



ECOLE
NATIONALE
SUPERIEURE
D'**A**RGHITECTURE
DE
PARIS **L**A **V**ILLETTE

SCIENCES ET TECHNIQUES POUR L'ARCHITECTURE

licence

3eme année Unité d'enseignement UEL5 14

**MAITRISE DES AMBIANCES 3
THERMIQUES**

COURS n°5
19 oct et 2 nov 2012
MARIA LOPEZ DIAZ

sommaire

- **Le confort thermique dépend de...**
- **Classification des indices de confort**
- **Conditions intérieures de confort**
- **Importance des vêtements**
- **Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort**
 - **Délais d'occupation de l'espace**
 - **Asymétrie thermique**
- **Outils de conception : diagrammes**
 - **La méthode Olgyay**
 - **La méthode Givoni**
 - **Exemple d'utilisation**
- **Conception des espaces intérieurs ventilation des locaux**

Rappel confort thermique

Plusieurs variables influent sur le confort hygrothermique des personnes!

« le confort thermique dépend :

1. **du métabolisme**, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
Voir caractéristiques de la personne et niveau d'activité
2. De **l'habillement**, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
3. De la **température ambiante de l'air** T_a .
4. De la **température moyenne radiante des parois** T_p .
5. De **l'humidité relative de l'air (HR)**, qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température t_a et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
Ou pression de vapeur d'eau dans l'air
6. De **la vitesse de l'air**, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s »

Depuis les dernières décennies, l'évaluation du confort thermique se définit comme l'étude des **échanges thermiques qui se produisent entre le corps et son environnement**

L'intégration de ces transferts aboutit dans une approche physique à l'élaboration **d'indices de confort thermique.**

Deux principales familles d'indices thermiques peuvent être distinguées.

1. La première famille regroupe des indices dits **empiriques.**

Plusieurs indices thermiques ont été développés à partir des approches empiriques comme l'indice refroidissement éolien "Wind Chill Index" (WCI) [Auliciems 1997]. Les indices empiriques sont déduits en utilisant à la fois des études déclaratives du confort dans des conditions climatiques contrôlées et à la fois une étude de la balance thermique (1) entre l'homme et son environnement :

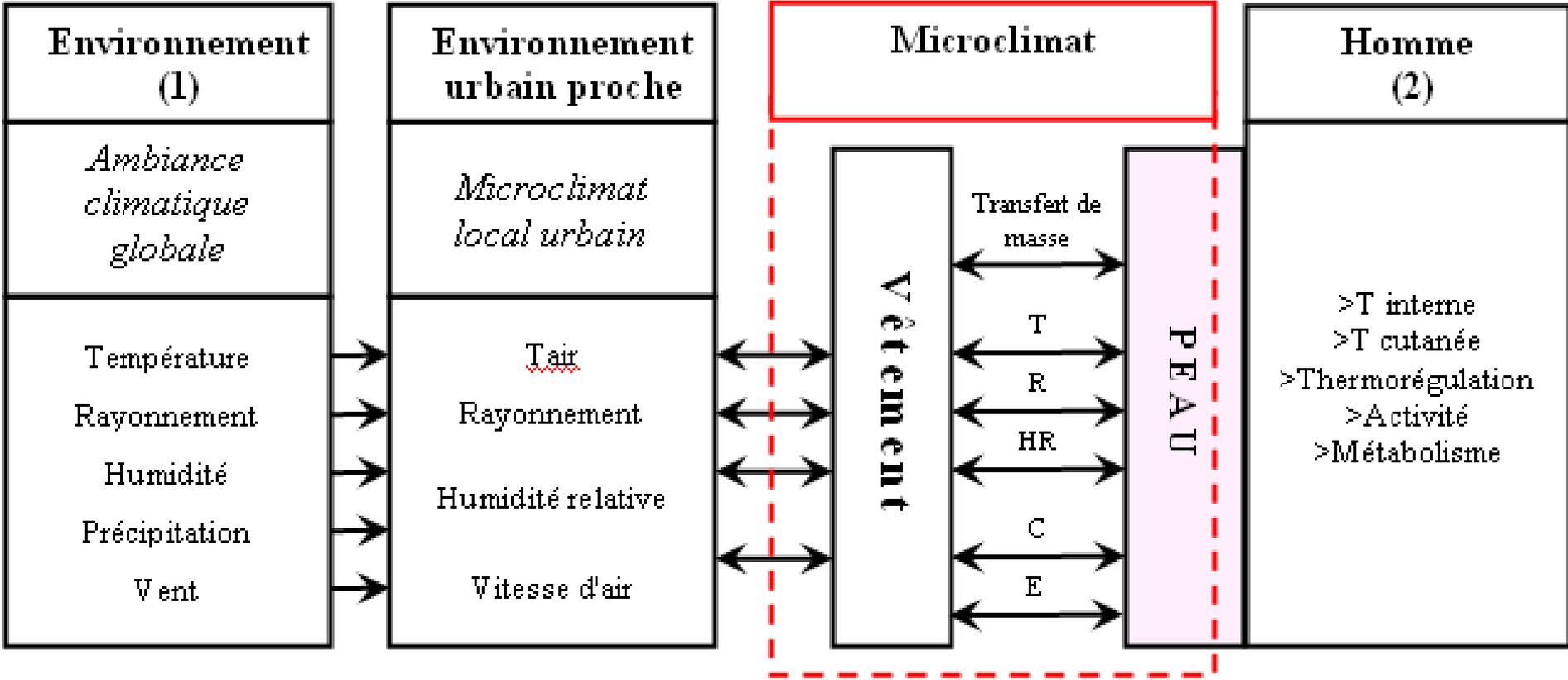
$$S = M - W + R + C + E + K + C + E(1)$$

Où S = Balance énergétique instantanée et globale, M = métabolisme basal, W = travail externe, R = perte par rayonnement, C = échange par convection, E = échange par évaporation, K = échange par conduction, C_{res} = échange par convection respiratoire, E_{res} = échange par respiration, latente et sèche.

Par exemple, le WCI est employé dans des climats froids traduisant l'effet de refroidissement éolien (T_{air} doit être au-dessus de -50°C et en-dessous de 10°C, et V_{air} doit être au-dessus de 1.5 m.s⁻¹).

2. La deuxième famille est issue des approches dites **analytiques.** Ce type d'approche est basé sur la modélisation plus ou moins fine de transfert thermique chez l'homme

échanges thermiques qui se produisent entre le corps et son environnement



Description fonctionnelle de la biophysique du microclimat [De Oliveira 2005].



Rappel Classification des indices de confort

Le confort est la résultante d'une interaction complexe de paramètres. (géographiques, climatiques, personnels, caractéristiques des espaces)

Afin de pouvoir simplifier la prise en compte de ses paramètres on a créé des indices de confort qui s'utilisent en fonction du degré de précision et des objectifs poursuivis

Indices de confort:

1 directs

2 dérivés des directs (qui proviennent des Indices de confort directs)

3 empiriques

Rappel **Classification des indices de confort**

1. Indices de confort directs

Température air

Humidité

Vitesse de l'aire

apportent des informations **partielles** du confort

Température: bonne information parfois elle induit à l'erreur

L'humidité : significative dans des valeurs extrêmes

inconfortables >20-30% ou par dessus 70-80%

Vitesse de l'air toute seule: pas de sens

Rappel Classification des indices de confort

Pour la définition des sensations thermiques les indices de confort les plus intéressants sont les:

**2 Indices de confort
dérivés des directs**
(qui proviennent des Indices
de confort directs)

Température moyenne radiante ?

Température équivalente ?

Température opérative ?

Température opérative humide ?

Rappel **Classification des indices de confort**

2 Indices de confort dérivés des directs

Température moyenne radiante moyenne pondérée des températures des parois

- Température uniforme d'un corps noir avec lequel l'individu échange la même quantité de chaleur qu'avec son environnement immédiat
- On peut obtenir cette valeur avec un thermomètre de globe noir ou capteur de température globe noir (T_g) la température sèche (T_s) et la vitesse de l'air (v_a)

$$T_{mr} = T_g + 0,24(T_g - T_s)v_a^{1/2}$$

On observe que si la V_a est nulle la température moyenne radiante coïncide avec la température globe noir...

Ref bibliog : Confort thermique VICTOR CANDAS

Capteur de température globe noir : un entorno sostenible F Javier Neila Gonzalez

Sonde fabriquée selon la norme ISO7726. Elle se compose d'un globe de métal noir, creux à l'intérieur, au centre duquel est monté un capteur de température. La température mesurée (T_g) est utilisée pour calculer la température moyenne de rayonnement (T_r). Avec cette sonde boule noire, il est possible d'évaluer et de **vérifier les charges thermiques radiantes qui sont extrêmement importantes pour l'analyse en ambiance dite "chaude". En particulier, cette sonde est essentielle pour le calcul des indices de température de fonctionnement PMV predictiv jugement moyen , PPD pourcentage personnes insatisfaites, entre autres**



Rappel **Classification des indices de confort**

2 Indices de confort dérivés des directs

Température équivalente

- C'est la température d'une parcelle d'air dont on aurait complètement retiré sa vapeur d'eau par un processus adiabatique
- L'air atmosphérique est de l'air humide : il est composé d'air sec et de vapeur d'eau.
- Prenons un petit volume d'air humide qui est à une température T et avec un rapport de mélange r .
- Si on l'assèche totalement par condensation et qu'on élimine l'eau, le volume d'air aura une température supérieure qui dépend du relâchement de la chaleur latente de condensation:....

Rappel **Classification des indices de confort**

2 Indices de confort dérivés des directs

Température opérative ...Elle est définie comme la température d'une enceinte isotherme dans laquelle un occupant échange la même quantité de chaleur par **rayonnement et convection** que dans l'enceinte dans laquelle il se trouve réellement¹.

Mathématiquement, elle est la moyenne de la température radiative moyenne et de la température ambiante (température sèche) , pondérée respectivement par les coefficients de transfert thermique .

$$T_o = \frac{h_r t_{mr} + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad \text{où}$$

h_c = coefficient de transfert thermique convectif

h_r = coefficient de transfert thermique radiatif linéaire

t_a = température ambiante

t_{mr} = température radiative moyenne.

Rappel **Classification des indices de confort**

2 Indices de confort dérivés des directs

Température opérative ...Évaluation simplifiée : température de l'air et température des parois définissent "la température opérative"

- De façon simplifiée, on définit une température de confort ressentie (appelée aussi "température opérative" ou "température résultante sèche") :

- $$T^{\circ}_{\text{opérative}} = (T^{\circ}_{\text{air}} + T^{\circ}_{\text{parois}}) / 2$$

Température résultante ou opération: moyenne entre la température moyenne radiante et la température de l'air

- **Cette relation simple s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.** (http://www.energieplu-lesite.be/energieplus/page_15565.htm)
- **la température ressentie par le corps humain, dite « température opérative », n'est pas la température de l'air mais une moyenne entre la température de l'air et celle des parois qui entourent la personne.**

Rappel **Classification des indices de confort**

2 Indices de confort dérivés des directs

Température opérative humide

variation de l'indice précédent qui prend en compte un état de saturation afin que les échanges soit par convection, radiation mais aussi par **évapotranspiration**

Exemple de conditions de confort à l'intérieur d'un bâtiment (pas tres vitrée..)

saison	Température opérative (°C)	Vitesse moyenne de l'air (m/s)	Humidité relative(%)
été	23...25	0.18...0.24	40...60
hiver	20...23	0.15...0.20	40...60

→ Système de ventilation...? Sinon 0

Rappel **Classification des indices de confort**

3 Indices de confort empiriques

Température effective

Indice de refroidissement par le vent

Degré de satisfaction observée

Degré de satisfaction prévu

Indice de confort Ecuatorial

Pourcentage de personnes insatisfaites

etc

Rappel **Classification des indices de confort**

3 Indices de confort empiriques

- **Température effective:** un indice arbitraire qui combine dans une seule valeur l'effet de la température, l'humidité et le mouvement de l'air en lien avec la sensation de chaleur ou froid ressentie par l'être humain... !
- De cette façon au moment de fixer les objectifs de confort d'un local, en fonction du genre d'utilisateurs et du travail qu'ils vont réaliser il suffit d'indiquer la température effective de confort correspondante!
- Cette température effective va s'obtenir en combinant et en modifiant la quantité d'humidité du local, sa température du bulbe sec, ou la vitesse de l'air selon les possibilités d'agir!

Rappel **Classification des indices de confort**

3 Indices de confort empiriques

Indice de refroidissement par le vent

prend en compte le mouvement de l'air dans la mesure de la sensation de chaleur

- **Degré de satisfaction** en fonction de recensement, se qui permet de qualifier la sensation produite par un site en fonction de plusieurs variables..



J'AI PAS FROID
J'AI PAS FROID
J'AI PAS FROID ...

L'indice de vote moyen prévisible, (PMV - Predicted Mean Vote) donne l'avis moyen d'un groupe important de personnes qui exprimeraient un vote de sensation de confort thermique en se référant à l'échelle suivante :

- Une valeur de PMV de zéro exprime une sensation de confort thermique optimale.
- Une valeur de PMV négative signifie que la température est plus basse que la température idéale.
- Réciproquement, une valeur positive signale qu'elle est plus élevée.

L'ISO 7730:2005 présente des méthodes de prévision de la sensation thermique générale et du degré d'inconfort (insatisfaction thermique) général des personnes exposées à des ambiances thermiques modérées. Elle permet de déterminer analytiquement et d'interpréter le confort thermique, par le calcul des indices PMV (vote moyen prévisible) et PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits) et par des critères de confort thermique local, donnant les conditions des ambiances thermiques considérées acceptables du point de vue du confort thermique général et les conditions représentant les inconforts locaux

La présente Norme internationale a pour objet a) de présenter une méthode de prévision de la sensation thermique et du degré d'inconfort (insatisfaction thermique) des personnes exposées à des ambiances thermiques modérées, et b) de prescrire des conditions d'ambiances thermiques acceptables pour le confort. La présente Norme internationale est applicable aux hommes et aux femmes en bonne santé. Elle est basée sur des études réalisées au départ sur des sujets nord-américains et européens mais est aussi en accord avec les résultats d'études récentes réalisées sur des sujets japonais exposés à des environnements thermiques modérés. Elle devrait être applicable avec une bonne approximation dans la plupart des régions du monde, mais des différences ethniques et géographiques peuvent exister et nécessitent des études supplémentaires. Elle est applicable aux personnes exposées à des ambiances intérieures où le confort thermique est recherché, ou à des ambiances intérieures s'écartant peu des zones de confort. Dans des ambiances thermiques extrêmes, d'autres Normes internationales sont applicables (voir article 2 et annexe F). Des différences peuvent exister pour des sujets malades ou handicapés. La présente Norme internationale peut être utilisée pour concevoir de nouvelles ambiances ou pour évaluer les ambiances existantes. Elle concerne essentiellement les environnements de travail mais peut être utilisée pour tout type d'environnement.

L'indice de vote moyen prévisible

Dans la détermination de l'indice de vote moyen prévisible interviennent:

- **L'activité métabolique W/m^2 ,**
- **le travail W/m^2**
- **la relation entre la surface du corps habillé et nue**
- **la température sèche de l'air $^{\circ}C$**
- **la température moyenne radiante $^{\circ}C$**
- **la pression de vapeur Pa**
- **le coefficient de convection $W/m^2^{\circ}C$**
- **Température superficielle habits $^{\circ}C$**
- **Résistance thermique des habits $m^2^{\circ}C/W$**

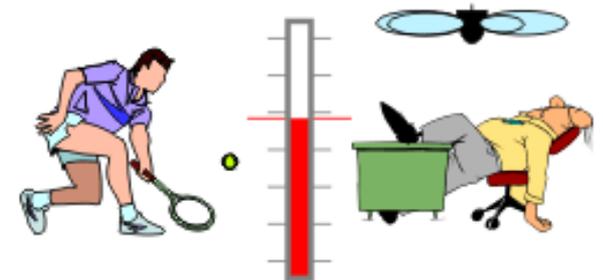
On considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraîcheur (- 1) à la sensation de légère chaleur (+ 1), soit de -1 à + 1.

+3	Chaud (majoritairement insatisfaits)
+2	Tiède (75%insatisfaits)
+1	Légèrement tiède (25% d'insatisfaits)
0	Neutre (5% d'insatisfaits)
-1	Légèrement frais (25% d'insatisfaits)
-2	Frais (75%insatisfaits)
-3	Froid (majoritairement insatisfaits)

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD - Predicted Percentage Dissatisfied) donne, en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à la situation.

Connaissant l'indice de vote moyen prévisible PMV, la figure ci-après permet d'évaluer directement PPD. Si par exemple, le PMV est de - 1 ou + 1, l'indice PPD montre que près de 25 % de la population n'est pas satisfaite. Pour ramener le PPD à une valeur maximale de 10 % (ce qui est généralement l'objectif à atteindre dans un bâtiment), le PMV doit se situer entre - **0,5** et + **0,5**.

Et pour une valeur 0 de PMV, soit un état de confort thermique optimal, il v a encore 5 % d'insatisfaits



Degré de satisfaction

Conclusions:

- **il y aura toujours des insatisfaits...**
- **Optimum : 5 %**
- **10%: admissible**
- **mais pour des ambiances très complexes à résoudre avec des techniques passives un 20% d'insatisfaits est admis**

confort thermique

- Dans les espaces extérieurs, la considération du vent et le rayonnement sont plus complexes à prendre en compte que dans le climat d'intérieur.

Conditions intérieures de confort

Époque de l'année	Température opérative (°C)	Vitesse moyenne de l'air (m/s)	Humidité relative (%)
été	23...25	0.18...0.24	40...60
hiver	20...23	0.15...0.20	40...60

Conditions de confort en été qui ne sont pas universelles...bâtiment conventionnel, pas très vitré, avec une vitesse de l'air en hivers, et peut être avec de la climatisation!!

Stress thermique ..travail

ThTg

- on peut l'évaluer analytiquement..
- L'indice ThTg combine la température humide naturelle et la température du globe Tg

Dans des locaux **sans charge solaire**

$$\text{THTG} = 0.7 \text{ Thn} + 0.3 \text{ Tg}$$

Dans des locaux **avec charge solaire**

- $\text{THTG} = 0.7 \text{ Thn} + 0.2 \text{ Tg} + 0.1 \text{ Ts}$

Pour + de précision: on doit obtenir les valeurs moyens entre différents valeurs: à la hauteur de la tête, de l'abdomen, des chevilles!!!!

Stress thermique ..travail

ThTg

Activité métabolique		Valeur de référence de l'indice THTG	
		Personne habitué à la chaleur	Personne non habitué à la chaleur
0 minimal	65 W/m ²	33°C	32 °C
1 basse	100 W/m ²	30 °C	29 °C
2 moyenne	165 W/m ²	28 °C	26 °C
3 grande	230 W/m ²	25-26 °C	22-23 °C
4 très grande	290 W/m ²	23-25 °C	18-20 °C

Influence **des vêtements** dans le confort



mouton Merinos

- Habit lourd: sensation de chaleur. ça évite
- Quantifier?
 - On mesure en fonction de **coefficients de transmission thermique**
 - **Unité: clo (clothing)**

1 clo = résistance thermique de $0.15\text{m}^2\text{°C/W}$

Importance des vêtements

exemples de résistance thermique des habits en fonction de la ISO 7730

Genre d'habit	Isolation thermique
<i>Sous vêtements</i>	
chaussettes	0.02
Bas nylon	0.03
M-bas longues épaisses	0.10
<i>pantalons</i>	
courts	0.06
normaux	0.25
Épais longs	0.28
Mono de travail	0.55
<i>Pour l'extérieur</i>	
manteau	0.60
veste	0.55
Etc.	

Importance des vêtements

- Différentes façons de calculer la résistance total (somme de habits)

$$R \text{ vêtements} = 0.835 * \sum R \text{ vêtements} + 0.161$$

Ou plus simplement $R \text{ total} = \sum$ chaque vêtement

Résistance habits = somme des résistances des différents habits que vous portez

Importance des vêtements

- Du moment qu'on travaille en général avec des personnes qui ne portent pas un uniforme , qui sont habillés de façon hétérogène on a intérêt à simplifier ...Plus simple

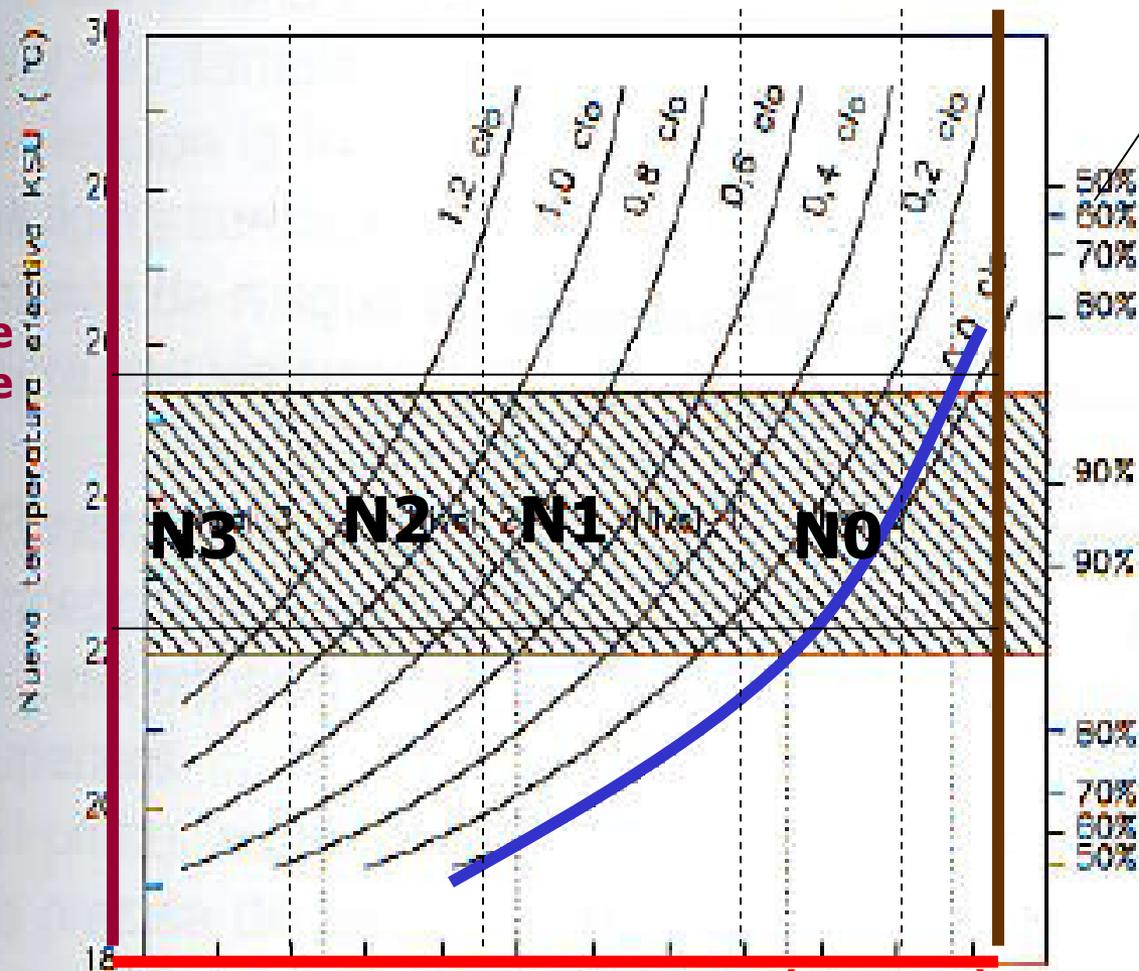
		moyenne	fourchette
Niveau 0	nu	0 clo	0...0.3clo
Niveau 1	Habits légers	0.5clo	0.3...0.7clo
Niveau 2	moyens	1.0clo	0.7...1.3clo
Niveau 3	lourds	1.5clo	+de 1.3clo

Personnes en conditions de confort en fonction des vêtements

Étude de cas % d'individus en situation de confort en fonction des Vêtements qu'ils portent

En fonction des clo et de la température sèche on détermine le nombre de personnes en situation de confort

Température ressentie



Porcentaje de individuos en situación de bienestar

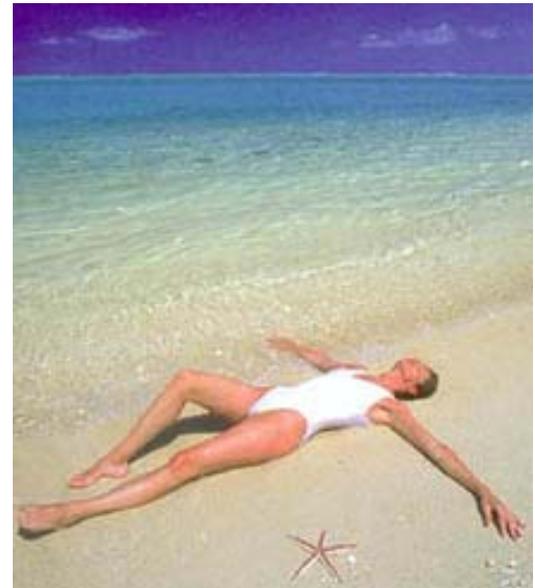
HR/60 ...80%
 VITESSE AIR 0 ... 0.1m/s (calme)
 Activité 0.8...1.2 met

Température sèche °C

HUMEDAD RELATIVA: 60...80%
 VELOCIDAD DEL AIRE: 0...0,1 m/s
 ACTIVIDAD: 0,8...1,2 met

Personnes en conditions de confort en fonction de la « prévisibilité subjective »

- Si on sait .. Si on le fait de notre volonté...
acceptation = moins d'inconfort



Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

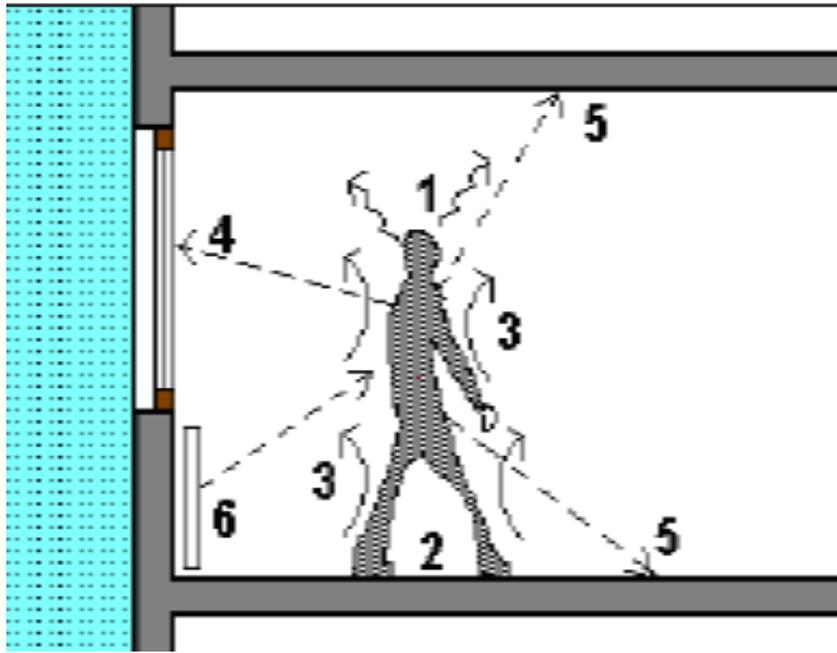
Au delà des conditions de conception hygrothermiques il faut prendre en considération des aspects relatifs à l'espace intérieur et au mode d'occupation:

1. Délais d'occupation de l'espace

Notre corps a besoins de \pm **3 heures pour** adapter son organisme à des conditions « différentes »

Alors quelle température à l'intérieur d'endroits où on reste peu de temps? d'un magasin, d'une banque?

Rappel des échanges avec l'ambiance



- 1- évaporation
- 2- conduction avec le sol
- 3- convection avec l'air
- 4- rayonnement avec l'enveloppe
- 5- rayonnement avec les parois internes
- 6- rayonnement avec les corps de chauffe

les différents échanges du corps avec l'ambiance intérieure

les échanges avec l'ambiance environnante

- la **conduction** au niveau des parties du corps en contact avec une paroi est généralement faible, mais la **sensation thermique au toucher** en dépend
- l'**évaporation** cutanée, la **perspiration** et la **respiration** permet d'évacuer de la chaleur latente
- suivant la température de l'air ambiant et sa vitesse relative par rapport au corps les **échanges par convection** se font au niveau de la peau ou du vêtement
- suivant la température des parois et leur géométrie relative depuis le corps les **échanges par rayonnements IRGLO** se font au niveau de la peau ou du vêtement

Rappel des échanges avec l'ambiance

les échanges avec l'ambiance environnante

l'évaporation due à la **perspiration** et à la **respiration** est permanente mais l'énergie latente correspondante est assez faible pour des activités physiques modérées :

- par exemple, un individu moyen dans un air à 20°C et 50% d'humidité relative, évapore au repos environ **50 g/h d'eau**, soit environ **35W de flux** sous forme de chaleur latente
- **l'activité physique augmente l'évaporation** : **300 g/h d'eau** pour une activité très soutenue, soit environ **210 W**

il faut environ 0,7Wh pour évaporer 1g d'eau à 20°C

Rappel des échanges avec l'ambiance

Les échanges avec l'ambiance environnante

la convection

Sd surface développée du corps pour un individu moyen elle est égale à environ **1,8 m²**

Tair température de l'air ambiant en °C

hconv coefficient d'échange par convection au niveau du corps, dépend de la **vitesse relative de l'air** à la surface du corps
de la **température de l'air**

pour une vitesse relative faible (environ 0,25 m/s)

pour une température de l'ordre de 20°C

il est d'environ **4 W/m²K**

T température de la peau ou de la surface du vêtement
soit

$$\varphi_{\text{conv}} = S_d \cdot h_{\text{conv}} \cdot (T - T_{\text{air}})$$

$$\varphi_{\text{conv}} \cong 7,2 \times (T - T_{\text{air}})$$

E

Rappel des échanges avec l'ambiance

les échanges avec l'ambiance environnante

le rayonnement

S_a / surface apparente du corps pour un individu moyen elle est égale à environ **1,3 m²**

T_{parois} température moyenne des parois en °C

h_{ray} coefficient d'échange par rayonnement au niveau du corps, pour des températures de parois proche de **20°C**

pour une température de peau de l'ordre de **30°C**

il est d'environ **5,4 W/m²K**

T température de la peau ou de la surface du vêtement
soit

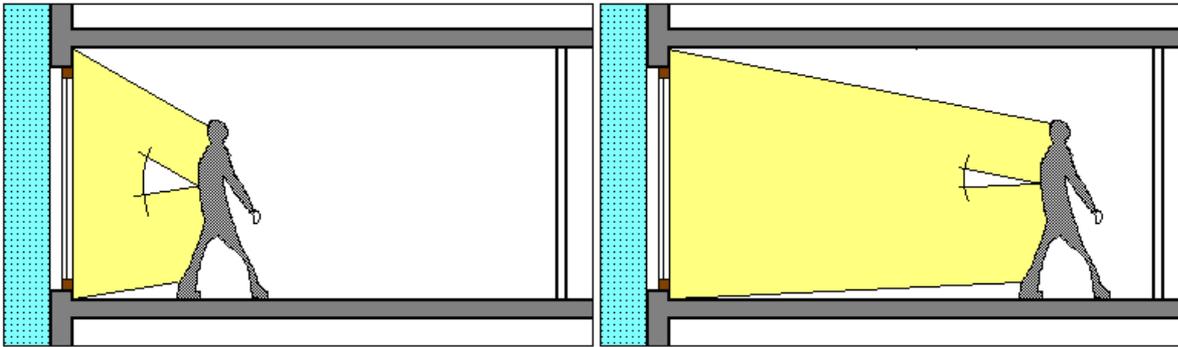
$$\varphi_{\text{ray}} = S_a \cdot h_{\text{ray}} \cdot (T - T_{\text{parois}})$$

$$\varphi_{\text{ray}} \cong 7 \cdot (T - T_{\text{parois}})$$

Rappel des échanges avec l'ambiance

les échanges avec l'ambiance environnante

le rayonnement



suivant la position de l'individu dans la pièce l'enveloppe extérieure a une incidence plus ou moins grande dans l'ensemble de ses échanges par rayonnement

attention

- La température moyenne des parois peut être évaluée en faisant la moyenne des températures des surfaces pondérées par leurs aires
- En réalité elle dépend de la **position relative de l'individu par rapport aux parois**

Rappel des échanges avec l'ambiance

les échanges avec l'ambiance environnante

- les échanges avec l'ambiance environnante température opérative et confort

Exemple : pour

- T de l'ordre de **30°C** (ce qui correspond à une tenue vestimentaire très légère)
- Ti de l'ordre de **20°C**
- Φ échangé = 142 + 35 = 177 W

**pour une activité légère le métabolisme est d'environ 125 W
soit comme 125 W < 177 W le corps se refroidit**

Donc il faut :

- soit se vêtir : T diminue pour réduire l'échange ► **comportement**
- soit augmenter l'activité pour accroître le métabolisme ► **programme**
- soit augmenter Ti pour réduire l'échange ► **chauffage**

Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

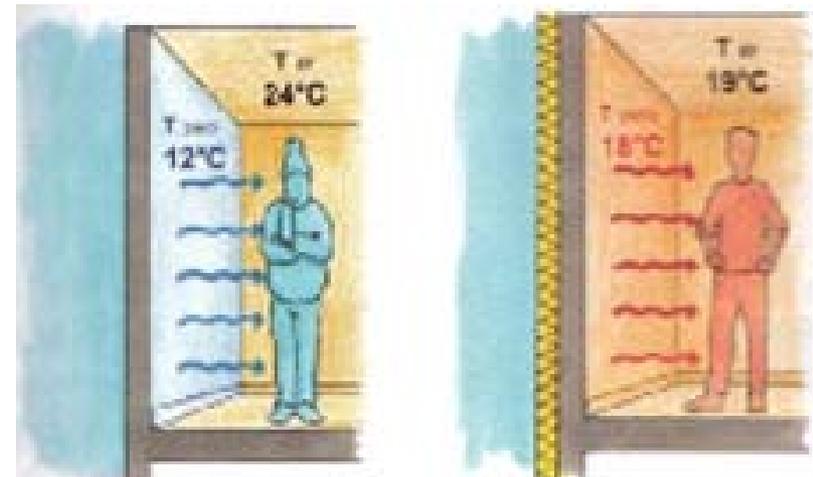
2. Asymétrie thermique

Si bien la température moyenne radiante peut constituer un outil de conception bioclimatique il nous manque de résoudre la distribution **inégal** de la température

Effet de parois froide

Échanges thermiques par rayonnement entre un corps chaud et les parois avoisinantes plus froides

- Simple vitrage
- Soir d'été avec ciel dégagée



Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

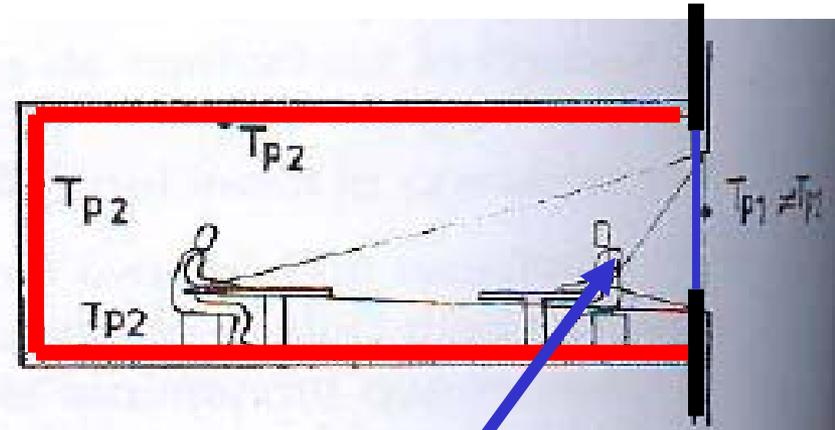
2. Asymétrie thermique

Effet de parois froides

Échanges thermiques par rayonnement entre un corps chaud et les parois avoisinantes plus froides

Si la différence s'élève au dessus des 10°C il y aura au moins 10% d'insatisfaits

Si par contre le mur est trop chaud à cause d'une forte radiation solaire ou trop proche à une source de chaleur on peut supporter bien des différences jusqu'à 35°C avec le même 10% d'insatisfaits



dissymétrie des échanges du corps par rayonnement

2. Asymétrie thermique Effet de parois froides

- Une personne dans une pièce est en échange avec :

➤ La T°C de l'air

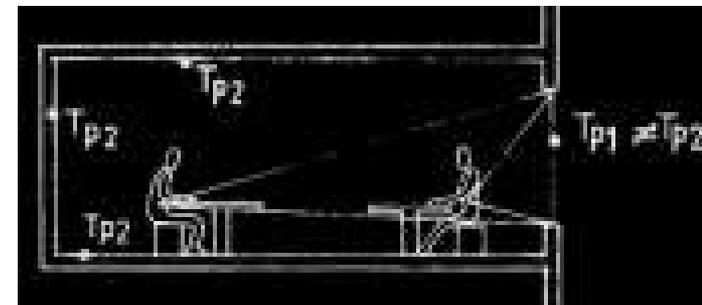
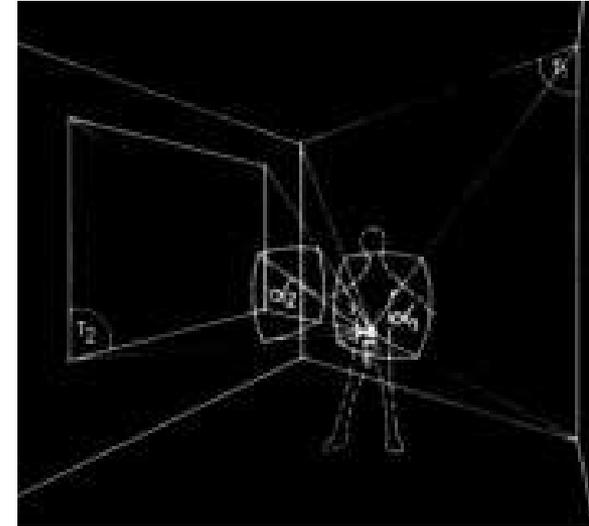
➤ Des échanges avec les parois. Qui dépendent :

- • T°C des parois
- • De l'angle solide que l'on fait avec chacune d'elle
- **Le principe d'un angle solide:**

Selon la situation de la personne dans une pièce, et si les parois présentent des températures différentes, les personnes ne seront pas dans une situation identique de confort.

- Température radiante = $\Sigma(\text{des } T^\circ\text{C de parois} \times \text{angle solide fait avec chacune d'elle}) / 4\pi$
- Quand les écarts entre les T°C de parois et d'air ne sont pas trop grands on peut établir une T°C résultante
- **T°C résultante = (T°C radiante + T°C air) / 2**

- Ref Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble



Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

Sols et plafonds: plus d'exigences!

2. Asymétrie thermique

Plafond à + 6°C que la
température radiante moyenne
= 10% d'insatisfaits

- Voir systèmes d'éclairage?
- Systèmes de chauffage?

Toit froid: asymétrie tolérée de -
16°C



derniers étages non
isolées

*REF BIBLIOG; ARQUITECTURA
BIOCLIMATIQA EN UN ENTORNO SOSTENIBLE Neila gonzales*

Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

2. Asymétrie thermique

Le sol + sensibles par contact donc l'écart
doit être compris par des valeurs
absolues

Températures entre 19 et 29°C

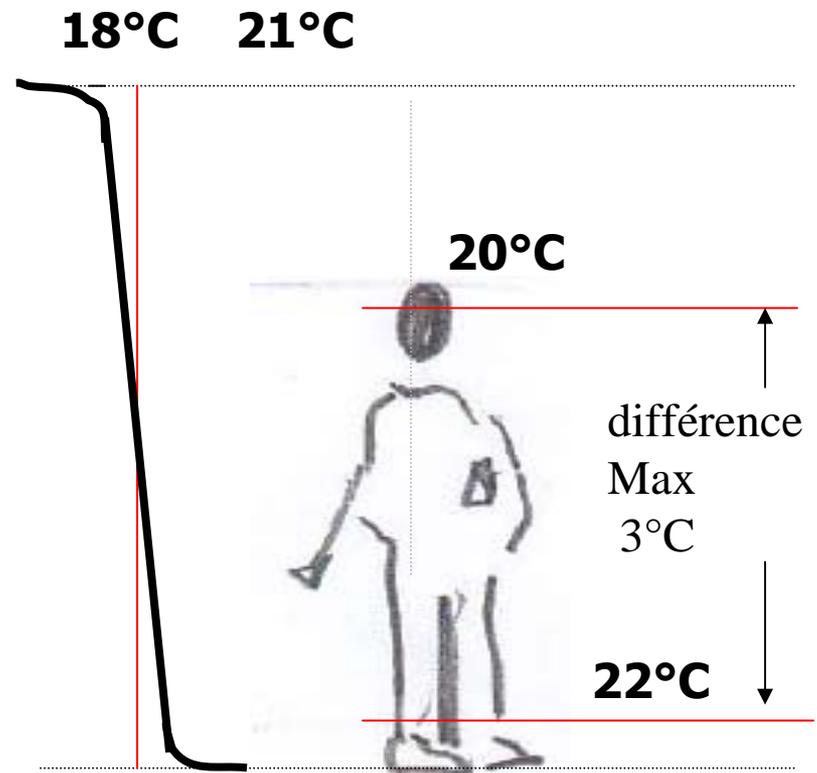
Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

2. Asymétrie thermique en relation avec la Température de l'air

Gradient
+ variation dans le temps

Il est important de limiter les
risques d'inconfort liés à des
différences de température trop
importantes dans un même local

il ne devrait pas y avoir une
différence de plus de 3 °C entre
les pieds et la tête



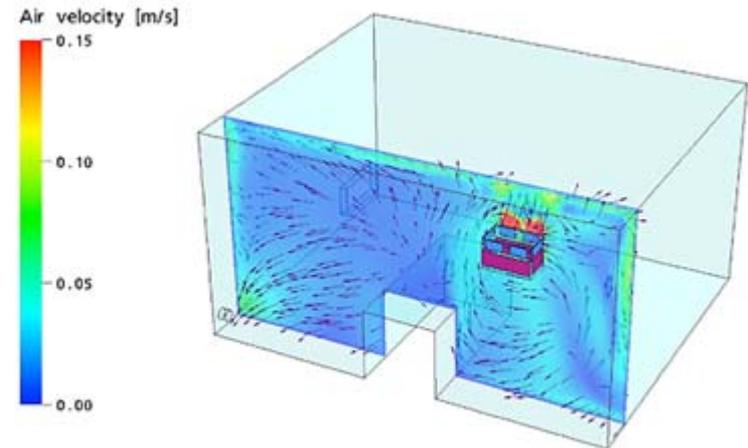
24°C température plus importante au sol

Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

- la proximité de parois trop froides ou trop chaudes mais aussi la présence de courants d'air peut également provoquer des désagréments

Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

- La vitesse de l'air au voisinage d'une personne ne doit idéalement pas dépasser 0,2 m/s en hiver et 0,8 m/s en été.



Conception des espaces intérieurs: influence sur le confort

2. Asymétrie thermique

variation dans le temps

Vitesse acceptable 0.5°C/h!

Indices d'évaluation du confort

- Les indices PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), Indice de vote moyen prévisible et pourcentage prévu de mécontents, ont été élaborés par Fanger pour évaluer les ambiances thermiques :
 - le PMV donne la sensation thermique moyenne des individus dans une ambiance thermique donnée telle qu'elle ressortirait d'une étude statistique,
 - le PPD est une relation entre le PMV et le pourcentage de personnes non satisfaites dans une ambiance thermique donnée.

Attention ! Même dans une bonne ambiance thermique, le nombre de personnes insatisfaites n'est pas nul et reste de l'ordre de 5 %.

Outils de conception des espaces intérieurs: diagrammes de confort

- Vu la complexité des paramètres qui interviennent dans le confort et la marge d'erreur du fait qu'on travaille avec des statistiques on utilise des **diagrammes de confort** qui nous permettent de visualiser de zones de bien être de plus ou moins grande amplitude
- **Diagramme de l'air humide**
- C'est un abaque qui permet d'évaluer graphiquement les grandeurs relatives à un air ambiant

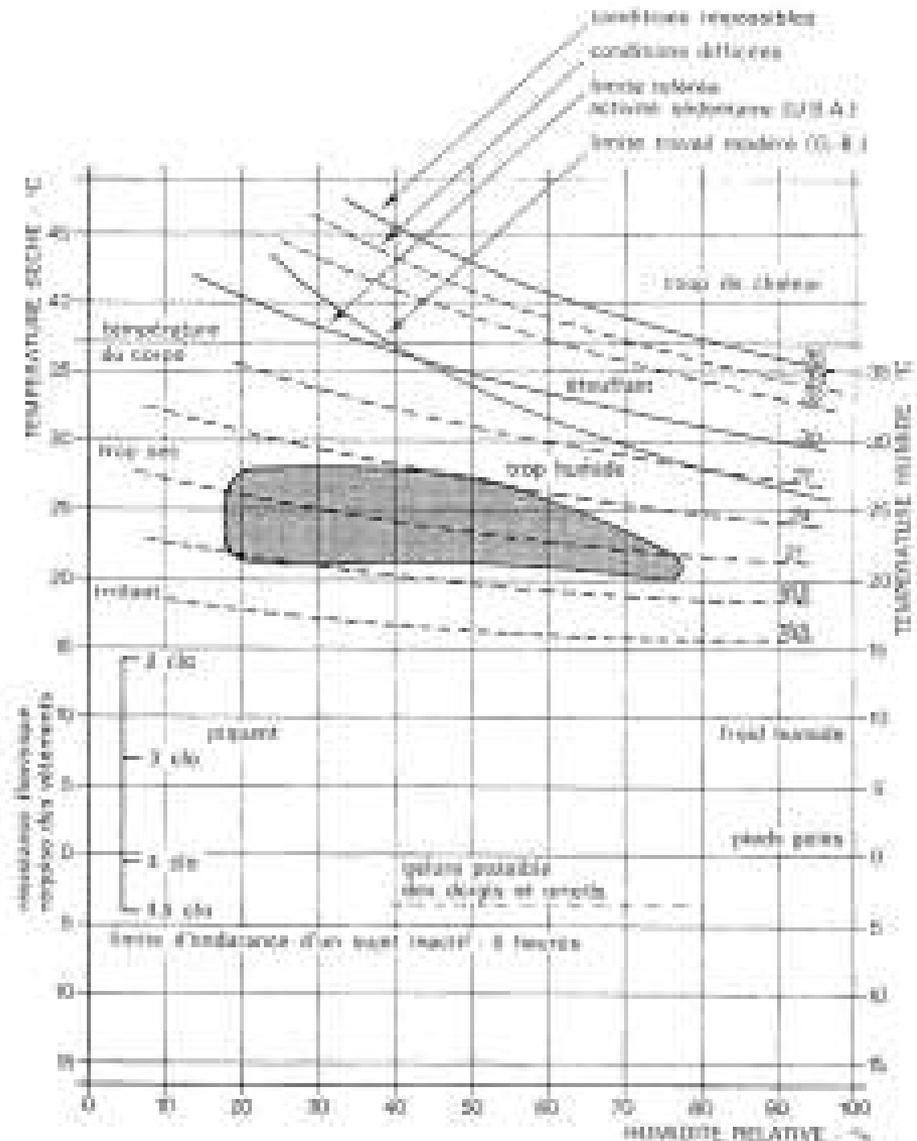
Conception des espaces intérieurs: diagrammes de confort

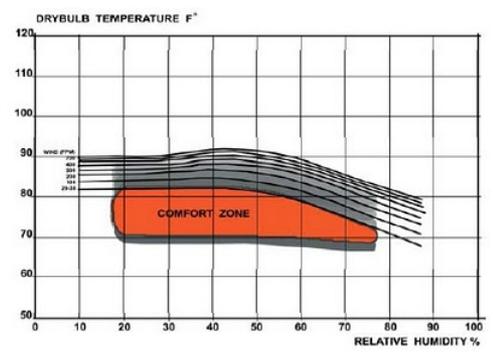
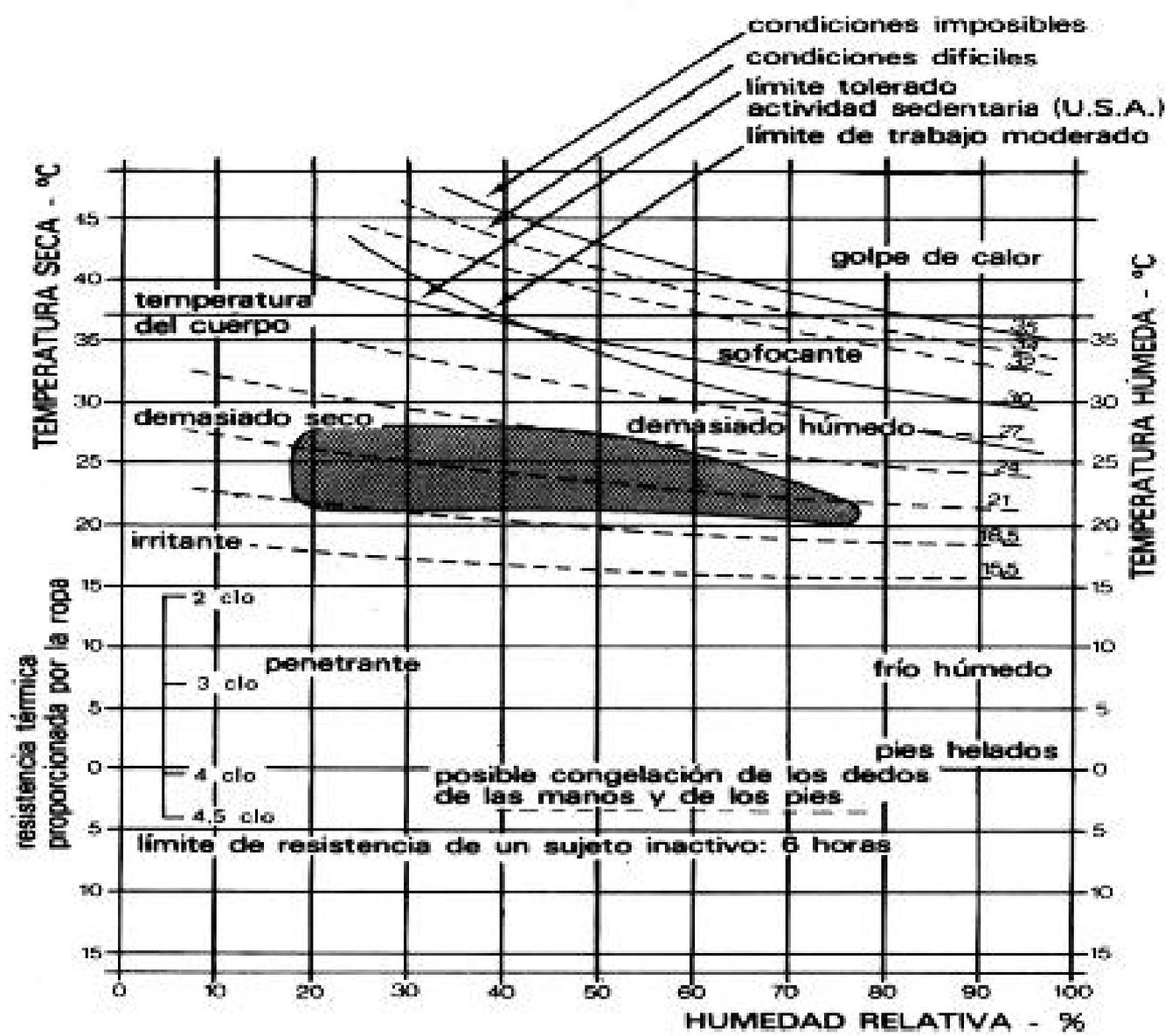
La méthode Olgay CONFORT THERMIQUE

Différents théories du confort thermique

Les frères Olgay ont été chronologiquement **les premiers** à approfondir la notion de confort thermique et à essayer d'établir des relations avec les ambiances intérieurs des bâtiments.

La méthode assume que le confort thermique ne peut être estimé à partir du seul paramètre qu'est **la température d'air**, mais fait au contraire intervenir plusieurs facteurs tels que **l'humidité** et **la vitesse d'air**.





Conception des espaces intérieurs: diagrammes de confort

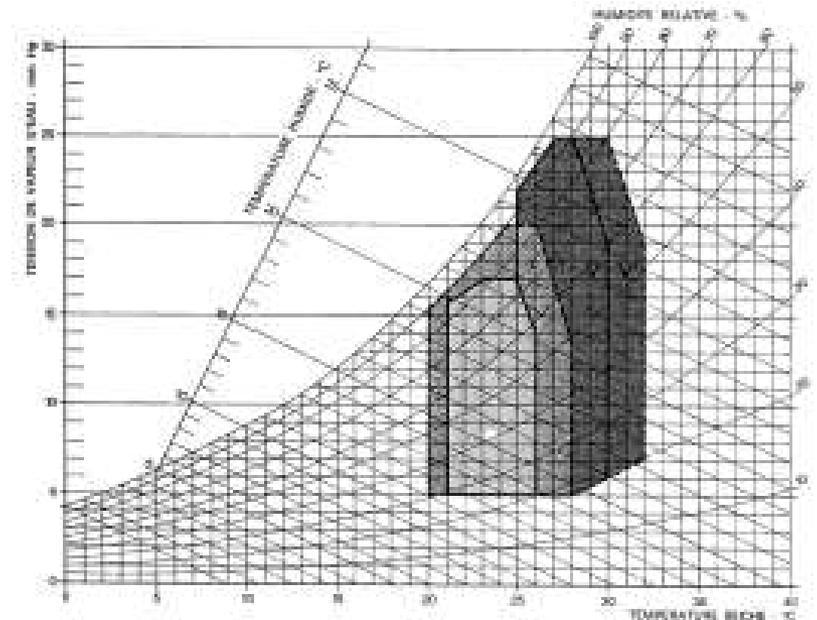
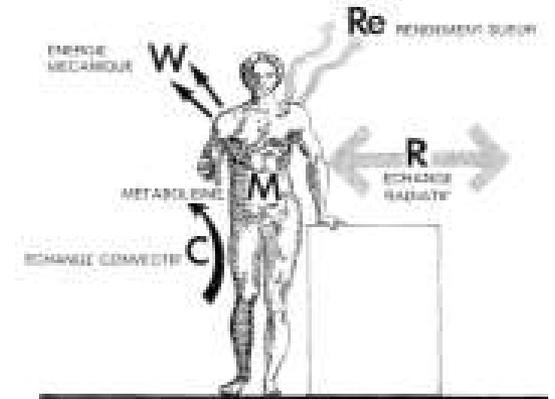
La méthode Givoni CONFORT THERMIQUE

Différents théories du confort thermique

B. Givoni, en se basant sur des études concernant le **métabolisme** et des diverses voies d'échanges thermiques entre le corps et l'environnement.

Il a inventé un diagramme représente les limites des ambiances confortables **en deux parties**:

- le confort proprement dit,
- entouré d'une zone de « **conditions supportables** ».



- I : QUANTITE DE CHALEUR CONTENUE DANS 1 kg D'AIR SEC EN KJ/Kg.
- H : QUANTITE D'EAU CONTENUE DANS 1 kg D'AIR SEC EN Kg/Kg
- E : HUMIDITE RELATIVE
- T : TEMPERATURE DU THERMOMETRE SEC EN °C

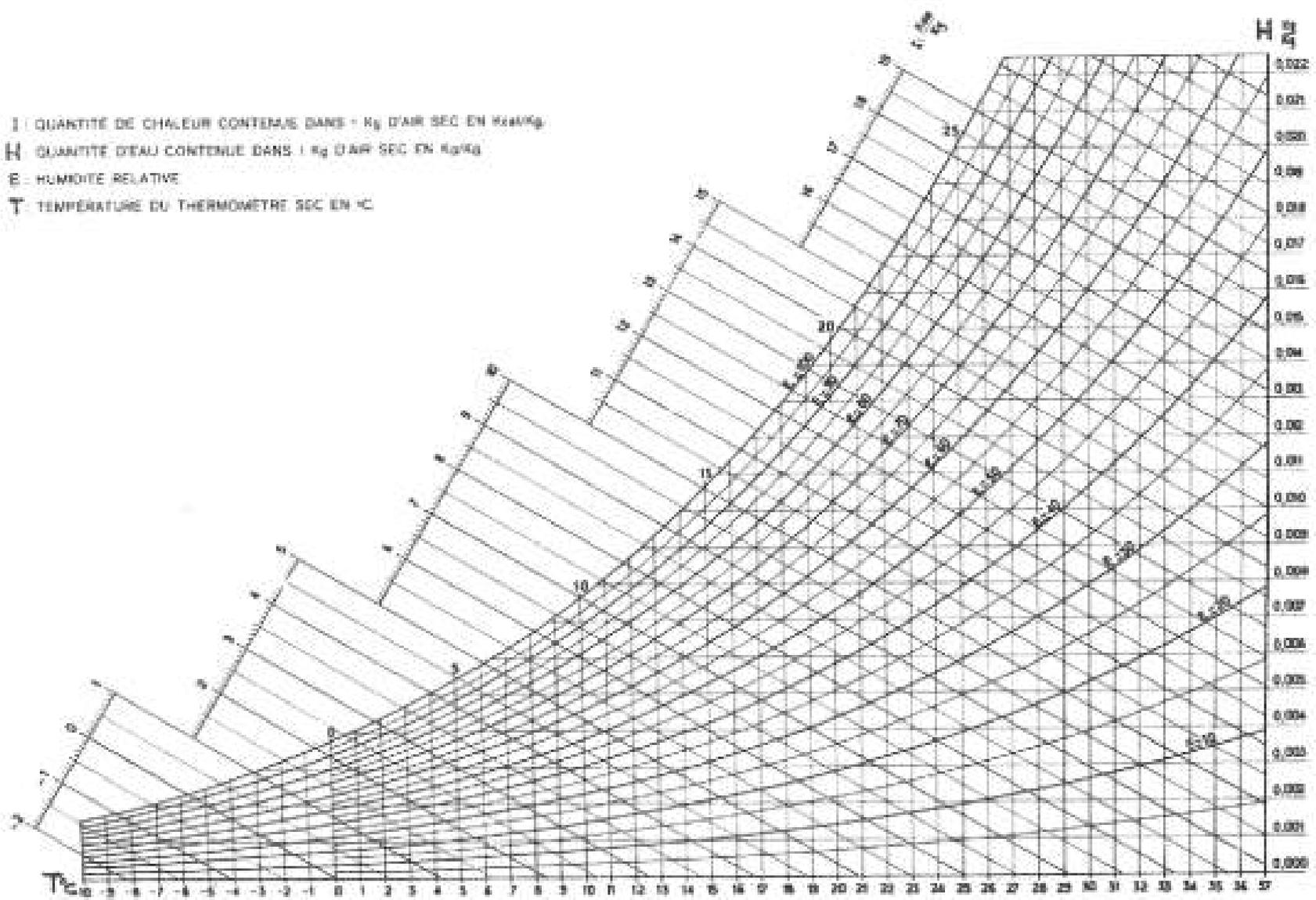
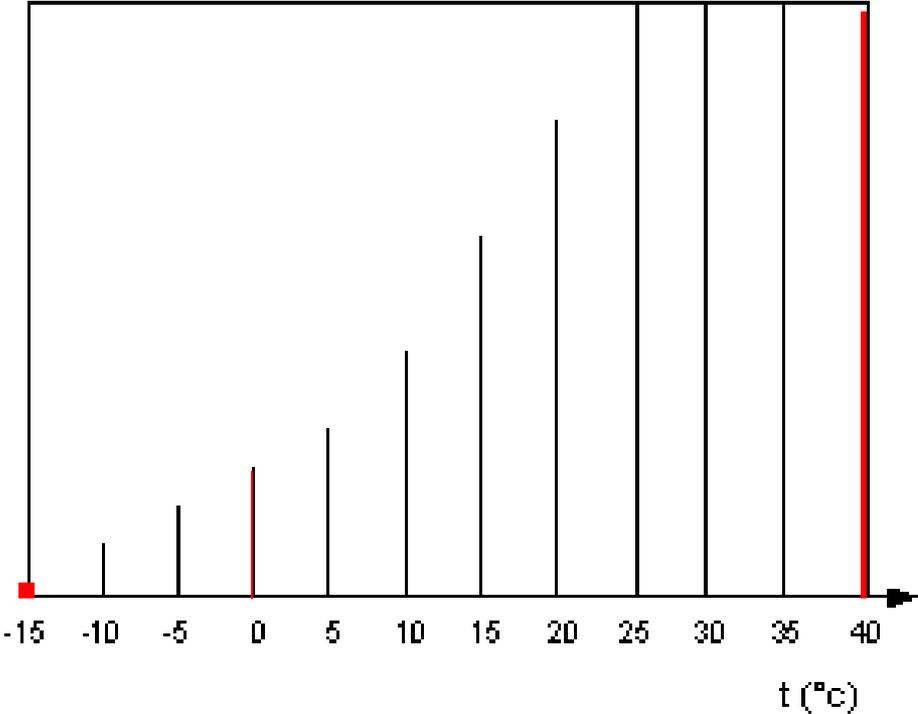
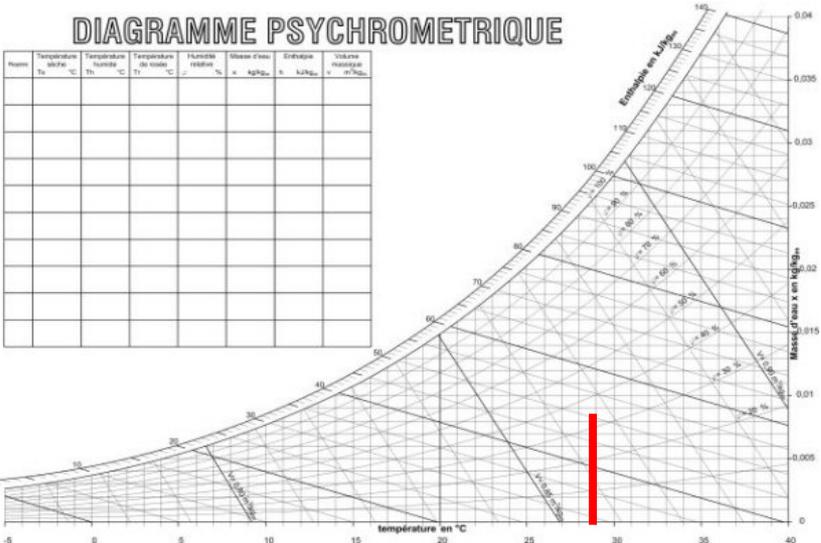


Diagramme de l'air humide

- la température en °C



**lignes à température constante
(sèche)**

Diagramme de l'air humide

- l'humidité relative (%)

100%HR

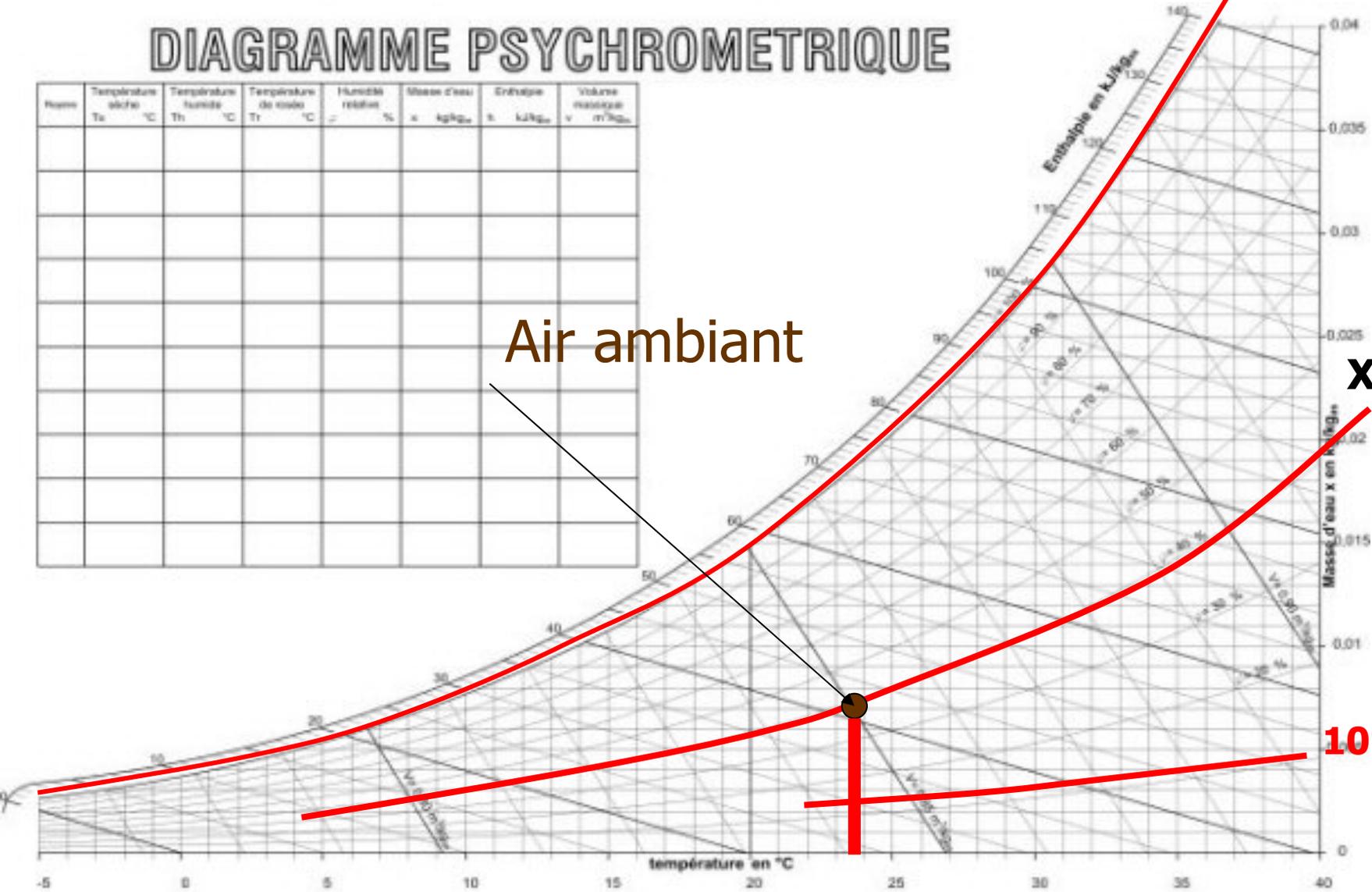
DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE

Param	Température sèche Ta °C	Température humide Th °C	Température de rosée Tr °C	Humidité relative %	Masses d'eau x kg/kg _a	Enthalpie h kJ/kg _a	Volume massique v m ³ /kg _a

Air ambient

X % HR

10%HR



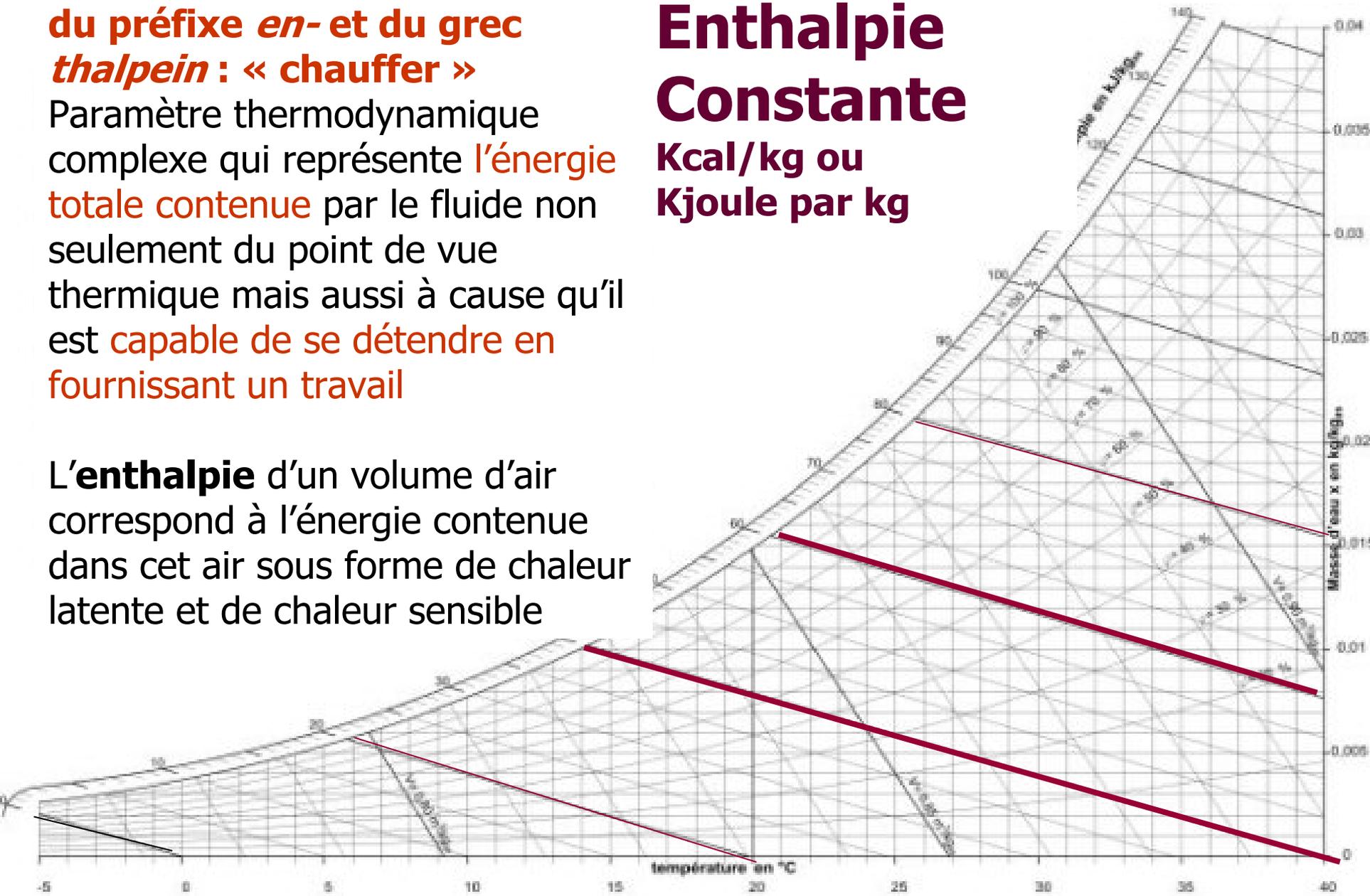
Étude des « caractéristiques du mélange de l'air et la vapeur d'eau... »

du préfixe *en-* et du grec *thalpein* : « chauffer »

Paramètre thermodynamique complexe qui représente l'énergie totale contenue par le fluide non seulement du point de vue thermique mais aussi à cause qu'il est capable de se détendre en fournissant un travail

L'enthalpie d'un volume d'air correspond à l'énergie contenue dans cet air sous forme de chaleur latente et de chaleur sensible

**Enthalpie
Constante**
Kcal/kg ou
Kjoule par kg



Étude des « caractéristiques du mélange de l'air et la vapeur d'eau... »

Masse de vapeur d'eau contenu par kilogramme d'air sec

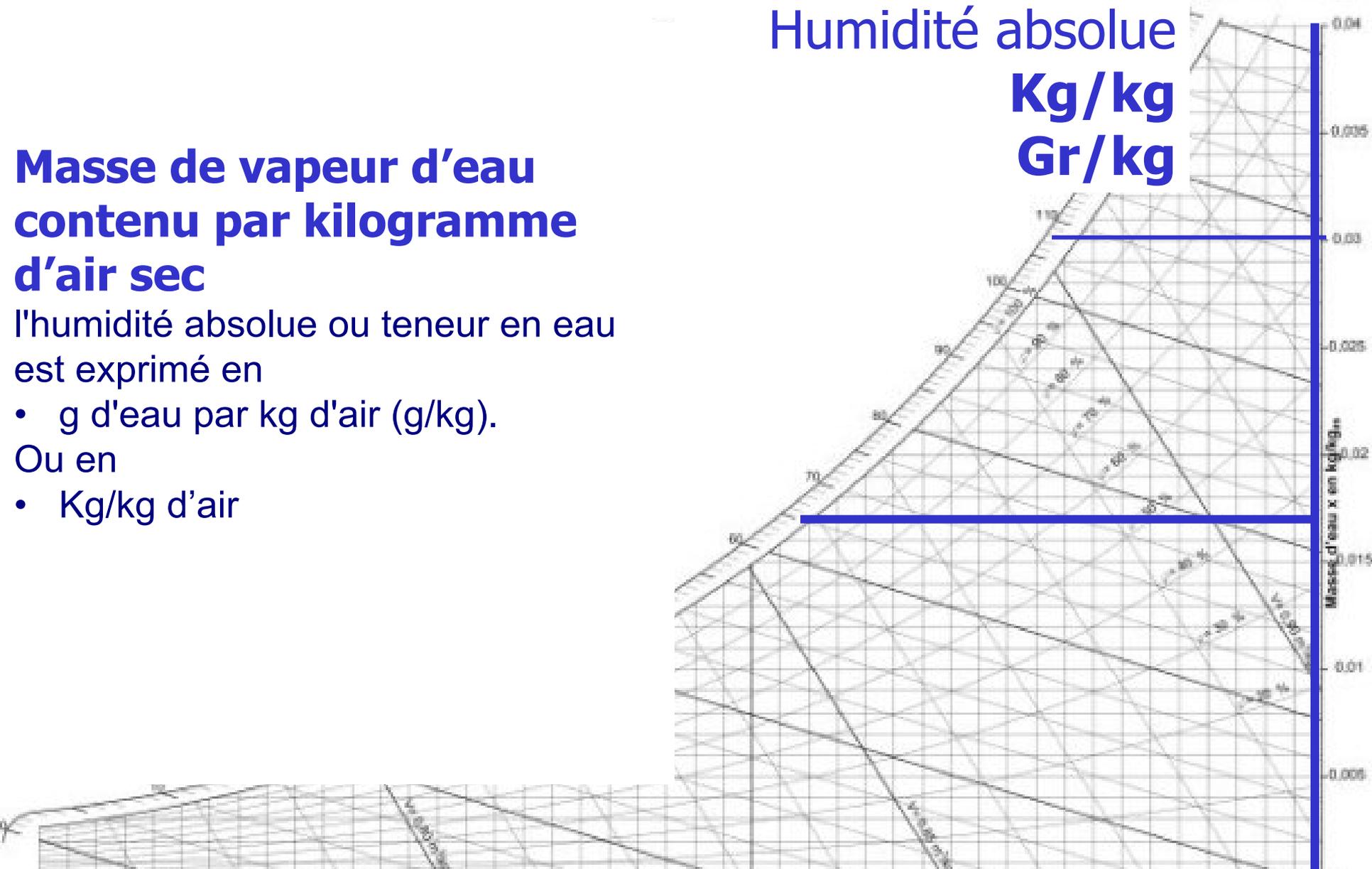
l'humidité absolue ou teneur en eau est exprimé en

- g d'eau par kg d'air (g/kg).

Ou en

- Kg/kg d'air

Humidité absolue
Kg/kg
Gr/kg

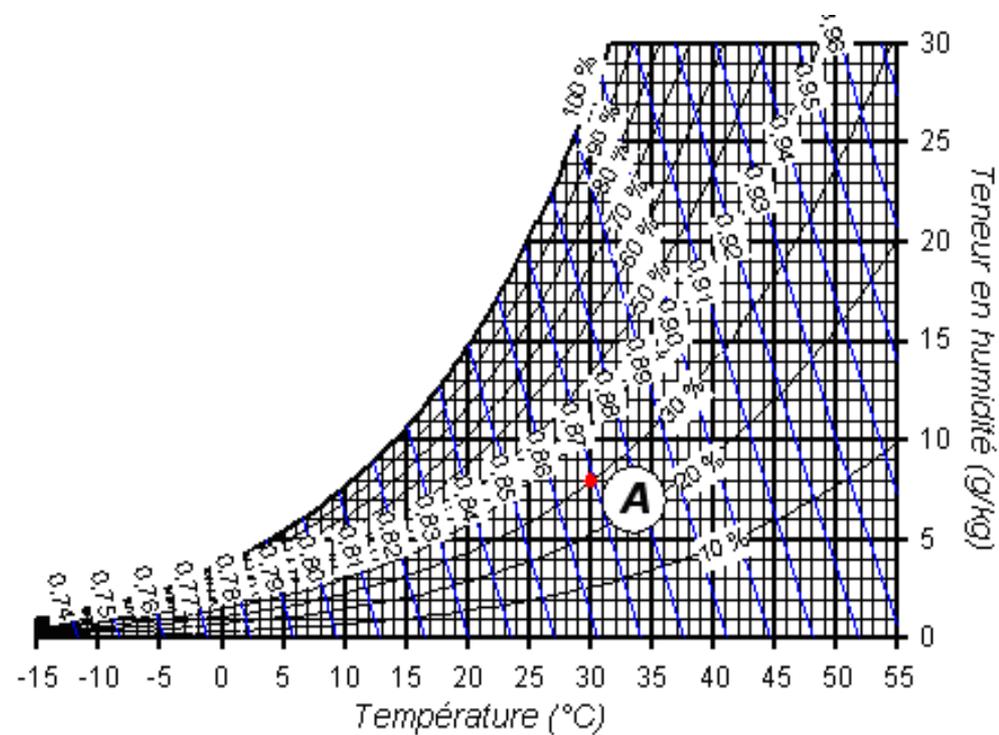


LE VOLUME SPECIFIQUE DE L'AIR

C'est le volume occupé par un kilogramme d'air sec accompagné des quelques grammes de vapeur qui lui sont mélangés. On le note v [m^3/kg].

Le volume spécifique de l'air augmente avec la température (car l'air se dilate en s'échauffant comme la plupart des fluides). Il augmente aussi avec la teneur en humidité (car la vapeur d'eau est moins dense que l'air sec).

Les lignes de volume spécifique sont des obliques très inclinées. Elles n'apparaissent pas sur tous les diagrammes car cette caractéristique n'est pas toujours utilisée.

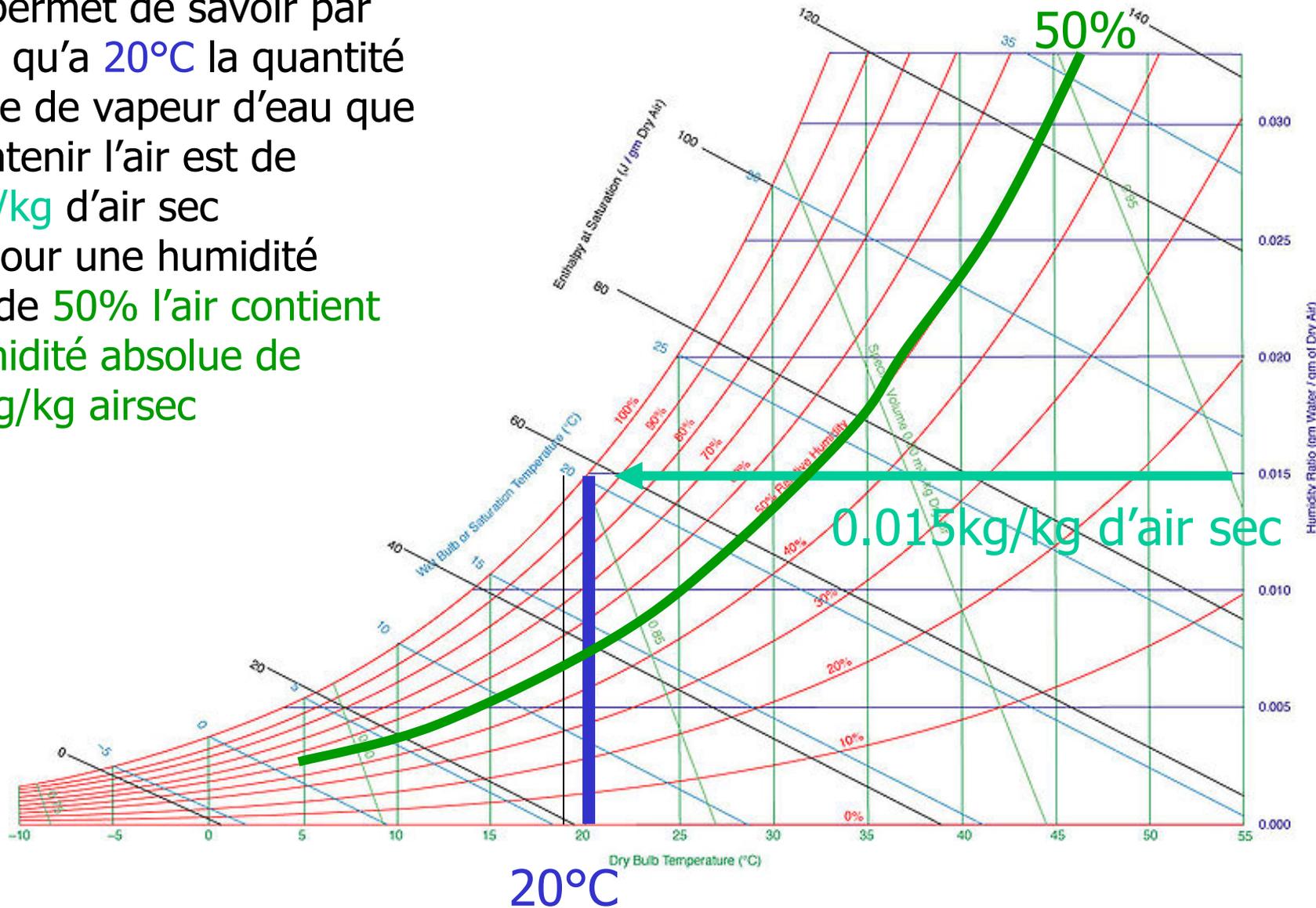


Exemple :

Pour de l'air dont la température est de 30 [°C] et l'hygrométrie de 30 [%], le volume spécifique est de l'ordre de 0,87 [m³ par kilogramme d'air sec] (point A).

Étude des « caractéristiques du mélange de l'air et la vapeur d'eau... »

Il nous permet de savoir par exemple qu'à 20°C la quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air est de 0.015kg/kg d'air sec
Et que pour une humidité relative de 50% l'air contient une humidité absolue de 0.0075kg/kg airsec



•Si un point est recouvert par différentes stratégies cela veut dire qu'on peut utiliser une ou plusieurs d'entre elles de façon simultanée

1 confort « bien être »

•21 °C/26°C

•75 %HR

2 admissible...

•20 °C /27 °C

•80 %HR

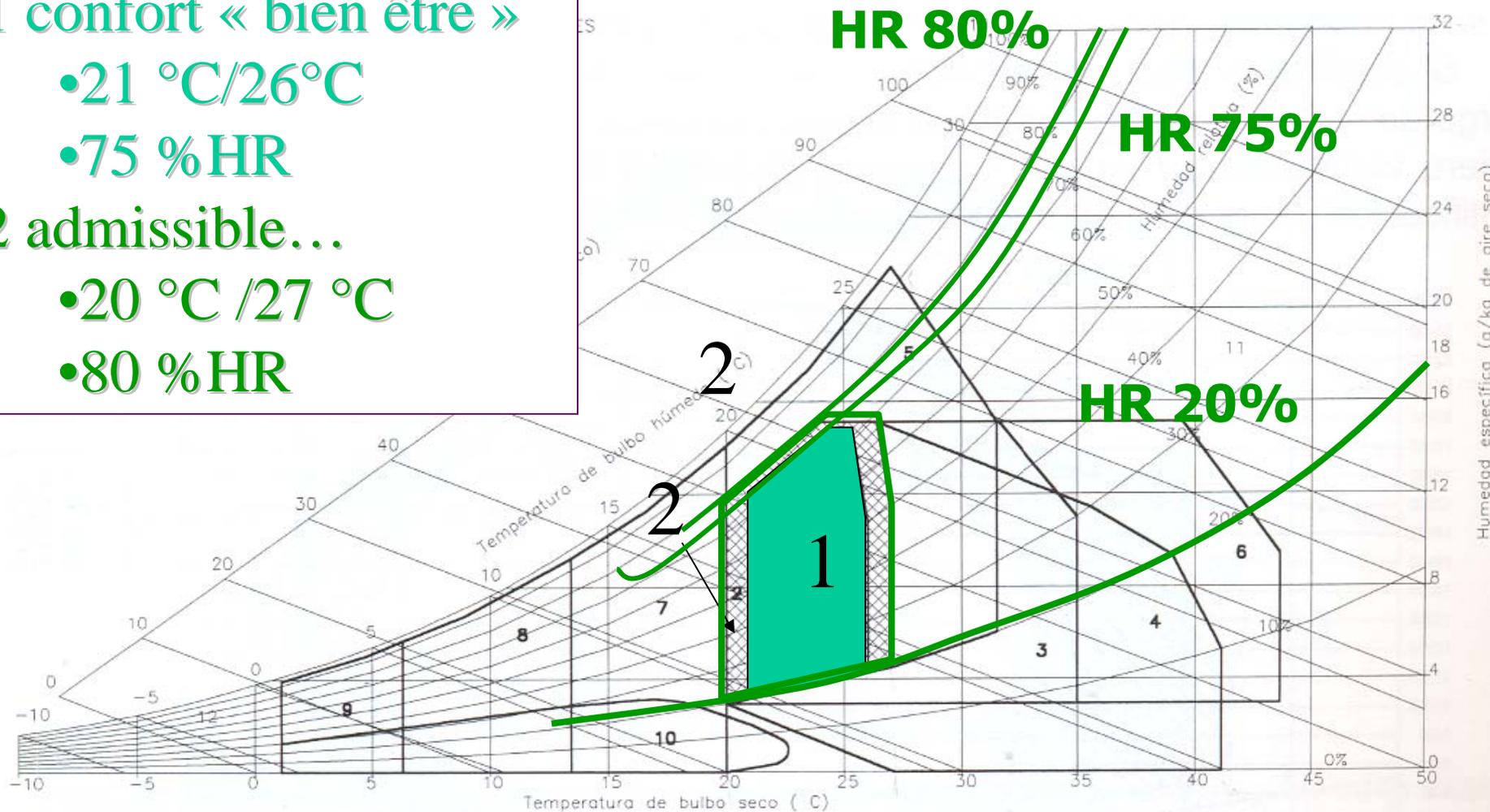


Fig.3.70. Climograma de bienestar de Givoni.

21 °C 26°C

20 °C 27 °C

Refroidissement par évaporation

Avec des **hautes températures**

L'évaporation de l'eau va diminuer les températures mais augmenter l'humidité de façon simultanée

- 6. Ventilación natural nocturna
- 7. Ganancias internas
- 8. Sistemas solares pasivos
- 9. Sistemas solares activos
- 10. Humidificación

ÁREAS QUE DEBEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON TÉCNICAS DE ACONDICIONAMIENTO CONVENCIONALES:

- 11. Refrigeración
- 12. Calefacción

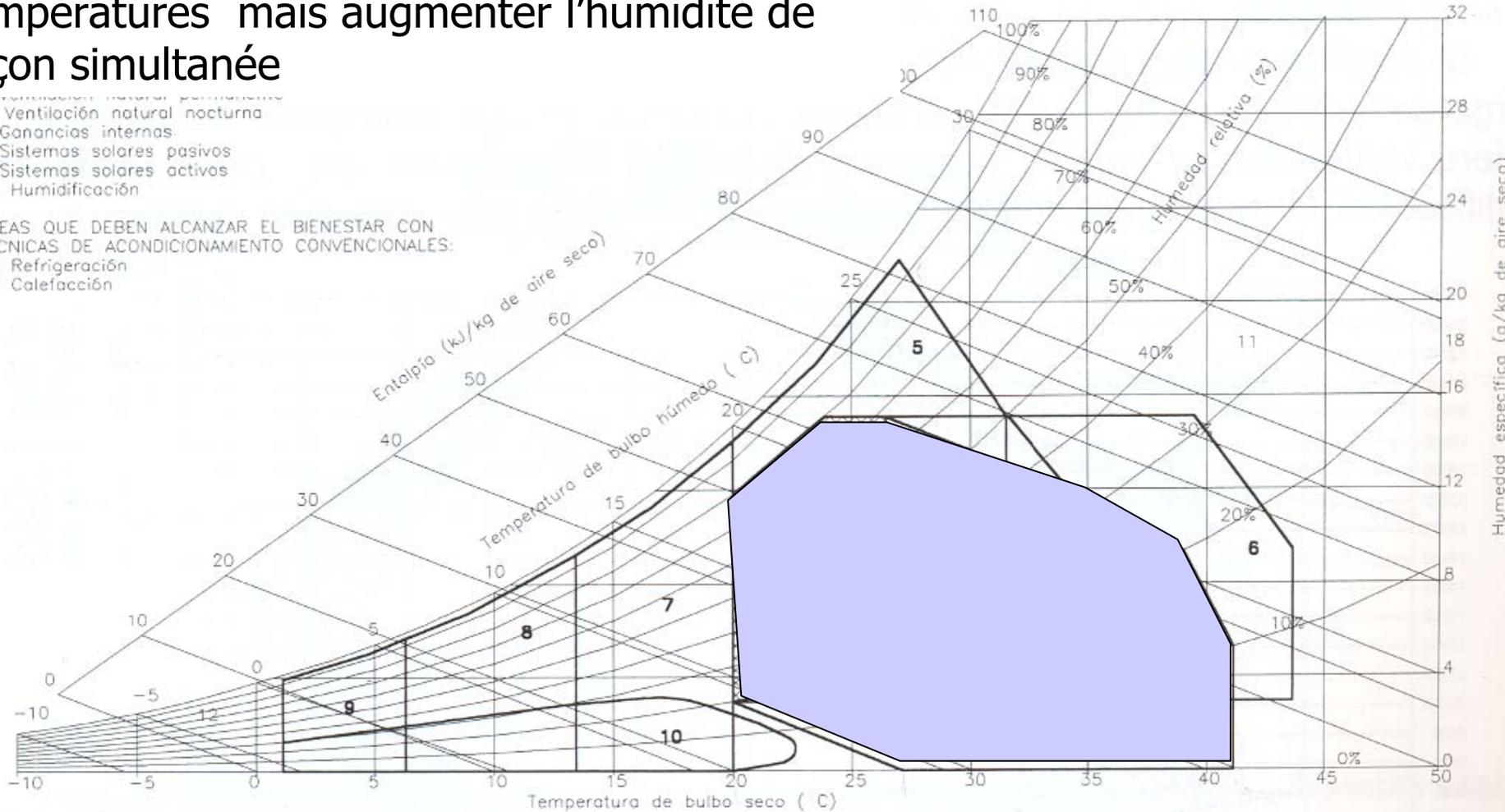
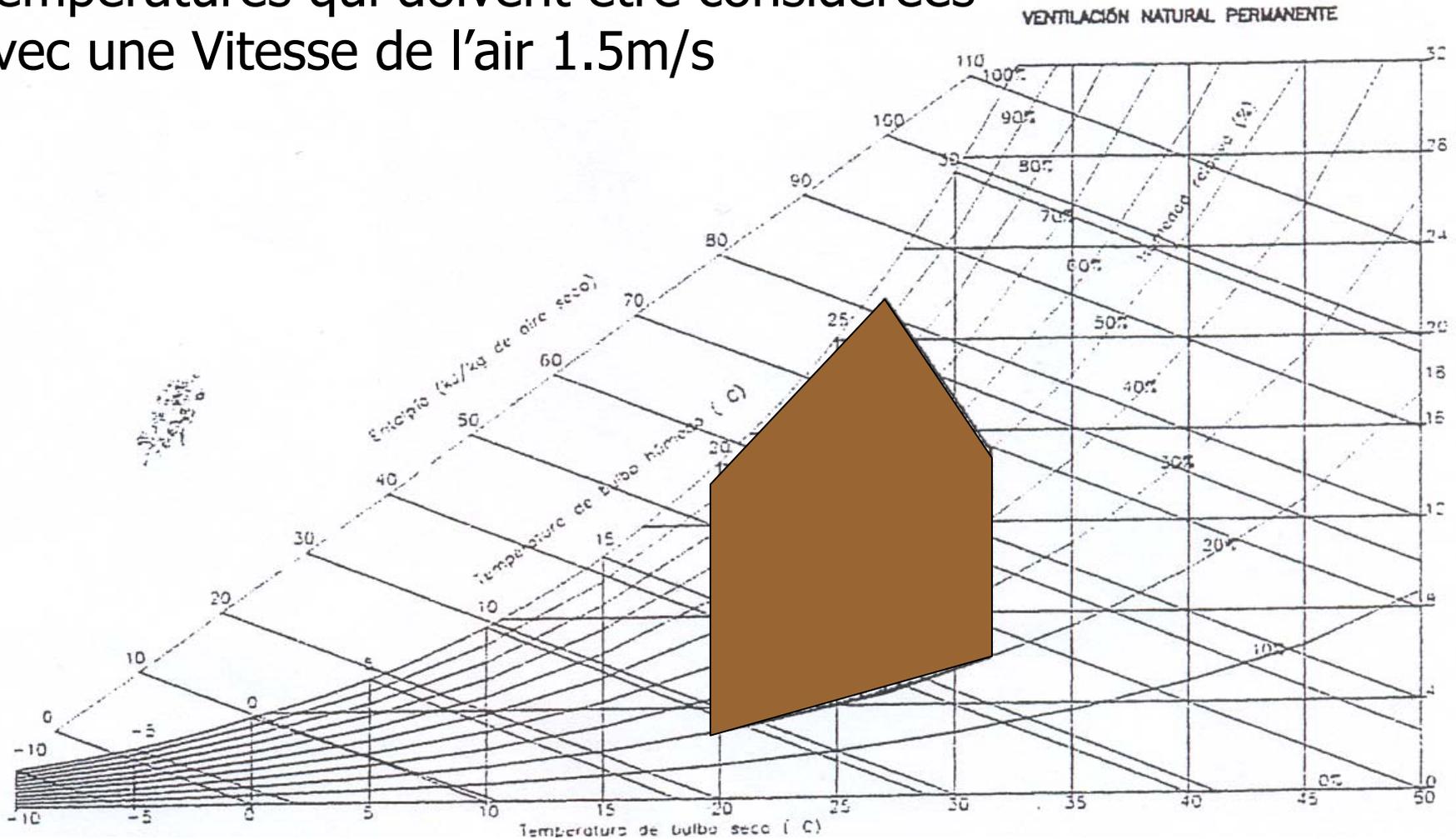


Fig.3.70. Climograma de bienestar de Givoni.

Ventilation naturelle permanente

climat chaud humide

Températures qui doivent être considérées
avec une Vitesse de l'air 1.5m/s



Ventilation naturelle nocturne

Ne prend pas compte des climats humides qui eux n'ont pas en gral de différences de **température jour nuit**

9 Sistemas solares activos
10 Humidificación

ÁREAS QUE DEBEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON
TÉCNICAS DE ACONDICIONAMIENTO CONVENCIONALES:

11 Refrigeración
12 Calefacción

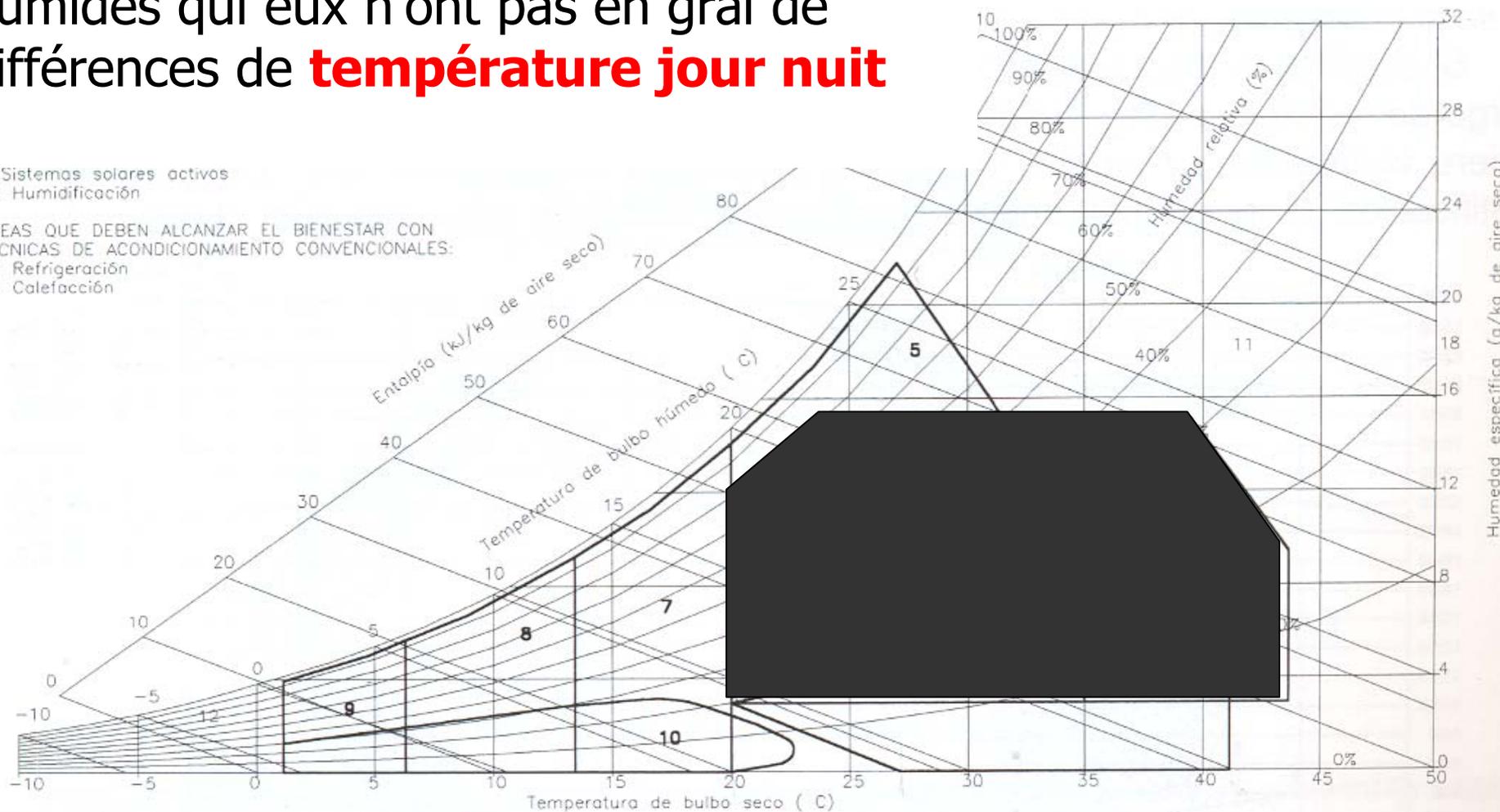


Fig.3.70. Climograma de bienestar de Givoni.

Gains par apports internes

Personnes + Éclairage + équipements etc.

- 1 Área de bienestar
- 2 Área de bienestar admisible

ÁREAS QUE PUEDEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON LAS SIGUIENTES

ACTUACIONES BIOCLIMÁTICAS:

- 3 Masa térmica
- 4 Enfriamiento evaporativo
- 5 Ventilación natural permanente
- 6 Ventilación natural nocturna
- 7 Ganancias internas
- 8 Sistemas solares pasivos
- 9 Sistemas solares activos
- 10 Humidificación

ÁREAS QUE DEBEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON

TÉCNICAS DE ACONDICIONAMIENTO CONVENCIONALES:

- 11 Refrigeración
- 12 Calefacción

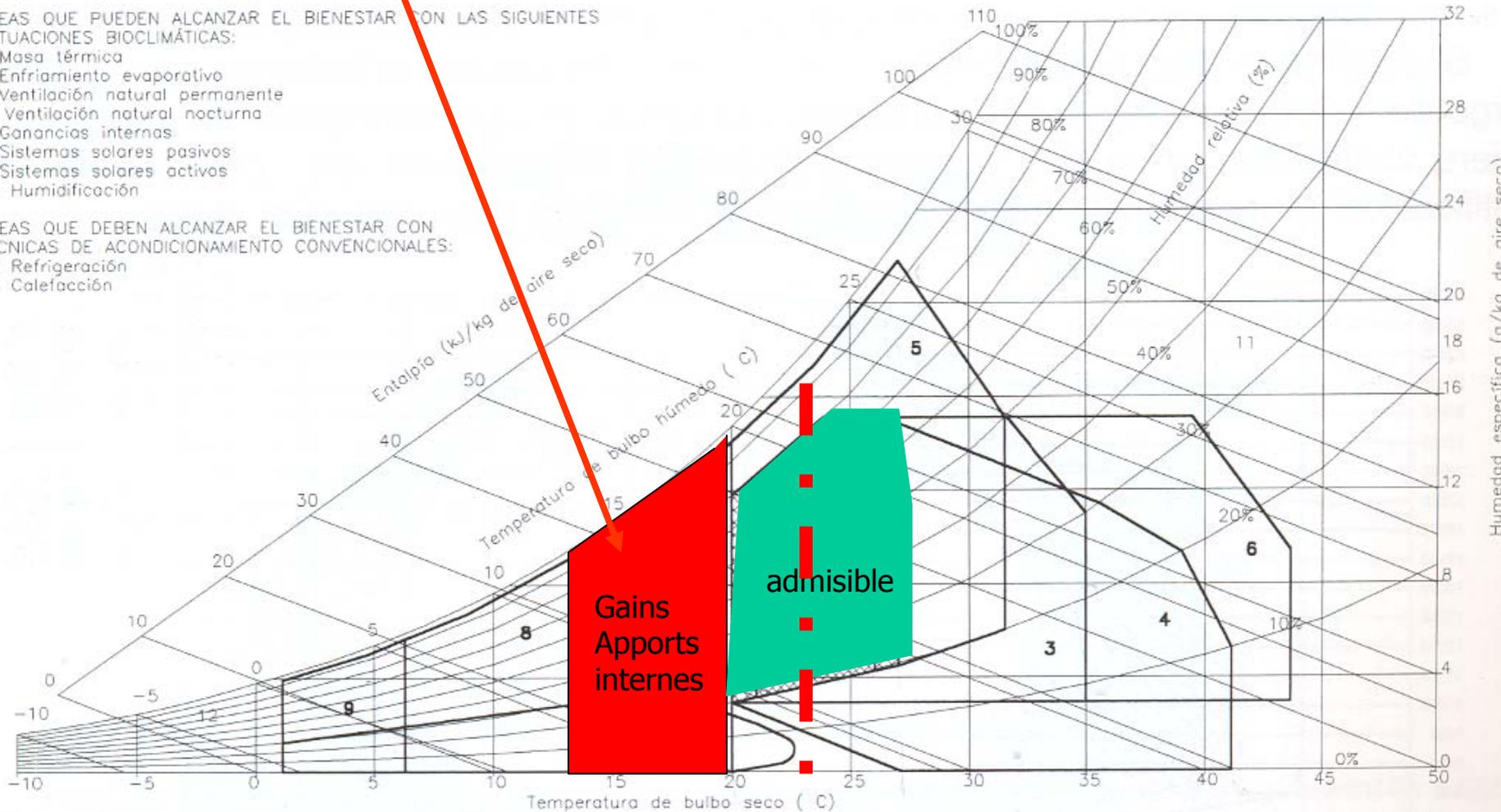
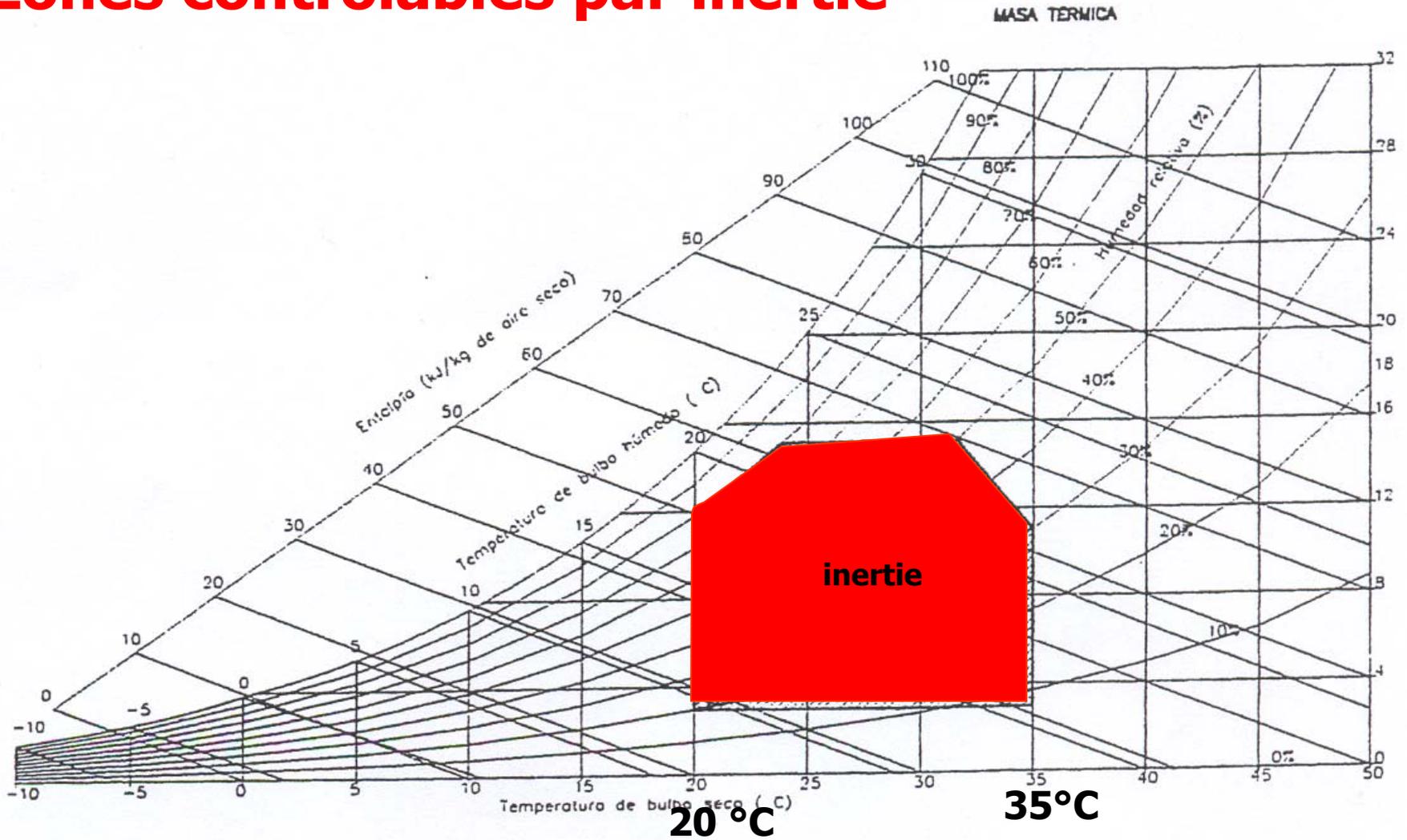


Fig. 2.70. Climas de bienestar de Givoni

Zones contrôlables par inertie



Inertie + solaires passif

- 1 Área de bienestar
- 2 Área de bienestar adaptable

ÁREAS QUE PUEDEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON LAS SIGUIENTES ACTUACIONES BIOCLIMÁTICAS:

- 3 Masa térmica
- 4 Enfriamiento evaporativo
- 5 Ventilación natural permanente
- 6 Ventilación natural nocturna
- 7 Ganancias internas
- 8 Sistemas solares pasivos
- 9 Sistemas solares activos
- 10 Humidificación

ÁREAS QUE DEBEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON TÉCNICAS DE ACONDICIONAMIENTO CONVENCIONALES:

- 11 Refrigeración
- 12 Calefacción

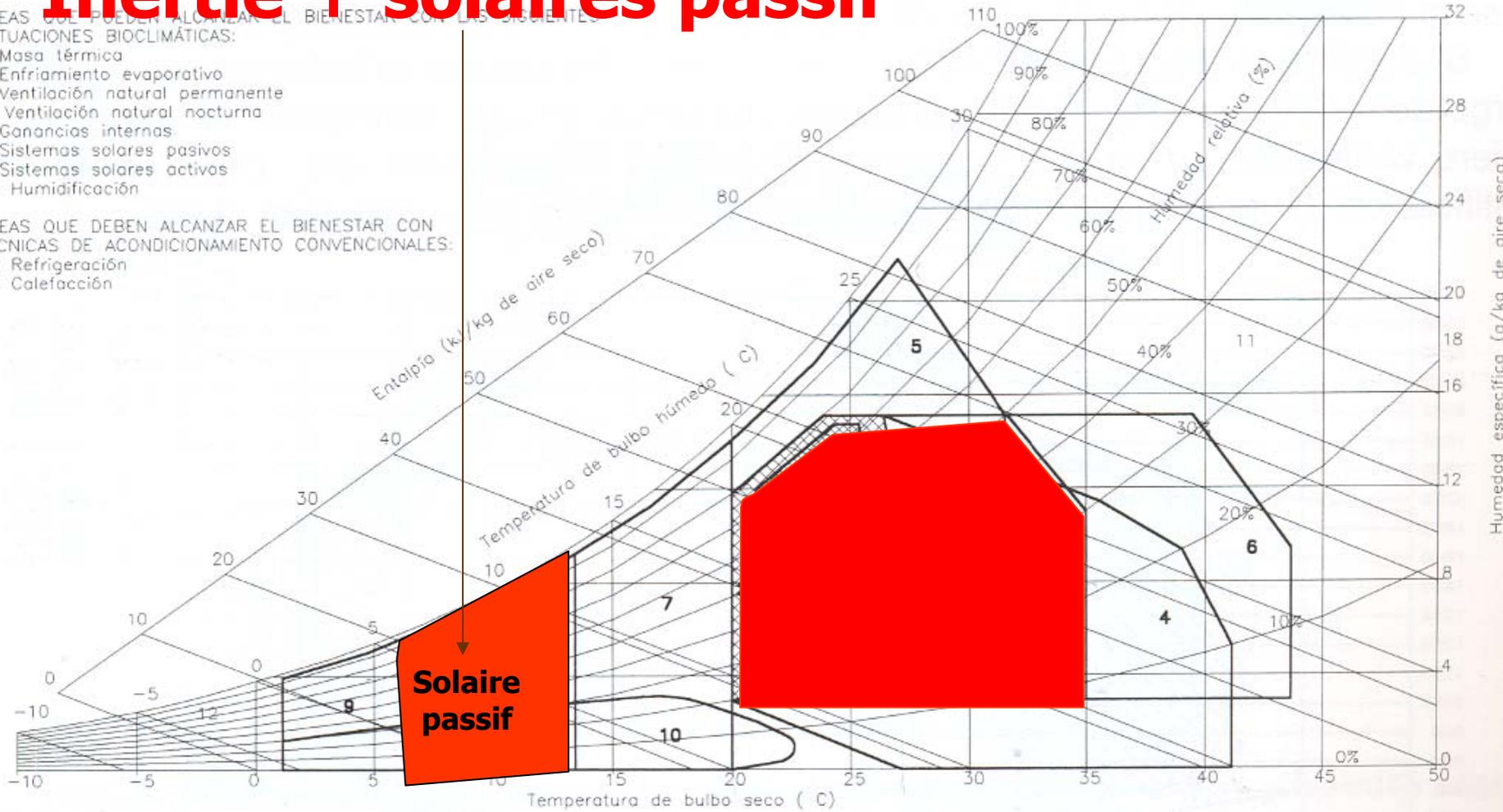


Fig.3.70. Climograma de bienestar de Givoni.

Très basse humidité :
**techniques
d'humidification**
*Même si on n'attend pas
le confort*

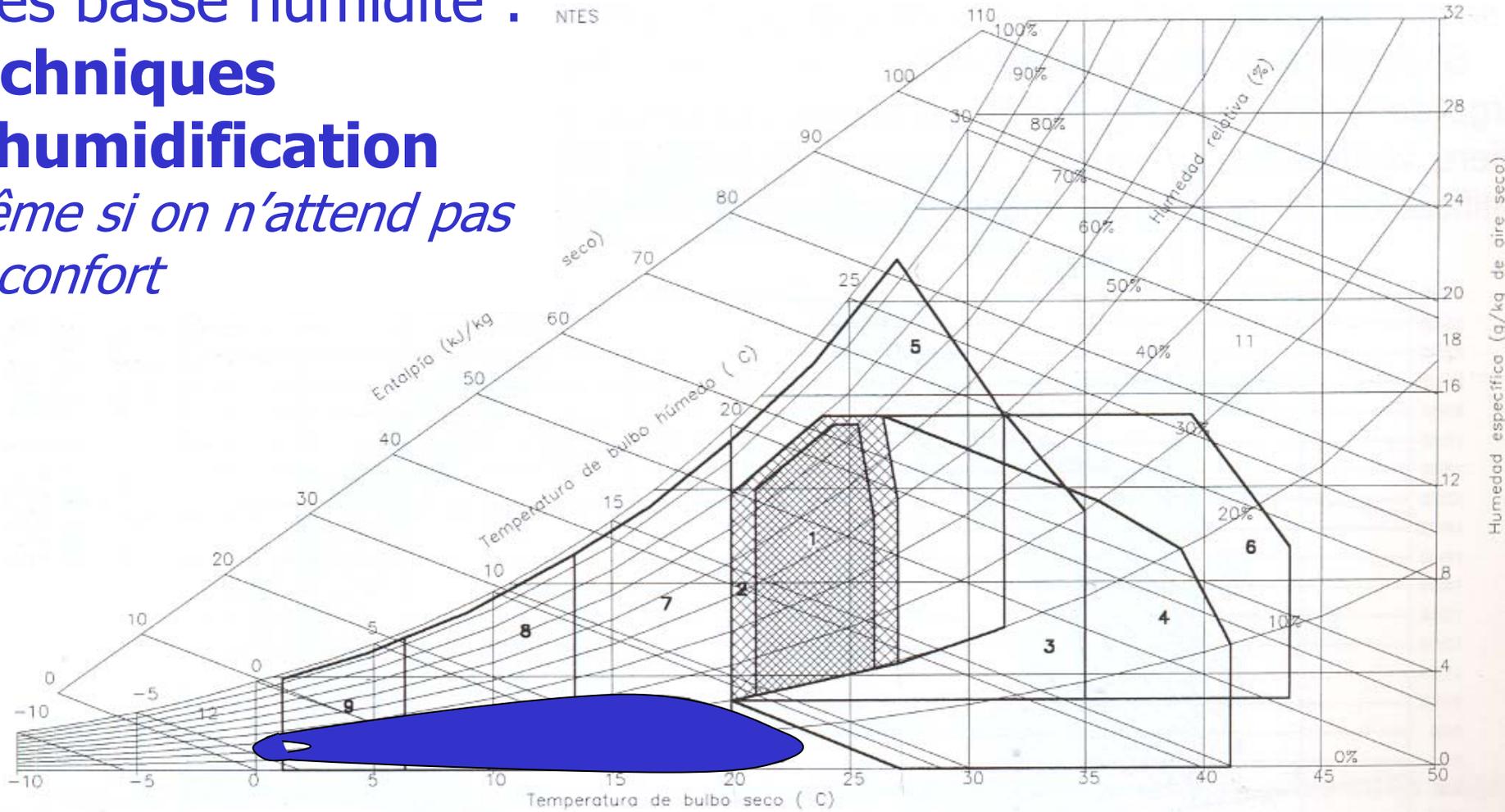


Fig.3.70. Climograma de bienestar de Givoni.

- 1 Área de bienestar
- 2 Área de bienestar admisible

ÁREAS QUE PUEDEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON LAS SIGUIENTES
ACTUACIONES BIOCLIMÁTICAS:

- 3 Masa térmica
- 4 Enfriamiento evaporativo
- 5 Ventilación natural permanente
- 6 Ventilación natural nocturna
- 7 Ganancias internas
- 8 Sistemas solares pasivos
- 9 Sistemas solares activos
- 10 Humidificación

ÁREAS QUE DEBEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON
TÉCNICAS DE ACONDICIONAMIENTO CONVENCIONALES:

- 11 Refrigeración
- 12 Calefacción

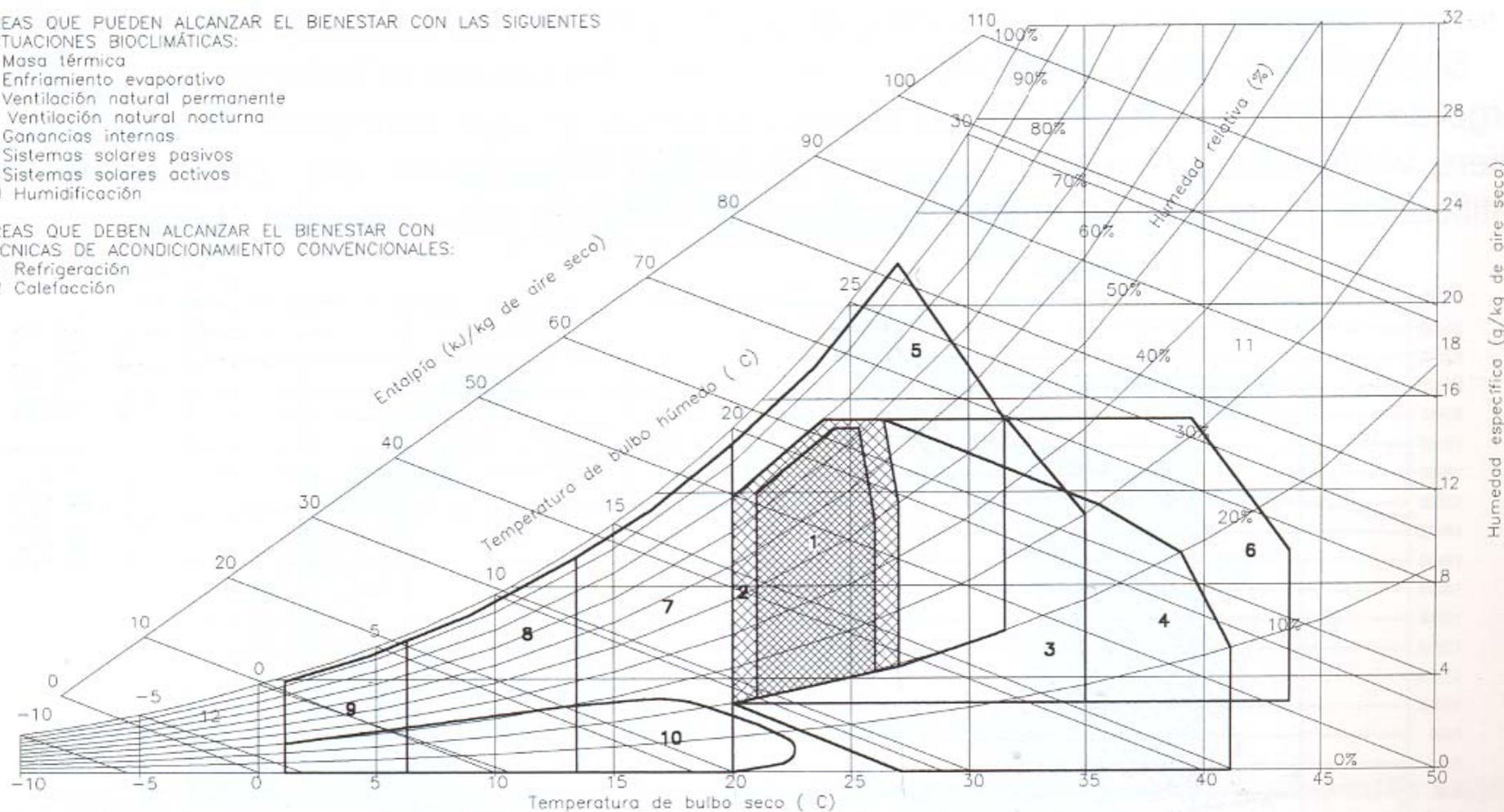


Fig.3.70. Climograma de bienestar de Givoni.

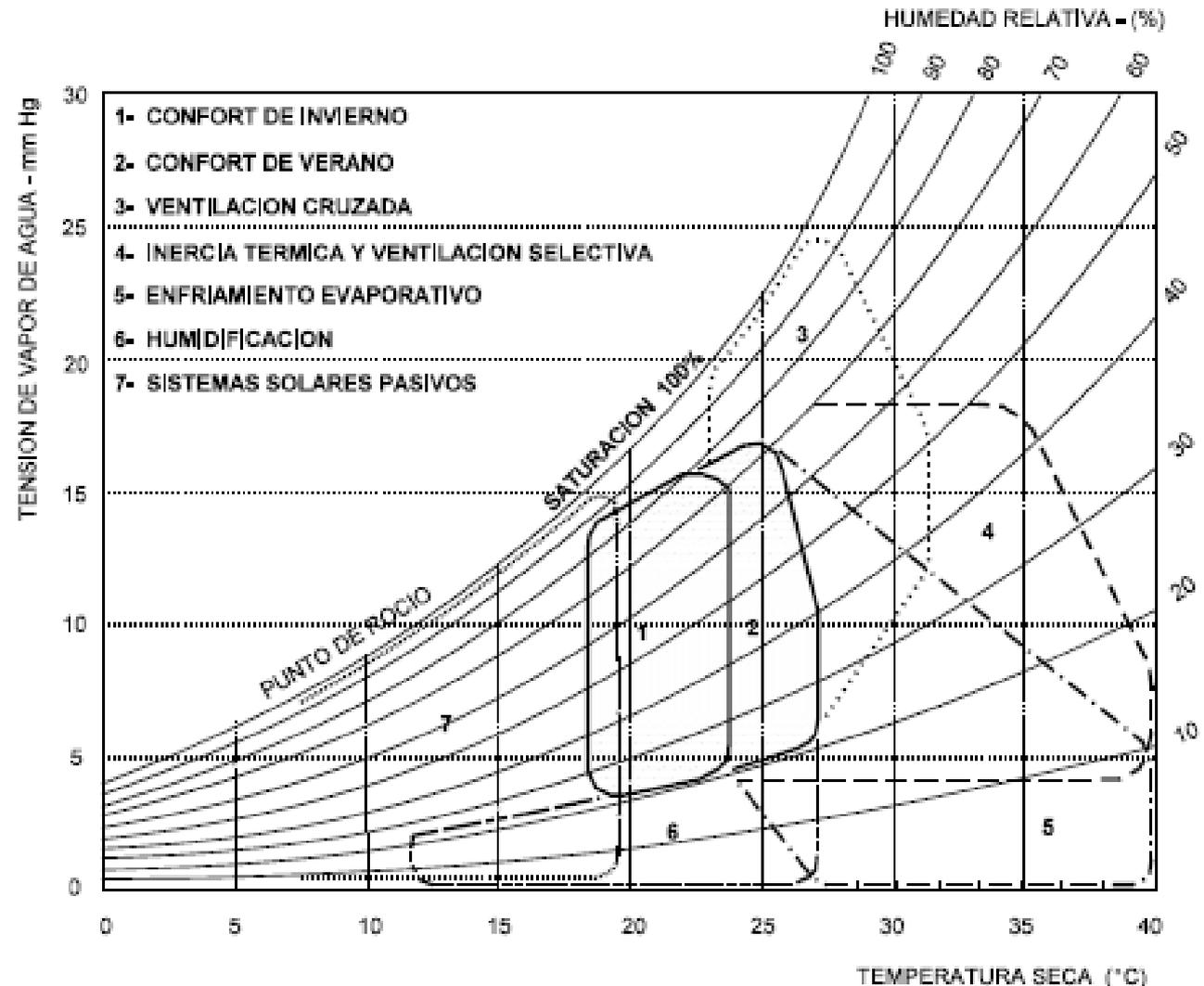
Quelles précautions pour la conception d'un bâtiment?

Givoni nous suggère des stratégies en fonction du climat

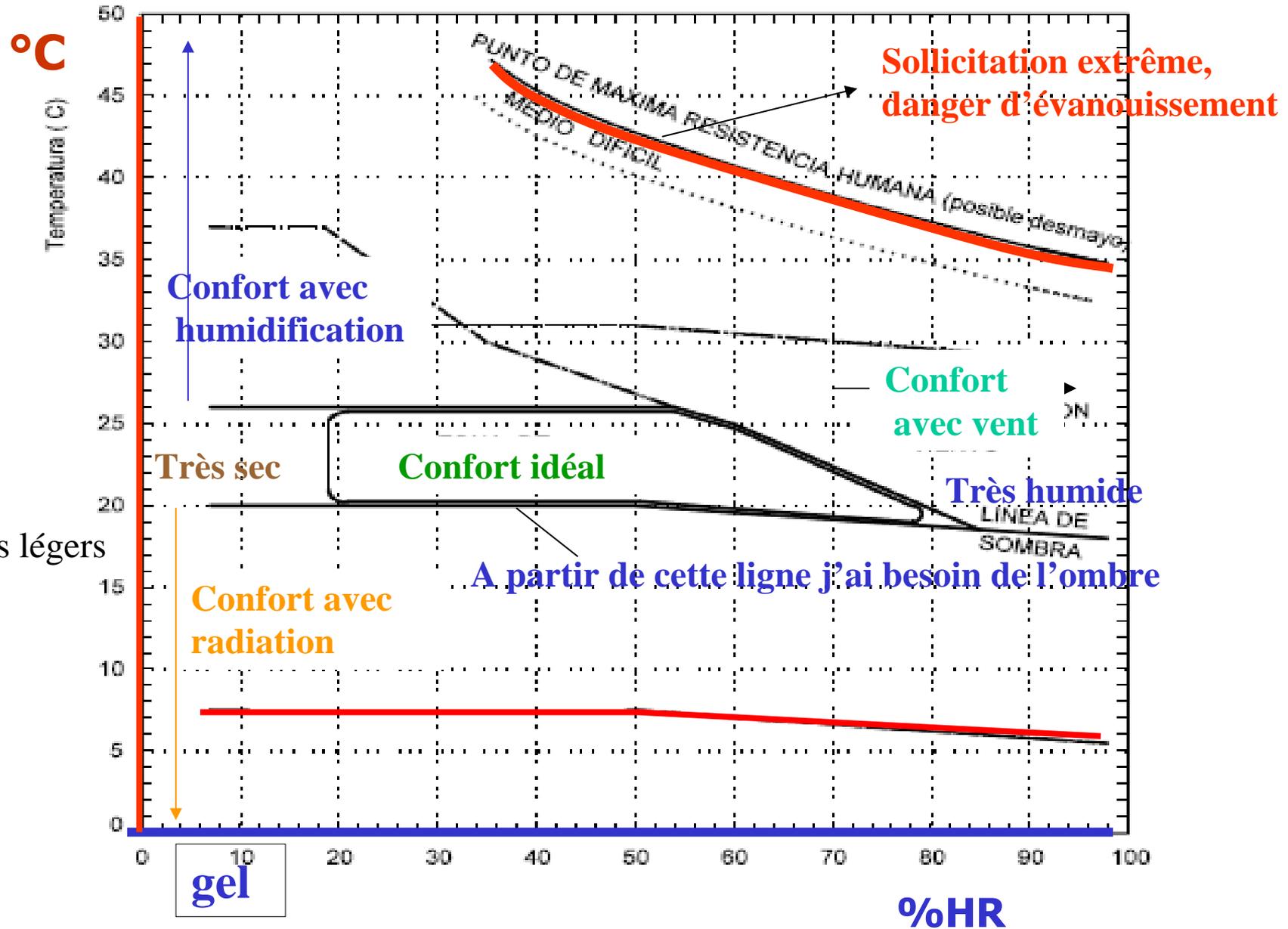
¿Qué precauciones debemos adoptar al diseñar el edificio?

El climograma del Dr. Baruch Givoni, relaciona parámetros similares pero con la diferencia que nos sugiere medidas de diseño edilicio en función del clima.

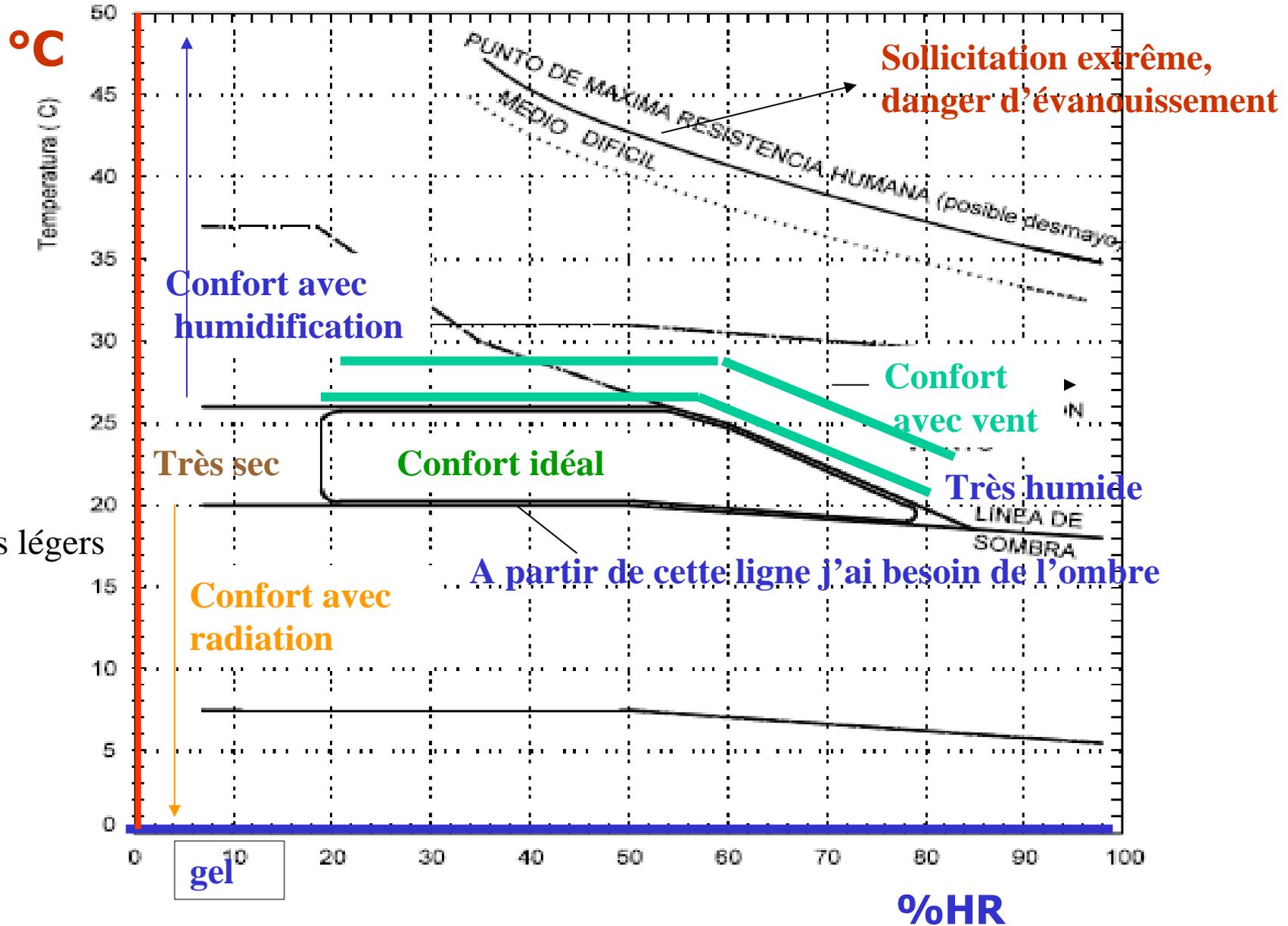
1. Confort d'hiver
2. Confort d'été
3. Ventilation traversante
4. Inertie et ventilation sélective
5. Refroidissement par évaporation
6. Humidification
7. Systèmes solaires passifs



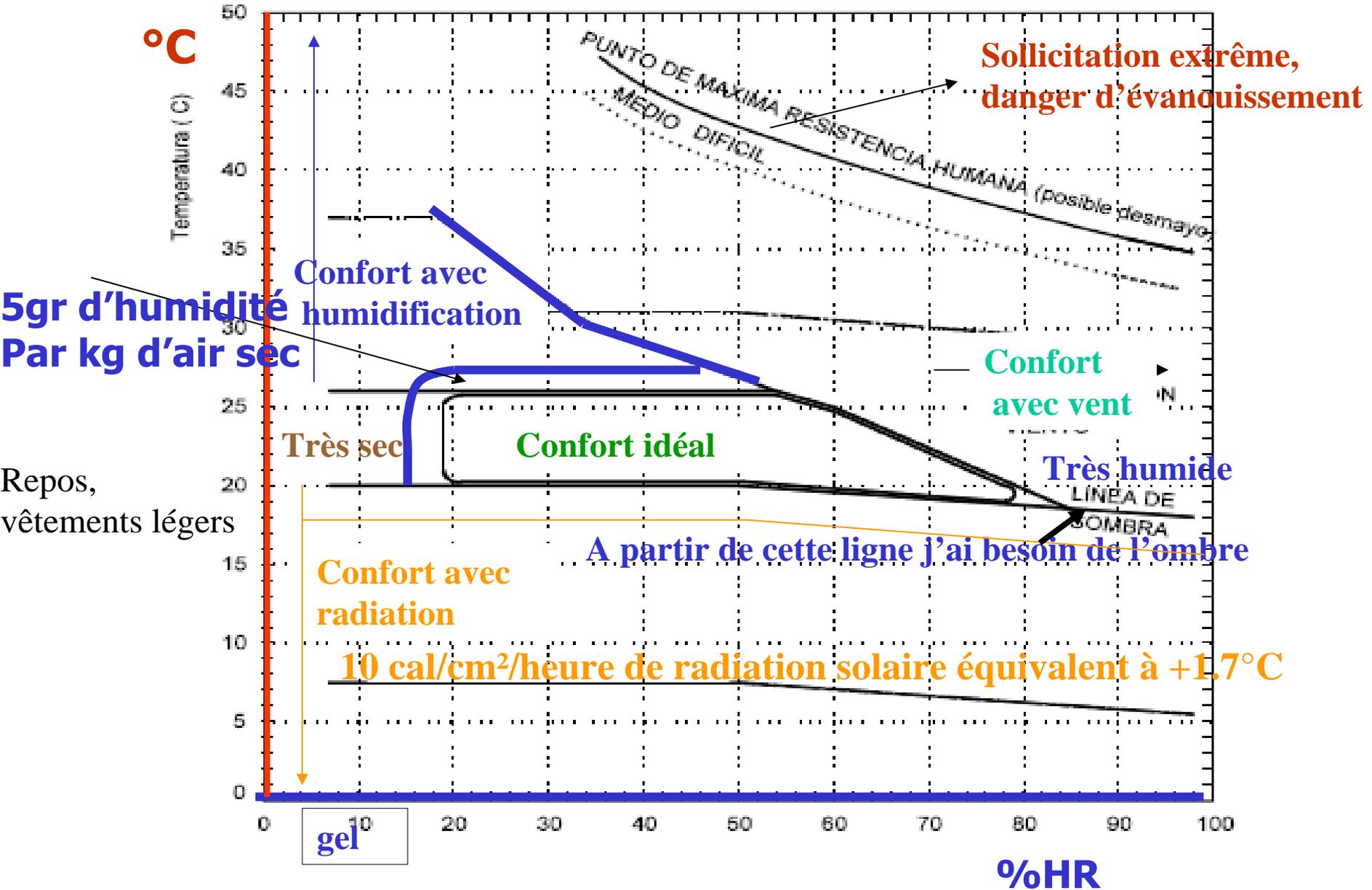
El climograma del arquitecto Victor Olgyay relaciona estos parámetros y nos explica estos valores en función del confort higrotérmico.



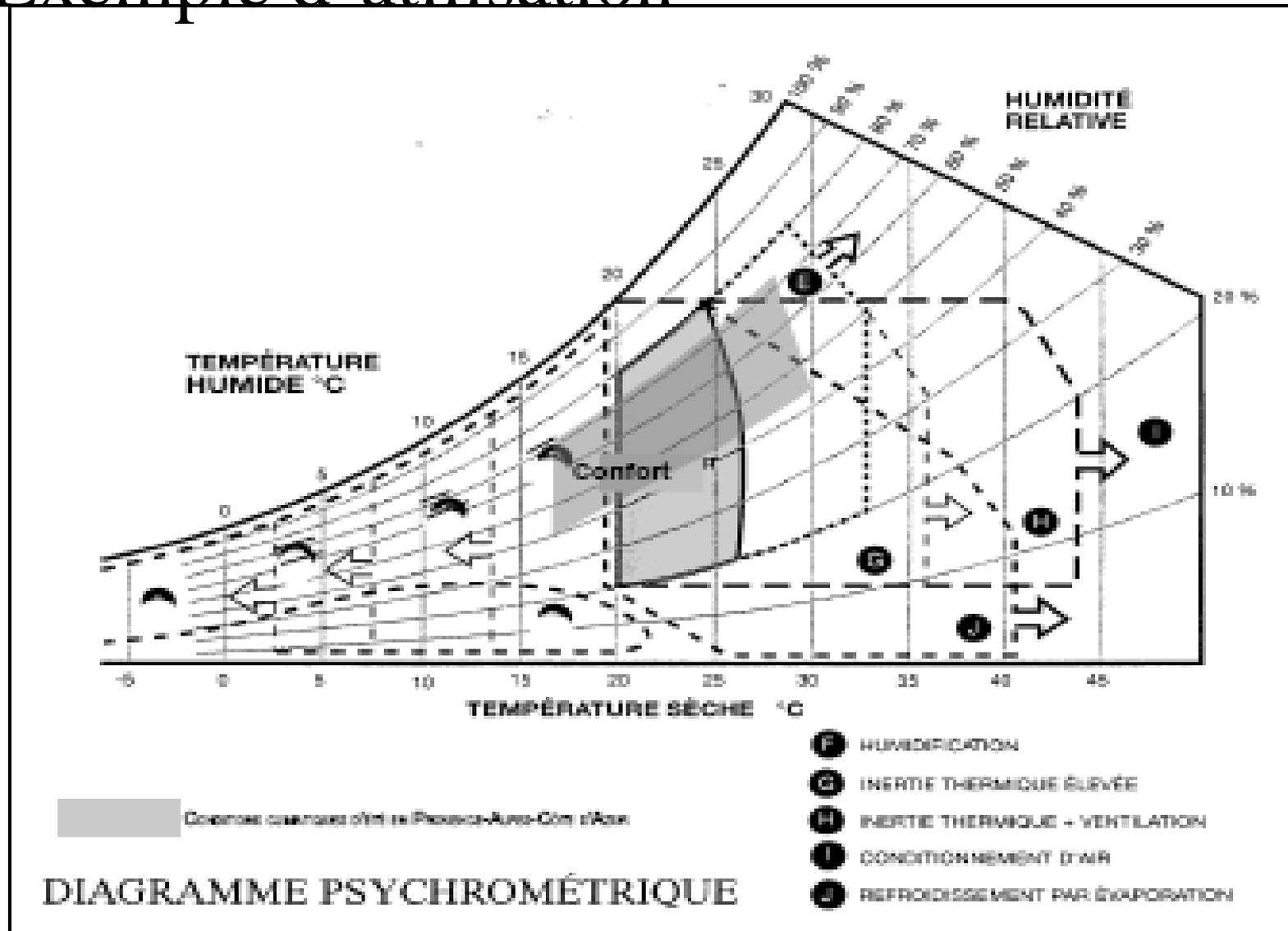
El climograma del arquitecto Victor Olgyay relaciona estos parámetros y nos explica estos valores en función del confort higrotérmico.



El climograma del arquitecto Victor Olgyay relaciona estos parámetros y nos explica estos valores en función del confort higrotérmico.



Exemple d'utilisation



Le diagramme de MILNE GIVONI définit les stratégies à suivre en dehors des conditions de confort

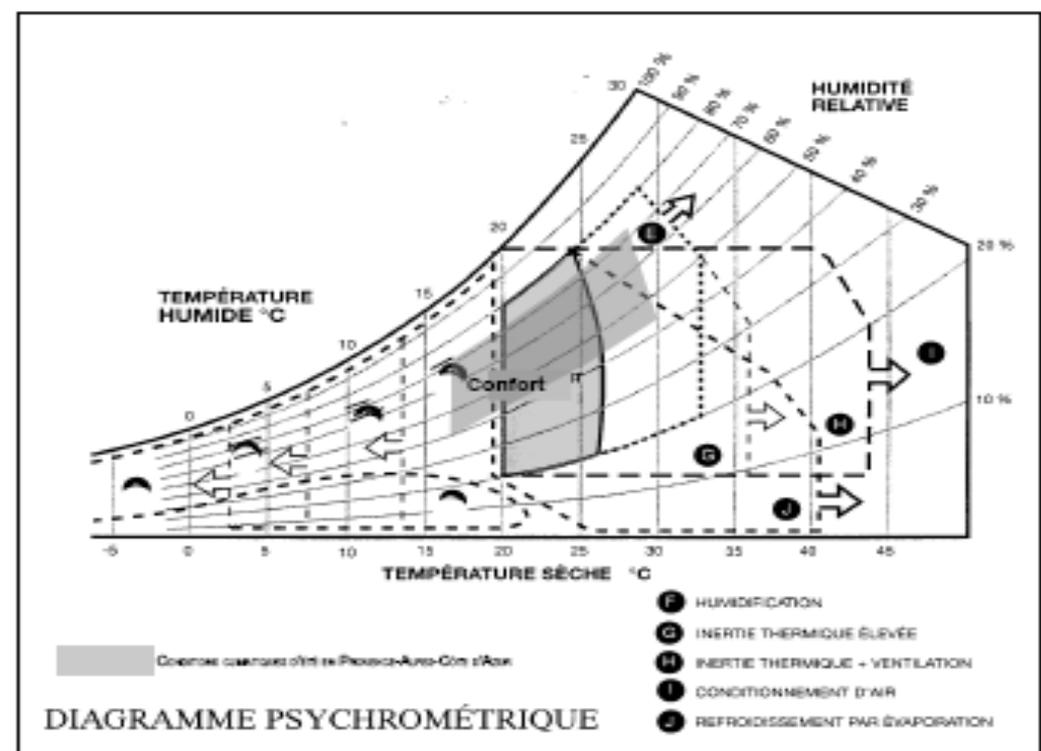
Exemple d'utilisation

Région méditerranéenne école

Renforcement de la ventilation

Si t et H élevées:

Confort par :
Évaporation de la transpiration si la ventilation est suffisante



Le diagramme de MILNE GIVONI définit les stratégies à suivre en dehors des conditions de confort

Renforcement de l'inertie thermique + ventilation nocturne

- Stoker la chaleur
- Écrêter les pointes de températures
- Avec une ventilation naturelle ou forcée j'évacue la chaleur stockée pendant le jour je refroidi le bâtiment

sommaire

- Confort (Continuation)
- Importance des vêtements
- Diagrammes
- **Ventilation**
 - **Mécanique**
 - **Naturelle**
 - **Mixte..**

Rappel

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

Activité humaine

(respiration, cuisson, douches etc.)



**Production de vapeur qui se mélange à l'air ambiant: saturation
= inconfort pour les personnes et pour le bâtiment**

Confort = besoins de stabilité

bâtiment = pas de condensations



renouvellement de l'air

il faut tenter de concilier deux objectifs contradictoires : la maîtrise des dépenses énergétiques et une qualité sanitaire de l'air intérieur.

+

Confort : ventilation comme stratégie d'élimination de surchauffe et de réduction de la sensation de chaleur

Rappel conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

Chambre coucher 30 m³

- 2 personnes en repos : 100 g/h de production de vapeur
- Air initial:
 - 20°C
 - 50% HR point A

Temps de saturation = 2 hs ¾ !

En effet pour saturer l'air en maintenant la température de 20°C il faut passer à une H absolue de 7.2 g/kg à 14.8g de vapeur par kg/air sec: point D

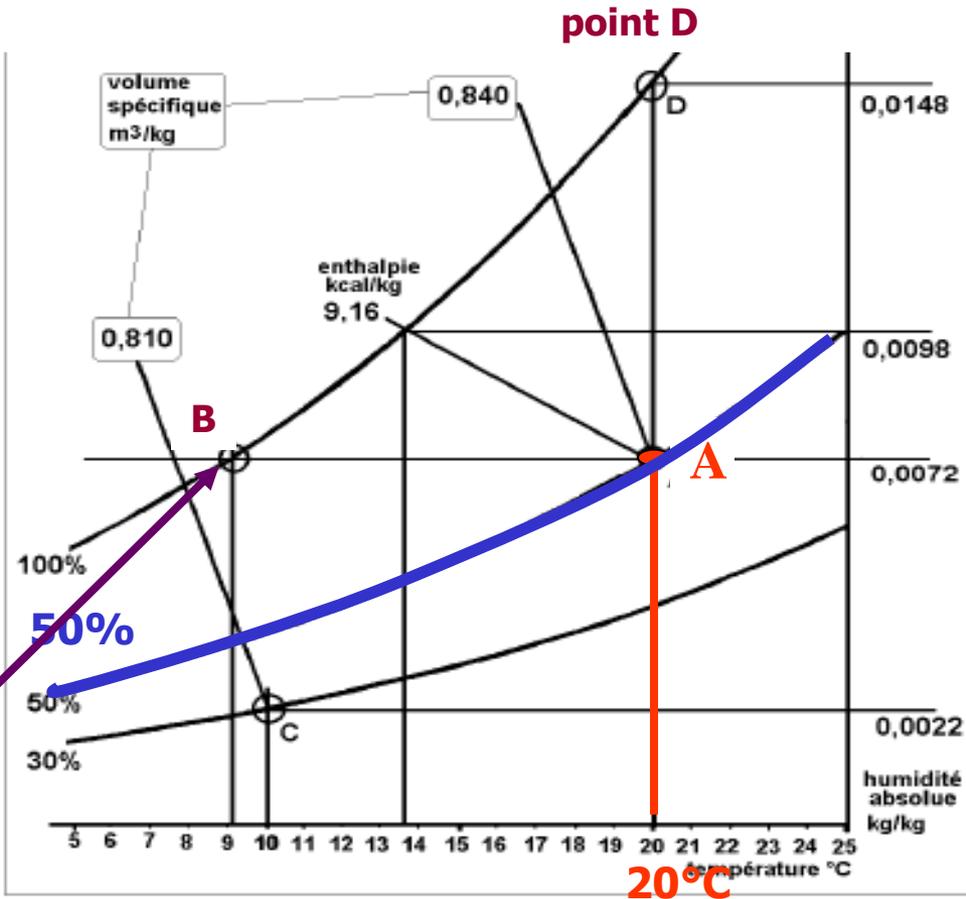
Le vol spécifique de l'air ambiant est de 0.84m³/kg d'air sec

Donc: 30m³ / 0.84m³ = 35,71kg d'air sec

La chambre est saturée dès qu'elle absorbe 14.8-7.2x35.71=271.4 g de vapeur ce qui se produit en 2.714heures par les deux personnes

Condensation superficielle sur les parois dont la température est inférieure ou égale à la température de rosée (ex point B)

Risques de condensation interstitielle à l'intérieur de l'enveloppe si le point de rosée est à l'intérieur et présence d'humidité (parois poreuse)



Rappel Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

- Santé: **air propre** et pas trop humide

Odeurs...? Polluants ?

Le control excessif de la ventilation pour éviter les déperditions énergétiques peut entraîner manque de confort olfactif: irritation des yeux, muqueuse nasal, peau... + Substances contaminatrices: COV , etc

millions)=mauvaise ventilation

Rappel Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

Facteurs de risques principaux:

- **Composants chimiques et biologiques:** *dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, vapeurs organiques, fibres, poussières en suspension*
- *Radon*
- *Fumée de tabac*
- *Ozone émis par les photocopieuses*
- *Matériaux de nettoyage, désinfection*
- *+ quelle qualité de l'air extérieur?*
- *Ionisation de l'atmosphère?*
- **Ventilation insuffisante:** *quantité de CO₂ si plus de 1000 ppm (parts par*
- **Manque de ventilation:** *CO₂ (voitures, externes, stationnements etc...)*
- **Cumul de papier:** *libération de formaldéhydes*
- **Ordinateurs :** *certains produisent de la radiation électromagnétique*
- **Wc :** *concentration bactérienne si plus de 75% d'humidité*
- **Manque d'entretien, nettoyage** *des conduits d'air bactéries et légionellose si humidité*
- *etc*

Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

80%/90% de notre existence :

dans des bâtiments +ou – pollués

=

Syndrome du bâtiment malade...

=

besoins d'assainir

D'après certaines normatives (ASHRAE) la qualité de l'air intérieurs s'obtiens:

- 1. Control de la source de **contamination*****
- 2. Ventilation adéquate***
- 3. Control de **l'humidité*****
- 4. Filtration adéquate***

Rappel Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

Méthode non utilisée en France mais...

Les bio effluents des personnes: olf pas mesurables avec instruments encore...

- Enfant crèche: 1.2 olf
- Un boxeur : 10 olf
- Fumeur standard: 6 olf
- Grand fumeur : 25 olf

La qualité de l'air se mesure en ce qui concerne cette méthode en **decipoles** q.

Méthode qui fut retiré du projet de norme européenne (rejet des belges , français et britanniques)

La ventilation: réglementaire (pas une norme)

Connaissances en matière d'olfaction

Cette méthode aboutissait à doubler voir tripler les débits d'air neuf...

Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

Le **décipol** est la 1/10 partie de la sensation perçue dans une ambiance polluée par un olf et ventilée par un litre par seconde

$$1 \text{ décipol} = \frac{1 \text{ olf}}{10 \times 1 \text{ l/s}} = 0.10 \text{ olf (l/s)}$$

De ce point de vue on peut calculer les besoins de ventilation

$$C = 10 \times \frac{G}{P_i - P_e} \times \frac{1}{e}$$

- **C**: volume d'air requis (l/s m²)
- **G**: charge de pollution olfactive (olf/m²)
- **P_i** : qualité de l'aire intérieur perçue (dpol/m²)
- **P_e** : qualité de l'aire extérieur perçue (dpol/m²)
- **E** : efficacité de la ventilation (relation entre la qualité de l'air expulsé et l'air introduit..)

Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

Exemple:

10 personnes non fumeurs (1 olf par personne) dans un local de 20m² avec une pollution intérieure de 0.3 olf/m² (meubles, finitions) produisent en total de 0.8 olf/m²

$$\frac{10 + 0.3}{20} = 0.8 \text{ olf/m}^2$$

Si la qualité de l'air intérieur est de 1.4 dpol et celle de l'air extérieur est de 0.1 dpol pour un système de ventilation par mélange de l'air (e=1) on aura un besoin de ventilation de:

$$C = \left(\frac{0.8}{1.4 - 0.1} \times \frac{1}{1} \right) = 6.15 \text{ l/s m}^2 \text{ (22.15m}^3\text{/h m}^2\text{)}$$

Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

- critère de von Pettenkofer (1819-1901) selon lequel le bon indice est le dégagement **de CO2 par les occupants, qui mesure assez bien le taux de dégagement des odeurs corporelles.**

conséquences pratiques

- La limite fixée par Pettenkofer était de 1000 millièmes [ppm] de CO2 à l'intérieur. Il faut aujourd'hui l'amodier compte tenu de ce que la concentration extérieure n'est plus la même que celle d'il y a un siècle. De ce fait, la tendance est de prendre comme critère le dégagement humain de CO2 , en convenant par exemple que ce dégagement ne doit pas correspondre à un accroissement du taux de CO2 intérieur de plus de 700 [ppm].

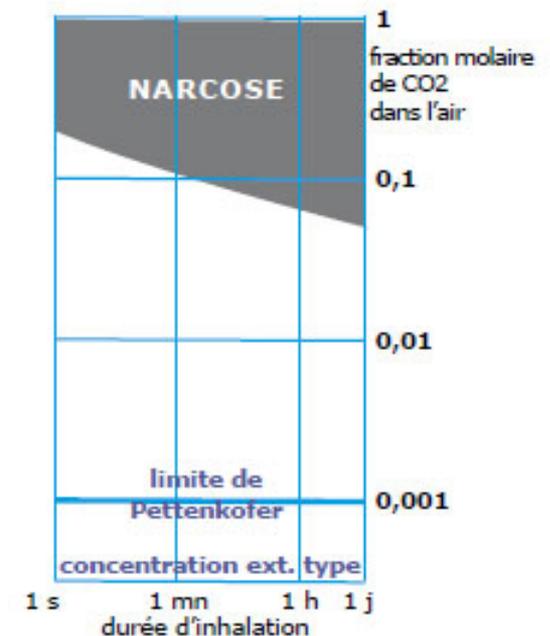
Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

- Le dioxyde de carbone (CO₂) n'est pas, par lui-même, toxique, sauf à des concentrations très élevées (voir ci-contre) où il provoque des narcoses.

Le CO₂ permet, par contre, de repérer les dégagements d'odeurs corporelles ; c'est la raison pour laquelle c'est un indice simple des besoins de ventilation, utilisé par exemple, en France, pour définir les besoins de base dans les locaux tertiaires (règlement sanitaire) ou professionnels (code du travail), étant entendu qu'il s'agit du CO₂ d'origine humaine (respiratoire).

- Pour ce faire on utilise, par exemple, la limite (ci-contre) proposée par Pettenkofer en 1858, sans qu'on dispose actuellement d'une meilleure base
- Pour exploiter aujourd'hui convenablement cette donnée il faut, en outre, tenir compte de l'accroissement de la teneur extérieure en CO₂, plus élevée que jadis.

Le choix de la teneur en CO₂ pour mesurer les besoins de ventilation est, en outre et finalement, une très bonne base pour la régulation (ou la mise en route) des débits de ventilation, lorsque ceux-ci peuvent être modulés



Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

LA CONTAMINATION GAZEUSE

classement des gaz Les gaz plus ou moins toxiques ou gênants peuvent être classés en fonction de leur nature et de leur concentration :

- . **gaz toxiques**, essentiellement dangereux,
- . **gaz nocifs**, pour la santé, sans être à proprement parler «toxiques»,
- . **gaz gênants**,
- . **gaz odorants**.

Les deux expressions de la concentration

La concentration d'un gaz quelconque dans l'air se mesure de deux manières différentes.

1. La concentration est souvent exprimée en **fraction molaire**, c'est à dire en rapport du nombre de molécules du gaz envisagé au nombre total de molécules (d'air) auquel il est mélangé. Ce rapport est couramment exprimé en **millionième**, ou **ppm** («partie par million»). Quand le gaz est très dilué on utilise également le **milliardième**, ou **ppb** (partie par billion, le billion étant le milliard anglais).
2. Cette concentration peut également être mesurée en masse par unité de volume, en fait la plupart du temps en **milligramme par mètre cube** (mg/m³), parfois - quand la teneur est faible - en **microgramme par mètre cube** (µg/m³).

Ventilation nécessaire? Conditions d'hygiène satisfaisantes

- **En fonction de l'occupation des locaux**
- **De l'activité**
- Les besoins devraient être identiques dans tous les pays
 - Pays moins froids: ventilation par défaut d'étanchéité des menuiseries
 - **Différences: pays froids... menuiseries étanches (*Problèmes dans la réhabilitation*)**
- **Plus de précisions**
 - **Différentes méthodes: relation entre l'anhydride carbonique et l'oxygène nécessaire pour respirer 0.83**
 - **Oxygène nécessaire en fonction des activités.. : met**
 - **La quantité minimal de ventilation par personne pour un équilibre entre la production d'oxygène et anhydre carbonique: 6 litres par /seg et par met de métabolisme**

Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

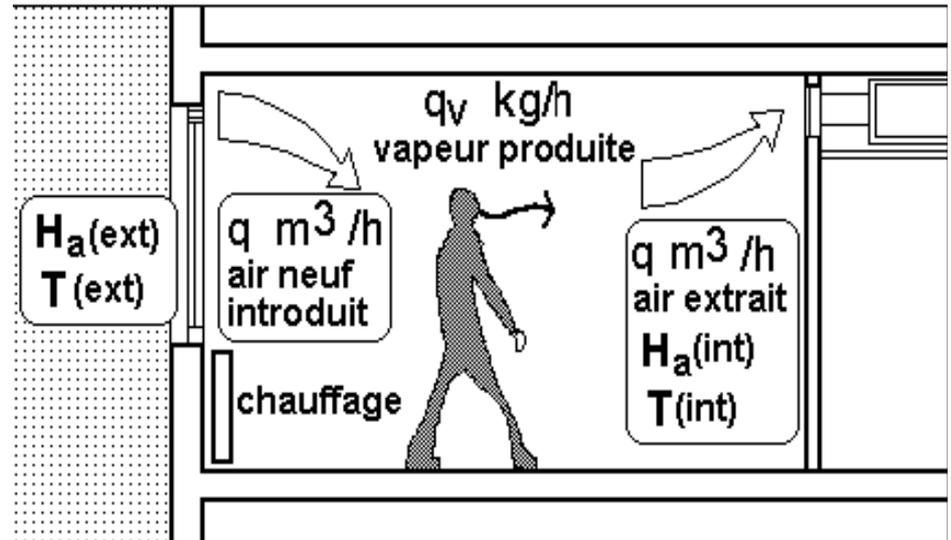
- **Réglementation sanitaire** : impose des taux de renouvellement d'air en fonction des types de locaux
 - Locaux sans pollution ni odeur particulière à évacuer : il faut 5 litres par seconde d'air neuf pour un individu avec une activité moyenne
 - Si fumeur : 7 l/s...
 - Cas précédent: 10 l/s soit 36 m³/ heure
 - $36/30=1.2$ fois le vol de la pièce par heure
 - Logements: voir **réglementation thermique**

Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

- Santé: air propre et pas trop humide
- Ventiler: si air extérieur est plus sec introduire de l'air extérieur

Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

- Taux de ventilation et hygrométrie des locaux
 - Si l'hygrométrie d'un local dépend de
 - son occupation: taux horaire de production de vapeur de l'activité réalisée
 - 50 g/h repos
 - 300 g/h activité intense
 - ménage
 - Le soir maximale: 180g/h
 - Nuit minimale: 130g/h
 - Moyenne par jour : 340g/h



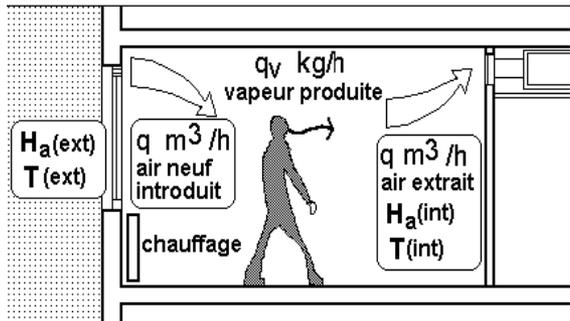
Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

- Taux de renouvellement pour stabiliser le degré hygrométrique $q \text{ m}^3/\text{h}$ nécessaire avec le maintien d'une température constante
- Si température constante l'hygrométrie va dépendre de son humidité absolue : $H_a(\text{int})$
- L'hygrométrie sera stable si:
 La quantité de vapeur extraite du local ($q_v \text{ m}^3/\text{h}$ d'air ambiant) est compensée par la quantité produite de q_v augmentée de celle contenue dans les $q \text{ m}^3/\text{h}$ d'air extérieur introduit

$$q \frac{H_a(\text{int})}{V_s(\text{int})} = q_v + q \frac{H_a(\text{ext})}{V_s(\text{ext})}$$

On déduit que le débit q nécessaire pour maintenir l'hygrométrie constante dans le local:



$$q = \frac{q_v}{\frac{H_a(\text{int})}{V_s(\text{int})} - \frac{H_a(\text{ext})}{V_s(\text{ext})}}$$

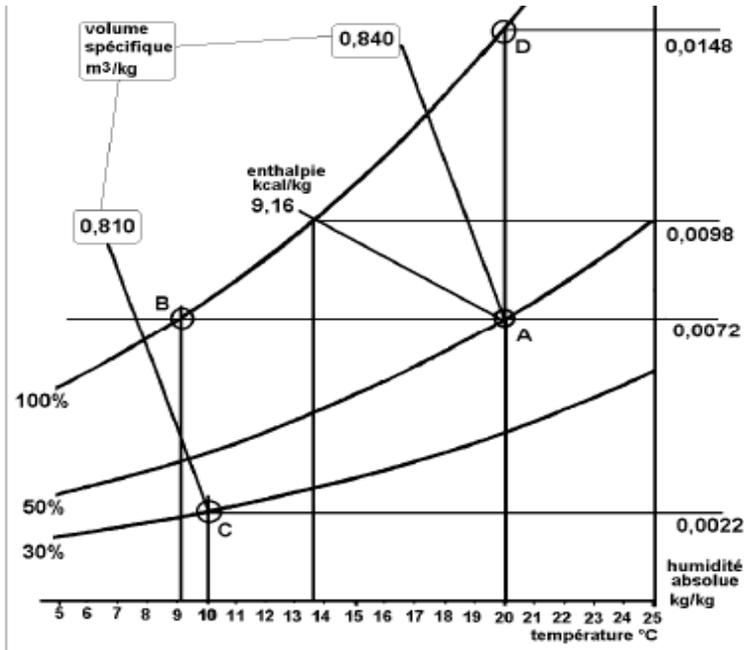
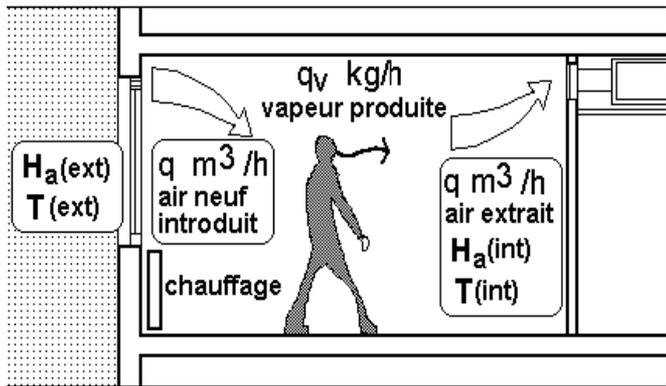
Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

- Exemple**

$q_v = 100 \text{ g/h}$ pour deux personnes en repos

Pour maintenir la pièce à 50% HR avec température maintenue à 20°C ($H_a(\text{int}) = 7.2 \text{ g/kg}$ et $V_s(\text{int}) = 0.84 \text{ m}^3/\text{kg}$) avec un air extérieur à 10°C et 30%HR (point C: $H_a(\text{ext.}) = 2.2 \text{ g/kg}$ et $V_s(\text{ext.}) = 0.81 \text{ m}^3/\text{kg}$) il faut un taux de renouvellement d'air de $17 \text{ m}^3/\text{heure}$. C'est donc environ la moitié de ce qui est exigé réglementairement : $2 \times 18 \text{ m}^3$ par personne = $36 \text{ m}^3/\text{h}$



Exemple d'application: Le confort d'été dans les établissements scolaires

Cahier de spécifications

3.4 LE RENOUELEMENT D'AIR

Le renouvellement d'air est une contrainte importante des établissements scolaires liée à des soucis de qualité de l'air.

Les recommandations en matière de renouvellement d'air sont issues :

- .. du Règlement Sanitaire Départemental type (RSDT),
- .. des instructions émanant des services techniques du Ministère de l'Éducation Nationale
 - des instructions 72-1027 du 23 mars 1972 relatives à la construction des écoles maternelles
 - des instructions 73-345 du 20 août 1973 relatives à la construction des écoles primaires
 - des instructions du 26 octobre 1992 relatives à l'élaboration des programmes de construction scolaire dans l'enseignement du second degré
 - des instructions du programme de construction 1978 - CES 600 et 900
- .. du Code du travail (article R 232-1-3 ; R 232-5 à R 232-5-14 ; R 235-2-2 à R 235-2-8).
- .. de la réglementation thermique .

Ref bibliog.

LE CONFORT D'ETE dans les LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES CAHIER DE SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Air-conditioning Technologies In Tertiary Sector Buildings and in Domestic Buildings DIS-1928-98-FR

Agence Régionale de l'Énergie Provence-Alpes-Côte d'azur

Dans les locaux scolaires, le renouvellement d'air est une des sources principales des déperditions thermiques en hiver.

Dans le cas extrême d'une classe (8m x 6m) en étage courant.

Déperditions par les parois bien isolées

- K vitrage = 2 ;
- K mur = 0,4
- Vitrage $8 \times 2 \times 2 = 32 \text{ W/K}$
- Murs $8 \times 1 \times 0,4 = 3,2 \text{ W/K}$

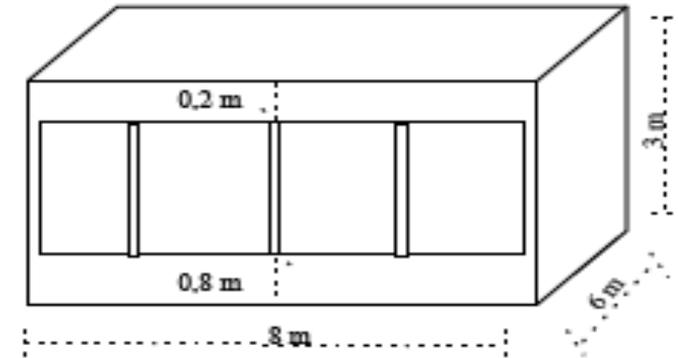
déperditions surfaciques environ **35 W/K**

30 élèves à $18 \text{ m}^3/\text{h} = 540 \text{ m}^3/\text{h}$ soit des déperditions par renouvellement (fréquemment sans conditionnement d'air) :

$540 \times 0,34 =$ environ **178 W/K**

Les déperditions par les parois représentent moins de 20 % du total d'une classe bien isolée.

En été, le renouvellement d'air réglementaire (environ 3 volumes/heure) fait entrer la chaleur extérieure.



	Débits minimaux m ³ /h	
<ul style="list-style-type: none"> ● SANITAIRES (1) <ul style="list-style-type: none"> - WC isolé - Salle de bains ou de douches isolée - Salle de bains ou de douches commune avec WC - Bains, douches et WC groupés - Lavabos groupés ● LOCAUX TECHNIQUES <ul style="list-style-type: none"> - Archives, machineries ascenseur - Local de service - Lingerie (secondaire) - Cuisine (restauration) - Réserves alimentaires - Internat secondaire : <ul style="list-style-type: none"> • Salle de distribution du linge • Salle d'entretien du linge • Local pour linge sale • Cordonnerie (2) 	<p>30</p> <p>45</p> <p>60</p> <p>(30 + 15 N)</p> <p>(10 + 5 N)</p> <p>fonction de l'usage spécifique du local et de ses équipements</p> <p>45.P</p> <p>0,4.S</p> <p>cf. chapitre 9</p> <p>0,4.S</p> <p>45</p> <p>45</p> <p>0,4.S</p> <p>30</p>	<p>(a)</p> <p>(a)</p> <p>(a)</p> <p>(a)</p> <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(b)</p>
<p><i>Références :</i></p> <p>a) RSDT : Règlement Sanitaire Départemental Type</p> <p>b) Code du Travail : locaux pour travail physique léger</p>		
<p>(1) Extraction permanente (maintien de la dépression par rapport aux autres locaux adjacents)</p> <p>(2) L'instruction relative au programme de construction des collèges précise que la cordonnerie doit être largement aérée. On adopte le chiffre des cabinets d'aisance isolés du RSDT</p> <p>S = surface du local en m²</p> <p>N = nombre d'équipements dans le local</p> <p>P = nombre de personnes dans le local</p>		

DÉBITS DE RENOUVELLEMENTS D'AIR POUR LES ÉCOLES MATERNELLES

LOCAUX	Débit (1) m ³ /h/personne	Taux d'occupation m ² /personne (2)	Débit m ³ /h
"Locaux d'entrée"			
• Salle d'exercice	15	1,5 (3)	10.S
• Salle de repos	18	1,5 (4)	12.S
• Salle de jeux	18	1 (3)	18.S
• Salle à manger	22	1,1 (3)	20.S
• Bureau de direction	25		25.P
• Salle de réunions des maîtres (5)	18	2 (6)	9.S
• Attente			0,4.S

(1) Règlement Sanitaire Départemental Type

(2) Sous réserve d'une évaluation plus précise du taux d'occupation en fonction des données fournies par le maître d'ouvrage

(3) Instruction 72-1027 du 23 mars 1972 relative à la construction des écoles maternelles

(4) On adopte le même chiffre que pour la salle d'exercices

(5) Locaux sans autorisation de fumer selon le décret du 29 mai 1992

(6) Valeur proposée en l'absence de texte

S = surface du local en m²

P = nombre de personnes par local

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

Classification des locaux suivant leur hygrométrie *(référence bibliog DTU 20.1)*

local à faible hygrométrie : $\frac{W}{n} \leq 2,5 \text{ g/m}^3$

local à hygrométrie moyenne : $2,5 < \frac{W}{n} < 5 \text{ g/m}^3$

local à forte hygrométrie : $5 < \frac{W}{n} < 7,5 \text{ g/m}^3$

local à très forte hygrométrie : $\frac{W}{n} > 7,5 \text{ g/m}^3$

W : quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur d'un local par heure, exprimée en grammes par heure (g/h).

n : le taux horaire de renouvellement d'air exprimé en mètres cube par heure (m³/h)

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

- **local à faible hygrométrie :**

CSTB: les locaux équipés de ventilations mécaniques contrôlées et de systèmes propres à évacuer les pointes de production de vapeur d'eau, dès qu'elles se produisent, (par exemple : hottes, ...) sont de locaux à faible hygrométrie,

Ou bien simplement Bureaux logements bien ventilés...!

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

local à hygrométrie moyenne :

les locaux correctement chauffés et ventilés, sans suroccupation sont des locaux à hygrométrie moyenne,

local à forte hygrométrie :

les locaux médiocrement ventilés des locaux à forte hygrométrie, ex: logement sur occupé, certaines industries...

local à très forte hygrométrie :

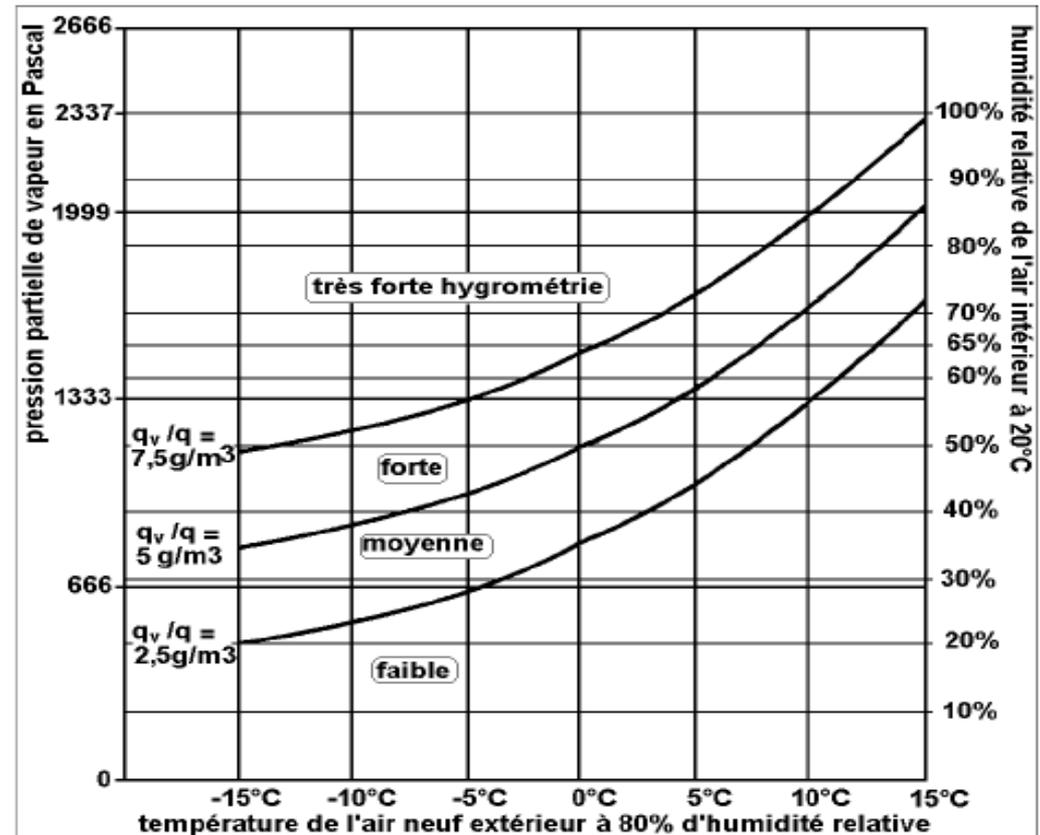
les locaux spéciaux où l'activité maintien une humidité relative élevée, sont des locaux à très forte hygrométrie.

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

En fonction de l'hygrométrie du local (correspondante à la valeur de q_v/q) pour une température intérieure et une Hr extérieure données on peut déduire l'Hr intérieure en fonction de la température extérieure

- Température intérieur 20°C
- Hr extérieur de 80%
- On constate que hygrométrie intérieur du local est d'autant plus forte que l'air extérieur de ventilation est chaud
- Le pouvoir asséchant de la ventilation est accru lorsque la température de l'air extérieur baisse



Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

Systèmes de ventilations :(bâtiments habités)

- 1. Ventilation naturelle:** par ouvrants extérieurs ou via des conduits à tirage naturel. (constructions traditionnelles ,immeubles d'habitation)
- 2. Ventilation hybride** combine les avantages de la ventilation naturelle et de la ventilation mécanique. Le système est piloté suivant les conditions climatiques et bascule automatiquement entre le mode naturel et le mode assistance mécanique. Ceci permet de profiter au maximum des forces motrices naturelles réduisant ainsi au minimum la consommation électrique des auxiliaires.
- 3. Ventilation mécanique contrôlée simple flux** plutôt présente dans les habitats individuels et collectifs récents et dans les bâtiments du secteur tertiaire ;
- 4. Ventilation mécanique contrôlée double flux**, surtout présente dans les bâtiments tertiaires ;
- 5. Ventilation centralisée**, contrôlée par une ou plusieurs centrale de traitement d'air, avec ou sans recyclage d'air. On la trouve surtout dans les bâtiments tertiaires (hypermarchés, centres commerciaux et immeubles de bureaux, Laboratoires).

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

Systemes de ventilations :(bâtiments habités)

- 1. Ventilation naturelle:** par ouvrants extérieurs ou via des conduits à tirage naturel. (constructions traditionnelles , immeubles d'habitation)
 - Le contrôle: les occupants
 - Menuiseries anciennes: infiltrations permanentes entre dormant et ouvrant: manque de contrôle... inconfort+ dépenses énergétiques
 - débit d'air en fonction de la surface et de la différence de pression entre l'ambiance extérieure et l'ambiance intérieur
 - L'air circule de l'ambiance ou la pression est la plus forte vers la plus faible
 - Cette différence de pression est généralement crée par le vent
 - La différence de température entre deux ambiances entraîne aussi une différence de pression
 - Bâtiments anciens:la ventilation se fait majoritairement par les infiltrations: manque de contrôle??
 - Si on remplace par des fenêtres étanches: besoin de revoir le système de ventilation

menuiserie	M3/h par mètre linéal de joint
défectueuse	Plus de 15
normale	10 à 15
améliorée	6à10
renforcée	0à6

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

- Les déperditions thermiques varient avec la vitesse du renouvellement d'air qui doit être plus ou moins rapide en fonction de l'occupation d'un logement.
- La première étape est de rendre l'enveloppe du bâtiment étanche aux courants d'air. Ensuite, il faut prévoir la ventilation nécessaire, en ouvrant les fenêtres, en aménageant des grilles de ventilation avec un débit adapté (avec ou sans conduit d'extraction), ou en installant un système de ventilation mécanique contrôlée (VMC).
- En France, les VMC sont encouragées car les performances sont théoriquement connues, à la différence de la ventilation naturelle qui est considérée aléatoire. Pourtant, la ventilation mécanique a plusieurs inconvénients : l'équipement coûte cher, consomme de l'énergie, fait du bruit et peut tomber en panne.
- Un autre défaut majeur est que l'installation d'un équipement mécanique décourage une réflexion sur la ventilation naturelle qui sera nécessaire de toute façon en été (si le logement n'est pas climatisé). Donc, dans l'optique d'une architecture écologique, il vaut mieux concevoir une stratégie de ventilation naturelle.

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

- Aération par l'ouverture des fenêtres :

Si un logement ne comprend aucun système de ventilation, il est aéré en ouvrant les fenêtres ou les portes, et par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Ce mode d'aération fut courant, mais **à partir de 1969**, il a été interdit par la réglementation dans les logements neufs.

- Un tel mode d'aération ne permet pas de contrôler le débit d'air renouvelé, donc la qualité de l'air. Il génère un inconfort à cause des courants d'air froid en hiver et les utilisateurs ont tendance à maintenir les fenêtres fermées ce qui peut nuire à la qualité de l'air.

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

- Ventilation par conduits à tirage naturel :

La ventilation naturelle ne nécessite aucun dispositif mécanique pour fonctionner. La circulation de l'air est induite par le tirage thermique, dû aux différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur, et les pressions du vent sur l'enveloppe du bâtiment et notamment au débouché de conduit en toiture (effet de cheminée). Chaque pièce de service du logement possède une sortie d'air raccordée à un conduit d'évacuation fonctionnant par tirage naturel.

- Dans les logements récents, chaque pièce principale est équipée d'un orifice d'entrée d'air neuf de type autoréglable (ajustement de la section de passage de l'air en fonction du vent). Les sorties d'air sont fixes ou réglables manuellement.
- En habitat collectif, les conduits d'évacuation à tirage naturel peuvent être soit individuels, c'est à dire ne desservir qu'une pièce de service, soit collectifs c'est à dire desservir plusieurs pièces.
- Le renouvellement de l'air d'un logement ventilé naturellement varie en fonction des conditions climatiques.

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

Ventilation naturelle à tirage assisté :

- Les extracteurs statiques basés sur le principe du venturi (tuyère à cônes divergents) ou d'autres dispositifs, créent sous l'action du vent, une dépression suffisante dans le conduit d'extraction pour maintenir un débit d'air minimum.
- Le débit d'air extrait dépend des conditions atmosphériques extérieures.

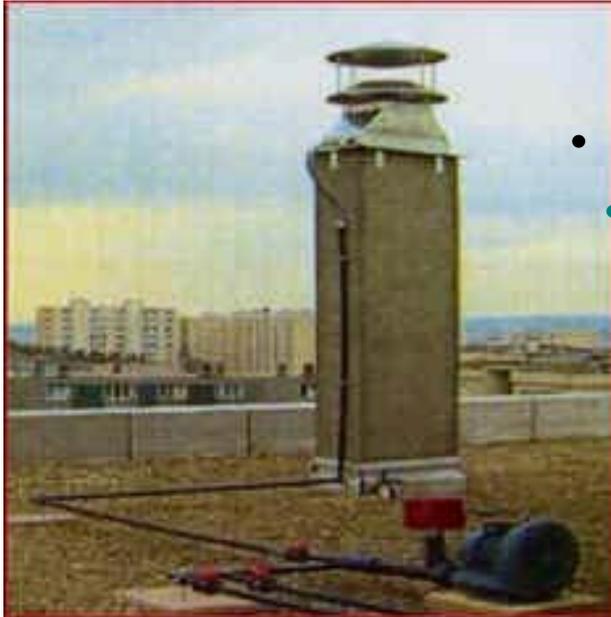


- L'extracteur statique ASTATO AS1 avec collier sur mitron terre cuite.
Web :

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

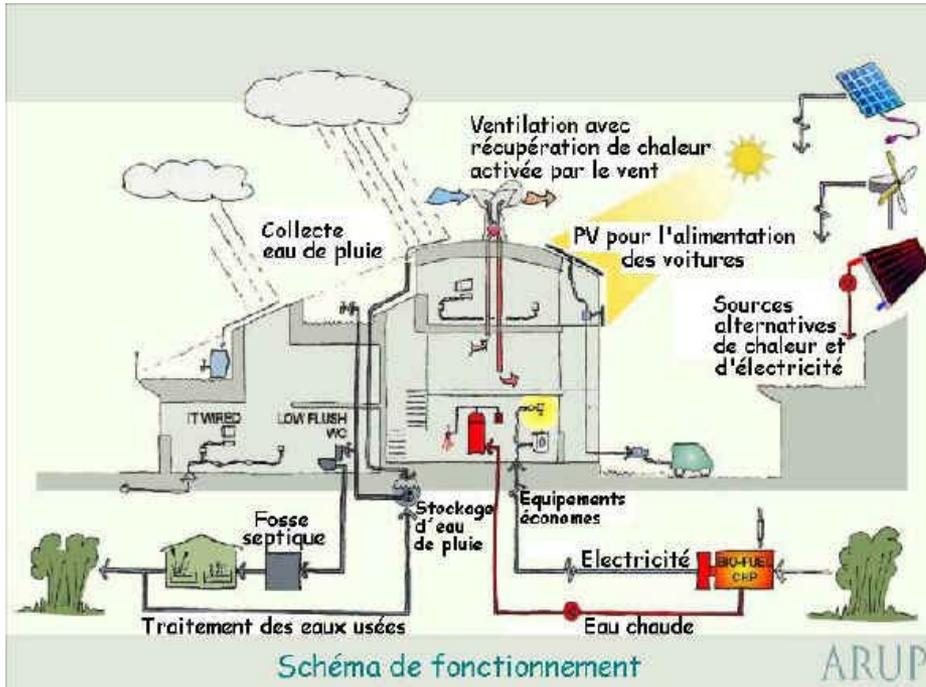
- Les extracteurs statiques peuvent être associés à un tirage mécanique par induction d'air asservie aux conditions climatiques (vent, température). La ventilation peut ainsi répondre aux besoins à tout moment.



- Le système NAVAIR montrant l'extracteur, le conduit d'induction et le moteur. L'aide mécanique à la ventilation naturelle est asservie à un automate qui analyse les paramètres des besoins et des conditions climatiques afin de commander le moteur.

Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux



- **Ventilation naturelle avec récupération de chaleur**

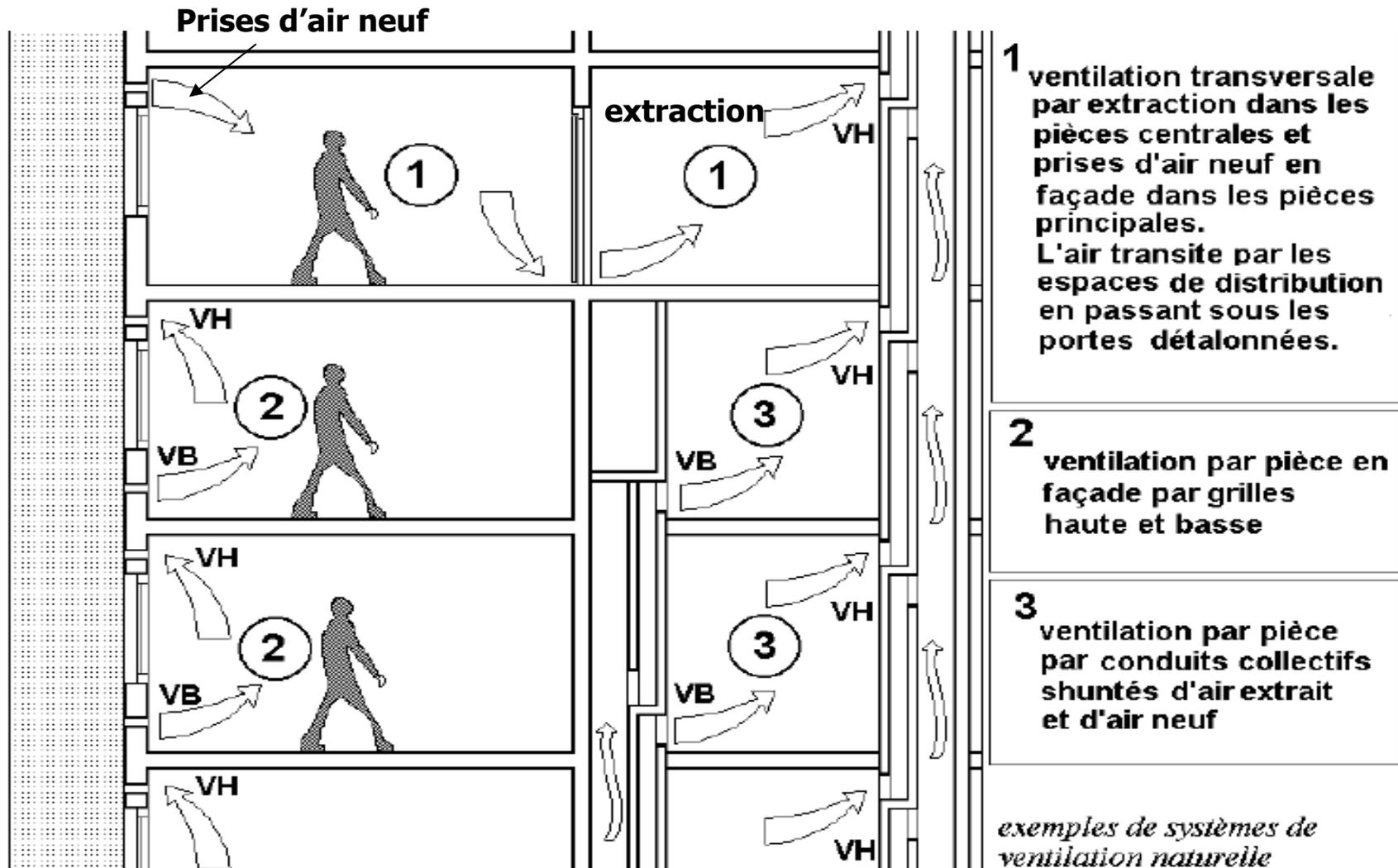
- La ventilation naturelle : sujet de nombreuses études en Grande Bretagne, de la conception des extracteurs statiques au récupérateurs de chaleur adaptés aux faibles débits. Les extracteurs et les tours à vent sont devenus des éléments de l'architecture moderne.

Les immeubles de logements BedZED, au Sud de Londres, sont des exemples où le traitement de la ventilation naturelle avec récupération de chaleur fait partie de la conception architecturale et l'esthétique de l'ensemble. . Ce système de ventilation naturelle permet de récupérer une partie des calories émises



Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux



Conception des espaces intérieurs

Ventilation des locaux

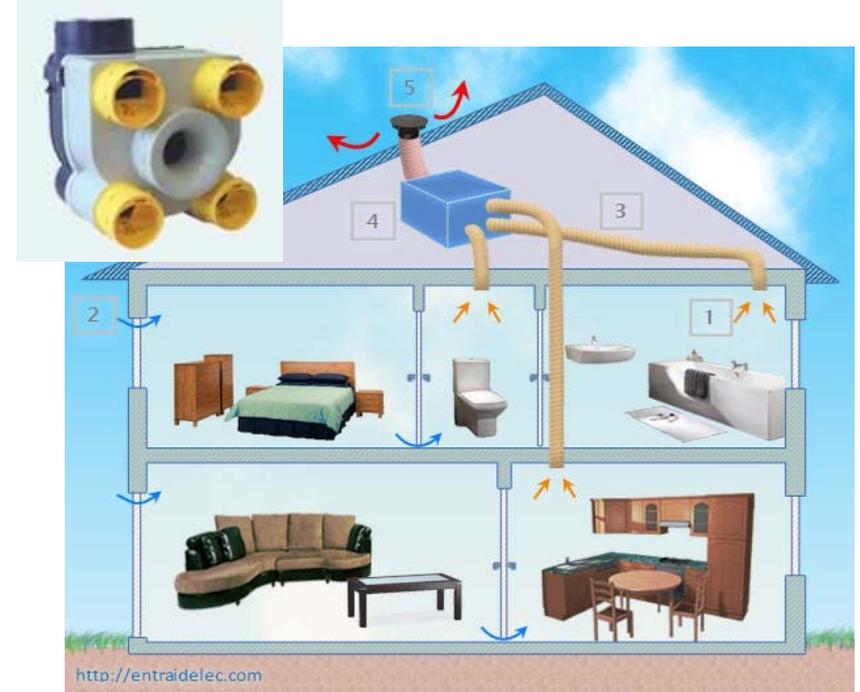
- Ventilation mécanique action mécanique de ventilateurs : contrôlables
 - Consomment de l'énergie
 - Nécessitent de l'entretien
 - Bruits si mal dimensionnés
 - Néfastes en canicule
 - Pas toujours adaptées a l'existant
 - Empêchent isolation acoustique entre locaux
 - pour le moment réglementaires
 - **VMC simple flux**
 - **Hygroréglable**
 - **Double flux**

Conception des espaces intérieurs

Ventilation mécanique des locaux

VMC simple flux: moins coûteuse l'inconvénient majeur est la perte de chaleur, celle-ci envoyant de l'air chaud de l'intérieur vers l'extérieur

Les VMC simple-flux autoréglables ont des débits d'air constants quelles que soient les conditions extérieures (vent, pluie) et intérieures (nombre d'occupants, humidité).



groupe d'aspiration (4), généralement dans les combles de la maison. Des voies d'amené d'air frais (2), souvent intégrées aux fenêtres des pièces à vivre

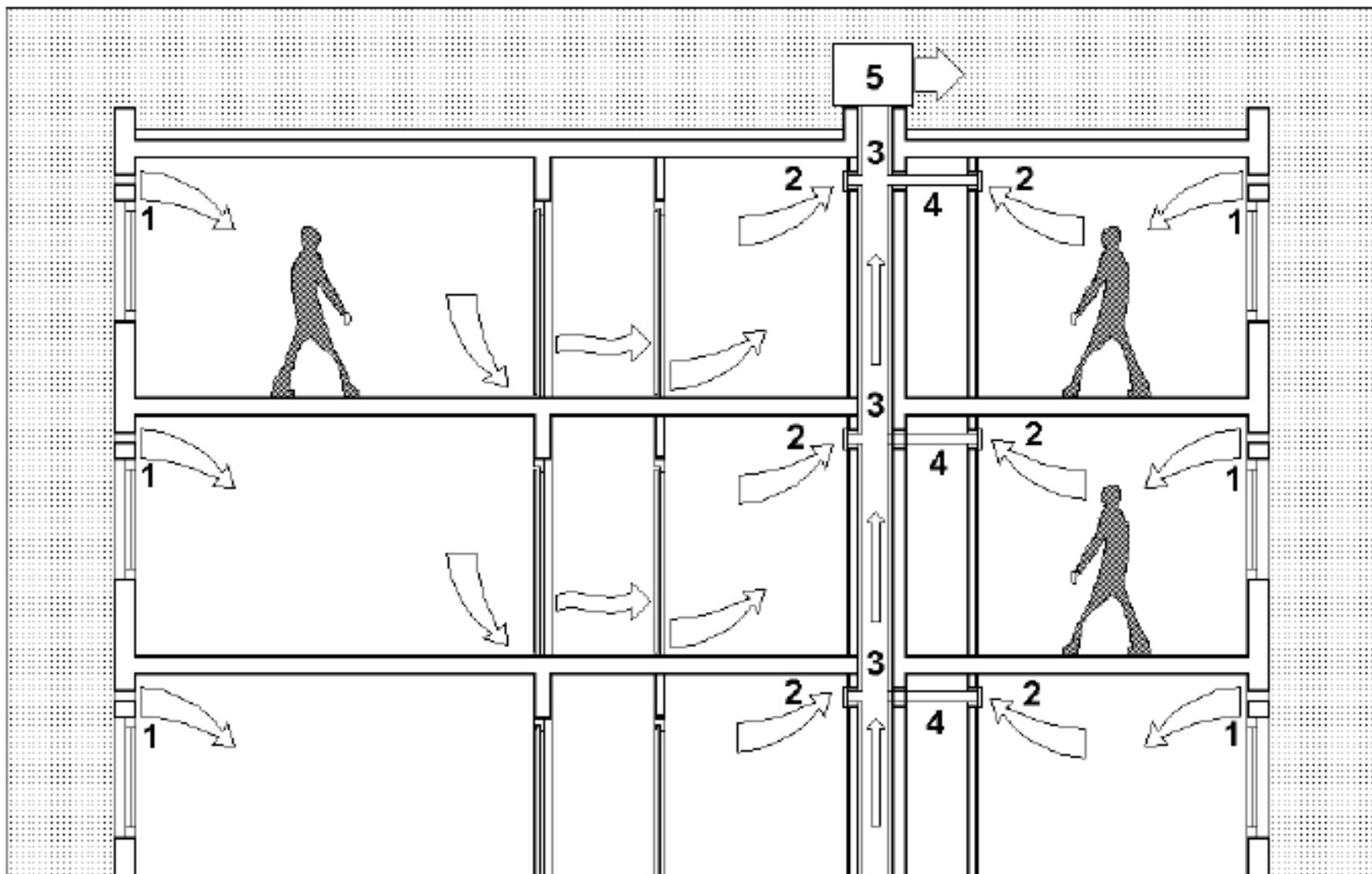
Dans les pièces dites humides, sont installées des bouches d'évacuation d'air (1),

Ces bouches d'évacuation sont directement raccordées aux entrées du groupe VMC par des gaines souples (3)

une bouche de toit (5), afin d'évacuer vers l'extérieur, l'air aspiré par le groupe et est raccordé à la sortie du groupe

Les groupes de VMC simple flux ont généralement deux vitesses de fonctionnement. Une petite vitesse pour l'usage quotidien, et une grande en cas d'humidité excessive liée à certaines occasions (ex : douche). La commande petite/grande vitesse est réalisée via un interrupteur type "va et vient" installé le plus souvent dans la cuisine ou la salle de bain.

Pour que la VMC soit efficace, il est important qu'elle fonctionne en permanence, de même que le bas de vos portes intérieures doivent laisser un espace d'environ 1 cm entre le bas de la porte et le sol afin que l'air puisse suffisamment circuler portes fermées.



1 bouches d'entrée d'air autoréglables

2 bouches d'extraction

3 conduit collectif vertical

4 conduit individuel horizontal

5 caisson d'extraction

exemple de VMC simple flux dans un immeuble de logements

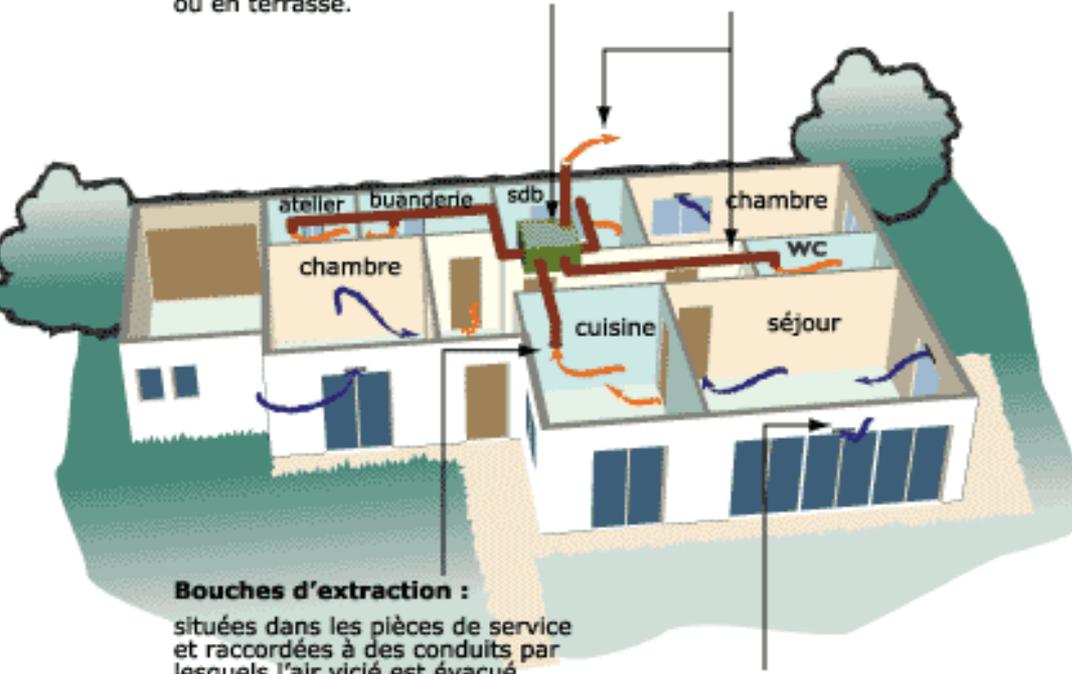
Conception des espaces intérieurs Ventilation des locaux

Groupe d'extraction :

Ventilateur qui extrait l'air des pièces de service.
En général installé dans les combles ou en terrasse.

Conduits :

liaison entre les bouches et le ventilateur, puis le ventilateur et l'extérieur.



Bouches d'extraction :

situées dans les pièces de service et raccordées à des conduits par lesquels l'air vicié est évacué à l'extérieur. Leur débit peut être fixe, réglable, hygroréglable...

Entrées d'air :

situées dans les pièces de vie, en général placées en partie haute des menuiseries ou dans les coffres des volets roulants. Elles peuvent être autoréglables, hygroréglables ou acoustiques quand elles limitent la pénétration du bruit extérieur dans le logement.

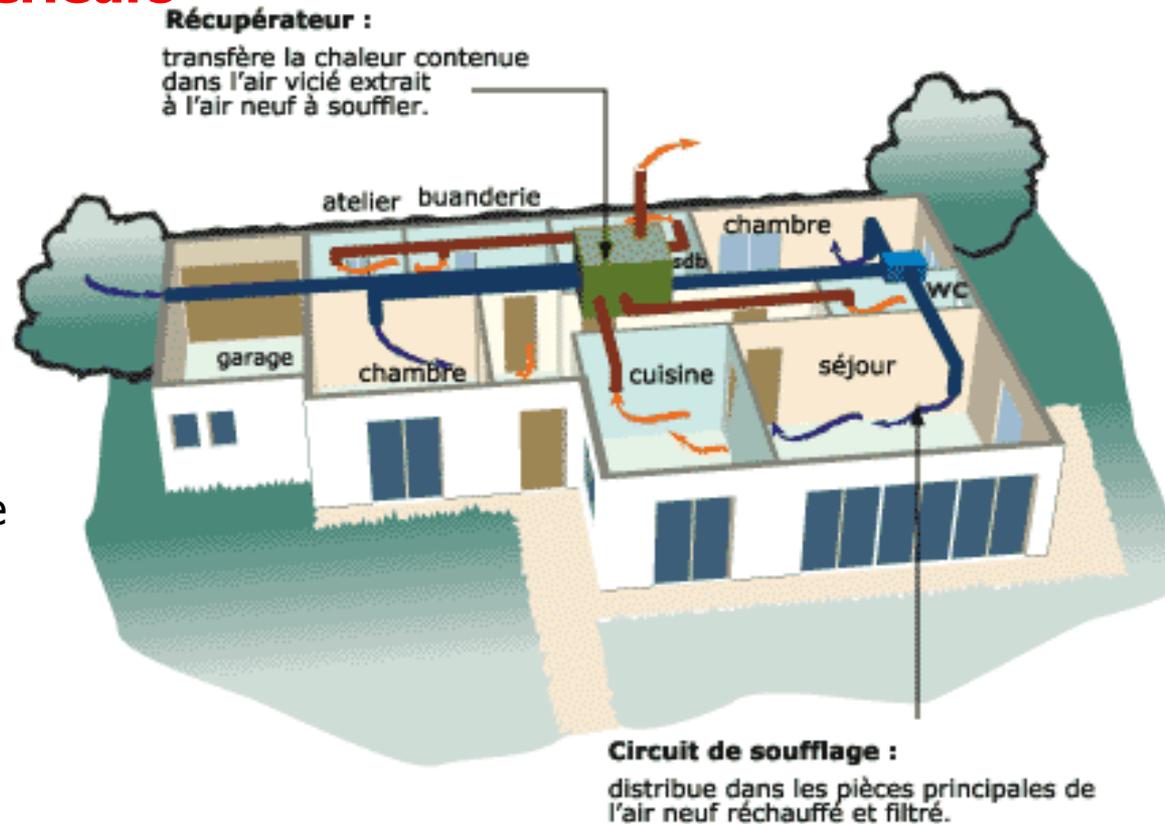
VMC hygroréglables

- Variante du simple flux
- voient leur débit d'air varier en fonction de l'humidité intérieure, ce qui permet de garantir l'évacuation plus rapide d'un air très humide tout en limitant les gaspillages (ventilation adaptée aux besoins).
- Les bouches d'extraction sont conçues pour être automatiquement réglables en fonction de l'hygrométrie intérieure des pièces

Conception des espaces intérieurs

Ventilation mécanique Double flux

- Ce système permet de limiter les pertes de chaleur inhérentes à la ventilation : il **récupère la chaleur** de l'air vicié extrait de la maison et l'utilise pour **réchauffer l'air neuf filtré** venant de l'extérieur. Un ventilateur pulse cet air neuf préchauffé dans les pièces principales par le biais de bouches d'insufflation. Cet équipement est plus coûteux qu'une VMC simple-flux, mais il permet des **économies de chauffage** importantes :
 - en récupérant jusqu'à 70 % (90 % dans les systèmes haute performance) de l'énergie contenue dans l'air vicié extrait ;
 - en profitant de la chaleur dégagée par la cuisson ou la toilette.



Même réseaux qu'un simple flux sauf que les entrées d'air ne sont pas réalisées en façade L'air neuf est pulse vers les pièces principales par un réseau d'insufflation L'air insufflé peut être chauffé ou refroidi
Climat chaud et sec : refroidissement par humidification adiabatique

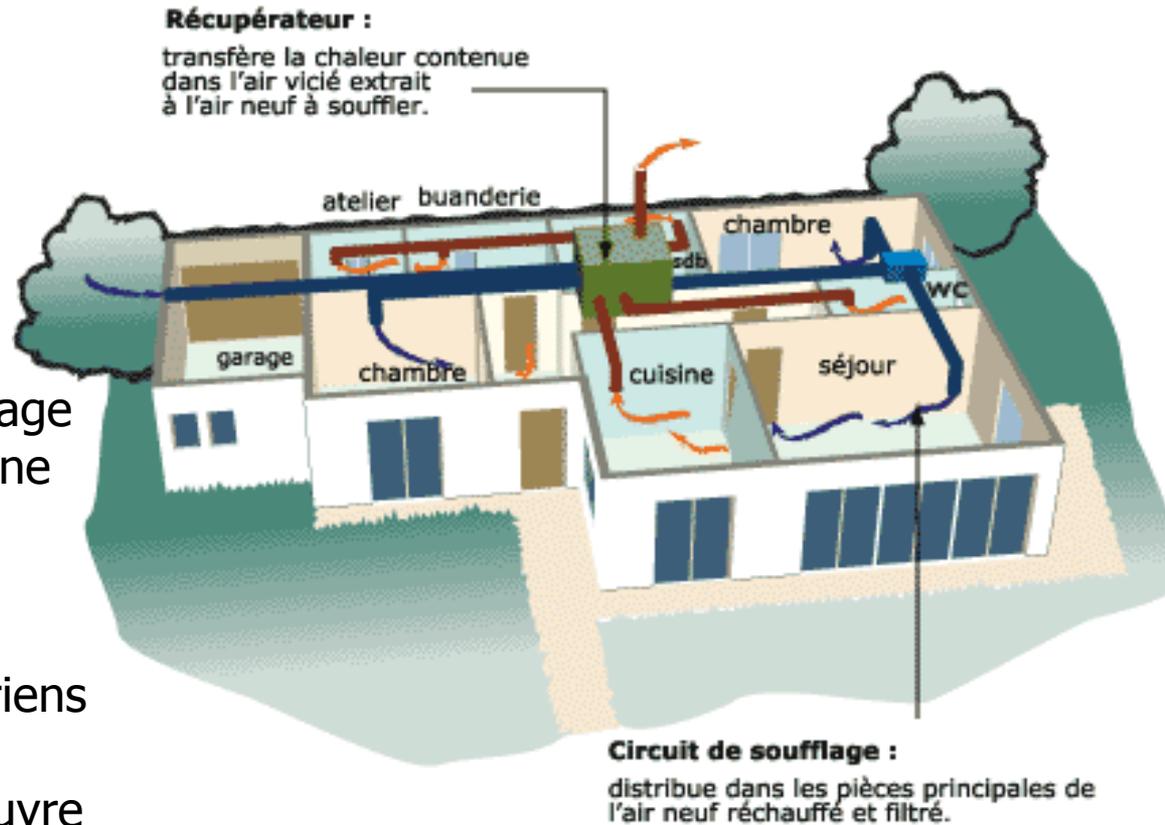
Conception des espaces intérieurs

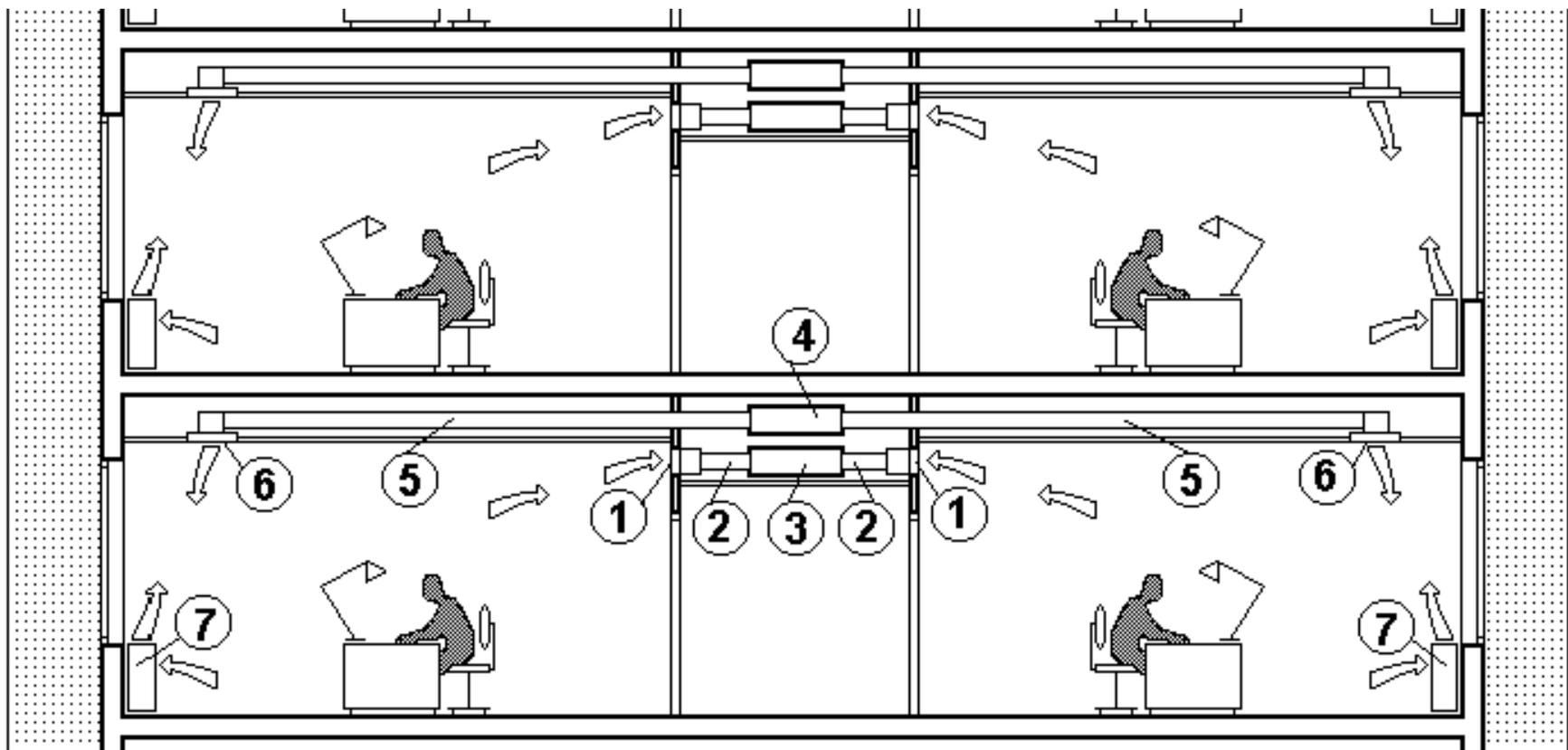
Ventilation mécanique

Double flux

La prise d'air neuf permet le filtrage de l'air intéressant lorsque la zone est polluée ou poussiéreuse
Suppression d'entrées d'air en façade permet une meilleure étanchéité à l'air et au bruits aériens externes.

- + de Complexité de mise en œuvre
- Coût + élevé
- Frais d'entretien et de maintenance





- 1 bouche d'extraction**
- 2 conduit individuel d'extraction**
- 3 conduit collectif d'extraction**
- 4 conduit collectif d'air neuf éventuellement chauffé ou rafraîchi (les conduits d'insufflation sont alors isolés thermiquement)**
- 5 conduit individuel de soufflage**
- 6 bouche de soufflage**
- 7 ventilo-convecteur pour le chauffage ou le rafraîchissement de la pièce**

exemple de ventilation double flux pour un immeuble de bureaux

Conception des espaces intérieurs

La **VMC-gaz** évacue par le même réseau l'air vicié du logement et les produits de combustion d'une chaudière ou d'un chauffe-eau à gaz.

- La **ventilation mécanique répartie** (VMR) est constituée d'**aérateurs individuels** placés dans les pièces de service. Elle fonctionne selon le même principe qu'une VMC (balayage de l'air depuis les pièces principales jusqu'aux pièces de service d'où il est rejeté, en passant sous les portes de communication).

Ce système convient en **rénovation**, quand la pose d'une VMC est trop problématique. Il existe des modèles d'aérateurs silencieux et consommant peu d'électricité.

type de ventilation

avantages

inconvénients

VMC simple-flux autoréglable

- débit d'air entrant constant
- avec des entrées d'air acoustiques, diminution des nuisances sonores extérieures

- ne prend pas en compte l'humidité intérieure

VMC simple-flux hygroréglable

- débit d'air entrant variable en fonction de l'humidité, donc de l'occupation et des activités
- économies d'énergie par rapport à la précédente
- avec des entrées d'air acoustiques, diminution des nuisances sonores extérieures

- système plus coûteux à l'achat qu'une VMC simple flux autoréglable
- conçue pour réagir à l'humidité, pas d'efficacité supplémentaire pour les polluants chimiques

VMC

- économies d'énergie par

- système le plus coûteux

VMC double-flux

- économies d'énergie par récupération de calories
- filtration de l'air entrant
- sensation de courant d'air froid supprimée
- isolation acoustique du dehors
- préchauffage ou rafraîchissement de l'air entrant

VMR

- solution pour la rénovation
- pas de conduits et de gaines à entretenir, organes à nettoyer facilement accessibles

Ventilation naturelle

- investissement variable

- système le plus coûteux à l'achat
- bruit des bouches d'insufflation, en particulier dans les chambres, en cas de mauvaise conception

- présence d'un groupe d'extraction dans chaque pièce de service (encombrement, esthétique)
- bruit de certains ventilateurs

- soumise aux aléas climatiques

- pertes d'énergie l'hiver