

En plafond froid, comme en chauffage par le sol, la régulation thermostatique commande le débit d'eau en fonction de la température du local.

Pour les plafonds froids, il faut en outre que la température d'eau reste supérieure à la température de rosée de l'air intérieur. C'est cette nouvelle exigence qui a rendu nécessaire le développement d'un appareil spécifique : le régulateur Tauka.

A la sonde thermostatique présente dans la pièce on ajoute donc une sonde à point de rosée disposée au plafond. Ce mode de régulation, dont le développement remonte à une quinzaine d'années, est à présent systématiquement utilisé pour la climatisation par plafond froid.

Pour les plafonds KaRo, la régulation en température et la protection contre les condensations sont assurées par le régulateur Tauka.

SOMMAIRE

1	Régulation thermostatique	1
2	Protection contre les condensations - Généralités	2
3	Protection contre les condensations - Solutions techniques.....	5
4	Précisions complémentaires	8
5	Spécifications techniques du régulateur Tauka	9

1 Régulation thermostatique

Cas du système 2 tubes

La figure 1 représente le schéma de principe de la régulation dans le cas d'un système "deux tubes" .

Dans le cas où le plafond froid est utilisé en mode "change over" pour assurer le chauffage des locaux en saison d'hiver et leur refroidissement en saison d'été, il y a naturellement lieu d'opérer le basculement été/hiver du régulateur.

La commande s'opère, soit manuellement en actionnant le contacteur de basculement de l'appareil, soit à distance dans le cas où le thermostat est relié à une GTC.

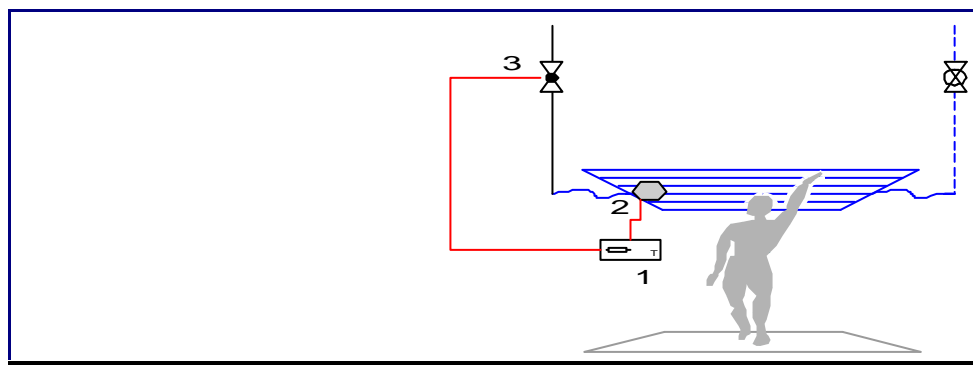


Figure 1 régulateur de température ambiante pour système 2 tubes

1 = Régulateur

- 2 = Sonde à point de rosée
- 3 = Vanne de régulation

Cas du système 3 tubes

Comme représenté à la figure 2, le régulateur commande en fonction de la température du local l'ouverture soit de l'électrovanne 3 (refroidissement), soit de l'électrovanne 4 (chauffage).

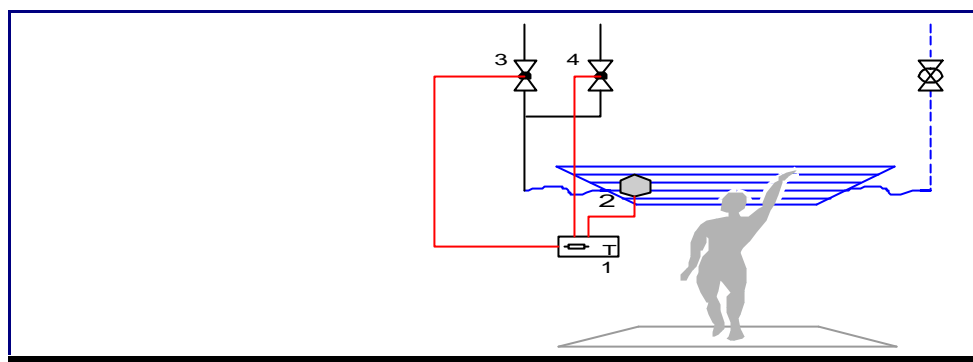


Figure 2 : Régulateur de température ambiante pour système 3 tubes :

- 1 = Régulateur
- 2 = Sonde à point de rosée
- 3 = Vanne de régulation circuit eau froide
- 4 = Vanne de régulation circuit eau chaude

2 Protection contre les condensations - Généralités

Pour optimiser le coût des installations, il est intéressant d'abaisser la température d'amenée d'eau froide de façon à réduire la surface de plafond. Dans la pratique, (voir Ch.4 - confort thermique) l'abaissement de température peut s'opérer sans incidence sur le confort, la première limitation étant le risque d'apparition de condensats au niveau du plafond froid.

La prévention du risque de condensation constitue donc un facteur déterminant du dimensionnement des installations de plafond froid. On indique ici les conséquences en matière de conception :

Evaluation du risque de condensation - Situation comparée de différentes villes européennes :

Pour évaluer le risque de condensation, un bon indicateur de l'humidité de l'air est la température de rosée. Le Tableau 1 donne, pour différentes villes, la température de rosée maximale de l'air extérieur en été : on peut observer des variations notables (environ 5°C) ; le climat des régions méditerranéennes est

plus humide en été, ce qui signifie qu'il faudra, pour ces régions, particulièrement étudier les dispositions permettant de se prémunir des condensations.

°C	Berlin	Zurich	Lyon	Marseille	Nantes	Nice	Paris	Strasbourg
T. sèche	26	26	30	29	27	28	28	27
T. rosée	16,5	16,5	19	20	18	21,5	17,5	18

Tableau 1 : Valeurs extrêmes (p=95%) en été de la température extérieure pour différentes villes européennes - d'après ASHRAE Fundamentals.

Détermination du point de rosée de l'air intérieur

La température de rosée de l'air intérieur est d'autant plus élevée que la production d'humidité par les occupants est importante et que le taux de ventilation est faible.

Dans le cas d'un immeuble où le renouvellement d'air est assuré par un système de soufflage sans possibilité d'ouvertures de fenêtre, (cas général des grands immeubles de bureau), l'humidité de l'air intérieur se calcule ainsi:

$$W_{\text{int.}} = W_{\text{ext.}} + \frac{P \cdot t}{3 \cdot n}$$

où:

P	g/h.occ	Production d'humidité par occupant : 65g/h dans les conditions moyennes,
t	occ/m ²	Taux d'occupation, par ex. 0,1 occupant par m ² ,
n	vol/h	Taux d'air neuf - valeurs types : de 1 vol/h - ventilation classique par mélange à 2,5 vol/h - ventilation par déplacement,
W _{int}	g/kg air sec	humidité de l'air intérieur,
W _{ext}	g/kg air sec	humidité de l'air extérieur.

En pratique, les variations d'humidité dans les locaux sont fortement amorties par le tampon hygroscopique des matériaux présents dans les locaux (parois, mobilier, papier, etc...) : le pic d'humidité extérieure est lissé ; on peut considérer qu'en l'absence d'ouverture de fenêtre cela correspond à une diminution du pic de température de rosée d'environ 2°C en ventilation classique et de 1°C en ventilation par déplacement.

Le tableau ci-dessous montre que les débits minimaux d'air hygiénique sont fixés par la réglementation à une certaine valeur fonction du type de local, mais,

le plus souvent, notamment dans le cas d'immeubles de bureaux, voisine de 1 vol/h. La réglementation thermique (art. 24 et 29 de l'arrêté du 13 avril 1988) impose alors la mise en place de dispositifs interdisant la possibilité de débits d'air supérieurs à 120 (ou, dans les régions du sud, 130 %) des valeurs réglementaires lorsque le chauffage fonctionne. Le système KaRo est utilisé depuis plusieurs années à Monaco et à Marseille. L'utilisation de sondes de point de rosée, de contacts de feuillure alliée à une ventilation mécanique de 2,5 volumes en été avec une température de soufflage de 12°C est suffisante pour un fonctionnement en toute sécurité de ces installations.

Débits types d'air neuf

Immeubles de bureaux	Bureau collectif	2,5
	Salle de réunion	5,1 à 8,6
	Salle à manger, Cafétéria	12,9 à 17,6
Grandes surfaces	Super - Hyper	3
	Grands magasins	6
Secteur social	Pouponnières	6 à 12
	Crèches	4,5 à 5
	Garderies	6 à 7
	Centres sociaux	7 à 17
Hôtellerie	Chambres d'hôtel	
Salles de spectacle	Musées	3 à 6
	S. de spectacle	12 à 20

Tableau 2 : Exemples de taux de renouvellement d'air en m³/h.m² recommandés en France (selon Cahier du CSTB n° 2286)

Exemple de calcul

Calcul de la température de rosée maximale susceptible d'être rencontrée dans des locaux situés à Paris (température de rosée extrême de l'air extérieur: 17,5°C):

Avec les hypothèses ci-dessus, la ventilation par déplacement correspond à une augmentation d'humidité de 0,9 g/kg air sec, soit une variation de 1°C de la température de rosée. Compte tenu du tampon hygroscopique, la température de rosée maximale de l'air intérieur est donc elle-même voisine de 17,5°C. En ventilation par mélange où les débits d'air sont moins importants, cette température aurait été de 18°C.

Commentaires

On considère généralement que pour éviter le risque de condensations, il convient de respecter la règle suivante :

$$T_{\text{plafond froid}} - T_{\text{rosée air intérieur}} > 1^{\circ}\text{C}$$

Pour le climat parisien, cette règle conduirait donc à des températures d'entrée d'eau de l'ordre de 19°C, et il suffirait, en théorie, d'alimenter les plafonds froids sous une température de 19°C pour être en permanence à l'abri de toute condensation.

Cependant, cette solution est peu acceptable sur le plan économique. En effet, il faut, sur le plan pratique, tenir compte de deux incertitudes qui vont se cumuler pour conduire à des dimensionnements trop importants des surfaces de plafond froid :

- a) L'incertitude liée à la difficulté, lors des études de dimensionnement, de prévoir correctement la valeur maximale de la température de rosée de l'air intérieur. Sa valeur dépend en effet de nombreux paramètres : nombre d'occupants, conditions climatiques extérieures, tampon hygroscopique, taux réel de ventilation,... : La valeur de 19°C indiquée pour le climat parisien n'est donc qu'indicative, et il faudrait donc en théorie retenir des valeurs un peu plus élevées si on veut obtenir une sécurité totale.
- b) L'incertitude habituelle sur l'évaluation des charges de froid maximales des locaux climatisés.

Devant ces incertitudes, la déshumidification de l'air de ventilation pourra apparaître comme la solution technique à privilégier :

- a) Elle permet en effet, en réduisant effectivement l'humidité intérieure, de maîtriser le risque de condensations tout en autorisant une fourniture de froid plus importante.
- b) Elle constitue une solution flexible permettant en cours d'exploitation de corriger les éventuelles insuffisances de dimensionnement, soit en déshumidifiant davantage, soit en installant, là où cela pourrait s'avérer nécessaire des dispositifs limiteurs de température.

Enfin, en dehors de la gestion du risque des condensations, la déshumidification permet, le cas échéant, en réduisant l'humidité de l'air neuf, à la fois de satisfaire aux spécifications de certains Cahiers des Charges et d'augmenter la sensation de confort (voir Ch. 4)

3 Protection contre les condensations - Solutions techniques

Il y a de nombreux moyens de se prémunir du risque de condensations : on peut jouer sur les températures d'eau ; pour cela, le moyen le plus sûr consiste à piloter le régulateur par une sonde à point de rosée située dans le local à protéger.

On peut également mettre à profit les contacts de feuillure des fenêtres lorsque l'installation en est équipée (cf.Ch.6) et, en cas de ventilation mécanique, avoir recours à un système de déshumidification de l'air :

Limitation de la température d'eau à une valeur constante

Cette solution, fiable et peu onéreuse, requiert, comme indiqué plus haut, une marge de sécurité importante en température d'entrée d'eau, ce qui altère la performance des plafonds. Pour cette raison, elle n'est jamais employée seule ; elle peut par exemple (voir ci-dessus) être associée à une déshumidification de l'air.

On peut aussi, plutôt que de limiter la température d'eau à une valeur constante, ajuster cette température aux conditions réelles d'humidité de l'air : cela permet, tout en se prémunissant des condensations, d'assurer des apports froids convenables .

Contrôle des apports froids par sonde à point de rosée

La solution la plus simple, et en pratique la plus employée, consiste à utiliser une sonde à point de rosée commandant en tout ou rien l'alimentation en eau glacée. Cette sonde est disposée au niveau du point le plus froid du plafond (entrée du circuit d'eau). Il y a naturellement autant de sondes que de zones de régulation dans le bâtiment.

Lorsque la sonde détecte l'apparition des conditions de rosée, la commande la plus fréquente est la fermeture de l'électrovanne. L'arrêt de la circulation d'eau entraîne l'élévation progressive de la température du plafond : au bout de quelques minutes la sonde de point de rosée change à nouveau d'état, ce qui entraîne la réouverture automatique de la vanne, et ainsi de suite.

Au lieu de commander la fermeture des électrovannes, on pourrait envisager l'arrêt de la pompe pour la zone considérée, ce qui présente l'inconvénient de stopper l'émission de l'ensemble des plafonds équipant la zone desservie par la pompe.

Il est donc préférable de relever la température d'entrée d'eau. Pour cela une solution consiste à utiliser une pompe à débit variable sur le circuit secondaire ; on peut également agir sur la vanne 3 voies du circuit primaire en amont de l'échangeur, mais cette solution est un peu plus onéreuse en terme de consommation électrique.

Contrôle des apports froids par mesure de l'humidité extérieure

L'évaluation du risque de condensation peut se faire également à partir d'une sonde unique mesurant l'hygrométrie de l'air extérieur. On joue alors sur la corrélation entre température de rosée de l'ambiance et conditions Climatiser naturellement... ...avec KaRo!

hygrométriques extérieures pour réguler la température d'eau froide distribuée dans l'ensemble de l'installation.

Cette solution, encore peu employée, permet d'avoir une commande centralisée avec une seule sonde extérieure, ce qui diminue le coût de l'installation. Elle convient toutefois assez mal aux locaux à forte production d'humidité (salles de réunion,...) qui peuvent nécessiter une protection localisée supplémentaire.

Déshumidification de l'air.

On rappellera tout d'abord, et indépendamment des questions de condensation, que la déshumidification d'air est extrêmement intéressante dans le cas d'immeubles avec des apports élevés. Elle autorise en effet un abaissement de plusieurs degrés de la température du plafond froid et en augmente donc notablement l'émission.

Pour cette raison la plupart des installations importantes de plafond froid sont réalisées avec déshumidification de l'air soufflé.

Pour réaliser cette déshumidification, il suffit de dimensionner plus largement la batterie d'eau froide pour que l'air soit soufflé entre 7 et 8 g/m³. Des solutions techniques permettent d'obtenir ce résultat tout en conservant des températures de soufflage confortables entre 14° et 15°C et en évitant les consommations d'énergie liées au réchauffage (nous consulter). L'utilisation de bouches de soufflage à forte induction peut également constituer une réponse appropriée; en effet permettant d'assurer le confort vis-à-vis des courants d'air pour des températures d'air soufflé aussi basses qu'environ 12°C, elles se prêtent bien à l'emploi de déshumidificateurs sans qu'il soit nécessaire de prévoir de réchauffeur terminal, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie. D'autre part, elles permettent, pour un moindre débit d'air, d'assurer une fourniture complémentaire de froid, ce qui est particulièrement appréciable en cas d'apports élevés

Le degré de déshumidification, c'est à dire la température de rosée de l'air soufflé, peut se déterminer en fonction de la température du plafond froid (cf. indications données ci-dessous).

Un exemple de résultats concernant un immeuble de bureau avec condamnation des fenêtres fait l'objet du Tableau 3. On y trouve les valeurs calculées de la température de rosée de l'air ambiant en fonction de deux options de température d'air à la sortie de la batterie de déshumidification : 11 et 14°C et de deux niveaux de renouvellement d'air (1 et 2,5 vol/h).

		Renouvellement d'air	
		1 vol/h	2,5 vol/h
Température de rosée de l'air soufflé	11°C	15	13
	14°C	17	15

Tableau 3 : Exemple de calcul de la température de rosée de l'air intérieur en fonction de la température de rosée de l'air déshumidifié et du taux de renouvellement d'air - cas d'un immeuble de bureau à occupation moyenne avec condamnation des fenêtres)

Dans cet exemple, une déshumidification à 14°C pour un taux de renouvellement d'air de 1 vol/h conduit à une température de rosée de 17°C, ce qui correspond à une température de plafond au moins égale à 18°C.

On voit donc que si l'on souhaite des émissions frigorifiques élevées, il sera nécessaire, soit de diminuer la température au soufflage, soit d'augmenter le taux de renouvellement d'air.

En résumé, la déshumidification de l'air soufflé diminue le risque de condensation tout en améliorant de façon notable les performances des plafonds froids. mais est en général insuffisante à elle seule pour éliminer tout risque. Il faut donc soit l'associer à une protection par sonde à point de rosée de façon à en améliorer la fiabilité, soit, si les fenêtres du bâtiment ne sont pas condamnées, l'associer à des contacts de feuillure .

Association d'une déshumidification avec des contacts de feuillure.

L'association de contacts de feuillure avec un système de déshumidification peut être envisagée dans les immeubles équipés d'une climatisation centralisée. Il est en effet assez aisé (voir ci-dessus) d'installer un système de déshumidification et l'installation de contacts de feuillure est souvent une obligation réglementaire.

On voit alors que si les apports internes d'humidité (il s'agit essentiellement des apports métaboliques) ne sont pas trop importants, le risque de condensation est très faible.

Cette solution peut donc être envisagée. Il est toutefois impératif de mener pour chaque opération une étude spécifique de façon à la mettre en œuvre en toute sécurité.

4 Précisions complémentaires

Généralités sur les contacts de feuillure

Les contacts de feuillure sont des interrupteurs qui, pour réaliser des économies d'énergie, commandent l'arrêt automatique de la climatisation en cas d'ouverture de fenêtre.

Pour les locaux avec possibilité d'ouverture de fenêtre, on peut, en cas d'ouverture de fenêtre par temps chaud et humide, craindre des condensations; une solution consiste alors à prescrire une condamnation de l'alimentation en eau froide, commandée par des contacts de feuillure. Cette solution, qui, en France, a le mérite de répondre à l'arrêté du 13.04.88 (Art. 35) relatif à la maîtrise des consommations d'énergie, constitue une précaution utile pour les locaux avec possibilité d'ouverture de fenêtre situés dans les climats humides tels la Côte d'Azur; elle est plus particulièrement adaptée aux nattes posées en plafond suspendu car leur inertie thermique est plus faible.

La réglementation du 13 04 1988 sur les économies d'énergie rend en effet obligatoire l'utilisation des contacts de feuillure pour les installations d'une certaine importance.

Bien que les contacts de feuillure n'aient pas pour fonction de protéger contre les condensations, ils peuvent être mis à profit pour apporter une sécurité complémentaire : En effet, l'ouverture de fenêtre entraîne l'arrêt du fonctionnement de la climatisation, ce qui en principe élimine le risque de condensation du aux ouvertures de fenêtre par temps chaud et humide. Cette protection est cependant loin d'être absolue puisque le risque réapparaît dès la fermeture des fenêtres. De plus, ces équipements n'apportent aucune protection contre les condensations dus aux apports internes d'humidité.

On retiendra donc que la présence de contacts de feuillure peut, dans certaines circonstances, aller dans le sens d'une amélioration de la sécurité anti-condensations, mais qu'il ne s'agit que d'une protection complémentaire insuffisante en elle-même.

Sonde d'humidité ou sonde de point de rosée ?

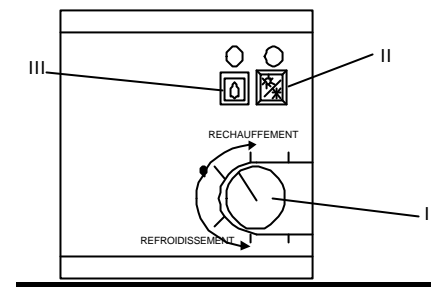
Les sondes à point de rosée sont des appareils robustes, peu onéreux et peu encombrants qui bénéficient d'une longue expérience en matière d'association avec des plafonds froids.

Il s'agit de sondes capacitatives dont les caractéristiques électriques varient de façon très importante au voisinage de la saturation ($HR = 95\%$ à 100%). Elles sont donc parfaitement appropriées à la détection des situations à risque mais non au contrôle de l'humidité du local.

On aurait pu envisager de déterminer la température de rosée par le calcul en fonction d'une mesure de température et d'humidité relative de l'air l'humidité relative de l'air ambiant et de calculer ensuite à partir de cela le point de rosée. Cette solution est cependant moins bien adaptée car elle est plus onéreuse et, surtout, présente une moindre précision. En effet, le calcul nécessite une marge de sécurité assez importante en raison de l'imprécision des sondes de température et surtout des sondes d'humidité. Avec la sonde de point de rosée par contre, le point de rosée fait l'objet d'une détection directe et n'est donc sujet à aucune imprécision de mesures, puisque, répétons le, il ne s'agit pas d'une sonde de mesure mais d'un appareil de détection.

5 Spécifications techniques du régulateur Tauka

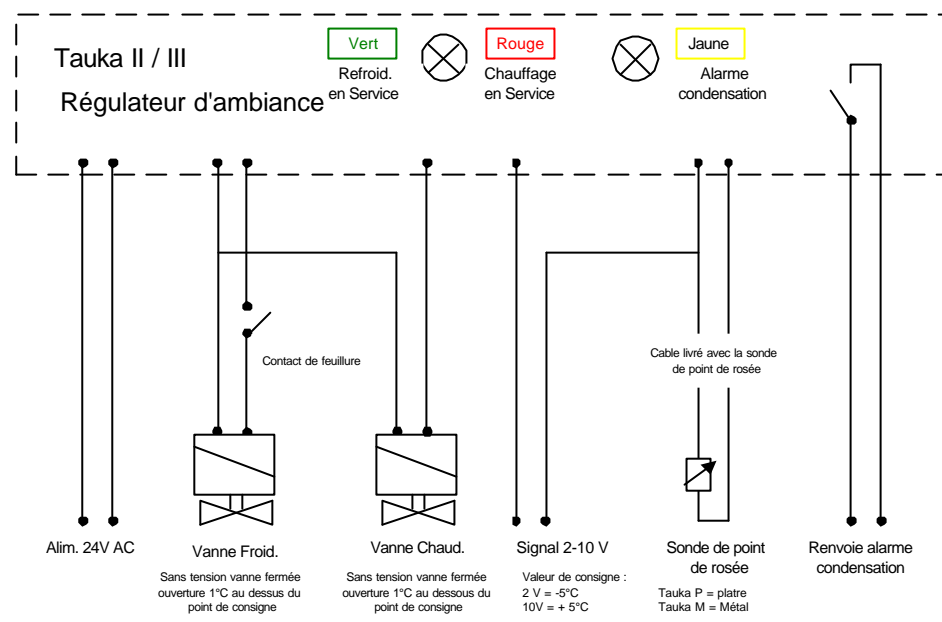
Le régulateur Tauka est spécialement conçu pour être utilisé avec les plafonds froids KaRo: ce régulateur associe les fonctions de protection par détection de point de rosée et de régulation thermostatique.



Liaisons

Sonde thermostatique incorporée au boîtier

Sonde de point de rosée



Témoins lumineux

Indicateur de point de rosée: en atteignant le point de rosée, la vanne d'alimentation se ferme et le témoin "protection contre le point de rosée" s'allume.

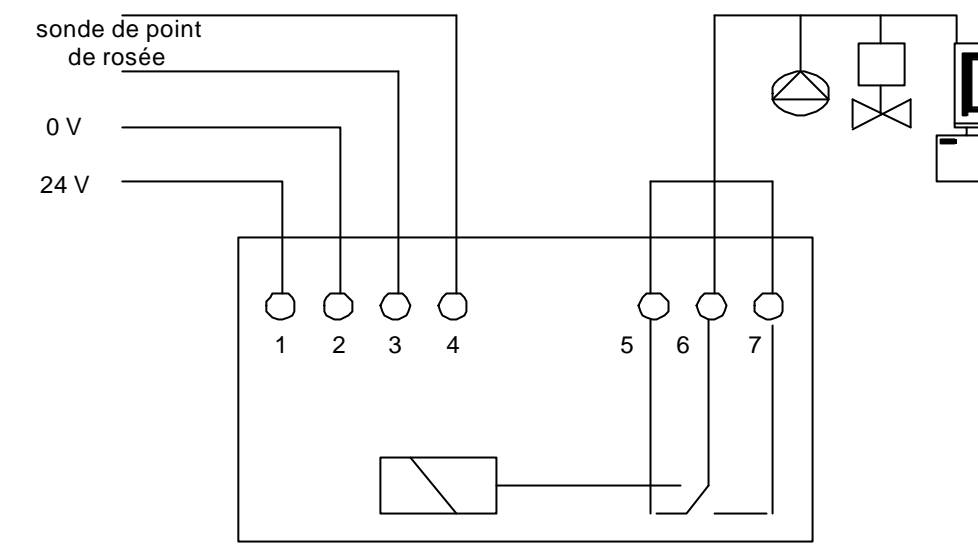
Les régulateurs peuvent être placés sur un système à deux tubes ou sur un système à trois tubes par un changement du pontage interne des bornes 1 et 2.

Liaison avec GTC et convertisseur

a) Connexion supplémentaire pour liaison à la GTC: basculement été/hiver dans le cas de systèmes 3 tubes.

Marque : KaRo

Type : KTS

**b) Données techniques :**

L x l x h :	75x45x47 mm
Alimentation :	24 VAC
Contact de démarrage :	230V, 8A

Borne

1
2
3
4
5
6
7

Raccordement

alimentation 24V
nul
potentiel nul sonde de point de rosée
entrée sonde de point de rosée
Relais contact de travail
Relais contact commun
Relais contact d'arrêt

c) Produit :

Contact de démarrage pour 0 à 230 V et charge de travail de 8A.

Diodes lumineuses pour « Fonctionnement » et « Danger de point de rosée »

d) Fonction :

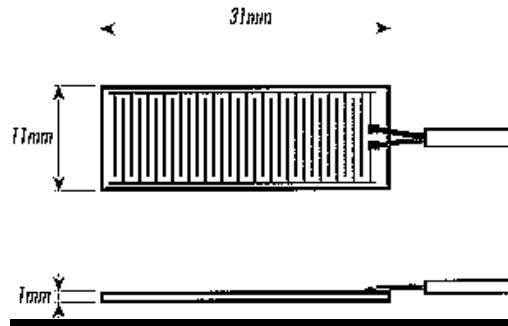
Le signal de la sonde de point de rosée entraîne le basculement « du contact de démarrage ». Ainsi, le circuit d'eau peut être arrêté dans le plafond, tandis que les commandes se ferment.

Des vannes de régulation, des pompes, des régulateurs peuvent être reliés au convertisseur TKS.

Le convertisseur permet de transformer le signal de la sonde de point de rosée en un contact passif exploitable par une régulation centralisée ou le "système conducteur ?" dans le cas d'un système de régulation digitale.

Sondes d'humidité

Les sondes à point de rosée se présentent sous forme d'une plaque de très petite dimension. Il en existe deux variantes.



Type M (pour plafond métallique)

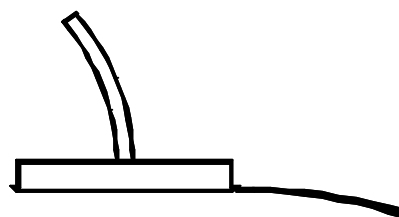
Données techniques :

Condensation On : $R < 0,3 \dots 0,7 \text{ Mohm}$

Condensation Off : $R > 1,4 \dots 3 \text{ Mohm}$

Ce modèle est adapté aux plafonds métalliques KaRo et à l'installation sur les tuyaux.

Elle doit être installée sur le collecteur d'amenée d'eau froide (ou sur les capillaires à proximité du capillaire) de façon à en mesurer effectivement la température. Il convient donc de prendre les dispositions nécessaires (protection par calorifuge de façon à ce que la sonde ne soit pas influencée par d'autres températures)



Type P (pour enduit plâtre)

La sonde est protégée par un capotage en plastique avec orifice de communication (voir schéma). Elle est ensuite fixée sur le plafond puis enduite de plâtre.

Contrairement à la sonde type M, la sonde type P doit être installée non pas au niveau du collecteur d'entrée (la température du plâtre n'y est pas suffisamment

homogène), mais au niveau des capillaires, à quelques centimètres de ce collecteur.