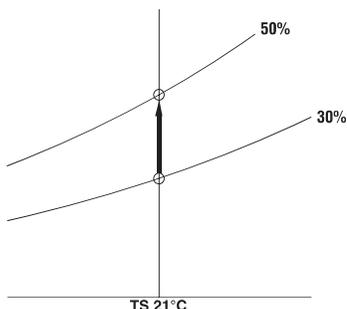


Humidification à vapeur (isotherme)

Contrairement à d'autres méthodes d'humidification, les humidificateurs à vapeur ont un effet minimal sur les températures sèches. L'humidificateur à vapeur décharge de la vapeur d'eau prête à l'emploi. Pour se mélanger à l'air et augmenter l'humidité relative, cette vapeur ne nécessite aucune chaleur supplémentaire. Elle est émise par de l'eau pure portée à 100°C. Cette température élevée pourrait faire croire que la décharge de vapeur dans l'air va augmenter la température de ce dernier, mais c'est une fausse impression. En réalité, un mélange air-vapeur se forme au fur et à mesure de la décharge de vapeur dans l'air. Dans ce mélange, la température de la vapeur décroît rapidement pour atteindre pratiquement la température de l'air.



Le diagramme psychrométrique permet de montrer que l'humidificateur à vapeur met en oeuvre un processus à température sèche constante. Partant d'un point sur une ligne de température sèche quelconque, l'humidification à vapeur se déroule le long de cette ligne à température constante. L'exemple ci-dessus illustre que l'augmentation d'humidité relative de 30% à 50% s'effectue à température sèche constante de 21°C. La température sèche ne varie pas, étant donné que la vapeur contient la chaleur (enthalpie) nécessaire à son passage dans l'air sous forme d'humidité. Avec de la vapeur à haute pression ou une forte augmentation en HR (plus de 50%), les résultats d'essais montrent une augmentation de température sèche de 0,5 à 1°C. Cela se traduit par une charge nulle du système de chauffage ou de climatisation.

Humidificateurs à injection directe de vapeur

Les humidificateurs à vapeur les plus courants sont du type à injection directe. Ces systèmes d'humidification à vapeur demandent très peu d'entretien. La vapeur elle-même agit comme agent de nettoyage et empêche le dépôt de substances minérales sur les pièces du système, contrairement aux humidificateurs à pulvérisation ou à cuvette d'évaporation, qui peuvent se colmater.

L'humidification à injection directe de vapeur présente également le double avantage d'une régulation à réponse plus rapide et plus précise. Comme la vapeur d'eau est prête à l'emploi, il suffit de la mélanger à l'air pour satisfaire les besoins du système. En outre, la sortie des humidificateurs à injection directe de vapeur peut être commandée par une vanne de régulation modulante, qui peut être réglée par le système à une position quelconque entre la fermeture et l'ouverture complète. Les humidificateurs à injection directe peuvent ainsi répondre plus rapidement aux fluctuations de la demande.

Étant donné leur température élevée, les humidificateurs à vapeur sont pratiquement stériles. Si l'eau d'appoint de la chaudière est de bonne qualité et qu'il n'y a pas de condensation, d'égouttage ou de projection dans les conduites, aucune bactérie ou odeur ne sera dispersée par la vapeur d'humidification.

Un système à vapeur installé correctement pose rarement des problèmes de corrosion. Le tartre et les dépôts (formés dans la chaudière ou entraînés par la vapeur) sont éliminés de l'humidificateur par le purgeur.

Humidificateurs à vapeur secondaire

Les humidificateurs vapeur secondaire fonctionnent avec un échangeur de chaleur dans lequel de la vapeur traitée produit, par échange de chaleur, une vapeur secondaire à partir d'eau non traitée. Comme la vapeur secondaire est généralement à la pression atmosphérique, l'emplacement des unités est d'une plus grande importance.

L'entretien des humidificateurs à vapeur secondaire dépend de la qualité de l'eau utilisée. Les impuretés comme le calcium, le magnésium et le fer peuvent former un dépôt de tartre qui nécessite de fréquents nettoyages. La réponse de la régulation est plus lente qu'en injection directe de vapeur, étant donné le temps nécessaire pour amener l'eau à l'ébullition.

Humidification par injection directe de vapeur

Figure 16-1. A séparateur

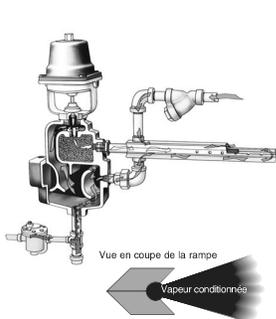
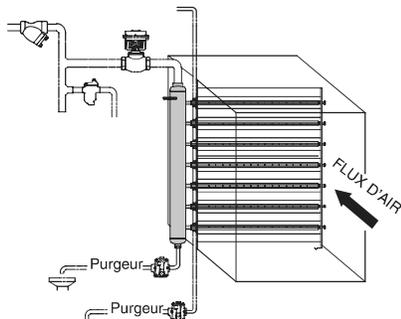
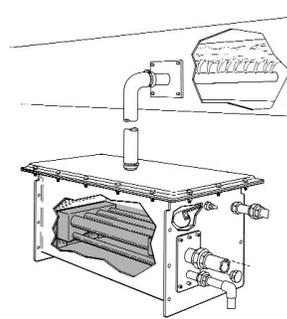


Figure 16-2. A panneau



Humidification à vapeur secondaire

Figure 16-3.



Humidificateurs électriques à vapeur (type à électrodes)

Les humidificateurs électriques à vapeur s'utilisent dans des installations ne disposant pas de source de vapeur. La vapeur est générée à la pression atmosphérique par un courant électrique dans l'eau. Les unités à électrodes ont une réponse proportionnelle à l'intensité du courant dans l'eau. Dans ce type d'unités, l'eau pure déminéralisée, dé-ionisée ou distillée ne permet généralement pas d'obtenir une conductivité suffisante.

La qualité de l'eau affecte le fonctionnement et l'entretien des humidificateurs à électrodes. Une eau dure nécessite un nettoyage plus fréquent, tandis que l'eau adoucie peut raccourcir la durée de vie des électrodes. La résolution des problèmes est facilitée par des diagnostics exécutés par des microprocesseurs.

Les unités à électrodes sont facilement adaptables à différents signaux de commande et permettent une sortie entièrement modulée. Toutefois, la nécessité de faire bouillir l'eau ne permet pas de comparer la régulation de ces unités à celle des unités à injection directe.

Humidificateurs électriques à vapeur (type à résistance)

Ce type d'humidificateur électrique fonctionne généralement avec une résistance de chauffage immergée pour amener l'eau à ébullition. Comme le courant électrique ne passe plus dans l'eau, la conductivité de l'eau ne pose plus de problème. La technologie Ionic Bed permet d'obtenir des humidificateurs polyvalents qui s'adaptent à différentes qualités d'eau. Dans ces unités, l'élément Ionic Bed remplaçable en matière fibreuse attire les particules solides de l'eau lorsque celle-ci est chauffée, ce qui réduit l'entartrage à l'intérieur de l'humidificateur. La qualité de l'eau n'affecte pas le fonctionnement et l'entretien consiste à remplacer la cartouche en matière fibreuse.

Les unités Ionic Bed sont facilement adaptables à différents signaux de commande et permettent une sortie entièrement modulée. La nécessité de porter l'eau à ébullition affecte la régulation.

Humidificateurs à vapeur au gaz

Ces humidificateurs à vapeur fonctionnent avec un brûleur alimenté au gaz naturel ou au propane. La chaleur de combustion est transmise à l'eau dans un échangeur de chaleur où se forme de la vapeur d'humidification à pression atmosphérique. Les gaz de combustion doivent être évacués selon la réglementation en vigueur. La composition du gaz, la qualité de l'air de combustion et la ventilation peuvent affecter le fonctionnement.

La qualité de l'eau peut également influencer le fonctionnement et l'entretien des humidificateurs chauffés au gaz. Dans ces unités, un élément Ionic Bed remplaçable en matière fibreuse attire les particules solides de l'eau lorsque celle-ci est chauffée, ce qui réduit l'entartrage à l'intérieur de l'humidificateur. La qualité de l'eau n'affecte donc pas le fonctionnement et l'entretien consiste à remplacer la cartouche en matière fibreuse.

Les humidificateurs au gaz de type Ionic Bed sont facilement adaptables à différents signaux de commande et permettent une sortie entièrement modulée. Toutefois, la régulation de l'humidité relative ambiante est limitée par la nécessité de porter l'eau à ébullition et par la technologie des valves et des brûleurs à gaz.

Systèmes à pulvérisation (adiabatique)

Dans les systèmes à pulvérisation, de l'eau est atomisée à l'aide d'air comprimé pour former un flux de particules d'eau microscopiques ayant l'aspect d'un brouillard. Pour se vaporiser, l'eau nécessite environ 2 300 kJ d'énergie par kilogramme. Les particules d'eau passent rapidement de la phase liquide à la phase gazeuse en absorbant l'énergie de l'air ambiant ou du jet d'air. Dans les systèmes à pulvérisation convenablement dimensionnés, l'air contient suffisamment d'énergie pour vaporiser l'eau et éviter un dépôt d'eau sur les surfaces, ce qui peut entraîner des problèmes de régulation ou d'hygiène.

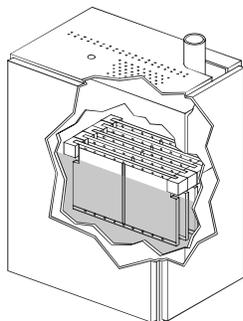
Les systèmes à pulvérisation n'apportent pratiquement aucune part de l'énergie de vaporisation nécessaire pour amener le taux HR à la valeur souhaitée. C'est pour cette raison que les systèmes à pulvérisation sont des processus à enthalpie pratiquement constante. Comme le montre l'exemple psychrométrique, la température sèche diminue au fur et à mesure de l'augmentation du taux HR de 30% à 50%. Ce refroidissement par évaporation peut apporter certains avantages aux systèmes ayant une grande puissance calorifique interne à dissiper.

Contrairement à bon nombre d'humidificateurs adiabatiques, les systèmes à pulvérisation correctement dimensionnés sont capables de moduler à la fois la pression de l'air comprimé et la pression d'eau pour réguler la sortie. Bien que l'évaporation nécessite un certain temps et une certaine distance (dans le système de traitement de l'air), la réponse en régulation est immédiate. Un haut rendement d'évaporation garantit un fonctionnement optimal du système.

Avant d'utiliser un système à nébulisation, une analyse de l'eau est conseillée si de l'eau à osmose inverse ou dé-ionisée n'est pas disponible.

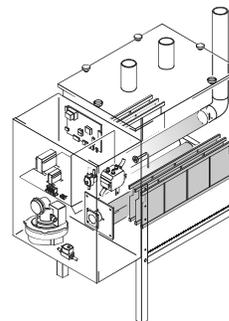
Humidificateur électrique à vapeur avec Ionic Bed

Figure 17-1.



Humidificateur au gaz avec Ionic Bed

Figure 17-2.



Comparaison des coûts

Pour une comparaison exacte des coûts lors de la sélection d'un système d'humidification, il convient de tenir compte des frais d'installation, d'exploitation et d'entretien, sans oublier les frais initiaux. Les frais d'humidification sont généralement très inférieurs aux frais de chauffage ou de réfrigération.

Les frais initiaux dépendent bien sûr de la taille des unités. Sur la base du rapport prix-capacité, les unités de grande capacité sont plus économiques quel que soit le type d'humidificateur : un humidificateur d'une capacité de 500 kg/heure revient donc moins cher que deux humidificateurs de même type de 250 kg/heure.

Le coût initial des humidificateurs à injection directe de vapeur est le plus faible ; les systèmes à pulvérisation et les humidificateurs au gaz sont les moins économiques en termes de coût initial, pour une capacité de 45 kg/h ou plus.

Les frais d'installation des différents types d'humidificateurs ne sont pas formulables avec précision, car les distances de

raccordement à l'eau, à la vapeur et à l'électricité varient fortement d'une installation à l'autre. Les frais d'exploitation de l'injection directe de vapeur, faibles, sont légèrement plus élevés pour un système à vapeur secondaire. Les frais d'exploitation des systèmes à pulvérisation et au gaz (lit ionisé) sont également peu élevés. Les frais en énergie sont plus élevés pour les humidificateurs électriques.

Les humidificateurs à injection directe de vapeur sont les plus économiques quant aux frais d'entretien ; ils sont suivis par les systèmes à pulvérisation. Les humidificateurs électriques et les humidificateurs au gaz Ionic Bed sont spécialement conçus pour minimiser l'entretien tout en étant plus souples quant à la qualité de l'eau. Les frais d'entretien des autres types peuvent varier fortement en fonction de la qualité de l'eau et des applications.

Ce qui précède résume les principales considérations lors de la sélection d'un système d'humidification. Le Tableau 19-1, page 19 présente les possibilités de chaque type d'humidificateur.

Figure 18-1.

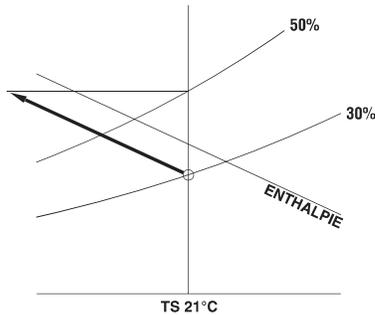
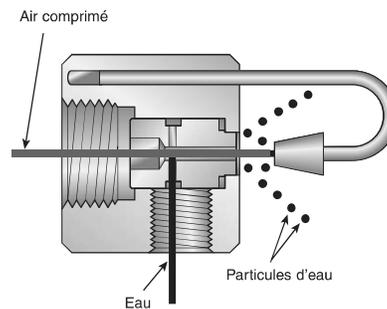
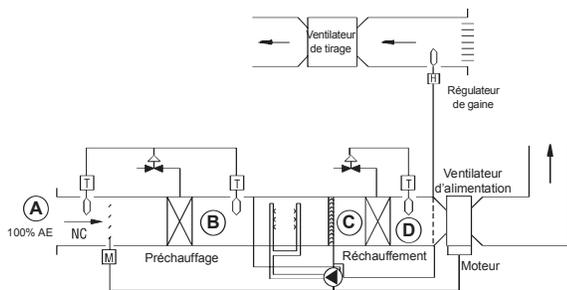


Figure 18-2. Tête de pulvérisation

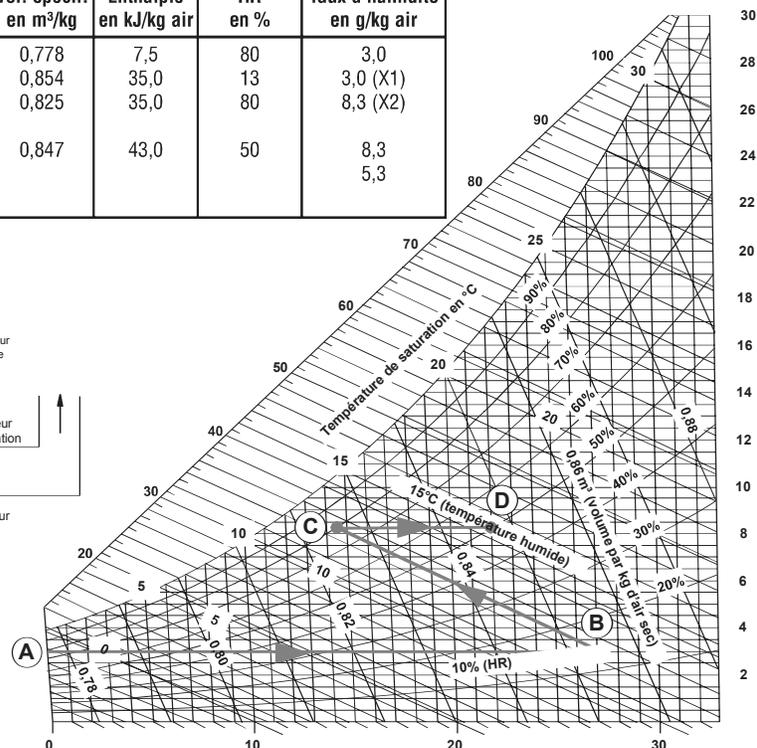


	T° sèche en °C	T° humide en °C	Vol. spécif. en m³/kg	Enthalpie en kJ/kg air	HR en %	Taux d'humidité en g/kg air
A Conditions extérieures	0	-1,2	0,778	7,5	80	3,0
B Préchauffage	27,0	12,3	0,854	35,0	13	3,0 (X1)
C Humidification avec eau recyclée non chauffée*	14,5	12,3	0,825	35,0	80	8,3 (X2)
D Réchauffement ΔX (X2-X1)	22,0	15,4	0,847	43,0	50	8,3 5,3

* en supposant un rendement de 80%



EA.....	Air évacué	NC.....	Normalement fermé
Relais E-P.....	Relais électropneumatique	NO.....	Normalement ouvert
H.....	Régulateur d'humidité	OSA.....	Air extérieur
M.....	Moteur de registre	RA.....	Retour d'air
MA.....	Air mélangé	T.....	Régulateur de température



Applications conseillées

Vapeur : conseillée pour pratiquement toutes les applications dans des bâtiments commerciaux, publics ou industriels. Dans les installations sans vapeur centrale, les besoins en capacité inférieurs à 90 kg/h peuvent être satisfaits par des générateurs de vapeur autonomes de type Ionic Bed. Pour des capacités supérieures, les humidificateurs à vapeur centrale sont les plus efficaces et les plus économiques. La vapeur doit être spécifiée avec prudence lorsqu'il s'agit d'ajouter de grandes quantités d'humidité à des matériaux hygroscopiques dans des espaces confinés de faible volume. Dans de telles conditions d'application, il est conseillé de consulter un représentant Armstrong.

Systèmes à pulvérisation : les systèmes à pulvérisation convenablement conçus avec un appoint d'eau dé-ionisée ou à osmose inverse permettent d'éviter les problèmes d'hygiène, de prolifération d'algues ou de bactéries, ainsi que les odeurs ou le tartre. Les avantages potentiels en énergie des systèmes à pulvérisation devraient être étudiés pour toute application nécessitant plus de 230 kg/h sans vapeur centrale ou lorsque le refroidissement par évaporation est bénéfique, comme dans le

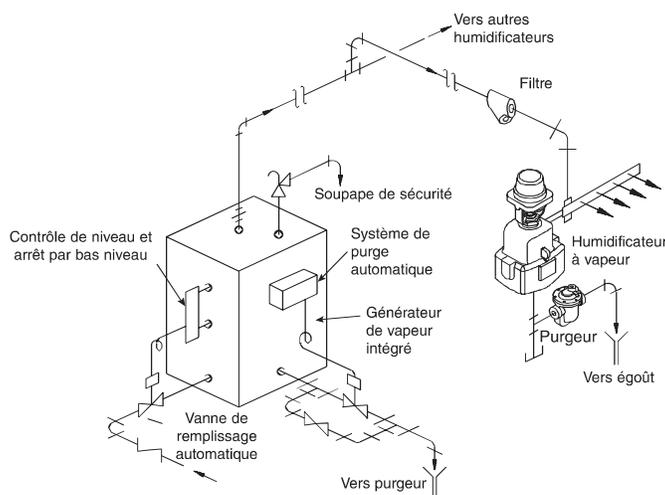
cas d'économiseurs côté air ou des installations nécessitant la dissipation d'une grande puissance calorifique interne.

Résumé : la conclusion qui s'impose est que la vapeur offre le meilleur mode naturel d'humidification. L'humidification à vapeur permet d'utiliser de la vapeur produite avec le meilleur rendement dans une chaudière. Il n'y a pas de dépôt de particules minérales et comme la vapeur ne contient pas d'eau liquide, elle n'engendre pas de problèmes d'hygiène, de prolifération d'algues ou de bactéries et ne produit pas d'odeurs, de corrosion ou de tartre.

Ayant ces avantages à l'esprit, les ingénieurs ne doivent spécifier une chaudière ou un générateur de vapeur que si le bâtiment à humidifier ne dispose pas d'une distribution de vapeur. Lorsque c'est économiquement réalisable, la charge d'humidification minimum descend dans la fourchette de 90 kg/h. La capacité des générateurs de vapeurs est généralement spécifiée avec une marge de 50% au-delà de la charge d'humidification en fonction de la longueur des tuyauteries et du nombre d'humidificateurs et de rampes de distribution à chauffer. La Figure 19-1 représente le schéma type d'une installation d'humidification avec chaudière

Tableau 19-1. Comparaison des méthodes d'humidification						
	Vapeur directe	Vapeur secondaire	Vapeur électrique	Vapeur électrique Ionic Bed	Vapeur au gaz Ionic Bed	Systèmes à pulvérisation
Effet sur la température	Pratiquement pas					Chute substantielle
Capacité par taille d'unité	Petite à très grande	Petite	Petite à moyenne	Petite à moyenne	Petite à moyenne	Petite à très grande
Qualité de vapeur	Excellente	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Moyenne
Réponse en régulation	Immédiate	Lente	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Immédiate
Régulation	Bonne à excellente	Inférieure à la moyenne	Moyenne	Moyenne	Inférieure à la moyenne	Bonne à excellente
Hygiène/corrosion	Milieu stérile, pas de corrosion	Possibilité de bactéries	Programmé pour éviter les bactéries	Programmé pour éviter les bactéries	Programmé pour éviter les bactéries	Conçu pour éviter la prolifération de bactérie
Fréquence d'entretien	Annuelle	Mensuelle	Mensuelle à trimestrielle	Trimestrielle à semestrielle	Trimestrielle	Annuelle
Facilité d'entretien	Bonne	Mauvaise	Moyenne	Bonne	Moyenne	Bonne
Coût : (par unité de capacité)	Faible	Elevé	Moyen	Moyen	Elevé	Moyen
Installation	Varie selon la disponibilité de vapeur, d'eau, de gaz, d'électricité, etc.					
Exploitation	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Faible	Faible
Entretien	Faible	Elevé	Elevé	Faible à moyen	Faible à moyen	Faible

Figure 19-1. Schéma type d'une installation d'humidification à chaudière



Guide de conception - Combinaisons chaudière-humidificateur

1. La capacité brute de la chaudière doit être au moins égale à 1,5 fois la charge d'humidification.
2. Un adoucisseur d'eau doit être utilisé sur l'alimentation de la chaudière.
3. Un retour de condensat n'est pas nécessaire (sauf si requis par ailleurs).
4. La pression de chaudière doit être de 1 barg ou moins.
5. Un système de purge est souhaitable.
6. Toutes les tuyauteries de vapeur devraient être calorifugées.