

Zehnder SAS 7, rue Jean Mermoz - BP20166
91006 Evry Cedex

Tél. : 0810 00 71 70
Fax : 0810 00 61 67
pzehnder@zehnder.fr
www.zehnder.fr

zehnder

Le rafraîchissement par panneaux rayonnants

SOMMAIRE

	Page
1. La notion de confort thermique	3
2. L'importance du rayonnement dans le confort thermique	4
3. Le principe de fonctionnement des panneaux rafraîchissants	5 à 6
4. La régulation des panneaux rafraîchissants	7 à 9
Principes de régulation pour les plafonds rafraîchissants	7
Surveillance du point de rosée	7
Contrôle de la ventilation	9
5. La détermination des panneaux rafraîchissants	9 à 10
6. Les avantages des panneaux rafraîchissants Zehnder	11

1. La notion de confort thermique

Le métabolisme humain produit de la chaleur par oxydation des tissus musculaires. Cette chaleur est dissipée dans l'ambiance par rayonnement, par convection, par conduction, et par évaporation. Le corps humain échange donc continuellement de la chaleur avec son environnement immédiat.

Les échanges de chaleur :

Entre deux corps, dont la température est différente, se produit inévitablement un flux calorifique, la chaleur se déplaçant du corps chaud vers le corps froid.

L'échange de chaleur entre l'homme et son environnement se fait de 5 manières :

Par conduction. La conduction est la transmission de chaleur entre deux solides en contact. Pour le corps humain, les échanges par conduction sont observés entre la peau et les éléments de contact (si on marche pieds nus par exemple). Les échanges de chaleur par conduction sont généralement minimes dans les situations générales de la vie courante.

Par convection. La convection se produit entre le corps et le fluide qui l'entoure (l'air ou éventuellement l'eau quand on se baigne par exemple). L'air, au voisinage de la peau s'échauffe en emportant de la chaleur (sensation de refroidissement) ou se refroidit en apportant de la chaleur (sensation de chauffage). Une convection forcée (mouvements d'air liés au déplacement ou à la présence d'un ventilateur par exemple) contribue à augmenter les échanges par convection.

Par rayonnement. Tous les corps émettent et absorbent de l'énergie sous forme électromagnétique. Ce processus d'échange de chaleur ne nécessite pas un contact entre les objets. Il suffit que les deux corps soient à des températures différentes.

La peau humaine, dont la température varie habituellement entre 33 et 36°C, émet un rayonnement vers toutes surfaces plus froides.

Elle reçoit et absorbe le rayonnement provenant des surfaces avoisinantes plus chaudes.

Par évaporation au niveau cutané (sudation) : L'évaporation correspond à la transformation d'un liquide en gaz ou en vapeur.

Quand la température interne du corps s'élève, notre système de thermo-régulation produit de la sueur.

Le processus de vaporisation de la sueur conduit à une absorption d'énergie à la surface de la peau (sous forme de chaleur latente) et permet de débarrasser le corps de son excès de chaleur.

Le transfert de chaleur par évaporation est permanent, même quand l'individu n'a pas la sensation de transpiration.

Par la respiration : le corps perd également une partie de sa chaleur par la respiration car l'air est aspiré à une température moins élevée que l'air expiré.

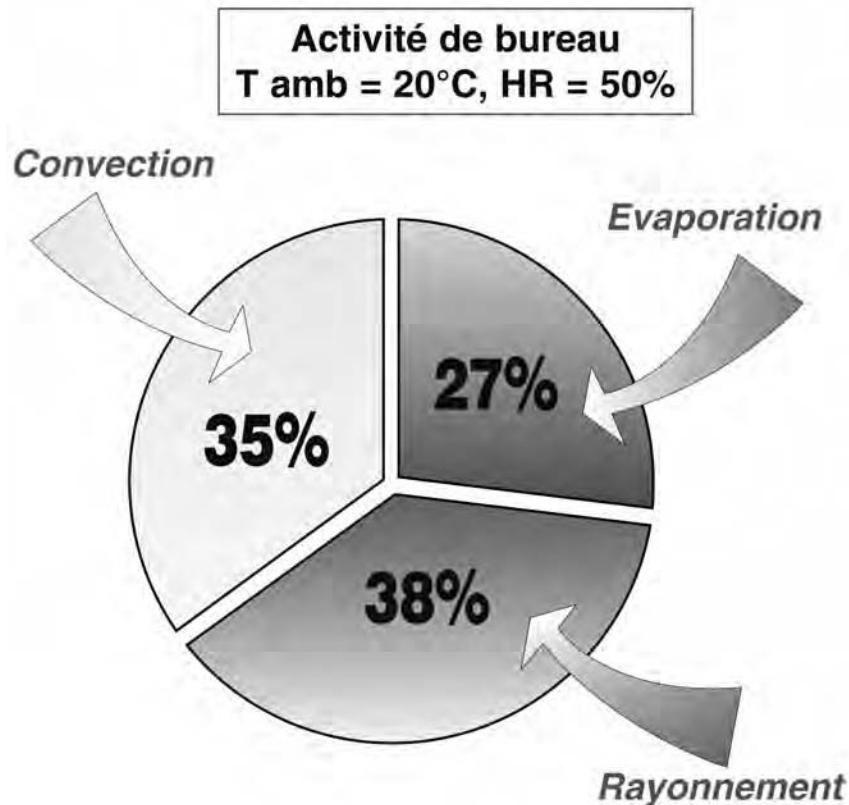
Le confort thermique est assuré lorsque la personne maintient sa température interne 37°C environ. Pour cela, il est nécessaire de contrôler les échanges entre le corps et le milieu extérieur.

2. L'importance du rayonnement dans le confort thermique

Le rayonnement occupe une large place dans les échanges thermiques entre l'homme et son environnement immédiat.

C'est même parfois le mode de transfert prépondérant (voir exemple ci-dessous).

Dans un bureau,
le rayonnement représente
près de 40 % des échanges
thermiques entre les occupants
et leur environnement



La seule température de l'air (celle que l'on mesure grâce au thermomètre), n'est donc pas le seul critère à prendre en compte pour définir le confort thermique.

Le confort dépend également, en grande partie, des températures des parois et des objets du local.

Ces températures déterminent les échanges par rayonnement.

La valeur moyenne (en première approximation) des températures des surfaces des parois d'un local est appelée la **température de rayonnement**

Pour caractériser le confort, qui, comme on l'a vu, dépend en grande partie du rayonnement, on définit une **température résultante qui prend en compte la température de l'air et les températures des surfaces du local.**

Cette température résultante peut être estimée par la moyenne entre la température de l'air et la température de rayonnement :

$$T \text{ résultante} = (T \text{ air} + T \text{ rayonnement}) / 2$$

3. Le principe de fonctionnement des panneaux rafraîchissants

Le principe de fonctionnement des panneaux rafraîchissant Zehnder consiste à faire circuler, en été, de l'eau froide, à une température supérieure au point de rosée de l'air, dans les panneaux installés au plafond.

La surface froide des panneaux assure un rafraîchissement du local, essentiellement par rayonnement des différentes parois et des objets vers le plafond.

La charge thermique est ainsi en partie évacuée par le plafond, permettant une diminution de la température de la pièce.

Les occupants vont également échanger de la chaleur vers le plafond et vers l'ensemble des surfaces dont les températures sont inférieures à la température du corps humain.

Les échanges par rayonnement sont donc favorisés et peuvent ainsi représenter jusqu'à 50 % des échanges de chaleur dans la pièce rafraîchie.

Cet échange par rayonnement permet d'obtenir les conditions de confort dans le local.

↑ Les différentes parois
et les objets rayonnent
vers la surface froide
du panneau



↑ Les occupants
échantent de la chaleur
par rayonnement
vers la surface plus froide
du plafond

Remarque : Dans une pièce équipée de panneaux rafraîchissants, une convection naturelle se crée (l'air chaud est refroidit en partie haute) améliorant les performances thermiques des panneaux. Une partie des échanges thermiques se fait donc par convection naturelle. Celle-ci n'entraîne cependant que de faibles mouvements d'air qui ne sont pas perceptibles pour les occupants.

Avec des panneaux rafraîchissants, les températures de parois (plafond et autres parois) sont plus faibles qu'avec les systèmes de climatisation traditionnels car ces surfaces rayonnent vers le plafond.

Exemple : Dans un local équipé d'un système de rafraîchissement par panneaux rayonnants Zehnder, les conditions suivantes peuvent être observées :

température de surface des panneaux rafraîchissants : 18 °C
température de surface des parois du local 24 °C

La température de rayonnement, correspondant, en première approximation, à la moyenne des températures de surfaces des parois dans le local, est donc de 23 °C

En été, la température de confort est généralement fixée à 25°C environ. Avec les panneaux rafraîchissants, cette température peut donc être obtenue avec une température d'air de 27 °C.

Avec un système de climatisation traditionnelle par air, les températures de surface des parois s'établissent uniformément à 25°C environ. La température de l'air est également proche de 25 °C.

Avec les panneaux rafraîchissants Zehnder, il est donc possible d'obtenir les mêmes conditions de confort avec des températures d'air plus élevées d'environ 2 °C qu'en climatisation classique.

Les calculs de besoins et des puissances frigorifiques à installer, peuvent donc être réalisés à partir de températures supérieures qu'avec des systèmes traditionnels.

Pour l'utilisateur le choc thermique avec l'extérieur est moindre, les échanges par rayonnement avec les différentes surfaces du local sont augmentés, le confort est obtenu de façon douce et tout à fait naturelle.

Puissance frigorifique des panneaux rafraîchissants :

Conformément aux normes DIN 4715 et EN 14037, la puissance des panneaux chauffants / rafraîchissants est déterminée par l'écart entre la température moyenne de l'eau dans l'eau panneau et la température de l'air ambiant.

$$\Delta T = (T_{\text{retour}} + T_{\text{aller}}) / 2 - T_{\text{air}}$$

Les puissances frigorifiques correspondant aux différents ΔT , sont données dans les documentations respectives de chaque produit.

Généralement en rafraîchissement, un ΔT d'au moins 10 K peut être retenu pour déterminer la puissance frigorifique.

Exemple :

$T_{\text{air}} = 28^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{aller}} = 16^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{retour}} = 19^{\circ}\text{C}$
 $T_{\text{moyenne panneau}} = (19 + 16)/2 = 17,5^{\circ}\text{C}$
 $\Delta T = 10,5 \text{ K}$

Rappel : Le calcul des charges de climatisation consiste à rechercher la valeur maximale de la somme de tous les apports calorifiques d'un local.

Or, il est rare que tous les phénomènes occasionnant des apports surviennent au même moment. Par exemple un fort ensoleillement est rarement simultanément à un éclairage important.

De plus, les apports par rayonnement (occupants, éclairage, matériel, ensoleillement) ne sont pas directement transmis à l'air du local. Ils sont en partie absorbés par les parois qui, selon leurs inerties, les restituent à l'air ultérieurement.

Les charges sont donc amorties et différées dans le temps vis-à-vis des apports instantanés.

Avec un plafond rayonnant les murs sont refroidis par le plafond ce qui permet de diminuer en partie ces charges par rayonnement.

Le plafond rafraîchissant permet donc d'absorber les pointes de charge.

L'expérience montre que le confort est obtenu dans les locaux même si les panneaux ne couvrent pas la totalité des charges calculées au départ du projet.

4 La régulation des panneaux rafraîchissants

La régulation des panneaux rafraîchissants doit permettre un fonctionnement sans aucune condensation au plafond ou dans le faux plafond.

La température de rosée : Lorsque l'on refroidit de l'air, il existe une température, dite température (ou point) de rosée, à laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense pour former des gouttelettes d'eau. Le point de rosée est fonction de la température de l'air et de la quantité d'eau sous forme de vapeur d'eau dans l'air. Ce dernier critère est caractérisé par l'humidité relative HR et exprimé en %. Plus la quantité d'eau contenue dans l'air est grande, plus le point de rosée est élevé.

Sur un plafond rafraîchissant, il y a risque d'apparition de condensation si la température de l'eau dans le panneau s'abaisse au-dessous de la température de rosée de l'air ambiant.

Principes de régulation pour les plafonds rafraîchissants

La régulation de puissance du panneau rafraîchissant peut s'effectuer en contrôlant la température de l'eau dans le panneau ou le débit d'eau froide dans le panneau.

Dans le cas d'une régulation de température, le débit est constant dans le plafond rafraîchissant. La variation de la puissance est proportionnelle à la variation de température de départ de l'eau froide, selon une loi d'eau traditionnelle, en fonction de la température extérieure ou de la température ambiante. Ainsi, il est possible de parfaitement adapter la puissance des panneaux aux besoins réels de l'installation et de contrôler précisément la température dans le panneau pour éviter les risques de condensation (voir ci-dessous). Une pompe doit être ajoutée en plus de la vanne (circuit de mélange ou à injection) pour chaque unité de régulation.

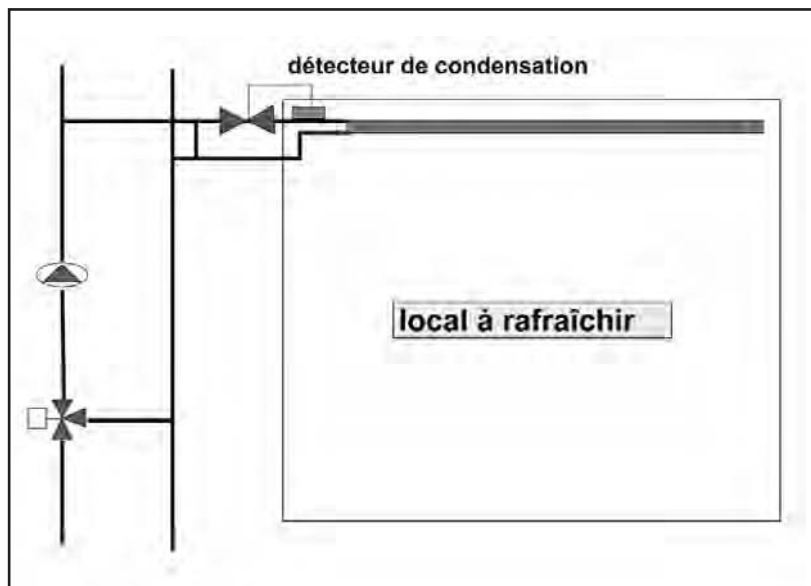
Dans le cas d'une régulation à débit variable la transmission de puissance n'est pas proportionnelle au débit. Lors d'une petite ouverture de vanne, correspondant à un débit faible, la puissance chute de façon non proportionnelle au débit.

Surveillance du point de rosée.

Différentes méthodes sont possibles pour contrôler la condensation dans les panneaux rafraîchissants. Nous vous présentons, ci-dessous, deux façons de réguler la température dans les panneaux en évitant la formation de condensation.

Régulation centrale de la température de l'eau froide et détection locale de la condensation

La solution la plus simple consiste à utiliser un détecteur de condensation commandant en tout ou rien l'alimentation en eau glacée. La température de départ pour les plafonds rafraîchissants est réglée au niveau central pour l'ensemble du bâtiment en fonction de la température et de l'humidité de l'air extérieur. Un détecteur de condensation est placé dans le local, sur l'alimentation en eau froide des panneaux. Lors d'une détection de la condensation, la régulation arrête l'apport d'eau glacée par coupure du circulateur ou fermeture d'une électrovanne de sécurité.



Régulation centrale de la température de l'eau froide et détection locale de la condensation

La solution la plus simple consiste à utiliser un détecteur de condensation commandant en tout ou rien l'alimentation en eau glacée.

La température de départ pour les plafonds rafraîchissants est réglée au niveau central pour l'ensemble du bâtiment en fonction de la température et de l'humidité de l'air extérieur.

Un détecteur de condensation est placé dans le local, sur l'alimentation en eau froide des panneaux.

Lors d'une détection de la condensation, la régulation arrête l'apport d'eau glacée par coupure du circulateur ou fermeture d'une électrovanne de sécurité.

Régulation locale avec surveillance du point de rosée

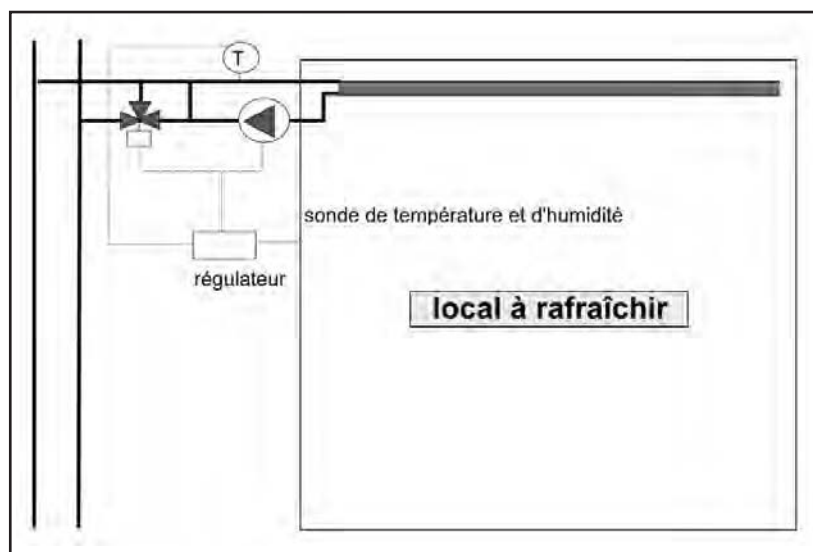
La surveillance s'effectue localement dans tous les locaux.

La température de rosée est calculée pour chaque local et la température de départ est réglée individuellement à une valeur toujours supérieure au point de rosée de l'air ambiant.

Le régulateur calcule continuellement le point de rosée à partir de l'humidité relative et de la température ambiante.

La température de départ est décalée individuellement pour chaque local selon le point de rosée.

La température d'eau froide, dans le panneau, est donc la plus basse possible selon les besoins de rafraîchissement du local, tout en restant en permanence supérieure à la température de rosée de l'air ambiant.



Remarques : Si l'ouverture des fenêtres est possible, l'alimentation en eau glacée du plafond rafraîchissant pourra être coupée par un contact de feuillure pour économiser l'énergie.

Contrôle de la ventilation :

Le risque de condensation du plafond est réduit si l'air neuf introduit dans le local est traité en amont. La ventilation évacue l'humidité du local et assure, par exemple avec de l'air pré refroidi et déshumidifié, le fonctionnement fiable et optimal du plafond rafraîchissant.

La température du point de rosée de l'air ambiant restera en effet suffisamment basse pour permettre au panneau de fonctionner avec de l'eau plus froide, si la température et l'humidité de l'air soufflé sont contrôlées. Par exemple, à une température de 25°C et une humidité relative de 50%, la température de rosée de l'air intérieur est de 13,9 °C, ce qui permet au panneau rafraîchissant de fonctionner avec une température d'eau froide inférieure à 15 °C.

De plus, le contrôle de l'humidité de l'air garantit également des conditions de confort optimales pour les occupants.

Enfin, l'air neuf peut être soufflé par des bouches de soufflage aménagées dans le plafond afin d'augmenter la puissance frigorifique du plafond rafraîchissant grâce à un accroissement de la convection.

Remarque : Valeurs caractéristiques de l'air extérieur : Les conditions de base d'été dans différentes régions françaises sont les suivantes :

	Température sèche de l'air extérieur (°C)	Humidité Relative (%)	Température de rosée de l'air extérieur (°C)
Lille	28	40	13,2
Paris	30	40	15
Rennes	28	45	15
Nantes	30	35	12,9
Strasbourg	30	40	15
Lyon	32	35	14,7
Marseille	34	35	16,5
Bordeaux	32	40	16,5
Toulouse	32	35	14,7

5 La détermination des panneaux rafraîchissants

Les panneaux rafraîchissants **Zehnder** sont des systèmes parfaitement réversibles et peuvent donc être utilisés en hiver pour le chauffage des locaux.

Généralement, dans le cas d'une utilisation réversible des panneaux, le débit d'eau circulant dans les panneaux est identique en hiver et en été.

Dans ce cas, **la détermination doit se faire à partir des besoins de froid.**

La méthode ci-dessous peut être suivie pour effectuer le dimensionnement et déterminer les panneaux rayonnants chauffants et rafraîchissants **Zehnder** :

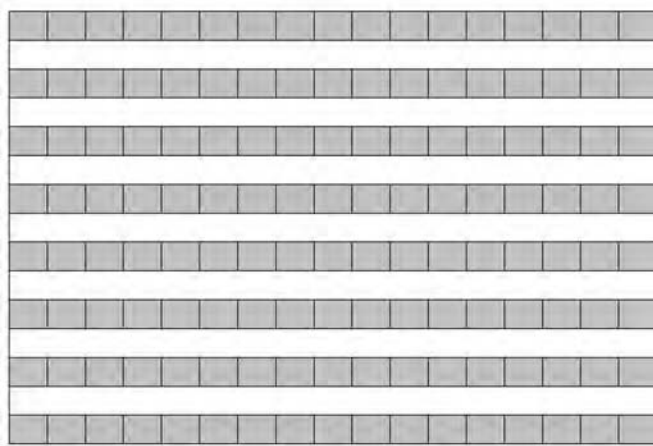
1. Déterminer la surface de plafond pouvant être équipée de panneaux rafraîchissants.
2. Choisir un régime de températures d'eau froide dans le panneau pour le fonctionnement en été. Un régime d'eau de 16°C/19°C permet généralement d'assurer un fonctionnement sans risque de condensation. (Une sonde de détection de condensation, placée sur l'arrivée d'eau froide assurera la sécurité anti-condensation).

3. Selon le modèle de panneau retenu, se reporter aux tableaux de puissances (voir notices techniques des produits) pour connaître la puissance froid au mètre pour chaque modèle.
4. Calculer la puissance froid totale installée : $P_{totale} = P_{ml} * \text{longueur installée}$
5. Calculer le débit correspondant pour chaque panneau : $Q = P_{panneau\ froid} / 0,86$ (Tretour-Taller)
6. Déterminer la puissance nécessaire pour le chauffage par panneau :
 $P_{panneau\ chauffage} = (\text{besoins chaud} * \text{longueur panneau}) / \text{longueur totale installée}$
7. Selon le modèle de panneau retenu, se reporter aux tableaux de puissances (voir notices techniques des produits) pour connaître le ΔT correspondant.
8. En déduire le régime de température à utiliser pour le chauffage.

Remarque : Si les débits dans les panneaux sont différents en été et en hiver, la détermination peut se faire séparément en froid et en chaud.

Exemple : Local de 11 m x 8 m à chauffer et à rafraîchir.
 Hauteur sous faux- plafond 2,70 m
 Faux plafond en mailles standard 600x600mm

Plafond
 standard
 mailles
 600 x 600



Besoins froid : 8 kW

Besoins chaud : 10 kW

Températures ambiantes : été 28°C hiver 20°C

Panneau intégré dans le faux plafond : modèle **zehnder** reverse type zrs 8 avec isolation

- Surface de plafond pouvant être équipée de panneaux : Une bande de 600 sur deux peut être équipée soit 7 panneaux de 10 mètres de long (environ 50 % de surface de plafond active)
- Régime de température été : 16/19°C
- ΔT été : $28 - 17,5 = 10,5$
- Puissance froid correspondante : voir documentation **zehnder** reverse modèle zrs 8 - $P = 93W/ml$
- Puissance froid totale installée : $P_{froid} = P_{ml} * 10 * 7 = 6510 W$
- Débit dans chaque panneau : $Q = P_{froid} / 0,86$ (19-16) = 360 l/h
- Puissance chauffage nécessaire : 70 mètres de panneaux installés donc $P = 1000 / 70 = 143 W/ml$.
- ΔT hiver correspondant : $\Delta T = 24,7 K$
- Régime de température en chauffage :

$$\Delta T = (T_a + T_r) / 2 - 20 = 24,7$$

$$T_a - T_r = P_{panneau} / 0,86 * Q = 143 * 10 / 0,86 * 360 = 4,62$$

$$\text{Donc } T_a = 47^\circ C$$

$$T_r = 42^\circ C$$

6 Les avantages des panneaux rafraîchissants Zehnder

▷ Un système sans bruit et sans courant d'air, pour un confort en douceur

Les panneaux rayonnants rafraîchissants **Zehnder** permettent de retrouver le confort et la fraîcheur en douceur, de façon naturelle, sans ventilateur de soufflage, contrairement aux climatisations traditionnelles.

Absence de courants d'air : Avec les systèmes traditionnels de climatisation, les occupants sont souvent sensibles aux courants d'air, chauds ou froids, pouvant provoquer des chocs thermiques et des sensations d'inconfort.

Les panneaux rafraîchissants fonctionnent de façon statique, essentiellement grâce au rayonnement, et n'engendrent que de faibles mouvements d'air, due à une convection naturelle, et imperceptibles par les occupants.

Silence de fonctionnement : Le fonctionnement des panneaux rafraîchissants Zehnder est totalement silencieux puisqu'il n'y a aucun bruit de ventilateur.

▷ Une hygiène assurée

Dans les systèmes traditionnels, les filtres, les gaines et les bacs de rétention, sont des sources potentielles de prolifération bactérienne.

Avec les panneaux rafraîchissants, les occupants ont l'assurance d'un système parfaitement hygiénique.

▷ Des appareils sans entretien

De plus, les panneaux rafraîchissants ne nécessitent aucun entretien spécifique.

Il n'y a pas de filtre à changer, aucune gaine ou appareil terminal à nettoyer.

Outre l'assurance sur le plan de l'hygiène, les panneaux rafraîchissants n'entraînent donc aucuns coûts de maintenance pour le maître d'ouvrage ou pour le gérant.

▷ Un système réversible

Les panneaux rayonnants Zehnder constituent un système réversible idéal pour le chauffage des locaux en hiver et leur rafraîchissement en été.

L'eau circulant dans les panneaux peut provenir indifféremment d'un groupe de production de froid, d'une chaudière, ou d'une pompe à chaleur réversible.

Il est donc possible, si nécessaire, d'échelonner les investissements.

Il est par exemple tout à fait possible, dans un premier temps, de raccorder les panneaux sur le réseau de chauffage existant et d'investir ultérieurement dans un groupe de production de froid.

▷ Un système performant du point de vue énergétique et écologique

En été, les panneaux rafraîchissants **Zehnder** fonctionnent avec de l'eau froide, à des températures proches de 16°C.

La consommation d'énergie est donc beaucoup plus faible que sur les systèmes traditionnels qui utilisent de l'eau glacée, à des températures de 7°C environ.

De plus, l'absence de ventilateur de soufflage contribue à réduire les consommations électriques .

Les panneaux rafraîchissants **Zehnder**, associés par exemple à une pompe à chaleur réversible, constituent donc un système de rafraîchissement « basse énergie ».

Compte tenu des températures d'eau froide circulant dans le panneau, il est même possible de récupérer les frigories d'une nappe phréatique pour assurer le rafraîchissement du local.

En hiver, pour le chauffage, des régimes d'eau « basse température » peuvent également être retenues.

En abaissant la consommation d'énergie, le système permet donc de réduire les rejets de gaz à effet de serre au niveau de la production d'énergie primaire.

Il constitue, à ce titre, un système de confort d'été écologique et respectueux de l'environnement.