

"Nous donnons aux matériaux une vie thermique : l'enveloppe du bâtiment est parcourue par un réseau de tubes capillaires qui véhiculent le chaud ou le froid. Ces tubes, disposés dans le plafond, les murs ou même le sol transforment les parois inertes en éléments actifs, et, par opposition aux ventilo-convecteurs ou bouches de soufflage, assurent une qualité inégalée d'environnement intérieur ».

Tel fut le concept à l'origine du développement du plafond climatique par réseau capillaire dans les années 80 : un peu comme les circuits sanguins dans notre corps, les nattes capillaires KaRo captent la chaleur produite dans le bâtiment pour l'évacuer vers l'extérieur, cela sous le contrôle de régulations locales ou centrales, qui, comme dans le corps humain, régulent les flux de chaleur.

La climatisation par rayonnement est la seule à ne nécessiter aucun ventilateur. C'est ce qui permet de :

- préserver la qualité de l'air sans risque de courants d'air gênants (aucun réseau aéraulique n'est nécessaire),
- ne créer aucune nuisance acoustique,
- réduire les consommations des moteurs électriques (pour apporter la même quantité de chaleur, les volumes à véhiculer sont 1000 fois plus importants en air qu'en eau).

SOMMAIRE

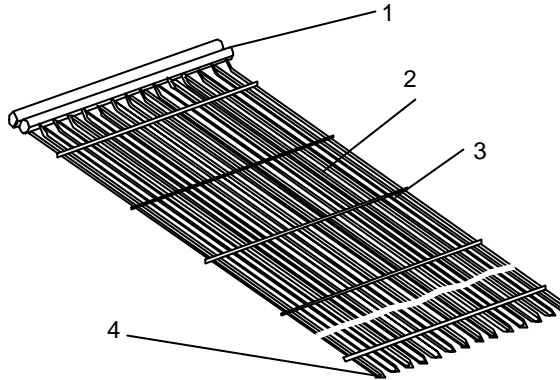
1 Le développement du plafond Ka-Ro	1
2 Les nattes Ka-Ro	8
3 Types de plafonds Ka-Ro	15
4 Mise en régime	18
5 Matériau cuivre	22
6 Matériau polypropylène	22
7 Le concept de sécurité KaRo	26

1 Le développement du plafond KaRo

1.1 Premières réalisations en Allemagne

Les premières réalisations remontent à 1986 : la première opération, à Berlin, avait pour objet le chauffage d'immeubles par des nattes disposées en plafond et en parois verticales. Le nouveau système donna dès cette réalisation d'excellents résultats ; il se confirma notamment, que, même dans les

conditions sévères de chantier, il n'y avait pas lieu de craindre d'endommagement ou d'obturation des nattes.



Natte KaRo pour plafond enduit

1 = collecteur = 2 tubes capillaires 3 = bandes Oméga 4 = retour

Des essais réalisés en 1987 par les chercheurs de l'Université Technique de Berlin (Institut Hermann Rietschel) montrèrent ensuite que, grâce à l'effet naturel de rayonnement, les plafonds équipés de nattes capillaires sont parfaitement adaptés à l'évacuation des charges thermiques élevées des immeubles de bureau, et cela, toujours dans des conditions de confort irréprochables, puisque les seuls débits d'air nécessaires sont ceux destinés à l'évacuation de l'air vicié.

Les plafonds KaRo sont donc parfaitement adaptés aux immeubles comme les bureaux ou les hôtels, pour lesquels le confort est une exigence première.

De fait, après le laps de temps nécessaire pour vaincre les appréhensions des prescripteurs, les plafonds froids ont connu outre-Rhin un développement exceptionnellement rapide : à présent, ils constituent, outre-Rhin (Allemagne, Autriche, mais aussi Suisse) la référence incontestée en matière de climatisation.

Allemagne/Autriche

Année	Opération	Ville	Système Ka-Ro	Maître d'ouvrage	Nattes KaRo m ²
1986	Maison individ.	Berlin	Murs, sol, plafond	Herbst AG	1.100
1986	Bureaux	Hemsbach	Plafond ss enduit	Herbst AG	200
1988	Bureaux	Cologne	Plafond métal.	Allianz Versicherungs AG	200
1988	Salle clientèle	Berlin	Plafond métal.	Banque Weber	200
1988	Bureaux + Production		Plafond métallique	H+K Lichtwer Pharma	4.000
1988	Agence bancaire	Berlin	Plafond ss enduit	Volksbank	350
1989	Banque	Vienne	Plafond métal. Chauff. + clim.	Wiener Sparkasse	1 300

1989	Agence bancaire	Berlin	Plafond ss enduit	Berliner Commerzbank	350
------	-----------------	--------	-------------------	-------------------------	-----

1.2 Banques

La première agence bancaire à être équipée d'un plafond KaRo fût la banque Weber à Berlin, Nürnberger Strasse.



Zone des guichets de la banque Weber

Cette première installation fut réalisée avec un plafond métallique Ka-Ro, complété par un système de ventilation par déplacement assurant l'amenée d'air hygiénique.

Ce système donna tellement satisfaction qu'une année plus tard, ce fût le tour de la Volksbank, de la Commerzbank et surtout de la Dresdner Bank à Francfort, avec une surface utile de 20.000 m² de plafonds Ka-Ro.

Aujourd'hui encore, les banques sont le domaine d'élection des plafonds KaRo.

1.3 Bureaux et production

L'industrie de pointe est également concernée :

En 1988, la société Lichtwer Pharma fit construire un nouveau bâtiment de 4.000 m² de surface utile, la moitié en production et l'autre en bureaux. Le système de climatisation initialement prévu, trop encombrant (système tout air) convenait mal au Maître d'ouvrage: la décision de remplacer ce système par un système KaRo permit, en éliminant les volumineuses gaines d'air, d'économiser un étage technique entier.

A la Lichter Pharma, les nattes KaRo furent disposées sur des éléments métalliques de plafond suspendu. Dans les bureaux, l'air hygiénique était distribué par le sol avec plinthes diffusantes. Dans les locaux de production la diffusion s'opérait par le plafond, de façon à préserver la possibilité de procéder aux réaménagements ultérieurs des cloisons.

Ces bâtiments, conçus par les architectes Borchert & Oppert, furent une réussite totale et devinrent rapidement une référence incontestée en matière de design et d'architecture intérieure :

les employés furent d'ailleurs tellement satisfaits de leurs nouvelles conditions de travail que l'extension des bâtiments en 1990 fût réalisée avec rigoureusement le même principe.



Lichtwer Pharma : Le premier grand bâtiment avec des plafonds KaRo pour les bureaux et les halls de production

Vint ensuite (1989) le tour des bâtiments (13 000 m² de surface utile) de la Caisse d'Épargne de Vienne. Ces bâtiments ont été réalisés selon la même conception, avec en outre l'adjonction de la fonctionnalité « chauffage » grâce au système de raccordement hydraulique 3 tubes¹.

¹ Cf. ch 2: prise d'eau (titre à revoir)
Climatiser naturellement... ...avec KaRo!



Caisse d'Epargne à Vienne
13.000 m² de bureaux climatisés et chauffés avec des plafonds KaRo.

Le principe de climatisation de la Lichter Pharma fit école dans toute l'Europe, notamment pour la réalisation en 1994 du centre administratif de Nestlé France à Noisiel (30 000 m² de surface utile), mais aussi du plus grand bâtiment administratif jamais réalisé en Suisse avec le système 3 tubes : le plafond KaRo de la Maison de Provence à Lausanne 4.000 m².



Avenue de Provence :
L'un des premiers bâtiments suisses avec des plafonds KaRo pour la climatisation et le chauffage

1.4 L'Europe

En 1989, les firmes Suisses Chaleur et Appelsa devinrent les partenaires privilégiés de KaRo dans ce pays :

Suisse

Année	Opération	Ville	Système Ka-Ro	Maître d'ouvrage	Nattes KaRo(m ²)
1991	Bureaux	Genève	Plafond métal.	SI Rhône Fusterie	2000
1991	Bureaux	Genève	Plâtre	Quai Mt Blanc 15	2500
1992	Bureaux	Lausanne	Plafond métal.	Provencenter	4000
1992	Bureaux	Genève	Plafond métal ;	Hewlett Packard	800
1993	Bureaux	Lausanne	Plafond métal.	ATTIAS SA	1050
	Boutiques			Gd Chên 6	
1997	Bureaux	Tour Peilz	Plafond métal.	NESTLE	3000
1997	Bureaux	Genève	Plafond métal.	LEVRIER	2000
				PECOLAT	
1998	Bureaux	Genève	Plafond métal.	COURS RIVE 10	1600
1998	Bureaux	Genève	Plafond métal.	GENEX ROLEX	3500
1998	Bureaux	Genève	Sto Silent	AMAG PALEXPO	120

Le développement a été particulièrement net à Genève où sont présents de nombreux établissements bancaires. Mais c'est la récente loi sur les économies d'énergie qui constitua le facteur décisif : cette loi, en fixant le niveau de consommation énergétique des bâtiments à un niveau extrêmement bas, conduisit au quasi-abandon des conceptions traditionnelles au profit de systèmes économes en énergie comme le système KaRo.

Aux Pays-Bas, INTECO, aujourd'hui filiale de Verhulst luchtbehandling BV, a été à l'avant-garde des plafonds de climatisation. Des projets spectaculaires, banque ABM Amro notamment, ont contribué à faire qu'aux Pays-Bas aussi les plafonds Ka-Ro deviennent le standard pour la climatisation de confort.



Bureaux Hewlett Packard à Genève

Depuis 1992, KaRo France, d'abord sous le nom d'Appelsa France SA, puis sous son nom actuel détient l'exclusivité de la commercialisation des produits KaRo pour la France et les pays voisins.

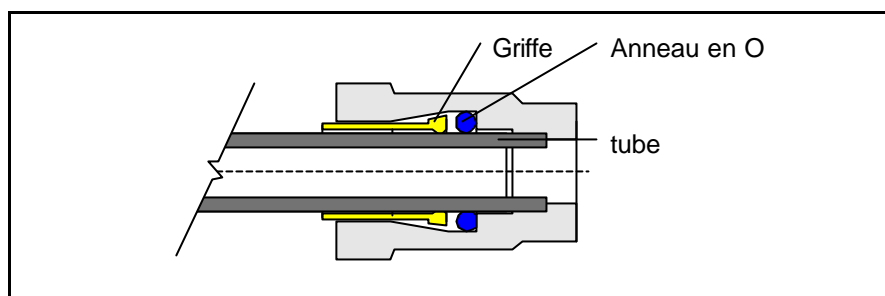
Rien qu'en France, elle a réalisé une trentaine d'installations en partenariat avec de nombreuses entreprises d'installation :

France

Année	Opération	Ville	Chantier	Client	Nattes KaRo m ²
1993	Bureaux	Paris	Hôtel de CROY	Lefort-Francheteau	1 400
1994	Bureaux	Paris	Hôtel de Beaune	Lefort-Francheteau	2 000
1994	Bureaux	Paris	Rolex	Montres Rolex	1 200
1994	Résidence	Paris	Avenue d'Eylau	L. Bouillet	620
1994	Siège	Noisiel	Nestlé-France	Sulzer-Clestra	35 000
1995	Bureaux	Paris	Ass. Nationale	C&E	120
1995	Bureaux	Bordeaux	EDF Talence	ELYO Océan	2 000
1995	Boutique	Paris	Louis Vuitton	ABP	160
1995	Boutique	Paris	Arthus Bertrand	ABP	80
1995	Bureaux	Monaco	Stade Louis II	FREM/Clestra	400
1996	Hôtel	Paris	Hôtel St Honoré	Detoisien	200
1996	Bureaux	Luxemb.	Churchill	Soclima (LU)	500
1996	Bureaux	Paris	Helder italiens	Lefort	3 000
1996	Résidence	Luxemb.	Maison Prussen	Soclair (LU)	300
1996	Résidence	Paris	St Germain	Detoisien	200
1996	Bureaux	Bordeaux	Clémenceau	Aquitair	500
1996	Résidence	Paris	Appartement	Appelsa France	300
1997	Bureaux	Bordeaux	Texaa	Ingecom	200
1997	Bureaux	Luxemb.	Le Royal	Soclair	715
1997	Hôtel	Paris	Belesbat	GTCM	700
1997	Bureaux	Toulouse	SOTEREM	Belmonte SA	600
1997	Résidence	Suisse	Appartement	Appelsa France	200
1997	Bureaux	Paris	Radio France	Appelsa France	100
1997	Hôtel	Lyon	Dubost	Laurent Bouillet	720
1997	Bureaux	Paris	Pierre Fabre	CGEC	200

1.5 Opération pilote de Berlin à très faible consommation d'énergie

La climatisation par plafonds froids s'opère avec de l'eau à température modérée : 15 à 17°C. On peut donc, par free-cooling, réduire de façon drastique les consommations d'énergie, comme cela a été le cas pour une opération pilote réalisée dans le cadre d'un programme de recherches de la Commission des Communautés Européennes : Un bâtiment de bureaux à Berlin a été réaménagé de façon à remplacer le système existant (système tout air) par un plafond KaRo avec ventilation par déplacement. Une campagne de mesure menée sur une période de 2 ans, a confirmé l'excellence des performances énergétiques : le coût énergétique s'établit à moins de 4 F/m².an (rafraîchissement + chauffage) .



Raccord rapide CC de la natte KaRo

1.6 Améliorations technologiques

En 1992, le système KaRo a été rendu encore plus opérationnel par une innovation dans le domaine de la préfabrication : les raccords rapides CC : « Click & Cool. » qui permettent de réaliser les liaisons hydrauliques par simple emboîtement, sans soudure ni brasure.

La gamme KaRo a été complétée en 1996 par la série C en cuivre. Ces nattes présentent les mêmes avantages que les nattes KaRo de la série P en polypropylène : tuyaux de faible diamètre², avec donc une économie de matière première d'environ 50% et une flexibilité élevée à la mise en œuvre.

Les nattes KaRo de la série C sont utilisées là où des exigences particulières de protection d'incendie sont demandées.

Plusieurs variantes ont vu le jour en 1997 : il s'agit du plafond KaRo StoSilent, développé en collaboration avec Sto AG. Ce plafond préfabriqué, de seulement 15 mm d'épaisseur, est composé de nattes KaRo en cuivre prises en sandwich dans un panneau 2000 StoSilent en verre recyclé absorbant. Le plafond Placo T a aussi vu le jour en 97 développé en partenariat avec Placoplatre. Toute la gamme des plafonds de Placoplatre peut être équipée de nattes KaRo prises en sandwich entre la plaque de plafond et une isolation de 35 mm.

Il devient ainsi possible de réaliser en construction sèche et à faible coût, des plafonds acoustiques sans microperforations, avec lesquels on peut chauffer et climatiser.

1.7 Futur

Avec son faible encombrement, sa faible consommation énergétique et ses atouts en matière de confort aérothermique/qualité de l'air intérieur, le système KaRo est bien placé pour devenir la référence européenne en matière d'équipements terminaux de climatisation.

2 Les nattes KaRo

² voir § 1.xx

La pièce maîtresse du système KaRo est la natte de tuyaux capillaires. Cette natte est constituée d'une grille en tubes souples de très faible diamètre (2 mm) avec des collecteurs d'alimentation.

La faible épaisseur des nattes KaRo permet leur encastrement à même la surface des murs, des plafonds et des planchers. On peut ainsi transformer des éléments passifs de construction en surfaces de chauffage et de climatisation.

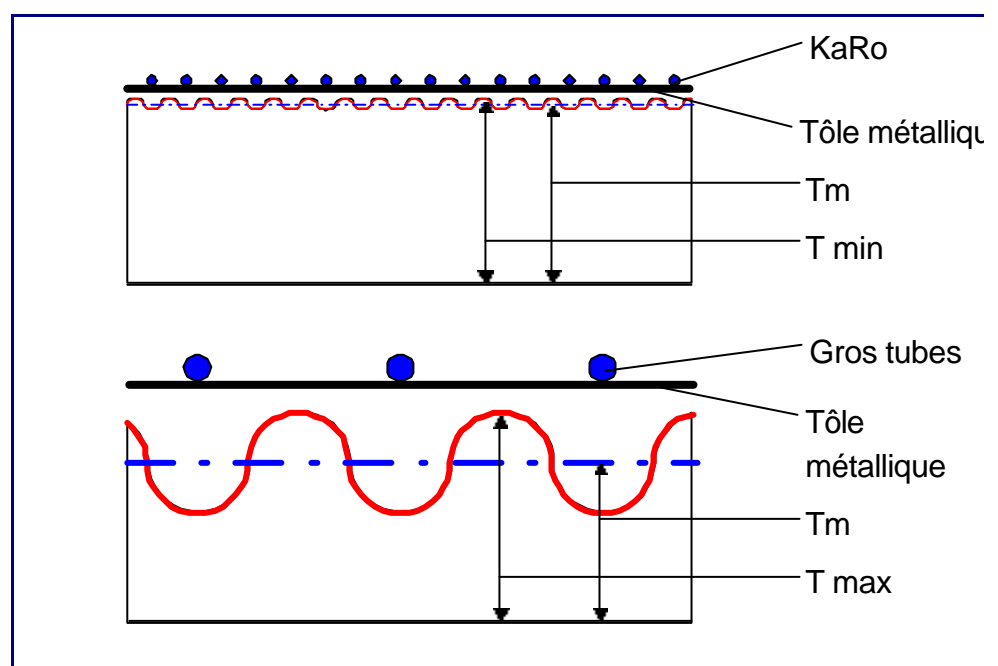
2.1 Intérêt des tubes capillaires

2.1.1 Homogénéité des températures

Les tubes capillaires sont espacés de seulement **1 cm** alors que dans les **plafonds froids ordinaires, l'espacement varie selon les fabrications entre 5 et 35 cm**.

Les nattes KaRo assurent ainsi, sans ailettes, une excellente homogénéité des températures de surface du plafond. Cette homogénéité est bien meilleure que celle de la plupart des produits concurrents.

La conséquence importante est qu'il y a peu d'écart entre la température moyenne du plafond et sa température la plus basse. Or, pour éviter l'apparition de condensations, la température la plus basse doit être limitée à la température de rosée de l'air intérieur, soit environ 15°C. Le plafond KaRo permet donc d'obtenir une température moyenne plus basse, c'est à dire une **émission froide plus élevée** que la plupart des autres modèles de plafond froid.



Ondulation pour les plafonds de climatisation

Pour le plafond KaRo, la température la plus basse est très proche de la température moyenne du plafond

Les calculs menés dans le cas des nattes sous enduit de plâtre ont ainsi montré que l'efficacité thermique était de 98%. Cela signifie que, même dans le cas idéal où les tuyaux capillaires seraient remplacés par une lame d'eau uniforme, l'efficacité ne peut être augmenté que de 2% .

2.1.2 Economie de matière première et efficacité thermique

Par rapport aux solutions concurrentes (tubes de diamètre courant), le faible espacement des tubes confère aux nattes KaRo des avantages certains en matière de coûts de transport et de fabrication, mais aussi d'environnement : Le comparatif suivant montre en effet que les faibles diamètres conduisent à une économie de matière d'environ 50% tout en préservant un excellent échange thermique avec des pertes de charge limitées.

Comparatif tubes capillaires/tubes de diamètre courant :

		Tubes Capillaires		Tubes de diamètre courant	
Espacement des tubes	mm	10		150	
Diamètre ext. des tubes	mm	3,4		20	
Epaisseur des tubes	mm	0,55		2	
Tenue à la pression ³	bars	35		20	
Surface développée de tubes	m ² /m ²	1,07		0,42	
Masse totale de tubes	kg/m ²	0,48		0,49	
Contenance en eau	l/m ²	0,41		1,70	
Différence de température paroi interne/paroi externe des tubes	°K	0,23		2	
Longueur des tubes	m	2	4	2	4
Débit d'eau nécessaire ⁴	l/h	40	80	40	80
Perte de charge des tubes	m CE	0,87	3,4	0,03	0,12

³ cf. ci-après § 6.1

⁴ pour obtenir une différence de température de 3°C entre entrée et sortie
Climatiser naturellement... ..avec KaRo!

Vitesse d'eau	m/s	0,27	0,535	0,065	0,13
Nombre de Reynolds	-	540	1080	910	1820

Comparatif effectué pour une émission froid de 70 W/m² avec un plafond d'un mètre de largeur et, selon les cas, 2 ou 4 m de longueur.

Commentaires :

- 1) Avec les valeurs courantes d'espacement des tubes, il faut, pour obtenir une surface d'échange suffisante, utiliser des tubes de diamètres plus importants que ce qui serait nécessaire pour assurer le bon écoulement de l'eau.
- 2) La résistance conductive constitue une limitation des tubes en plastique de diamètre courant : cette limitation, peu gênante pour les tubes de chauffage en dalle, devient beaucoup plus gênante en plafond froid car les différences de température disponibles sont faibles : avec les tubes capillaires KaRo, la résistance conductrice des conduits n'est plus un handicap : en effet, les épaisseurs de tube étant beaucoup plus faibles, et leur surface développée au moins égale, cette résistance est pratiquement négligeable.
- 3) La surface d'échange nécessaire peut être obtenue avec une section totale plus faible, ce qui permet de réduire la section des tubes. La limite principale est alors la perte de charge qui doit rester suffisamment faible. Dans la pratique, la perte de charge des nattes KaRo est inférieure à 2 m .
- 4) La masse de tubes est plus faible, car, même si la surface développée est plus importante, il n'est plus nécessaire, pour assurer la tenue à la
- 5) Pression d'utiliser des tubes d'épaisseur élevée.⁵

2.1.3 Perte de charge

Avec les tubes capillaires, (cf. ci-dessus) la perte de charge est un peu plus élevée qu'avec des tubes de diamètre courant ; mais ce n'est pas du tout un inconvénient, bien au contraire :

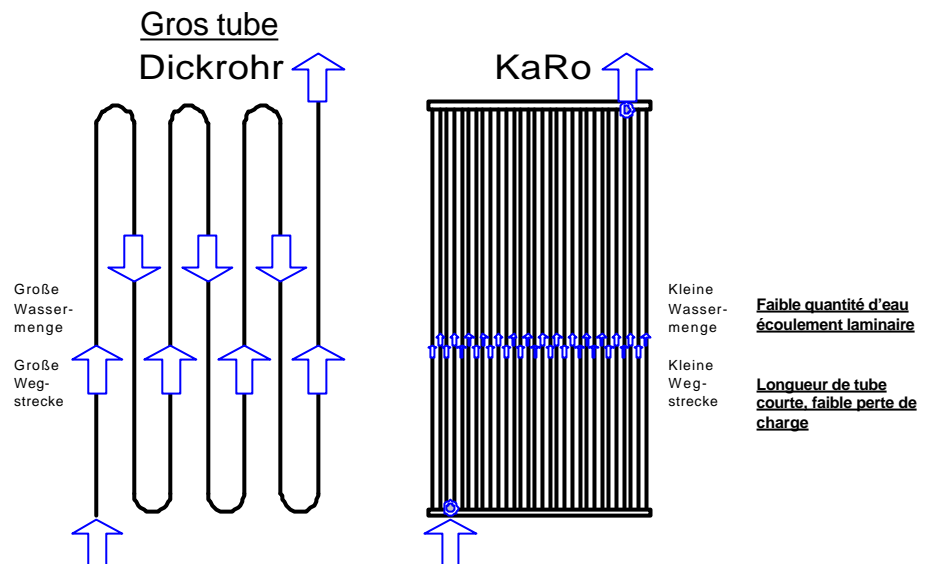
En effet, les travaux scientifiques montrent que dans des tubes disposés en parallèle avec écoulement turbulent, les débits, même avec une distribution Tickelman, sont déséquilibrés : les débits sont moins élevés dans les tuyaux du milieu ; ils sont d'autant moins élevés que la perte de charge des tuyaux est plus faible :

Avec les nattes KaRo, il n'y a pas lieu de craindre un tel déséquilibre : la perte de charge est suffisante pour assurer la bonne répartition des débits.

D'autre part, l'écoulement dans les tuyaux capillaires est toujours laminaire : une conséquence importante est que dans les nattes KaRo, la perte de charge est proportionnelle au débit d'eau et non au carré de ce débit. On peut donc,

⁵ cf. ci-après §xx pour le calcul de l'épaisseur de tube nécessaire
Climatiser naturellement... ..avec KaRo!

si nécessaire (locaux de grande profondeur) augmenter beaucoup plus facilement le débit d'eau.



Comparaison des systèmes principes de circulation d'eau.

Avec le système KaRo, la vitesse d'eau n'est que de 20 à 60 cm/s car le débit d'eau est réparti sur des tubes en parallèle .

2.2 Matériaux

Les nattes KaRo sont réalisées soit en plastique, soit en cuivre :

- nattes KaRo en cuivre (série C)
- nattes KaRo en polypropylène (série P)

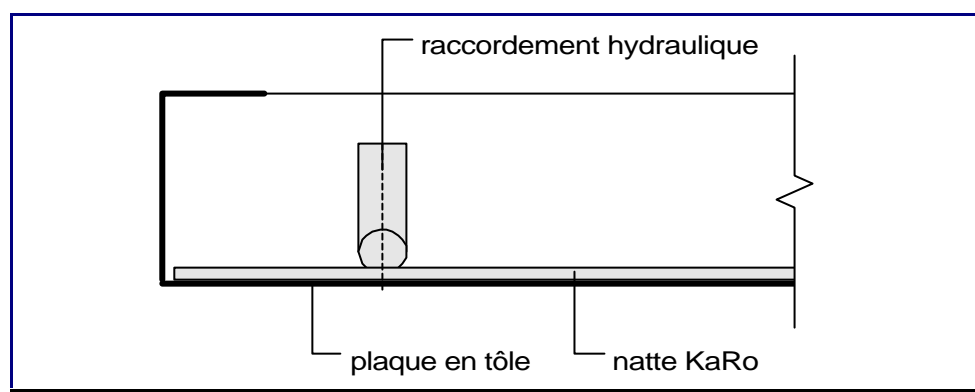
2.2.1 Série C (Cuivre)

Les nattes KaRo de la série C sont en cuivre avec des capillaires de diamètre 2,4 mm ; elles présentent donc les mêmes avantages que ceux signalés ci-dessus :

- Coût matière moins élevé (moins 50% par rapport aux gros tubes)
- Volume d'eau réduit
- Rendement thermique élevé

Les nattes KaRo de la série C sont réalisés par technique Overlay grâce au développement d'une automatique spéciale de soudure : tubes capillaires soudés tangentiellement sur les collecteurs. De cette façon, il n'y a pas de courbure des tubes à la liaison avec les collecteurs : l'ensemble, lorsqu'il est disposé sur un bac métallique, adhère sur toute la longueur des tubes au bac : il n'y a donc aucune diminution des performances thermiques due aux effets de bord.

La transmission de chaleur est également améliorée par un aplatissement des tubes : ceux-ci sont aplatis en ovale de petit diamètre 2mm, leur surface de contact est donc plus importante. Un autre avantage est une flexibilité accrue de façon importante, ce qui facilite la pose.

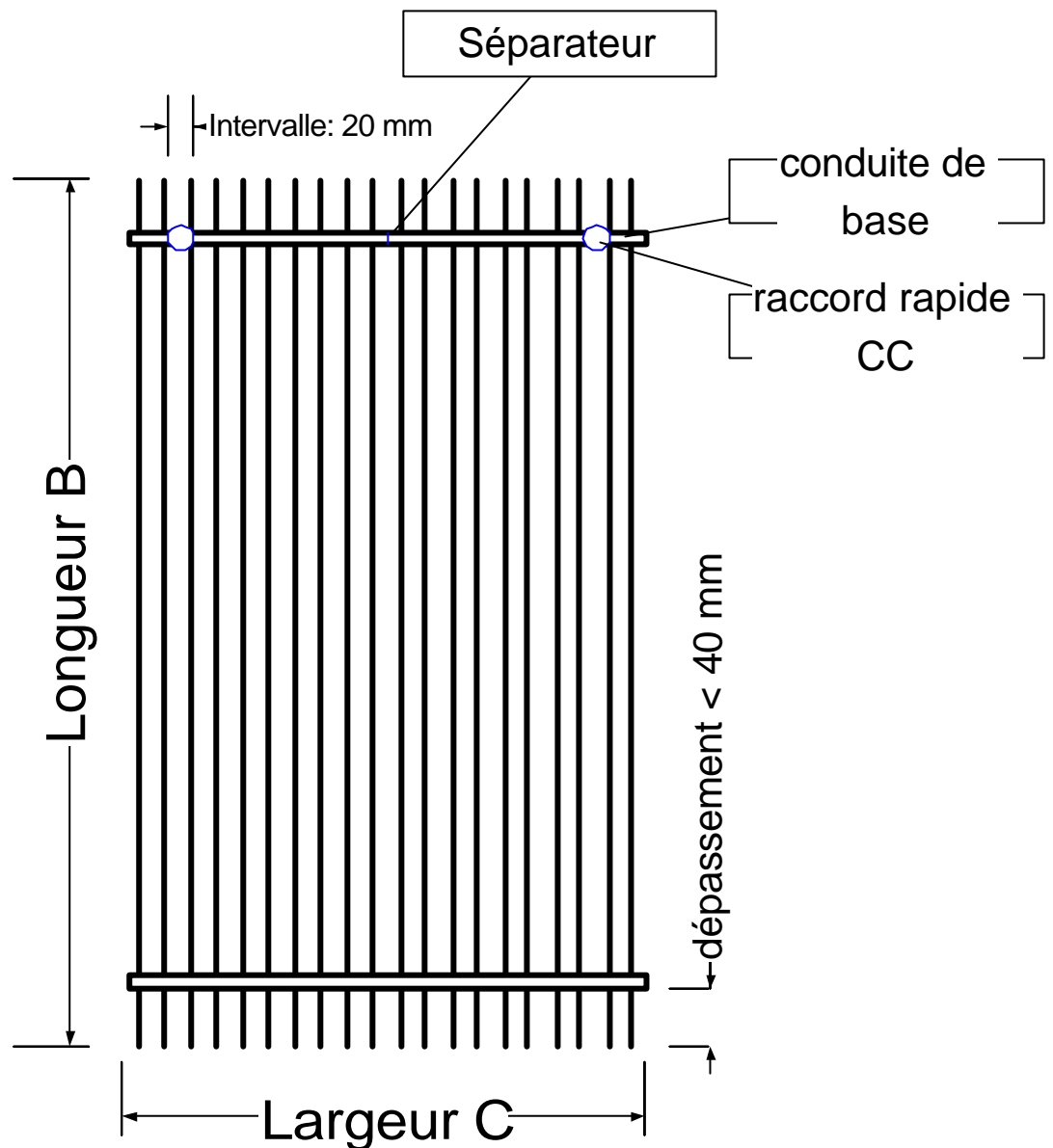


Natte KaRo en cuivre en plaque de plafond

Grâce à la technique Overlay, les tubes capillaires adhèrent à la plaque sur toute sa longueur.

La flexibilité est particulièrement importante pour la pose en plafonds métalliques, car les plaques de plafond ont toujours une flèche, aussi minime soit elle. Ainsi, selon la norme TIME, une flèche de 4 mm est admise pour une longueur de plaque de 170 cm ! La natte KaRo doit s'y adapter au mieux car le moindre espace d'air dégrade les transferts conductifs, ce qui conduirait à une diminution notable des échanges thermiques :

Grâce à leur faible diamètre et à leur forme ovale, les tubes capillaires en cuivre s'adaptent aussi bien aux plaques de plafond que les nattes KaRo en plastique de la série P.

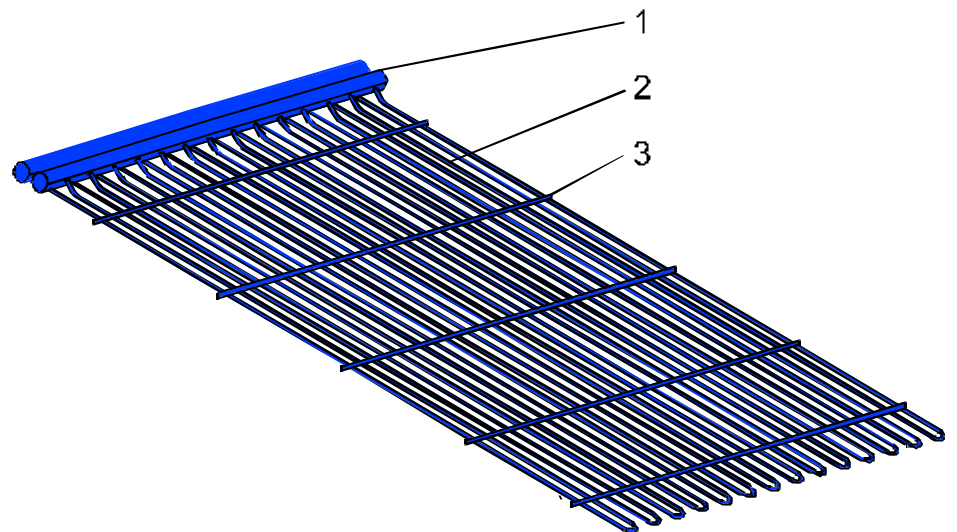


Mesures de la natte Ka-Ro série C

2.2.2 Série P (Polypropylène)

Les nattes KaRo de la série P sont réalisées en polypropylène. Les tuyaux capillaires sont reliés aux collecteurs selon un procédé spécial de fabrication. Grâce à leur flexibilité, les nattes s'adaptent à l'ensemble des surfaces, et notamment aux surfaces voûtées.

Modèle Kama



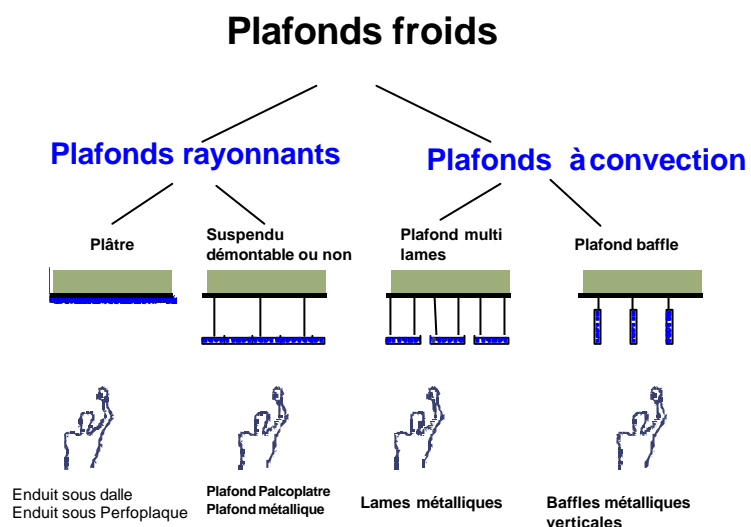
La résistance à la corrosion du polypropylène permet son incorporation sous enduit : on utilise généralement le modèle Kara comportant deux collecteurs disposés du même côté, de sorte que la natte entière a un encombrement de 3 à 5 mm seulement : elle peut ainsi être encastrée dans des enduits de faible épaisseur, à condition de disposer les collecteurs fabrication. Grâce à leur flexibilité, les nattes s'adaptent à l'ensemble des surfaces, et notamment aux surfaces voûtées.

Modèle Kara

Pour les plaques de plafond, on utilise généralement le modèle Kara équipé de collecteurs sur chacun de ses côtés.

3 Types de plafonds KaRo

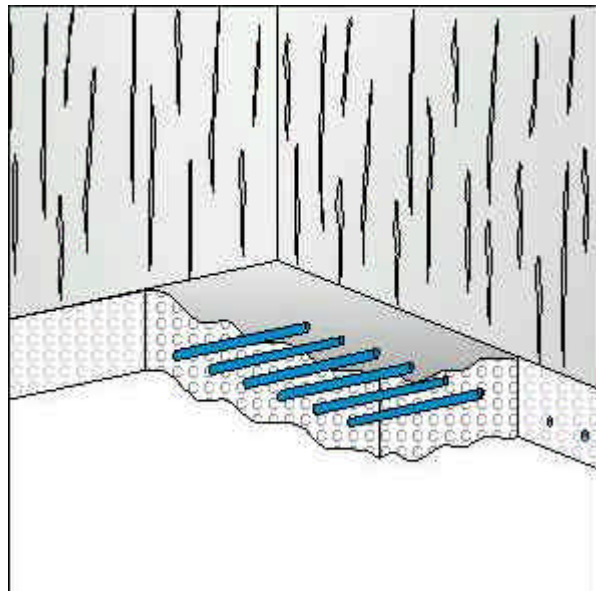
Les différents types de plafonds KaRo sont disponibles sont :



3.1 Plafond KaRo sous enduit

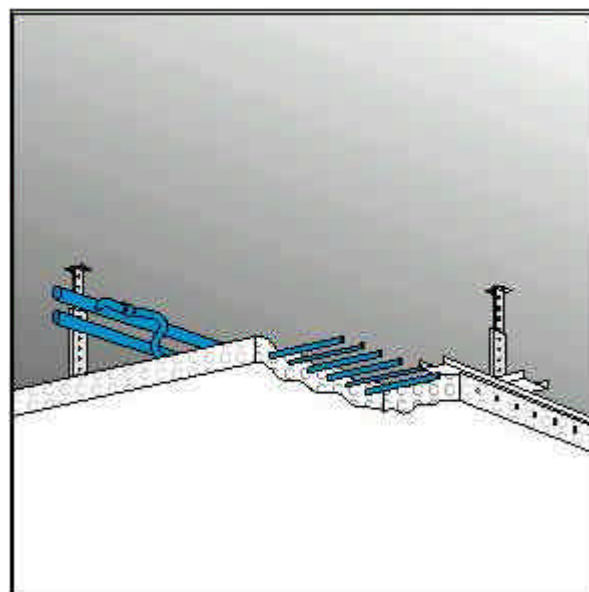
Les nattes KaRo (modèle Kama) sont fixées au plafond brut et enrobées d'enduit. Les enduits habituels : plâtre, calcaire, ciment ou enduits insonorisés sont parfaitement appropriés.

Les nattes KaRo sous enduit sont plus particulièrement destinées aux plafonds, surtout en réhabilitation où elles sont particulièrement appréciées pour leur faible encombrement. Elles peuvent également être installées dans les parois verticales.



3.2 Plafond suspendu non métallique non démontable.

Des plafonds KaRo peuvent aussi être utilisés en construction sèche ; il n'est alors pas nécessaire de réserver un emplacement pour les collecteurs. Dans cette exécution, les nattes KaRo sont préalablement fixées (soit en usine, soit sur chantier) sur les plaques de plafond en plâtre.

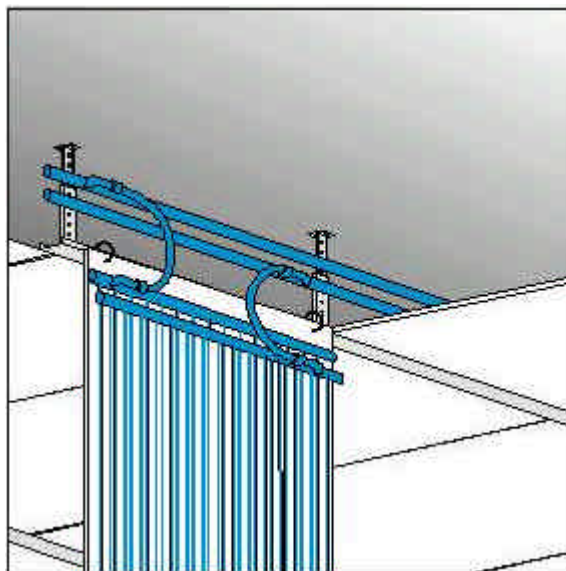


Dans cette catégorie de Plafond, KaRo a un partenariat avec deux entreprises la société Placoplatre qui a développé un plafond T+. Il s'agit de quatre nattes KaRo de 600 x 1200 mm prises en sandwich entre une plaque Placoplatre de 1200 x 2400 mm et une isolation de 35 mm d'épaisseur et installée sur une structure Placostil.

Le plafond StoSilent est un modèle spécial destiné aux locaux avec des exigences particulières en matière d'atténuation acoustique. Il s'agit d'un plafond insonorisé en verre recyclé composé d'un panneau acoustique 2000 StoSilent de la firme Sto AG avec intégration d'une natte KaRo en cuivre.

3.3 Plafond suspendu non métallique démontable.

KaRo a développé avec Placoplatre une série de plafonds démontables Placo T⁶ qui correspondent à la gamme Gyptone et Gyprex de Placoplatre.

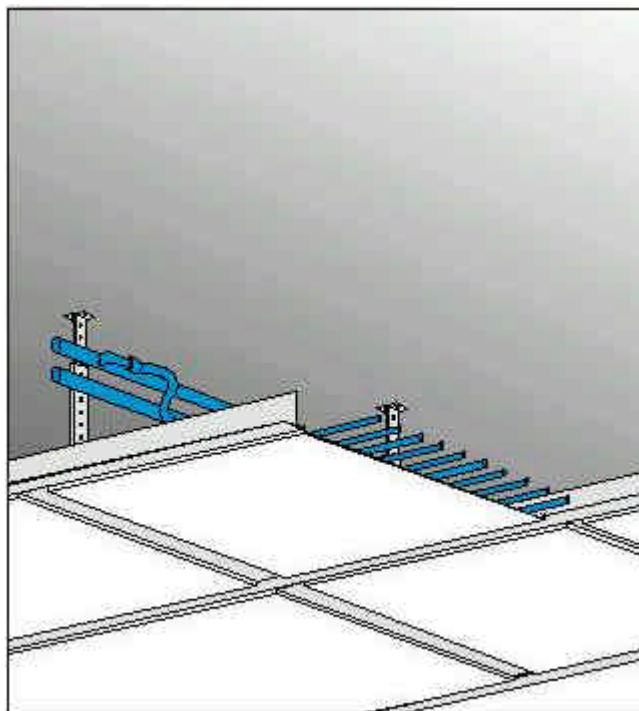


3.4 Plafonds métalliques suspendus

Tous les modèles de plafond métallique, quelle que soit leur état de surface (surfaces perforées, coloris,...) peuvent normalement être équipés des nattes KaRo.

Dans le cas de plafonds continus sans cloisonnements au dessus des parois séparatrices (cas fréquent des plateaux réaménageables de bureau), il est souvent demandé une bonne isolation acoustique entre locaux voisins.

⁶ Voir documents Placo T+ dans doc. Plafond décoratif de Placoplatre



Pour cela, il suffit d'équiper le plafond métallique d'un élément sandwich KaRo : il s'agit d'une plaque de plafond perforée avec une natte KaRo intégrée et une insonorisation en laine minérale et en plâtre à doublure en carton. On obtient ainsi une insonorisation longitudinale du plafond grâce à laquelle on peut renoncer aux cloisonnements dans l'espace vide du plafond.

4 Mise en régime

"La climatisation KaRo, ça se commande comme la lumière !"

L'explication de cette impression spontanée réside dans la faible inertie thermique mais aussi l'effet d'autorégulation :

4.1 Inertie thermique

A l'activation du système de climatisation, les puissances évacuées par la mise en circulation d'eau froide sont bien plus importantes que la puissance nominale du plafond. En effet, les températures de plafond sont alors, selon l'importance de la stratification verticale des températures d'air, de l'ordre de 25 à 30°C, au lieu de 18 à 20°C en fonctionnement normal. Une autre explication est que les coefficients de transfert thermique sont bien plus importants qu'en fonctionnement normal puisque, dans les premières minutes, on évacue essentiellement la chaleur du plafond et non celle de la pièce.

La puissance évacuée est donc élevée. Si cette puissance n'était pas limitée par le débit d'eau, elle serait de l'ordre de quelques centaines de W/m² pour les plafonds métalliques contre plus de 1000 W/m² pour les plafonds sous enduit plâtre (dont la résistance thermique à la liaison tube/plâtre est en effet

excellente - tubes entièrement "noyés"). Compte tenu des valeurs habituelles des débits d'eau, les puissances effectivement évacuées sont plus faibles: elles sont au moment de l'activation de la climatisation limitées à environ 150/200 W/m² pour les plafonds métalliques contre environ 200/250 W/m² pour les plafonds sous enduit. Elles décroissent ensuite au fur et à mesure que le plafond se refroidit, mais moins vite pour les plafonds plâtre que pour les plafonds métalliques.

Quel est le temps nécessaire pour la mise en température le plafond?

Comme indiqué, il faut à la mise en régime, refroidir d'environ 8°C le plafond dont la capacité calorifique est (voir tableaux ci-dessous) d'environ 10 Wh/m² pour les plafonds métalliques et 40 Wh/m² pour les plafonds sous enduit plâtre.

Pour une variation de température de 6 °K, la capacité thermique du plafond métallique Ka-Ro n'est que de 10 Wh/m²

Matériel	Chaleur spécifique	Poids spécifique	Poids	Capacité thermique	
	kJ/Kg K	kg/m ³	Kg/m ²	Wh	%
Plaf. Métallique perforé 8/10 mm	0,48	7800	5,46	5,9	62%
Eau	4,18	1000	0,285	2,7	28%
Polypropylène	1,5	980	0,28	0,9	10%
SOMME				9,5	100%

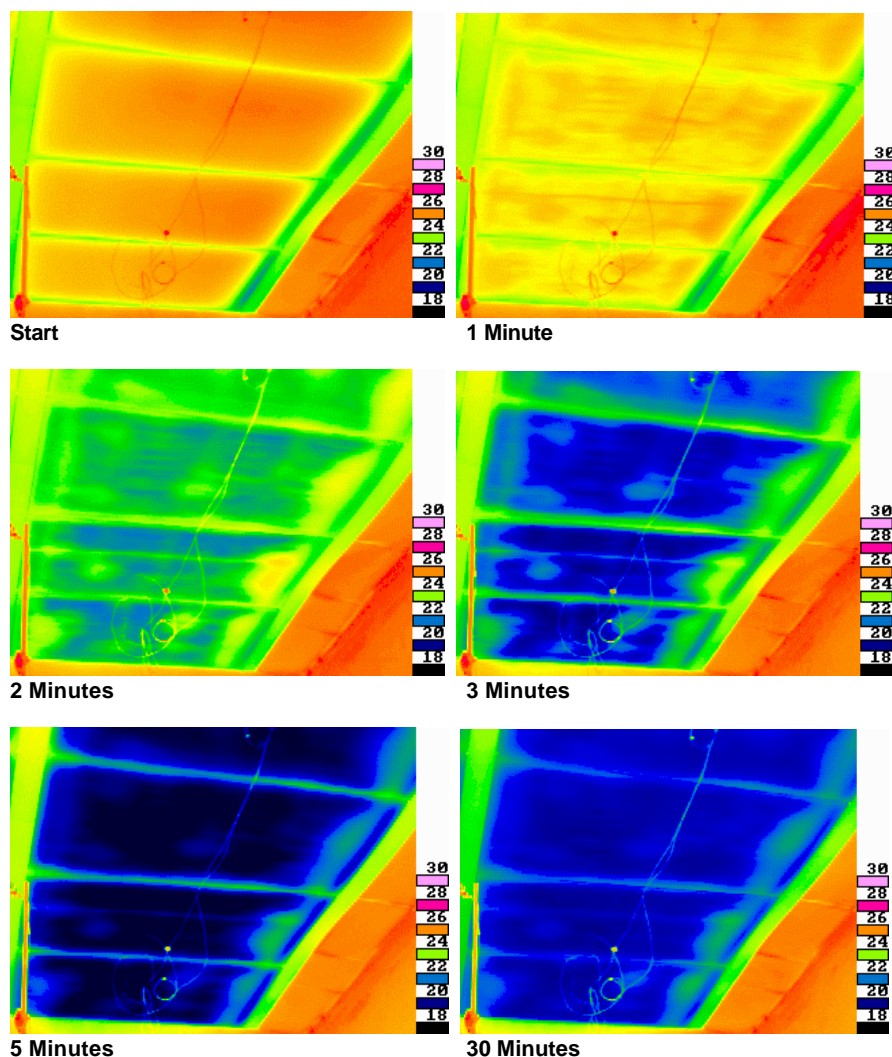
ce qui correspond à 15% de l'émission frigorifique horaire du plafond. Compte tenu de la conductibilité thermique entre les capillaires et la plaque métallique, le plafond métallique KaRo atteint sa pleine puissance frigorifique en quelques minutes seulement.

Les plafonds sous enduit KaRo présentent les mêmes qualités car le faible diamètre des tuyaux capillaires autorise des faibles épaisseurs d'enduit. Là aussi, la capacité thermique ne représente que quelques minutes de fonctionnement.

Matériel	Chaleur spécifique	Poids spécifique	Poids	Capacité thermique	
	kJ/Kg K	kg/m ³	Kg/m ²	Wh	%
Plâtre épaisseur 15mm	1,09	1000	10,000	36.6	87%
Eau	4,18	1000	0,285	2,7	10%
Polypropylène	1,5	980	0,280	0,9	3%
SOMME				40.0	100%

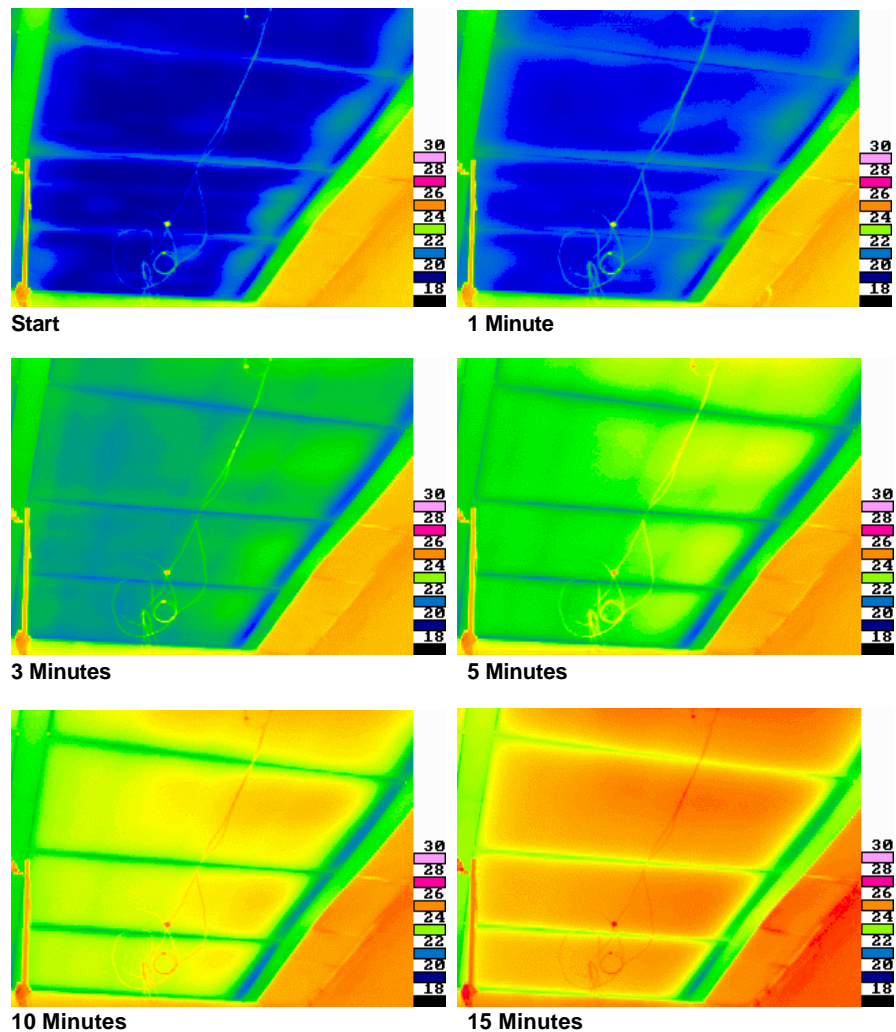
Compte tenu des puissances évacuées, le temps de mise en régime n'est donc que de trois à quatre minutes pour les plafonds métalliques. Il est à peine plus important pour les plafonds sous enduit.

Des enregistrements thermographiques réalisés par l'université de Stuttgart /3/ le confirment : la climatisation par le plafond KaRo peut être démarrée et stoppée en quelques minutes.



Mise en température d'un plafond métallique KaRo
Le plafond délivre l'essentiel de sa puissance frigorifique dès la 3^{ème} minute.

Les enregistrements thermographiques du plafond enduit KaRo montrent que tout comme pour le plafond métallique KaRo. La puissance frigorifique est disponible quelques minutes après le démarrage. A l'arrêt, le retour à des températures normales est naturellement un peu plus lent, car il faut tenir compte du stockage de chaleur dans la partie du plafond se trouvant au-dessus de la natte en tuyaux capillaires



4.2 Effet d'autorégulation

Les plafonds froids requièrent des températures d'eau extrêmement modérées. C'est cette particularité qui conduit à un effet autorégulateur inconnu avec les autres systèmes de climatisation. Il y a en effet modulation automatique des apports selon les besoins :

1) modulation selon le nombre de personnes :

L'autorégulation résulte de ce que la température de plafond est généralement de l'ordre de 17 à 20°C, avec des températures de local comprises entre 20 et 25°C, et des températures de peau de 32°C pour les occupants.

La différence de température s'établit donc à environ 14°K pour les personnes contre seulement 3 à 5°K pour le local : c'est avec les occupants que les échanges thermiques seront les plus importants : lorsque ceux-ci s'absentent du local, il y a baisse automatique et instantanée de l'émission froid.

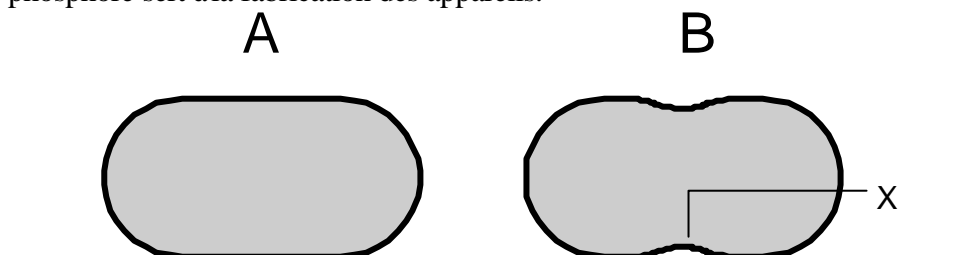
2) modulation selon la température du local :

lorsque la température du local varie, l'émission s'adapte : elle est d'autant plus forte que la température est plus élevée (comme c'est souvent le cas en été). A contrario, il est rigoureusement impossible qu'une éventuelle défaillance de la régulation puisse conduire à des températures trop faibles : la température du local ne peut descendre en dessous de la température de plafond, soit 17 à 20°C.

5 Matériau cuivre

Le cuivre se trouve abondamment dans la nature, dans les grands gisements miniers, parfois aussi à l'état natif et présente une bonne aptitude à la transformation. Pour ces raisons, le cuivre a été le premier métal utilisé par l'homme. Le cuivre est irremplaçable à cause de ses propriétés exceptionnelles : grande stabilité physico-chimique, malléabilité et excellente conductibilité thermique (la meilleure après celle de l'argent).

La transformation mécanique est donc aisée, tout comme l'assemblage qui s'effectue facilement par soudage ou brasage avec des additifs appropriés. On distingue en général deux qualités de cuivre : le cuivre à l'oxygène présente une bonne conductibilité électrique ; le cuivre sans oxygène désoxydé au phosphore sert à la fabrication des appareils.



Tube capillaire aplani par une transformation directe et après coup.

L'aplatissement après fabrication déforme le tube ce qui nuit à la transmission de chaleur.

Pour la fabrication des nattes KaRo on utilise exclusivement du cuivre sans oxygène qui se laisse souder et braser facilement et on assemble les tuyaux capillaires aux collecteurs selon le procédé Overlay. Les tuyaux capillaires sont fabriqués à partir de barres rondes coulées qui sont extrudées ou laminées à chaud en un tuyau. Les petits tuyaux sont ensuite étirés à froid pour obtenir la section souhaitée et la forme ovale. On obtient ainsi des tubes bien plus rectilignes que s'ils avaient été emboutis après fabrication.

6 Matériau polypropylène

Les nattes KaRo de la série P sont fabriquées en propylène (Qualité PPR : polypropylène-Random-Copolymerisat). Ce polypropylène est spécialement Climatiser naturellement... ...avec KaRo!

approprié pour les tuyauteries d'eau qui peuvent être longtemps soumises à des températures élevées. Le polypropylène a fait ses preuves depuis des décennies dans les chauffages par le plancher et dans l'alimentation en eau potable.

6.1 Tenue mécanique :

La tenue à la pression des tubes en plastique dépend de leur épaisseur et de leur résistance au vieillissement :

Le critère de qualité pour apprécier la tenue mécanique des tuyaux en plastique est le module d'élasticité ou module d'Young E, qui s'exprime en N/mm².

Pour déterminer la tenue en pression, les fabricants effectuent en laboratoire des essais normalisés sur des tuyaux soudés et des pièces façonnées : les échantillons sont testés à diverses températures et pressions intérieures jusqu'à rupture, puis les résultats analysés selon des méthodes normalisées de façon à en déduire la valeur limite de tenue en pression pour une durée d'utilisation codifiée (généralement 50 ans).

Pour extrapoler ce résultat aux autres diamètres ou épaisseurs de tubes, on utilise d'abord la relation ci-dessous pour déterminer la valeur du module d'élasticité correspondant aux matériaux testés en laboratoire. Connaissant la valeur de E, on peut ensuite en déduire les valeurs limites de pression pour toutes les valeurs de D et e:

$$E = P * (D - e) / 2e$$

Où :

P	= pression intérieure, en N/mm ²
D	= diamètre extérieur du tube en mm
e	= épaisseur de la paroi du tube en mm

Cette formule permet donc de caractériser le matériau ayant fait l'objet des essais de vieillissement et de tenue en pression par une grandeur indépendante des dimensions du tuyau, puis d'extrapoler les résultats à l'ensemble de la gamme :

La formule montre que le facteur clé est l'épaisseur relative de la paroi par rapport au diamètre. Un tuyau capillaire de 2 mm de diamètre avec une épaisseur de paroi de 0,2 mm présentera la même résistance à la pression qu'un tube de 20 mm de diamètre et de 2 mm d'épaisseur de paroi.

Pour le polypropylène de la natte KaRo, les mesures en laboratoire extrapolées sur une durée de fonctionnement de 50 ans avec les températures usuelles de fonctionnement des plafonds (30°C) conduisent à retenir comme valeur pratique du module d'élasticité :

$$E = 9 \text{ N/mm}^2,$$

Or, les nattes KaRo présentent une épaisseur de paroi égale à 10% ? (cas des collecteurs) ou 20% (cas des capillaires) du diamètre.

Si on considère les conditions standard d'utilisation (pression d'eau de 4 bars, soit 0,4 N/mm²), la relation ci-dessus montre que le module d'élasticité doit au minimum être de 2 N/mm² pour les collecteurs et 1,0 N/mm² pour les tubes capillaires

Ainsi, la tenue en pression des tubes est assurée pendant 50 ans avec un facteur de sécurité⁷ important : 5 ou 9, selon qu'il s'agit des collecteurs ou des capillaires.

On pourra noter que dans la réalité le facteur de sécurité est généralement supérieur car les plafonds climatiques fonctionnent une grande partie du temps en mode froid et atteignent donc rarement des températures supérieures à 30°C.

Enfin, au delà des considérations théoriques, le meilleur gage de tenue à la pression est certainement l'expérience accumulée sur les conduits de chauffage en polypropylène :

Les innombrables réalisations témoignent en effet de la bonne tenue à la pression de ce matériau lorsqu'il est utilisé pour la réalisation des installations traditionnelles de chauffage par le sol.

Avec les nattes KaRo, la tenue en pression est forcément encore meilleure. En effet, les températures d'eau étant plus modérées et l'épaisseur relative de la paroi des tuyaux capillaires plus élevée, la formule montre que la tenue en pression ne peut être que meilleure.

6.2 Propriétés physiques

Le polypropylène utilisé pour les nattes KaRo correspond à la recommandation VII, polypropylène du Service Fédéral Allemand de la Santé (BGA) et ne présente donc aucun inconvénient sur le plan sanitaire : même les

⁷ facteurs de sécurité donnés pour une pression de service de 4 bar
Climatiser naturellement... ..avec KaRo!

conduites d'eau chaude et froide pour l'eau potable sont fabriquées en polypropylène.

6.3 Résistance contre les rayons ultraviolets

En service normal, les nattes KaRo de la série P ne sont évidemment pas exposées à l'action des rayons ultraviolets. Il convient cependant de veiller à ce que lors de leur montage elles ne soient pas exposées à un rayonnement solaire excessif. En intérieur, il y a peu de problèmes puisque les vitrages absorbent la plus grande partie du rayonnement UV. Pour leur transport, les nattes KaRo et leurs adductions sont dans un emballage protecteur .

6.4 Combinaison avec le cuivre

Le polypropylène peut être assemblé avec des conduites en cuivre, mais ne peut rester en permanence en contact direct avec le cuivre. C'est pour cela que les assemblages cuivre/propylène sont réalisés avec des garnitures en laiton.

6.5 Polypropylène = matériau recyclable

Le polypropylène est totalement recyclable. Ainsi, tous les déchets de coupe sur les chantiers sont repris par KaRo contre remboursement et réutilisés pour la production d'éléments de fixation.

Les grands producteurs de matières premières travaillent sur des procédés de recyclage du polypropylène. Ainsi, des pièces usées en polypropylène des autos, des bâtiments et des appareils ménagers doivent être traitées pour la réutilisation dans des installations de recyclage.

6.6 Comportement du polypropylène en cas d'incendie

Le polypropylène est exempt de substances nocives qui polluent l'environnement. En cas d'incendie, les gaz brûlés (dioxyde de carbone et eau) sont totalement inoffensifs. En plafond métallique suspendu les nattes KaRo sont isolées du local par la plaque métallique et du plenum par un matériau isolant .

Les plaques de plafond avec les nattes KaRo sont utilisables dans les bureaux grâce à cette protection, comme le montre le PV K 30 de l'Institut pour matériaux de construction, construction lourde et protection contre l'incendie de Braunschweig.

6.7 Elimination des déchets

Même si le polypropylène doit être éliminé comme déchet, parce qu'un triage pour la réutilisation ne serait pas économique, il se distingue par un impact

positif sur l'environnement. Ainsi, il peut être éliminé comme déchet sans problèmes dans des installations d'incinération d'ordures, car il est exempt de substances nocives polluantes et sa combustion ne dégage que du CO² et de l'a vapeur d'eau. Il se comporte d'une manière neutre dans les décharges. Grâce à son insolubilité dans l'eau, il ne menace ni les eaux souterraines ni le sol.

7 Le concept de sécurité KaRo

Le concept de sécurité KaRo garantit l'exploitation des plafonds KaRo pendant de longues années. Il englobe le système, la production et le montage.

7.1 Le système

Depuis la présentation de la première natte en tuyaux capillaires, la question la plus souvent posée concerne le risque d'obturation des tuyaux capillaires.

Une expérience de plus de 15 ans permet de répondre clairement "non". En effet, les plafonds KaRo de la série P sont séparés du circuit primaire par des échangeurs de chaleur et les composants utilisés sont insensibles à la corrosion. Ainsi, le risque d'obturation n'est-il pas plus important qu'avec les systèmes habituels (tuyaux de diamètre élevé).

7.1.1 Risque d'entartrage

Pour le système KaRo l'entartrage est exclu car on est en circuit fermé sans renouvellement d'eau. De plus, même les additions occasionnelles d'eau lors des opérations d'entretien ne peuvent conduire à entartrage, car les températures ne dépassent jamais le seuil (environ 40°C selon la dureté de l'eau) au-delà duquel il y a risque d'entartrage.

7.1.2 Risque de corrosion

Les circuits hydrauliques en acier peuvent être bouchés par les boues dans les cas où l'oxygène peut pénétrer dans le circuit. Pour le système KaRo, toute production de rouille est exclue, puisque l'eau en circulation n'est en contact que de plastique, acier inoxydable, ou matériaux non ferreux. L'eau reste claire même après des années.

Il est donc totalement superflu pour le système KaRo d'ajouter des inhibiteurs de corrosion : on utilise de l'eau du réseau non traitée.

7.1.3 Série C

Les nattes KaRo en cuivre sont protégées des impuretés du circuit d'eau par des filtres. Elles peuvent également être séparées du réseau primaire par des échangeurs de chaleur.

7.2 Production

Les nattes KaRo sont fabriquées sur des machines brevetées et soumises à un contrôle de qualité continu selon ISO 9000.

Chaque natte Ka-Ro est soumise en usine à un test de pression à 20 bars avant qu'elle ne quitte l'usine.

7.3 Montage

Toutes les pièces constitutives du système KaRo sont conçues pour un montage simple et sûr. Des instructions et formations facilitent le montage sur place. Chaque installation est soumise après montage à un test de pression avec procès-verbal. La pression d'essai est prise égale à la pression d'exploitation ultérieure.