

# Lindab Théorie de l'air

Solutions aéroportées



# Théorie

## Sommaire

**Page**

### Systemes de distribution d'air

3

Ventilation par mélange d'air

3

Ventilation par déplacement

3

Soufflage basse vitesse

4

Choix du système de distribution d'air

4

### Ventilation par mélange

6

Abréviations

6

Pertes de charge

6

Niveaux acoustiques

6

Soufflage isotherme

6

Effet Coanda

7

Vitesse du jet d'air

7

Soufflage non isotherme

8

Détermination d'une ventilation par mélange d'air

8

### Ventilation par déplacement

12

Abréviations

12

Profil vertical des températures

12

Efficacité thermique

12

Pertes de charge

12

Niveaux acoustiques

12

Zone d'influence

13

Détermination d'une ventilation par déplacement

13

### Détermination des niveaux acoustiques

16

Abréviations

16

Détermination des niveaux acoustiques

16

# Systemes de distribution d'air Théorie

## Ventilation par mélange

En ventilation par mélange, l'air est introduit avec une vitesse relativement importante en-dehors de la zone d'occupation, en général par le plafond ou les murs. La vitesse élevée de l'air soufflé implique qu'un volume important de l'air du local est également mis en mouvement. La vitesse de l'air soufflé doit être suffisamment élevée pour assurer un mélange efficace tout en étant suffisamment réduite lorsqu'elle atteindra la zone d'occupation. Ceci nécessite des sélections appropriées aux caractéristiques spécifiques des diffuseurs en termes de vitesse et de capacité de mélange.

Une augmentation de la vitesse de soufflage élève le niveau sonore. Les contraintes de niveau sonore limitent ainsi l'efficacité des diffuseurs. La température et le niveau de pollution sont globalement les mêmes dans tout le local, que l'air soufflé soit froid ou isotherme.

La ventilation par mélange est très peu affectée par les influences extérieures et peut être utilisée à la fois pour le chauffage et le rafraîchissement.

## Soufflage d'air chaud

L'air chaud est plus léger que l'air du local, et il faut de ce fait beaucoup d'énergie pour le diriger jusqu'à la zone d'occupation. Ceci implique que la vitesse de soufflage vers le bas augmente avec la hauteur du plafond et la température de soufflage. Lorsque la hauteur du local est importante, il est souvent nécessaire de souffler verticalement vers le bas.

## Soufflage d'air froid

L'air froid soufflé du plafond, plus lourd que l'air ambiant, peut conduire à des vitesses excessives dans la zone d'occupation lorsque les charges thermiques sont importantes. Les profils de soufflage des diffuseurs (normalement horizontaux) et les mouvements de convection causés par les sources de chaleur (individus, éclairage, machines), entraînent des courants d'air dans la zone d'occupation qui dépendent, non seulement de la vitesse de l'air soufflé, mais également de la charge thermique par unité de surface ( $W/m^2$ ), du débit par diffuseur, et du profil de soufflage.

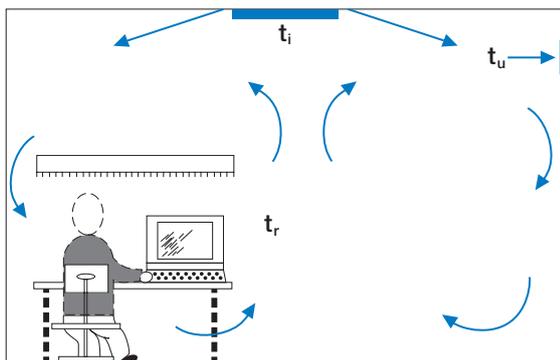
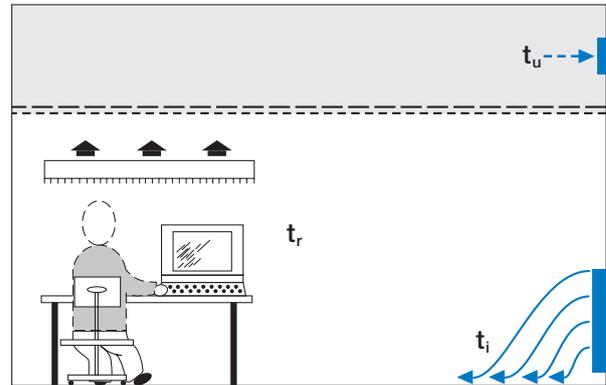


Fig. 1, Illustration d'une ventilation par mélange.

Le soufflage d'air chaud et froid par le même diffuseur plafonnier ne peut normalement pas satisfaire aux exigences en termes de gradient de température, efficacité de la ventilation, et vitesse dans la zone d'occupation en même temps.



Ce problème peut être résolu par des diffuseurs motorisés, capables de modifier les profils de soufflage. Une alternative est de dimensionner les diffuseurs pour le soufflage d'air froid et ajouter des buses verticales pour le soufflage d'air chaud.

## Ventilation par déplacement

Dans la ventilation par déplacement, ce sont les forces thermiques des sources de chaleur du local qui influencent la distribution d'air. L'air froid est insufflé directement dans la zone d'occupation au niveau du sol à faible vitesse, sur lequel il se répand et pousse l'air chaud vicié vers le plafond par effet de convection des sources de chaleur. Les terminaux d'extraction doivent être placés au plafond où se forme la couche d'air chaud vicié.

L'efficacité de la ventilation par déplacement est supérieure à la ventilation par mélange en raison de cet effet de stratification de l'air. La différence augmente avec la hauteur sous plafond.

Cette meilleure efficacité thermique permet d'économiser de l'énergie ou de mieux utiliser la capacité de rafraîchissement de l'air extérieur puisque l'air extrait est plus chaud et permet donc de retirer plus de charge dans le local. Dans des conditions normales, la ventilation par déplacement n'est pas adaptée au chauffage.

La zone d'influence du terminal dépend en premier lieu du débit d'air soufflé, de sa température, et de la position du terminal. A l'intérieur de la zone de soufflage recommandée, la dimension du terminal n'a pas d'effet sur la zone d'influence. La géométrie de la zone d'influence peut toutefois être modifiée pour répondre aux contraintes spécifiques par le simple réglage des buses.

# Systemes de distribution d'air Théorie

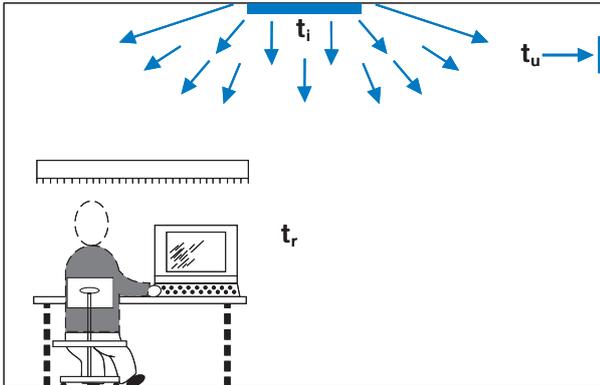


Fig. 3, Illustration du soufflage basse vitesse.

## Soufflage basse vitesse

Dans le cas d'un soufflage basse vitesse, l'air froid soufflé au plafond à faible vitesse pousse l'air vicié.

Les meilleurs résultats sont obtenus en soufflant l'air de manière répartie sur tout le plafond.

Ce système ne peut être utilisé pour le chauffage.

## Choix du système de distribution d'air

Les différents systèmes possèdent chacun leurs avantages et leurs inconvénients qui doivent être étudiés avec soin avant d'adopter une solution.

Tous les systèmes ont toutefois un point en commun: plus il y a de terminaux et mieux ces terminaux sont répartis dans le local, meilleur sera le niveau de confort thermique et atmosphérique. Les avantages et inconvénients des différents systèmes sont résumés ci-dessous.

### Ventilation par mélange

- + Adaptée au chauffage et au rafraîchissement.
- + Forte induction permettant un écart de température plus important en rafraîchissement.
- + Homogénéité globale des températures et de la qualité de l'air dans tout le local.
- + Profil de soufflage régulier.
- + Flexibilité en termes de position des diffuseurs.
- + Pas de réduction de la zone utile (zone d'influence).
- Risque de courts-circuits/faible efficacité de la ventilation (particulièrement en chauffage).
- Plus de puissance requise en rafraîchissement.
- Risque de courants d'air froid en cas de charges importantes.

### Ventilation par déplacement

- + Haute efficacité thermique et de ventilation.
- + Haute qualité d'air dans la zone d'occupation.
- + Faible vitesse dans la zone d'occupation, mais pas dans la zone d'influence.
- + Adaptée au rafraîchissement des locaux de grande hauteur.
- Moins de liberté en termes d'aménagement, la zone d'occupation est réduite du fait de la zone d'influence des diffuseurs.
- Faible induction.
- Gradient de température vertical élevé.
- Chauffage impossible.

### Basse vitesse

- + Pas de réduction de la zone utile.
- + Adaptée aux forts renouvellements d'air avec des températures de rafraîchissement modérées.
- + Haute efficacité locale.
- Faible induction.
- Chauffage impossible.
- Risque de courts-circuits si l'extraction est au plafond.

# Détermination des niveaux acoustiques

# Théorie

## Choix du système de distribution d'air

	Mélange							Déplacement			Basse vitesse	
	Buses	Grilles	Diffuseurs muraux	Diffuseurs plafonniers une fente	Diffuseurs perforés	Diffuseurs à cône	Diffuseurs à soufflage hélicoïdal	Diffuseurs à fentes	Diffuseurs muraux	Diffuseurs de sol		Soufflage sous les sièges
Bureau Chauffage + rafraîchissement 0-30 W/m <sup>2</sup> 30-60 W/m <sup>2</sup> >60 W/m <sup>2</sup>			••	•••	•••	•••	•••	•	•••			
Salles de conférence Cinémas Amphithéâtres Restaurants Établissements scolaires Salles de spectacle				•	••	••	••		•••	•••	•••	
Magasins Supermarchés	•	•	••	••	•••	•••	•••	•				
Gymnases Piscines	•••	••				••			•			
Cuisines industrielles Laboratoires				•	••	••	••		••			•••
"Salles propres" Maisons Établissements publics		••	••	•	••	••	•••	••	••			

• Utilisation possible      •• Utilisation adaptée      ••• Utilisation idéale

## Choix du système de distribution d'air en milieu industriel

Besoin en ventilation	Besoin en chauffage	Besoin en rafraîchissement	Ventilation par mélange	Ventilation par déplacement	Basse vitesse
❄	❄	❄	X		
❄	❄	❄	X		
❄	❄	❄	X		
❄	❄	❄		X	X
❄	❄	❄	X		X
❄	❄	❄	X		
❄	❄	❄		X	X

❄ Besoins faibles      ❄ Besoins élevés

# Mélanger al ventilation

# Théorie

## Ventilation par mélange

Un terminal de distribution d'air doit fournir un certain débit afin d'assurer une ventilation adaptée. En même temps, des contraintes acoustiques, de vitesse d'air et de gradient de température dans la zone d'occupation doivent être respectées. Dans ce but, certaines règles doivent être appliquées. Les plus importantes sont données ci-dessous. Lors de la sélection d'un diffuseur, les valeurs telles que la perte de charge, le niveau sonore et la portée doivent être prises en considération. Ces caractéristiques sont données individuellement pour chaque produit.

Les performances et les méthodes de sélection données dans le fiches produit Lindab sont le résultat de mesures conduites dans les laboratoires Lindab avec les instruments de précision les plus modernes. Dans la pratique, les conditions sont rarement aussi idéales qu'en laboratoire du fait que les conditions environnementales, le mobilier, la position des terminaux de diffusion, etc. ont beaucoup d'influence sur la distribution de l'air dans le local. Lindab propose de réaliser des tests grandeur réelle lors de l'étude de projets complexes.

## Abréviations

A	Absorption totale du local	[m <sup>2</sup> ]
b <sub>h</sub>	Dispersion horizontale maximum à une vitesse finale 0,2 m/s	[m]
b <sub>v</sub>	Dispersion verticale maximum à une vitesse finale 0,2 m/s	[m]
F	Section libre (q/v <sub>0</sub> , v <sub>0</sub> est mesuré)	[m <sup>2</sup> ]
K <sub>ok</sub>	Valeur de correction du niveau de puissance acoustique par bande octave	[dB]
l <sub>0,2</sub>	Portée d'air pour une vitesse terminale de 0,2 m/s	[m]
l <sub>0,0</sub>	Point de retour pour soufflage vertical	[m]
l <sub>b</sub>	Distance du diffuseur au point de dispersion maximum	[m]
L <sub>A</sub>	Niveau de pression acoustique pondéré A	[dB(A)]
L <sub>WA</sub>	Niveau de puissance acoustique pondéré A	[dB(A)]
L <sub>Wok</sub>	Niveau de puissance acoustique par bande d'octave	[dB]
L <sub>p</sub>	Niveau de pression acoustique	[dB]
L <sub>W</sub>	Niveau de puissance acoustique	[dB]
ΔL	Atténuation acoustique	[dB]
D	Atténuation du local	[dB]
Δp <sub>t</sub>	Perte de charge totale	[Pa]
q	Débit d'air	[m <sup>3</sup> /h], [l/s]
Δt	Différence entre température de soufflage et température ambiante	[K]
v <sub>0</sub>	Vitesse de soufflage	[m/s]
v <sub>x</sub>	Vitesse de l'air à une distance 'x' du centre du diffuseur	[m/s]
v <sub>term</sub>	Vitesse thermique maximum en zone d'occupation	[m/s]

## Perte de charge

La courbe indique la perte de charge totale du diffuseur (ρ = 1,2 kg/m<sup>3</sup>), c'est à dire la somme des pressions statique et dynamique (avec plénum éventuel), raccordé à un conduit aérodynamique droit de 1 m de même dimension que le diffuseur.

## Niveau sonore

Les courbes indiquent le niveau de puissance acoustique pondéré A L<sub>WA</sub> émis par le diffuseur et éventuellement un plénum, raccordé à un conduit aérodynamique droit de 1 m de longueur et de même dimension que le diffuseur.

Le niveau de pression acoustique est la mesure de la puissance sonore, c'est-à-dire des vibrations perçues, alors que le niveau de puissance acoustique est un paramètre qui caractérise la source du bruit. Les deux sont donnés en dB (décibels), ce qui peut provoquer une certaine confusion.

### Pression acoustique (L<sub>p</sub>)

Mesure de l'intensité sonore, caractérisée par les vibrations perçues par l'oreille ou mesurées à l'aide d'un microphone et d'un sonomètre. La pression acoustique est mesurée en Pascal (Pa) et est généralement donnée sous la désignation de niveau de pression acoustique en décibels (dB) ou dB(A).

### Puissance acoustique (L<sub>W</sub>)

Puissance émise par une source (ex: machine) sous forme sonore. L'effet sonore est mesuré en Watt (W) et est généralement indiquée sous la désignation de niveau de puissance acoustique en décibels (dB) ou dB(A).

Dans le fiches produit, les caractéristiques acoustiques des diffuseurs sont données en niveau de puissance acoustique.

$$\text{Niveau de puissance acoustique: } L_W = 10 \times \log \frac{N}{N_{re}} \text{ [dB]}$$

Où N est la puissance acoustique [W], transmise sous forme d'ondes, et N<sub>re</sub> = 10<sup>-12</sup> W, est la puissance acoustique de référence.

$$\text{Niveau de pression acoustique: } L_p = 20 \times \log \frac{P}{P_{re}} \text{ [dB]}$$

Où P est la pression acoustique [N/m<sup>2</sup>] et p<sub>re</sub> = 2 × 10<sup>-5</sup> N/m<sup>2</sup> la pression acoustique de référence.

L'atténuation du local D [dB] est la différence entre le niveau de puissance acoustique et le niveau de pression acoustique.

$$L_p = L_W - D$$

Le niveau de puissance acoustique pondéré A, L<sub>WA</sub>, est déterminé par bande d'octave suivant.

$$L_{Wok} = L_{WA} + K_{ok}$$

K<sub>ok</sub> est une valeur de correction. K<sub>ok</sub> est donnée sous forme de tableau pour chaque terminal.

## Atténuation acoustique

Indiquée pour chaque terminal, elle fait référence à la diminution du niveau de puissance acoustique entre le conduit et le local (en incluant la réverbération finale).

## Soufflage d'air isotherme

Toutes les caractéristiques techniques font référence à des conditions isothermes.

## Portée d'air

La portée d'air l<sub>0,2</sub> est définie comme la distance maximum entre le centre du terminal et le point de vitesse d'air de 0,2 m/s.

Les valeurs données pour la portée l<sub>0,2</sub> correspondent à des diffuseurs plafonniers. (Fig. 4)

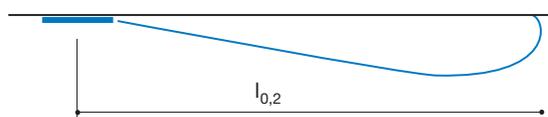


Fig. 4, Portée l<sub>0,2</sub> de diffuseurs plafonniers.

# Mélanger et ventilation

# Théorie

Le montage suspendu, c'est-à-dire diffuseurs installés à plus de 300 mm sous le plafond (Figure 5), réduit la portée de 20%,  $l_{0,2} \text{ suspendu} = 0,8 \times l_{0,2}$ .

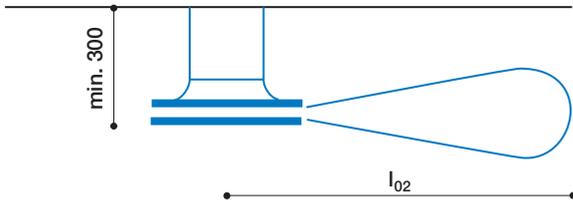


Fig. 5, Diffuseur suspendu.

Dans le cas des grilles,  $l_{0,2}$  concerne un montage à plus de 800 mm du plafond. (Figure 6).

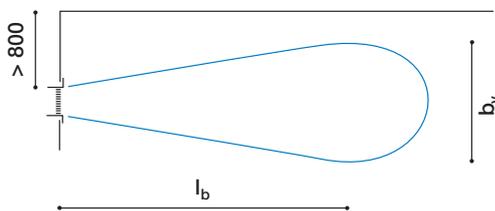


Fig. 6, Portée des grilles installées à plus de 800 mm du plafond.

Dans le cas d'une grille installée à moins de 300 mm du plafond, (Figure 7), la portée  $l_{0,2}$  est augmentée de 40%.  $l_{0,2} \text{ grille au plafond} = 1,4 \times l_{0,2}$ .

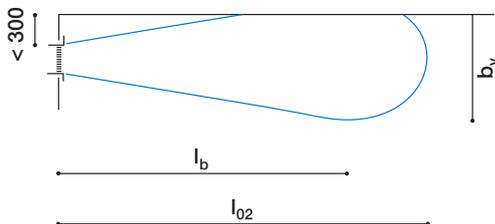


Fig. 7, Portée d'une grille installée à moins de 300 mm du plafond.

## Dispersion

La dispersion verticale maximum  $b_v$  indique la distance verticale maximum entre le plafond et la vitesse terminale de 0,2 m/s (Figure 8).

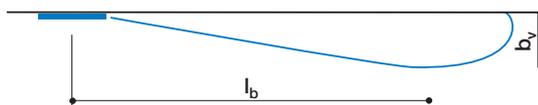


Fig. 8, Dispersion verticale.

La dispersion horizontale  $b_h$  indique la distance horizontale maximum du jet d'air pour une vitesse terminale de 0,2 m/s (Figure 9). La distance entre le terminal et le point auquel le jet est le plus profond est  $l_b$ .  $b_v$ ,  $b_h$  et  $l_b$  sont indiqués pour chaque terminal en fonction de la portée  $l_{0,2}$ .

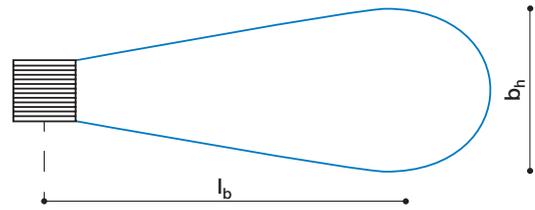


Fig. 9, Dispersion horizontale.

## Effet Coanda

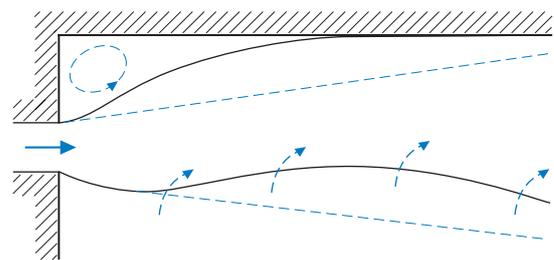


Fig. 10, Flux d'air avec effet Coanda.

Lorsque l'air est soufflé parallèlement à une surface (ex: le plafond) une pression négative se produit entre le jet d'air et le plafond, ce qui "colle" le jet au plafond (connu sous le nom d'effet Coanda). (Figure 10). Cet effet est d'une grande importance, en particulier pour le soufflage d'air froid.

Afin d'obtenir le meilleur effet Coanda, chaque terminal doit être alimenté avec de faibles débits d'air, la plus large dispersion possible et la vitesse la plus élevée possible. La meilleure méthode est de toujours souffler l'air sur 360° par un diffuseur sans obturation. En particulier les diffuseurs linéaires (LTD) sont divisés en sections actives et inactives pour éviter les chutes d'air.

## Vitesse dans le jet

La vitesse du jet d'air peut être déterminée dans une moindre mesure à l'aide de la formule:

$$v_x = \frac{l_{0,2} \times 0,2}{x} \Leftrightarrow x = \frac{l_{0,2} \times 0,2}{v_x}$$

Où  $x$  est la distance en mètres entre le terminal et le point à l'intérieur du jet où la vitesse de l'air est  $v_x$  m/s.

### Exemple

Un diffuseur à une portée de  $l_{0,2} = 3$  m. La distance à laquelle la vitesse est de 0,3 m/s est:

$$x = \frac{3 \text{ m} \times 0,2 \text{ m/s}}{0,3 \text{ m/s}} = 2 \text{ m}$$

# Mélanger al ventilation

# Théorie

## Soufflage d'air non isotherme

Les valeurs dans les fiches produit sont indiquées pour le soufflage d'air isotherme.

Dans le cas de soufflage d'air froid ou chaud, le jet d'air est forcé vers le bas (air froid) ou vers le haut (air chaud). La caractérisation du jet impliquerait la détermination du rapport de la différence de températures et de la vitesse de l'air soufflé (théorie du jet d'air exprimée par le nombre d'Archimède). En cas de besoin de calculs détaillés des vitesses et de visualisation des jets d'air des diffuseurs, voir le programme [Indoor Climate Designer](#).

La règle générale ci-dessous pour les soufflages horizontaux et verticaux d'air froid et chaud peut cependant être utilisée pour corriger la portée de manière simple.

### Soufflage horizontal au plafond

1. Lorsque l'air froid est soufflé horizontalement, la portée est réduite de 1,5% par degré (Figure 11), alors que la dispersion verticale  $b_v$  est augmentée.
2. Lorsque de l'air chaud est soufflé horizontalement, la portée est augmentée de 2% par degré (Figure 11).

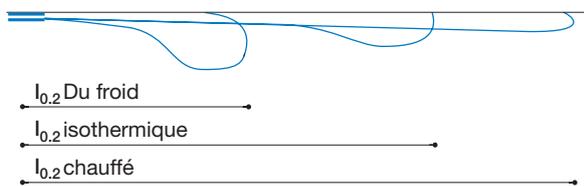


Fig. 11, Portée  $I_{0,2}$  de diffuseurs plafonniers.

### Soufflage vertical au plafond

Les portées des soufflages verticaux sont données en conditions isothermes.

1. Lorsque l'air soufflé est froid, la portée est augmentée. Elle est doublée pour  $\Delta t = -10^\circ\text{C}$ .
2. Lorsque l'air soufflé est chaud, la portée est réduite. Elle est diminuée de moitié pour  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ .

Pour les produits pouvant être utilisés en soufflage vertical, il y a des diagrammes de point de retour  $I_{0,0}$  pour l'air chaud ( $\Delta t = +5\text{K}$ ,  $+10\text{K}$ , et éventuellement pour  $+15\text{K}$ ) en supplément des autres caractéristiques produit.

## Dimensionner une ventilation par mélange

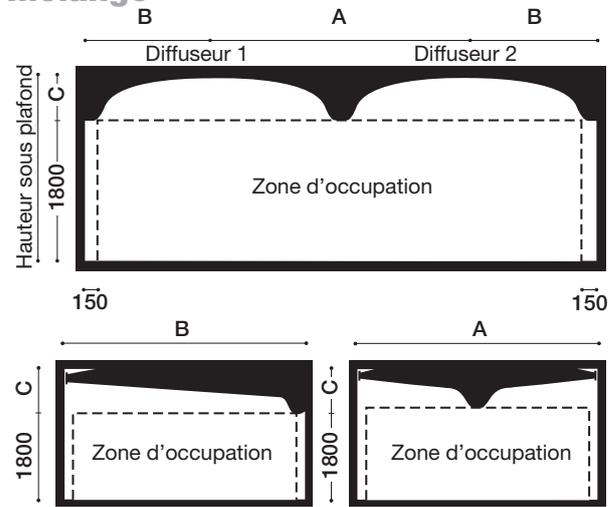


Fig. 12, détermination d'une ventilation par mélange.

Dans le but d'éviter des vitesses supérieures à 0,2 m/s dans la zone d'occupation, les diffuseurs doivent être dimensionnés de manière à obtenir de bons rapports de portée  $I_{0,2}$  sur les distances A, B, et C (Figure 12). En cas de diffuseurs placés en opposition, utiliser la formule suivante.

$$0,75 \times \left(\frac{A}{2} + C\right) \leq I_{0,2} \leq \left(\frac{A}{2}\right) + C$$

Dans le cas d'un diffuseur soufflant vers un mur, utiliser la formule.

$$0,75 \times (B + C) \leq I_{0,2} \leq B + C$$

Dans le cas de deux diffuseurs ou plus, soufflant en parallèle (1 ou 2 direction(s)), et espacés d'une distance A inférieure à  $b_h$ , la portée augmente selon la formule :

$I_{0,2}$  (corrigée) =  $K \times I_{0,2}$   
où K est le facteur de correction à déterminer sur la Figure 13.

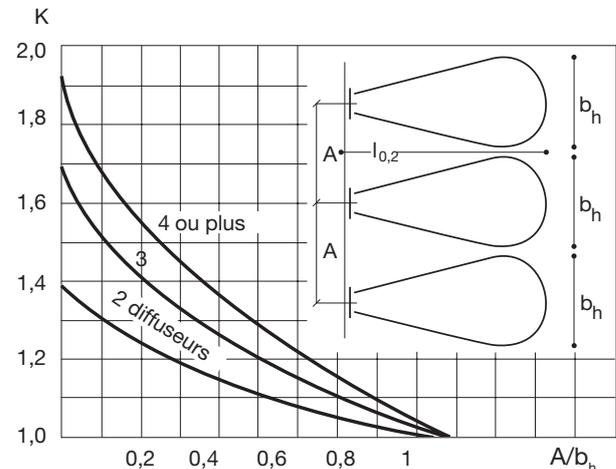


Fig. 13, détermination d'une ventilation par mélange.

# Mélanger al ventilation

# Théorie

Dans le cas de buses et de diffuseurs suspendus à soufflage 1 direction, l'effet ascendant ou descendant de jet d'air dû à l'air chaud ou froid peut être déterminé sur la Figure 14.

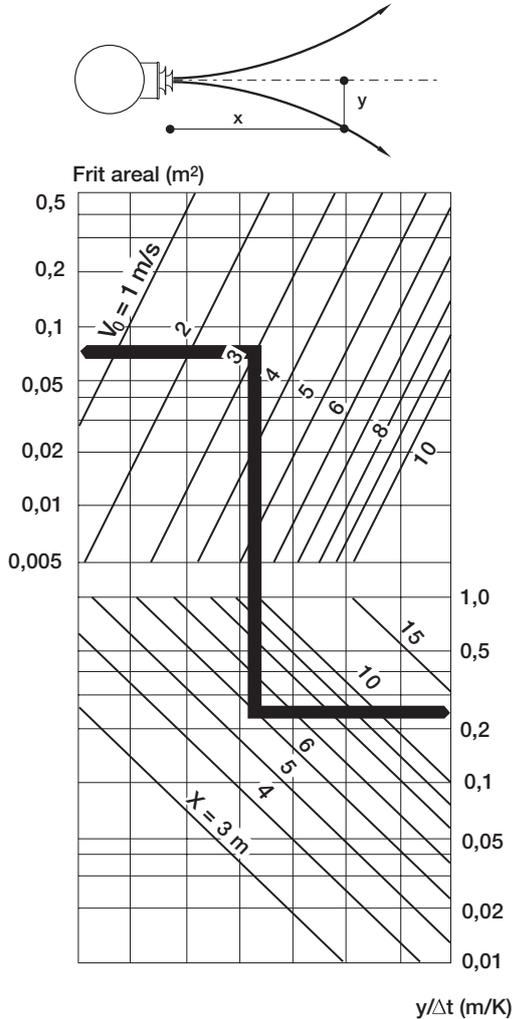


Fig. 14, détermination d'une ventilation par mélange.

### Exemple

Une buse a une surface libre de 0,075 m<sup>2</sup>.

Pour un débit d'air de 756 m<sup>3</sup>/h.

la vitesse de soufflage est de  $v_0 = 3 \text{ m/s}$  ( $v_0 = q / A_0$ ).

La Figure 14 montre une droite entre  $A_0 = 0,075 \text{ m}^2$  et  $v_0 = 3 \text{ m/s}$ .

En suivant la droite verticale jusqu'à  $x = 6 \text{ m}$ , puis l'horizontale vers la droite, le rapport  $y$  (effet ascendant/descendant) sur  $\Delta t$  (différence de température air soufflé/air du local), est de 0,24.

Pour un écart de températures de 10 K, un effet ascendant/descendant de  $y = 0,24 \text{ m/K} \times 10 \text{ K} = 2,4 \text{ m}$  se produit à une distance de 6 m de la buse.

Pour éviter que le jet d'air ne soit perturbé par des obstacles, les distances minimum de la Figure 15 doivent être respectées.

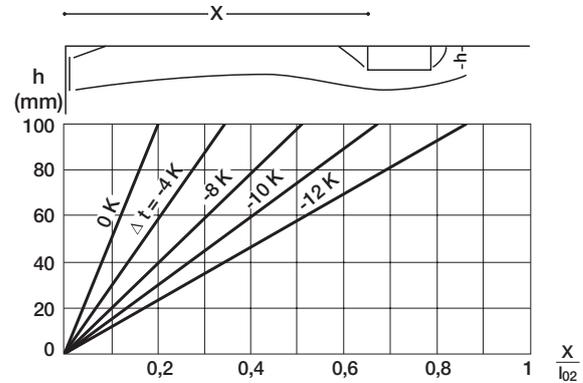


Fig. 15, Portée  $l_{0,2}$  des diffuseurs.

# Mélanger al ventilation

# Théorie

Les sources de chaleur dans le local créent des courants ascendants, et de la même manière des courants froids descendants sont créés par l'air soufflé.

La vitesse maximum  $v_{term}$  dans la zone d'occupation due à ces flux thermiques est indiquée dans la *figure 16*. Ces flux sont fonction des charges thermiques du local ( $W/m^2$ ) et de la distribution de l'air (nombre de diffuseurs et profils de soufflage), mais indépendants de l'impulsion de l'air de soufflage. La vitesse est également fonction

de la hauteur sous plafond.

La détermination de la vitesse maximum dans la zone d'occupation s'effectue grâce à un modèle empirique basé sur la charge thermique ( $W/m^2$ ), le nombre de diffuseurs ( $W/diffuseur$ ) et leur profil de diffusion (1,2,3,4 direction(s)), pour une hauteur sous plafond de 2,5 m. En cas de doute ou de conditions spéciales concernant un projet, Lindab propose d'effectuer un test grandeur réelle, souvent très bénéfique dans le cas d'installations sensibles et complexes.

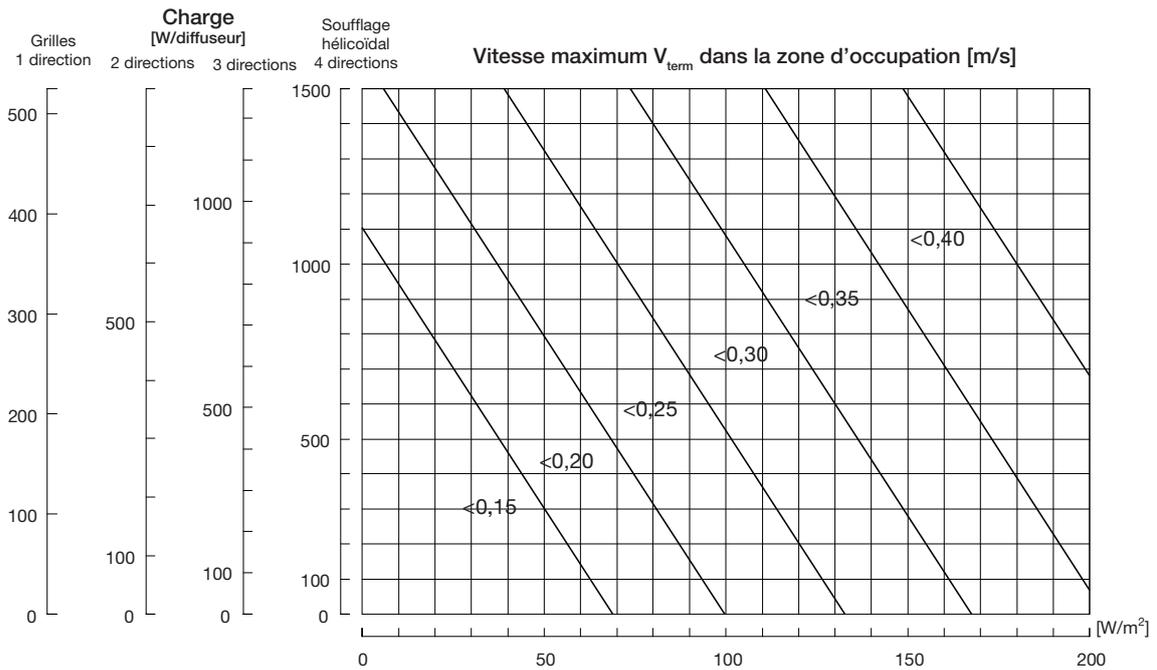


Fig. 16 a, Vitesse thermique maximum dans la zone d'occupation. Courbes d'estimation pour une hauteur sous-plafond de 2,5 m.

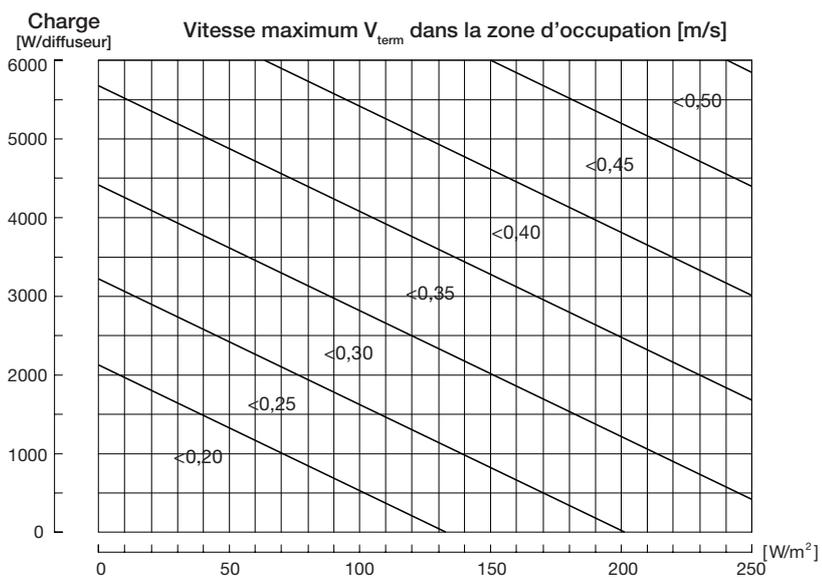


Fig. 16 b, Vitesse thermique maximum dans la zone d'occupation. Courbes d'estimation pour une hauteur sous-plafond > 4 m.

# Mélanger al ventilation

# Théorie

## Exemple de calcul

Local : L × B × H = 10 m × 6 m × 4 m

### Charge thermique

10 pers., activité assise (10 × 130 W) = 1300 W (22 W/m<sup>2</sup>)

10 éclairages de table de 60 W (10 × 60 W) = 600 W (10 W/m<sup>2</sup>)

10 appareils de 100 W (10 × 100 W) = 1000 W (17 W/m<sup>2</sup>)

Total	2900 W (48 W/
m <sup>2</sup> )	

Pour obtenir une qualité d'air satisfaisante dans le local, les calculs habituels considèrent 4-10 l/s d'air par personne + 0,4 l/s par m<sup>2</sup> de surface au sol. En considérant 10 l/s, le débit d'air nécessaire suivant peut être calculé.

$q_{\min} = 10 \text{ personnes} \times 10 \text{ l/s par person} + 60 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ l/s par. m}^2 = 124 \text{ l/s}$

Pour que la ventilation soit en mesure de compenser la charge thermique du local il est nécessaire d'avoir une différence de température  $\Delta t$  entre l'air soufflé et l'air ambiant/air extrait.  $\Delta t$  sera déterminé de la manière suivante:

$$\Delta t = \frac{2900 \text{ W}}{\frac{124 \text{ l/s}}{1000 \text{ l/m}^3} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} = 19,4 \text{ K}$$

Un  $\Delta t$  de presque 20 K étant très susceptible de provoquer un inconfort thermique dû à la chute d'air depuis le diffuseur plafonnier, il est recommandé d'augmenter le débit et de réduire le  $\Delta t$  entre l'air soufflé et l'air ambiant. En considérant  $\Delta t = 6 \text{ K}$  le débit d'air peut être calculé.

$$q = \frac{2900 \text{ W}}{6 \text{ K} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} \times 1000 \text{ l/m}^3 = 400 \text{ l/s}$$

# Ventilation par déplacement Théorie

## Ventilation par déplacement

Un terminal à déplacement doit apporter une certaine quantité d'air pour ventiler correctement le local, tout en respectant les contraintes acoustiques, de vitesse d'air et de gradient de température dans la zone d'occupation. Dans ce but, il existe des règles dont les plus importantes sont données ci-dessous. Pour le choix d'un terminal, les contraintes de perte de charge, niveau acoustique et portée doivent être clairement précisées. Ces données sont disponibles pour chaque produit. Les performances indiquées dans les fiches produit sont le résultat de mesures effectuées dans les laboratoires Lindab et conduites avec les instruments de mesure les plus modernes et précis. Dans la pratique, les conditions sont rarement aussi idéales qu'en laboratoire du fait que les conditions environnementales, le mobilier, la position des terminaux de diffusion etc. ont beaucoup d'influence sur la distribution de l'air dans le local. Lindab tente de se rapprocher au maximum des conditions réelles en conduisant des tests en grandeur réelle, souvent très révélateurs dans le cas de systèmes importants et de conditions délicates.

## Abréviations

$a_{0,2}$	Largeur de la zone d'influence	[m]
$b_{0,2}$	Longueur de la zone d'influence	[m]
$\epsilon_t$	Efficacité thermique	[-]
$K_{ok}$	Valeur de correction du niveau de puissance acoustique par bande d'octave	[dB]
$L_A$	Niveau de pression acoustique pondéré A	[dB(A)]
$L_{WA}$	Niveau de puissance acoustique pondéré A	[dB(A)]
$L_{Wok}$	Niveau de puissance acoustique par bande d'octave	[dB]
$L_p$	Niveau de pression acoustique	[dB]
$L_w$	Niveau de puissance acoustique	[dB]
$\Delta L$	Atténuation acoustique	[dB]
$D$	Atténuation du local	[dB]
$\Delta p_t$	Perte de charge totale	[Pa]
$q$	Débit d'air	[m <sup>3</sup> /h], [l/s]
$t_s$	Température de soufflage	[°C]
$t_r$	Température ambiante (1,1 m au-dessus du sol)	[°C]
$t_u$	Température air extrait	[°C]
$\Delta t$	Différence de température entre ambiance et air soufflé	[K]
$v_x$	Vitesse à distance x du centre du terminal	[m/s]

## Profil vertical des températures

En raison du phénomène de stratification, la ventilation par déplacement provoque de grandes différences de température dans le local. En ventilation de confort, où les sources de chaleur sont placées en partie basse du local, le gradient de température, c'est-à-dire l'évolution de la température par m (K/m), sera plus élevé en partie basse du local, et plus faible en partie haute. Le modèle le plus simple de description de l'évolution verticale

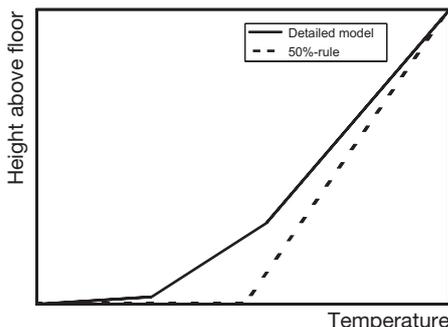


Fig. 17, Comparaison des modèles de description de l'évolution verticale de la température.

de la température est la "règle des %".

La plus utilisée est la règle des 50%, selon laquelle l'on considère que la moitié de l'évolution de l'air entre sa température de soufflage et d'extraction se produit au niveau du sol, et l'autre moitié sur la hauteur du local (Voir figure 17). Ce modèle est correct pour une première évaluation de la plupart des locaux et terminaux standards, mais du fait de sa simplicité il ne permet pas une détermination précise du gradient de température dans la zone d'occupation.

Lindab recommande d'utiliser un modèle plus précis prenant en compte l'évolution de la température sur toute la hauteur du local. L'hypothèse est que le gradient de température dans la zone d'occupation est égal à la moitié de la différence de température entre l'air ambiant et l'air soufflé. Ce modèle s'appuie sur nombre de résultats de tests grandeur réelle, de facteurs d'efficacité thermique et le fait que le gradient de température est plus important en partie basse du local qu'en partie haute.

## Efficacité thermique

L'efficacité en ventilation par déplacement résulte du phénomène de stratification. La différence augmente avec la hauteur sous plafond et l'effet est proportionnel à la différence de température entre l'air soufflé et l'air extrait ( $t_u - t_r$ ). Compte tenu que la température d'extraction ( $t_u$ ) est supérieure à la température ambiante ( $t_r$ ) en ventilation par déplacement, la même charge peut être retirée du local avec une température de soufflage supérieure ( $t_s$ ) qu'avec une ventilation par mélange où  $t_u \leq t_r$ . Ceci implique qu'il est possible d'économiser de la puissance de rafraîchissement ou d'utiliser l'effet rafraîchissant de l'air extérieur de manière plus efficace.

La ventilation par déplacement est de plus en partie auto régulée en fonction de la charge thermique du local, du fait qu'une charge supérieure entraîne en tout premier lieu un gradient de température plus élevé et par conséquent une température plus élevée au niveau du plafond.

L'efficacité thermique est donnée par la relation:

$$\epsilon_t = \frac{t_u - t_r}{t_s - t_r} \times 100\%$$

En ventilation par déplacement, il est un fait que

$\epsilon_t > 100\%$  ( $t_u \geq t_r$ ),

Alors que  $\epsilon_t \leq 100\%$  en ventilation par mélange ( $t_u \leq t_r$ ).

Dans le cas d'un mélange idéal,  $\epsilon_t = 100\%$  ( $t_u = t_r$ ).

## Perte de charge

Les courbes indiquent la perte de charge totale par terminal (pour  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ), c'est-à-dire la somme de la pression statique et dynamique, le diffuseur raccordé à un conduit aéraulique droit de 1 m et de même dimension que le diffuseur.

## Niveaux acoustiques

Les courbes indiquent le niveau de puissance acoustique pondéré A  $L_{WA}$  pour un diffuseur raccordé à un conduit aéraulique droit de 1 m et de même dimension que le diffuseur.

Le niveau de pression acoustique est le résultat de la mesure sonore, c'est-à-dire des vibrations perçues, alors que le niveau de puissance acoustique est un paramètre qui caractérise la source du bruit. Les deux sont en général indiqués en dB (décibels), ce qui peut entraîner une certaine confusion.

# Ventilation par déplacement Théorie

**Pression acoustique ( $L_p$ )**

Mesure de l'intensité sonore, caractérisée par les vibrations perçues par l'oreille ou mesurées à l'aide d'un microphone et d'un sonomètre. La pression acoustique est mesurée en Pascal (Pa), et est en général donnée en décibels (dB) ou dB(A) sous la désignation de niveau de pression acoustique.

**Puissance acoustique ( $L_w$ )**

Puissance émise par une source (ex: machine) sous forme de bruit. Elle est mesurée en Watt (W) et est en général indiquée sous la désignation de niveau de puissance acoustique en décibels (dB) ou dB(A).

Dans les fiches produit Lindab, les caractéristiques acoustiques des terminaux sont données en niveaux de puissance acoustique.

Niveau de puissance acoustique:  $L_w = 10 \times \log \frac{N}{N_{re}}$  [dB]

Où N est la puissance acoustique [W] transmise sous forme de vibrations, et  $N_{re} = 10^{-12}$  W la puissance acoustique de référence.

Niveau de pression acoustique:  $L_p = 20 \times \log \frac{P}{P_{re}}$  [dB]

Où P est la pression acoustique [N/m<sup>2</sup>], et  $P_{re} = 2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>, la pression acoustique de référence.

L'atténuation du local D [dB], est la différence entre le niveau de puissance et le niveau de pression acoustique.  
 $L_{wok} = L_w - D$

Le niveau de puissance acoustique pondéré A  $L_{WA}$ , est déterminé pour chaque bande d'octave.  $L_p = L_{WA} + K_{OK}$ ,  $K_{OK}$  étant une valeur de correction donnée sous forme de tableau pour chaque terminal.

**Atténuation acoustique**

Spécifiée pour chaque diffuseur, elle correspond à la réduction du niveau de puissance acoustique entre le conduit et le local (en incluant la réverbération finale).

**Zone d'influence**

La zone autour du diffuseur à l'intérieur de laquelle la vitesse de l'air est supérieure à 0,2 m/s est appelée la zone d'influence.

La taille de la zone d'influence est donnée pour chaque terminal à une température de rafraîchissement de  $D_t = t_r - t_i = 3K$ . La longueur ( $a_0$ ) et la largeur ( $b_0$ ) de cette zone sont valables pour des charges thermiques régulièrement réparties.

**Dimensionner une ventilation par déplacement**

La conception d'un système de ventilation par le principe de déplacement basé sur les effets thermiques, et dans lequel l'air est soufflé directement dans la zone d'occupation, induit des contraintes de dimensionnement et de positionnement des terminaux de soufflage d'air. Ceux-ci ne doivent jamais être placés à proximité directe d'une source de chaleur comme un radiateur. Un rayonnement solaire puissant est également susceptible d'influencer le système et, dans certains cas, de le faire fonctionner comme un système de ventilation par mélange. De grands murs ou vitrages froids peuvent aussi provoquer un retour d'air vicié dans la zone d'occupation.

Le système n'est pas adapté aux applications de chauffage, et implique de ce fait la séparation du chauffage et de la ventilation. L'extraction doit toujours se faire le plus haut possible dans le local.

En cas de doute sur un projet ou dans le cas où certains points méritent d'être approfondis, Lindab propose d'effectuer des tests grandeur réelle, souvent très riches d'enseignements pour les systèmes complexes.

**Débit de convection**

Le débit soufflé doit être au moins égal au débit de convection total du local (Figure 18), sous risque d'avoir une convection qui ramène de l'air vicié du haut vers la zone d'occupation (Figure 19).

Les facteurs suivants ont une influence sur le débit de convection:

- La forme et la surface de la source de chaleur.
- La température de surface de la source de chaleur.
- La proportion de dégagement de chaleur par convection.
- La température moyenne du local.
- Le niveau de la zone contaminée par rapport à celui des sources de chaleur de la pièce.

Le débit de convection lié à l'occupation, l'éclairage et aux appareils peut être déterminé à partir des dégagements et de la position des sources de chaleur à l'intérieur du local (Voir tableau 1 et 2).

Table 1, Convection flows for people based on experiences.

Activité	met	Dégagement thermique W	Débit d'air l/s	
			1,2 m au-dessus du sol	1,8 m au-dessus du sol
Assise, calme	1,0	100	8-10	-
Assise, calme	1,2	130	10-12	-
Légère, debout	1,6	170	-	25-30
Moyenne, debout	2,0	200	-	30-35
Forte, debout	3,0	300	-	35-40

Met: métabolisme, 1 met = 58 W/m<sup>2</sup> de surface corporelle.

Tableau 2, Débits de convection pour diverses sources de chaleur.

Source de chaleur	Débit d'air l/s par W	
	1,2 m au-dessus du sol	1,8 m au-dessus du sol
Éclairage de table	0,11	0,20
Éclairage plafonnier	-	-
Appareils	0,10	0,20
Rayonnement solaire	0,11	0,22

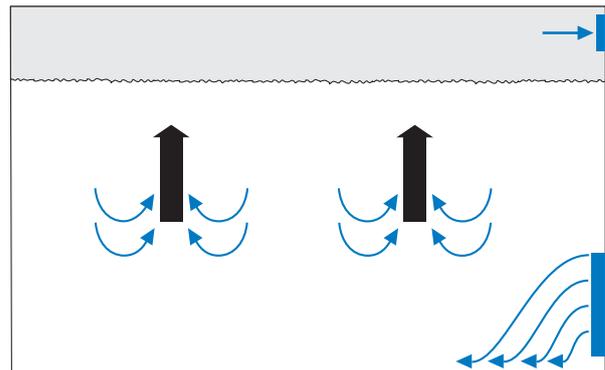


Fig. 18, Ventilation par déplacement avec débit suffisant.

# Ventilation par déplacement

# Théorie

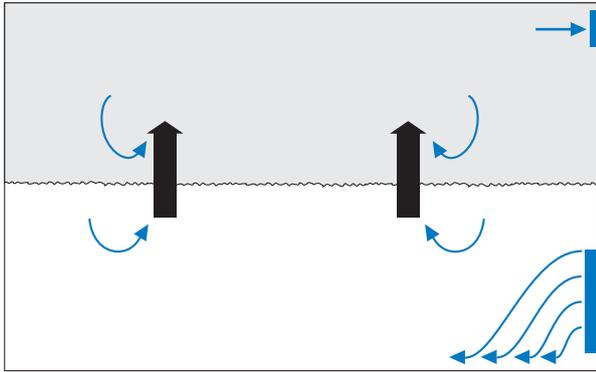


Fig. 19, Ventilation par déplacement avec débit insuffisant.

## Gradient de température

Les exigences en matière de confort thermique dans la zone d'occupation limitent le gradient de température. Le tableau 3 indique le gradient maximum recommandé par Lindab Comfort selon le niveau d'activité, ainsi que la différence maximum de température en rafraîchissement ( $t_r - t_i$ ) avec les terminaux COMDIF de Lindab. Le gradient de température dans la zone d'occupation (K/m) peut être évalué avec une faible marge d'erreur à la moitié de la température de rafraîchissement  $t_r - t_i$  (K).

Tableau 3, Gradients de température recommandés et températures de rafraîchissement.

Activité	Gradient de température maximum (K/m)	Écart maximum au soufflage $t_r - t_i$ (K)
Assise, calme	1,5	3,0
Assise	2,0	4,0
Légère, debout	2,5	5,0
Moyenne	3,0	6,0
Forte	3,5	7,0

## Zone d'influence

La zone d'influence est donnée pour chaque terminal dans le fiches produit. Dans le cas de plusieurs terminaux placés à proximité les uns des autres, la zone d'influence sera plus importante (Figure 20).

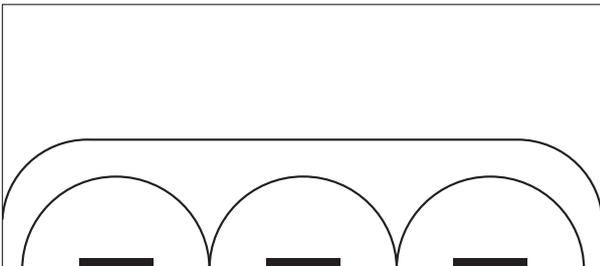


Fig. 20, Les diffuseurs sont trop rapprochés et l'induction de chacun est limitée.

Un débit d'air trop élevé pour un terminal peut créer une zone d'influence trop importante (Figure 21). Si en alternative l'air est diffusé par deux terminaux, les zones d'influence sont plus petites (Figure 22).

Pour obtenir les zones d'influence les plus petites possibles et de fait une utilisation optimale du local, l'air doit être diffusé uniformément à travers autant de terminaux que possible.

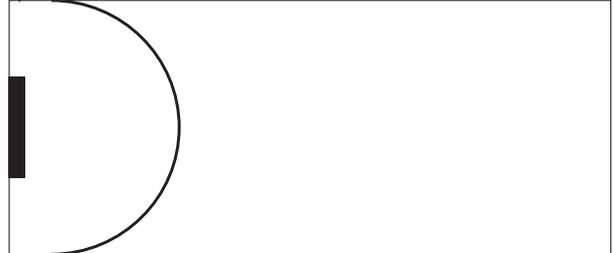


Figure 21, Un trop grand débit à travers un diffuseur entraîne une zone d'influence trop importante.



Figure 22, Moins de débit par diffuseur et des zones d'influence plus petites.

## Plusieurs terminaux

Lorsque plusieurs terminaux sont placés trop proches les uns des autres le long d'un même mur, la zone d'influence est augmentée comme indiqué sur la Figure 20 car des courants d'air peuvent se former entre les terminaux. A une certaine distance des terminaux toutefois, un flux d'air continu va s'établir avec une vitesse pratiquement constante. Cette vitesse finale dépend du débit total par m de mur et de la température de rafraîchissement. La Figure 23 indique cette vitesse finale. Il sera souvent avantageux de diffuser l'air par des terminaux placés sur des murs adjacents en angle à 90°. Dans ce cas, les terminaux doivent aussi être placés de manière régulière le long des murs, du fait que des perturbations peuvent également se former entre des terminaux trop proches de l'angle du mur.

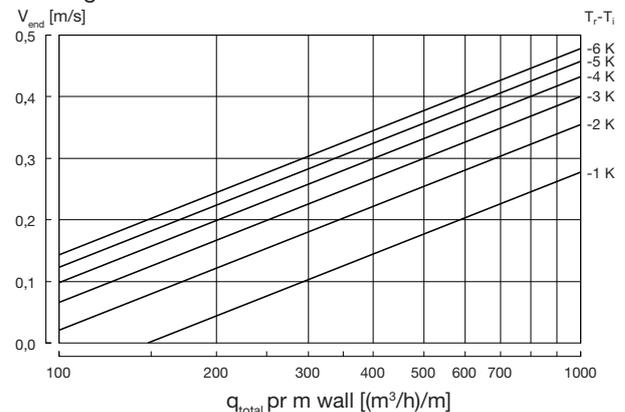


Fig. 23, Vitesse finale pour un flux d'air continu.

# Ventilation par déplacement Théorie

## Charges thermiques

Dans le but de calculer la charge qui peut être retirée du local par un système à déplacement d'air, il est nécessaire de connaître la différence de température  $t_u - t_i$  (fonction de la charge thermique, hauteur sous-plafond, et température de rafraîchissement ( $t_r - t_i$ )).

Dans le calcul de l'efficacité thermique et de la différence de température  $t_u - t_i$  nécessaire, les sources de chaleur proches du plafond (ex: éclairage) sont considérées comme 50% des charges.

La Figure 24 permet de déterminer l'efficacité thermique  $\epsilon_t$  en fonction de différentes combinaisons de charges thermiques et hauteurs sous plafond.

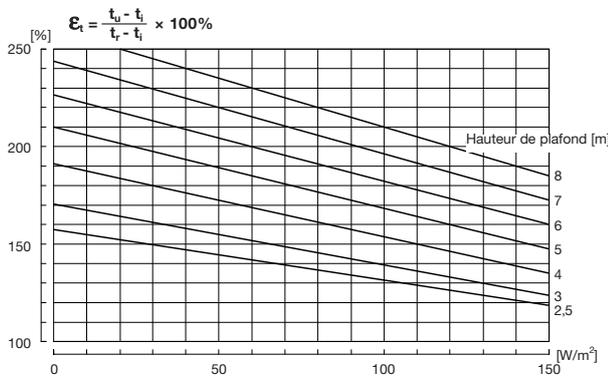


Fig. 24, L'efficacité thermique est fonction de la charge thermique et de la hauteur sous plafond.

## Exemple de calcul

Local:  $L \times B \times H = 10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$

Charge thermique:

10 pers., activité assise ( $10 \times 130 \text{ W}$ ) = 1300 W (22  $W/m^2$ )  
 10 éclairages de table de 60 W ( $10 \times 60 \text{ W}$ ) = 600 W (10  $W/m^2$ )  
 10 appareils de 100 W ( $10 \times 100 \text{ W}$ ) = 1000 W (17  $W/m^2$ )

Total = 2900 W (48  $W/m^2$ )

Débit d'air minimum (suivant tableaux 1 et 2):

$q_{\min} =$

10 pers.  $\times$  11 l/s/pers.

+ 10 éclairages de table  $\times$  60 W/éclairage  $\times$  0,1 l/s/W

+ 10 appareils  $\times$  100 W/appareil  $\times$  0,1 l/s/W = 270 l/s

Différence de température nécessaire ( $t_u - t_i$ ):

$$t_u - t_i = \frac{2900 \text{ W}}{\frac{270 \text{ l/s}}{1000 \text{ l/m}^3} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} = 8,9 \text{ K}$$

La Figure 24 donne une efficacité thermique de  $\epsilon_t = 178\%$  pour une hauteur sous plafond de 4 m et une charge thermique de 48  $W/m^2$ . La différence de température  $t_r - t_i$  peut donc être déterminée à l'aide de la formule:

$$\epsilon_t = \frac{t_u - t_i}{t_r - t_i} \Leftrightarrow t_r - t_i = \frac{t_u - t_i}{\epsilon_t} = \frac{8,9 \text{ K}}{1,78} = 5 \text{ K}$$

qui donne un gradient de température dans la zone d'occupation de 2,5 K/m (puisque le gradient de température dans la zone occupée peut être établi à la moitié de la température de rafraîchissement  $t_r - t_i$ ).

Lindab recommande un gradient de température de moins de < 2 K/m et de ce fait le débit d'air devrait être augmenté.

Un gradient de température de 2 K/m donne  $t_r - t_i = 4 \text{ K}$  et pour une même efficacité thermique de 178%, la différence de température acceptable est  $t_u - t_i = 7,1 \text{ K}$ .

Pour évacuer la charge thermique de 2900 W, le débit d'air doit passer à:

$$q = \frac{2900 \text{ W}}{7,1 \text{ K} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} \times 1000 \text{ l/m}^3 = 337 \text{ l/s}$$

# Détermination des niveaux acoustiques Théorie

## Détermination des niveaux acoustiques

Les diagrammes des fiches produit indiquent le niveau sonore pondéré A  $L_{WA}$  pour des diffuseurs raccordés à un conduit aéraulique de longueur droite de 1 m et de même dimension que le diffuseur.

Le niveau de pression acoustique tel que perçu par l'oreille est déterminé de la manière indiquée ci-dessous.

### Abréviations

A	Absorption totale du local	[m <sup>2</sup> ]
$K_{ok}$	Valeur de correction du niveau de puissance acoustique par bande d'octave	[dB]
$L_A$	Niveau de pression acoustique pondéré A	[dB(A)]
$L_{WA}$	Niveau de puissance acoustique pondéré A	[dB(A)]
$L_{Wok}$	Niveau de puissance acoustique par bande d'octave	[dB]
$L_p$	Niveau de pression acoustique	[dB]
D	Atténuation du local	[dB]
$L_w$	Niveau de puissance acoustique	[dB]
V	Volume du local	[m <sup>3</sup> ]
$T_s$	Temps de réverbération	[-]
D	Atténuation du local	[dB]
Q	Facteur de direction	[-]
$\Delta$	Augmentation du niveau de puissance acoustique pour un nombre donné de terminaux identiques	[dB]
r	Distance du plus proche terminal	[m]
$\alpha$	Coefficient d'absorption	[-]
n	Nombre de terminaux	[-]

### Niveau de pression acoustique

L'effet acoustique global  $L_w$  produit par un nombre de dif-fuseurs similaires est déterminé par la multiplication logarithmique du nombre de diffuseurs par le niveau de puissance acoustique d'un diffuseur isolé.

$$L_w = L_{w1} \otimes n$$

Où  $L_{w1}$  est le niveau de puissance acoustique d'un diffuseur isolé [dB], et n le nombre de diffuseurs.

La puissance acoustique globale peut être calculée grâce à la figure 25 selon la formule  $L_w = L_{w1} + \Delta$  où  $\Delta$  est l'augmentation du niveau de puissance acoustique pour un nombre donné de diffuseurs identiques.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$\Delta$	0	3,0	4,8	6,0	7,0	7,8	8,5	9,0	9,0	10,0	11,8

Fig. 25, Augmentation du niveau de puissance acoustique multi plication logarithmique) par un nombre donné de sources de bruit identiques.

A l'aide des caractéristiques des sources de bruit et de la surface d'absorption du local, l'atténuation du local est déterminée grâce aux Figures 26, 27, et 28 pour une ou plusieurs sources identiques à l'intérieur du local.

Le niveau de pression acoustique est la différence entre le niveau de puissance acoustique et l'atténuation du local où  $L_p$  est le niveau de pression acoustique [dB],  $L_w$  le niveau de puissance acoustique [dB] et D l'atténuation du local [dB].

Dans le cas de sources de bruit différentes dans le même local, le niveau de pression acoustique est déterminé en un point donné par l'addition logarithmique des niveaux de pression acoustique des différentes sources de bruit (Figure 29).

A, peut également être calculé en fonction du temps de réverbération à l'aide de la formule:

$$A = 0.16 \times \frac{V}{T_s}$$

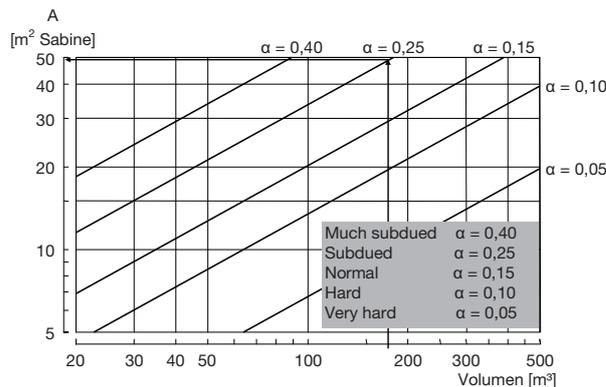


Fig. 26, Facteur de direction pour diverses positions des sources de bruit et relation entre le volume du local et la surface d'absorption équivalente.

### Exemple de calcul

Local de dimensions L x B x H = 10 m x 7 m x 2,5 m avec 4 diffuseurs plafonniers. Chaque diffuseur produit un niveau de puissance acoustique de 29 dB(A). Le local isolé présente une surface d'absorption de A ~ 50 m<sup>2</sup> Sabine (Figure 26). Le niveau de pression acoustique doit être déterminé à 1,5 m au-dessus du sol.

Puissance acoustique des quatre diffuseurs:

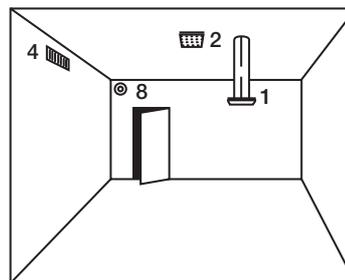
$$L_w = 29 \otimes 4 = 29 + 6 = 35 \text{ dB(A)} \text{ (Figure 25).}$$

Pour des diffuseurs plafonniers le facteur de direction Q = 2 et par conséquent devient (Figure 27).

$$\sqrt{n} / \sqrt{Q} = 1,4$$

A une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol, la distance par rapport au diffuseur le plus proche est r = 1 m. La Figure 28 donne une atténuation du local D = 9 dB. Le niveau de pression acoustique dans le local:

$$L_A = 35 \text{ dB(A)} - 9 \text{ dB} = 26 \text{ dB(A).}$$



n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Q	$\sqrt{n} / \sqrt{Q}$										
1	1,0	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,9
2	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,7
4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,4

Fig. 27, Facteur de direction en fonction de la position des sources de bruit, et rapport  $\sqrt{n} / \sqrt{Q}$  en fonction du nombre de sources de bruit et du facteur de direction (schéma).

# Détermination des niveaux acoustiques

# Théorie

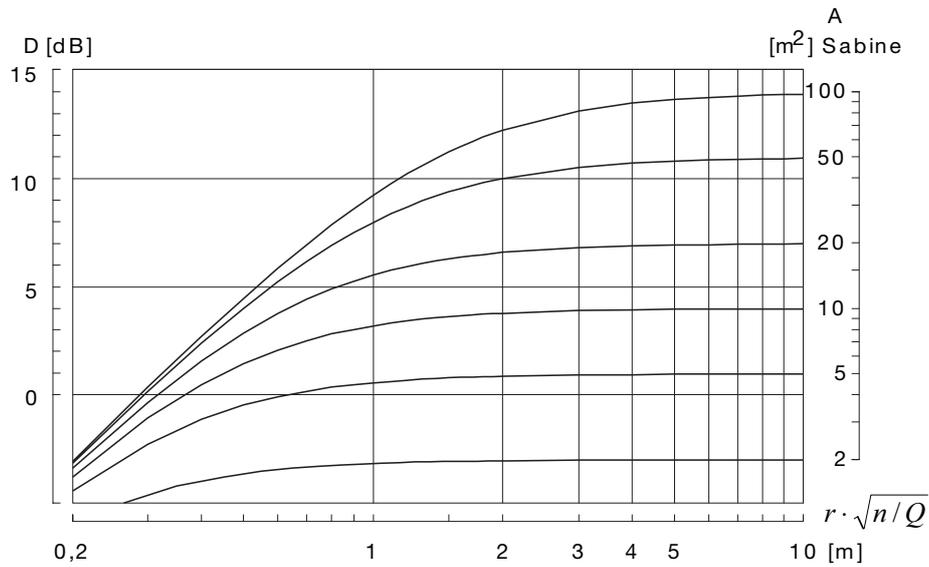


Fig. 28, Atténuation du local en fonction de la surface d'absorption et du nombre de sources de bruit.

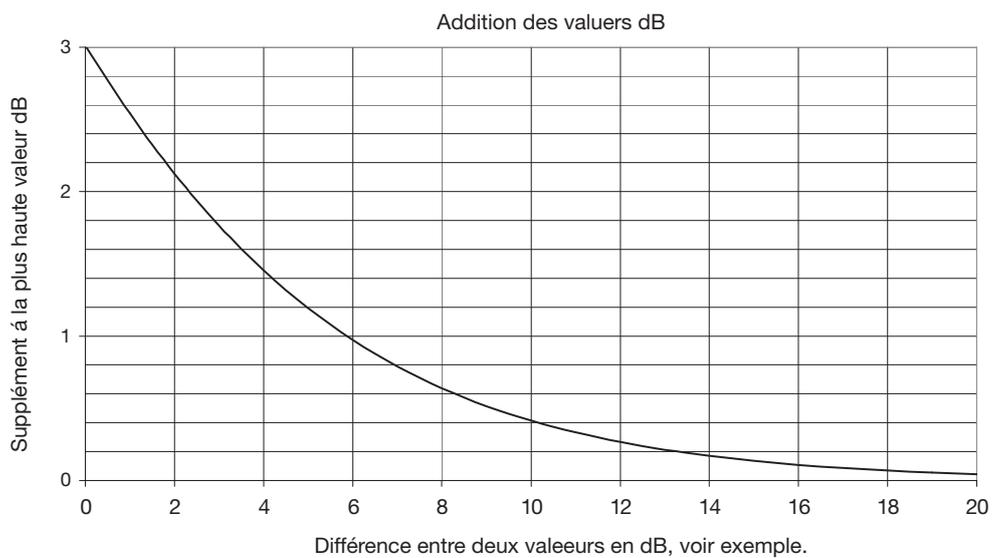


Fig. 29, Addition de niveaux acoustiques (addition logarithmique des niveaux acoustiques ou des niveaux de pression acoustique).

Ex: Deux sources de 41 et 47 dB;  
 Différence:  $47 - 41 = 6$ ;  
 Sur la courbe 6 sur l'axe X = 1 sur l'axe Y;  
 $47 + 1 = 48$  dB niveau sonore résultant.



Nous passons la majorité de notre temps en milieu clos. Le confort et la qualité d'air intérieur ont un impact majeur sur notre bien-être, notre productivité et notre santé.

Chez Lindab, nous avons pour objectif de contribuer au confort intérieur optimum, améliorant ainsi la vie de chacun.

Pour ce faire, nous développons des solutions de ventilation énergétiquement performantes et des produits de construction recyclables.

Nous participons également à l'amélioration du climat de notre planète en travaillant avec une vision durable à la fois pour les Hommes et leur Environnement.

[Lindab](#) | For a better climate