

A low-angle, perspective shot of a large commercial airplane, likely a Boeing 787 Dreamliner, inside a massive industrial hangar. The aircraft is centered and extends from the bottom towards the top of the frame. The hangar's interior is characterized by a complex network of steel trusses and beams, with various industrial equipment and lighting fixtures visible. The floor is polished and reflects the overhead lights. The overall atmosphere is one of industrial scale and precision.

Hoval

Etude comparative

Confort thermique dans les halls industriels : étude comparative de systèmes de chauffage.

Introduction

60% des salariés estiment que leur environnement de travail influence leur plaisir à venir travailler. Au sein des entreprises de tous secteurs d'activité, le bien-être des salariés est une dimension qui est désormais prise en compte et intégrée dans les politiques RSE. Au-delà de l'impact des conditions de travail et du confort des salariés sur la motivation, leur effet sur la productivité est reconnu. Le confort thermique ressenti par les salariés est une dimension importante du bien-être au travail. Cependant, selon la nature des locaux, il n'est pas toujours facile d'assurer un niveau satisfaisant de confort thermique, notamment au sein des halls industriels, de production, de stockage ou de maintenance. En plus de leur hauteur sous plafond élevée, les ouvertures vers l'extérieur sont souvent nombreuses, sans oublier les obstacles potentiels à une diffusion de l'air à l'endroit voulu (hauts rayonnages, machines etc.).

Vous souhaitez concevoir ou investir dans un système de chauffage pour hall de grande hauteur ou dans sa rénovation ? Vous vous demandez comment faire le meilleur choix pour assurer le confort thermique de vos salariés au sein de vos locaux ? Une simulation réalisée par le bureau d'études SOLSI-CAD sur le logiciel CFD permet d'apporter des éléments objectifs quant à la comparaison de l'efficacité de deux types de systèmes de chauffage pour hall de grande hauteur. Cette étude compare le niveau de confort thermique des opérateurs d'un hall de production aéronautique obtenu avec deux systèmes de chauffage : une première solution avec panneaux rayonnants et une seconde solution avec aérochauffeurs Hoval TopVent® équipés du diffuseur Air-Injector.

Après une rapide présentation des deux systèmes de chauffage testés, nous ferons le point sur leur différences en termes de gestion de température du volume d'air et du confort thermique ressenti par les opérateurs travaillant dans le hall.

I) Présentation des deux systèmes de chauffage

Voici un résumé des données communes aux deux configurations qui ont servi de base à la réalisation des simulations à l'aide du logiciel CFD par le bureau d'études SOLCI-CAD :

- Objectif : obtenir une température de consigne de 18°C dans le hangar.
- Nature et dimensions du bâtiment : hangar aéronautique, longueur 144 m, largeur 83 m, hauteur sous plafond 30 m (12 000 m²) .
- Un avion de type A321 est placé au milieu du bâtiment.
- Déperditions thermiques appliquées : 450 kW.
- Régime d'eau chaude : 80 – 60°C.

Voyons maintenant les caractéristiques générales des deux solutions de chauffage pour hangar.

Solution N°1 : système de chauffage avec panneaux rayonnants

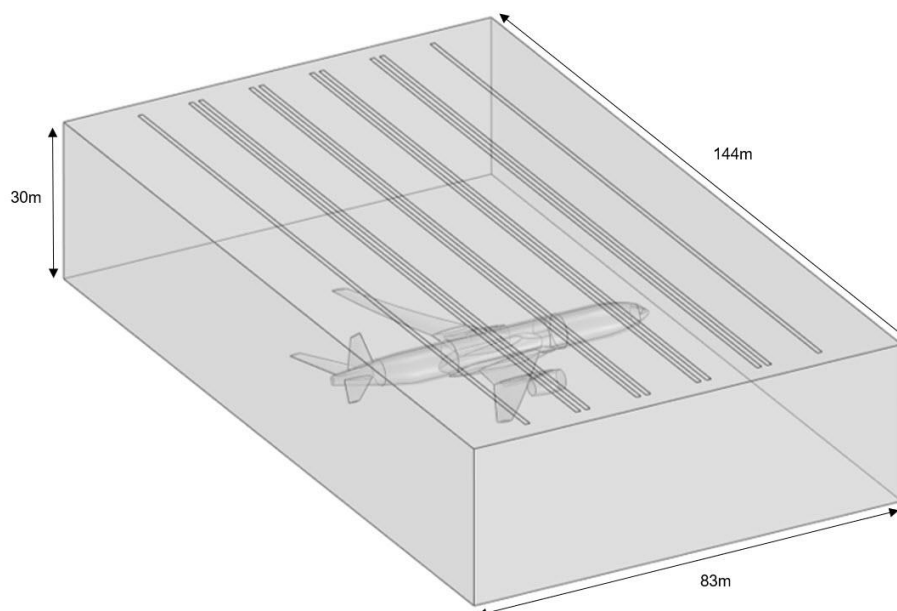


Figure 1: bâtiment étudié – Vue iso

Le hangar est équipé de **10 panneaux rayonnants** de 136m de longueur et 0,9m de large. La température moyenne des panneaux rayonnants est de 75°C pour obtenir une température moyenne de 18°C dans le hangar.

Caractéristiques techniques des panneaux rayonnants:

- Plaque rayonnante en acier d'épaisseur 1,2 mm
- Tubes en acier électro soudé diamètre 28 mm
- Emissivité de la surface rayonnante $\epsilon = 0,96$

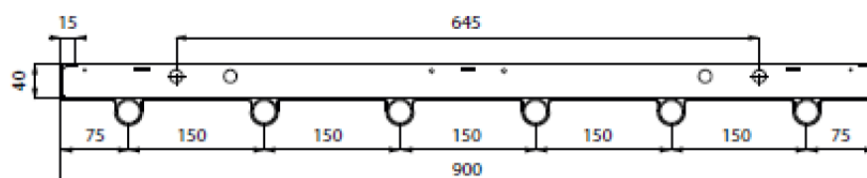


Figure 2 : panneaux rayonnants 6 tubes, largeur 900 mm

Solution n°2 : système de chauffage avec aérochauffeurs TopVent® équipés du diffuseur Air-Injector

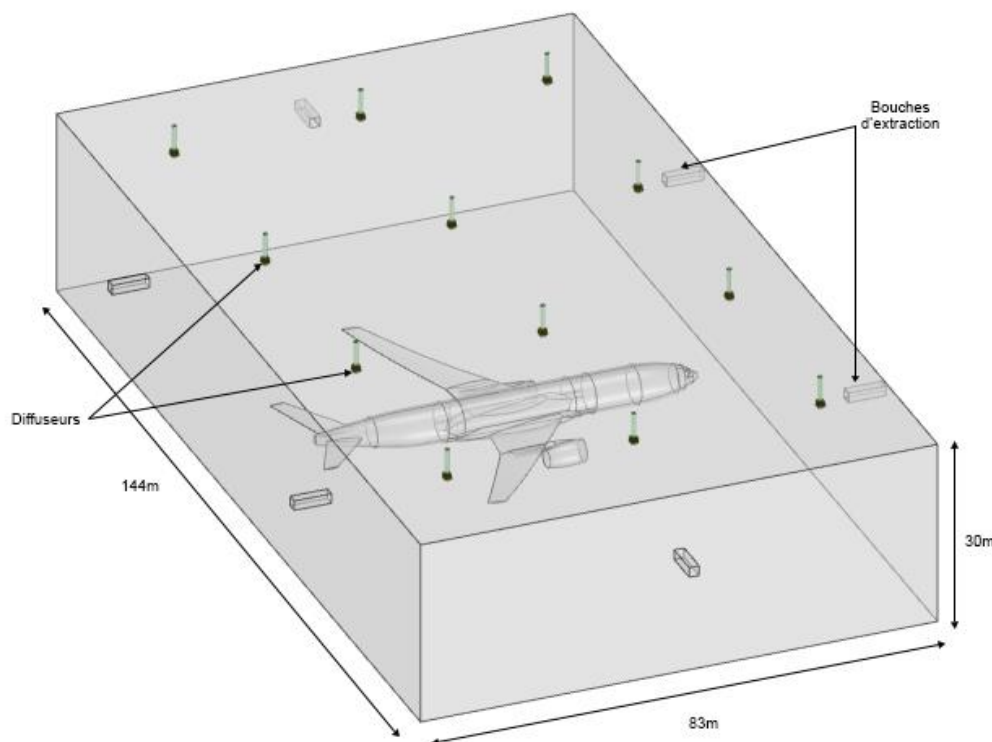


Figure 3 : bâtiment étudié en intégrant un avion de type A 321 – Vue iso du système de chauffage avec aérochauffeurs Hoval TopVent® équipés du diffuseur Air-Injector

Le hangar est équipé de :

- **12 aérochauffeurs Hoval TopVent® TH-9** situés au plafond pulsent de l'air à 31,5°C pour un débit total de 108 000 m³/h,
- 6 bouches d'extraction sont placées à 20m de haut et mesurant chacune 1590 x 1600mm.

Caractéristiques techniques du diffuseur à pulsion giratoire Air-Injector équipant les aérochauffeurs TopVent® :

- Température de pulsion : 31,5°C
- Débit d'air : 9000 m³/h
- Vitesse de rotation du ventilateur : 1041 tr/min

Dans ces conditions de soufflage, les déperditions thermiques appliquées aux locaux sont de 450 kW pour obtenir une température moyenne d'environ 18°C.

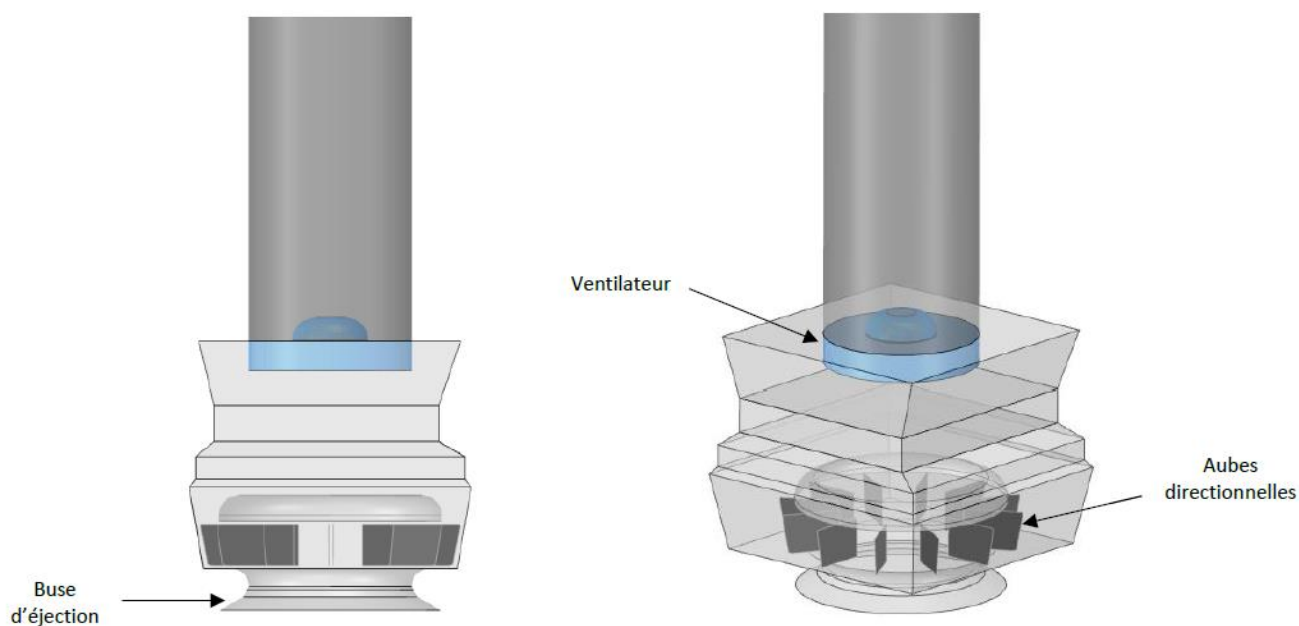


Figure 4: diffuseur à pulsion giratoire Air-Injector équipant les aérochauffeurs Hoval TopVent®

Le système d'introduction et de distribution d'air breveté via l'Air-Injector de Hoval limite la stratification thermique dans les halls. L'écart entre la température ambiante sous toiture et la température extérieure reste faible, tout comme les pertes d'énergie par le toit. L'efficacité et la performance de la diffusion d'air de l'Air-Injector permettent une grande portée des composants, ce qui réduit considérablement le débit d'air requis à l'installation, comparé aux autres systèmes. Les économies se font non seulement à l'investissement, mais aussi sur les besoins énergétiques et les coûts d'exploitation.

II) Comparaison des deux solutions selon la gestion de température du volume

1) Solution n°1 : système de chauffage avec panneaux rayonnants

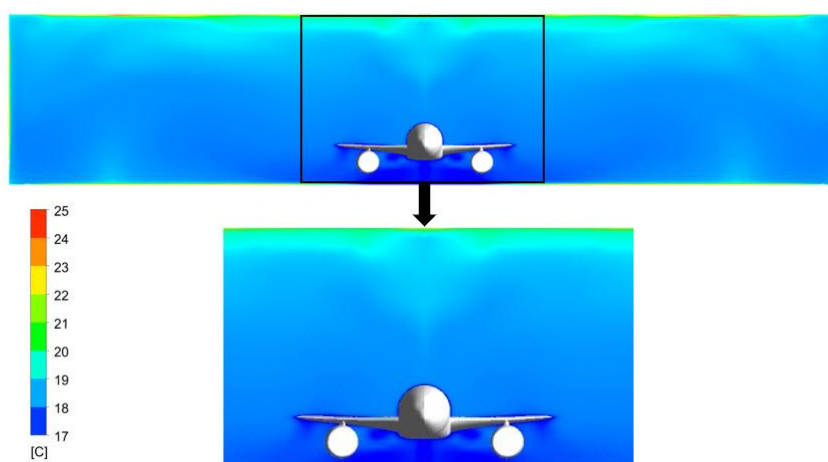


Figure 5 : contours de température dans un plan vertical [°C] – Vue face

D'après l'étude réalisée par SOLCI-CAD, on observe un phénomène de stratification. En effet, la température en partie haute du hangar est de 20-22°C, alors qu'elle est de 17°C au sol et surtout sous l'avion. Cela signifie qu'une part importante de l'énergie fournie par les panneaux rayonnant n'est pas efficace et chauffe une partie non utile du volume. C'est pourquoi la puissance installée en panneaux rayonnant doit être nécessairement plus élevée que celle pour les aérochauffeurs Hoval TopVent® pour obtenir la même température au niveau du sol. Par conséquent, cela génère un surcoût d'investissement, ainsi que des charges d'exploitation plus élevées en raison des déperditions occasionnées par la stratification.

On observe également un phénomène d'ombrage caractérisé ici par la variation de température : une zone de plus faible température correspond à une zone plus ombragée, située en dessous de l'avion qui fait figure d'obstacle à une diffusion homogène de la chaleur.

2) Solution n°2 : système de chauffage avec aérochauffeurs Hoval TopVent® équipés du diffuseur Air-Injector

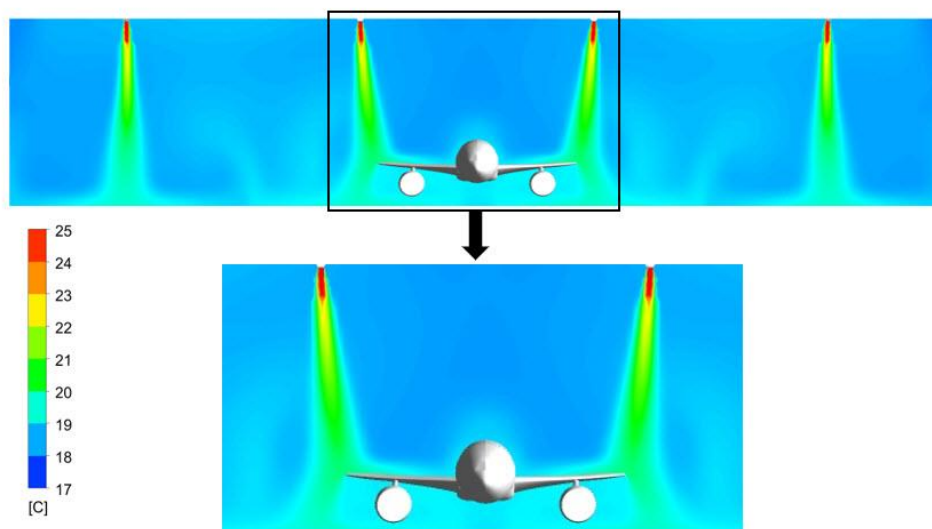


Figure 6 : contours de température dans un plan vertical [°C] – Vue face

On observe que la température de l'air pulsé par les aérochauffeurs Hoval TopVent® s'homogénéise progressivement dans le volume d'air global, y compris sous l'avion. En effet, le brassage d'air qui s'opère avec une technologie de soufflage permet d'atteindre une **température confortable**, même **sous un obstacle**.

3) Comparaison des deux systèmes selon la température rayonnée par les parois

La différence entre la température ambiante et la température rayonnée par les parois (murs, sol etc.) peut être génératrice d'inconfort thermique. Sur le visuel suivant, on observe des différences significatives de la température rayonnée par les parois entre les 2 solutions, dues à la nature des technologies utilisées. En effet, un système avec soufflage d'air va permettre d'augmenter la température de l'air par un **phénomène d'induction**. Grâce à la vitesse des ventilateurs, la chaleur se propage de **manière uniforme**. Ainsi, il n'y a **pas de sensation désagréable** entre une température élevée à proximité de l'appareil générant la chaleur, celle des parois et celle de l'air ambiant.

Avec la solution à panneaux rayonnants, on observe que la température rayonnée par les parois est très différente selon la zone du bâtiment, et que la température rayonnée sous l'avion **peut générer de l'inconfort thermique** (à gauche sur la figure 7, zone d'ombrage à 17°C).

Alors qu'avec le système de chauffage avec aérochauffeurs TopVent® équipés du diffuseur Air-Injector, on observe que la température rayonnée par les parois est **relativement uniforme** dans l'ensemble du bâtiment (à droite sur la figure 7).

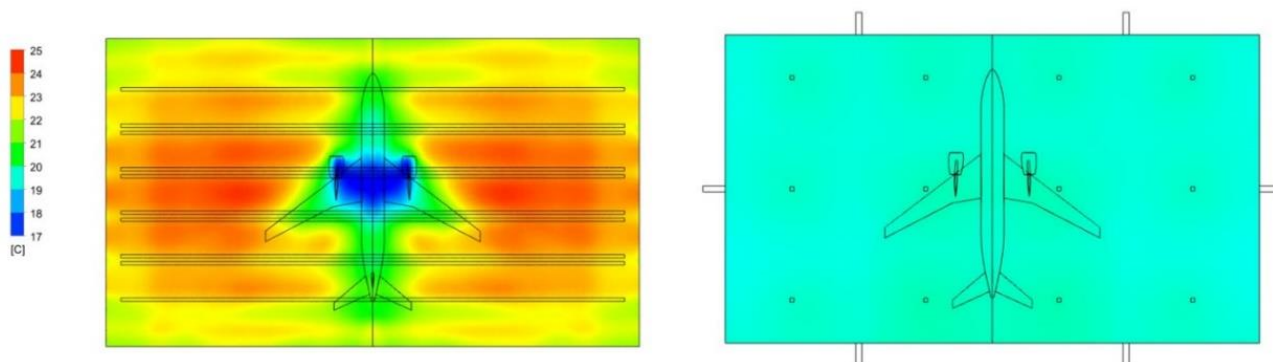


Figure 7 : comparatif entre la température rayonnée par les parois à 1m75 avec la solution à panneaux rayonnants (à gauche) et avec la solution avec les aérochauffeurs Hoval TopVent® équipés du diffuseur Air-Injector (à droite)

III) Comparaison des deux solutions selon le confort thermique

1) Calcul du confort thermique

Faisons le point sur les paramètres qui impactent le calcul du confort thermique et les valeurs retenues pour cette étude :

Paramètre	Définition	Valeur retenue par le cabinet Solci-CAD pour cette étude
Le métabolisme (MET : Metabolic Equivalent of Task)	Production de chaleur du corps	MET de 1,6 (93 W/m ²) et qui correspond à une activité légère, debout
L'habillement (CLO : Clothing value)	Résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement	CLO de valeur 1 qui correspond à une tenue d'intérieur pour l'hiver
La température ambiante de l'air		Reprise d'après les résultats de la simulation
La température rayonnée par les parois	Température moyenne rayonnée dans un plan horizontal à 1m75 du sol	Aérochauffeurs TopVent® : T° 19°C Panneaux rayonnants : T° 23,5°C <i>Températures moyennes rayonnées reprises d'après les résultats de la simulation</i>
L'humidité relative de l'air	Rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale d'eau contenue à la même température	50%
La vitesse de l'air	Influence les échanges de chaleur par convection	Reprise d'après les résultats de la simulation

L'indice de vote moyen prévisible (**PMV – Predicted Mean Vote**) donne l'avis moyen d'un groupe important de personnes qui exprimeraient un vote de sensation de confort thermique en se référant à l'échelle suivante :



Figure 8 : échelle de sensation thermique PMV

L'indice pourcentage prévisible d'insatisfaits (**PPD – Predicted Percentage Dissatisfied**) donne, en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à la situation.

Pour ramener le PPD à une valeur maximale de 10 % (ce qui est généralement l'objectif à atteindre dans un bâtiment), le PMV doit se situer entre – 0,5 et + 0,5.

2) Comparaison des indices prévisibles d'insatisfaits (PDD)

Solution n°1 : système de chauffage avec panneaux rayonnants

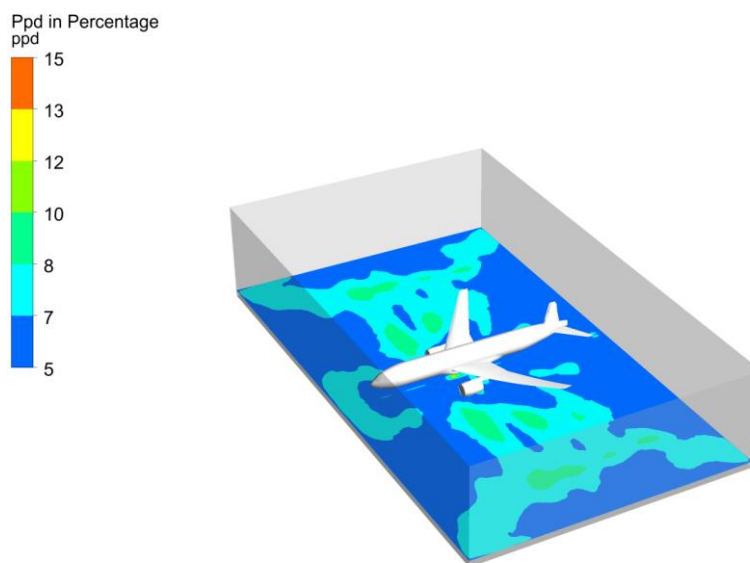


Figure 9: contour du PPD dans un plan à 1,75m de hauteur [%] avec panneaux rayonnants

Le PMV dans un plan à 1,75m de hauteur se situe entre -0,6 (sous l'avion) et +0,5. Le pourcentage de personnes qui ne sont pas satisfaites (PPD) est bon car il est compris entre 5 et 13%. Toutefois il y a un **inconfort thermique que 13% des personnes vont ressentir sous l'avion** (phénomène d'ombrage).

La Figure 9 indique que sous le fuselage et les ailes, la température rayonnée est faible (17°C min.), un inconfort froid sera ressenti. Dans le reste du hall, les utilisateurs présents sont exposés à une température rayonnée élevée (25 °C) et une température de l'air de 18°C, **un inconfort sera également ressenti** en raison du delta T important entre la température rayonnée et l'air ambiant.

Solution n°2 : système de chauffage avec aérochauffeurs TopVent® équipés du diffuseur Air-Injector

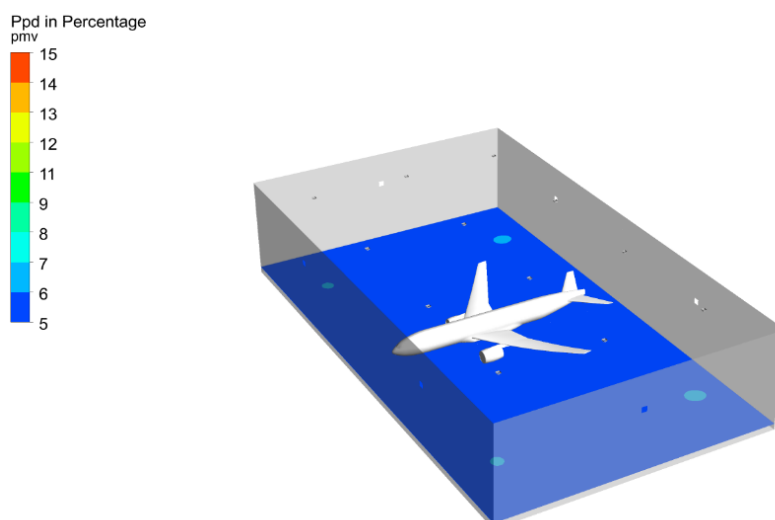


Figure 10 : contour du PPD dans un plan à 1,75m de hauteur [%] avec aérochauffeurs TopVent®

Le pourcentage de personnes qui ne sont pas satisfaites (PPD) est très faible (entre 5 et 7%). **En dessous de l'avion, tout comme dans le reste du hall, la température est homogène et satisfaisante.** Dans cette configuration, la sensation de **confort thermique** est bien présente.

Comparaison du confort thermique dans le hangar de 30m de hauteur

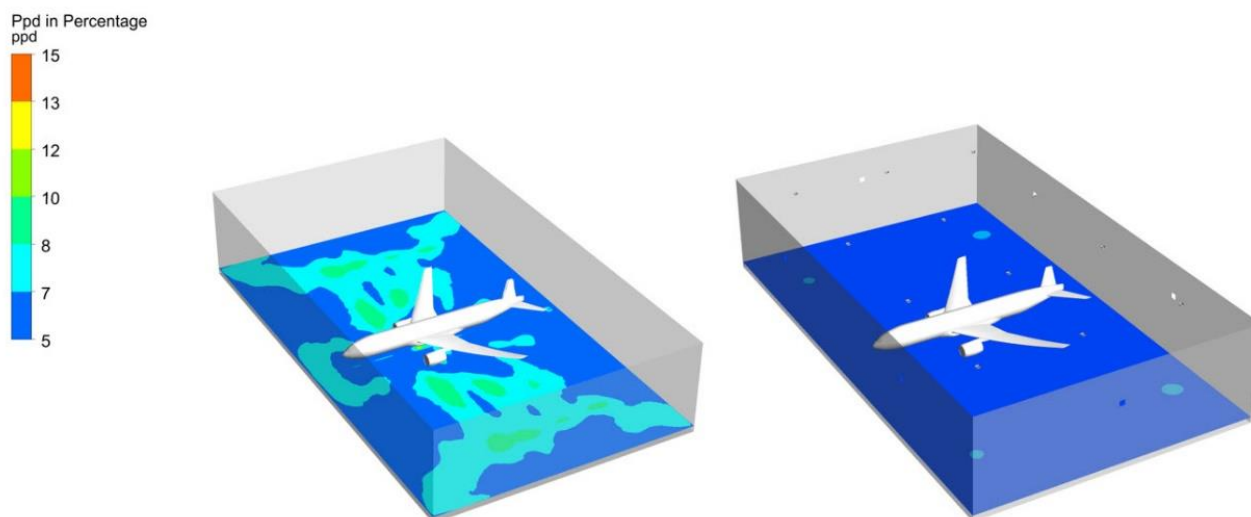


Figure 11: contour du PPD dans un plan à 1,75m du sol

Selon l'étude comparative réalisée par SOLCI-CAD, en observant les contours de PPD dans un plan à 1,75m du sol pour les deux modes de chauffage, on visualise que la solution de chauffage par injection d'air avec diffuseur à pulsion giratoire est meilleure que le chauffage par panneaux rayonnants car le confort thermique est **homogène dans tout le hangar**.

De plus, le pourcentage de personnes insatisfaites est **divisé par 2**. Avec panneaux rayonnants, le pourcentage de personnes insatisfaites (PDD) est de 13%, alors que ce taux est de 6% avec les **aérochauffeurs TopVent® équipés de l'Air-Injector**.

IV) Conclusion

L'étude comparative réalisée par le bureau d'études SOLCI-CAD est riche d'enseignement.

Du point de vue des puissances des systèmes installés, la puissance en panneaux rayonnants devra être **nécessairement plus élevée** que celle pour les aérochauffeurs Hoval TopVent® afin d'obtenir la même température au niveau du sol. Par conséquent, un **surcoût d'investissement, ainsi que des charges d'exploitation plus élevées** sont à prévoir dans le cadre d'une installation avec panneaux rayonnant.

Pour les deux technologies, les vitesses d'air sont très faibles. Il n'y a donc pas d'effet de courant d'air perçu dans le hall, malgré la hauteur élevée sous plafond (30m).

Cependant, **la différence entre la température de l'air et la température rayonnée ou soufflée peut être une source importante d'inconfort**. En effet, avec les panneaux rayonnants, on peut se trouver dans la situation où la température de l'air est de 10 °C et la température rayonnée de 25°C. Le système de chauffage avec aérochauffeurs Hoval TopVent® équipés de l'Air-Injector présente un **avantage indéniable au niveau du confort thermique**. Un système de chauffage avec soufflage est **plus réactif** : la montée en température est plus homogène plus rapidement, même sous un obstacle tel qu'un avion.

La qualité Hoval.
Vous pouvez compter sur nous.

Hoval

En tant que spécialiste en techniques de chauffage et de ventilation, Hoval vous propose une palette complète de solutions fiables, pérennes et économes en énergie. Les appareils de chauffage peuvent être combinés avec les appareils de ventilation pour composer un système complet, qui vous permettra de réaliser des économies d'énergie et de préserver l'environnement.

Hoval fait partie des leaders internationaux dans le domaine des solutions de confort thermique intérieur. Plus de 75 années d'expérience nous incitent à mettre au point des solutions système toujours plus innovantes, qui sont exportées vers plus de 50 pays.

Nous prenons à cœur notre responsabilité vis-à-vis de l'environnement. La recherche d'efficacité énergétique est placée au centre du développement de nos systèmes de chauffage, préparation d'ECS et ventilation.

Responsabilité pour l'énergie et l'environnement

Hoval SAS

Parc d'activités de la Porte Sud
Bâtiment C - Rue du Pont-du-Péage
67118 Geispolsheim
www.hoval.fr

@ hoval.fr@hoval.com

☎ 03 67 22 21 00

