



L'HUMIDITÉ

Rapport de recherche

Table of contents

Préambule	3.
Contexte	5.
Terminologies	9.
Principes fondamentaux et applications	11.
L'humidité relative	15.
L'humidité dans les bâtiments	19.
L'humidité à travers le monde	23.
Sensation de chaud ou de froid	26.
L'humidité peut être un atout	28.

Préambule

L'humidité est un facteur crucial dans de nombreux domaines - de l'agriculture à la construction, en passant par l'industrie manufacturière, les transports, mais aussi le chauffage, la ventilation, la climatisation et la réfrigération. L'humidité affecte les personnes, les propriétés et les matériaux, et l'observation de la vapeur d'eau joue un rôle crucial en météorologie.

La définition de l'humidité remonte aux années 1300 et il est largement prouvé qu'il est l'un des facteurs importants dans les bâtiments. Avec la température, l'humidité est toujours mesurée en termes absolus ou relatifs (en pourcentage ou en teneur en eau, comme point de rosée, humidité ou avec humidification/déshumidification, etc.). Toutefois, les exigences en matière d'humidité relative dans les normes de construction actuelles sont très limitées. Il convient de se concentrer davantage sur le contrôle de l'humidité dans les bâtiments et de retenir l'humidité relative comme l'un des principaux indicateurs permettant d'évaluer le niveau de confort thermique.

Le climat intérieur a un impact significatif sur la santé, le confort et le bien-être des personnes. L'humidité est l'une des nombreuses conditions à prendre en compte. Lorsque l'on s'attache à créer un confort optimal pour les occupants des bâtiments, l'objectif d'humidité relative ne devrait pas être inférieur à 30 %. Dernier point et non des moindres, l'humidité relative est à prendre en compte dans la lutte de propagation de diverses maladies et virus.



Contexte

Définition

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau dans l'air ou dans une substance et elle peut être mesurée de manière absolue ou relative.

L'humidité est définie comme :

- État ou qualité d'être humide
- Humidité atmosphérique
- Une quantité représentant la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère ou dans un gaz

L'humidité est la présence de vapeur d'eau dans l'air (ou dans tout autre gaz)

L'humidité est le mot le plus formel et le plus courant pour décrire la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Et comme synonymes, le mot humidité est couramment utilisé en référence au temps (précipitations) ou au climat (brume, humidité et moiteur), à la cuisine (vapeur, vaporisation et évaporation) et aux bâtiments (point de rosée ou condensation, humidification, humidité relative intérieure) etc.

Origine

La vapeur d'eau est généralement invisible et se comporte comme un gaz, sauf lorsqu'elle se transforme en eau ou en glace par condensation. Même sans se condenser, la vapeur d'eau peut réagir avec les surfaces et pénétrer les matériaux. La capacité d'un gaz (ou d'un espace) à retenir la vapeur d'eau dépend de sa température : plus la température est élevée, plus il peut contenir de vapeur d'eau.

Le mot "humidité" remonte aux années 1300.

L'origine du mot "humidité" est dérivé du latin (**humiditatem**, avec le nominatif **humiditās**, et **humidus**, signifiant "humide").

L'hygrométrie et la psychrométrie (ou psychométrie) sont utilisées dans le domaine de l'ingénierie qui traite des propriétés thermodynamiques et physiques des mélanges gaz-vapeur.

- Le mot hygrométrie vient du grec **hygro+**, qui signifie "humide, moite, humidité" ;
- le terme **psychro+** vient du grec + qui signifie "froid" ;
- et **+metron** signifiant "moyen de mesure".



De nombreux instruments ont été inventés en relation avec la mesure de la vapeur d'eau dans l'air, le sol ou des bâtiments et des matériaux. Les appareils de mesure inventés sont l'hygromètre, le psychromètre, l'hygromètre à point de rosée ou à condensation etc.

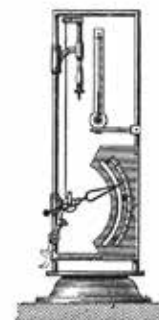
- Hygrometer vient du grec **Hygro+** qui signifie "instrument de mesure de l'humidité atmosphérique".
- Psychromètre prend le sens de "mesure du froid" en grec
- Le point de rosée provient du vieil anglais, **deaw**. Et le thermomètre à point de rosée est donc "la température de l'air à laquelle l'humidité présente dans celui-ci ne fait que le saturer".

Histoire

Dès les années 1300 - Humidité et l'invention de l'hygromètre

Dans les années 1400, Léonard de Vinci a construit le premier hygromètre brut (un instrument utilisé pour mesurer la quantité de vapeur d'eau dans l'air, le sol ou les espaces confinés).

F. Folli, en Italie, inventa un hygromètre plus pratique en 1664. Et en 1783, le physicien et géologue suisse H. Bénédicte de Saussure construisit le premier hygromètre en utilisant des cheveux humains. Le cheveu, blond de préférence car plus sensible, s'allonge ou se raccourcit en fonction de l'hygrométrie.



1800-1900 - Inventions du psychromètre et hygromètre de point de rosée

En météorologie, l'humidité relative est utilisée depuis les années 1820 comme mesure de l'humidité de l'air par rapport à la quantité nécessaire pour le saturer dans les conditions actuelles. Et en 1818, l'Allemand E. F. August a créé le psychromètre (un hygromètre composé de deux thermomètres, à bulbe sec et humide). Plus tard, Sir Isaac Newton améliora l'hygromètre, alors considéré comme le premier hygromètre mécanique, utilisant la cosse du grain d'avoine qui se s'enroule ou se déroule en fonction de l'humidité de l'air.

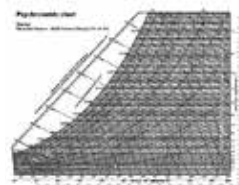
En 1820, le chimiste et météorologue britannique J. F. Daniel inventa l'hygromètre à point de rosée, qui fut largement utilisé pour mesurer la température à laquelle l'air humide atteint le point de saturation.



1900-1930 - Humidité et climatisation, les diagrammes psychrométriques et le diagramme de Mollier

En 1902, W. H. Carrier, l'inventeur de la climatisation moderne, a conçu le premier système de contrôle de la température et de l'humidité dans une imprimerie aux États-Unis. Depuis lors, la climatisation a été définie comme un système qui doit avoir quatre fonctions de base : la régulation de la température, le contrôle de l'humidité (en termes relatifs ou absolus), la circulation et/ou la ventilation de l'air et la purification de l'air par filtration (L. H. Cetnerova, 2018).

Et en 1904, Carrier fut le pionnier du tableau psychrométrique, un graphique des paramètres thermodynamiques de l'air humide à pression constante: température du thermomètre à bulbe sec, température du thermomètre à bulbe humide, température du point de rosée, humidité relative, taux d'humidité, enthalpie spécifique et volume spécifique. Ces paramètres sont devenus la base des calculs fondamentaux dans l'industrie de la climatisation et ont permis de déterminer la relation exacte entre la température intérieure et extérieure et l'humidité relative afin de réguler le climat intérieur tout au long de l'année.



En 1914, un rapport sur la santé publié par les autorités de Chicago concluait qu'il était souhaitable de maintenir la température et l'humidité à un niveau approprié dans les des pièces d'habitation chauffées artificiellement et "que du point de vue de la santé, l'humidité relative est l'un des facteurs importants de la ventilation".

En 1923, l'Allemand R. Mollier inventa un diagramme d'enthalpie-humidité (connu sous le nom de diagramme de Mollier), qui a été utilisé pour étudier les changements d'état de l'air humide et pour fournir des valeurs déterminant une relation entre la température de bulbe humide et l'enthalpie de saturation de l'air humide.

En 1936, l'Américain C. P. Yaglou étudia l'effet de la température et de l'humidité sur les personnes et les besoins en ventilation dans une étude de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) (Yaglou, 1938). Et ces deux paramètres sont toujours considérés comme les éléments les plus importants ayant un impact sur la satisfaction des occupants du bâtiment.

1960-1980 - Humidité relative et maladies liées au bâtiment

Dans les années 1960, la recherche s'est principalement concentrée sur les allergies, les allergènes, les agents pathogènes, les produits chimiques et l'ozone, également en ce qui concerne l'humidité relative. E. Sterling du Canada a publié le graphique Sterling en 1986, et l'ASHRAE l'a mis à jour par la suite. Après l'élaboration d'une référence standard pour les critères de conception des bâtiments, il a été constaté qu'une humidité relative moyenne de 30 à 60 % était optimale pour les occupants (Sterling, Arundel, & Sterling, 1985). Et on peut affirmer que ce papier avec le graphique de Sterling a mis l'humidité sur la carte de la qualité de l'air intérieur.

Après les crises pétrolières des années 1970, de nombreux pays ont commencé à chercher des moyens pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Or, la construction de bâtiments étanches et isolés, couplée à une ventilation insuffisante, entraîna des problèmes d'humidité, de condensation, de moiteur et de moisissures dans les bâtiments.

Dans les années 1980, des problèmes dans les bâtiments furent identifiés: radon, acariens... et plus largement encore, le fameux syndrome des bâtiments malsains (SBS). Des études de 1992 ont alors révélé qu'un taux d'humidité élevé pouvait avoir un impact sur la santé des occupants du bâtiment - problèmes allergiques et respiratoires (Spengler, Burge, & Su, 1992).



Vers le 21e siècle - Quel est l'impact de l'humidité relative ?

Au début du 21e siècle, P.O. Fanger et son collègue P. Wargocki de l'Université technique du Danemark se sont intéressés à la charge sensorielle des sources de pollution (autre que les personnes), telles que les matériaux de construction, les tapis et les ordinateurs, et à l'impact de la ventilation et de l'humidité de l'air intérieur des bâtiments.

Aujourd'hui, de nombreuses variables environnementales telles que la température, l'humidité relative, la vitesse de l'air, le rayonnement et d'autres sont ainsi prises en compte comme divers indicateurs du confort thermique intérieur afin d'offrir un meilleur confort thermique aux occupants des bâtiments.

Mais les normes de construction actuelles se concentrent encore sur une relation linéaire assez simple entre la température extérieure et la température de confort intérieur, en supposant qu'elle explique suffisamment l'effet de toutes les autres variables, par exemple l'humidité relative (HR) et la vitesse de l'air. Cependant, l'absence de la mesure de l'humidité relative est particulièrement surprenante, étant donné son impact bien connu sur le confort et la santé.



Terminologies

Humidité

- L'humidité relative (RH, en %) correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions.
 - Lorsque l'air ne peut plus contenir d'humidité à une température donnée (c'est-à-dire que l'HR est de 100 %), on dit que l'air est saturé.
 - L'humidité absolue (AH, en g/m^3 ou g/kg) est définie pour l'air humide (ou d'autres gaz) comme sa teneur en vapeur d'eau. Elle est limitée par la quantité maximale que le gaz peut absorber avant qu'il y ait saturation à la température de celui-ci.
 - L'humidité spécifique (SH, en g/m^3 ou g/kg) est le rapport entre la masse d'eau dans l'air sur la masse d'air humide, également appelé teneur en humidité
- (Wikipédia. Humidité, 2020).

Propriétés psychrométriques

- Température de bulbe sec (exprimé en $^{\circ}\text{C}$ ou F) est la température donnée par un thermomètre placé dans un courant d'air humide et protégé des rayonnements parasites (venant d'objets froids ou chauds comme le soleil).
- Température de bulbe humide est la température de l'air circulant au-dessus d'une grande surface d'eau liquide dans un système calorifugé. C'est par exemple la température indiquée par un thermomètre placé dans un linge humide soumis à courant d'air.
- Température de rosée notée est la température à laquelle un air humide est à la pression de vapeur saturante. À cette température l'air ne peut plus emmagasiner de la vapeur d'eau sans que celle-ci ne se condense.

Autres paramètres

- L'enthalpie spécifique (h , en kJ/kg d'air) quantifie l'énergie totale de l'air sec et de la vapeur d'eau par kilogramme d'air sec.
- Le volume spécifique (en m^3/kg d'air sec) quantifie le volume total de l'air sec et de la vapeur d'eau par unité de masse d'air sec.
- Le rapport psychrométrique est le rapport du coefficient de transfert de chaleur au produit du coefficient de transfert de masse et de la chaleur humide sur une surface humide.
- L'enthalpie est le contenu énergétique de l'air.



Température du point de rosée. —
Une définition simplifiée est la
température à laquelle la vapeur
d'eau se transforme en "rosée".

Principes fondamentaux et applications

Température + teneur en humidité et l'humidité relative

La capacité de rétention d'humidité de l'air augmente considérablement avec l'augmentation de la température (figure 1). Il s'agit d'une version simplifiée du tableau psychrométrique (Engineering Toolbox. Moisture holding capacity of air, 2020).

Remarque - la capacité de rétention d'humidité de l'air à 38°C est 10 fois supérieure à la capacité de rétention d'humidité à 0°C.

En général, on réalise une bonne économie d'énergie en augmentant la température de l'air ! La capacité de transport de l'humidité de l'air à température élevée augmente et l'emporte sur la consommation d'énergie pour chauffer l'air sec à une température plus élevée.

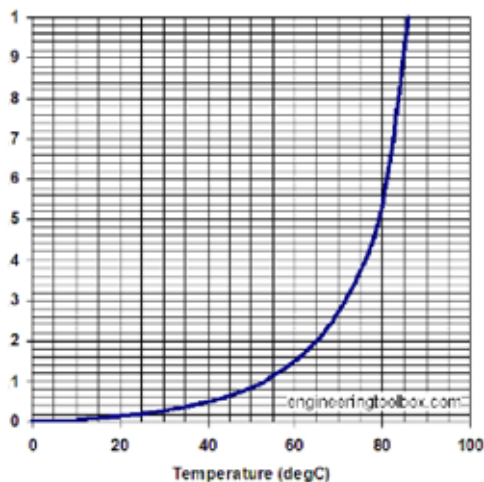


Figure. 1 : capacité de rétention d'humidité de l'air

Par exemple, dans la plage des températures normales, l'air à 20°C et 50% d'humidité relative sera saturé s'il est refroidi à 10°C, son point de rosée. Et l'air à 5°C et 80% d'humidité relative chauffé à 20°C aura une humidité relative de seulement 29% (figure 2).

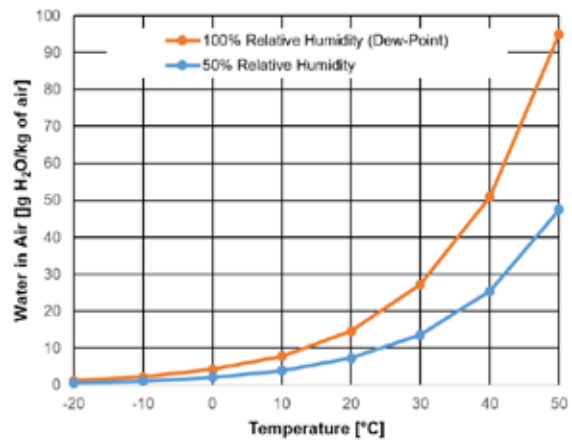


Figure 2 : quantité d'eau dans l'air à 50% et 100% d'humidité relative dans une plage donnée de températures

Une règle empirique : l'humidité absolue maximale double pour chaque augmentation de 11°C de la température. Ainsi, l'humidité relative diminue d'un facteur 2 à chaque augmentation de 11°C de la température, en supposant une conservation de l'humidité absolue.



Tableaux psychrométriques

Le diagramme psychrométrique (figure 3) est un graphique des paramètres thermodynamiques de l'air humide à pression constante, souvent désigné par l'expression "altitude par rapport au niveau de la mer". C'est une équation d'état graphique regroupant les principales caractéristiques de l'air humide : température de bulbe sec (DBT), température de bulbe humide (WBT), la température de rosée (DPT), l'humidité relative (RH),

l'humidité absolue (AH) et l'enthalpie spécifique. Il existe d'autres versions de tableaux psychrométriques (figure 4 et figure 5) (Wikipedia. Psychrometrics, 2020 et Cushman-Roisin, 2020).

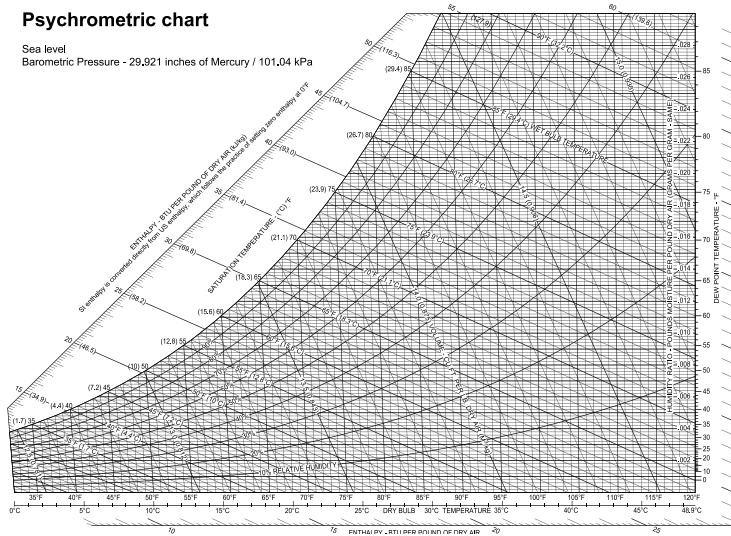


Figure 3: Tableau psychrométrique

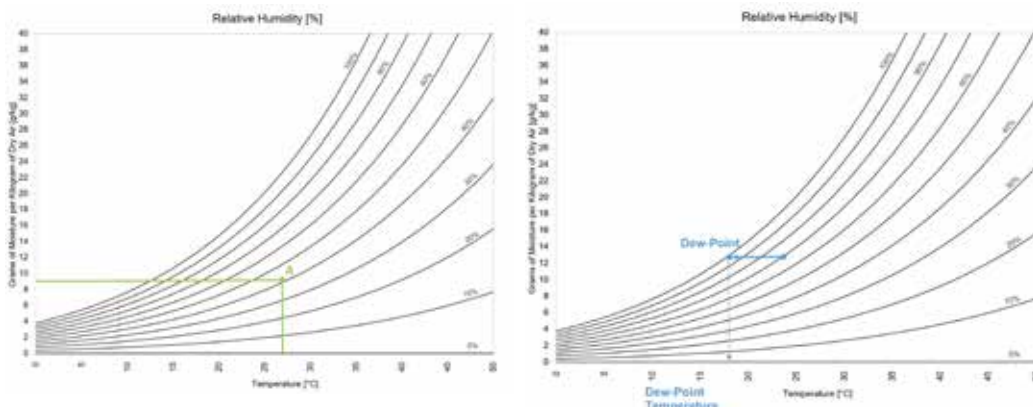


Figure 4. humidité en fonction de la température - valeur de saturation (A) and point de rosée (B)

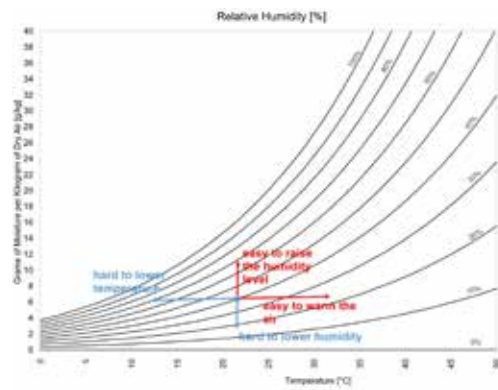
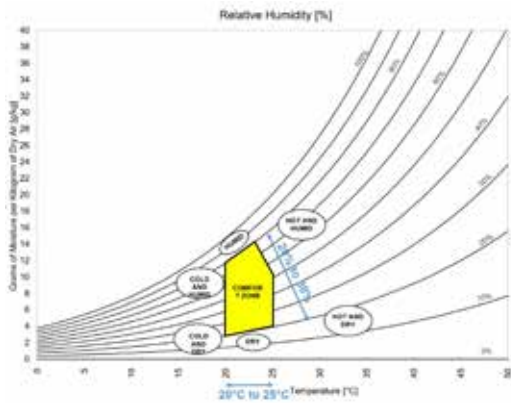


Figure 5. Humidité en fonction de la température - valeur de saturation (A) et point de rosée (B)

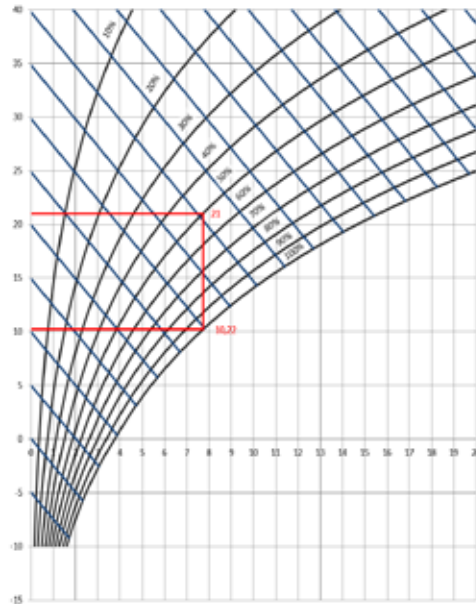
Un tableau psychrométrique est couramment utilisé aux États-Unis et en Grande-Bretagne.

NOTE : Comment lire les tableaux psychrométriques ?

- Pour le système métrique, visitez le site www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-molier-d_27.html
- Pour le système impérial, se reporter à la page Web wikihow.com/Read-a-Psychrometric-Chart

Diagramme de Mollier

Le diagramme de Mollier (figure 6) est une représentation graphique de la relation entre la température de l'air, la teneur en humidité et l'enthalpie - et constitue un outil de conception essentiel pour les ingénieurs. Le diagramme de Mollier (rapport de mélange enthalpie-humidité) est préféré par de nombreux utilisateurs en Europe et en Russie (Engineering Toolbox. Psychrometric chart by Mollier, 2020).



Graphique Sterling

Le graphique de Sterling (figure 7) a établi que des niveaux d'humidité relative élevés ou faibles peuvent avoir des effets délétères et coûteux sur la santé et la productivité des occupants (infections respiratoires, les allergies, l'asthme...), causés par la prolifération de bactéries, virus, champignons, acariens...

Le diagramme de Sterling a été largement utilisé pendant des années par les propriétaires, les concepteurs et les promoteurs immobiliers comme ligne directrice pour les nouvelles constructions et les rénovations, mais il ne constitue pas une norme officielle pour la conception des bâtiments (Sterling, Arundel, & Sterling, 1985).

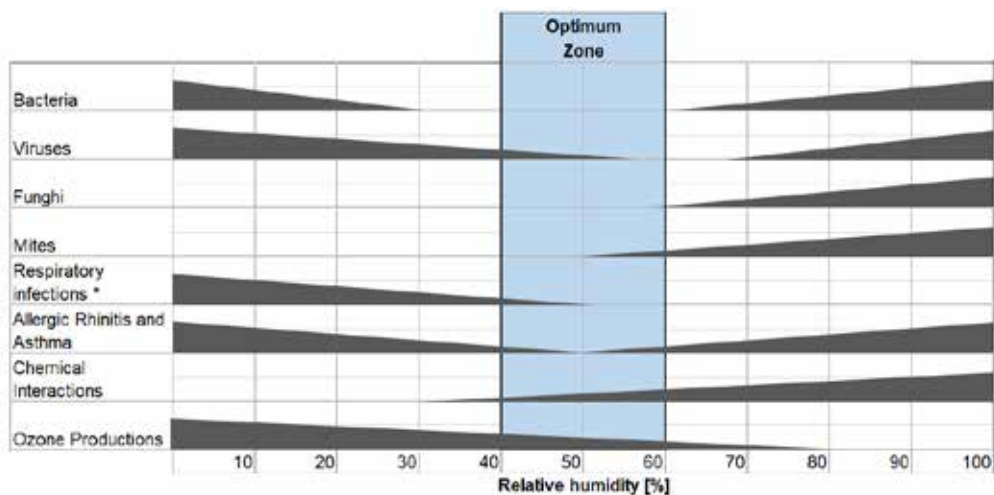


Figure 7: diagramme Sterling – plage d'humidité optimale pour minimiser les effets néfastes sur la santé

Humidité relative

La vapeur d'eau est un important gaz à effet de serre atmosphérique, absorbant fortement les radiations infrarouge émises par la surface de la Terre. Elle affecte tous les organismes vivants, tels que les personnes, les animaux et les plantes, dont le confort thermique des personnes et la qualité de l'air intérieur. L'humidité est essentielle pour la qualité de l'environnement intérieur. Celle-ci, ou plutôt la teneur en eau, est également essentielle pour répondre aux exigences environnementales de la plupart des équipements (véhicules, électronique, aviation), des matériaux sensibles (par exemple, possédant une valeur historique) et des processus techniques. Des taux d'humidité entre 40 et 60 % d'humidité relative sont également essentiels pour les constructions, les matériaux et les équipements dans les bâtiments.

Les sources de l'humidité

Les Hommes

- Les personnes (processus métaboliques - respiration et transpiration) en moyenne 1,25 l/ personne/jour.
- Activités ménagères (douche, lavage, séchage du linge, cuisine) 2,4-3 l/personne/jour
- Les plantes d'intérieur constituent une autre source potentielle mais aussi certains appareils électroménagers, saunas, bois de chauffage, etc.

Dans une maison, les 2 tiers de l'apport total d'humidité sont générés par les occupants et leurs activités quotidiennes.

Dans une maison neuve, la première année, l'apport total d'humidité des occupants (famille de quatre personnes) et d'autres sources peut atteindre en moyenne une charge combinée de 18-20 l/jour ou plus pendant l'hiver, si toutes les activités productrices d'humidité devaient avoir lieu le même jour (Labenvironex, 2020). Comme tout s'assèche, le taux d'apport total d'humidité en la deuxième année peut descendre à 15 l/jour et s'établir finalement à un taux d'environ 10 l/jour. Par conséquent, de nombreuses questions doivent être abordées afin de contrôler les niveaux d'humidité dans les maisons neuves et rénovées.

Les bâtiments, la construction, les matériaux, les équipements et les activités

- L'humidité dite retenue dans les matériaux de construction après l'installation (bois, béton, etc.), etc.
- Les équipements et les procédés de construction peuvent affecter l'humidité relative.
- Diverses activités peuvent avoir un effet important dans les bâtiments commerciaux (bureaux, usines), éducatifs (écoles, divertissements, lieux de sport), etc.
- Certains types d'activités nécessitent un niveau d'humidité relative spécifique - faible HR (musée, bâtiments historiques), HR élevé (sports, hockey sur glace, piscine) ou niveau d'humidité relative spécifique (hôpital, laboratoires), etc.
- D'autres erreurs provoquant de l'humidité (sol humide, fuites de plomberie), etc.



Une personne assise
qui effectue un travail
léger libère environ 40 g
d'humidité par heure dans
l'air et environ 200 g par
heure lorsqu'elle effectue
un travail physique plus
intense.

Les effets de l'humidité

La réaction du corps humain à l'humidité, que ce soit à l'extérieur ou à l'intérieur, peut avoir une incidence considérable sur notre santé, confort et bien-être. Le corps humain est constitué de 65 % d'eau et la prévention d'un risque de déshydratation est d'une importance capitale, car de nombreux mécanismes existent pour maintenir l'équilibre général de notre corps.

Faible taux d'humidité

- Le maintien d'une peau saine en tant que barrière est essentiel au bien-être, car la teneur en eau des cellules internes de la peau est d'environ 70 %.
- De petites particules sont plus susceptibles d'être inhalées en profondeur dans les poumons. Une faible humidité peut augmenter la création de petits aérosols expirés pouvant retransmettre des microbes.
- La mécanique des infections en relation avec l'humidité relative montre que les particules infectieuses survivent plus longtemps dans l'air sec. A contrario, notre défense immunitaire est moins efficace.
- Lorsque l'humidité relative est inférieure à 30 %, la peau devient sèche et des symptômes peuvent apparaître: démangeaisons, fissures et gerçures. Les maladies cutanées telles que le psoriasis peuvent s'aggraver et se détériorer lorsque l'humidité relative est plus faible (Sunwoo, 2006).
- Une faible humidité entraîne la rupture du film lacrymal dans les yeux. L'inconfort pour l'œil augmente avec le temps si le point de rosée est inférieur à 0°C (Laviana, Rohles, & Bullock, 1988).
- Un air très sec peut provoquer une sécheresse et une gêne au niveau du nez. Les membranes du nez s'assèchent plus rapidement. Le faible taux d'humidité est une cause fréquente de saignements de nez.
- Une humidité relative supérieure à 30 % est nécessaire pour que les muqueuses du nez puissent filtrer correctement l'air (Guggenbichler, Husterand, & Geiger, 2007). Et elle a un impact encore plus important sur les personnes âgées.
- Une humidité relative inférieure à 30 % peut irriter les cordes vocales, entraînant une sécheresse de la gorge, une augmentation de l'enrouement ou une laryngite.
- Une faible humidité peut provoquer de l'électricité statique. Ces surcharges sont réduites lorsque l'humidité relative est supérieure à 20-45% HR (Hearn, 2020).

Forte humidité, air humide

- L'air très humide donne aux gens l'impression de frissonner par temps froid, et de devenir chaud et collant par temps chaud.
- L'air humide facilite la croissance de champignons (moisissures) et de bactéries pouvant causer des problèmes respiratoires et/ou des réactions allergiques.
- L'humidité fournit toutes les conditions nécessaires à la prolifération des acariens, ce qui peut affecter les personnes souffrant d'asthme.
- La croissance de champignons peut entraîner des odeurs dans les espaces mal ventilés.
- Une humidité élevée entraîne la formation de condensation sur les fenêtres, les murs et les plafonds qui sont plus froids que la température de l'air et peut potentiellement endommager les matériaux de construction.
- Un taux d'humidité élevé peut donner une impression de fatigue et de léthargie. Dans les cas extrêmes, elle peut provoquer des nausées et une transpiration excessive.



Buvez de l'eau (six à huit verres par jour) et maintenez l'humidité relative au-dessus de 30 %. Recommandation de l'Institut national de la Santé

Humidité – santé, infections et virus

Les effets de l'humidité sur la santé sont principalement dus aux polluants biologiques. Le schéma suivant décrit les problèmes de santé les plus souvent associés aux polluants biologiques, tels que les maladies infectieuses (agents pathogènes) avec des bactéries (streptocoques, légionelles), des virus (rhume, grippe), des réactions allergiques (asthme, rhinite), des acariens (parties du corps séchées et excréments), des champignons et des réactions immunologiques non allergiques (pneumopathie d'hypersensibilité) et des bactéries (champignons provoquant des mycotoxicoses).

Les effets saisonniers des virus, en corrélation avec l'humidité relative, sont également à prendre en considération: la grippe est plus fréquente en automne et en hiver et des études ont démontré qu'une humidité plus élevée réduit sa propagation.

D'une manière plus générale, plus l'humidité relative diminue, plus les infections et la propagation bactérienne augmentent ($t < 0,02$ à $t < 0,01$). Par exemple, des tests indiquent qu'une heure après avoir toussé, le virus de la grippe est 5 fois plus infectieux à 7-23% d'humidité relative que lorsque l'humidité relative est supérieure à 43%. Le virus est donc plus stable à des niveaux d'humidité relative plus faibles (Lax, 2016).

La mécanique des infections montre que les gouttelettes peuvent parcourir une certaine distance dans l'air en fonction de leur taille. Une gouttelette d'un diamètre de 100 μm peut parcourir jusqu'à une distance de 1 mètre et flotter pendant environ 6 secondes, mais une gouttelette de 0,5 μm peut se déplacer jusqu'à plus de 5 mètres avec un temps de flottaison de 41 heures.

L'humidité dans les bâtiments

L'humidité affecte la qualité des bâtiments, la durabilité des matériaux, la longévité des équipements et les conditions environnementales intérieures.

Contrôler l'humidité

Lorsque la température est basse et l'humidité relative élevée, l'évaporation de l'eau est lente. Lorsque l'humidité relative approche les 100 %, de la condensation peut se former sur les surfaces, ce qui entraîne des problèmes de moisissures, corrosion, pourriture et autres détériorations (Designing buildings. Humidity, 2020). La condensation peut présenter un risque pour la sécurité (croissance de moisissures, mildiou, tâches, risques de glissement, dommages aux équipements et à la corrosion, gel des sorties de secours). Elle entraîne également la détérioration de l'enveloppe du bâtiment et impacte les performances de l'isolation.

Lorsque la température est élevée et l'humidité relative faible (inférieure à 30 % ou moins), l'évaporation de l'eau est rapide. L'humidité relative baisse à mesure que l'air se réchauffe et cela entraîne des problèmes dans les bâtiments et fournit un environnement inconfortable.

Contrôle du climat dans les bâtiments

Le contrôle du climat intérieur fait référence au contrôle de la température et de l'humidité relative dans les bâtiments, les véhicules et autres espaces clos afin d'assurer le confort, la santé et la sécurité des personnes, et de répondre aux exigences environnementales pour les machines, les matériaux sensibles (livres anciens, peintures...) et les processus techniques.

De plus, si les conditions varient trop, cela peut avoir des conséquences non négligeables pouvant endommager les matériaux à long-terme : ils se gonflent et se rétractent en absorbant et en perdant de l'eau. L'humidité a donc une incidence sur les dimensions et le poids des matériaux.

L'utilisation d'un système de chauffage, ventilation et climatisation est la clé pour maintenir l'humidité relative dans une plage confortable - suffisamment basse pour être confortable, mais suffisamment élevée pour éviter les problèmes liés à un air très sec.

Contrôle de l'humidité

L'humidité peut être contrôlée en limitant ou en supprimant l'humidité aux sources, en augmentant la température, en humidifiant ou déshumidifiant et en ventilant.

- Ventilation naturelle par ouverture des fenêtres. Par exemple, ouvrir les fenêtres pendant seulement 10-15 minutes chaque jour peut faire baisser le niveau d'humidité à l'intérieur de la maison. Les fenêtres doivent de préférence être placées sur des côtés opposés du bâtiment pour assurer une bonne circulation de l'air.
- Augmenter la température intérieure en chauffant. Par exemple, les maisons chauffées sur 18°C connaissent beaucoup moins de périodes de forte humidité (Alsmo & Alsmo, 2014).
- La condensation peut être évitée en augmentant la température de surface.
- L'isolation. Par exemple, l'amélioration des vitrages et l'isolation par les combles...
- l'utilisation d'une ventilation mécanique. Par exemple, un ventilateur d'extraction dans la salle de bains, l'utilisation d'une hotte de cuisine, d'un déshumidificateur, etc.



L'utilisation d'un système de chauffage, de ventilation et de climatisation couplé à un système de contrôle à la demande (augmentation de la température, augmentation des taux de ventilation en fonction du taux d'occupation). Cependant, certaines applications sensibles, tels que les laboratoires, hôpitaux et usines, nécessitent un système conçu spécifiquement, doté d'armoires de climatisation, d'humidificateurs, de déshumidificateurs et de systèmes de contrôle associés.

Ventilation et humidification

La température et l'humidité intérieures sont affectées et contrôlées par les taux de ventilation. Une énergie importante dans le système peut servir à refroidir l'air (pour éliminer la vapeur d'eau) ou, au contraire, ajouter de l'humidité (humidification). Les niveaux d'humidité doivent être contrôlés par le système de surveillance, à la fois pour obtenir des conditions environnementales correctes et pour minimiser les coûts énergétiques (Seppanen & Kurnitski, 2009).

L'humidification ou la déshumidification de l'air intérieur est nécessaire lorsque l'utilisation du

La ventilation réduit le niveau d'humidité à l'intérieur.

bâtiment exige que l'humidité de l'air soit maintenue dans des limites relativement étroites. C'est souvent le cas dans les musées, les imprimeries et les laboratoires (40-60 % d'humidité relative). Une exigence encore plus stricte (45-55% HR) peut être nécessaire dans certains laboratoires et bâtiments historiques.

L'humidification de l'air dans la pièce peut être effectuée soit par humidification de l'air soufflé de la centrale de traitement de l'air, soit par l'humidification directe de l'air intérieur. Deux méthodes de base peuvent être utilisées : l'une repose sur l'introduction d'humidité pré vaporisée, c'est-à-dire l'humidification par l'utilisation de vapeur, et l'autre sur la vaporisation directe, appelée humidification par évaporation (circulation d'eau, humidification par pulvérisation, humidification par ultrasons)



Confort thermique et humidité relative

Bien que l'humidité relative soit un facteur important pour le confort thermique, les gens sont plus sensibles aux variations de température qu'aux changements d'humidité relative (Fanger, 1970). L'humidité relative a un faible impact sur le confort thermique à l'extérieur lorsque les températures de l'air sont basses, un effet légèrement plus prononcé à des températures de l'air moyennes mais possède une influence beaucoup plus forte à des températures de l'air plus élevées (EN 16798 et al. Humidity in European regulations, 2020), (Brode, 2011).

Deux types de normes de confort thermique prévalent actuellement dans les ouvrages : le régime permanent et le régime adaptatif.

Le modèle de régime permanent, dont P.O. Fanger a été le pionnier à la fin des années 1960, est un modèle d'équilibre thermique basé sur des variables environnementales intérieures (température de l'air, température radiante moyenne, mouvement de l'air, humidité relative, vêtements et chaleur métabolique due à l'activité humaine) qui fournira des conditions thermiques acceptables à la majorité des occupants. Ces variables créent le vote moyen prévu (PMV) pour le confort thermique.

Le modèle adaptatif de l'ASHRAE (et de son homologue européen) est basé sur l'idée de la plage des températures intérieures acceptables dans les bâtiments en corrélation avec la température extérieure. Le modèle dérive une relation linéaire entre les températures intérieures et extérieures.

En général, des températures plus élevées nécessiteront une humidité relative plus faible pour atteindre un confort thermique ; tous les autres facteurs seront constants. Par exemple, avec un niveau vestimentaire = 1, un taux métabolique = 1,1 et une vitesse de l'air de 0,1 m/s, le changement de la température de l'air et de la température radiante moyenne de 20°C à 24°C abaisserait l'humidité relative maximale acceptable de 100% à 65% pour maintenir des conditions acceptables de confort thermique (Schiavon, 1996).

L'humidité relative dans les normes de construction

La plupart des normes de construction stipulent que la plage recommandée d'humidité relative intérieure est généralement de 30 à 60 %. Toutefois, ce n'est pas une obligation légale, mais seulement une recommandation pour maintenir l'humidité relative de l'air intérieur en fonction de la température de la pièce et de la saison.

Les normes de construction européennes

La norme EN 16798:2019 (qui a remplacé la norme EN 15251:2007) porte sur les paramètres relatifs à l'environnement thermique, à la qualité de l'air intérieur, à l'éclairage et à l'acoustique (les paramètres sont définis pour les niveaux de catégorie I, II, III et IV, c'est-à-dire les niveaux I étant les meilleurs et IV les pires). Cette norme fournit un certain nombre de spécifications pour l'humidité de l'air dans les pièces, les systèmes de ventilation et les bâtiments (Comité européen de normalisation, 2019).

- L'humidité relative de l'air est définie pour quatre catégories (valeurs minimales et maximales comprises entre 20 % et 70 % d'humidité relative) en fonction du temps, de la température ambiante et du type d'utilisation.
- Il est recommandé d'avoir une humidité absolue de l'air intérieur inférieure à 12 g/kg en permanence.
- L'humidité concerne la prévention de la condensation et les aspects sanitaires.
- Le contrôle de l'humidité du côté de l'air soufflé d'un système CVC est obligatoire pour exclure la possibilité de formation de condensation.
- L'humidité et tous les paramètres doivent être enregistrés, testés et évalués (EN 16798 et al. Humidity in European regulations, 2020).

Les normes de construction américaines

La norme ASHRAE 55:2017 recommande une humidité relative comprise entre 30 et 75 % d'humidité relative à une température ambiante de 21 °C (ASHRAE, Standard 55. Thermal environment conditions for human occupancy., 2013).

La norme ASHRAE 62-2019 s'oriente vers des objectifs de point de rosée supérieurs à l'humidité relative pour les exigences de contrôle de l'humidité (ASHRAE, Standard 62. Ventilation for acceptable indoor air quality, 2019). Grâce aux systèmes CVC et aux enveloppes de bâtiment étanches à l'air, les bâtiments ont des charges thermiques sensibles nettement plus faibles. Par conséquent, les points de consigne de température peuvent être atteints, mais les niveaux d'humidité restent élevés dans les bâtiments (Systemair, What the latest ASHRAE 62.1 means for you, 2020).

- L'ASHRAE recommande des niveaux de 30 à 60 % d'humidité relative.
- Les exigences en matière de contrôle de l'humidité sont désormais exprimées en point de rosée d'humidité relative. Le point de rosée ne mesure que le niveau d'humidité de l'air, alors que l'humidité relative évalue à la fois la température et l'humidité.
- Les mesures du point de rosée peuvent prédire avec précision la température à laquelle l'humidité se condensera, ce qui peut réduire le risque de développement de moisissures.

L'humidité dans le monde

Différents climats

L'humidité relative dépend de la température : plus l'air est chauffé, plus l'humidité relative est faible. Il faut savoir que l'humidité relative est définie comme le pourcentage de vapeur d'eau que l'air peut contenir à une température donnée, alors que l'humidité absolue est la quantité réelle d'eau présente dans une unité d'air (tableau 1).

Temperature (°C)	Grammes de vapeur d'eau par kg d'air (g/kg)
-40	0.1
-35	0.2
-30	0.3
-25	0.51
-20	0.75
-10	1.8
0	3.8
5	5
10	7.8
15	10
20	15
25	20
30	27.7
35	35
40	49.8

Table 1: Humidité spécifique d'un kg d'air (à la pression moyenne du niveau de la mer)

Hiver, froid et climat sec

L'air froid est capable de retenir moins d'humidité absolue. Cet air peut très bien être saturé (100 % d'humidité relative), mais il suffit d'une petite quantité d'humidité pour que cela se produise à des températures froides (tableau 1).

L'air froid est de l'air sec. Plus la température est basse, moins l'eau peut exister en état de vapeur.

En d'autres termes, l'inconfort humain causé par une faible humidité relative dans les climats froids est dû à la température extérieure possédant une capacité de vapeur d'eau plus faible. Bien qu'il puisse neiger et que l'humidité relative extérieure soit élevée, une fois que l'air entre dans le bâtiment et se réchauffe, sa nouvelle humidité relative est très faible (ce qui signifie que l'air est très sec), ce qui peut provoquer un malaise (Wikipedia. Humidité, 2020).

- Dans les bâtiments situés dans les climats d'Europe du Nord, l'humidité relative de l'air intérieur tombe souvent à environ 10-15 % d'humidité relative en hiver.
- En Europe du Nord, le taux d'humidité de l'air extérieur varie entre 1 et 10 g/kg environ au cours de l'année.
- En hiver, l'air extérieur à 0°C par une journée brumeuse (100% d'humidité relative) chauffé à l'intérieur à 22°C donne une humidité relative de 23% HR.
- Dans les endroits où les hivers sont très secs, avec une température extérieure de 0°C et une humidité relative de 30% HR et lorsque l'air est chauffé à 22°C, l'humidité relative plonge à 7% HR.





Été, chaleur et climat humide

- Dans les climats nordiques, en été, l'humidité relative à l'intérieur est rarement supérieure à environ 60-70%.
- Dans les bâtiments situés dans des climats humides (par exemple à Miami, aux États-Unis), l'air intérieur est plutôt sec et l'humidité relative d'environ 30 %. Le niveau correspondant serait d'environ 90 % d'humidité relative si l'air n'était pas déshumidifié mécaniquement.
- En Europe du Sud, l'intervalle correspondant est d'environ 2 à 20 g/kg. En Floride, aux États-Unis, le taux d'humidité est rarement inférieur à 4 g/kg, mais peut assez souvent atteindre environ 20 g/kg.
- La déshumidification est nécessaire pour prévenir les problèmes causés par l'humidité dans les structures des bâtiments.

Dans un bâtiment à Rome ou à Miami, sans aucune déshumidification, l'humidité relative s'élèverait à près de 100 % d'HR, si l'air ambiant était maintenu à 26 °C (tableau 2). Si on laisse la température ambiante augmenter, par exemple, à 30°C, l'humidité relative serait encore proche de 80% d'humidité relative. Cela suggère qu'il existe un besoin assez important de déshumidification dans les bâtiments situés dans de tels climats (C. Nilsson, 2008).

Location	Humidity ratio of the outdoor air [g/kg]		Relative humidity in the room	
	Winter	Summer	Winter (22 °C)	Summer (26 °C)
Stockholm, SE	0.8	11.5	12%	60%
Paris, FR	1.9	13.2	19%	68%
Rome, IT	2.3	19.1	21%	95%
Miami, USA	4.5	20.3	34%	100%

Tableau 2 : Exemple de valeurs limites pour les taux d'humidité de l'air extérieur dans différents endroits (source : Climate Data : Principes fondamentaux du manuel ASHRAE)

Sensation de chaud ou de froid

Il existe un effet physiologique de l'humidité qui est souvent négligé : la sensation de chaud ou de froid et son impact. La transpiration est un élément essentiel du mécanisme de contrôle thermique de l'organisme : la transpiration participe à la thermorégulation, en libérant de la chaleur au niveau de la peau.



Figure 8 : Diagramme de l'humidité relative (% RH) - de faible à élevée (* pour 80% ou plus des occupants d'un espace)

En été, lorsqu'il fait chaud, l'augmentation de la transpiration tend à ramener la température de la peau à un niveau confortable. Une humidité élevée stoppe le processus de transpiration, tandis que l'air sec favorise celle-ci. Une humidité élevée rend les journées chaudes encore plus chaudes.

En hiver, un air plus sec favorise la transpiration et donc le refroidissement de notre corps. L'effet le plus immédiat de ce phénomène est que plus l'air est sec, pour une même température, plus les gens ressentent le froid.

Une petite quantité d'air frais qui entre dans une maison lorsque, par exemple, on ouvre une fenêtre a un effet négligeable sur la température ambiante et provoque pourtant une baisse importante de l'humidité relative. En d'autres termes, la vapeur d'eau "s'échappe" beaucoup plus rapidement que la chaleur, en raison des propriétés physiques des gaz. Le paradoxe est que laisser entrer l'air frais en hiver sans ajouter d'humidité peut en fait réduire la qualité de l'air et le rendre trop sec.

Quelle est alors la meilleure humidité relative ?

Une humidité optimale dans tous les bâtiments n'est plus seulement un facteur de bien-être - elle peut avoir un impact direct sur la santé, le confort, le bien-être et les performances. Les résultats de diverses études peuvent être appliqués plus largement, car les organismes infectieux sont présents partout et il est donc essentiel de contrôler l'humidité dans tous les bâtiments : bureaux, écoles, maisons, hôpitaux, etc. Il n'existe que des exigences législatives et obligatoires limitées dans les normes de construction en ce qui concerne l'humidité relative, ou la teneur en eau.

L'importance d'une humidité relative adéquate pour le bien-être des personnes est documentée depuis longtemps. Cependant, l'humidité relative a encore un peu de retard. L'absence de signal pour l'humidité relative est particulièrement surprenante étant donné son impact bien connu sur le confort.

Dans les pays au climat plus tempéré et plus humide, les niveaux d'humidité sont saisonnièrement trop élevés. Mais des niveaux trop faibles sont également un problème. Des mesures montrent que, lors des hivers froids et secs du nord de l'Europe, les niveaux d'humidité relative intérieure peuvent chuter jusqu'à 5-15 % pendant de longues périodes. Cela est particulièrement évident dans les bureaux et autres lieux de travail qui manquent de sources naturelles d'humidité. D'autre part, les environnements intérieurs présentant des niveaux d'humidité trop élevés entraînent la croissance de micro-organismes qui provoquent d'autres maladies et peuvent causer des problèmes de moisissures qui ne sont pas seulement nuisibles à la maison elle-même, mais aussi à ses habitants. En d'autres termes, nous devons contrôler les niveaux d'humidité, afin qu'ils ne soient ni trop bas, ni trop élevés.



Le climat planétaire, l'effet de serre

L'humidité affecte la facture énergétique et influence ainsi les températures principalement de deux manières. Premièrement, la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère contient de l'énergie "latente". Lors de la transpiration ou de l'évaporation, cette chaleur latente est retirée du liquide de surface, ce qui refroidit la surface de la Terre. C'est l'effet de refroidissement non radiatif le plus important. Il compense environ 70 % du réchauffement radiatif net moyen à la surface.

Deuxièmement, la vapeur d'eau est le plus abondant de tous les gaz à effet de serre. La vapeur d'eau, comme une lentille verte qui laisse passer la lumière verte mais absorbe la lumière rouge, est un "absorbeur sélectif". Comme d'autres gaz à effet de serre (GES), la vapeur d'eau est transparente à la lumière visible (i.e. au rayonnement émis par le soleil), mais elle absorbe l'énergie infrarouge émise (rayonnée) vers le haut par la Terre. C'est la raison pour laquelle les zones humides connaissent très peu de refroidissement nocturne, mais les régions désertiques sèches se refroidissent considérablement la nuit. Cette absorption sélective provoque l'effet de serre. Elle élève la température de la surface bien au-dessus de sa température théorique d'équilibre radiatif avec le soleil. Ainsi, la vapeur d'eau est la cause du réchauffement, bien plus que tout autre gaz à effet de serre.

Cependant, contrairement à la plupart des autres GES, l'eau n'est pas seulement en dessous de son point d'ébullition dans toutes les régions de la Terre, mais il est également en dessous de son point de congélation à de nombreuses altitudes. Et le temps de vie de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est très faible comparé à celui des autres GES. Sans ces autres gaz, la température globale moyenne serait inférieure au point de congélation de l'eau, ce qui entraînerait l'élimination de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. La vapeur d'eau est donc "esclave" des GES.

Si l'humidité est une variable climatique en soi, elle surpasse également d'autres variables climatiques. L'humidité est également affectée par les vents et par les précipitations.



L'humidité peut être un atout

Nous savons depuis longtemps que l'humidité peut avoir un impact positif sur notre santé. L'inhalation d'air humidifié et de vapeur d'eau est un traitement populaire pour traiter des maladies, et est également utilisée dans les hôpitaux depuis un certain temps afin de contrer certaines maladies respiratoires.

Nos efforts pour éviter le syndrome des bâtiments malsains, en particulier dans les pays nordiques, ont donné à l'humidité une connotation négative. Pour éviter le syndrome des bâtiments malsains et les moisissures, des taux de ventilation élevés ont été recommandés dans certains pays, mais des niveaux d'humidité servant de contrepoids n'ont pas été exigés, entraînant des environnements intérieurs très secs.

Nous utilisons la récupération de chaleur dans les systèmes de ventilation pour économiser l'énergie thermique. En outre, les systèmes de contrôle ajustent automatiquement la récupération selon que nous voulons garder ou éliminer l'énergie thermique à l'intérieur d'un bâtiment. Nous devons traiter l'humidité comme un atout et la récupérer de la même manière que nous le faisons pour l'énergie thermique.

Un air trop sec est mauvais pour notre santé et c'est un problème auquel nous devons accorder plus d'attention afin de créer des environnements intérieurs sains pour tous.

**Nous devons traiter l'humidité
comme un atout et la récupérer de
la même manière que nous le faisons
avec l'énergie thermique.**

Références

- ALSMO, T., & ALSMO, C. (2014).** Ventilation and Relative Humidity in Swedish Buildings. *Journal of Environmental Protection*.
- ASHRAE. (2013).** Standard 55. Thermal environment conditions for human occupancy.
- ASHRAE. (2019).** Standard 62. Ventilation for acceptable indoor air quality.
- BRODE, P. (2011).** Deriving the operational procedure for the universal thermal climate index. *Journal of Biometeorology*.
- C. NILSSON, E. A. (2008).** AIR Swegon Air Academy. Swegon.
- CUSHMAN-ROISIN, B. (2020).** Sustainable design. In search of indoor comfort. Presentation. Retrieved from dartmouth.edu/~cushman/courses/engs44/comfort.pdf
- DESIGNING BUILDINGS. HUMIDITY. (2020).** Retrieved from designingbuildings.co.uk/wiki/Humidity
- EN 16798 ET AL. HUMIDITY IN EUROPEAN REGULATIONS. (2020).** Retrieved from static-int.testo.com/media/ec/a1/c710dde95852/Whitepaper-Expert-knowledge-2-EN.pdf
- ENGINEERING TOOLBOX. MOISTURE HOLDING CAPACITY OF AIR. (2020).** Retrieved from engineeringtoolbox.com/moisture-holding-capacity-air-d_281.html
- ENGINEERING TOOLBOX. PSYCHROMETRIC CHART BY MOLLIER. (2020).** Retrieved from engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2019).** EN 16798-1:2019 Energy performance of buildings – ventilation for buildings. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- FANGER, O. (1970).** Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Danish Technical Press.
- GUGGENBICHLER, J., HUSTERAND, R., & GEIGER, S. (2007).** Luftfeuchtigkeit and Immunabwehr Die Rolle der Schleimhaut and Auswirkung auf die Klimatechnik. *Tab Technik*.
- HEARN, G. (2020).** Wolfson Electrostatics. Controlling static electricity in modern buildings. Načteno z wolfsonelectrostatics.com/04_news/pdfs/controllingstaticelectricityinmodern-buildings.pdf
- L. H. CETNEROVA. (2018).** On the history of indoor environment and its relation to health and wellbeing. *REHVA Journal*.
- LABENVIRONEX. (2020).** Retrieved from Moisture sources in houses: labenvironex.com/en/environment/bacteria-and-mould-analyses/moisture-sources-in-houses/
- LAVIANA, J., ROHLES, F., & BULLOCK, P. (1988).** Humidity comfort and contact lenses. *ASHRAE*.
- LAX, S. (2016).** Colonization and succession of hospital associated microbiota.
- ONLINE ETYMOLOGY DICTIONARY. (2020).** Retrieved from etymonline.com/word/humidity
- SEPPANEN, O., & KURNITSKI, J. (2009).** WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. Chapter 3: Moisture control and ventilation. World Health Organization.
- SCHIAVON, S. (1996).** Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55. *Journal of Building Simulation*.
- SPENGLER, J., BURGE, H., & SU, H. (1992).** Biological agents and the home environment. Proceedings, Bugs, mold and rot workshop, Washington.
- STERLING, E. M., ARUNDEL, A., & STERLING, T. (1985).** Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings. *ASHARE*.
- SUNWOO, Y. (2006).** Physiological and subjective responses to low relative humidity in young and elderly men. *Journal of Physio Antropol*.
- WIKIPEDIA. HUMIDITY. (2020).** Retrieved from en.wikipedia.org/wiki/Humidity
- WIKIPEDIA. PSYCHROMETRICS. (2020).** Retrieved from en.wikipedia.org/wiki/Psychrometrics
- YAGLOU, C. P. (1938).** Sanitary Aspects of Air Conditioning. *Public Health Nations*.

Feel good **inside**

