

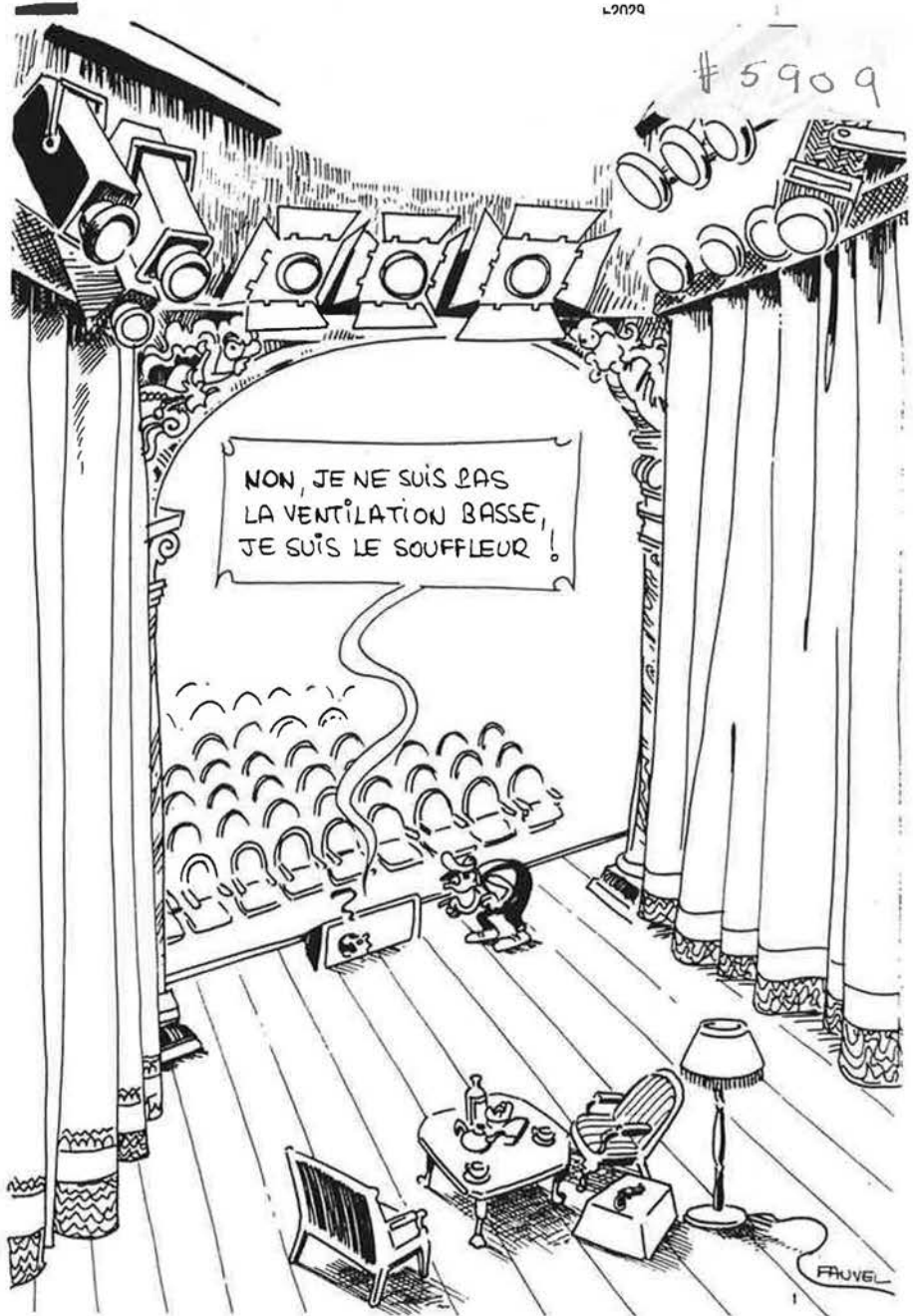
LE TRAITEMENT DES AMBIANCES DES LOCAUX DE GRANDE HAUTEUR

Les choix offerts au concepteur

Jean HUBERT
BET Trouvin Ingénierie

Locaux industriels, halls d'exposition, salles de spectacles, atrioms... les exigences de confort contraignent aujourd'hui le concepteur à mieux prendre en compte le traitement des ambiances des locaux de grande hauteur.

Après avoir présenté les conditions requises dans ces différents bâtiments, ainsi que leurs contraintes spécifiques, Jean Hubert présente l'éventail des systèmes à la disposition du concepteur, en précisant leurs domaines d'utilisation.



Bien que les locaux de grande hauteur ne constituent pas un phénomène nouveau (nos cathédrales plusieurs fois centenaires en témoignent), le traitement d'ambiance de ceux-ci, a pris une importance croissante à mesure que le niveau de confort s'est développé.

Toute personne au travail a besoin de conditions d'ambiance confortables et de nombreuses études ont démontré que la productivité était liée au niveau de confort.

Même en dehors du travail, pour attirer un public dans des locaux de grande hauteur, les conditions d'ambiance doivent être satisfaisantes sinon ces locaux seront désertés (nos cathédrales sont maintenant chauffées).

Le traitement de l'ambiance de ces locaux s'avérant nécessaire, quels choix s'offrent au concepteur ?

Type de locaux

Les choix de principe de traitement sont tout d'abord liés à la nature des locaux de grande hauteur, qui peuvent être regroupés par famille :

- les locaux industriels, dont les hauteurs peuvent dépasser plusieurs dizaines de mètres,
- les halls d'exposition,

- les salles de spectacle : auditorium, théâtre, salle de congrès, etc., et les cages de scène,

- les atrioms, qui depuis les dernières années ont fait leur apparition dans les immeubles du tertiaire.

Il est bien évident que, suivant ces familles, les conditions d'ambiance à obtenir ne sont pas les mêmes ni, par conséquent, le type de traitement.

Quelles conditions obtenir et quelles contraintes prendre en compte ?

En reprenant l'ordre des familles définies ci-avant, les conditions à rechercher et les contraintes à intégrer sont les suivantes :

LOCAUX INDUSTRIELS

Conditions :

- Chauffage des locaux l'hiver.
- Ventilation des locaux en fonction du process.
- Contrôle des conditions de température et d'hygrométrie en toute saison pour le process.
- Contrôle de classe d'empoussièrement.

Contraintes :

- Respect de la réglementation (concentrations additionnelles de polluants, etc.).
- Intégration au process et aux postes de travail.
- Fonctionnement continu ou discontinu.
- Présence ou pas de pont roulant.

HALLS D'EXPOSITION

Conditions

- Chauffage des locaux l'hiver.
- De plus en plus, rafraîchissement l'été.
- Ventilation.
- Désenfumage.

Contraintes

- Utilisation intermittente.
- Modularité de zone.

SALLES DE SPECTACLE

Conditions

- Contrôle de température en chaud et froid.
- Ventilation (amenée d'air réglementaire).
- Désenfumage.

Contraintes

- Maintien d'un niveau sonore faible.
- Diffusion d'air.

ATRIUMS

Conditions

- Contrôle de température en chaud et en froid dans la zone d'occupation.
- Ventilation.
- Désenfumage.

Contraintes

- Diffusion d'air.
- Eviter les condensations sous verrière.

REMARQUE : pour toutes les familles de locaux de grande hauteur, le coût d'investissement est également un critère de choix. Cependant, au seul critère de coût d'investissement, il est préférable de prendre en compte la notion de « coût global » intégrant à la fois les coûts d'investissement et d'exploitation sur une période de cinq à dix ans.

Conséquence de la hauteur sur le traitement thermique des locaux

Dans les locaux de grande hauteur, le phénomène physique de la stratification de l'air, ne peut être ignoré. En effet, des couches d'air à des températures différentes s'établissent naturellement en fonction des différences de poids spécifique de l'air ($1,184 \text{ kg/m}^3$ à $+25^\circ\text{C}$ et $1,225 \text{ kg/m}^3$ à $+15^\circ\text{C}$).

D'autres facteurs tels :

- les effets de parois froides,
- les apports internes,
- le chauffage par air chaud,
- les infiltrations d'air extérieur,
- les extractions en partie haute, accentuent cette stratification.

Dans les périodes de chauffage des locaux de grande hauteur, avec une surface de toiture importante donnant sur l'extérieur, cette stratification est coûteuse en énergie.

En effet, suivant la qualité du bâtiment, l'élevation de température ambiante sous toiture peut atteindre de $0,1$ à 2°C par mètre de hauteur.

Avec 15°C maintenu dans la zone d'occupation, -10°C de température extérieure pour 1°C d'élevation de température par mètre avec un local de 5 m de hauteur, le supplément de déperditions représente 40% par rapport à un calcul qui ne tiendrait pas compte de la stratification.

Dans les périodes de rafraîchissement des locaux de grande hauteur, la stratification contrarie la diffusion d'air froid qui serait soufflé en partie haute.

Ce phénomène s'est trouvé illustré lors de la réalisation des travaux de ventilation-rafraîchissement de l'opéra Garnier.

Pour des raisons budgétaires, les travaux se sont déroulés sur deux saisons avec, la première année, installation des équipements de traitement d'air dans les combles soufflant l'air en partie haute et, la deuxième année, réalisation des collecteurs verticaux avec diffusion d'air sous les fauteuils.

Durant toute la première saison, et la presse ne manqua pas de relater le résultat, la salle fut particulièrement inconfortable. L'air froid soufflé en partie haute était bloqué sur la coupole par la stratification de l'air jusqu'au moment où il obtenait une masse suffisamment importante pour vaincre la stratification et tomber brutalement sur les épaules des spectateurs.

Après les travaux d'installation de soufflage sous les fauteuils, ce phénomène a complètement disparu.

Puisque la stratification existe, il faut bien sûr en tenir compte dans le traitement des locaux, mais aussi savoir l'utiliser.

Dans les locaux où les apports internes sont importants, la stratification doit être utilisée pour leur chauffage. La mise en œuvre de systèmes type réseau de distribution aéraulique équipé de buses d'injection à fort taux d'induction permet d'éviter la création d'un matelas d'air chaud en partie haute avec homogénéisation des températures.

Principes de traitement thermique

Du fait que les conditions à obtenir et les contraintes à intégrer diffèrent suivant les familles des locaux de grande hauteur définies ci-avant, les principes de traitement seront également différents.

LOCAUX INDUSTRIELS

Deux grands principes de chauffage se présentent pour ces locaux :

- les chauffages par air chaud,
- les chauffages par rayonnement.

Chauffage par air chaud

Les principaux systèmes disponibles sont :

- les aérothermes :
 - à gaz : chauffage de l'air dans un échangeur parcouru par les gaz de combustion,
 - à fluide chaud intermédiaire : eau chaude, vapeur, eau surchauffée,
 - électriques.

Domaine d'utilisation. Ces appareils de petites et moyennes puissances sont utilisés surtout pour les locaux divisés permettant d'individualiser les conditions de confort.

- les générateurs d'air chaud : ils doivent être sélectionnés en limitant la température de soufflage et en augmentant le taux de brassage de l'air pour limiter les phénomènes de stratification. Leur emplacement doit être déterminé pour qu'aucun obstacle ne gêne la diffusion de l'air chaud ;

- les générateurs d'air chaud haute température avec réseau de soufflage équipé d'éjecteurs. Là aussi la diffusion d'air ne doit pas être gênée par des obstacles ;

- les générateurs de ventilation tempérée. Dans ces appareils les produits de combustion sont dilués à l'air neuf de ventilation.

Domaine d'utilisation. Les appareils trouvent leur intérêt lorsque les besoins de ventilation en air neuf sont importants. La contrainte réglementaire du taux admissible de CO_2 doit être impérativement respectée.

REMARQUE : pour tous ces appareils, les qualités d'isolation thermique du bâtiment et l'étanchéité aux entrées d'air parasites doivent être particulièrement soignées.

Chauffage par rayonnement

Les principaux systèmes disponibles sont :

- les panneaux rayonnants avec tubes alimentés par fluide eau chaude ou eau surchauffée - installés en plafond au-dessus des ponts roulants ;

- les panneaux radiants gaz où des plaquettes de céramique sont portées à $750-900^\circ\text{C}$ et émettent un rayonnement de longueur d'onde d'environ 3 microns . Le plus souvent les produits de combustion sont rejetés dans le local mais certains appareils sont conçus pour les capter et les renvoyer à l'extérieur. Ces panneaux doivent être installés à des hauteurs supérieures à 5 mètres et, dans le cas de rejet des produits de combustion dans le local, le taux admissible de CO_2 doit être respecté et des précautions sont à prendre contre les condensations du fait de la vapeur d'eau rejetée ;

- les tubes rayonnants au gaz, sont constitués d'un brûleur et d'un tube acier muni d'un déflecteur. La température dans les tubes est comprise entre 200 et 450°C et ils émettent un rayonnement de longueur d'onde d'environ 4 à 6 microns . Les produits de combustion sont en général rejetés à l'extérieur, mais certains appareils peuvent les rejeter dans l'ambiance.

Les tubes rayonnants trouvent leur application dans les locaux de hauteur de 5 à 7 mètres ;

- les panneaux rayonnants électriques, constitués de résistances placées sous un réflecteur isolé. La température peut être suivant les types de $300-350^\circ\text{C}$ et de $750-800^\circ\text{C}$.

Suivant les températures, ils sont installés à 4 ou 5 mètres du sol pour les premiers, à 7 mètres environ pour les seconds ;

- les systèmes à infrarouges courts. Ce procédé développé en Grande-Bretagne est constitué par un filament de tungstène porté à 2 200 °C dans un tube placé sous un réflecteur parabolique dont la qualité détermine l'efficacité de l'appareil. Ces appareils ne sont pas normalisés en France ;

- les planchers chauffants par eau chaude ou électriques. Dans cette catégorie, se trouvent les dalettes chauffantes électriques qui sont réservées au chauffage individuel des postes de travail.

REMARQUES :

Le chauffage par rayonnement s'applique particulièrement aux locaux où les taux de renouvellement et de brassage d'air sont faibles. Il convient aussi aux locaux ouverts en partie sur l'extérieur où le maintien de la température par air chaud serait trop onéreux.

A confort égal, la température ambiante étant plus faible, les déperditions et phénomènes de stratification sont plus faibles d'où un gain énergétique.

Pour les utilisations intermittentes des locaux, leur mise en température est rapide d'où une économie d'énergie complémentaire.

Le rendement des systèmes est particulièrement élevé (> 100 % sur PCI pour ceux qui rejettent les produits de combustion à l'intérieur du local).

Ces produits sont d'autant plus intéressants que les hauteurs sont importantes et le bâtiment mal isolé.

HALLS D'EXPOSITION

Les systèmes par aérothermes et par générateurs d'air chaud, décrits pour le traitement des locaux industriels, trouvent souvent application pour les halls d'exposition.

Il est bien évident que les systèmes rejetant les gaz brûlés dans l'ambiance ne seront pas utilisés dans ces locaux recevant du public.

Compte tenu de la nécessité de maintenir en période estivale une température confortable (3 à 4 °C de moins que la température extérieure), les installations de traitement d'air seront souvent utilisées pour le chauffage et le rafraîchissement.

Pour limiter les coûts énergétiques dus au rafraîchissement de l'air, dans notre climat où les températures extérieures le permettent plus des trois-quarts du temps, la solution « économiseur » avec caisson à trois volets est une bonne solution. (La quantité d'air neuf introduite dans le local est modulée jusqu'à 100 % du débit soufflé suivant la température extérieure).

Une autre solution utilisant le refroidissement adiabatique de l'air peut être utilisée.

Lorsqu'une même installation sert à la fois au chauffage et au rafraîchissement des locaux, et en particulier pour les locaux de grande hauteur, une attention toute particulière doit être apportée à la diffusion de l'air.

Si l'air rafraîchi a une tendance naturelle à descendre vers la zone d'occupation, l'air chaud, lui, a tendance à venir former un matelas en partie supérieure du local.

Le choix du diffuseur approprié est un impératif de bon fonctionnement de l'installation de traitement d'air. Dans le cas des locaux de grande hauteur, il est nécessaire, lorsque l'installation doit servir au chauffage et au rafraîchissement, d'orienter différemment le jet d'air.

Les différents fournisseurs de bouches de diffusion ont en catalogue des grilles ou des diffuseurs motorisables et thermo-orientables permettant de répondre au problème.

SALLES DE SPECTACLES

Les exigences particulières posées par le traitement thermique des salles de spectacle (théâtres, auditorium, etc.) nécessitent une collaboration étroite entre maître d'ouvrage, architecte, spécialistes, et des connaissances approfondies de ce type d'installation.

Le savoir-faire acquis sur les expériences vécues est bien entendu un atout nécessaire mais pas toujours suffisant, compte tenu des spécificités importantes rencontrées au niveau de la construction et de l'utilisation des salles.

- Les contraintes sont nombreuses :
- architecture de la salle (inclinaison des gradins, présence ou pas de balcons, etc.),
 - modulation éventuelle de la salle,
 - forme des sièges,
 - variation des taux d'occupation,
 - évolution forte et rapide des charges internes,
 - incidence de la cage de scène,
 - niveau sonore.

Tous ces éléments peuvent conduire à effectuer des essais avec modélisation de la salle en laboratoire.

L'étude de la grande salle de l'opéra Bastille a conduit le BET Trouvin Ingénierie, en partenariat avec EDF, à réaliser ce type d'essais pour appréhender les mouvements d'air et le comportement thermique de la salle.

Pour les salles à sièges fixes, la meilleure méthode consiste à introduire l'air par le sol, soit au travers de diffuseurs spéciaux conçus particulièrement pour la salle traitée (salle Garnier, Comédie Française, Odéon, etc.), soit des diffuseurs spécifiques du commerce (Trox, Hesco, etc.), soit par les pieds des fauteuils (auditorium Maurice Ravel de Lyon, etc.).

La diffusion d'air par le sol, pour ne pas engendrer de gêne pour le spectateur, particulièrement au niveau des chevilles, doit répondre à des exigences strictes :

- écart de température entre le soufflage et l'ambiance de 3 à 4 °C pour une température ambiante d'environ 24 °C,
- vitesse d'air inférieure à 0,12 m/s.

Des essais de diffusion d'air en laboratoire sont nécessaires pour la conception du diffuseur qui est fortement influencée par la forme du siège.

Dans de nombreuses applications, un débit d'air par siège de 40 m³/h s'est révélé suffisant.

L'extraction et la reprise de l'air s'effectuent en partie haute de la salle, permettant à ce système du type à « déplacement d'air » d'extraire rapidement les polluants (CO₂ - odeurs) émis par la concentration de personnes.

Pour les salles où les conditions d'utili-

sation ne permettent pas de souffler, sous les sièges, la diffusion d'air peut être latérale, au moyen de diffuseurs, fort taux d'induction (jet rotatif, buses, etc.).

ATRIUMS

Le traitement thermique des atriums doit permettre de maintenir des conditions d'ambiance confortables dans la zone d'occupation et de limiter les apports thermiques entre la partie supérieure de l'atrium et les locaux contigus.

Les atriums étant généralement soumis au désenfumage, cette installation, sous réserve de précautions à prendre en accord avec le bureau de contrôle, peut être utilisée pour le traitement d'ambiance en période estivale.

Dans ce cas, l'amenée d'air en partie basse, pour des conditions de température extérieure acceptables, et les évacuations de fumée en partie haute peuvent assurer une ventilation permettant d'évacuer à l'extérieur les charges thermiques et de maintenir la température ambiante requise.

Lorsque la température de l'air extérieur ne permet plus de maintenir la température ambiante, un système de refroidissement par batterie froide ou par échange adiabatique doit être mis en service.

La diffusion de l'air répond aux mêmes règles que celles définies ci-avant pour les locaux du type halls d'exposition.

Lorsque ces locaux ont une ou plusieurs façades extérieures, les mouvements d'air dans ces zones périphériques peuvent être fortement influencés par l'écart de température entre l'air ambiant et la température de paroi. Il en résulte, à proximité des façades, des courants d'air qui sont une gêne pour les occupants.

La création d'un système de soufflage ascendant d'air chaud, qui peut être capté dans les zones « chaudes » du local pour limiter les dépenses énergétiques permet alors de compenser les retombées d'air froid.

Conclusions

Le traitement thermique des locaux de grande hauteur nécessite une bonne connaissance des phénomènes d'écoulement d'air.

Cependant en fonction du caractère spécifique du local à traiter, une étude bien conçue permet la mise en œuvre d'une solution technique adaptée au maintien dans ce local des conditions de confort requises. ■