

HUMIDIFICATION DE L'AIR

POUR ANALYSER L'INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ DE L'AIR SUR LE BIEN-ÊTRE DES INDIVIDUS, PLUSIEURS FACTEURS SONT À PRENDRE EN CONSIDÉRATION, NOTAMMENT LA QUALITÉ DE L'AIR ET LA TEMPÉRATURE AMBIANTE. DANS DES CIRCONSTANCES FAVORABLES, UNE PERSONNE EN BONNE SANTÉ AURA BESOIN EN HIVER D'UN TAUX D'HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR DE 30%. EN LIMITANT LA TEMPÉRATURE AMBIANTE À 21 °C ET EN EFFECTUANT UNE AÉRATION CONVENABLEMENT FILTRÉE ET CONFORME AUX BESOINS, IL N'EST PAS NÉCESSAIRE DE METTRE EN PLACE UN SYSTÈME ARTIFICIEL D'HUMIDIFICATION DE L'AIR POUR UN ORGANISME SAIN. CELA REPRÉSENTE UNE ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ET D'ARGENT CONSIDÉRABLE.

La présente notice traite du thème de l'humidification de l'air en intérieur dans des conditions climatiques normales et s'adresse principalement aux spécialistes des installations de ventilation, aux planificateurs en ventilation, aux architectes, ainsi qu'aux services d'exploitation et aux responsables de bâtiments. Elle s'adresse également aux personnes souffrant de maladies de la peau ou atteintes de troubles respiratoires et oculaires causés par un air trop sec. Les exemples cités dans la présente notice sont valables pour les pièces ventilées de manière naturelle ou équipées d'un système de ventilation mécanique.

Pour être en mesure d'analyser l'influence de l'humidité relative sur le bien-être des individus, différents aspects sont globalement à prendre en considération:

- les caractéristiques physiques de l'air humide
- les caractéristiques physiologiques de l'être humain
- les principes de base concernant l'hygiène de l'air et la physique du bâtiment
- l'électrostatique
- la consommation d'énergie

SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les intenses recherches menées par la Haute École de Lucerne dans des corpus de règles à l'échelle nationale et internationale, des bases légales, des articles et livres spécialisés, ainsi qu'au travers de la littérature grise, permettent de formuler les deux conclusions ci-après.

Jusque vers la fin des années 1990, les sources bibliographiques traitant de l'humidité relative de l'air (h.r.) dans les espaces

intérieurs mentionnent régulièrement des valeurs comprises entre 40% et 60%. Dans la plupart des cas, ces données indicatives se basent sur une étude de Scofield and Sterling [1], qui considère cette fourchette comme une valeur optimale. Cette position est justifiée par le faible développement des micro-organismes (virus, bactéries, moisissures, champignons, etc.) dans des circonstances présentant les taux d'humidité susmentionnés. Après une révision de l'étude en 2006, les valeurs du taux d'humidité ont été adaptées et la fourchette élargie de 30% à 70% h.r. [2]. **L'illustration 1** offre une synthèse schématisée des actuels résultats de l'analyse.

Les documents pertinents montrent des résultats contradictoires en ce qui concerne l'effet de l'humidité relative sur l'être humain. Dans de nombreux cas, divers paramètres latents ayant une influence sur la qualité de l'air n'ont été ni pris en compte ni mentionnés dans les analyses. Pour l'essentiel, on peut citer les matériaux de construction employés, les utilisateurs et les équipements présents dans la pièce, le type de traitement de l'air ainsi que les arrivées d'air. On attribue souvent les troubles de l'humeur à la notion de sécheresse relative; pourtant, un nombre important d'autres facteurs influençant directement la qualité de l'air peuvent être à l'origine de ces troubles, comme l'augmentation du taux de particules en suspension, le formaldéhyde et les composés organiques volatils (COV) ou la fumée de tabac. Afin d'évaluer correctement l'influence de l'humidité relative de l'air sur le bien-être des individus, tous les aspects présentant une influence simultanée devraient être pris en considération.

LES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE L'AIR HUMIDE

Les principaux rapports existants entre la pression atmosphérique, la température de l'air et sa teneur absolue en eau font partie des caractéristiques physiques de l'air humide. Plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau, invisible à nos yeux. Le **tableau 1** présente des valeurs d'exemple pour un lieu situé à une altitude de 540 m au-dessus du niveau de la mer, combiné à une pression normale de 950 hPa (950 mbar). Les données sont exprimées en gramme de vapeur d'eau par kilogramme d'air (sec) [g_v/kg_a].

L'humidité relative de l'air correspond au rapport entre la pression de vapeur d'eau contenue dans l'air et la pression de vapeur saturante de l'eau dans l'air. Elle est valable à une température et à une altitude données (**tableau 2**). Dans la pratique, les données relatives à la température de l'air, la teneur en vapeur d'eau et/ou l'humidité relative suffisent souvent à décrire les propriétés de l'air.

Les modifications de ces propriétés peuvent être illustrées dans le diagramme de Mollier, autrement appelé diagramme enthalpique.

L'**illustration 2** ci-dessous sert à la représentation schématique simplifiée de l'exemple suivant: l'air extérieur est à 0°C (humidité relative = 40%) et présente une teneur absolue en vapeur d'eau de 1,55 g par kg d'air (g_v/kg_a). A 21°C, l'air pourrait théoriquement contenir 16,7 g d'eau par kg d'air (non représenté dans le diagramme). Si l'on réchauffe l'air extérieur de 0°C à 21°C, sans apport de vapeur d'eau supplémentaire, la vapeur d'eau présente à l'origine ne constitue plus que 10% de la teneur potentielle maximale.

Maintenant, si l'humidité relative est fixée à 30% pour une température de 21°C, la teneur en vapeur d'eau devrait passer de

1,55 g à 4,65 g_v/kg_a, soit une différence de 3,1 g_v/kg_a. Autrement dit, pour une pièce de 30 m² de surface au sol et de 2,5 m de hauteur sous plafond, avec un renouvellement naturel de l'air d'un facteur de 0,5 fois par heure – correspond à la ventilation normale d'une fenêtre –, il y aurait une évaporation de 145 g de vapeur d'eau par heure (30 m² * 2,5 m * 0,5 h⁻¹ * 1,25 kg_a/m³ * 3,1 g_v/kg_a = 145 g_v/h).

Ce phénomène se produit en partie lorsque des personnes ou des plantes sont présentes dans la pièce: en effet, ils dégagent et rejettent dans l'atmosphère certaines quantités de vapeur d'eau. Dans une pièce à 20°C, une personne génère env. 50 g v/h lorsqu'elle est au repos et jusqu'à 130 g v/h si elle pratique une activité ménagère. Les plantes de grande taille produisent un effet similaire si l'on considère qu'elles sont arrosées à raison d'un litre d'eau par jour. Cuisiner, se doucher ou étendre du linge pour qu'il sèche sont autant de sources d'humidité potentielles qui contribuent à augmenter le taux d'humidité présent dans l'air. Tout complément d'humidification éventuel devrait avoir lieu par l'activation d'un système artificiel d'évaporation d'eau. Il faudrait alors utiliser env. 0,7 kWh de puissance thermique par kg (litre) d'eau.

Cet exemple révèle qu'en cas de températures élevées combinées à de mauvaises habitudes d'aération – p.ex. ouverture permanente des fenêtres basculantes durant la période hivernale –, les besoins en humidification peuvent se démultiplier, ce qui se répercute de facto sur la consommation d'énergie. Cette thématique est à nouveau abordée plus bas, chiffres à l'appui.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIOLOGIQUES DE L'ÊTRE HUMAIN

Chez une personne en bonne santé, les muqueuses des voies

Température de l'air	Teneur maximale en vapeur d'eau	Teneur absolue en vapeur d'eau	Humidité relative de l'air à 20°C
-20°C	0,7 g _v /kg _a	0,0 g _v /kg _a	0% h.r.
-10°C	1,7 g _v /kg _a	3,1 g _v /kg _a	20% h.r.
0°C	4,1 g _v /kg _a	6,3 g _v /kg _a	40% h.r.
10°C	8,2 g _v /kg _a	9,4 g _v /kg _a	60% h.r.
20°C	15,7 g _v /kg _a	12,6 g _v /kg _a	80% h.r.
30°C	28,4 g _v /kg _a	15,7 g _v /kg _a	100% h.r.

Tableau 1: Teneur maximale en eau de l'air pour différentes températures à une altitude de 540 m au-dessus du niveau de la mer

Tableau 2: Teneurs absolue et relative en eau de l'air pour une température de 20°C à une altitude de 540 m au-dessus du niveau de la mer

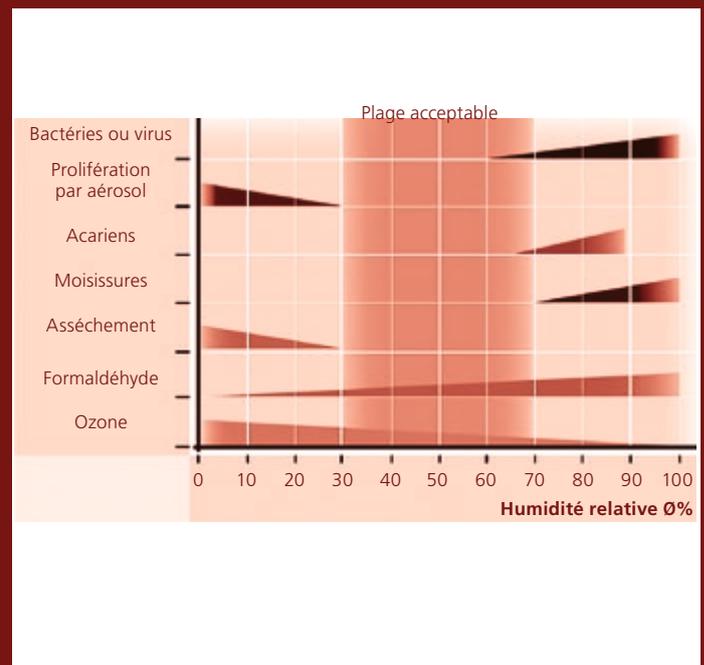


Illustration 1: Influence des aspects déterminants sur la santé en fonction de l'humidité relative de l'air ambiant

respiratoires présentes dans les cavités nasales et la trachée constituent un système d'humidification performant, capable d'empêcher des dysfonctionnements respiratoires causés par l'humidité.

Chez l'être humain, l'air ambiant inhalé se réchauffe à 37 °C et s'humidifie à 100% h.r. tout au long de son trajet jusqu'à l'extrémité des ramifications des poumons, c'est-à-dire les alvéoles. Indépendamment du « degré de sécheresse » de l'air inspiré, le système d'humidification naturel suffit en lui-même à apporter 80% à 90% h.r. dans le pharynx et 90 à 99% h.r. dans la trachée [3–8] (**illustration 3**). La possible influence de l'air sec sur la capacité de purification des voies respiratoires n'a pu être démontrée que chez les personnes âgées [9].

La littérature scientifique traitant des rapports entre la sécheresse de l'air et les conséquences physiologiques sur les voies respiratoires, les yeux et la peau soutient en grande partie le taux de 30% d'humidité relative, citée comme valeur acceptable dans les normes. En admettant que ce taux n'atteigne pas une valeur nettement inférieure sur une période prolongée, aucun problème sanitaire ne doit survenir pour une personne en bonne santé, à condition que la température de l'air soit adaptée et que l'hygiène de l'air soit suffisamment garanti [10, 11].

Un taux élevé d'humidité de l'air s'avère important pour les personnes souffrant de maladies respiratoires sévères, comme la bronchite chronique, l'emphysème ou l'asthme et les individus atteints d'affections cutanées aiguës, surtout si les patients luttent de surcroît contre une insuffisance respiratoire ou de la fièvre. Il est possible de créer les conditions d'humidification respectant les qualités requises en matière d'hygiène grâce à des appareils médicaux spécifiques, utilisés localement.

Selon les circonstances, l'humidification de l'air peut également être indiquée pour certains groupes de personnes sensibles. Il peut s'agir par exemple de personnes ayant déjà dû surmonter une infection des voies respiratoires (p.ex. inflammation des sinus). Ce groupe d'individus réagit plus vivement et plus rapidement à l'inconfort thermique (sécheresse, courants d'air).

PRINCIPES DE BASE CONCERNANT L'HYGIÈNE DE L'AIR ET LA PHYSIQUE DU BÂTIMENT

Un taux d'humidité trop élevé dans l'air engendre inévitablement des problèmes d'hygiène, que cela soit dans le dispositif d'humidification lui-même, dans les canaux et filtres d'aération humides ou dans une pièce comportant des murs froids. En effet, il s'agit là d'endroits offrant des conditions de vie idéales à la prolifération de toute sorte de micro-organismes indésirables. Rhumes, bronchites, asthme et toux chronique ont été constatés lors d'infestations fongiques, elles-mêmes imputées à un fort taux d'humidité [12]. Un taux élevé d'humidification de l'air augmente aussi le développement des acariens. Les problèmes d'humidité peuvent engendrer des troubles de la santé bien avant l'apparition de colorations dans le coin froid d'une pièce ou derrière un meuble.

ÉLECTROSTATIQUE

L'air chargé d'humidité présente des caractéristiques isolantes – la surface de nombreux matériaux isolants peut cependant devenir dissipatrice électrostatique, c'est-à-dire antistatique, en raison de l'humidité présente dans l'air. Toutefois, ce n'est qu'à une humidité relative de plus de 65% h.r. que la résistance électrique d'une surface diminuera au point qu'une mise à la terre significative peut avoir lieu. Alors que, par exemple le verre ou d'autres fibres naturelles, possèdent ces propriétés, ce n'est pas le cas d'un nombre important d'autres matériaux, comme le polytétrafluoréthylène (PFTE) ou le polyéthylène (PE).

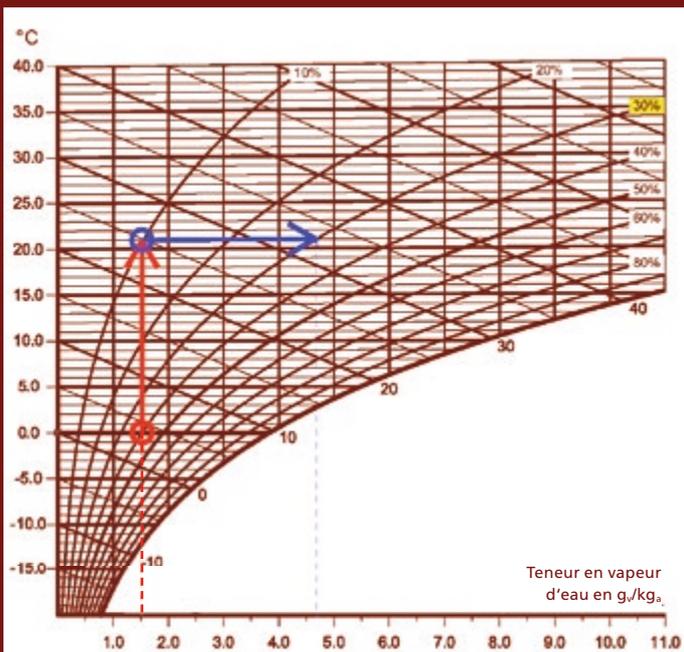


Illustration 2: Diagramme de Mollier représentant l'exemple cité dans le texte

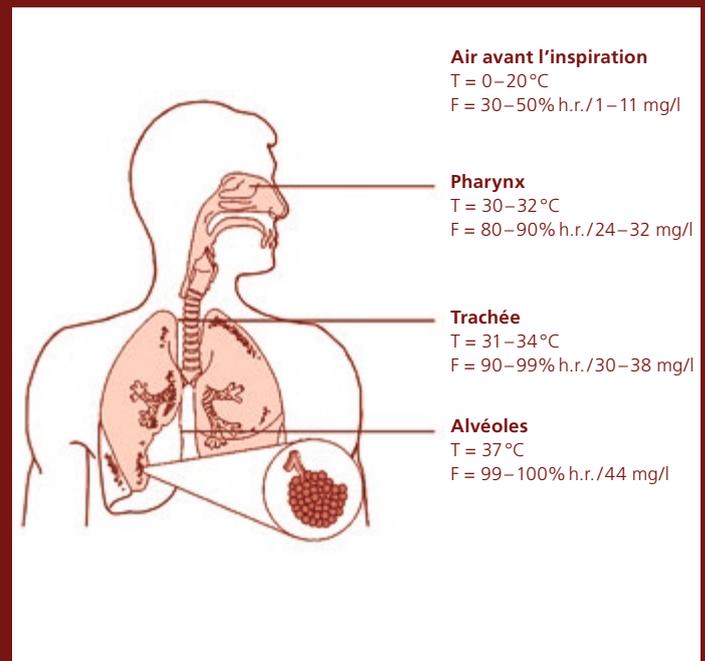


Illustration 3: Humidité de l'air dans les voies respiratoires, T: température, H: humidité

Pour empêcher les décharges électrostatiques, il n'est toutefois pas opportun de procéder à des mesures d'humidification de l'air. Il est plus judicieux de choisir des matériaux de construction qui permettent l'équilibrage des potentiels (mise à la terre), ce qui aura pour effet d'éviter les décharges électrostatiques. Les revêtements de sol conducteurs avec liaison équipotentielle à la terre du bâtiment ainsi que les mises à la terre par contact avec le corps humain sont les seuls moyens sûrs et efficaces contre les décharges électriques pouvant être dommageables à la fois pour l'homme (p. ex. dans une salle d'opération) et les matériaux.

Les petites décharges électriques par déchargement électrostatique sont certes désagréables, mais inoffensives. Toutefois, si elles surviennent plusieurs fois par jour sur une longue période, il est recommandé d'en écarter les causes. Les mesures suivantes méritent un examen particulier:

- Les roulettes des chaises de bureau, ainsi que les housses en matière synthétique devraient être conçues de sorte qu'elles évitent les charges électrostatiques. En équipant les places de travail avec des tapis antistatiques et les chaises avec des roulettes spéciales, il est possible de remédier à la situation.
- Les surfaces des bureaux devraient être constituées de matériaux antistatiques. Si le bureau est pourvu d'un support en matière synthétique, il est recommandé de le retirer.
- Les vêtements en coton sont à privilégier car ils se chargent moins que les vêtements en soie, en laine ou en matière synthétique. Les semelles synthétiques des chaussures posent, quant à elles, régulièrement des problèmes sur les moquettes. Des semelles en cuir ou des chaussures munies de semelles spéciales permettent d'éviter le chargement électrostatique.
- Si l'ensemble des solutions présentées ci-dessus ont été épu-

sées et que le problème persiste, il convient de porter une attention toute particulière au revêtement de sol. Un traitement antistatique du sol peut s'avérer nécessaire, à moins que le revêtement du sol lui-même ne doive être complètement changé.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Humidifier l'air ambiant revient à consommer de l'énergie. Il s'agit là d'un paramètre à prendre en considération. La consommation d'énergie dépend en grande partie du taux d'humidité requis et des conditions d'exploitation du bâtiment.

On admet généralement qu'une augmentation de la température ambiante de 1°C entraîne une augmentation de la consommation énergétique annuelle d'environ 6% (sur le plateau central suisse). Mais peu de personnes sont conscientes qu'une humidité relative des bâtiments fixée à 50% h.r. entraîne, par le biais des systèmes de chauffage et d'humidification, plus du double de la consommation d'énergie par rapport à un bâtiment dépourvu d'un système d'humidification (**illustration 4**).

EXEMPLE PRATIQUE

Quelle quantité d'énergie électrique est nécessaire pour humidifier l'air en passant de 30% h.r. à 50% h.r. à l'aide d'un appareil de ventilation muni d'un humidificateur dans une pièce dont la température ambiante s'élève à 20°C? Le débit massique de l'air sec s'élève à 0,1 kg/s (maison individuelle avec env. 310 m³/h).

Les rapports suivants peuvent être tirés du diagramme de Mollier (**cf. illustration 5**):

Propriétés de l'air 1: température de 20°C,
humidité absolue 4,4 g/kg_a
Teneur énergétique 31,0 kJ/kg_a

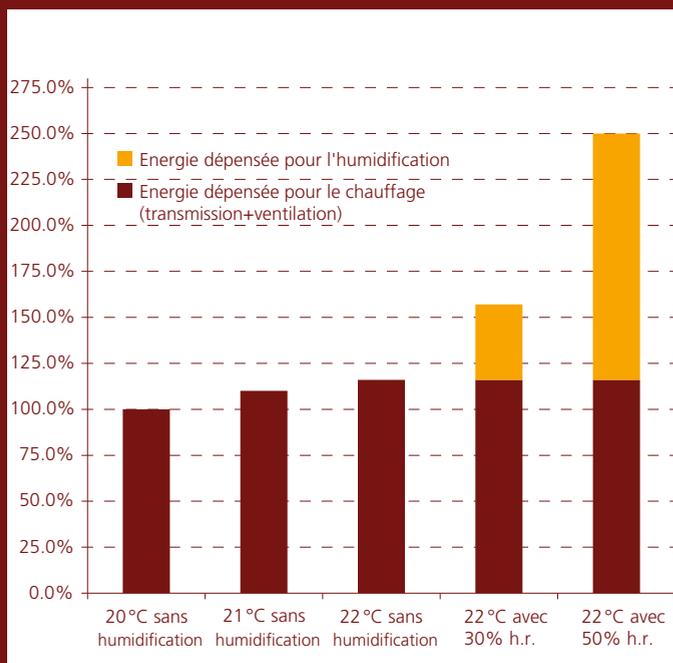


Illustration 4: Consommation énergétique annuelle d'un bâtiment administratif à Zurich. Hypothèse: renouvellement de l'air d'un facteur de 0,5 h⁻¹ la nuit et de 2,0 h⁻¹ le jour. Rendement annuel de la récupération de chaleur: 90%

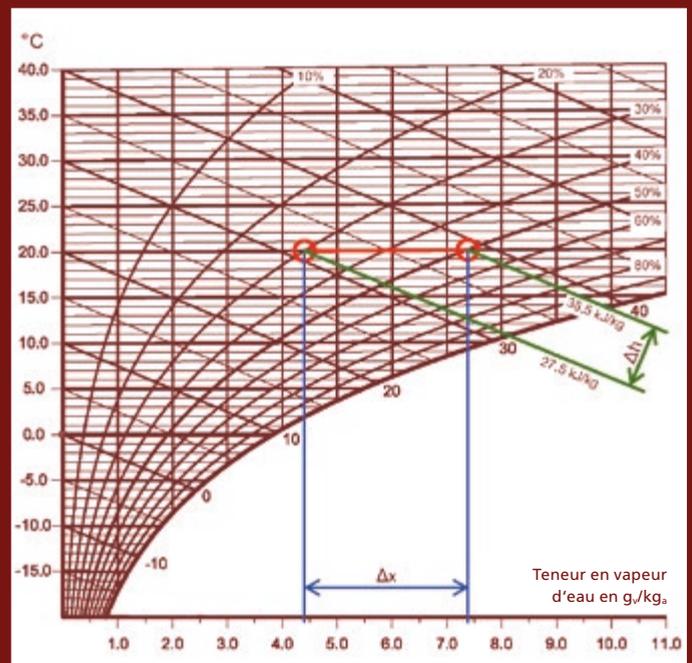


Illustration 5: Évolution dans la pratique de l'humidification de l'air par injection de vapeur

Propriétés de l'air 2: température de 20 °C,
humidité absolue 7,4 g/kg_a
Teneur énergétique 38,5 kJ/kg_a

Différence de

l'humidité absolue $\Delta x = 3,0 \text{ g/kg}_a$

Teneur énergétique $\Delta h = 7,5 \text{ kJ/kg}_a$

Besoins en eau: $0,1 \text{ kg}_a/\text{s} * 3,0 \text{ g/kg}_a = 0,3 \text{ g/s} =$
 $1,08 \text{ kg/h} \approx 1,08 \text{ l/h}$

Puissance électrique: $0,1 \text{ kg}_a/\text{s} * 7,5 \text{ kJ/kg}_a = 0,75 \text{ kJ/s} =$
 $0,75 \text{ kW}$

Électricité par jour $= 12 \text{ h} * 0,75 \text{ kW} = 9 \text{ kWh}$

Pour calculer les besoins énergétiques annuels nécessaires à l'humidification artificielle, toutes les régions de Suisse disposent à l'heure actuelle de variables météorologiques horaires.

L'illustration 6 schématise, pour la ville de Lucerne p.ex., le nombre d'heures présentant certains besoins en humidification rapporté sur une année, pour une humidité relative souhaitée entre 30% et 50% dans une pièce dont la température ambiante s'élève à 20 °C.

Le total des zones situées sous la courbe cumulative jusqu'à une teneur en eau de l'humidité relative souhaitée (à une température de 20 °C) indique les besoins annuels en eau d'humidification par kg d'air donné. La multiplication avec le débit massique d'air donné et la chaleur d'évaporation de l'eau permet de calculer les besoins énergétiques annuels pour l'humidification (déperditions non prises en compte). Dans l'exemple qui nous occupe, le test a été réalisé pour une installation de 1000 m³/h de débit d'air extérieur (**cf. illustration 7**). Cette dernière illustration représente l'estimation des besoins énergétiques

annuels en matière d'humidification pour une température et une humidité relative souhaitées. En fonction de l'humidité relative et de la température de l'air souhaitées, il faut encore diviser par 1000 la valeur correspondant aux besoins énergétiques annuels figurant sur l'axe des ordonnées, puis multiplier le résultat par le débit d'air neuf de l'installation considérée (en m³/h).

Dans la réalité, les besoins énergétiques en matière d'humidification sont bien plus élevés. En effet, parallèlement à la nécessité périodique de purifier les humidificateurs, les températures ambiantes élevées provoquent également, par le biais des charges importantes qui pèsent sur l'air intérieur, une consommation élevée de l'énergie. En hiver, au lieu d'accroître l'humidification dans le but de maintenir une humidité relative convenable, il est particulièrement recommandé d'éviter que les températures intérieures ne soient trop élevées.

En ce sens, une astuce pratique et économique consiste à diminuer le taux d'humidité durant la nuit. Contrairement à la température ambiante (encore non atteinte), un taux d'humidité réduit ne présente aucun impact préjudiciable sur le mode de démarrage matinal, en raison même du stockage insignifiant de l'humidité. Il s'agit bien davantage de veiller à ce que, le matin, la valeur de référence pour l'humidification soit atteinte grâce à une augmentation progressive durant au minimum une heure. De cette façon, on évitera l'humidification instantanée provoquée par un appareil réglé à pleine puissance ainsi que le risque de voir se mouiller certaines parties de l'installation. Dans cette optique, la surveillance du taux d'humidité de l'air avec des valeurs limites peut s'avérer particulièrement utile.

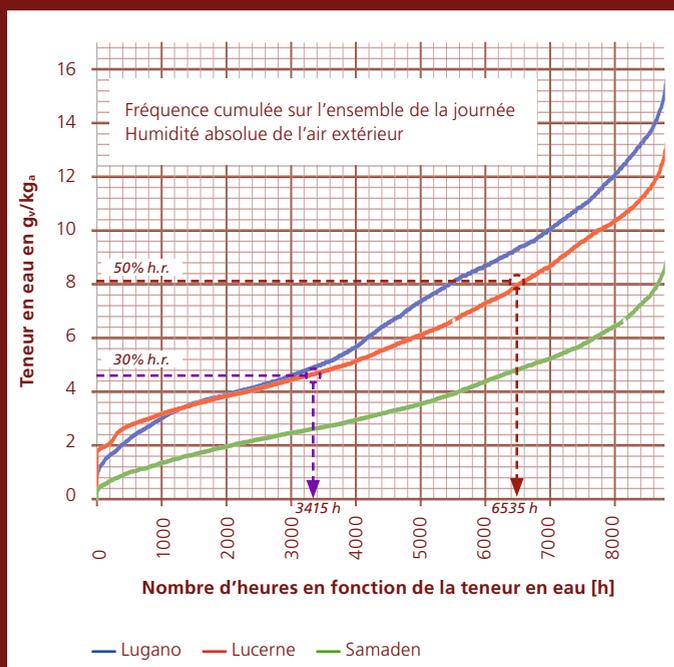


Illustration 6: Diagramme des courbes de fréquences cumulées de la teneur en vapeur d'eau dans trois villes de Suisse (valeurs pour la journée entière); exemple pour Lucerne: nombre d'heures d'humidification nécessaires pour obtenir une humidité relative comprise entre 30% et 50% à l'intérieur après réchauffement de l'air extérieur à une température de 20 °C

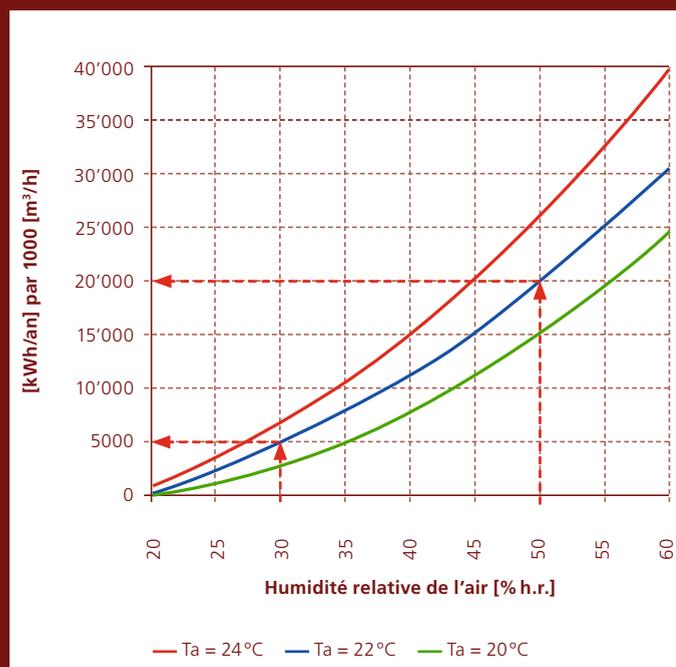


Illustration 7: Besoins énergétiques annuels minimum en matière d'humidification pour 1000 m³/h de débit d'air extérieur pour parvenir aux taux d'humidité relative souhaités en fonction de différentes températures ambiantes Ta (exemple plateau central suisse)

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

- Le système respiratoire de l'être humain constitue un formidable système de régulation de l'humidité.
- Il n'existe aucune recommandation médicale fondée qui justifie une humidification en ce qui concerne les installations de ventilation de confort normales sur le plateau suisse.
- La présence d'individus dans une pièce dont le système de ventilation a été correctement réglé (p.ex. régulation de CO₂) permet par ailleurs le maintien d'un certain taux d'humidité de l'air, qui, de fait, passe rarement sous le seuil des 30% d'humidité relative. Il convient dès lors d'effectuer les réglages nécessaires.
- Avant de planifier et d'installer un système d'humidification de l'air, il faut s'assurer que la qualité de l'air ambiant soit exempte de matériaux polluants et que le système de ventilation soit équipé de filtres à particule fines (F7–F9) en parfait état et irréprouvables sur le plan de l'hygiène.
- S'il s'avère qu'une humidification de l'air est incontournable, il convient de garder à l'esprit qu'un taux d'humidité de 30% h.r. pour une température de 21 °C constituent des valeurs suffisantes.

NORMES ET DIRECTIVES

Il est à noter que les recommandations en matière d'humidification de l'air dont il est question ci-dessous concernent pour l'essentiel des pièces pourvues d'une ventilation mécanique.

Les normes et cahiers techniques actuels (SIA, CFST, VDI, DIN, ASHRAE) font mention de valeurs comprises entre 30% et 60% (70%) d'humidité relative. De plus, les normes SIA et les directives VDI mentionnent la possibilité d'accepter un taux d'humidité inférieur à 30% h.r., p.ex. pendant 10% du temps d'occupation d'un bâtiment (SIA 382/1:2014 et SIA 180:2014, chiffres 3.5.1.3 et 3.5.1.4) [13, 14].

La même indication figure explicitement dans le Commentaire des ordonnances 3 et 4 relatives à la loi sur le travail (OLT 3, article 16, commentaire de l'ordonnance 3 relative à la loi sur le travail, Chapitre 2, Section 2, Article 16).

Dans des circonstances ou des lieux spécifiques, comme des archives spéciales, des musées, des espaces munis de tissus fragiles, des laboratoires spéciaux ou des installations de production spécifiques présentant des exigences définies en matière d'humidité relative, l'humidification active d'une pièce peut s'avérer utile, voire absolument nécessaire.

GROUPE D'ACCOMPAGNEMENT

Dr. med. Otto Brändli, membre et président du conseil de fondation de Swiss Lung Foundation

Alessandro Cerminara, ingénieur Hôpital Suisse (IHS), association suisse des hôpitaux (H+)

Adrian Grossenbacher, Office fédéral de l'énergie OFEN

Dr. Christian Monn, Secrétariat d'Etat à l'économie (Seco)

Roger Waeber, Office fédéral de la santé publique (OFSP)

Prof. Kurt Hildebrand, maître de conférences en technique du bâtiment à la Haute École de Lucerne, Commission SIA pour les normes des installations dans le bâtiment et de l'énergie (KGE)

Prof. Dr. Rüdiger Külpmann, maître de conférences en technique du bâtiment à la Haute École de Lucerne, président de la section climat et aéraulique à l'institut allemand pour l'hygiène en milieu hospitalier (DGKH)

Prof. Arnold Brunner, maître de conférences en technique du bâtiment à la Haute École de Lucerne, Consultant en technique du bâtiment auprès de HBS-Group, président du comité élaborant des directives en lien avec les filtres à air auprès de l'organisme SWKI

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Scofield and Sterling (1985-01) Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings (ASHRAE Transactions Vol. 91; 611–622)
- [2] R. Lazzarin and L. Nalini (2004) Air Humidification – Technical Health and Energy Aspects (Carel Industries S.p.A, Brugine Italy)
- [2a] A. V. Baughman, E. A. Arens (1996) Indoor humidity and human health – Part I: Literature review of health effects of humidity-influenced indoor pollutants (ASHRAE Transactions Vol. 102, pp. 193–211, Paper 3951)

- [2b] A. V. Baughman, E. A. Arens (1996) Indoor humidity and human health – Part II: Buildings and their systems (ASHRAE Transactions Vol. 102, pp. 212–221, Paper 3952)
- [3] D.F. Proctor, I. Andersen, G.R. Lundqvist (1977) Human nasal mucosal function at controlled temperatures (Respiration Physiology; 30: 109–24)
- [4] P. Cola (1982) Modification of inspired air. In: D.F. Proctor, I. Andersen: The nose: Upper airway physiology and the atmospheric environment (Elsevier, pp. 351–75; Amsterdam)
- [5] S. Ingelstedt (1956) Studies on the conditioning of air in the respiratory tract (Acta Oto-Laryngologica 131; 1–80)
- [6] J.E.C. Walker, R.E. Wells (1961) Heat and water exchange in the respiratory tract (Am. J. Med.; 30: 259–67)
- [7] P. Cola (1953) Some aspects of temperature, moisture and heat relationships in the upper respiratory tract (Acta Oto-Laryngologica 67; 449–56)
- [8] C. Sara, T. Currie (1965) Humidification by nebulization (Med. J. Aust.; 52; 174–9)
- [9] Sunwoo, Y., Chou, C., Takeshita, J., Murakami, M. and Tochiara, Y. (2006) 'Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity in Young and Elderly Men', J Physiol Anthropol 25(3): 229–238
- [10] von Hahn, N. (2007) Trockene Luft und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturrecherche (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI, St. Augustin; pp. 103–107)
- [11] Pfluger, R., Feist, W., Tietjen, A., Neher, A. (2013) Physiological impairment at low indoor air humidity., Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft (2013), 73, Nr. 3, S. 107–108, www.passipedia.org/_media/picopen/low_humidity.pdf (20.03.2016)
- [12] Office fédéral de la santé publique OFSP (2009) Attention aux moisissures – Un guide sur les problèmes d'humidité et de moisissures dans les locaux d'habitation, publications fédérales, FF n° 311.310.f, Berne
- [13] Société suisse des ingénieurs et des architectes (2014) SIA 180 Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments (SIA Zürich)
- [14] Société suisse des ingénieurs et des architectes (2014) SIA 382/1 Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises (SIA Zurich)

SOURCE TABLEAUX ET ILLUSTRATIONS

Tableaux 1 + 2, Illustration 2, 4, 5, 6 + 7: Haute École de Lucerne

Illustration 1: R. Lazzarin et L. Nalini (2006); graphique révisé de Scofield and Sterling (1995) [prolifération: diffusion dans l'air (dispersion de particules)]

Illustration 3: Poussières fines PM10 – Questions et réponses concernant les propriétés, les émissions, les immissions, les effets sur la santé et les mesures, Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2006, complété par la Haute École de Lucerne avec des indications relatives à la température et à l'humidité

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.suisseenergie.ch/conseil
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch

Distribution: www.publicationsfederales.admin.ch
Numéro d'article 805.162.1F



ClimatePartner®
climatiquement neutre
Impression | ID: 53458-1611-1071