

2-1.2. Problèmes particuliers posés par l'humidité de l'air

Les conditions dominantes des zones d'altitude sont celles d'un air frais et humide. S'il n'y a aucun risque lié à une climatisation qui n'a pas lieu d'être dans ce climat, il y a par contre de gros risques de condensations dans ou sur la surface de parois extérieures froides si celles-ci sont mal isolées, ou insuffisamment chauffées. Les problèmes d'air humide et de condensations sont aggravés par la conjonction de trois phénomènes :

1. L'air extérieur est déjà humide ;
2. L'air extérieur est froid et nécessite un chauffage, créant un gradient thermique à travers les parois d'enveloppe ;
3. Le taux de renouvellement d'air est nécessairement contrôlé et peut être réduit au point que la vapeur d'eau produite à l'intérieur de l'habitation par les occupants a la possibilité de s'accumuler.

Illustrons cette conjonction à partir du diagramme de l'air humide (ou « diagramme psychrométrique »).

2-1.2.1. Hypothèses de départ

Une famille occupant un logement ou une maison produit pas ses activités 10 à 15 litres de vapeur d'eau par jour (cuissons, douches, lavage et séchage du linge, entretien des surfaces, plantes vertes et – moyen très efficace – chauffage d'appoint au gaz). Selon le taux de renouvellement d'air, cette production se traduit par un « *supplément d'humidité spécifique* » en grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec que donne le tableau suivant :

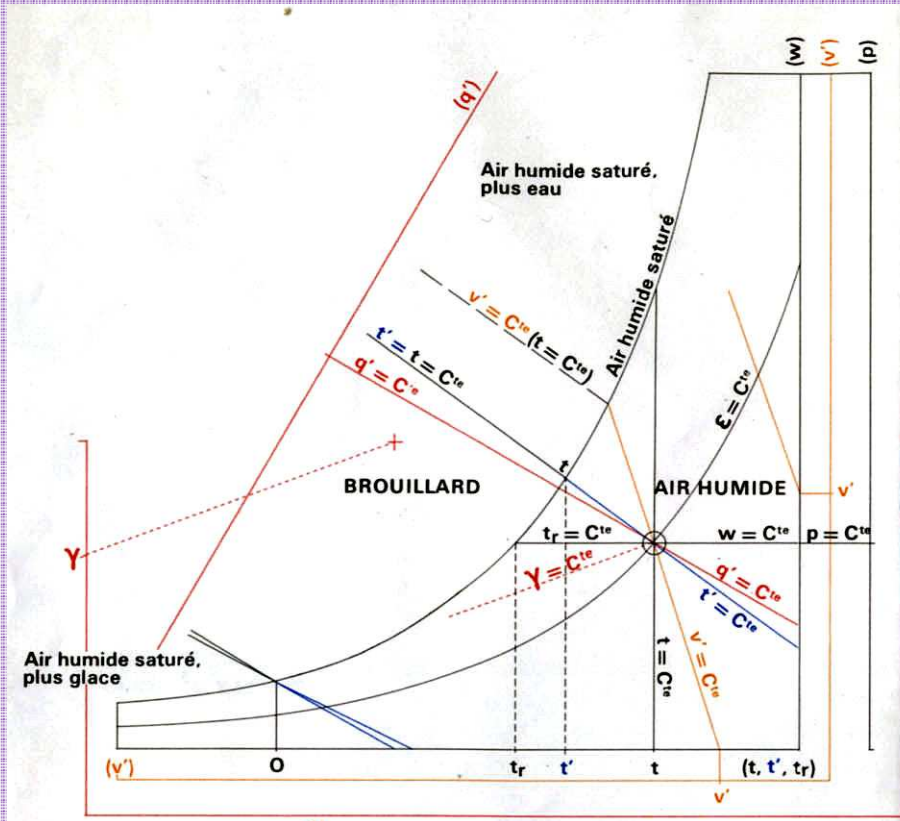
Production de vapeur journalière (l)	Taux de renouvellement d'air horaire (volume/heure)				
	0,00	0,50	0,75	1,00	1,50
10	33,33	8,55	1,50	1,14	0,10
15	50,00	12,82	2,25	1,71	0,15
20	66,67	17,09	3,00	2,28	0,21
25	83,33	21,37	3,75	2,85	0,26

Tab. 5 : « *Supplément d'humidité spécifique* » (en grammes de vapeur d'eau par kg d'air sec) en fonction de la production journalière de vapeur d'eau en litres et du taux de renouvellement d'air

Ce tableau traduit bien le fait que la quantité de vapeur d'eau à l'intérieur d'un local dépend étroitement de la production de vapeur et du taux de renouvellement d'air. Les valeurs extrêmes du tableau vont de +83 gH₂O/kg d'air sec (pour une forte production de 25 litres de vapeur d'eau par jour par les occupants et une ventilation nulle) à +0,10 gH₂O/kg d'air sec (pour une faible production de 10 litres de vapeur par jour par les occupants et un taux de ventilation de 1,5 vol/jour).

Le diagramme de l'air humide : comment ça marche ?

Nous utilisons fréquemment ce diagramme pour traiter des conditions hygrothermiques imposées par le climat de la Réunion : c'est le cas notamment du « *diagramme bioclimatique* ». Cela mérite un minimum d'information sur les grandeurs qu'il représente. Pour cela, nous nous servons du diagramme édité par l'AICVF :



A partir d'un point sur le diagramme, nous pouvons repérer les droites suivantes :

Droites horizontales : représentent « l'humidité absolue » :

W = Constante : Humidité Spécifique (Hs) constante (gH₂O/kg air sec), ou

P = Constante : Pression partielle de vapeur d'eau constante (mmHg ou mb ou Pa) pour la pression atmosphérique de référence. La vapeur d'eau contenue dans un air à 20°C et 50 % HR présente une pression partielle de vapeur de 1170 Pa (par comparaison, la pression atmosphérique est de 101300 Pa).

Droites verticales :

T = constante : Température de l'air sec constante (°C), mesurée par thermomètre à bulbe sec

Tr = constante : Température de rosée de l'air pour les conditions du point (°C) ; c'est la température pour laquelle la vapeur d'eau contenue par l'air commence à se condenser.

Droites inclinées :

Q' = Constante : enthalpie de l'air constante : c'est l'état énergétique de l'air. Le passage d'un point à un autre sur le diagramme donne par différence d'enthalpie la quantité d'énergie mise en jeu.

T' = constante : Température humide de l'air (°C) : celle que l'on mesure au thermomètre à bulbe humide. Elle se lit sur l'axe des températures sèches ; la droite inclinée bleue donne l'ensemble des conditions (Ta + Hs) de l'air conduisant à la même température humide

Les courbes représentent les conditions de saturation de l'air et les iso-humidités relatives.

Sans aller jusqu'à ces extrêmes, on peut imaginer ici deux scenarios :

- Un comportement d'habitant producteur de vapeur d'eau couplé à un faible taux de ventilation, par exemple 20l/jour avec un taux de 0,5 volume/heure, qui va donner un « supplément d'humidité spécifique » de 17 gH₂O/kg air sec ;
- Un comportement plus responsable de 15l/jour avec un taux de 0,75 Volume/heure qui va donner un supplément d'humidité spécifique de 2,25 gH₂O/kg air sec.

2-1.2.2. Conséquences pour les ambiances

Quels sont les résultats sur l'ambiance intérieure aux différentes saisons de l'année ? On peut raisonnablement encore formuler deux hypothèses : une consigne intérieure à 22,5°C pour des frileux (ou la pièce principale) et une autre consigne à 17,5°C pour faire des économies (dans les pièces de nuit par exemple). Le diagramme de l'air humide permet de répondre à la question.

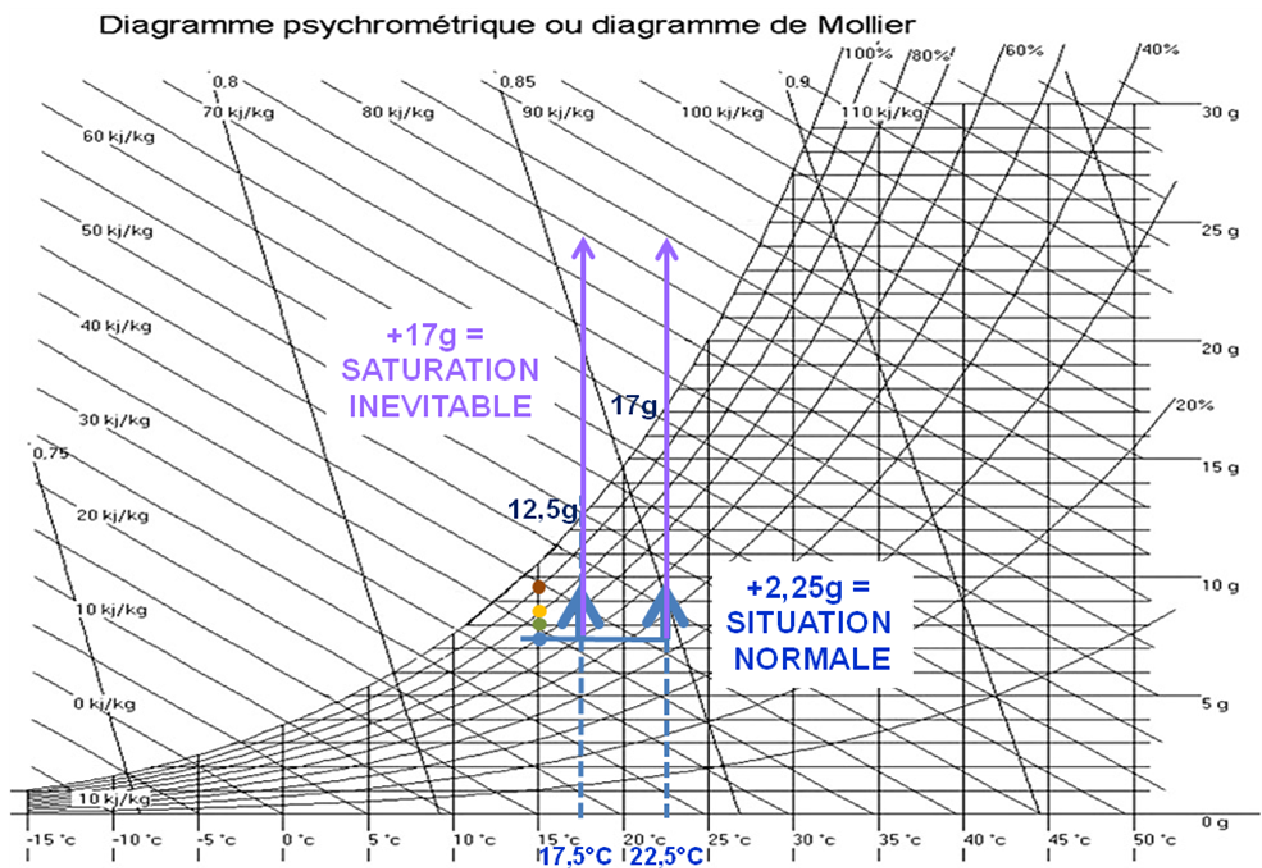


Fig. 53 : Conditions hygrothermiques résultant de suppléments d'humidité spécifique de 2,25 et 17 grammes de vapeur d'eau et des conditions de l'air extérieur à la Plaine des Cafres en juillet pour deux consignes de température intérieure : 17,5 et 22,5°C.

La figure 53 montre que le taux de ventilation de 0,5 volume/heure associé à la production de 20l/jour de vapeur d'eau conduirait dans les deux cas de température intérieure à des condensations généralisées : il aboutit à une humidité spécifique totale de 24 gH₂O/kg d'air sec (addition de 7,5 g du niveau extérieur et du supplément intérieur de 17g), alors que les

humidités spécifiques saturantes sont respectivement de 12,5 et 17 gH₂O/kg d'air sec. Un tel taux de renouvellement d'air ne pourrait être envisageable que pour des températures intérieures supérieures à 25°C !

Le taux de 0,75 vol/heure est, lui, envisageable en hiver car $7,5 + 2,25 = 9,75$ gH₂O/kg d'air sec, mais l'est-il encore aux autres saisons ? Pour répondre, prenons les conditions extérieures les plus défavorables, celles du mois de janvier (humidité spécifique extérieure de 9,5 gH₂O/kg d'air sec).

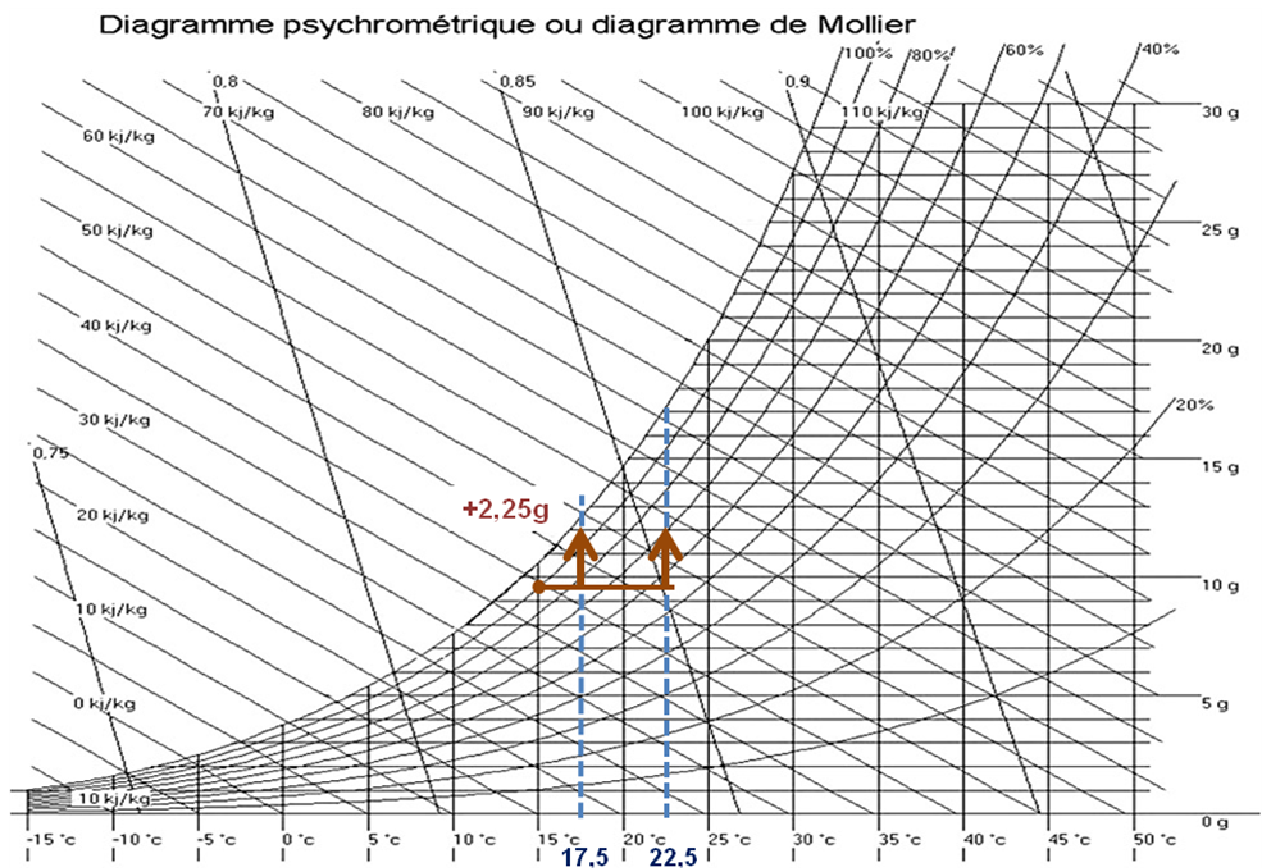


Fig. 54 : Conditions hygrothermiques résultant de suppléments d'humidité spécifique de 2,25 grammes de vapeur d'eau et des conditions de l'air extérieur à la Plaine des Cafres en janvier pour deux consignes de température intérieure : 17,5 et 22,5°C.

En janvier, la température intérieure de 17,5°C doit pouvoir être obtenue sans apport de chauffage. La figure 54 montre qu'un taux de ventilation contrôlé de 0,75 volume/heure conduit à 0,5 degré près à la température de rosée de l'air intérieur pour une production de vapeur d'eau de 15 litres par jour. On aura intérêt ici à réduire fortement cette production de vapeur d'eau. A défaut, il faudra ventiler pendant les heures de la journée les plus chaudes donc les moins humides (en valeur relative) à l'extérieur.

A 22,5°C, on n'aura pas ces problèmes de risques de condensation puisque l'humidité relative de l'air est limitée à 70% (figure 54), mais il faudra dépenser de l'énergie pour se chauffer !

Pour les conditions d'été en altitude, les marges de manœuvre pour réduire le niveau d'humidité de l'air intérieur sont étroites : le moyen le plus efficace est de fortement ventiler le volume habité, ce qui conduit à des températures intérieures proches de celles de l'extérieur. Il faut donc oublier l'objectif de monter à 22,5°C et se contenter des 15°C extérieurs !

Les matériaux et la transmission de vapeur d'eau : les grandeurs en jeu

La Perméance (Unité: g /m².h.mmHg) est la quantité de vapeur d'eau qui traverse un mètre carré de matériau en une heure avec un gradient de pression de 1 mm de Hg. C'est le rapport du coefficient de perméabilité sur l'épaisseur du matériau : $P = \pi/e$

La Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau est l'inverse de la perméance. Son unité est donc le m².h.mmHg/g. Elle est exprimée par le coefficient μ (mu). Si μ est proche de 1 ou 2 le matériau permet une migration de la vapeur d'eau à travers son épaisseur. Plus μ est grand, plus le matériau est étanche.

L'épaisseur équivalente de diffusion μd indique la résistance qu'offre une couche de matériau à la diffusion de vapeur d'eau. μd est le produit du coefficient de résistance à la diffusion de vapeur (μ) par l'épaisseur du matériau (d) et s'exprime en mètres.

Le μd d'une couche de matériau correspond à l'épaisseur en m de la couche d'air stationnaire qui exercerait la même résistance à la diffusion de vapeur que la couche de matériau.

Exactement comme l'eau s'écoule d'un point haut vers un point bas, ou comme l'air se déplace d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression, l'eau sous forme gazeuse va avoir tendance à migrer d'un point de « haute pression partielle de vapeur d'eau » vers un point de « faible pression partielle de vapeur d'eau ». Le diagramme de l'air humide qui sert de support au diagramme bioclimatique est gradué sur son axe vertical en « pression partielle de vapeur d'eau (unité le mmHg, mais il serait plus correct d'utiliser l'unité de pression du Système International qu'est le Pascal, Pa) : il est donc facile de prévoir le sens de déplacement de la vapeur d'eau en fonction des évolutions des conditions extérieures et intérieures.

Dans le cas des zones des Hauts et d'Altitude, la production domestique de vapeur d'eau fait que la pression partielle de vapeur d'eau intérieure est toujours plus élevée que celle de l'extérieur. Les flux de vapeur d'eau sont donc « sortants ».

Si ce déplacement peut se produire - c'est le cas pour un matériau de faible résistance à la diffusion de la vapeur d'eau - cela fait courir le risque de condensation dans l'épaisseur de ce matériau lorsque le front de vapeur d'eau rencontre le « point de rosée » dû au gradient thermique. Pour éviter ce phénomène, il faut interposer une couche de forte résistance à la diffusion que l'on appelle en général un « pare-vapeur ».

Lorsqu'une paroi d'enveloppe est constituée de plusieurs couches, il est recommandé que la « perméance » de chaque couche soit croissante en allant de l'intérieur vers l'extérieur.

Les pare-vapeur

Le tableau ci-après, tiré du document « IA Concept » présente les matériaux susceptibles d'être utilisés comme « pare-vapeur » (c'est-à-dire à forte résistance à la diffusion de la vapeur d'eau) sous forme de classes E1 à E4. La performance est exprimée par « l'épaisseur équivalente de diffusion » μd .

Classe	Résistance à la diffusion de vapeur	Exemples de matériaux utilisables comme pare-vapeur
E1	$2 \text{ m} < \mu d < 5 \text{ m}$	Papier bitumé
		Film en PE 0,2 mm
		Papier de tapisserie plastifié
		Peinture à l'huile
		Peinture au caoutchouc chloré
E2	$5 \text{ m} < \mu d < 25 \text{ m}$	Carton plâtre recouvert d'une feuille d'aluminium
		Film de PE 0,2 mm et laminé d'aluminium
		Voile de polyester bitumineux P150/16
		Voile de verre bitumineux V50/16
		Membrane en PVC épaisseur $> 1 \text{ mm}$
E3	$25 \text{ m} < \mu d < 200 \text{ m}$	Bitume armé P3 ou P4 ou V3 ou V4
		Bitume polymère APP ou SBS
		Film PIB
E4	$200 \text{ m} < \mu d$	Bitumes armés avec film métallique (alu 3)
		Système bitumineux multicouche ($\geq 8 \text{ mm}$)

Classes des pare-vapeur en fonction de leur valeur d'épaisseur équivalente de diffusion (d'après IA Concept)

Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau μ des matériaux courants :

Matériau	Valeur de μ
Air	1
Laine de roche Rockwool	$\leq 1,3$
Béton cellulaire	10
Plâtre	10
Brique	15
Pierre calcaire	20
Bois de charpente	20
Multiplex	50
Panneau de fibres ciment	70
Béton armé	130
Roofing	10.000
Feuille PE	100.000 - 200.000
Granite, pierre de taille	10E12
Verre, métal	infini