

UNIVERSITE DE BISKRA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

Master I: Architecture et Environnement

Matière: Sciences Pour L'architecture

COURS N° 02

CONFORT THERMIQUE

Deuxième partie

Par: Melle Hamel khalissa

Références

- MAZOUZ, Said. **Confort thermique**. Département d'architecture de l'université de Biskra, 1^{ère} Année Post-graduation, Cours, 55 p.
- SAÏD, Noha. **La notion de confort thermique: entre modernisme et contemporain, Cours [en ligne]. Grenoble: ENSA. Publication ENSAG**, Cours, 2010, 60p. Disponible sur:(<http://www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=said-cours>)
- CHOUDIN J, MORICE C, KECHICH N. **Ambiance thermique. Notions de confort thermique**, Cours des facteurs d'ambiance, Université de la Méditerranée, 2003/2004. Disponible sur: < http://www.sante-securite-paca.org/risques_prevention/conception_locaux_de_travail/pdf/ambiance_thermique.pdf >
- BOUTABA, Samir Djemoui. **Confort thermique urbain entre mesure et perception**. Mémoire de Magistère en Architecture. Biskra: Département d'architecture, université de Biskra, 2007, 391p.
- SZOKOLAY S. V., **Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design**. Architectural Press, AMSTERDAM, BOSTON, HEIDELBERG, LONDON, NEW YORK, OXFORD, PARIS, SAN DIEGO, SAN FRANCISCO, SINGAPORE, SYDNEY, TOKYO, 2008.
- LIÉBARD A. & DE HERDE A.,Ed. **Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatiques**, Obser'ER, Paris, 2005.
- CHATELET Alain, FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre, **Architecture climatique, une contribution au développement durable**, Edisud, Aix-en-Provence, 1998.
- GIVONI B., **L'homme, l'architecture et le climat**, Éditions du Moniteur, Paris, 1978.
- M. Millanvoye. **L'ambiance thermique. Paris: CNAM Paris – Ergonomie – Cours B1 – 2002-2003**, 34p.

Références

- HAJ HUSSEIN, Muhannad. *Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens*. Thèse de Doctorat en Mécanique. Bordeaux: UNIVERSITÉ BORDEAUX 1, 2012, 297p.
- BENHALILOU, Karima. *Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment, cas du climat semi aride*. Thèse de magistère en architecture. Constantine: Département d'architecture et d'urbanisme, Université de Constantine, 2008, 253p.

COURS N° 02

CONFORT THERMIQUE

Introduction

1. Bilan thermique et confort
2. Facteurs de confort
3. Mécanismes d'ajustement
4. Indices de confort, zone de confort

COURS N° 02

CONFORT THERMIQUE

Deuxième partie

3. Mécanismes d'ajustement

4. Indices de confort, zone de confort

3. Mécanismes d'ajustement

Lutte physiologique contre les ambiances chaudes et froides

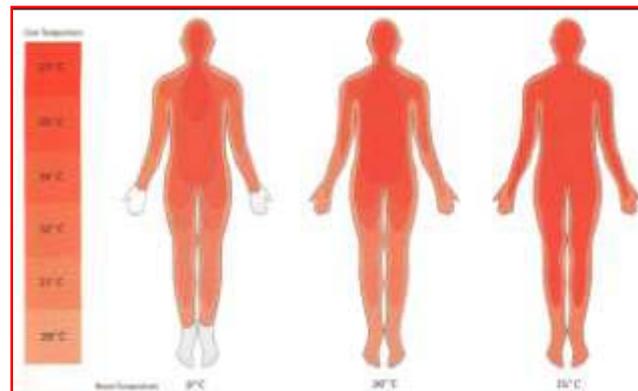
3. Mécanismes d'ajustement

*La réaction du corps à la température***Une ambiance froide produit :**

- Une contraction des vaisseaux
- Un frissonnement pour augmenter la production de chaleur

Une ambiance chaude produit :

- Une dilatation des vaisseaux sanguins
- Une augmentation de la circulation sanguine
- Une sudation



(Source: Said Noha , 2010)

3. Mécanismes d'ajustement

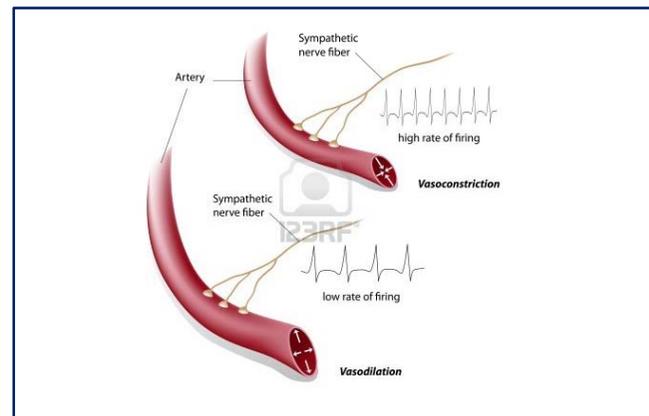
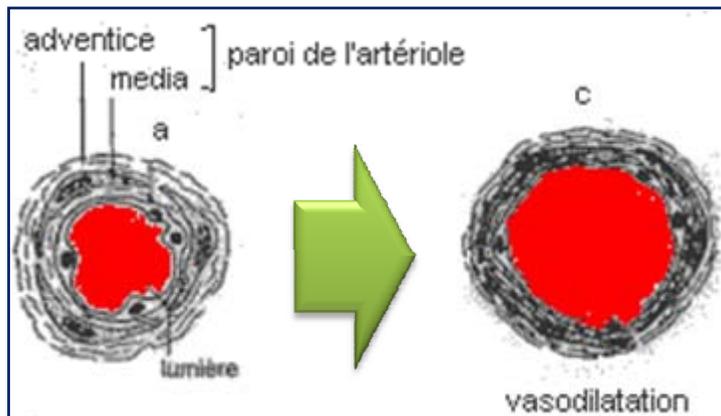
01 La vasodilatation

C'est le premier mécanisme de lutte mis en œuvre face à une ambiance chaude. C'est un mécanisme surtout efficace au repos puisque l'exercice physique augmente la quantité de sang vers les muscles rendant la vasodilatation difficile.

Elle consiste à favoriser le passage du sang au niveau des couches cutanées grâce à l'augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins pour y permettre les échanges de chaleur et donc de refroidir la peau (Perte de calorie par le mécanisme de convection).

La vasodilatation entraîne une diminution de l'apport sanguin dans la sphère digestive ainsi qu'une diminution de la filtration rénale. Le muscle cardiaque et le système nerveux restent des organes fortement irrigués.

(source: CHOUDIN. J et al, 2003-2004)



3. Mécanismes d'ajustement

02 La sudation

L'exercice physique limitant la vasodilatation, l'organisme fait intervenir la sudation. C'est le moyen le plus efficace de lutter contre la chaleur. Cependant, une attention toute particulière doit être apportée sur la conception des vêtements de travail car ceux-ci peuvent entraver ce phénomène (la perte de calories par évaporation).

Ce phénomène est limité par la "**sudation maximale**" (S Max) qui est la quantité maximale de sueur qu'un sujet donné peut fournir (à peu près 4 litres pour 8 heures).

La sudation entraîne par ailleurs une perte importante d'eau et de sels divers. La déshydratation de l'organisme doit être limitée à 4 à 6 % du poids du corps. Une perte sudorale maximale admissible (D max) a été fixée. Celle-ci ne doit pas dépasser 1,5 L/h.

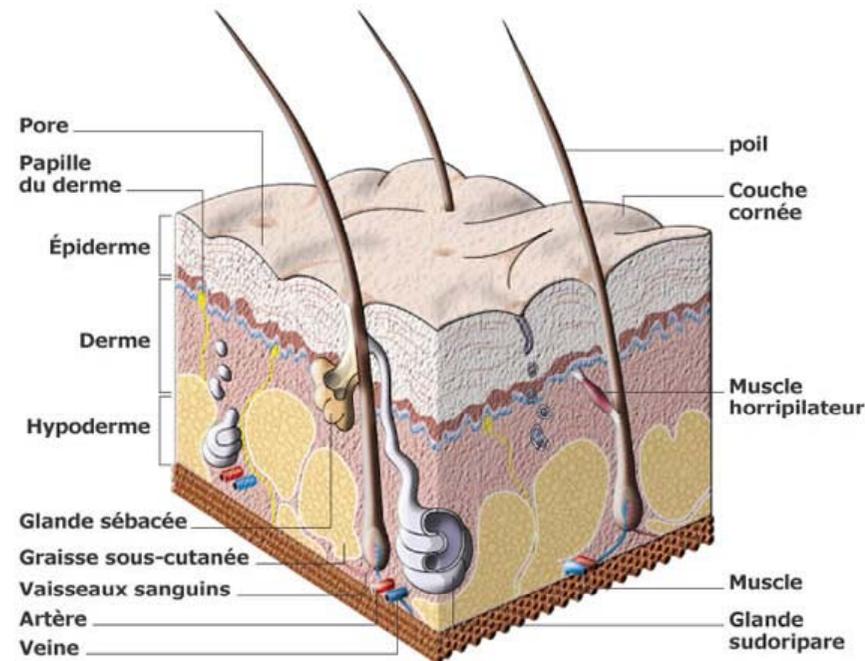
(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)



3. Mécanismes d'ajustement

02

La sudation



Cette sudation est rendue possible grâce aux glandes sudoripares qui vont puiser l'eau et le sel dans le sang. Les glandes vont ensuite de façon pulsative faire remonter l'eau et le sel à la surface de la peau pour que l'eau soit évaporée. Cette eau puise la chaleur de l'organisme pour passer à l'état gazeux et se diluer dans l'air ambiant.

(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)

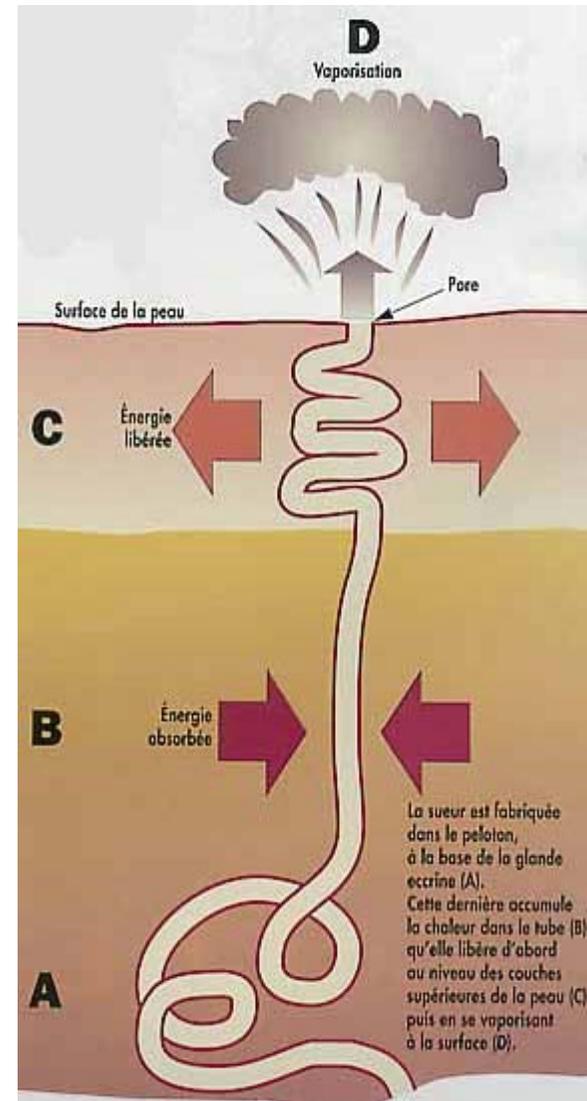
3. Mécanismes d'ajustement

02 La sudation

Dès lors la sudation est dépendante de la saturation de l'air en humidité. Si l'atmosphère est fortement humide, le processus de sudation ne sera pas efficace et contribuera au déséquilibre du bilan thermique. Ce phénomène est observé dans les saunas pour lesquels une durée d'exposition a été fixée.

La sudation apparaît toujours après un délai qui dépend de la charge de chaleur et de l'acclimatation du sujet. En cas de forte amplitude thermique ou de début d'un exercice musculaire, le délai est d'environ dix minute.

(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)



3. Mécanismes d'ajustement

03 L'acclimatation

L'exposition régulière à la chaleur va déclencher une acclimatation du sujet, c'est à dire :

- Déclenchement de la sudation plus rapide,
- Débit sudoral plus important,
- Efficacité thermolytique plus grande.

Ceci a pour conséquence de baisser la température rectale, la fréquence cardiaque et de permettre une meilleure performance pour l'opérateur. L'attention sera portée vers les processus de déshydratation, dangereux pour l'opérateur malgré l'acclimatation.

Les normes prennent en compte l'acclimatation du sujet dans l'évaluation de la contrainte thermique. D'une manière générale, le lapse de temps à cette dernière est d'environ 15 jours.

(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)

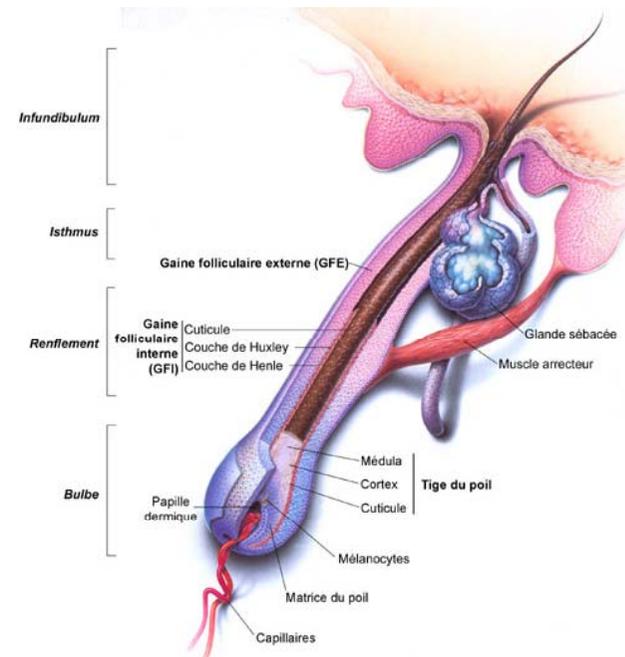
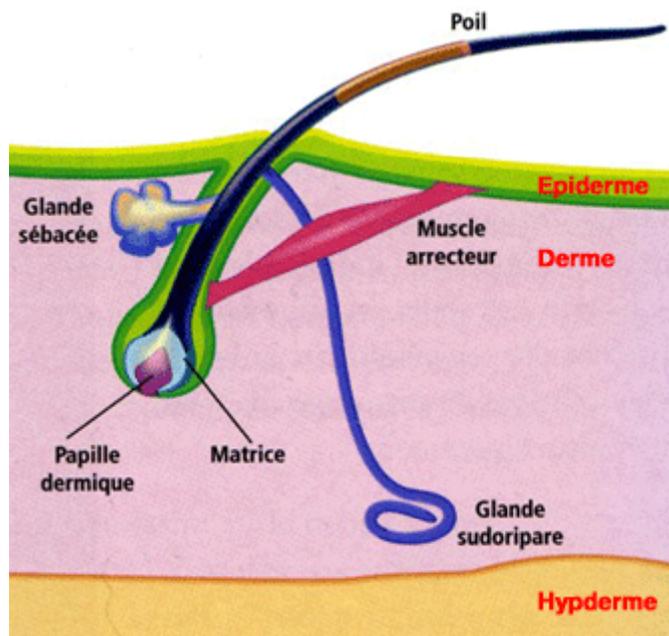
3. Mécanismes d'ajustement

04 Le frissonnement

Les muscles horripilateurs libèrent, face au froid, de la chaleur en soulevant un poil, ce qui donne une sensation de « chair de poule ».

Ce mécanisme peut s'amplifier jusqu'à provoquer la contraction de gros muscles: c'est le frissonnement. Il a pour objectif le dégagement de chaleur.

(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)



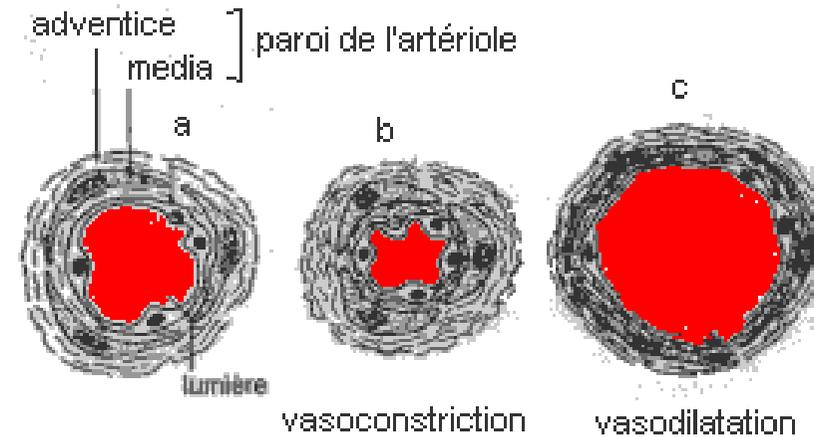
3. Mécanismes d'ajustement

05 La vasoconstriction

Le diamètre des capillaires sanguins, situés sous la peau soumises au froid, va se réduire. Ainsi le volume de sang exposé au froid diminue (l'échange par convection diminue). Parallèlement le sang chaud réchauffe le sang froid en profondeur.

Ce mécanisme est peut efficace car les tissus extérieurs doivent être irrigués pour ne pas entraîner de gelure.

(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)



Normal blood flow



Restricted blood flow



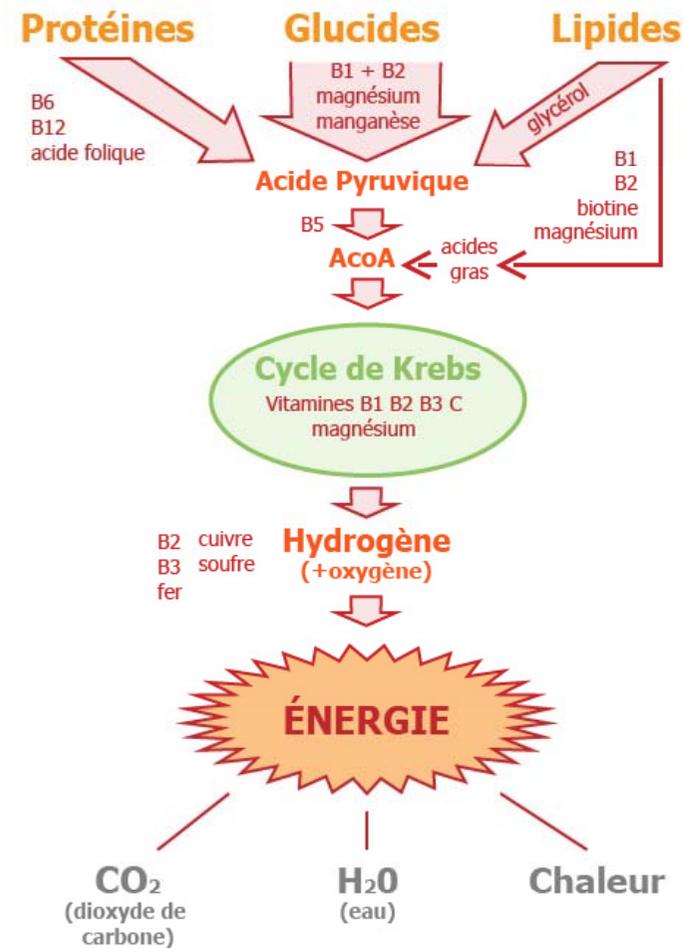
3. Mécanismes d'ajustement

06 Augmentation du métabolisme de base

Le corps va libérer des hormones qui accélèrent les réactions enzymatiques et ainsi augmenter la production de chaleur générale.

Il faut noter que les mécanismes hormonaux mettent environ une semaine pour lutter et s'adapter efficacement contre le froid. Durant cette phase d'adaptation, l'opérateur nécessite une surveillance particulière.

(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)



3. Mécanismes d'ajustement

PATHOLOGIES LIEES AUX AMBIANCES CHAUDES ET FROIDES

D'une manière générale, les effets dus aux contraintes thermiques chaudes et froides sont accompagnés d'une diminution des capacités mentales et physiques des opérateurs.

➤ Ambiance chaude:

- 1) Augmentation du rythme des battements du **cœur** entraînant un risque de syncope
- 2) Déficit en eau et en sels consécutifs à une transpiration excessive. Ceci entraîne une augmentation de la température du corps ainsi que **fatigue, vertiges, nausées**
- 3) Affection cutanée: **brûlure, rougeur**
- 4) Coup de chaleur avec perte de connaissance pouvant entraîner la **mort** (appelé syncope de chaleur)

(CHOUDIN. J et al, 2003-2004)

3. Mécanismes d'ajustement

PATHOLOGIES LIEES AUX AMBIANCES CHAUDES ET FROIDES

➤ Ambiance froide:

- 1) Chute de la **dextérité** articulaire
- 2) **Pâleur extrême** due à une faible irrigation sanguine de la peau
- 3) **Gelures**
- 4) Baisse de la température (hypothermie) pouvant conduire à une atteinte du **système nerveux** et des **perturbations respiratoires**
- 5) Augmentation de la pression artérielle et des risques **d'accident cardiaques** (lié à la vasoconstriction).

4. Indices de confort, zone de confort

Stratégies d'évaluation du confort thermique

4. Indices de confort, zone de confort

Stratégies d'évaluation du confort thermique

Il existe en littérature un certain nombre de méthodes dites d'évaluation du confort thermique, basées sur des expérimentations menées par différents chercheurs et mettant en œuvre différents paramètres de détermination du confort thermique. Plusieurs méthodes de combinaison ont été développées par les chercheurs pour la manipulation simultanée des variables du confort. Parmi ces méthodes, on peut citer quelques unes :

1. **PMV**
2. **PPD**
3. **Température Effective**
4. **Température résultante**
5. **Indice de confort équatorial**
6. **Indice de contrainte thermique**
7. **Température opérative**
8. **Méthode du B.R.S.**
9. **Diagrammes bioclimatiques (Givoni, Olgyay, Mahoney... Etc.)**

(Mazouz Said, sans date)

4. Indices de confort, zone de confort

1) L'indice de vote moyen prévisible (PMV)

(Predicted Mean Vote)

- Cet indice permet d'évaluer le niveau de confort thermique atteint dans un local
- soit, pour une situation donnée, de fixer la température de confort thermique optimale.

4. Indices de confort, zone de confort

1) L'indice de vote moyen prévisible (PMV)

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:

+3 chaud
+2 tiède
+1 légèrement tiède
0 neutre
-1 légèrement frais
-2 frais
-3 froid

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 et réciproquement une valeur positive signale qu'elle est plus élevée. On considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraîcheur à la sensation de légère chaleur, soit de -1 à +1.

(Mazouz Said, sans date, LIÉBARD A. & DE HERDE A, 2005)

4. Indices de confort, zone de confort

2) Le pourcentage prévisible d'insatisfaits PPD

(PPD - Predicted Percentage Dissatisfied)

«Il est plus simples d'évaluer le manque de confort que le confort»
(*W. Rybczynski*)

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits PPD

Donne, en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à la situation.

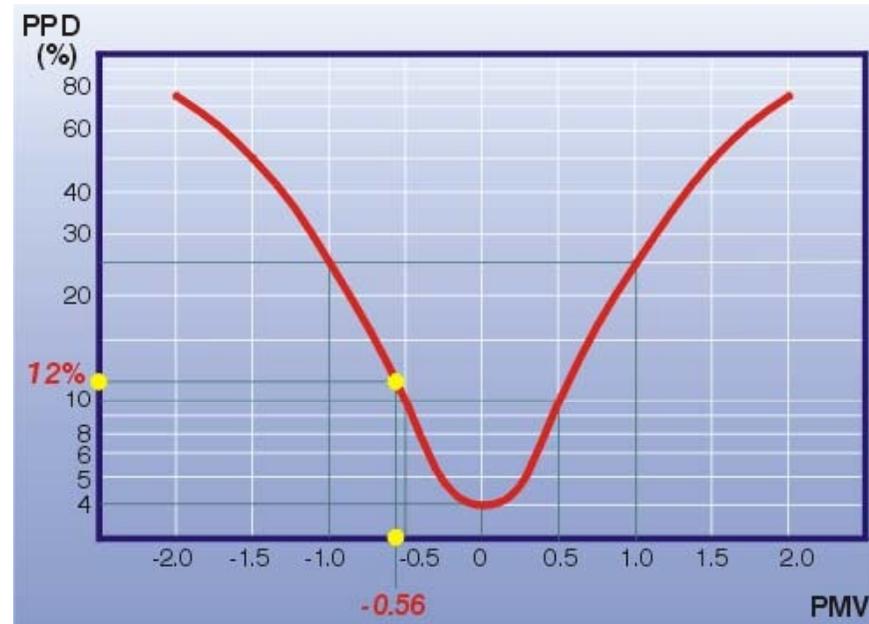
(Mazouz Said, sans date, LIÉBARD A. & DE HERDE A, 2005, Said Noha, 2010)

4. Indices de confort, zone de confort

2) Le pourcentage prévisible d'insatisfaits PPD

(PPD - Predicted Percentage Dissatisfied)

Connaissant **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%, le PMV doit se situer entre -0,5 et +0,5.



➤ plus le pourcentage de PPD est grand (nombre d'individus qu'on est prêt à accepter) plus l'intervalle de PMV est étendu.

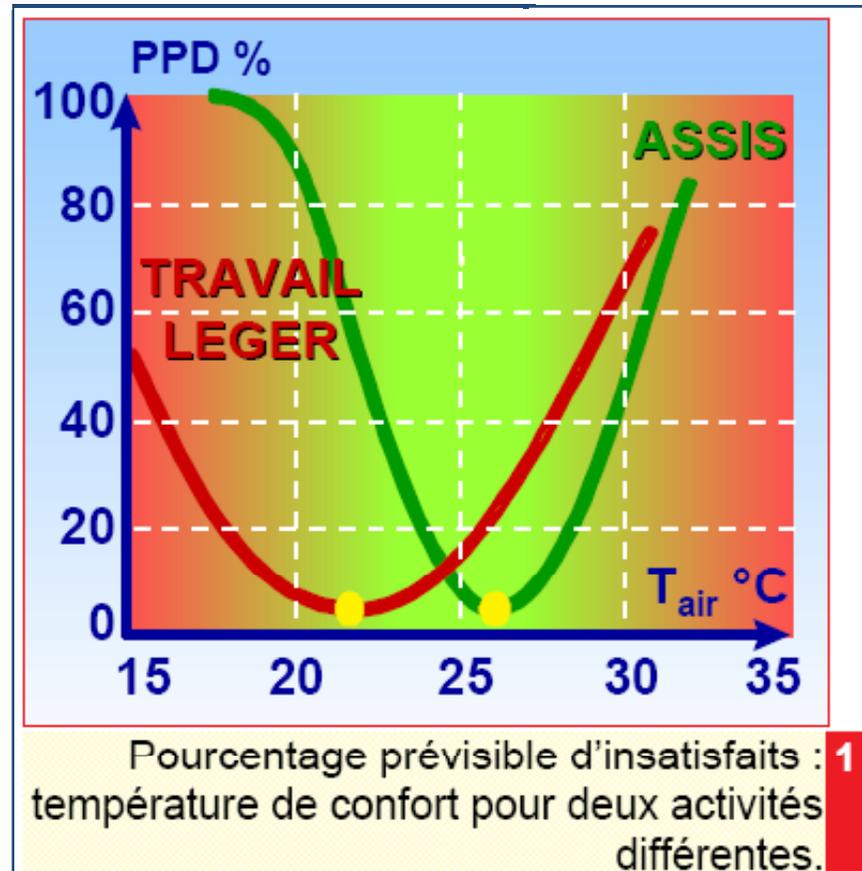
(Mazouz Said, sans date, LIÉBARD A. & DE HERDE A, 2005)

4. Indices de confort, zone de confort

2) Le pourcentage prévisible d'insatisfaits PPD

Exemple d'évaluation

La figure ci-contre considère le sentiment de confort thermique exprimé par les sujets eux-mêmes. Il s'agit de pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD), exprimés sur l'axe vertical, pour des personnes au repos en position assise (celle qui font la sieste au bureau, par exemple !), ou pour des personnes effectuant un travail léger (= travail de bureau).



(LIÉBARD A. & DE HERDE A, 2005)

4. Indices de confort, zone de confort

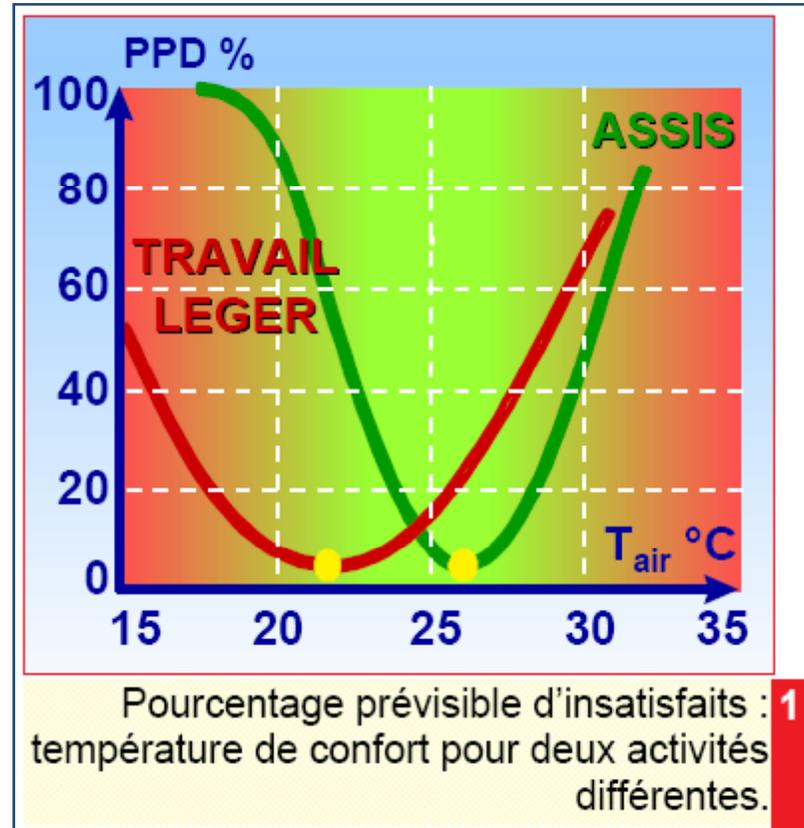
2) Le pourcentage prévisible d'insatisfaits PPD

Exemple d'évaluation

Il est impossible de définir une température qui convienne à tous : il reste au mieux 5 % d'insatisfaits.

Il est intéressant de constater que la courbe des sujets au repos est centrée sur 26°C, et qu'elle est plus resserrée : **ces personnes sont plus sensibles à de faibles variations de température.**

La courbe représentant le travail léger glisse vers les basses températures : les personnes ayant plus de chaleur à perdre préfèrent des températures plus basses.



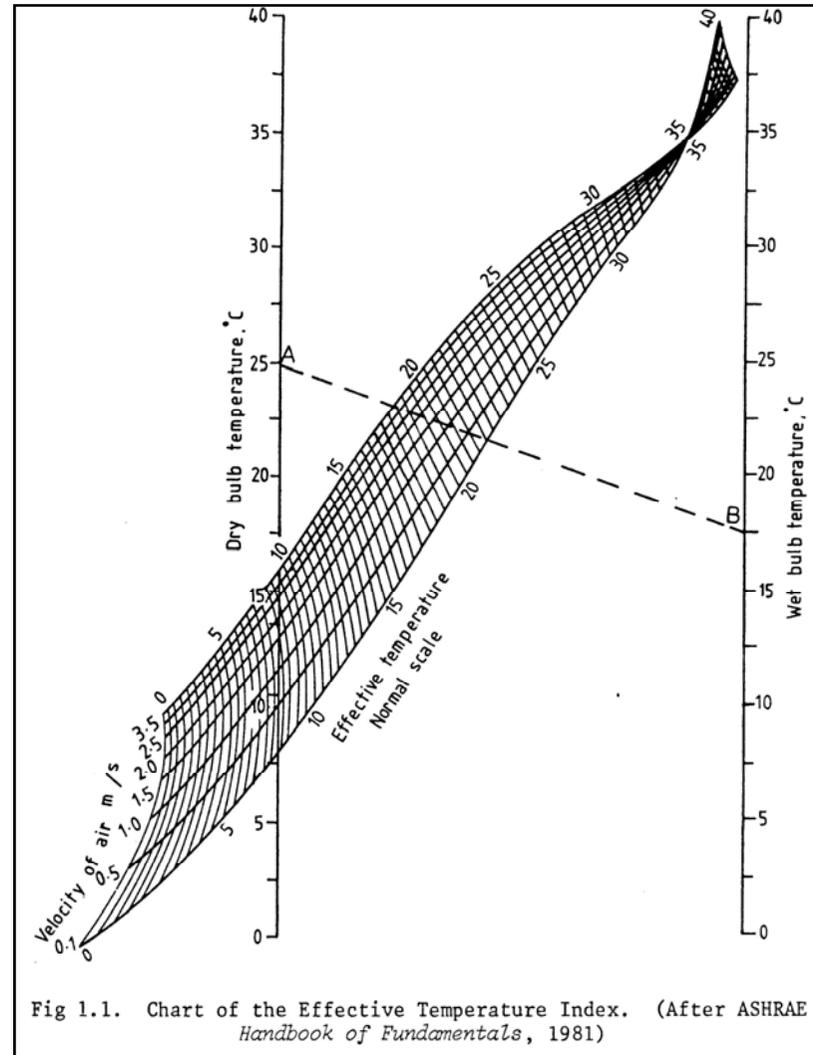
(LIÉBARD A. & DE HERDE A, 2005)

4. Indices de confort, zone de confort

3) Indice de la température Effective

Cet indice a le mérite de la simplicité et n'exige pas d'instrumentation sophistiquée. L'indice a été effectivement utilisé pour prescrire la limite des contraintes thermiques sur les recrues marines non acclimatées aux USA. Il a été recommandé que la formation des recrues devrait cesser quand l'indice a atteint **29.4°C** et toute l'activité ardue devrait être interrompue quand l'indice était **31.1°C** ou plus. Cependant, il faut signaler que l'emploi de cet indice dans la comparaison de différentes ambiances, ou dans le choix d'alternatives pour la conception des bâtiments et du conditionnement d'air, peut en certains cas conduire à des conclusions erronées.

(Mazouz Said, sans date, Givoni, 1978)

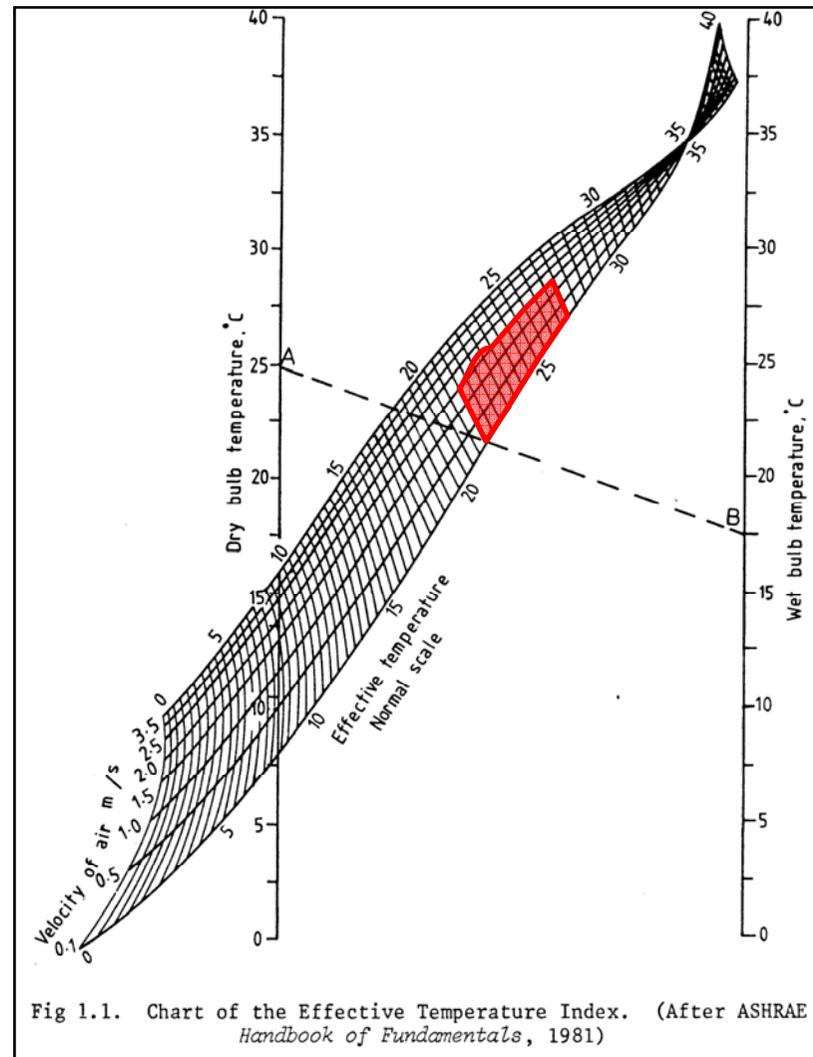


4. Indices de confort, zone de confort

3) Indice de la température Effective

L'indice inclue les facteurs de: la température de l'air, l'humidité et la vitesse de l'air.

L'indice exige que les limites de confort doivent être établie pour chaque emplacement, zone ou région et que 22 à 27°C sont supposées les limites de confort pour les Tropiques.



4. Indices de confort, zone de confort

4) Indice de la température Résultante

L'indice de la température résultante, développé par Missenard (1948), est basé sur la supposition qu'une base plus solide pour un indice thermique serait formée par des expériences dans lesquelles l'équilibre thermique est réalisé entre le corps et l'environnement, afin que les effets d'humidité et du vent puissent être trouvés. À travers des résultats expérimentaux est issu un diagramme pour le corps vêtu.

La rangée des facteurs climatiques couverte par la température résultante est une température de l'air comprise entre 20-45°C, une température humide comprise entre 18 et 40°C et une vitesse de l'air entre 0 et 3 m/s.

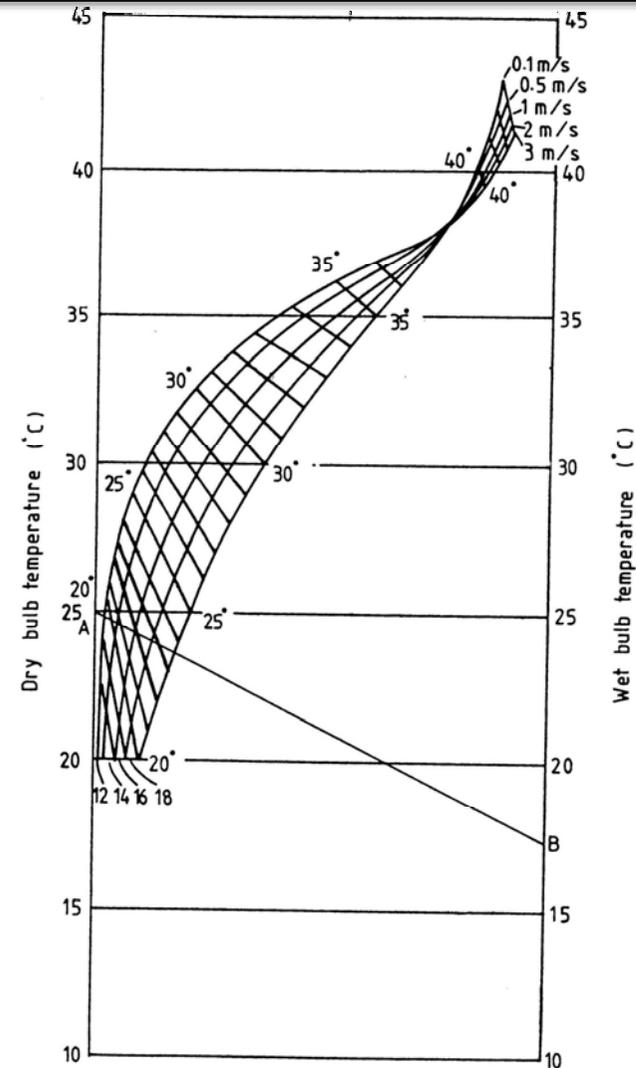


Fig. 1.2. Chart of the resultant temperature index. (after Missenard, 1948)

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

5) La Température efficace

Cette échelle a été développée par Houghton et Yaglou en premier lieu (1923). Les facteurs qu'elle inclut sont la température de l'air, l'humidité et la vitesse de l'air. Deux échelles ont été développées, une pour les hommes dévêtus jusqu'à la taille, appelée l'échelle de base et l'autre pour les hommes vêtus d'habits d'intérieur, appelée l'échelle normale de température efficace. L'unité, ou base, de l'indice E.T. est la température de l'air immobile saturé avec une vitesse moyenne 0.12 m/s. Toute combinaison de température de l'air, humidité et vitesse de l'air ayant une valeur donnée de l'E.T. est supposé produire la même sensation thermique qui est éprouvée dans l'air immobile saturé à la même température comme la valeur de l'indice.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

6) Indice de Contrainte thermique

En 1978 Givoni fait appel à l'indice de contrainte thermique (ICT). Il s'agit d'un modèle biophysique décrivant les mécanismes d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement, à partir duquel la contrainte thermique totale s'exerçant sur le corps (métabolisme + ambiance) peut être calculé selon la formule :

$$S = (M - W) + C + R \frac{1}{f}$$

Où :

S : taux de sudation requis, (en équivalent kcal/h),

M : métabolisme, (kcal/h),

W : énergie métabolique transformé en travail mécanique, (kcal/h),

C : échange de chaleur convective, (kcal/h),

R : échange de chaleur radiante, (kcal/h),

f : efficacité de refroidissement de la sueur, (sans dimension).

4. Indices de confort, zone de confort

6) Indice de Contrainte thermique

Au-dessus de la zone de confort, le taux de sudation requis pour maintenir l'équilibre thermique peut également être trouvé, tant que le corps peut rester en équilibre (avec une température rectale élevée mais constante). Au-dessous de la zone de confort, l'indice prend une valeur négative indiquant une contrainte frigorigique.

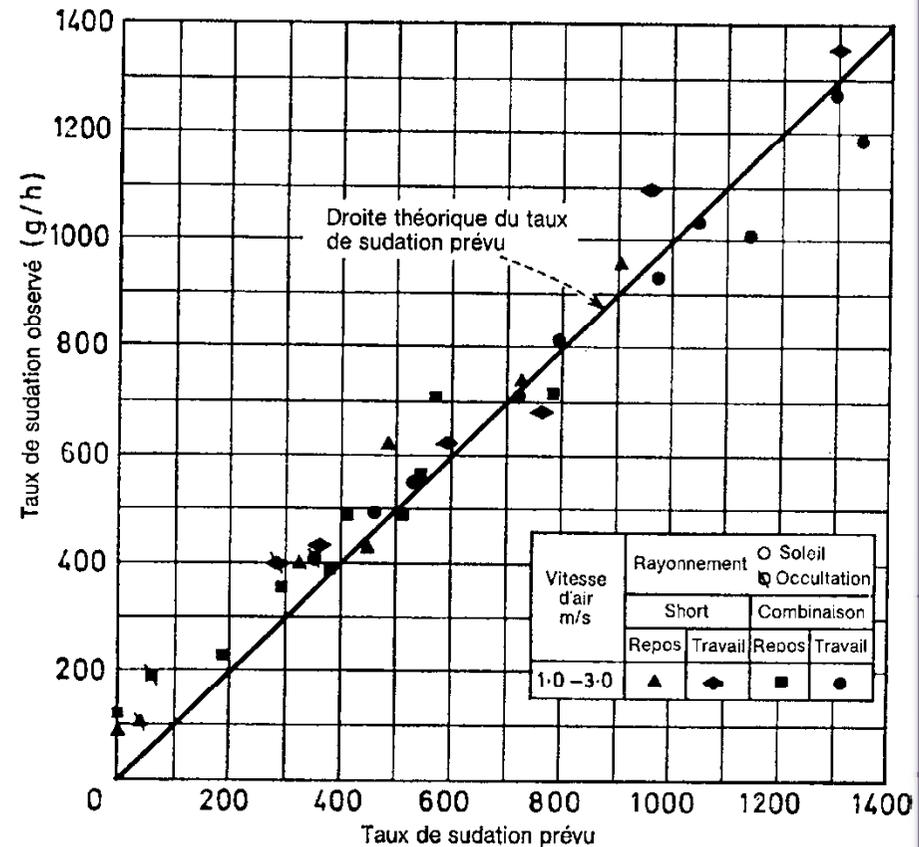


Fig. 16. — Mesures du taux de sudation sous l'exposition au rayonnement solaire et corrélation avec l'indice de la contrainte thermique

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

7) La température opérative

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") :

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

NB: Cette relation simple s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

4. Indices de confort, zone de confort

7) La température opérative

Activité	Métabolisme (en met)	Résistance thermique du vêtement (en clo)	Température opérative (en °C)
Repos, sommeil	0,8	2,2	18 (±3)
Activité sédentaire	1	1,5	20(±2,5)
Activité légère	2	1	16 (±3)
Activité forte	3	1	10 (±4)
Hygiène personnelle	1,4	0	27 (±1)

Les valeurs extrêmes de chaque plage de température correspondent à un taux de satisfaction réduit, 10% des usagers exprimant une sensation d'inconfort.

$$1\text{met} = 58,2\text{W/m}^2$$

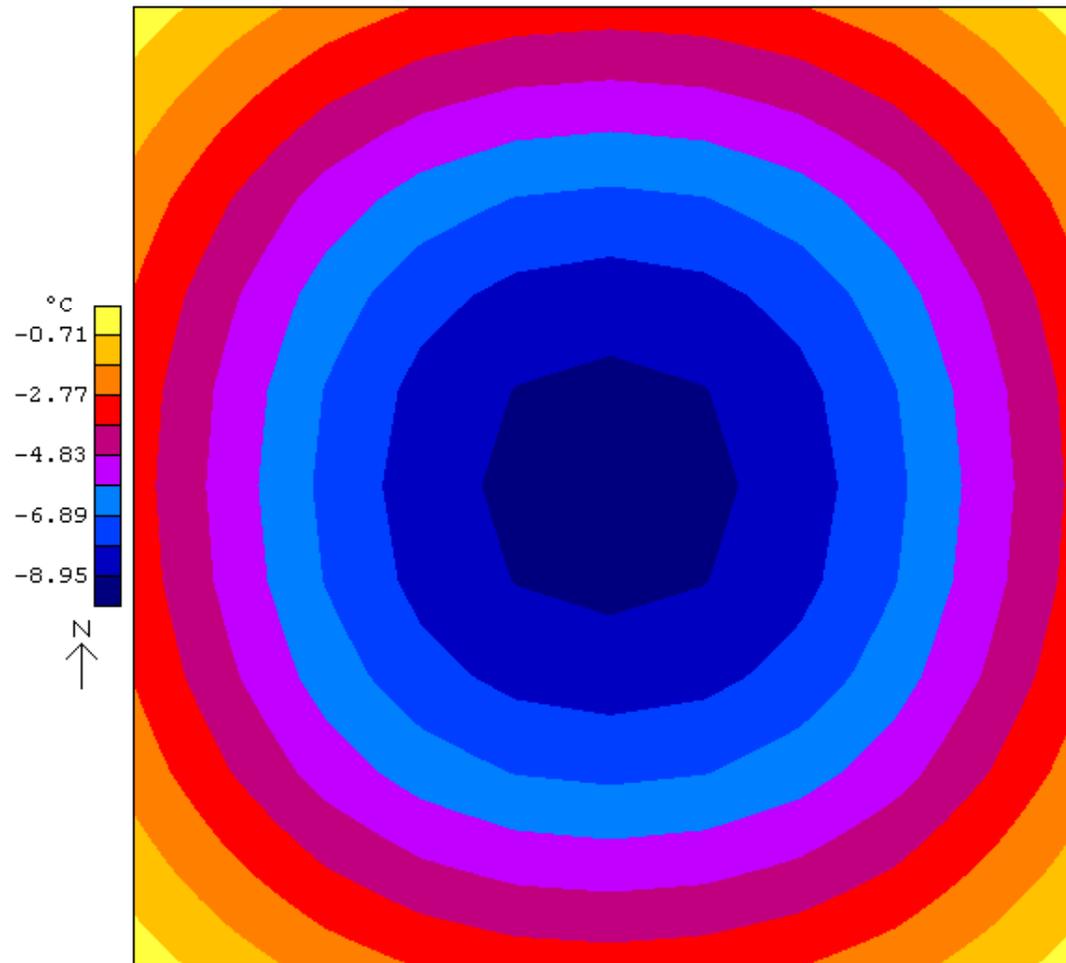
$$1\text{ clo} = 0,155\text{m}^2 \cdot \text{°C/w}$$

Valeurs des températures opératives optimales selon l'activité et le degré de vêtue

4. Indices de confort, zone de confort

7) La température opérative

Global Operative Temperature
Jan 1 at 9.00 Room Air: 5.50°C Level: 1.20 m Calc.Step: 51 pixels
1.0 clo Abs: 70% Emm: 90% MR: 1.0 met WR: 0.0 met WS: 0.0 m/s RH: 60%



(Source: Mazouz, sans date)

7) La température neutre

D'après plusieurs observations et études des cas, des chercheurs ont essayé d'identifier la température idéale du confort ou plutôt nommée la température neutre dans les bâtiments en corrélation avec les conditions climatiques dominantes. Elle délimite les seuils de confort humain dans un espace donné mais en prenant en compte exclusivement, la température moyenne extérieure, qui semble a priori être insuffisante pour une détermination efficace de la zone de confort.

En 1978, Humphreys a proposée l'équation suivante pour identifier cette corrélation [*in Roaf*, 2001]:

$$T_n = 0,534 T_{omoy} + 11,09^{\circ}\text{C}$$

Où

T_n : correspond à la température neutre en °C,

T_{omoy} : correspond à la température extérieure moyenne d'un mois donné en °C.

7) La température neutre

En 1981, Auliciems a essayé de réviser cette dernière équation en la développant de la manière suivante [*in Szokolay, 2004*]:

$$T_n = 0,31 T_{\text{omoy}} + 17,6^{\circ}\text{C}$$

Cette dernière est adoptée pour déterminer la zone de confort dans la méthode de Szokolay.

La zone de confort peut être estimée à $(\pm 2.5^{\circ})$ autour de la température de confort.

(Source: HAJ HUSSEIN, 2012)

4. Indices de confort, zone de confort

Domaine d'application des indices

En comparant les domaines des indices thermiques, il est nécessaire d'établir une distinction entre le domaine des conditions couvertes et la zone sur laquelle s'exerce leur signification physiologique.

Si l'on résume la fiabilité des indices thermiques, déduite de la corrélation observée entre leurs prévisions et les résultats expérimentaux des tests physiologiques, il est possible de proposer les conclusions suivantes:

- Température effective: de tous les indices passés en revue, l'indice T.E. paraît être le moins sûr dans la prévision des réponses physiologiques et sensorielles, aussi bien pour le confort que sous la contrainte calorifique;
- Température résultante: la fiabilité de l'indice T.R. est satisfaisante pour la détermination des réactions des sujets au repos ou engagés dans une activité sédentaire;

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

Domaine d'application des indices

- Indice de contrainte thermique: l'indice **I.C.T.** est adapté à l'analyse des contributions des facteurs métabolisme et ambiance et pour la prédiction de l'effort physiologique imposé aux sujets au repos et au travail. Il est fiable dans le domaine des conditions situé entre la zone de confort et la contrainte sévère, tant que l'équilibre thermique peut être maintenu (température rectale et rythme cardiaque stables). Au-delà de cette limite, l'indice ne peut plus être appliqué.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques

En plus des indices thermiques, il y a des tentatives qui ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques qui permettent de ramener les conditions intérieures dans la zone de confort ou le plus proche possible de cette zone.

Parmi les outils les plus connus dans ce domaine on peut citer le diagramme bioclimatique d'Olgyay, celui de Givoni, les tables de Mahoney, la méthode de Szokolay ainsi que celle de Novell.

8) Les diagrammes bioclimatiques

Les diagrammes bioclimatiques sont des outils de synthèse qui permettent de choisir les grandes **options architecturales** à partir des exigences du **confort** thermique et des profils du **climat extérieur**.

Le principe consiste à confronter sur un même graphique, «un polygone de confort », un '**climato gramme**' représentant les conditions extérieures et l'aire d'influence thermique et hygrométrique de certaines solutions architecturales ou de certains dispositifs.

(Source: Mazouz, sans date)

8) Les diagrammes bioclimatiques

Le diagramme bioclimatique combine plusieurs types de données dont:

**LES DONNÉES DU
CLIMAT
EXTÉRIEUR**

Températures d'air
ambiant et
l'humidité, la
température
radiante moyenne,
la vitesse du vent,
le rayonnement
solaire...etc.

**LES DONNÉES DU
CONFORT
THERMIQUE**

paramètres de
contrôle du
confort
thermique

**LES DONNÉES DES
SOLUTIONS
ARCHITECTURALES**

Inertie thermique

résistances
thermiques

ventilation

captation solaire

Systèmes de
chauffage et de
climatisation
naturelle.

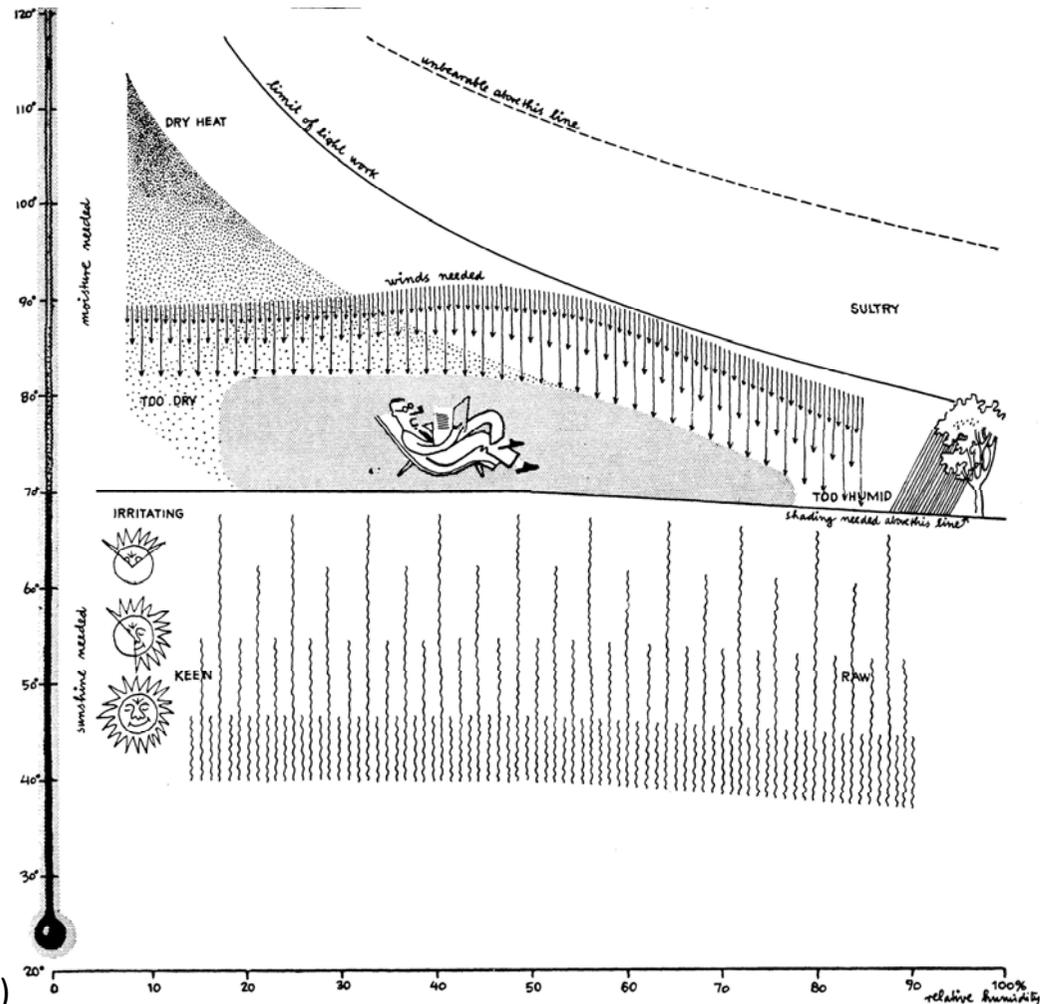
4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique d'Olgay

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 intérieures 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**.



(Source: Mazouz, sans date, Said Noha, 2010)

4. Indices de confort, zone de confort

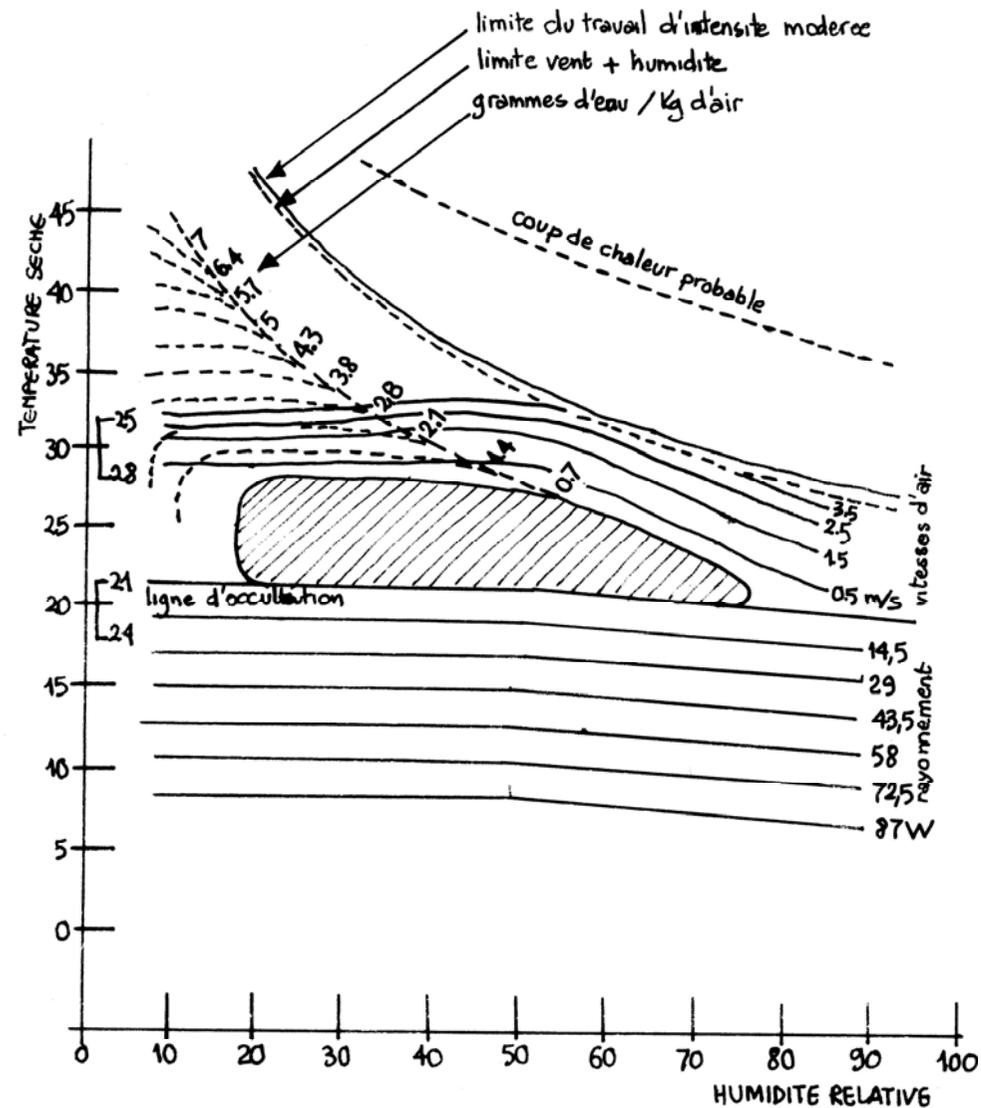
8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagrammes
bioclimatique

D'Olgay

Il s'agit d'une procédure systématique pour l'adaptation de la conception des bâtiments aux exigences humaines et aux conditions climatiques. Cette méthode est basée sur un «**diagramme bioclimatique**» mettant en évidence la zone du confort humain en relation avec la température d'air ambiant et l'humidité, la température radiante moyenne, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et la perte de chaleur évaporative.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)



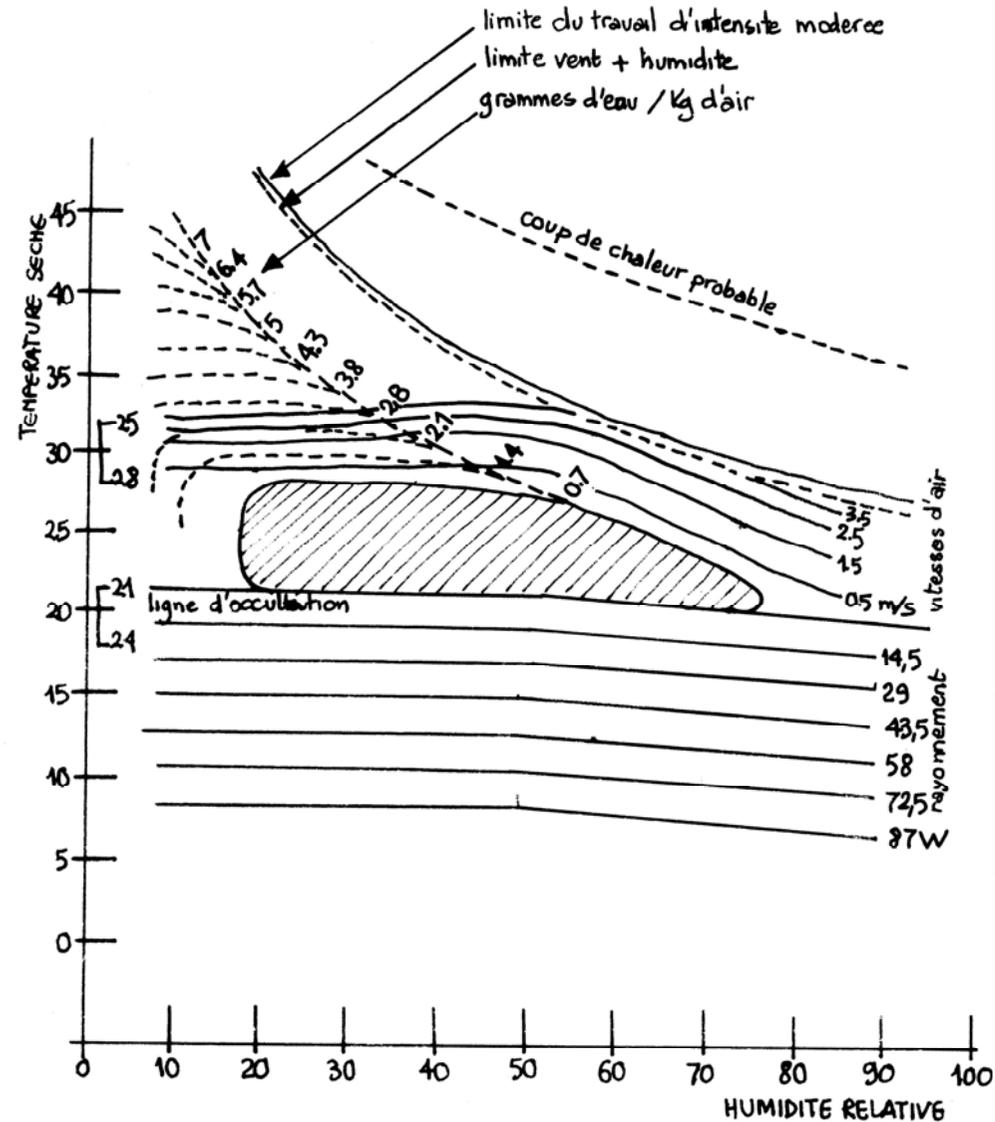
4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

**Diagrammes
bioclimatique
D'Olgay**

Sur le diagramme, la température sèche se trouve en ordonnée et l'humidité relative en abscisse. La zone de confort est au centre, avec les plages d'hiver et d'été indiquées séparément (prenant en compte les adaptations saisonnières). La limite inférieure de la zone est également la zone limite au-dessus de laquelle il est nécessaire d'introduire l'occultation solaire.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)



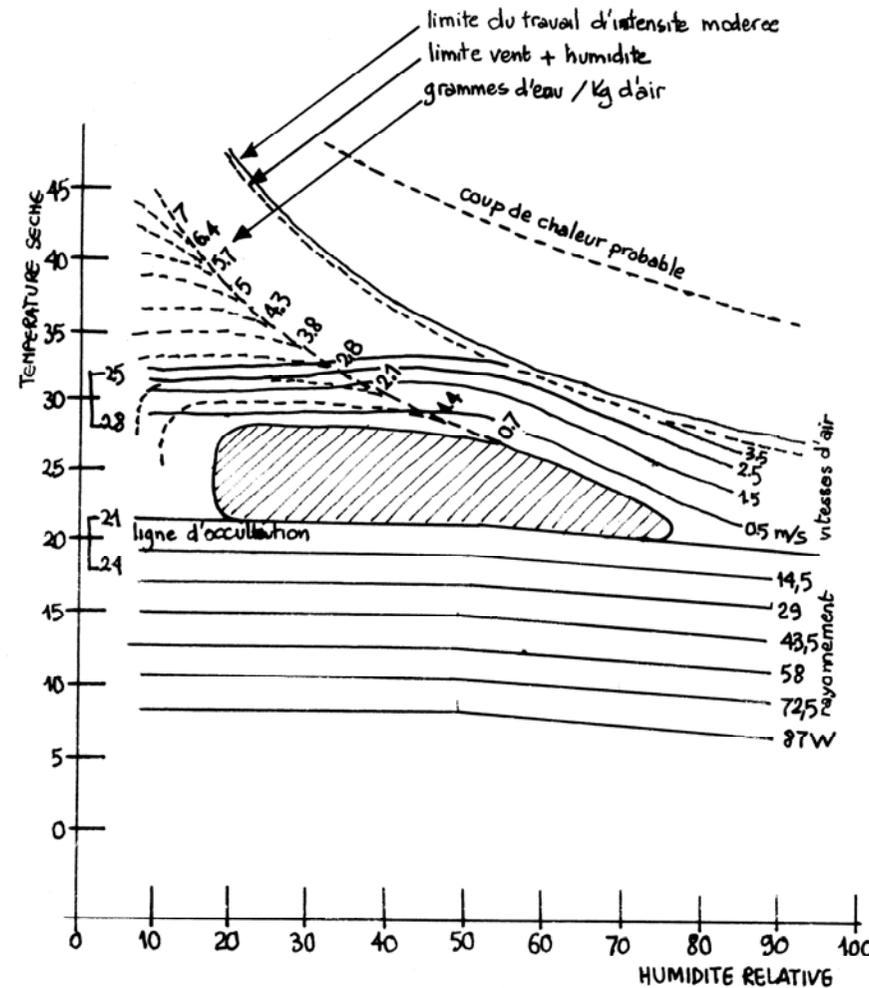
4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagrammes
bioclimatique
D'Olgay

Avec des températures supérieures au niveau de confort, le diagramme indique la vitesse d'air nécessaire pour rétablir le confort en relation avec l'humidité. Si les conditions dominantes sont la chaleur et la sécheresse, le diagramme indique le refroidissement par évaporation nécessaire au confort.

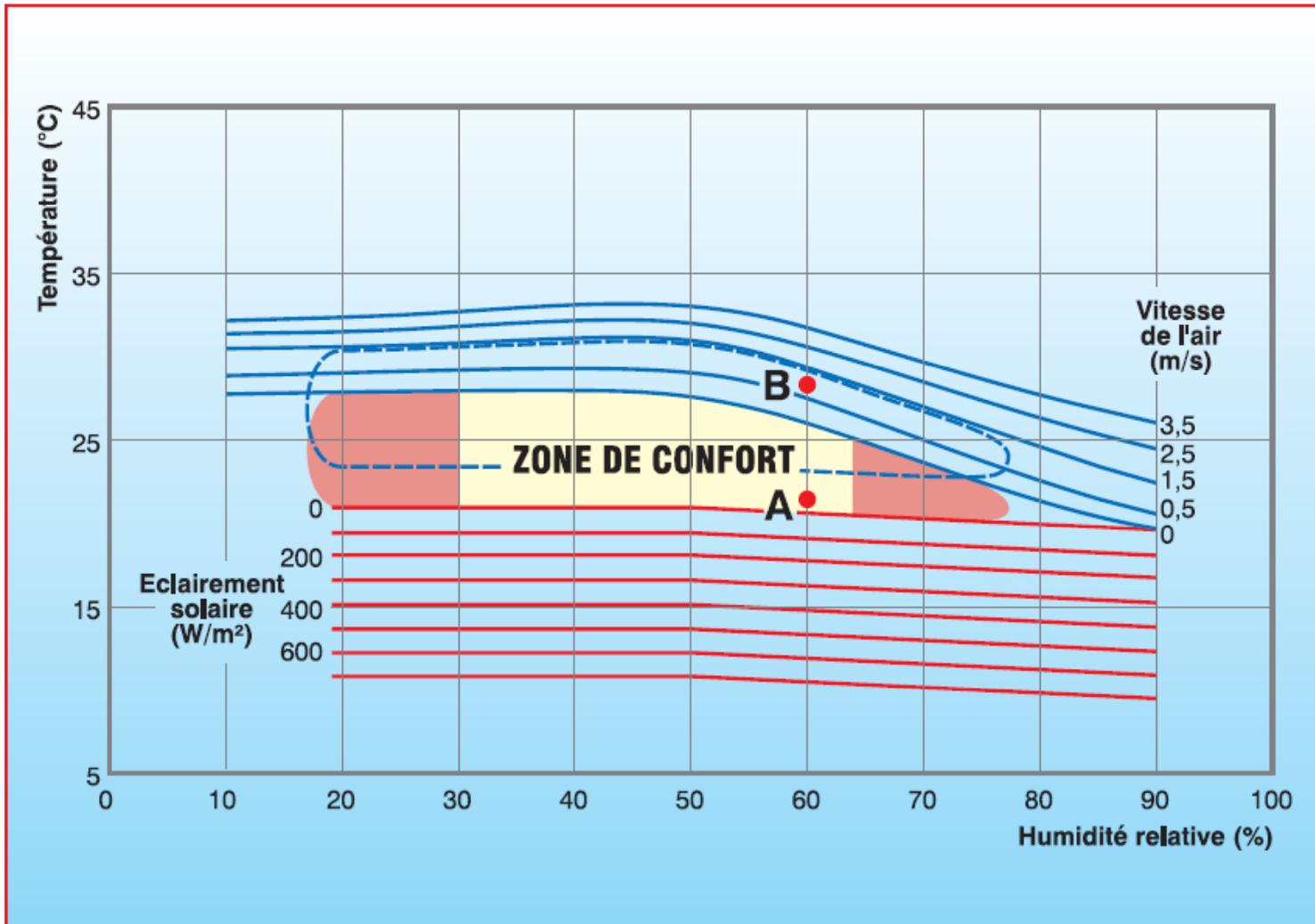
Le diagramme donne aussi la variation de la position de la zone de confort avec la température radiante moyenne.



(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques



Zones de confort thermique en fonction de la vitesse de l'air (d'après V. Olgyay).
(Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique d'Olgay**

Les analyses des données climatiques et l'évaluation des exigences humaines appropriées et des principes de conception pour les satisfaire s'effectuent selon la démarche suivante:

1. compilation des données climatiques locales, comprenant les températures, le vent, les rayonnements et l'humidité;
2. constitution d'un catalogue des données climatiques sur une base annuelle, et mise au point d'une série de diagrammes montrant la répartition annuelle des éléments du climat;
3. report des données rassemblées sur la température ambiante et l'humidité sur le diagramme bioclimatique.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique d'Olgay**

- La limite inférieure de la zone de confort du diagramme (21 °C) divise les conditions climatiques en deux catégories; l'aire située au-dessus de cette limite est connue comme la période de «sur-échauffement» pendant laquelle la protection du rayonnement solaire est nécessaire, et au-dessous c'est la période «sous-échauffée» où l'ensoleillement est recherché. Ainsi, le type de climat est établi et à partir des autres variables contenues par le diagramme, on peut évaluer les exigences de confort concernant la ventilation, le refroidissement par évaporation, l'occultation ou l'ensoleillement.
- L'établissement des facteurs de conception, tels que les formes du bâtiment et l'orientation, la position, la taille et la protection des ouvertures et des baies vitrées etc. pour compenser les inconvénients des conditions climatiques ambiantes en «maximisant» le chauffage pendant la période de «sous-échauffement » et en le «minimisant» pendant le «surchauffement».

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique d'Olgay**

- Comme nous l'avons dit, la méthode Olgay a été la première tentative pour systématiser l'intégration des conditions climatiques dans la conception des bâtiments. Cependant le système est limité dans ses applications, du fait que les analyses des exigences physiologiques sont basées sur le climat extérieur et non sur celui qui est attendu à l'intérieur du bâtiment qui est en cause. La relation entre les conditions intérieures et extérieures variait profondément avec les différentes caractéristiques de conception et de construction des bâtiments. La méthode est dans une mesure adaptée pour une application dans les régions humides où la ventilation est essentielle pendant la journée et où il y a une petite différence entre les conditions intérieures et celles de l'extérieur. Mais son application dans les zones chaudes et sèches, particulièrement dans les zones subtropicales, peut conduire à des conclusions erronées.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique d'Olgay

- Ce point important peut être éclairé par l'exemple qui suit: considérons une région subtropicale de l'intérieur où les températures diurnes avoisinent 32 à 35 °C, le minimum étant à peu près de 17 °C et l'humidité relative de 40 %.
- Selon le diagramme bioclimatique, le confort n'est accessible pendant la journée que si les vitesses d'air intérieures sont très élevées ou si l'on fournit un refroidissement par évaporation. En fait, le confort peut être facilement obtenu en gardant la température intérieure au-dessous de 28 °C, par l'utilisation de matériaux de construction adaptés recouverts à l'extérieur d'une couleur blanche et par une protection efficace des fenêtres.
- De semblables limitations doivent être appliquées aux conditions situées en dessous de la zone de confort où le chauffage est recommandé pour les périodes où la température extérieure est inférieure à 20°C; ici les températures intérieures effectives sont considérablement plus élevées puisqu'elles dépendent à nouveau des propriétés et de la couleur externe des matériaux utilisés.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

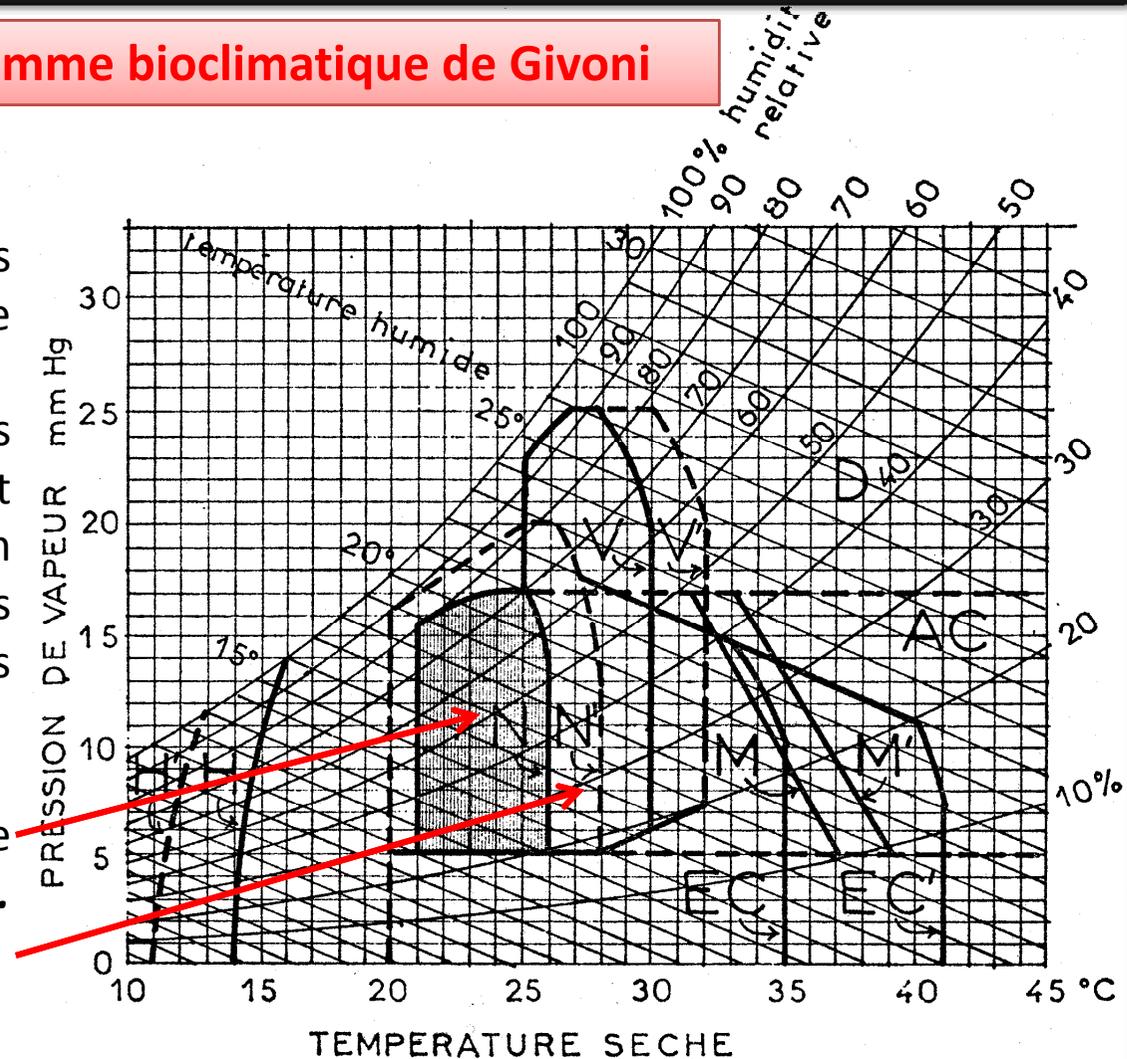
4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

B. Givoni, en se basant sur des études concernant le **métabolisme et des diverses** voies d'échanges thermiques entre le corps et l'environnement a inventé un diagramme qui représente les limites des ambiances confortables **en deux parties**:

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



(Source: Said Noha, 2010, Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

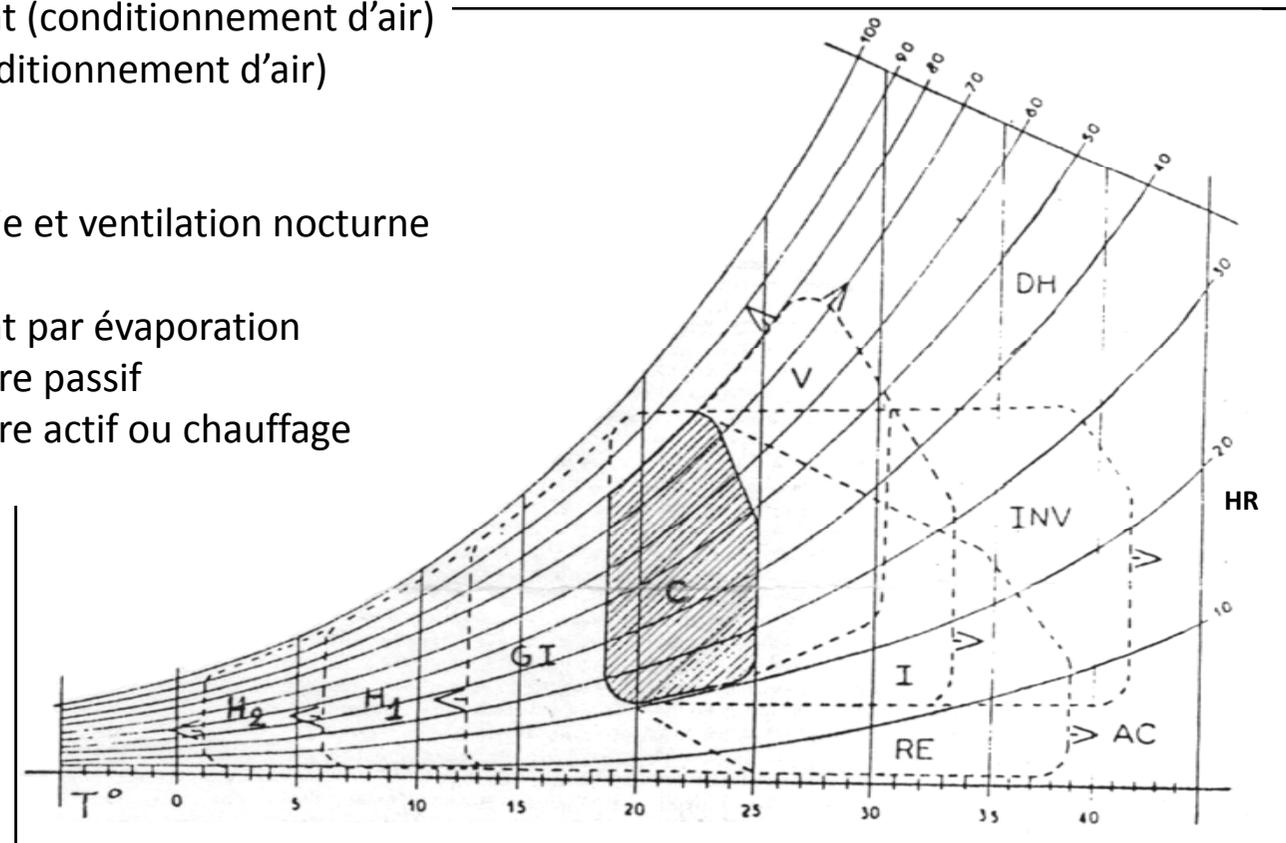
4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

- GI** Gains internes
- DH** Déshumidification (conditionnement d'air)
- AC** Refroidissement (conditionnement d'air)
- H** Chauffage (conditionnement d'air)
- C** Confort
- I** Forte inertie
- INV** Très forte inertie et ventilation nocturne
- V** Ventilation
- RE** Refroidissement par évaporation
- H1** Chauffage solaire passif
- H2** Chauffage solaire actif ou chauffage conventionnel

(Source: Mazouz, sans date)

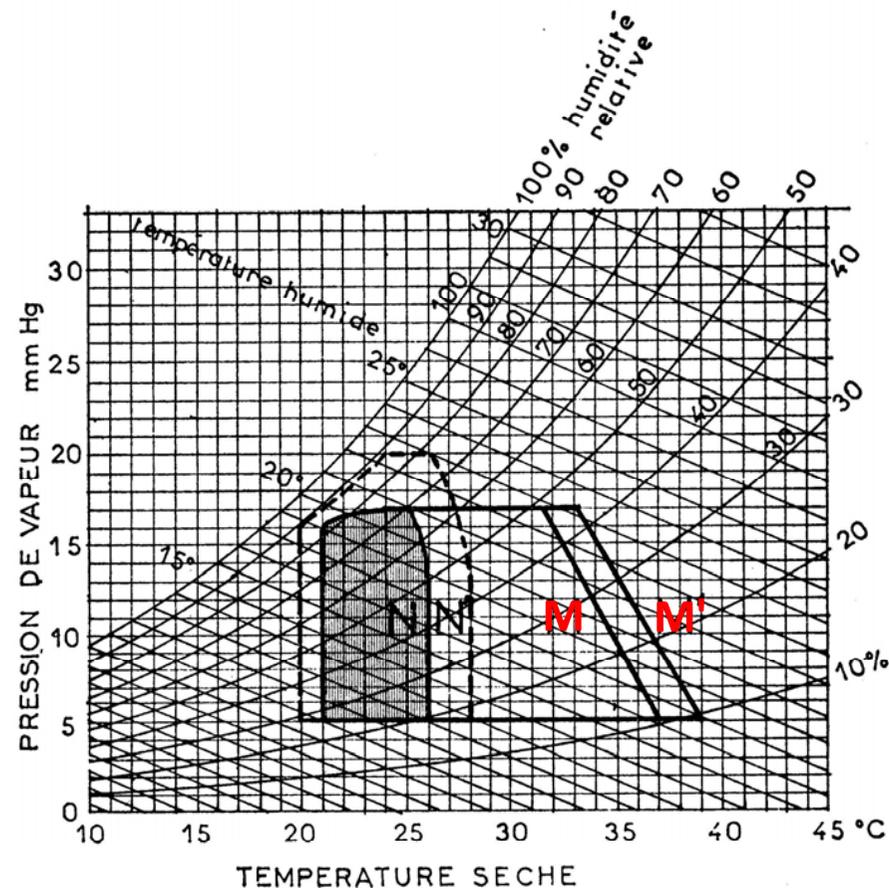


4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

La figure ci-contre montre la plage des conditions sous lesquelles le confort est accessible en **contrôlant seulement les températures intérieures** en l'absence de ventilation. L'aire du diagramme dans laquelle les conditions génératrices du confort peuvent être obtenues par cette méthode est notée par la droite **M**, et la plage des conditions acceptables possibles par la droite **M'**. Les deux sont établies pour une tension de vapeur d'eau inférieure à 17 mm Hg. A des humidités plus élevées, les conditions d'air calme nécessaires à l'intérieur du bâtiment pour la réduction de température provoqueraient l'inconfort de la peau moite. Les températures limites de ces zones sont inversement proportionnelles à la tension de vapeur d'eau, variant entre 31 et 33 °C à 17 mm Hg et 37 et 39°C à 5 mm Hg.



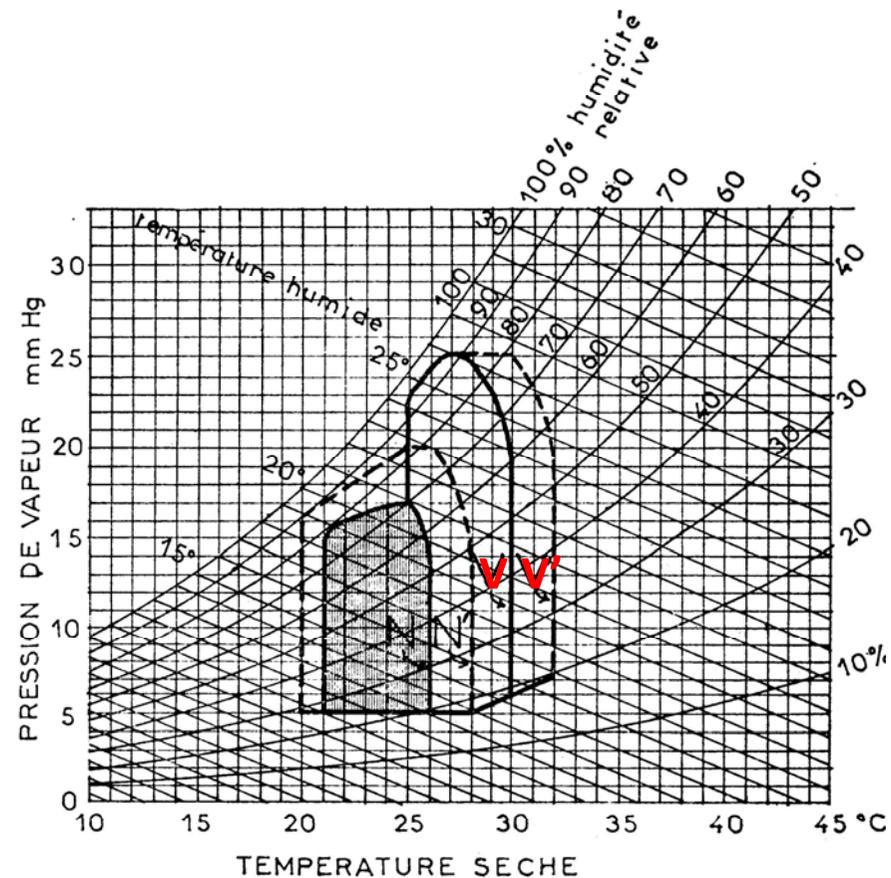
(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Les conditions sous lesquelles le confort peut être atteint en utilisant la ventilation sont indiquées dans la figure suivante. La zone limitée par la droite **V** s'applique aux bâtiments qui ne sont pas spécifiquement conçus pour diminuer l'échauffement (bâtiments ordinaires) et celle qui est entourée par **V'** est destinée aux constructions de moyenne et forte résistance thermique avec des surfaces extérieures blanches. Les deux zones s'étendent respectivement entre 28 et 30 °C à 25 mm Hg et entre 30 et 32°C à 5 mm Hg.



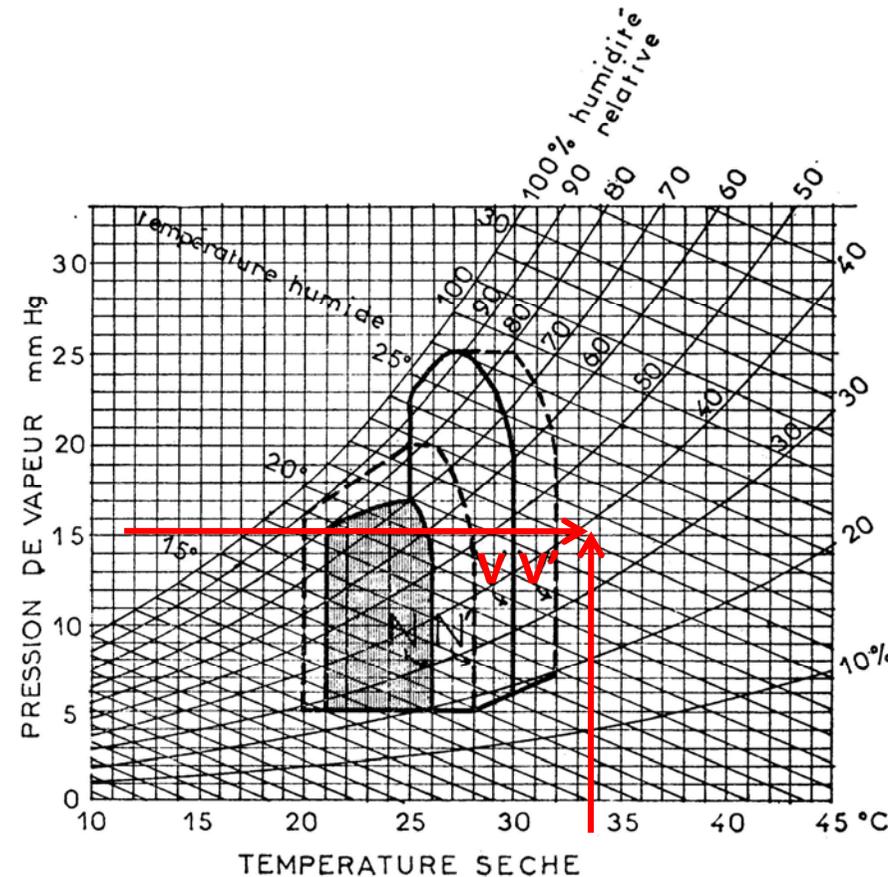
(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Au-dessous de 17 mm Hg et 32 °C il y a une aire intermédiaire dans laquelle le recours à la fois à la ventilation et au contrôle de température est possible, bien que l'on puisse atteindre la nuit des températures plus basses avec la première et que ce déficit de chaleur soit stocké dans la construction pendant la journée.



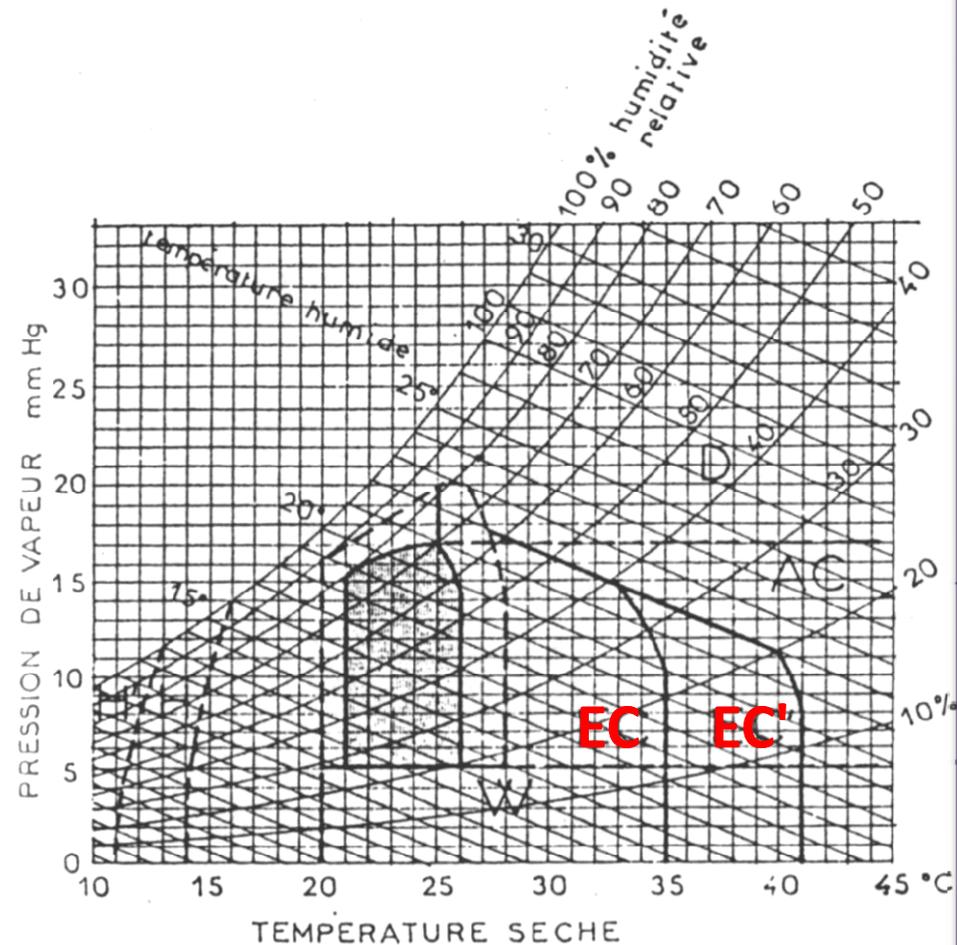
(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Cette figure donne les conditions dans lesquelles aucune méthode n'est adaptée et où certains systèmes de chauffage ou de refroidissement doivent être utilisés. De tels systèmes peuvent être aussi mis en œuvre bien entendu pour des conditions climatiques où le confort est accessible soit par la ventilation soit par la prévention contre des élévations excessives des températures intérieures. **EC** et **EC'** délimitent les régions où le **refroidissement par évaporation** est applicable pour des bâtiments ordinaires et pour les bâtiments blancs bien isolés.



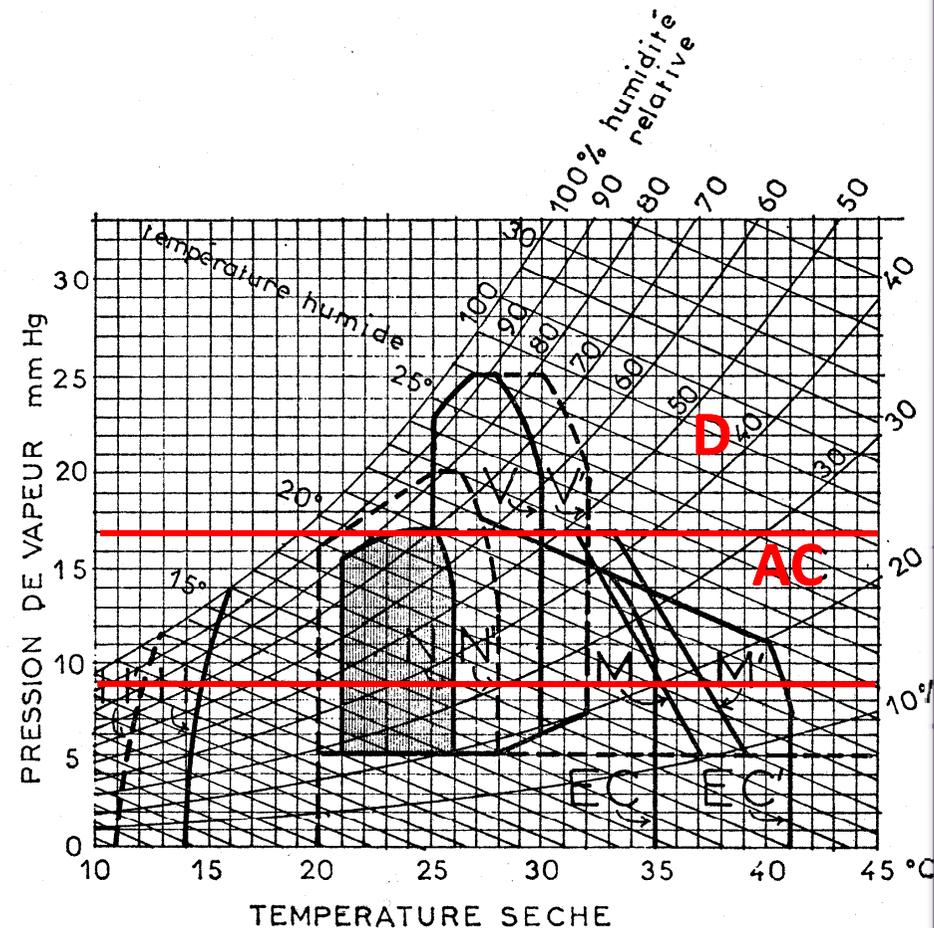
(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Au-delà de toutes les zones où l'on peut utiliser la ventilation, les matériaux de construction et l'évaporation pour assurer le confort thermique à l'intérieur des bâtiments, on doit avoir recours aux systèmes de réfrigération mécaniques et d'air conditionné. Sur le diagramme cette zone est indiquée par la droite **AC**. Au-dessus de 17 mm Hg de tension de vapeur d'eau, la déshumidification (**D**) est nécessaire et au-dessous de 8 mm Hg, une certaine humidification est souhaitée. Les réfrigérants par évaporation produisent cette augmentation d'humidité mais leur effet de refroidissement est insuffisant en dehors de la plage indiquée.



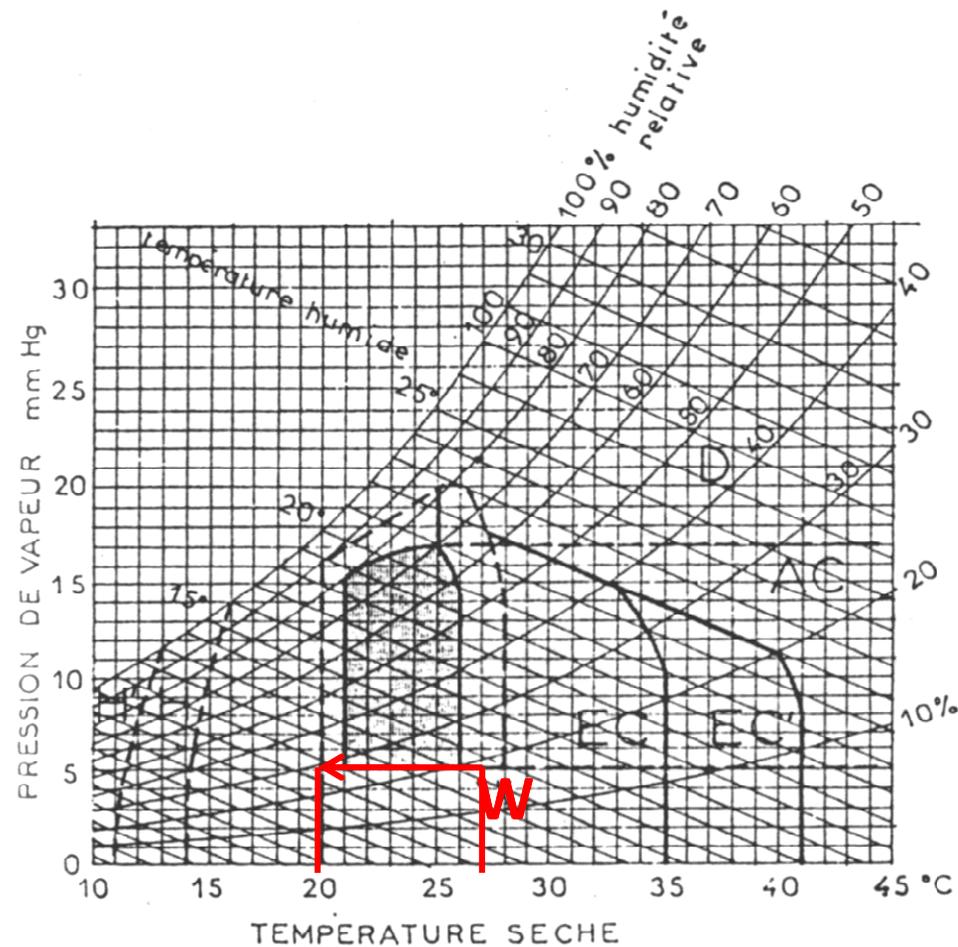
(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

A des températures situées entre 20 et 27°C et une tension de vapeur d'eau inférieure à 5 mm Hg, une humidification supplémentaire est nécessaire pour éviter l'irritation : **(zone W).**



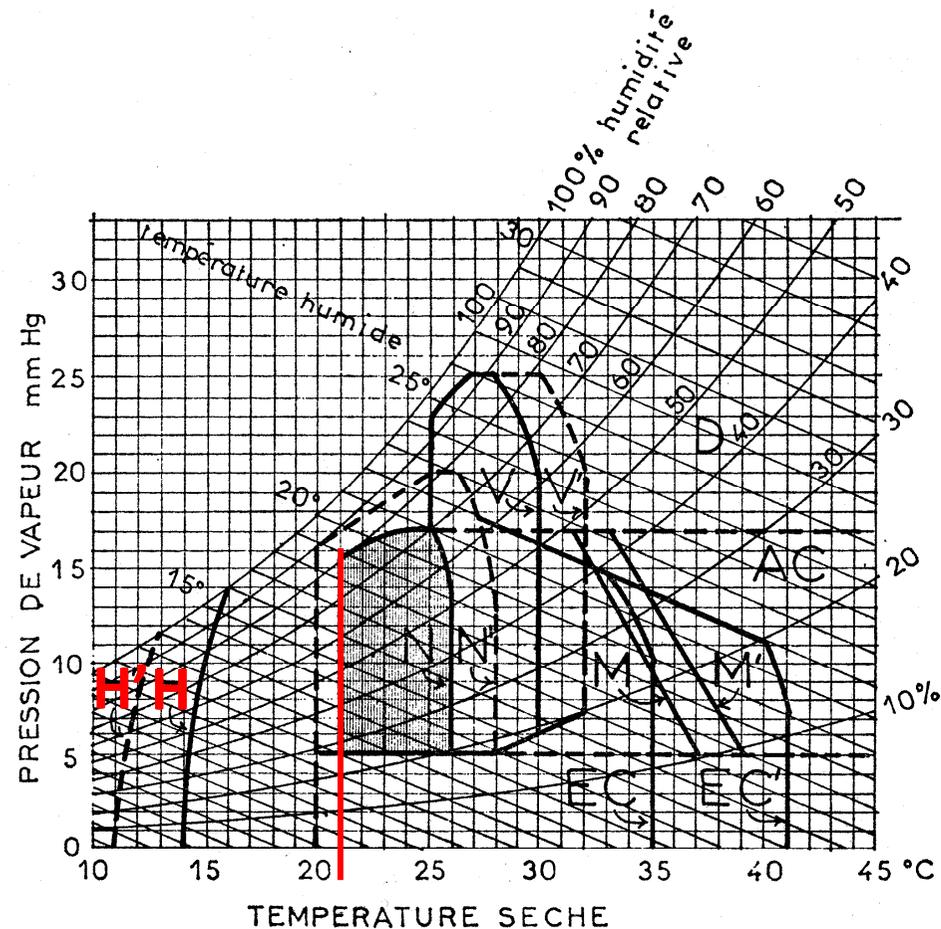
(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Sous la zone neutre (20°C) il y a une région dans laquelle les températures minimales intérieures sont suffisamment plus élevées que les minimales extérieures pour rendre le chauffage sans nécessité. Les limites de cette zone (**H et H'**) dépendent des propriétés de la structure des bâtiments et tendent à inclure des températures plus basses lorsque l'humidité diminue. Il en est ainsi à cause de la sensibilité physiologique plus élevée au froid humide qu'au froid sec. En dessous de cette zone certaines formes de chauffage artificiel sont nécessaires.



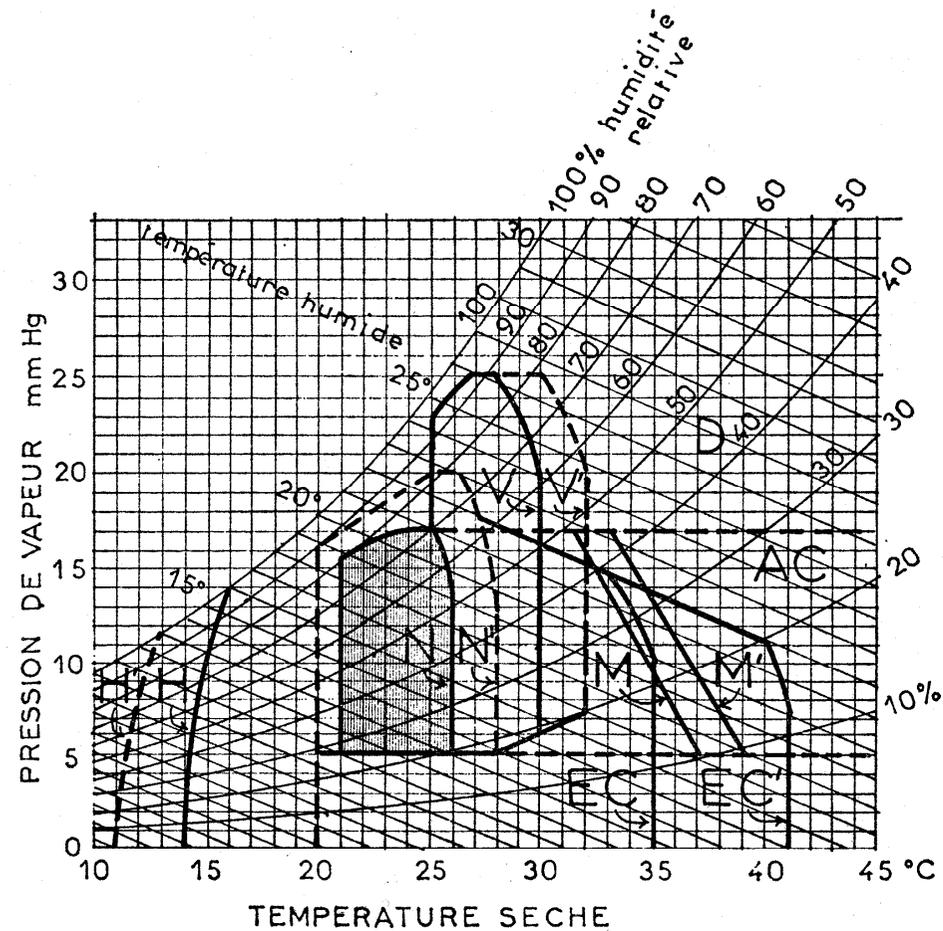
(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Les diagrammes partiels décrits ci-dessus et montrés par les différentes figures sont combinés dans la figure ci-contre pour donner le diagramme complet, sur lequel on peut voir simultanément les diverses méthodes adaptées pour le maintien du confort, pour toutes les combinaisons, de température et d'humidité données.



(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Cependant, les limites de la zone du diagramme ne doivent être considérées que comme **indicatives**, car des erreurs surviennent du fait des écarts des conditions climatiques locales par rapport à celles qui ont servi de base à l'établissement du diagramme, particulièrement pour les amplitudes de températures et la vitesse du vent. En définitive, l'efficacité des méthodes suggérées dépend aussi de la **conception** et de la construction du bâtiment.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

L'analyse se déroule comme suit:

1. Analyse du climat

L'analyse est conduite sur une base diurne pour les périodes de contraintes physiologiques les plus extrêmes, en permettant de spécifier les aspects les plus importants du climat pour prendre les contraintes en considération. Cela englobe les problèmes de **sur-échauffement** en été, de **sous-échauffement** ou de froidure excessive en hiver, d'humidité pendant la saison des pluies etc. Dans certains cas, un seul aspect revêt une importance écrasante, tandis que dans d'autres, certaines autres exigences ont une importance particulière pendant différentes périodes de l'année. Les régimes diurnes typiques des températures extérieures, de la tension de vapeur d'eau et de la vitesse du vent sont compilés et résumés pour les mois les plus chauds et les mois les plus froids, et si cela est nécessaire pour les autres périodes où sont réunies les conditions de «contrainte», en notant les points demandant une attention particulière.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique de Givoni*****2. Choix de l'approche dans les climats chauds***

L'examen initial consiste en une comparaison des conditions de confort intérieures obtenues selon deux méthodes: par ventilation efficace, et par une réduction des températures intérieures par rapport à l'extérieur. Le critère de comparaison est la contrainte thermique des occupants du bâtiment considéré, indiquée par leur perte de poids par évaporation : le confort thermique correspond à un taux de perte de poids de 40 à 60 g/h, mais dans le cas où la peau reste sèche, la contrainte thermique peut être légèrement inférieure à 100 g/h.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique de Givoni**

La possibilité d'aboutir à un confort thermique pendant la journée en utilisant la ventilation est examinée au moyen de l'indice de contrainte thermique dont les valeurs sont calculées pour les heures critiques à l'intérieur du bâtiment. On suppose qu'avec une ventilation efficace, la température d'air et la tension de vapeur d'eau intérieures pendant la journée sont identiques à celles de l'extérieur, et qu'à partir de là on ne prend en compte que les valeurs extérieures. Les températures moyennes d'air ambiantes et radiantes sont supposées suffisamment proches pour que l'effet supplémentaire de l'échange de chaleur radiative puisse être négligé, et les matériaux de construction doivent être choisis pour justifier cette hypothèse. La vitesse d'air intérieure est estimée à 30 % de la vitesse extérieure, avec une limite de 1,5 m/s au-delà de laquelle les déplacements d'air provoquent des désagréments.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique de Givoni**

S'il résulte de cet examen que la ventilation ne peut pas produire le niveau de confort requis, ou dans des cas où la ventilation n'est pas souhaitable pour d'autres raisons pendant la journée, on peut utiliser alors une seconde approche. Celle-ci est basée sur une réduction des températures intérieures en dessous du niveau extérieur, obtenue par un choix spécifique des matériaux du bâtiment.

Pour obtenir cette réduction, les fenêtres doivent rester fermées et l'air intérieur est supposé calme avec une tension de vapeur d'eau de 2 mm Hg plus élevée qu'à l'extérieur. La température d'air constituant la limite supérieure du confort est alors celle qui déclenche une perte de poids de 100 g/h sous les conditions citées, que l'on calcule à partir de l'indice de contrainte thermique. On évalue de cette manière la réduction nécessaire de la température au-dessous du niveau extérieur.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique de Givoni**

La nuit, les températures intérieures requises pour le confort sont plus basses que celles qui sont demandées pendant la journée, à cause de la chute des vitesses d'air extérieures et aussi de l'élévation des températures radiantes moyennes intérieures, qui atteignent même leur maximum à ce moment-là. Ce dernier facteur nécessite par compensation une réduction de 1 à 2 °C de la température d'air intérieure.

On peut conclure de cet examen que le confort est accessible en employant la ventilation, pour laquelle les suppositions faites ci-dessus sont valables, et que l'exigence principale à satisfaire au moyen de la conception du bâtiment et du choix des matériaux, est que ces conditions soient réunies (c'est-à-dire que les températures de surface interne soient inférieures au niveau engendrant la contrainte thermique) et qu'il y ait une bonne ventilation transversale.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

On examine ensuite la possibilité d'obtenir cette température avec les conditions de conception les plus favorables, c'est-à-dire avec un bâtiment extérieurement blanc et ventilé pendant l'après-midi et la nuit. La réduction potentielle varie avec l'amplitude des températures extérieures, et avec des matériaux adaptés, le maximum intérieur peut être inférieur au maximum extérieur d'une valeur allant de 50 à 60 % de cette amplitude. Ainsi, on calcule le taux de sudation attendu, pour les conditions ambiantes intérieures prévues, température de l'air, tension de vapeur d'eau plus élevée, air calme, et élévation de la température radiante moyenne au-dessus de celle de l'air. Si ce taux est inférieur à 80 g/h (en tenant compte de la température radiante plus élevée), il est possible de parvenir à la réduction des températures d'air intérieur cherchée par un choix correct des matériaux et des couleurs externes.

Cependant, Si aucun des examens ci-dessus ne révèle de système susceptible d'assurer le confort, ou même de l'approcher, il est alors nécessaire d'avoir recours à un contrôle thermique mécanique.

Dans les régions arides, le meilleur système est soit l'air conditionné, soit l'évaporation d'eau (réfrigérants des déserts). Lorsque l'air est très humide, l'air conditionné est la seule solution convenable.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique de Givoni**

Les exigences de chauffage pour l'hiver sont déterminées sur la base des températures intérieures attendues. Celles en dessous desquelles il est nécessaire de chauffer, sont 18 °C pendant la journée et 15 °C au lever du soleil, quoique des températures plus élevées puissent être souhaitées

Comme on l'a mentionné plus haut, la réduction potentielle des températures intérieures au-dessous de celles de l'extérieur augmente avec l'amplitude des températures extérieures. L'amplitude est elle, inversement proportionnelle à la tension de vapeur d'eau. Ainsi la limite supérieure de la température extérieure pour laquelle le confort intérieur peut être obtenu est relevée lorsqu'il y a une chute de la tension de vapeur d'eau.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques

Diagramme bioclimatique de Givoni

Une forte humidité nécessite une ventilation du bâtiment, et Si l'amplitude de température correspondante est faible, on peut obtenir une petite réduction des températures intérieures. Par contre, lorsque les tensions de vapeur d'eau sont faibles et que l'amplitude de température correspondante est élevée, de considérables réductions de température sont possibles, et l'absence nécessaire de ventilation n'est pas nuisible avec une faible humidité.

Le choix de la méthode de contrôle pour éviter la contrainte thermique à l'intérieur du bâtiment est donc facilité dans une grande mesure par les considérations de la relation amplitude de température locale/tension de vapeur d'eau. Pour une combinaison de ces facteurs d'ambiance, on peut estimer le climat intérieur attendu en utilisant chacune des approches de contrôle, et sélectionner celle qui apporte les conditions thermiques les plus satisfaisantes.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Diagramme bioclimatique de Givoni**

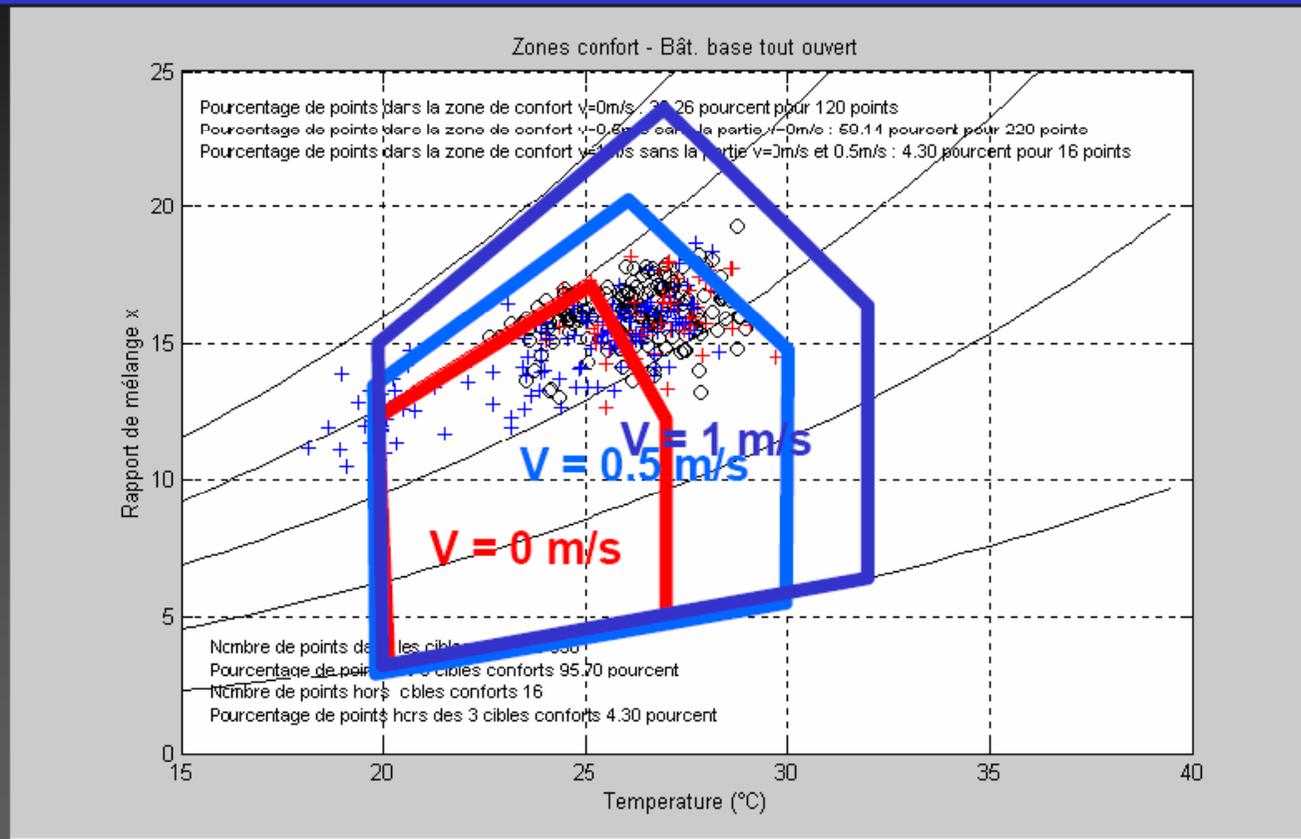
Pour l'usage courant, la nécessité de ventiler, la réduction de la température d'air, le refroidissement par évaporation ou l'air conditionné sont notés pour des conditions d'ambiance combinant différentes amplitudes de températures et tensions de vapeur d'eau sur un diagramme psychrométrique pour former ce que l'on appelle un «Diagramme Bioclimatique du Bâtiment» (voir figure 1). Sur chaque partie du diagramme on peut voir le confort d'été ou la zone neutre, pour des sujets acclimatés au repos ou engagés dans une activité sédentaire (aire limitée par N), et la lisière des conditions supportables (aire limitée par N'). Les températures à la limite supérieure de la zone acceptable sont respectivement de 26 et 28 °C pour des tensions de vapeur de 20 et 5 mm de mercure.

(Source: Mazouz, sans date, Givoni, 1978)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Le diagramme de confort ou diagramme de Givoni



Valable pour une vêtue d'été et une activité de bureau

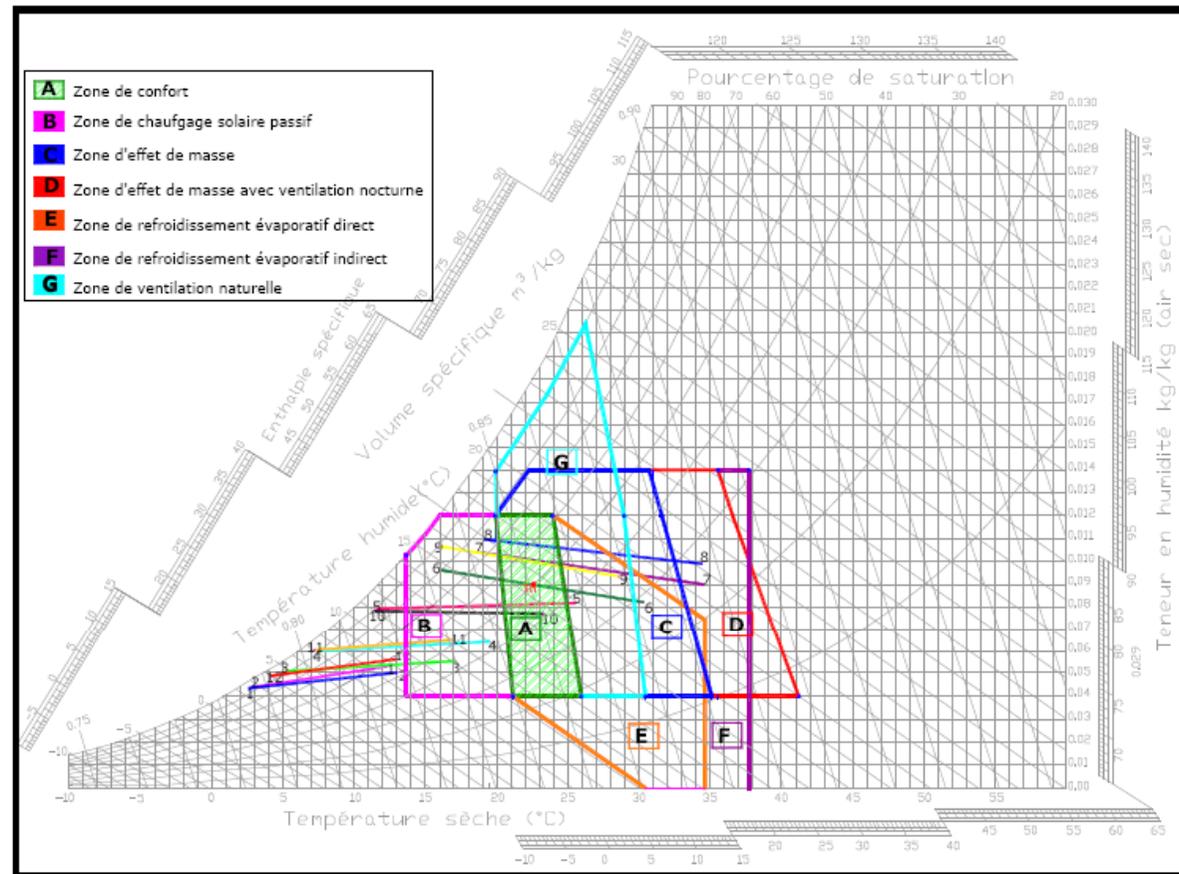
Codyrun, outil de simulation thermo-aéraulique dynamique

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de SZOKOLAY

En 1980, M. Evans et S. V. Szokolay ont critiqué les outils précédemment proposés à cause de l'incohérence entre les résultats du confort thermique calculé et le confort réel perçu par les sujets. A cet effet, une zone de confort propre à chaque région, et qui tient compte des caractéristiques du climat local a été définie.

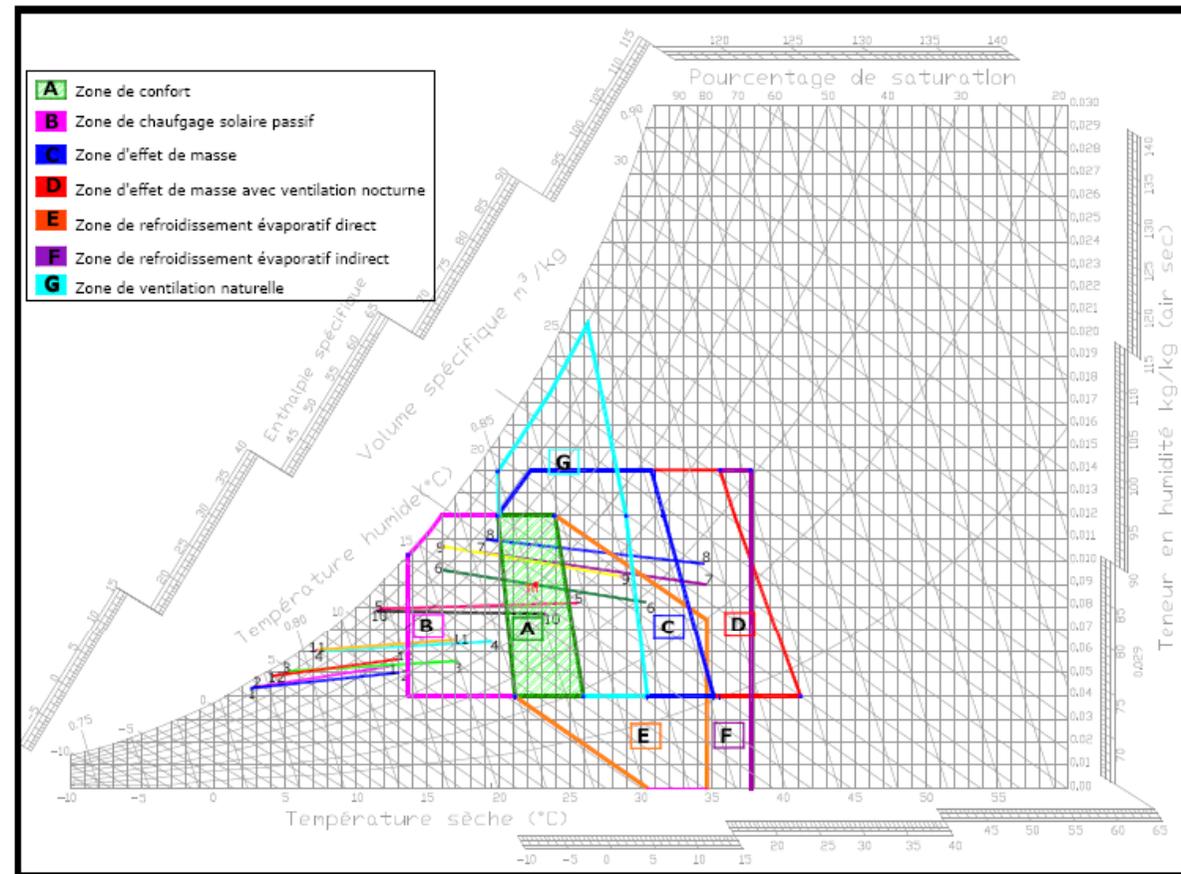


4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de SZOKOLAY

La méthode de Szokolay consiste à établir la zone neutre de confort en plus des différentes zones de contrôle potentiel selon les données climatiques propres à la région d'étude.



8) Les diagrammes bioclimatiques**La méthode de STEEVE SZOKOLAY**

Détermination de la zone de confort : application pour le cas de la ville de Constantine

- a) La température moyenne annuelle :

$$T_m = \sum t_m / 12 = 16.3^\circ\text{C}$$

- b) La température neutre sera :

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m).$$

$$T_n = 22,6^\circ\text{C}$$

- c) Limites de la zone de confort:

Porter sur le graphe le point neutre à l'intersection de T_n et la ligne représentant 50% d'humidité relative.

Les points 1 et 2 correspondront à celle de 12 g/kg.

$$T_1 = T_n + (A_{hn} - 12) \times 0.025 \times (T_n - 14) - 2$$

$$T_1 = 19.95^\circ\text{C}$$

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de STEEVE SZOKOLAY

Où Ahn représente l'humidité absolue du point de neutralité.

$$T2 = T1 + 4.$$

$$T2 = 23.95^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = T1 + 0.2 \times (T1 - 14).$$

$$T3 = 21.14^{\circ}\text{C}$$

$$T4 = T2 + 0.2 \times (T2 - 14).$$

$$T4 = 25.94^{\circ}\text{C}$$

Les points 3 et 4 correspondront à celle de 4g/kg.

2.2.2. détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes froides : Zone de chauffage solaire passif.

$$T5 = Tn + 0.36 - 0.0025 \times H_v. \quad / \quad H_v = 3732 \text{Wh/m}^2$$

$$T5 = 13.63^{\circ}\text{C}$$

Où H_v représente la moyenne journalière totale d'irradiations solaires en Wh/m^2 d'une surface verticale Sud pour le mois le plus froid.

Le point 5 correspond à la ligne de saturation $HB = 100\%$.

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

2.2.3. détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes :a- Zone d'effet de masse :

Détermination de la variation moyenne de température pour le mois le plus chaud.

$$dT_m = T_{\text{moy max}} - T_{\text{moy min.}} = 34.5 - 18.6$$

$$dT_m = 15.3^\circ\text{C}$$

$T_6 = T_2 + 0.5 (dT_m)$ situe à la ligne d'humidité absolue qui correspond à 12 g/kg.

$$T_6 = 31.6^\circ\text{C}$$

$T_7 = T_6 - 0.05 (T_6 - 14)$ correspond à la ligne 14 g/kg.

$$T_7 = 30.7^\circ\text{C}$$

$T_8 = T_6 + 0.2 (T_6 - 14)$ correspond à la ligne 4g/kg d'humidité absolue.

$$T_8 = 35.12^\circ\text{C}$$

La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'humidité relative du point 1.

b- Zone d'effet de masse avec ventilation nocturne :

$T_9 = T_2 + 0.8 (dT_m)$. Le point 9 correspond à la ligne 12 g/kg (HA).

$$T_9 = 36.67^\circ\text{C}$$

$T_{10} = T_9 - 0.05 (T_9 - 14)$. Le point 10 correspond à la ligne 14 g/kg.

$$T_{10} = 35.53^\circ\text{C}$$

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de STEEVE SZOKOLAY

$T_{11} = T_9 + 0.2 (T_9 - 14)$. Le point 11 correspond à la ligne 4 g/kg.

$$T_{11} = 41.2^{\circ}\text{C}$$

Cette zone est délimitée par les points 9,10 et 11.

c- Zone de ventilation naturelle – Mouvement d'air sur la surface de peau :

$T_{12} = T_2 + 5$ correspond à la ligne de 12 g/kg (HA).

$$T_{12} = 28.95^{\circ}\text{C}$$

$T_{13} = T_{12} + 0.1 (T_{12} - 14)$ correspond à la ligne de 4 g/kg (HA).

$$T_{13} = 30.44^{\circ}\text{C}$$

$T_{14} = T_1$. mais le point 14 sera localisé par la courbe de 90% d'humidité relative.

$$T_{14} = 19.95^{\circ}\text{C}$$

$T_{15} = T_{12} - 0.18 (T_{12} - 14)$. Le point 15 sera situé sur la courbe de 90% d'humidité relative

$$T_{15} = 26.26^{\circ}\text{C}$$

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

d- Zone de refroidissement évaporatif direct :

La température limite la plus élevée est :

$T_{16} = T_n + 12$. les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracés à partir des lignes de températures humides des points 2 et 3.

$$T_{16} = 34.6^{\circ}\text{C}$$

e- Zone de refroidissement évaporatif indirect :

La température limite la plus haute est :

$T_{17} = T_n + 15$. La limite supérieure de cette zone correspond à la ligne de 14 g/kg (HA).

$$T_{17} = 37.6^{\circ}\text{C}$$

2.2.4. Représentation des conditions climatiques qui prévalent :

Chaque mois est représenté par une ligne dessinée entre deux points :

- La température moyenne maximale mensuelle avec l'humidité relative minimum.
- La température moyenne minimale mensuelle avec l'humidité relative maximum.

8) Les diagrammes bioclimatiques**Les tables de Mahoney**

Il s'agit d'une autre forme d'outil d'évaluation de confort hygrothermique développé par le département des études tropicales de l'association architecturale à Londres qui relève d'une méthodologie pour la conception de bâtiments conformément au climat [Sayigh *et al.*, 1998].

Cette méthodologie est décomposée en trois étapes :

- **études des projets au stade du croquis.**
- **élaboration du projet.**
- **détails d'exécution des ouvrages.**

La première et la troisième phase font intervenir les tableaux et la deuxième présente une série de système de plans types (individuel, semi collectif, collectif) pour différents climats [Celaire et Huet, 1986].

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Les tables de Mahoney

L'interprétation des données climatiques à l'aide d'une série de tableaux permet de déboucher assez rapidement sur des recommandations concernant les éléments architecturaux d'un projet. Cette méthode fait intervenir en plus de la température et l'humidité, la notion de confort diurne et nocturne.

Tables de Diagnostic

(Source: Mazouz, sans date)

TABLES DE MAHONEY : DIAGNOSTIC

TABLE 1 : TEMPERATURES

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.Moy. Max												
Temp. Moy. Min												
E.D.T.												

TABLE 2 : HUMIDITE, PLUIE, VENT

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité Rel. Max												
Humidité Rel. Min.												
Humidité Rel. Moy.												
Groupe (G.H.)												
Pluie (mm)												
Vent (directions)												
	Dominant											
	secondaire											

TABLE 3 : CONFORT

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Groupe Hygro (G.H.)												
Températures												
Moy. Mens. Max.												
Confort diurne	Maxi											
	Mini											
Moy. Mens. Mini												
Confort nocturne	Maxi											
	Mini											
Stress thermique												
Jour												
Nuit												

TABLE 4 : INDICATEURS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
H1 ventilation essentielle													
H2 Ventilation désirable													
H3 Protection pluie													
A1 Inertie thermique													
A2 Dormir dehors													
A3 Prob. Saison froide													

TABLE 5 : LIMITES DE CONFORT (à partir de TAM)

Humidité	Groupe	TAM ≥ 20		15 ≤ TAM ≤ 20		TAM ≤ 15		G.H.
		Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	
0 - 30	1	26 34	17 25	23 32	14 23	21 30	21 30	12 21
30 - 50	2	25 31	17 24	22 30	14 22	20 27	20 27	12 20
30 - 70	3	23 29	17 23	21 28	14 21	19 26	19 26	12 19
> 70	4	22 27	17 21	20 25	14 20	18 24	18 24	12 18

TABLE 6 : STRESS THERMIQUE

	Stress Thermique	G.H.	EDT	Pluie
H1	C.diurne	4		
	C.diurne	2-3	-10°	
H2	/diurne	4		
				+200
A1		1-2-3	+10°	
	C.nocturne	1-2		
A2	C.diurne	1-2	+10°	
	C.nocturne			
A3	F.diurne			
	F.nocturne			

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Les tables de Mahoney: Recommandations

1. Plan masse

H1	H2	H3	A1	A2	A3	
			0-10			Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition au soleil.
			11 ou 12		5-12	Plans compacts avec cours intérieures
					0-4	

2. Espacements entre bâtiments

11 ou 12						Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent
2-10						Comme ci-dessus mais avec protection contre vent chaud/froid
0 ou 1						Plans compacts

3. Circulation d'air

3-12						Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente.
1 ou 2			0-5			Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.
	2-12		6-12			
0	0 ou 1					Circulation d'air inutile

4. Dimensions des ouvertures

			0 ou 1	0	Grandes, 40 à 80% des façades nord et sud.
				1-12	Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs
			2-5		
			6-10		Intermédiaires, 20 à 35 % de la surface des murs.
			11 ou 12	0-3	Petites, 15 à 25% de la surface des murs.
				4-12	Moyennes, 25 à 40 % de la surfac

5. Position des ouvertures

3-12						Ouvertures dans les murs nord et sud, à hauteur d'homme du côté exposé au vent.
1 ou 2			0-5			Comme ci-dessus, mais y compris ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs.
	2-12		6-12			
0	0 ou 1					

6. Protection des ouvertures

				0-2	Se protéger de l'ensoleillement direct
		2-12			Prévoir une protection contre la pluie

7. Murs et planchers

			0-2		Constructions légères, faible inertie thermique
			3-12		Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures

8. Toiture

10-12			0-2		Construction légères, couvertures à revêtements réfléchissants et vide d'air.
			3-12		Légère et bien isolée
0-9			0-5		Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures
			6-12		

9. Espaces extérieurs

				1-12	Emplacement pour le sommeil en plein air
			1-12		Drainage approprié des eaux de pluie
			3-12		

(Source: Mazouz, sans date)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

Les tables de Mahoney: Recommandations

En climat désertique, les bâtiments peuvent être disposés en groupes compacts autour de cours intérieures ombragées. La massivité des murs et de la toiture assure l'inertie thermique.



INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse 1. orientation suivant un axe longitudinal E-O 2. plan compact avec cour intérieure Espacements 3. grands espacements entre les bâtiments 4. idem avec protection contre le vent 5. plan compact Circulation d'air 6. circulation d'air permanente 7. circulation d'air intermittente 8. circulation d'air inutile Ouvertures 9. grandes ouvertures des façades N et S 10. très petites ouvertures (10 à 20 %) 11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs 12. murs légers 13. murs massifs Toitures 14. toitures légères et isolantes 15. toitures lourdes Sommeil en plein air 16. sommeil en plein air Protection contre la pluie 17. protection contre la pluie

Recommandations pour le climat de Bagdad (Irak) (d'après C. Mahoney).

(Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)

8) Les diagrammes bioclimatiques

Les tables de Mahoney

Utilisation des tables de Mahoney

Les tables de Mahoney peuvent être réparties en deux ensembles: les tables diagnostic et les tables recommandations.

1. Diagnostic

Noter dans la **Table 1** les températures moyennes mensuelles maximales et minimales. Dans les cases de droite reporter la plus grande valeur des maxims et la plus petite valeur des minimas enregistrés dans l'année. En additionnant ces deux valeurs et en divisant par 2, on obtient la température moyenne annuelle TAM. La différence des deux valeurs extrêmes représente l'écart moyen annuel de température EAT.

Indiquer sur la **table** suivante les humidités relatives. Déterminer, selon les critères indiqués sur le tableau, le groupe des humidités auquel correspond chacun des mois. Compléter le tableau en inscrivant le niveau des précipitations ainsi que les deux directions les plus fréquentes du vent.

(Source: Mazouz, sans date)

8) Les diagrammes bioclimatiques

Les tables de Mahoney

La **Table 3** donne un diagnostic du climat en fonction de la valeur de **TAM** et du groupe d'humidité, déterminer la zone de confort diurne et nocturne pour chacun des douze mois. Reproduire les températures extrêmes de confort diurne ainsi que les températures mensuelles maximales dans les trois premières lignes du tableau. Dans les trois lignes suivantes recopier les températures minimales mensuelles ainsi que les bornes de la zone de confort nocturne. Comparer les températures ambiantes avec les températures de confort durant la journée et durant la nuit. Indiquer dans les deux dernières lignes du tableau si la température ambiante (diurne ou nocturne) est supérieure ou inférieure aux températures de confort. Indiquer cela par les indices **F (froid)** pour les températures ambiantes inférieures aux températures de confort, par **C (chaud)**, les valeurs supérieures et inférieures, les températures ambiantes qui sont dans les limites des températures de confort

(Source: Mazouz, sans date)

8) Les diagrammes bioclimatiques**Les tables de Mahoney****2. Recommandations**

Les différents remèdes à apporter dépendront des indices d'humidité ou d'aridité attribués pour chaque mois. C'est ce que montre la **table 4**.

Les différentes dispositions architecturales et constructives sont ensuite déterminées en fonction des contraintes thermiques diagnostiquées précédemment. Ces dispositions sont classées comme suit : **plan masse, espacement des constructions, mouvement d'air, ouvertures murs, toitures etc...**

(Source: Mazouz, sans date)

4. Indices de confort, zone de confort

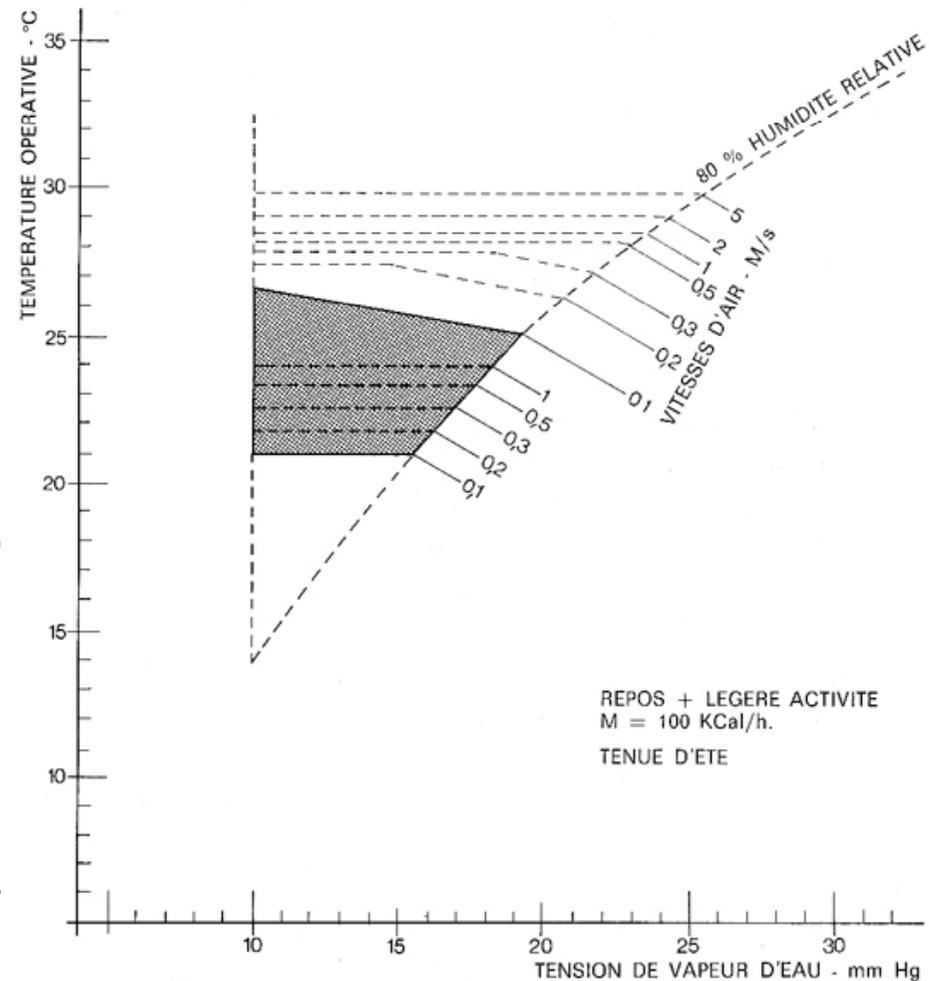
8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode Vogt et Miller-Chagas

En se basant sur les études de Givoni et d'autres, ils donnent sept conditions de base à satisfaire. Ces conditions peuvent être traduites de manière graphique dans une zone de confort qui est circonscrite par cinq limites (polygone de confort).

Deux de ces limites sont fixes (**tension de vapeur minimale supérieure à 10 mm Hg**, et courbe **d'humidité relative** ne dépasse pas 80%) et les trois autres sont variables et dépendent du métabolisme, de la tenue vestimentaire et la vitesse d'air intérieur (***T. opérative inférieure, T. opérative supérieure et l'humidité ambiant***).

(Source: SAID Noha, 2010)



8) Les diagrammes bioclimatiques**La méthode de Novell**

Contrairement aux méthodes précédentes, la méthode de Novell est développée pour avoir une idée approximative ponctuelle heure par heure, des besoins de protection contre l'ensoleillement et du potentiel des diverses stratégies passives de refroidissement sur la base des données climatiques immédiats disponibles pour une région en étude. Elle est rapide et facile à utiliser et peut être une aide dans la phase schématique de la conception d'un habitat [JNBC, 2002]. Elle est basée seulement sur le paramètre "température" -les températures minimales, maximales et moyennes. A partir de ces données, les températures journalières sont calculées environ toutes les deux heures.

(Source: HAJ HUSSEIN, 2012)

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de Novell

Dans cette méthode simple, une estimation approximative de la température journalière d'un site donné pour un intervalle de deux heures, peut être déduite au moyen de l'équation suivante :

$$T_h = T_{\min} + (\Delta \times C_{\text{onst}})$$

avec :

T_h : la température horaire (à chaque 2 heures)

T_{min} : la température moyenne journalière minimale

Δ : l'écart journalière (T_{max}- T_{min})

Const : une constante correspond à une heure précise de la journée.

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de Novell

Ensuite, les températures horaires calculées seront représentées (figurées) sous forme de tableau thermique. A partir de ce dernier, les pourcentages des différentes stratégies appropriées pour chaque mois, sont déterminés, comme dans le tableau ci-après.

L'heure	Constante δ	Jan	Fev.	Jui	Oct.	Nov.	Déc.
0	0.222								
2	0.138								
4	0.056								
6	0								
8	0.111								
10	0.583								
12	0.861								
14	1								
16	0.917								
18	0.694								
20	0.444								
22	0.306								

{Source: HAJ HUSSEIN, 2012}

8) Les diagrammes bioclimatiques**La méthode de Novell**

Par ailleurs, Novell a déterminé une plage de température entre 21.1°C et 26.7°C pour la zone de confort. Donc la nécessité de refroidissement commence à partir de 26.7°C alors que la nécessité du chauffage se manifeste quand la température chute à moins de 21.1°C. Le besoin d'occultation représente la somme des périodes de confort et de refroidissement.

Le fait de reporter ces zones sur la trajectoire du soleil en projection stéréographique pour une latitude donnée permet de déterminer les durées et les types d'occultation en période de surchauffe [Givoni, 1978].

Nous pouvons décomposer l'année en deux périodes principales : la première période commence en Juin et se termine à décembre alors que la deuxième période s'étale de décembre à Juin.

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de Novell

Les tableaux ci-dessous représentent les résultats de l'application de cette méthode à deux villes différentes.

L'heure	Const. $\bar{\theta}$	les mois											
		Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
0	0.222	10.0	11.1	13.6	17.6	21.2	24.0	25.6	25.8	24.5	21.1	15.9	12.5
2	0.138	9.0	10.0	12.4	16.3	19.8	22.6	24.3	24.5	23.3	19.9	14.8	11.6
4	0.056	8.1	9.0	11.3	15.0	18.5	21.3	23.0	23.3	22.0	18.7	13.7	10.8
6	0	7.4	8.3	10.5	14.2	17.6	20.4	22.1	22.4	21.2	17.9	12.9	10.2
8	0.111	8.7	9.7	12.0	15.9	19.4	22.2	23.8	24.1	22.9	19.5	14.4	11.3
10	0.583	14.2	15.6	18.5	23.0	27.0	29.9	31.3	31.3	29.9	26.3	20.8	16.2
12	0.861	17.5	19.1	22.4	27.2	31.5	34.4	35.6	35.5	34.0	30.3	24.5	19.1
14	1	19.1	20.9	24.3	29.3	33.7	36.7	37.8	37.6	36.1	32.3	26.4	20.5
16	0.917	18.1	19.9	23.2	28.0	32.4	35.3	36.5	36.3	34.9	31.1	25.3	19.6
18	0.694	15.5	17.0	20.1	24.7	28.8	31.7	33.0	32.9	31.5	27.9	22.3	17.3
20	0.444	12.6	13.9	16.6	20.9	24.7	27.6	29.1	29.1	27.8	24.3	18.9	14.8
22	0.306	11.0	12.2	14.7	18.8	22.5	25.4	26.9	27.1	25.8	22.3	17.0	13.4

Nécessité de chauffage = 48%	Confort = 25%	Nécessité de refroidissement = 27%	Nécessité d'ombrage = 52%
------------------------------	---------------	------------------------------------	---------------------------

(Source: HAJ HUSSEIN, 2012)

4. Indices de confort, zone de confort

8) Les diagrammes bioclimatiques

La méthode de Novell

L'heure	Const. ϑ	les mois											
		Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
0	0.222	8.5	8.9	11.5	14.8	18.4	21.1	22.8	23.0	21.8	19.3	14.7	10.8
2	0.138	7.9	8.3	10.8	13.9	17.5	20.2	22.0	22.3	21.0	18.5	14.0	10.2
4	0.056	7.4	7.7	10.1	13.1	16.7	19.4	21.2	21.5	20.2	17.7	13.4	9.6
6	0	7.0	7.3	9.6	12.6	16.1	18.8	20.6	21.0	19.7	17.2	12.9	9.2
8	0.111	7.8	8.1	10.5	13.7	17.3	20.0	21.7	22.0	20.7	18.2	13.8	10.0
10	0.583	11.0	11.6	14.6	18.3	22.2	24.9	26.5	26.4	25.2	22.6	17.7	13.3
12	0.861	12.9	13.7	16.9	21.0	25.1	27.8	29.3	28.9	27.8	25.2	20.0	15.3
14	1	13.8	14.7	18.1	22.3	26.6	29.3	30.7	30.2	29.1	26.5	21.1	16.3
16	0.917	13.2	14.1	17.4	21.5	25.7	28.4	29.9	29.4	28.3	25.7	20.4	15.7
18	0.694	11.7	12.4	15.5	19.3	23.4	26.1	27.6	27.4	26.2	23.7	18.6	14.1
20	0.444	10.0	10.6	13.4	16.9	20.8	23.5	25.1	25.1	23.9	21.3	16.5	12.4
22	0.306	9.1	9.6	12.2	15.6	19.3	22.0	23.7	23.8	22.6	20.0	15.4	11.4
		Nécessité de chauffage = 63.8%		Confort = 26.5%		Nécessité de refroidissement = 9.7%		Nécessité d'ombrage = 28.5%					

(Source: HAJ HUSSEIN, 2012)