

*Le calcul des plafonds KaRo s'effectue en plusieurs étapes:  
Calcul de la charge frigorifique et calorifique, puis choix du plafond  
KaRo, détermination des températures d'eau et du débit.*

*On présente ces étapes et on explicite le déroulement du calcul sur un  
exemple.*

## SOMMAIRE

1	Déroulement du calcul	1
2	Valeurs de la résistance conductive R	2
3	Puissance	2
4	Facteurs de correction	5
5	Exemple de calcul	8
6	Commentaires	11

## 1 Déroulement du calcul

La charge frigorifique du local est déterminée par application des méthodes habituelles (Ashrae, Carrier,...).

Pour en déduire les performances requises du plafond, on en soustrait les apports  $P_v$  dus à la ventilation du local:

$$P_v = 0,34 \cdot Q \cdot (T_2 - T_1)$$

où

Q	m <sup>3</sup> /h	Débit d'air,
T <sub>1</sub>	°C	température de soufflage
T <sub>2</sub>	°C	température de reprise.

On détermine alors la surface à installer en tenant compte de la résistance conductive R du plafond et de la différence de température  $\Delta T = T_m - T_a$  entre la température moyenne d'eau et la température du local.

Enfin, des corrections sont nécessaires pour tenir compte de l'influence de la géométrie du local et du mode de ventilation.

## 2 Valeurs de la résistance conductive R

Les valeurs de R dépendent du type de plafond. Elles sont calculées ou déduites de mesures effectuées selon les normes DIN ou FGK.

Voici les valeurs correspondant à des cas courants:

Type de paroi	l W/m.°K	R m².°K/W
<b>Nattes sous enduit</b>		
Enduit de plâtre 15 mm	0,58	28
Enduit de plâtre 20 mm	0,58	36
Enduit à la chaux 15 mm	0,87	18
Enduit à la chaux 20 mm	0,87	23
Enduit ciment 15 mm	1,50	13
Enduit ciment 20 mm	1,50	15
Enduit acoustique 2 mm épaisseur	0,12	70
<b>Plaques de plâtre</b>		
Plaque de plâtre cartonnée 12,5 mm épaisseur		60
Fermacell 10 mm épaisseur		55
<b>Plafond métallique</b>		
Variable selon mode de fixation.		35 à 50
<b>Divers</b>		
StoSilent épaisseur 10 mm		75
Autres	<i>nous consulter</i>	

Tableau 1: Valeurs de R pour différents types de plafond KaRo

## 3 Puissance

La puissance émise par le plafond KaRo dépend de la différence de Température  $\Delta T = T_m - T_a$  entre l'eau et l'air du local et du coefficient R; elle se lit sur les figures 2 à 5

3.1 Cas des plafonds en mode froid.

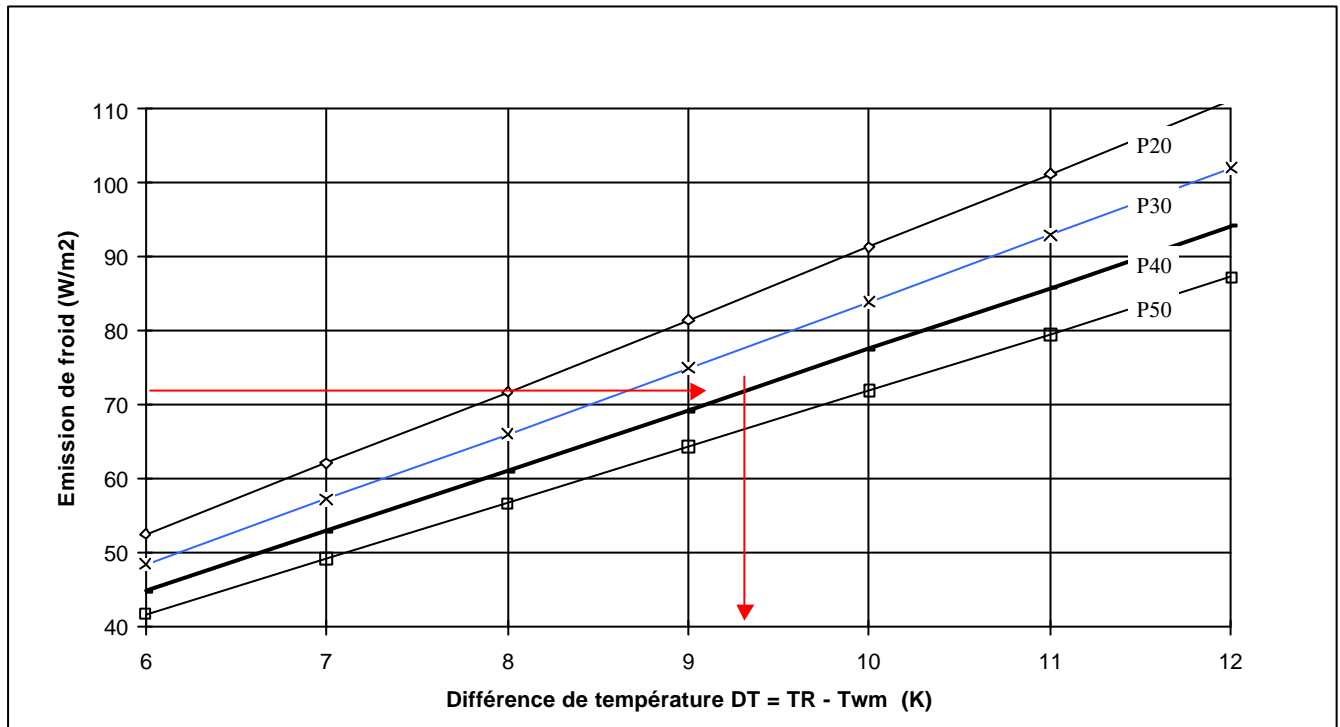
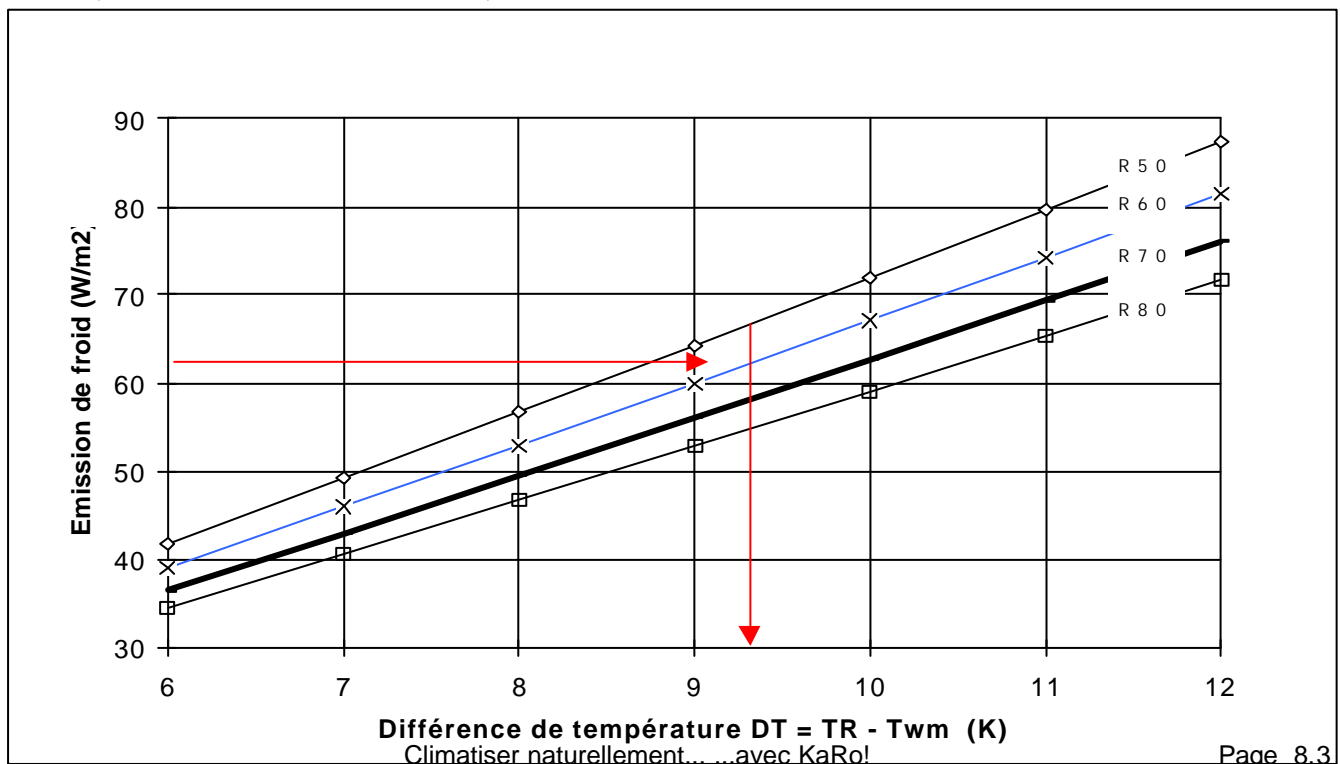


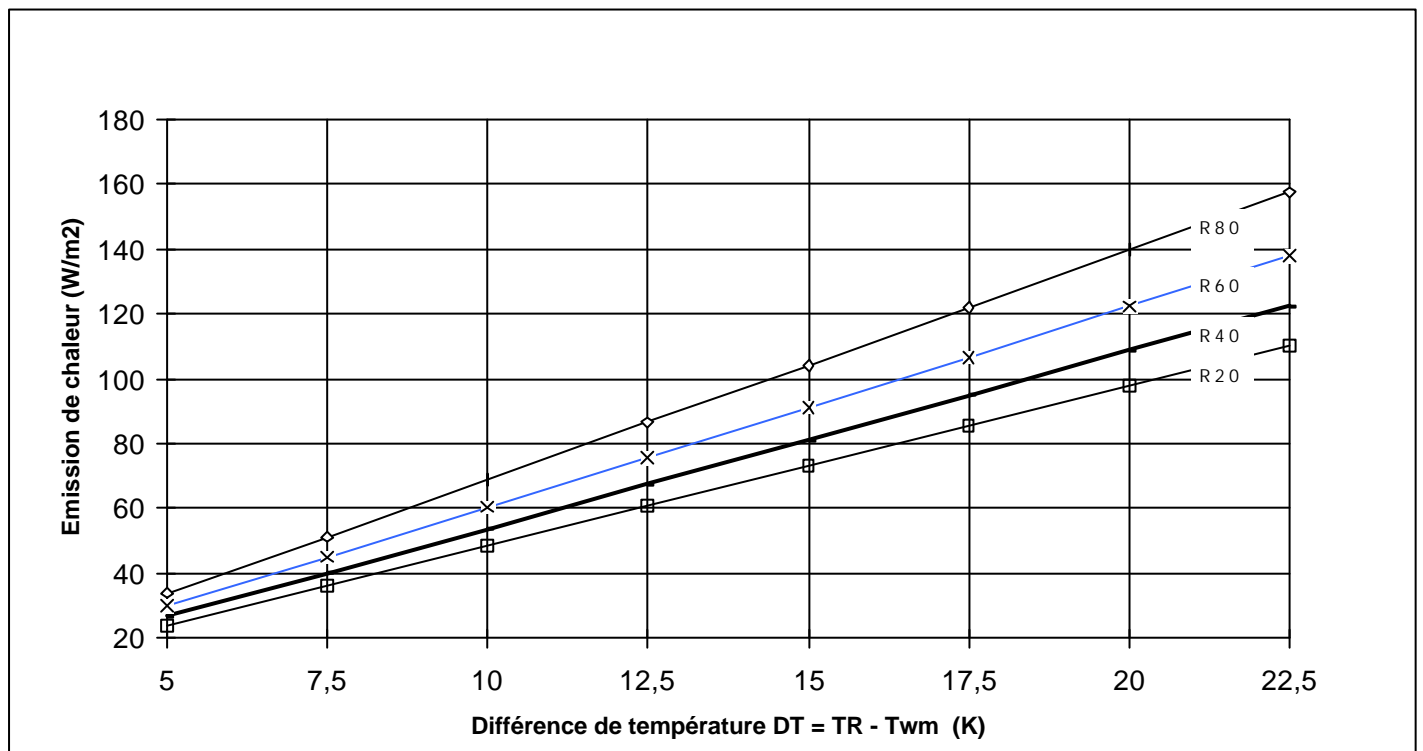
Figure 2: Diagramme de puissance froid pour le plafond KaRo. Exemple: Puissance requise : 75 W/m², valeur de R : 50. On lit: ΔT = 9,1°K.



**Figure 3 : Diagramme de puissance froid pour le plafond KaRo**

Exemple: Puissance requise : 62 W/m<sup>2</sup>, valeur de R : 60. On lit:  $\Delta T = 9,3^{\circ}\text{K}$ .

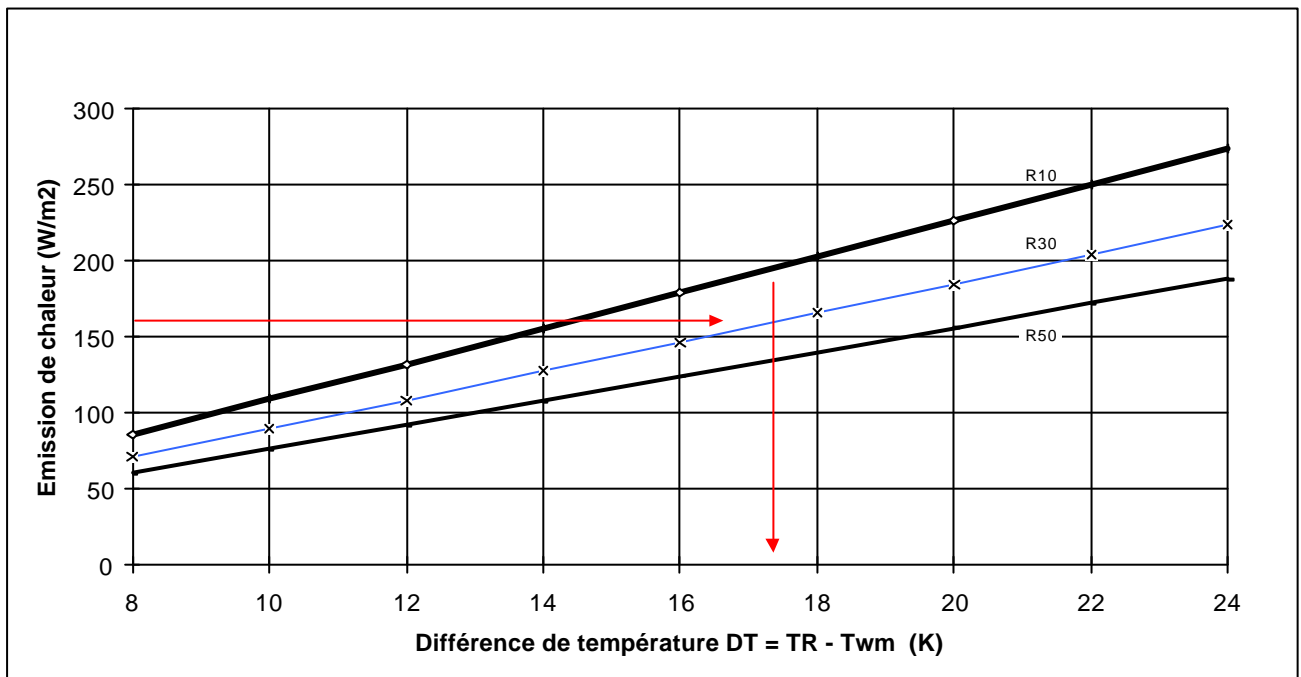
### 3.2 Cas des plafonds en mode chaud.

**Figure 4 : Diagramme de puissance chaud pour le plafond KaRo**

### 3.3 Cas des nattes en paroi verticale.

Il est parfaitement concevable d'installer des nattes en parois verticales: A l'inverse des plafonds pour lesquels la puissance émise est plus importante en mode froid qu'en mode chaud.

Les puissances émises par les parois verticales sont, qu'on soit en chaud ou en froid, égales: la figure 5 donnant la puissance émise par une paroi verticale est donc utilisable dans chacun de ces deux cas.



**Figure 5: Puissance émise par le mur KaRo**

Exemple: enduit de plâtre, puissance de chauffage: 165 W/m²; valeur caractéristique R lue sur le tableau 3:  $R = 32$ ; différence de température nécessaire  $\Delta T = 17,4$  °K

#### 4 Facteurs de correction

Les figures 3 à 5 ont été établies pour des conditions standards:

Facteur d'influence	Conditions standard
Hauteur du local	3 m
Part des apports externes dans le bilan thermique	0 %
Taux de recouvrement du plafond par les nattes KaRo	90 %
Mode de ventilation	Ventilation par ouverture de fenêtres ou par déplacement

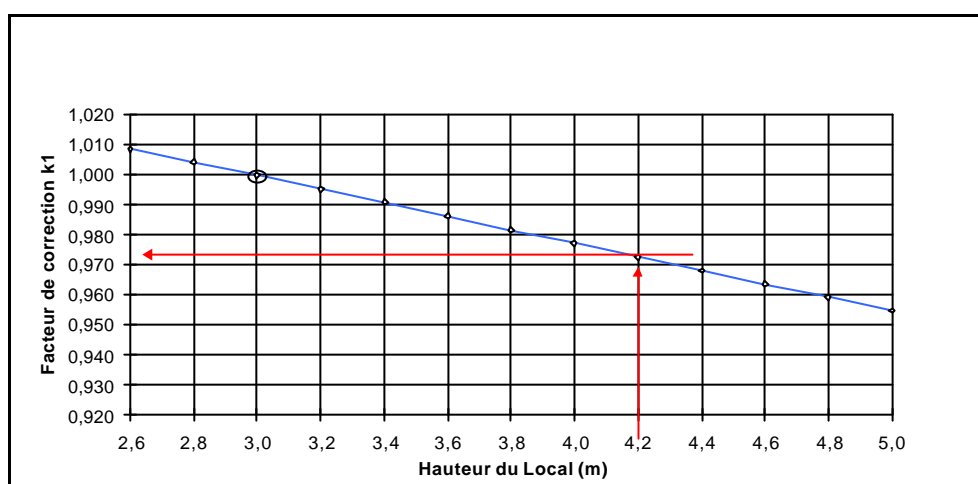
Tableau 2: Conditions standard

Lorsqu'on s'écarte de ces conditions standard, les puissances lues sur ces figures doivent être multipliées par des facteurs de correction.

*Nota:* les facteurs ci-dessous ont été déterminés dans le cas de plafonds en mode froid; ils restent utilisables pour les plafonds en mode chauffage.

#### 4.1 Facteur de correction de la hauteur

La situation standard correspond à une hauteur du local de 3 m. Pour des hauteurs plus grandes, la puissance émise diminue conformément à la courbe de la figure 6.



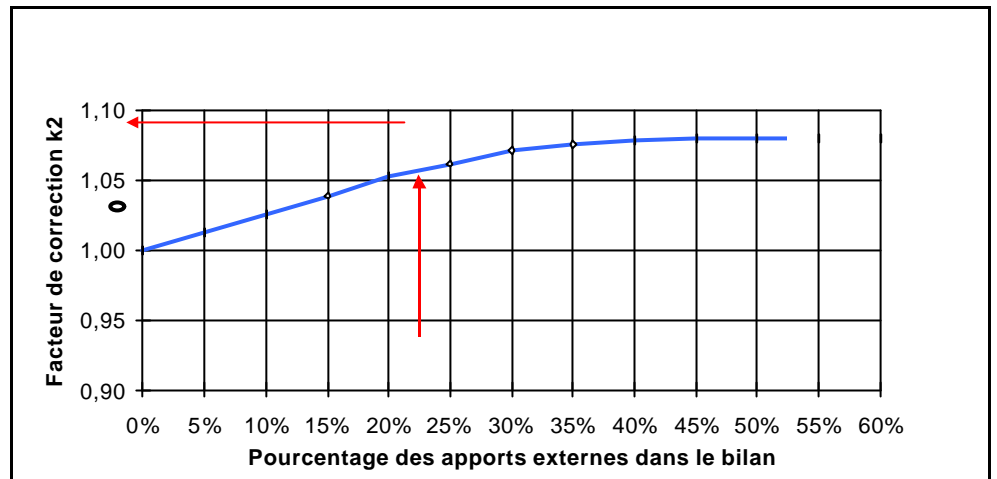
**Figure 6 : facteur k1, correction de hauteur**

Exemple: Hauteur du local: 4,2 m; Facteur de correction = 0,975

#### 4.2 Facteur de correction de charge

Lorsque la part des apports externes dans le bilan climatique est importante, comme c'est notamment le cas près des fenêtres, la puissance frigorifique des plafonds KaRo est plus élevée.

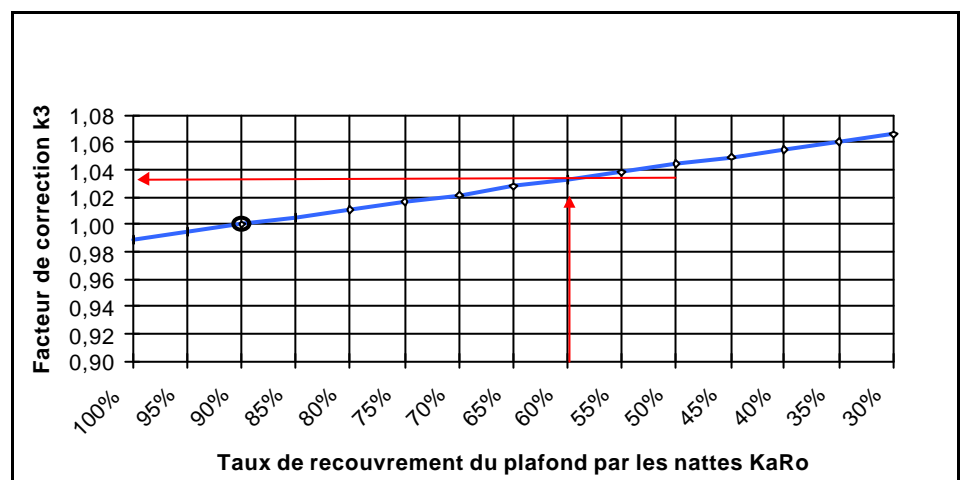
L'augmentation peut atteindre 5%. Inversement, lorsqu'il n'y a aucune charge externe, par exemple dans les zones intérieures des bâtiments, la puissance décroît d'un facteur pouvant atteindre 15% dans le cas de locaux sans fenêtre.



**Figure 7 : facteur de correction k2: part des apports externes dans le bilan**  
Exemple: part des apports externes: 30%, Facteur de correction = 1,07

### 4.3 Facteur de correction de recouvrement

Lorsque le ratio Surface active du plafond/Surface totale augmente, les échanges radiatifs s'intensifient, ce qui entraîne un abaissement de la température de plancher. L'émission unitaire des plafonds KaRo décroît donc, mais légèrement: au plus le ratio est petit, au plus la puissance spécifique des éléments construits du plafond KaRo est élevée.



**Figure 8 : Facteur de correction k3: taux de recouvrement**

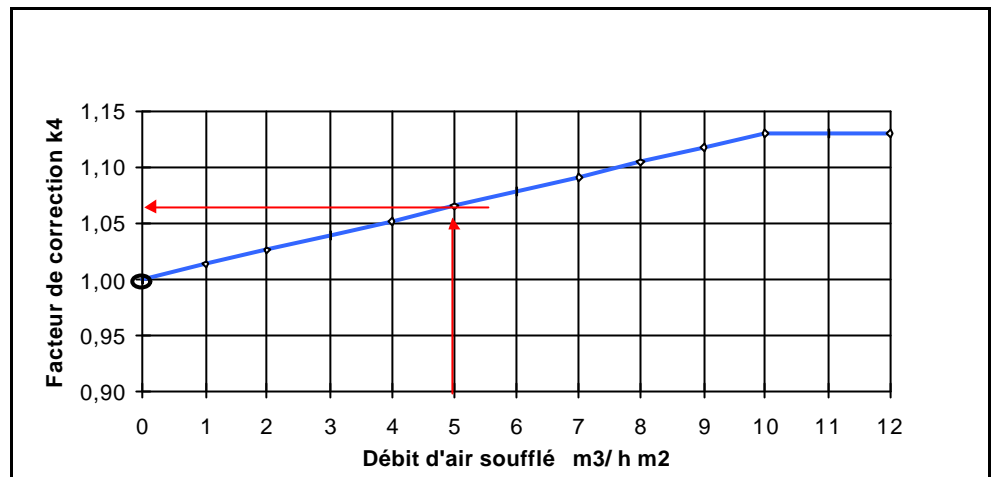
Exemple: 60% de la surface de plafond équipée de nattes KaRo; facteur de correction égal à 1,035

### 4.4 Ventilation

Le coefficient d'échange convectif en sous-face du plafond froid augmente avec les vitesses d'air en partie haute du local.

Pour la ventilation de référence (par ouvrants ou par déplacement), les vitesses d'air au plafond restent habituellement faibles et n'exercent donc que peu d'influence sur la puissance.

Climatiser naturellement... ..avec KaRo!



**Figure 9: Facteur de correction k4: débit d'air soufflé**

Exemple: taux d'insufflation: 5 m³/h m² ; k4 = 1,06

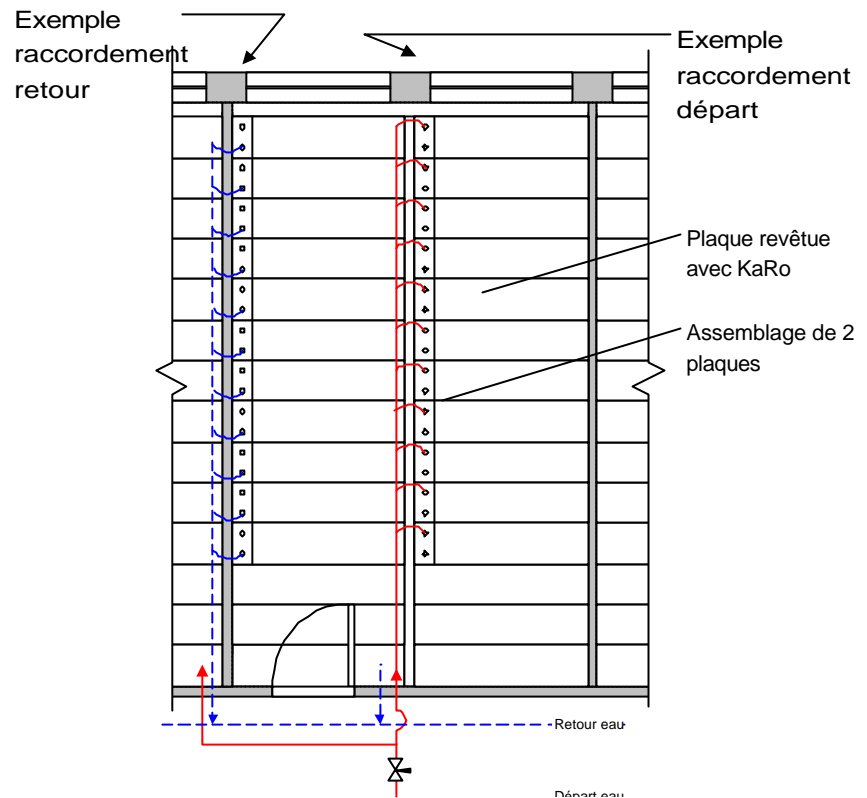
Inversement, les amenées d'air par bouches de soufflage génèrent des vitesses d'air appréciables au plafond, ce qui augmente les échanges convectifs et donc la puissance émise par le plafond. Les échanges les plus importants sont obtenus avec des bouches à soufflage horizontal disposées en partie haute de la pièce (effet Coanda).

#### 4.5 KaRo ceiling

The complete factor is the product of all 4 factors with the exception of k2 and k3. Only the higher factor of them will be used, the smaller one is put to 1.

$$k = k1 * (k2, k3)_{\max} * k4$$

#### 5 Exemple de calcul



**Figure 10 : Exemple de bureau**

On traite le cas d'un bâtiment avec cloisons mobiles sur une trame de 1,80 m. Les nattes KaRo, disposées en plafond sur plaque de plâtre assurent la climatisation et le chauffage.

Données du local			été	hiver	
Ta	Température ambiante	°C	26	22	
P	Charges climatiques	W	2 000	900	
	Part des apports externes	%	25	25	
Ss	Surface au sol	m <sup>2</sup>	26		
h	Hauteur	m	3		

Ventilation			été	Hiver	
	Type de ventilation		Brassage		
Q	Débit d'air neuf	m <sup>3</sup> /h	150	75	
Qs	Débit surfacique	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	5,8	2,9	Q/Ss
T <sub>1</sub>	Température de soufflage	°C	18	24	
T <sub>2</sub>	Température de reprise	°C	26	22	T <sub>2</sub> = Ta
P <sub>v</sub>	Apports par la ventilation	W	408	51	0,34 . Q.(T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> )

On a retenu des débits d'air neuf d'environ 2 vol/h en mode froid, mais, pour respecter la réglementation thermique, de seulement 1 vol/h en mode chauffage.

Choix du plafond				
$S_p$	Surface active en plafond	m <sup>2</sup>	22	
$\tau$	Taux de recouvrement	%	85	Sp/Ss
	Type de plafond		Métallique + laine minérale	
R	Résistance conductive	m <sup>2</sup> .°C/W	0,46	Tableau 1

Coefficients correcteurs			été	hiver	
$k_1$	Pour hauteur du local	-	1		Figure 6
$k_2$	Pour apports externes	-	1		Figure 7
$k_3$	Pour taux de recouvrement	-	0,96		Figure 8
$k_4$	Pour taux de ventilation	-	1,06		Figure 9
k	Coefficient global	-	1,02		$k = k_1.k_2.k_3.k_4$
$E_b$	Besoins bruts	W	1592	849	$E_b = P-P_v$
E	Besoins nets par m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	71	38	$E = E_b/(k.S_p)$

Températures et débit d'eau			été	hiver	
$\Delta T$	Diff. température eau/air	°K	8,3	- 6,5	Figures 3 et 4
$t_m$	Température moyenne d'eau	°C	17,7	28,5	$T_a - \Delta T$
$t_s - t_e$	Ecart températures d'eau, été	°K	4	-	
$t_s - t_e$	Ecart températures d'eau, hiv.	°K	-	-2,1	$(t_s - t_e)_{été} \cdot E_{hiv} / E_{été}$
$t_e$	Température d'entrée d'eau	°C	15,7	29,5	$t_e = t_m - (t_s - t_e) / 2$
r	Coefficient pertes vers le haut	°K	1,05		Par hypothèse
Qe	Débit d'eau	l/h	353		$r.E_b / (k.1,16.(t_s - t_e))$

En général les débits d'eau en mode chauffage et en mode froid sont choisis égaux. Le dimensionnement s'effectue pour le mode le plus critique, en général le mode froid. On a retenu ici un débit correspondant à une différence de température assez élevée: 4°K. Un débit plus élevé aurait conduit à une différence moindre et donc à une température d'entrée d'eau plus élevée.

La température d'entrée d'eau se calcule à partir de la température ambiante moins la différence de température et la moitié de l'écart (voir chapitre 7, équation 13).

Le coefficient de perte vers le haut est un coefficient forfaitaire. La valeur 1,05 correspond à un plafond bien isolé.

## 6 Commentaires

### 6.1 Amélioration des performances

Il peut arriver, à l'issue d'un calcul, que la puissance effective du plafond KaRo soit inférieure à la puissance requise. On peut dans ce cas augmenter la puissance émise en jouant sur différents paramètres:

- Augmentation du taux de recouvrement
- Abaissement de la température d'eau, ce qui, au delà d'un certain seuil (15 à 18°C selon les cas) rend nécessaire une déshumidification de l'air soufflé,
- Choix d'un plafond présentant une faible valeur de la résistance R,
- Installation, en complément des plafonds, de parois verticales actives,
- Augmentation du débit d'eau: ainsi, lorsque le débit d'eau initial correspond à une différence  $t_s - t_e$  égale à 4°K, le doublement du débit permet d'augmenter d'environ 10% la puissance émise; Il y a donc pour chaque cas un débit optimal correspondant au meilleur compromis entre l'augmentation des performances et la limitation de la puissance du circulateur.
- Augmentation de la température de consigne: dans les Cahiers des charges, la consigne est le plus souvent fixée sur la température d'air, alors que (cf. Chapitre 4), c'est la température opérative qui constitue le véritable critère de confort. Comme l'écart entre les deux températures est habituellement de 1 ou 2 °C, il est donc souvent possible, tout en conservant le même niveau de confort, de faire accepter une valeur supérieure par le Bureau d'Etude.

### 6.2 Prévention des condensations:

Lorsque les calculs conduisent à une température d'entrée inférieure au point de rosée, on peut y remédier de plusieurs façons:

- Augmenter la surface de plafond froid KaRo,
- Admettre des températures ambiantes plus élevées,
- Déshumidifier l'air neuf.

Température ambiante	Humidité relative	Température de rosée
26 °C	45 %	13,1 °C
24 °C	50 %	13,0 °C
22 °C	50 %	11,1 °C

Tableau 3 Température de rosée pour différentes températures ambiantes

### 6.3 Perte de puissance par le haut

Une quantité plus ou moins importante de froid peut être émise vers le local supérieur. Cette émission supplémentaire, fonction de l'isolation thermique du plafond, ne diminue pas par elle-même la puissance émise par le bas. Cependant, pour un même débit d'eau, elle va, du fait de l'augmentation des échanges totaux, entraîner une augmentation de la température de sortie et de la température moyenne d'eau.

C'est cette variation qui conduit à une légère diminution de l'émission du plafond. Pour s'en affranchir, il suffit de compenser les pertes thermiques par une augmentation du débit d'eau, le régime de température demeurant inchangé, l'émission vers le bas n'est pas dégradée.

**Nota:** Dans les bâtiments à plusieurs étages, il y a généralement, aux étages intermédiaires, compensation entre les transferts en provenance de l'étage supérieur et ceux en provenance de l'étage inférieur. Il n'y a donc lieu de tenir compte des déperditions vers le haut que dans les cas particuliers (étages extrêmes,...).

### 6.4 Limitation des puissances

Il est rappelé que:

- La puissance maximale de chauffage est limitée par la limite du confort. En pratique, ce critère n'est susceptible de limiter les puissances que dans le cas de bâtiments à isolation thermique médiocre.
  - La température de départ d'eau ne doit en aucun cas dépasser 45°C. (Il s'agit essentiellement de se prémunir des risques de dessèchement des plâtres).
- 
- En mode froid, il faut veiller (voir chapitre 4, confort thermique) à éviter les températures d'eau trop faibles qui pourraient créer des zones d'inconfort localisées dues aux retombées d'air froid.