètre en réduisant la vitesse d'air de l'ordre de 15 % dans un configuration dit de montage « low-profile »**.
Par conséquent :

$$H_{montage-low\ profile} = 0,25 \cdot 1,8 = 45 \text{ cm}$$

$$H_{montage-standard} > 0,35 \cdot 1,8 = 63 \text{ cm}$$

Les brasseurs choisis devront avoir une distance au plafond supérieure à 63 cm pour être en condition standard et jamais inférieure à 45 cm.

- Or, la hauteur des pales (noté H_{pales} ci-contre) doit être supérieure à **2,13 m ($D < 2,13 \text{ m}$) ou à 3 m ($D > 2,13 \text{ m}$)**.
Par conséquent, la hauteur sous plafond (notée H_{sp}) ne doit pas être inférieure à 2,58 m et doit être supérieur à 2,76 m dans le cas standard.



Si la hauteur sous plafond est insuffisante, il faudra réduire le diamètre du brasseur pour satisfaire ce critère. Par exemple, considérons maintenant une hauteur sous plafond de 2,50 m. Dans ce cas de figure, il faudra un diamètre maximum de :

$$D_{max} = \frac{HSP - 2,13}{0,25} = 1,48 \text{ m pour un montage low-profile}$$

$$D_{max} = \frac{HSP - 2,13}{0,35} = 1,06 \text{ m pour un montage standard}$$

Or le facteur de couverture de la cellule doit donc être compris entre 0,2 et 0,4. Ici :

$$FCC_{low\ profile} = 0,31$$

$$FCC_{standard} = 0,22$$

Dans la configuration standard, le FCC est correct mais faible. Il serait pertinent de tenter de l'augmenter pour être dans une situation plus favorable. Pour cela, il est nécessaire de prévoir un découpage en 4 cellules. Chaque cellule aura alors un facteur de forme de 1,8 et le diamètre maximal envisageable est de 92 cm.

En considérant, l'étude réalisée sur cette exemple et l'analyse multi critère des paramètres d'aide à la décision qui conduit à privilégier la solution de plus grand diamètre (règle n°1), le diamètre du brasseur doit donc, dans cet exemple, être proche mais inférieur à 1,48 m et ce malgré le montage low-profile que cela implique. En considérant l'offre du marché actuel, cela équivaut à rechercher un brasseur d'air de 142 cm avec une distance de montage minimale de 26 cm.

4. Et après ? Comment choisir un brasseur d'air performant ?

L'ensemble de ces règles permettent aux concepteurs de connaître le nombre de brasseurs à prévoir, leurs emplacements, leur diamètre maximal et la distance du montage à respecter pour optimiser son installation.

A partir des données géométriques obtenues, et liées au brasseur, le choix de l'équipement doit être réalisé. Pour cela, il est nécessaire de se baser sur des critères fiables. La présente partie décrit les indicateurs permettant de comparer de manière fiable l'impact sur le confort de plusieurs brasseurs.

Trois paramètres permettent de caractériser la performance des brasseurs d'air au sens de l'impact sur le confort des usagers :

- **L'effet de rafraîchissement** du brasseur dans les conditions standards, $CE_{standard}$, est déterminé par un essai en laboratoire suivant le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour et en utilisant les conditions suivantes :
 - Température de l'air = 28 °C,
 - Humidité Relative = 60 %,
 - Métabolisme d'activité = 1,1 met (pour la posture assise) et 1,4 met (pour la posture debout)
 - Vêtue = 0,5 clo
 - Température moyenne radiative = 28°C

Il est calculé en utilisant la vitesse moyenne en zone d'influence par entraînement, obtenus à la vitesse de rotation maximale.

- **L'efficacité d'un brasseur**, $CFE_{standard}$ est calculée comme le rapport entre l'effet rafraîchissant standard et la puissance absorbée par le brasseur, P_f :

$$CFE = \frac{CE_{standard}}{P_f}$$

La puissance absorbée est déterminée suivant le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour à la vitesse de rotation maximale.

- **La puissance acoustique**, L_{WA} , [en dB(A)] permet de comparer le niveau sonore de plusieurs sources sonores indépendamment des conditions de mesures. La puissance acoustique est déterminée suivant le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour à la vitesse de rotation maximale.

Afin d'évaluer l'impact sur le confort des brasseurs d'air des indicateurs supplémentaires sont nécessaires : **les vitesses d'air pour différentes postures et dans les différentes zones d'influence et le niveau de pression acoustique**. Ces indicateurs sont également obtenus par le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour.

Pour plus d'information sur ces indicateurs, le lecteur peut se référer aux rapports nommés 'Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Indicateurs de performance des brasseurs - Projet BRASSE' de LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M. (2023) et 'Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers, projet BRASSE' de OSSAKOWSKY P. (2023).