

Le développement d'une théorie sur la technologie des rideaux d'air et la simulation des résultats sur informatique ont abouti à une vision révolutionnaire du fonctionnement des rideaux d'air. Des tests en soufflerie ont permis de concevoir une nouvelle grille de ventilation ; la variation des paramètres de la modélisation informatique a permis de mieux comprendre le comportement du jet d'air, en faisant varier sa vitesse et ses dimensions, ainsi que les conséquences de la pression de l'air extérieur sur le rideau d'air. La perte de chaleur de ce nouveau modèle est diminuée de moitié par rapport aux rideaux d'air existants sur le marché. Les caractéristiques de cette nouvelle conception améliorent le confort du climat intérieur tout en réalisant des économies d'énergie.

Résultat des recherches sur l'optimisation des rideaux d'air

P.J.J.H. LIGTENBERG, directeur général de Biddle BV*

Biddle a plus de 40 années d'expérience dans la conception et l'application des rideaux d'air au-dessus des portes de magasins ou de bureaux. Ces dernières années, de nombreux auteurs ont écrit sur la technologie et le dimensionnement des rideaux d'air. Aucune de ces études ne fournit de réelle connaissance fondamentale, base de la conception d'un rideau d'air optimal. Ces études ne traitaient que de certains facteurs influençant les performances. Pour la première fois, Biddle a voulu acquérir la connaissance fondamentale du fonctionnement d'un rideau d'air.

Objectif des recherches

Les objectifs consistaient à améliorer les performances du rideau d'air et à économiser de l'énergie, avec la méthodologie et les objectifs suivants :

- 1) améliorer la connaissance technologique sur les rideaux d'air par la simulation informatique d'installations existantes ;
- 2) valider ce modèle par une étude du fonctionnement contraint à différentes pressions extérieures ;
- 3) développer des critères de performances ;
- 4) faire varier des paramètres pour comprendre le comportement du jet d'air soumis à des changements de climats extérieurs ;
- 5) à partir de ces résultats, concevoir un rideau d'air optimal.

Dans la soufflerie de TNO à Apeldoorn, différents modèles existants ont été testés dans

différentes circonstances. Puis cette installation fut simulée sur informatique.

A ce stade, on a découvert qu'une nouvelle grille de soufflage pourrait améliorer sensiblement l'efficacité du rideau d'air.

A partir de ces essais en soufflerie et de cette simulation informatique, on a développé une nouvelle théorie sur la technologie des rideaux d'air.

La résistance d'un rideau d'air

Suite à ces tests et ces simulations, il a été mis en évidence que la résistance du rideau d'air était très faible (< 1 Pa), et donc incapable de résister à l'air froid entrant.

La résistance que rencontre un jet d'air horizontal, passant à travers un autre jet vertical, dépend de deux facteurs :

- la géométrie de ce jet d'air - la forme, vitesse, longueur, largeur de ce jet - détermine la valeur de la résistance ;
- la force s'exerçant contre le rideau d'air.

Critères de performances d'un rideau d'air

L'objectif d'un rideau d'air est de créer une séparation entre deux climats de telle sorte que le climat intérieur d'un local soit agréable, alors que les portes restent ouvertes en permanence.

Un rideau d'air ne peut créer un véritable écran entre deux climats, mais doit conditionner l'air entrant.

Le jet d'air est poreux dans sa partie intérieure et cette porosité dépend de la vitesse et de la largeur du jet.

Près du sol, le jet d'air a une faible masse, sa résistance est limitée et il peut se courber.

Le performance d'un rideau d'air est atteinte lorsque :

- l'air entrant dans le local est tempéré ;
- le courant d'air thermique naturel dans une ouverture est éliminé.

On peut alors dire qu'il y a séparation des deux climats.

Conditionnement de l'air entrant

L'air entrant à travers le rideau d'air doit être

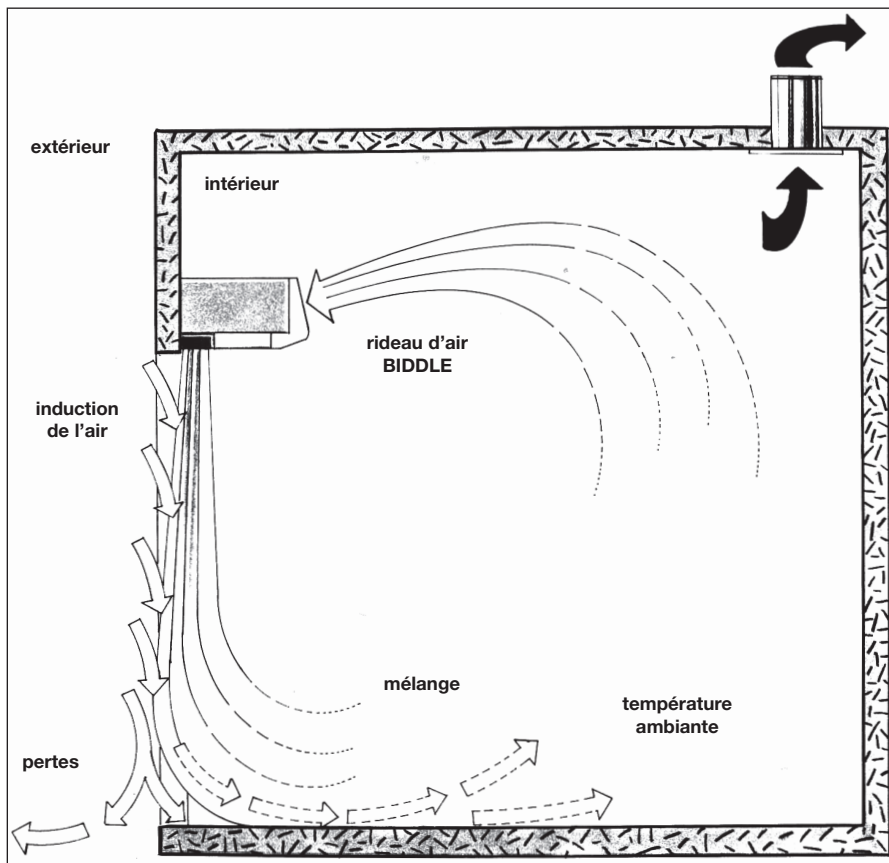


Fig. 1. Porte ouverte avec le rideau Biddle.

* Les modélisations informatiques ont été réalisées par le Docteur R.J. Van de Welle de TNO à Apeldoorn et par le professeur Hoogstraten de l'Institut Mathématique de l'université de Groningue. La conception industrielle, réalisée par Biddle, a été faite en collaboration avec le professeur H. Hermans de l'université technique de Delft.

correctement mélangé au jet d'air chaud et par conséquent chauffé.

Cette chaleur profitera au climat agréable de l'intérieur. Les contraintes sont de divers ordres : non seulement il est difficile de mélanger de l'air chaud et de l'air froid, mais le jet d'air doit atteindre le sol, ou ne pas se courber trop tard.

De plus, la chaleur contenue dans le jet d'air doit être suffisante pour tempérer l'air entrant. Cela signifie que la chaleur procurée par le rideau d'air doit être proportionnelle à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la pièce.

L'air froid de ces courants d'air sera chauffé par le système de chauffage central. L'avantage du rideau d'air est qu'il se charge de chauffer l'air entrant en diminuant les besoins du chauffage central (voir fig. 1).

Efficacité du chauffage

La chaleur, utilisée pour conditionner l'air froid entrant, est utilisée au chauffage du local.

Le courant d'air thermique (perte de chaleur à l'extérieur) à chaque ouverture d'une porte est éliminé.

Critère de confort

Partant du principe qu'un rideau d'air doit améliorer le confort d'un local, on a cherché un critère d'évaluation de ce confort.

Il n'est pas possible de trouver un critère absolu. On a donc décidé de prendre en compte le critère de Fanger qui évalue le confort d'une pièce.

Pour un environnement donné, Fanger détermine le pourcentage de personnes insatisfaites en fonction des différents courants d'air et températures d'un local.

Il exprime ce résultat à l'aide de la formule empirique suivante :

$$PPNS = 13800 \left[\left(\frac{V - 0,04}{t - 13,7} - 0,0293 \right)^2 - 0,000857 \right]$$

PPNS = Pourcentage Personnes Non Satisfaites

V = Vitesse de déplacement de l'air en m/s

t = Température du local en °C

On a calculé le critère de Fanger sur tous les points du quadrillage d'un local à une hauteur de 0,5 m du sol.

On a cumulé l'ensemble des critères obtenus dans la pièce, les résultats sont donc supérieurs à 100.

Cette méthode a permis d'évaluer le confort sur des points très proches ou très éloignés du souffle d'air chaud.

L'étude de variation des paramètres

Alors que dans un premier temps la modélisation informatique simulait l'environnement de la soufflerie, on l'a modifiée pour qu'elle simule l'entrée d'une boutique.

L'ensemble des variables internes et externes est le suivant.

Les paramètres internes sont :

- longueur et largeur du jet,
- vitesse de soufflage,
- température du jet d'air,
- angle du jet par rapport à la verticale.

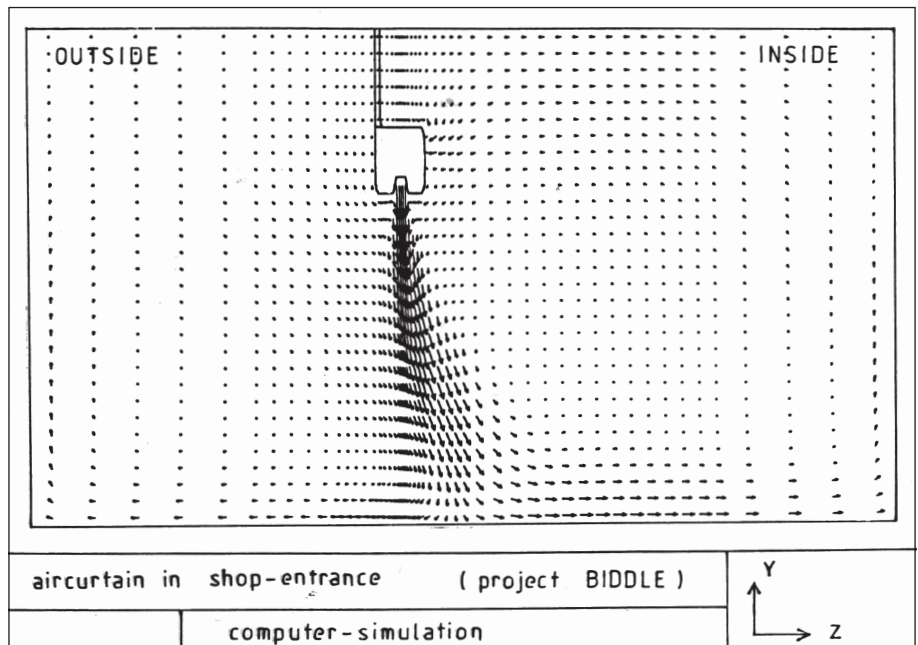


Fig. 2. Vecteurs (vitesse d'air) à l'entrée d'un magasin.

Les paramètres externes à prendre en compte sont :

- températures ambiantes extérieures et intérieures,
- dimensions de l'ouverture (de la porte),
- volume d'air entrant dans le local à protéger lié aux fuites dans le bâtiment, vitesse du vent, nombre d'ouverture de la pièce, courants d'air thermique dans le bâtiment.

On a fait varier l'ensemble de ces paramètres comme suit :

- vitesse du jet, forte, moyenne, faible,
- pression et volume d'air entrant à travers le rideau d'air correspondant à une ventilation de 2 à 4 fois le volume d'air d'une boutique classique (15x8x3 m),
- grille de soufflage du rideau d'air plus longue que la largeur de la porte,
- accroissement de la largeur de la grille et diminution de la vitesse du souffle de telle sorte que le volume soit constant.

En sélectionnant un certain nombre de combinaisons de ces paramètres, on a pu établir les diagrammes "vecteurs vitesse" et "isothermes" dans un plan horizontal et vertical (voir fig. 2 à 5). Pour toutes les situations, on a étudié la vitesse et la température et donc calculé le critère de Fanger sur tous les points du quadrillage du local à une hauteur de 0,5 m du sol.

La figure 3 appelle les commentaires suivants :

Première colonne (n° de 1 à 7)

Les résultats des 7 tests les plus significatifs sont présentés.

Deuxième colonne (m/s)

Vitesse de l'air au niveau de la grille de soufflage, en m/s.

Troisième colonne (m³/h)

Débit d'air entrant dans le local : la température de l'air extérieur entrant dans le local et passant à travers le rideau d'air est de 5°C.

Le volume du local étudié est de 15x8x3 = 360 m³. Le débit entrant de 785 m³/h représente donc une ventilation légèrement supérieure à 2 vol./h. Dans le test n°4, la ventilation est d'environ 5 vol./h.

Quatrième colonne (h x w x d)

Tous les essais ont été effectués avec une porte d'une hauteur de 2 m et d'une largeur de 1,60 m.

- h (height) : hauteur d'installation du rideau d'air (distance entre la grille de soufflage du rideau d'air et le sol, en mètres). Dans le test n°7, le rideau d'air a été placé légèrement plus haut que la porte (2,50 m) ;

- w (width) : longueur de la grille de soufflage du rideau d'air, en mètres. Dans le test n°6, un essai a été effectué avec un rideau d'air légèrement plus large que la porte (2 m) ;

n°	m/s	m³/s	h x w x d	NIVEAU D'INCONFORT	PERTE À L'EXTÉRIEUR
1	7,2	1 x 785	2,0 x 1,6 x 60	215	290
2	5,0	1 x 785	2,0 x 1,6 x 60	165	260
3	3,0	1 x 785	2,0 x 1,6 x 60	150	90
4	5,0	2 x 785	2,0 x 1,6 x 60	280	150
5	3,0	1 x 785	2,0 x 1,6 x 100	100	200
6	3,0	1 x 785	2,0 x 2,0 x 60	100	100
7	5,0	1 x 785	2,5 x 1,6 x 60	165	370

Fig. 3. Incidence des paramètres internes et externes.

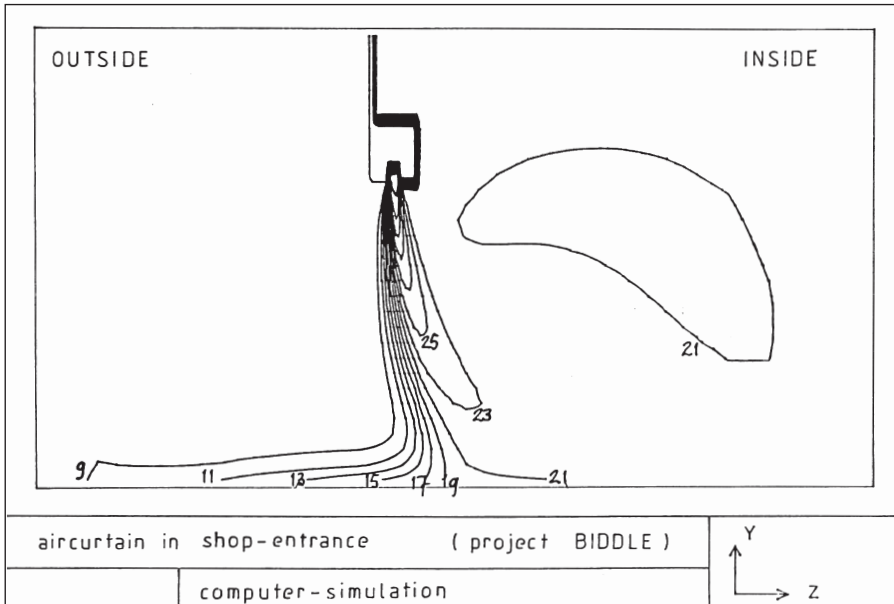


Fig. 4. Isothermes (°C) à l'entrée d'un magasin (profil).

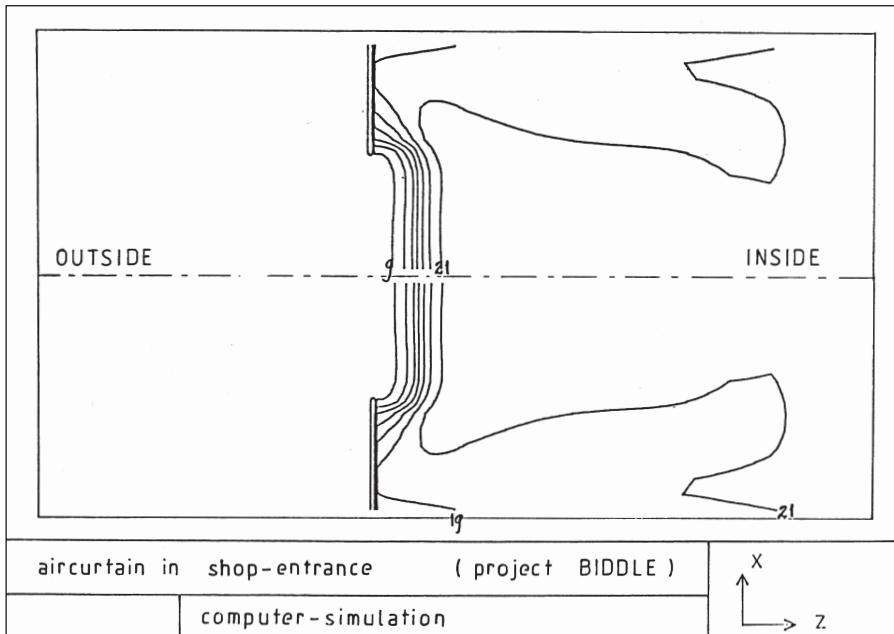


Fig. 5. Isothermes (°C) à l'entrée d'un magasin (vue de dessous).

- d : largeur du jet au niveau de la grille de soufflage, en millimètres.

Cinquième colonne (nombre de Fanger)

En chaque point du local, l'ordinateur a calculé, selon la formule de Fanger, le pourcentage de personnes non satisfaites. Pour faire le calcul, l'ordinateur a utilisé la vitesse absolue de l'air (en trois dimensions), la température et la pression en chaque point du local.

Sur une surface significative, à 50 cm du sol, une moyenne de tous ces pourcentages a été obtenue. Cette moyenne est inscrite en valeur relative dans le tableau (au test n°6 : base 100). Plus le nombre est important moins le confort est bon dans le local.

Estimation du confort

En observant les tests 1, 2 et 3, on peut remarquer que lorsque la vitesse de l'air diminue, le confort est considérablement amélioré dans le local.

Au test n°4, le confort est mauvais, en raison de l'importance du débit d'air froid entrant (environ 5 vol./h)

Au test n°5, la vitesse de soufflage est faible, de plus un débit important soufflé à travers une grille plus large entraîne un meilleur confort.

Au test n°6, le rideau d'air est légèrement plus large que la porte.

Dans les tests n°2 et 7, la vitesse de soufflage est identique et assez élevée, entraînant une dégradation similaire du confort (quelle que soit la hauteur d'installation)

Sixième colonne (perte à l'extérieur)

La colonne 6 indique la quantité de chaleur produite par le rideau d'air perdue à l'extérieur.

La température extérieure étant de 5°C, en mesurant les surfaces comprises entre les différentes courbes isothermes, il est possible de calculer la partie "perte de chaleur à l'extérieur d'un rideau d'air".

Estimation des pertes d'énergie à l'extérieur

En comparant les tests 1, 2 et 3, on remarque que lorsque la vitesse de soufflage diminue, les turbulences et l'induction d'air froid le long du jet diminuent également.

Au test n°4, le débit d'air entrant étant très important, le jet du rideau d'air se courbe vers l'intérieur (les pertes à l'extérieur sont donc très faibles).

Au test n°5, la vitesse de l'air soufflé est faible, mais le débit soufflé est plus important (grille de soufflage plus large).

Au test n°6, lorsque la vitesse de soufflage est faible et le rideau d'air légèrement plus large que la porte, on obtient le meilleur compromis confort/économies d'énergie.

Au test n°7, la hauteur importante d'installation du rideau d'air entraîne une induction plus importante d'air froid le long du jet et d'avantage de turbulences (pertes de chaleur plus importantes).

Conclusions de l'étude des paramètres

Lorsque le jet d'air est bien dimensionné, il atteint le sol même à faible vitesse. Le jet d'air du nouveau rideau d'air est optimal.

Le jet d'air de vitesse réduite est "poreux" dans sa partie inférieure.

Si l'air entrant est conditionné au niveau de la partie basse du jet, cet air sera correctement tempéré.

Une vitesse élevée du jet d'air entraîne des turbulences dans l'environnement du rideau d'air et perturbe le climat intérieur du local.

La quantité d'air chauffé perdue à l'extérieur est proportionnelle à la vitesse du souffle.

En augmentant la température du jet d'air, on augmente la température de l'air perdu à l'extérieur.

Lorsque la grille de soufflage est au moins aussi longue que la largeur de la porte, on ne constate aucune fuite sur les côtés.

Pour un même volume d'air soufflé, une grille plus large à faible vitesse d'air donne de meilleurs résultats qu'une grille étroite et une vitesse élevée.

Amélioration de l'utilisation des rideaux d'air

L'amélioration de l'utilisation des rideaux d'air porte sur sept points :

1) Il faut réduire autant que possible la distance entre le rideau d'air et le sol ; de plus, le jet doit être soufflé verticalement.

2) Il faut réduire la vitesse du jet autant que possible ; cette vitesse dépend de la hauteur de la porte et de la pression de l'air entrant. Ainsi :

- l'air entrant traverse le rideau d'air et sera tempéré correctement ;

- la perte de chaleur à l'extérieur diminuera ;
- le confort du climat intérieur d'un local augmentera lorsque les turbulences seront minimales.

3) La température du rideau d'air doit procurer une chaleur suffisante au conditionnement de l'air entrant, mais

4) La température du jet d'air doit être maintenue aussi faible que possible :

- pour un passage confortable à travers le rideau d'air,

- pour une faible perte de chaleur,
- pour une meilleure pénétration du jet (car on diminue la force du courant thermique).

5) Le contrôle de la température du jet d'air doit dépendre de la température extérieure.

6) Le souffle doit être plus large que la porte

7) Il faut éviter une distance entre le sommet de la porte et le rideau d'air chaud.

Conséquences sur les économies d'énergie

Les économies d'énergie réalisées résultent de :

- la diminution des turbulences du jet d'air par l'utilisation de la grille de soufflage spéciale du rideau d'air Biddle (fig.6),

- la conception optimale du système qui permet de fonctionner avec une vitesse et une température du jet aussi faible que possible.

Le contrôle optimale du jet d'air

Grâce à la simulation informatique, on a démontré que le meilleur conditionnement de l'air se produisait à des vitesses réduites.

De plus, grâce à la diminution de cette vitesse d'air, les turbulences sont réduites et l'on réalise des économies d'énergie.

Bien souvent, on peut utiliser des vitesses de soufflage inférieures aux préconisations actuelles.

Bien qu'il soit difficile de quantifier cette diminution, on estime que l'on peut utiliser, pour protéger l'ouverture d'un local, 80 % de la vitesse préconisée.

Les pertes de chaleur diminuent encore d'environ 20 %.

Grâce au rideau d'air Biddle, les consommations d'énergie sont diminuées d'environ 12-15 %.

Les expériences d'application dans plusieurs pays européens montrent que ces économies d'énergie représentent un retour de 15 % sur l'investissement de ce rideau d'air.

Utilisation d'un rideau d'air

Le local et ses caractéristiques – dimension, mode de ventilation, orientation – conditionnent le fonctionnement du rideau d'air.

Idéalement, le local ne devrait avoir qu'une seule ouverture sur l'extérieur ou plusieurs entrées sur une même façade.

Le local, protégé par un rideau d'air, devrait avoir une ventilation mécanique permettant d'assurer un équilibre des pressions entre l'intérieur et l'extérieur. Un déséquilibre des pressions causé par une extraction trop forte, accroît la charge de l'air entrant s'exerçant sur le rideau d'air.

Lorsque plusieurs entrées sont en vis-à-vis dans le local, il se crée un courant d'air traversant celui-ci de part en part. Une vitesse d'air maximale de 2 Beaufort est acceptée.

Les conseils suivants, conclusion des études menées, doivent être suivis au moment de **la sélection** du rideau d'air.

Le rideau d'air sélectionné devra avoir une grille de soufflage rectifiant le jet. En effet, en améliorant la convergence du jet, on minimise les pertes à l'extérieur et l'on peut diminuer sensiblement la vitesse de soufflage (confort, économies d'énergie).

Le rideau d'air sélectionné devra être capable de répartir le souffle uniformément sur toute la



Fig. 6. Le rideau d'air Biddle KMG.

largeur de l'ouverture (utilisation d'un plénum de détente, d'un ventilateur tangentiel, ou autres...).

Si la zone de soufflage ne couvre pas toute la largeur de l'appareil, il ne faudra pas prévoir de placer plusieurs appareils côte-à-côte.

La chaleur fournie par le rideau d'air doit être suffisante pour tempérer le volume d'air entrant. Cette quantité de chaleur nécessaire dépend du volume soufflé et de la température du jet.

Une zone de soufflage plus large que l'ouverture permettra d'éviter l'entrée d'air froid le long des montants de la porte lorsque le rideau d'air se reculera.

La résistance d'un rideau d'air étant illusoire (< 1 Pa), une vitesse de soufflage élevée ne créera pas un écran et n'aura aucune conséquence bénéfique. La vitesse de soufflage conseillée sera la plus faible possible dans la mesure où le jet atteint le sol. Pour les appareils actuellement sur le marché, l'utilisation peut diminuer de 30 à 40 % les préconisations données par les fabricants.

Du fait de cette résistance très faible, il faut impérativement souffler très verticalement. En effet, en orientant la grille de soufflage vers l'extérieur, la seule conséquence sera une perte importante d'énergie.

Si l'on souhaite asservir le fonctionnement d'un rideau d'air à l'ouverture d'une porte, il faudra sélectionner un appareil dont les ventilateurs ont une très faible inertie.

De plus, son **installation** doit être correctement faite pour que les résultats soient satisfaisants.

Le rideau d'air doit être installé le plus bas possible pour minimiser l'induction de l'air froid sur toute la hauteur du jet.

Pour un sas d'entrée, on recommandera toujours l'installation du rideau d'air à l'intérieur du local et non à l'intérieur du sas. L'objectif du rideau d'air est de résoudre un problème dynamique (passage de courant d'air froid), et non de chauffage statique d'un volume (sas).

Il est conseillé de ne jamais éloigner la zone de soufflage de l'aplomb de l'ouverture.

En effet, un espace entre le jet d'air et la porte libèrera des passages de courants d'air sur les côtés.

Il faut éviter l'utilisation d'un thermostat d'ambiance pour réguler l'appareil, en effet le

temps de réaction de celui-ci ne permettra pas le déclenchement du soufflage au moment du passage du courant d'air froid.

Pour les appareils à batterie électrique, une température des ventilateurs à l'arrêt est nécessaire afin d'éviter la surchauffe des résistances. Le rideau d'air devra être toujours alimenté électriquement.

Ne jamais laisser d'espace entre deux rideaux d'air couvrant une même ouverture.

La **maintenance** d'un rideau d'air consiste essentiellement à nettoyer régulièrement le filtre ce qui augmentera la durée de vie de l'appareil et maintiendra l'efficacité de la batterie et des ventilateurs.

L'été, le rideau d'air devra fonctionner en ventilation seule. Si le local est climatisé, la ventilation de cet air climatisé augmentera la sensation de fraîcheur au passage à travers le rideau d'air. De plus, on observe une diminution des pertes d'air climatisé à l'extérieur importante (le rideau d'air fait office de barrière thermique).

Conclusions

Après cette recherche approfondie du fonctionnement des rideaux d'air chaud, il résulte que :

- le rideau d'air chaud placé à l'ouverture d'un local améliore nettement le confort et les conditions climatiques de ce local,
- la perte d'énergie de ce rideau d'air est faible,
- l'utilisation de ce rideau d'air placé au-dessus d'une porte ouverte entraîne d'importantes économies d'énergie,
- le rideau d'air peut être utilisé sans modifier l'alimentation énergétique du local,
- le choix du modèle du rideau d'air est très important. ■

	21 allée des Vendanges
	77183 Croissy Beaubourg
	Tél. : 01 64 11 15 55
	Fax : 01 64 11 15 66
	e-mail : contact@biddle.fr
	www.biddle.fr