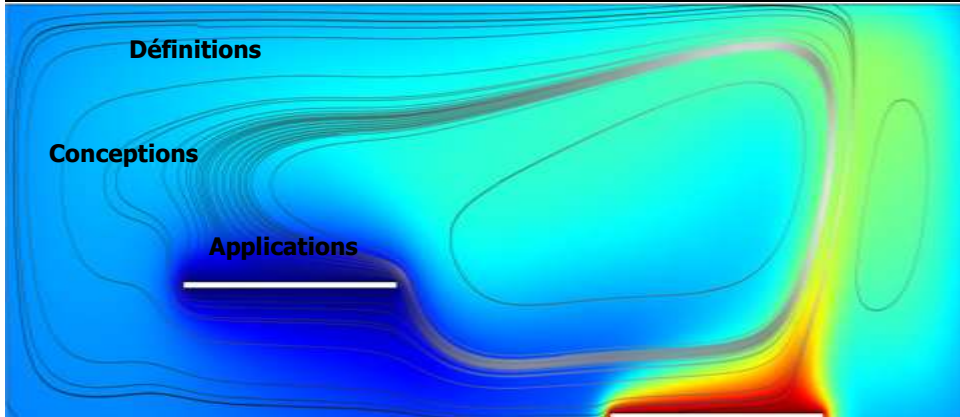


# LA NOTION DE CONFORT THERMIQUE: ENTRE MODERNISME ET CONTEMPORAIN



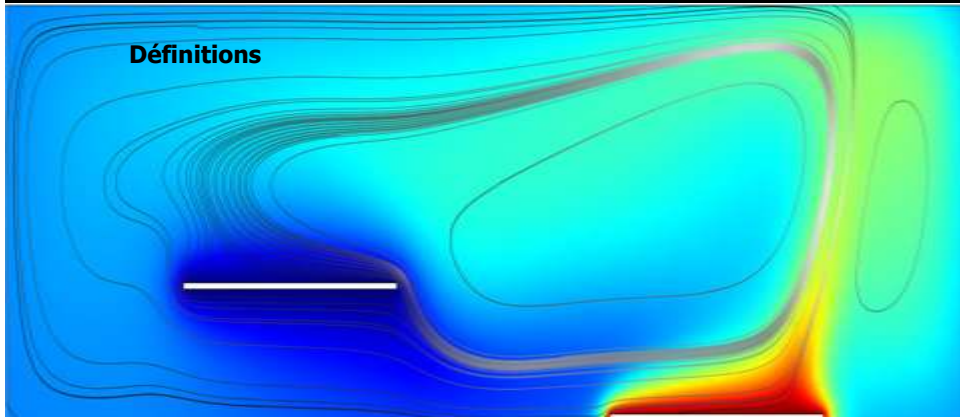
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble

nohagamal\_12@yahoo.com

1

## CONFORT THERMIQUE

*Définitions*



2

## CONFORT THERMIQUE

### Définitions

- ✿ A l'origine, le mot confort n'avait pas le sens de **bien-être** ou de **satisfaction**.
- ✿ Pendant des siècles, **conforter** qui voulait dire **renforcer**, **consolider** ou **réconforter**.
- ✿ Au 16ème siècle: « **confortable** » signifiant, **acceptable** ou **suffisant**.
- ✿ Au 18ème siècle, **bien-être physique** et de **satisfaction**.

Cette conception nous a conduit à utiliser tous les moyens apportés par l'industrie, les sciences et technologies nouvelles, afin d'améliorer sans cesse nos conditions d'existences.

3

## CONFORT THERMIQUE

### Définitions

**Qu'est-ce que ça veut dire le confort thermique ?**

«Le confort thermique peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs **physiques**, **physiologiques** et **psychologiques**, conduisant l'individu à exprimer le **bien être** de son état»

«Le maintien de l'équilibre thermique entre le **corps humain** et son **environnement** est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort» (B. Givoni)



4

## CONFORT THERMIQUE

### Définitions

Le confort reste toujours difficilement mesurable, et prend diverses formes.

Il est plus facile de savoir à quel moment on se sent confortable que pourquoi ou dans quelle mesure...

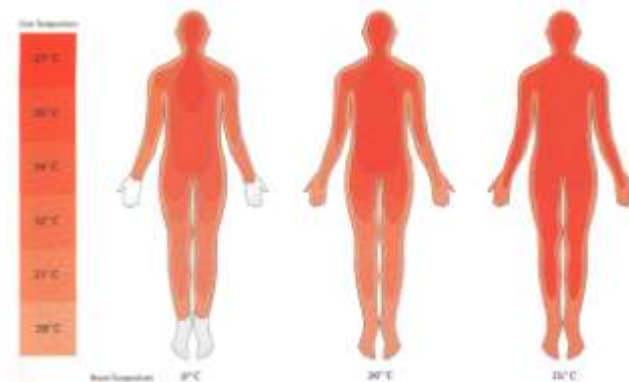
«Il est plus simple d'évaluer le manque de confort que le confort»  
(**W. Rybczynski**)

5

## CONFORT THERMIQUE

### Le métabolisme humain

Le corps est en situation de confort lorsque ces mécanismes sont peu sollicités.



*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

6

## CONFORT THERMIQUE

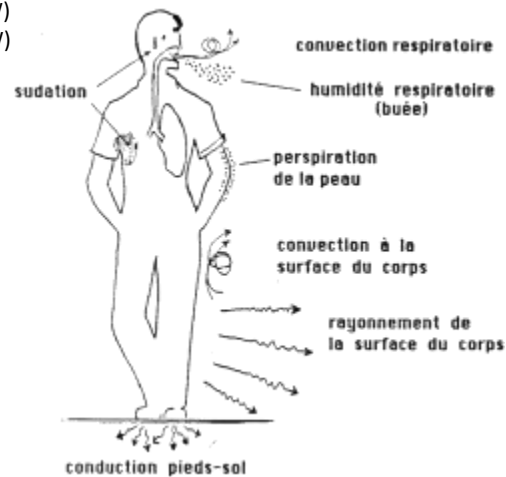
*Le métabolisme humain*

### On a un métabolisme énergétique M

- Métabolisme de base (environ 75 W)
- Métabolisme de repos (environ 105 W)
- Métabolisme de travail (jusqu'à 700 W)

### On recense 6 types d'échanges thermiques entre le corps et l'ambiance:

- La convection de surface du corps
- Le rayonnement
- La convection respiratoire
- Le rejet d'humidité respiratoire
- La conduction
- La sudation et la perspiration



7

## CONFORT THERMIQUE

*Le métabolisme humain*

Equilibre des pertes thermiques  $M = c + R + C + H_p + H_i + e$

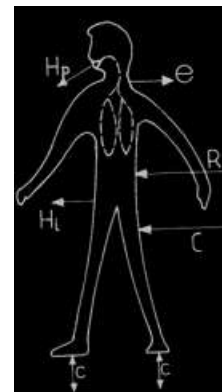
L'équation dépend de :

- M (l'activité et la santé de la personne)
- De la T°C des corps touchés (c)
- Des T°C des corps entourent la personne (R)
- De la T°C de l'air ambiant (C)
- De la pression partielle de vapeur d'eau (e)
- De la vitesse de l'air (e)
- De la résistance thermique des vêtements (réduit les échanges)
- De la perméabilité des vêtements à la vapeur d'eau

➤ **Nécessité de simplifier !**

Il est généralement admis que les données les plus importantes en ce qui concerne le confort à l'intérieur d'un local sont:

- La température de l'air
- La température radiante moyenne
- L'humidité de l'air
- La vitesse d'air



8

## CONFORT THERMIQUE

### La mesure du confort thermique

#### Méthode simplifiée

Une bonne image du confort thermique est donnée par la température de confort (ou T° opérative), moyenne arithmétique entre la température de l'air et la température des parois.

$$T_{\text{confort}} = (T_{\text{air}} + T_{\text{parois}}) / 2$$

➤ La mesure de la température de l'air ( $T_{\text{air}}$ ) se fait à l'aide d'un thermomètre protégé du rayonnement solaire et du rayonnement des parois du local.

➤ La température de surface d'une paroi ( $T_{\text{parois}}$ ) se fait à l'aide d'une sonde de contact ou sonde à rayonnement infrarouge.

9

## CONFORT THERMIQUE

### La température résultante

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:

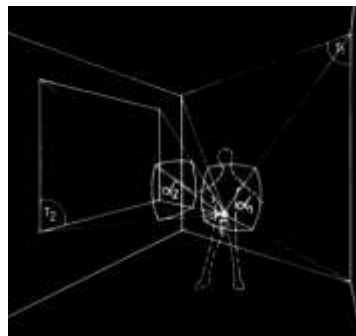
Selon la situation de la personne dans une pièce, et si les parois présentent des températures différentes, les personnes ne seront pas dans une situation identique de confort.

Température radiante =  $\Sigma$ ( des T°C de parois x 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

$$T^{\circ}\text{C résultante} = ( T^{\circ}\text{C radiante} + T^{\circ}\text{C air} ) / 2$$



10

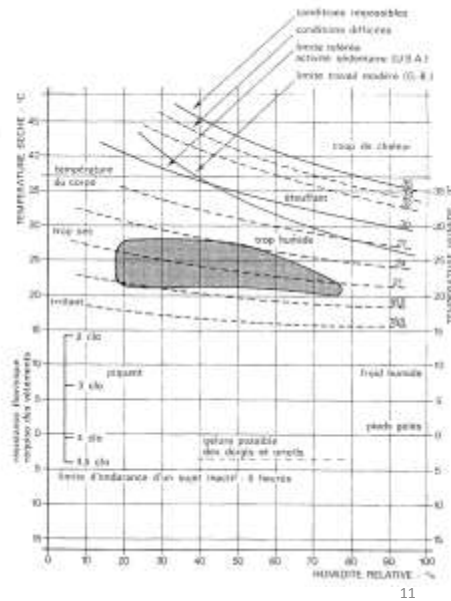
## CONFORT THERMIQUE

Différents théories du confort thermique

### La méthode 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 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**.



## CONFORT THERMIQUE

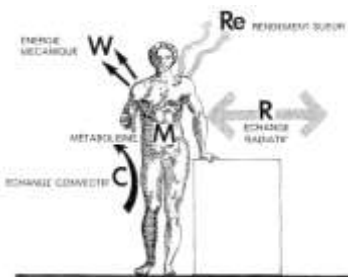
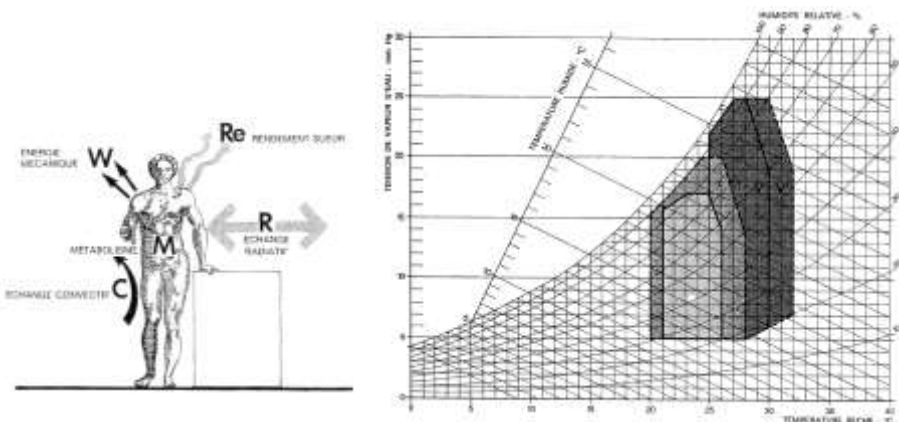
Différents théories du confort thermique

### La méthode 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.

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** ».



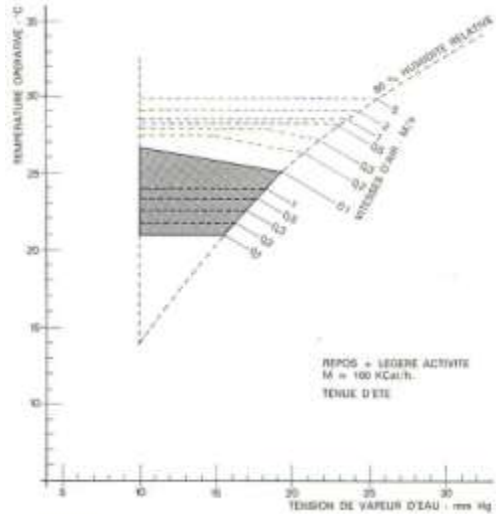
## CONFORT THERMIQUE

Différents théories du confort thermique

### La méthode Vogt e 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).

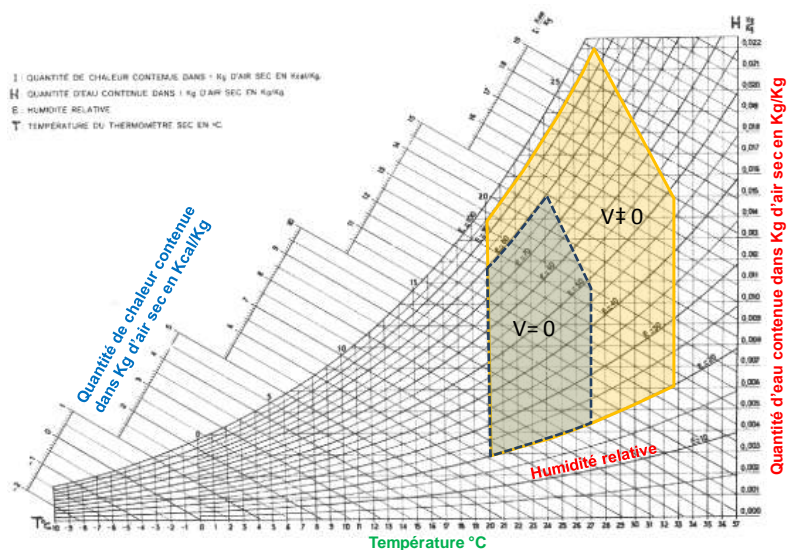
Deux de ces limites sont fixes (**tension de vapeur minimale** supérieure à 10 mm Hg, et courbe **d'humidité relative** ne dépasse pas 80%) et les trois autres sont variables et dépendent du métabolisme, de la tenue vestimentaire et la vitesse d'air intérieur (**T. opérative inférieure**, **T. opérative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



13

## CONFORT THERMIQUE

Le graphe du confort



L'humidité relative de l'air est le rapport (en pourcentage) entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir dans les mêmes conditions de température et de pression 14

## CONFORT THERMIQUE

Applications

### Confort thermique

Soit un été très chaud tel que, l'on ait un taux d'humidité relative de 60 %, avec  $T_{min} = 19^{\circ}\text{C}$  et  $T_{max} = 36^{\circ}\text{C}$  à Grenoble.

#### 1 > Diagramme de confort

Quelle est la température maximale intérieure qui peut être atteinte dans les limites du confort ?

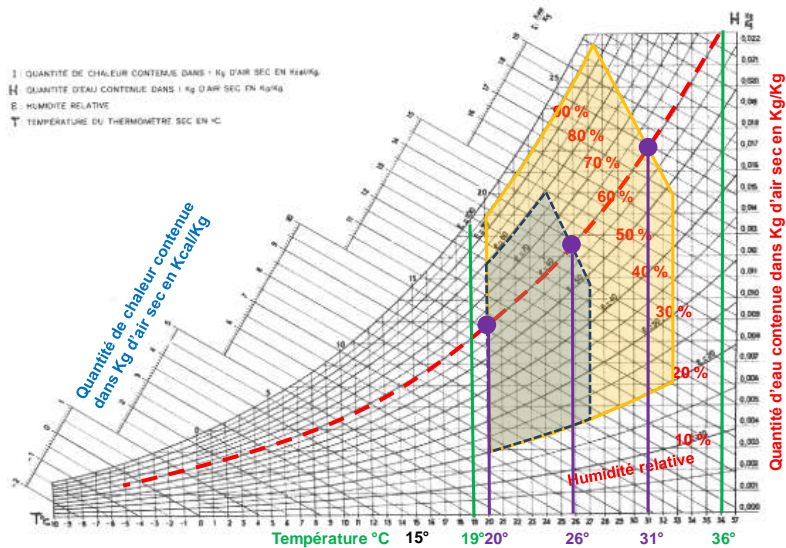
- Sans mouvement d'air :
- Avec un mouvement d'air :

Expliquez (en couleur) ces valeurs sur le graphe du confort

15

## CONFORT THERMIQUE

Solution



16



## CONFORT THERMIQUE

### Applications

#### Confort thermique

Soit un été très chaud tel que, l'on ait un taux d'humidité relative de 60 %, avec  $T_{min} = 19^{\circ}\text{C}$  et  $T_{max} = 36^{\circ}\text{C}$  à Grenoble.

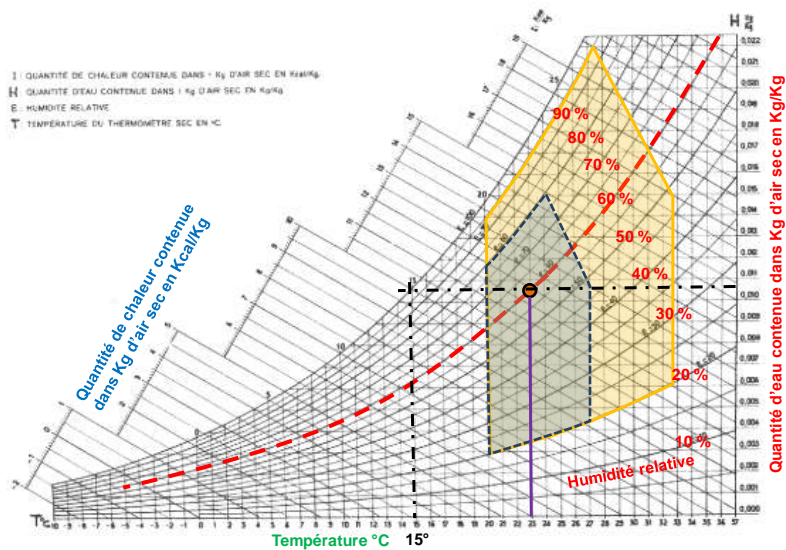
#### 2 > Humidité

Toujours dans les mêmes conditions, est-ce qu'il se formera des gouttes d'eau sur les vitres ? A partir de quelle température de vitrage verra-t-on de la condensation apparaître ? (la température de l'air  $23^{\circ}\text{C}$ , humidité 60%)

17

## CONFORT THERMIQUE

### Solution



L'humidité relative de l'air est le rapport (en pourcentage) entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir dans les mêmes conditions de température et de pression 18

## CONFORT THERMIQUE

Applications

### Confort thermique

Soit un été très chaud tel que, l'on ait un taux d'humidité relative de 60 %, avec  $T_{min} = 19^{\circ}\text{C}$  et  $T_{max} = 36^{\circ}\text{C}$  à Grenoble.

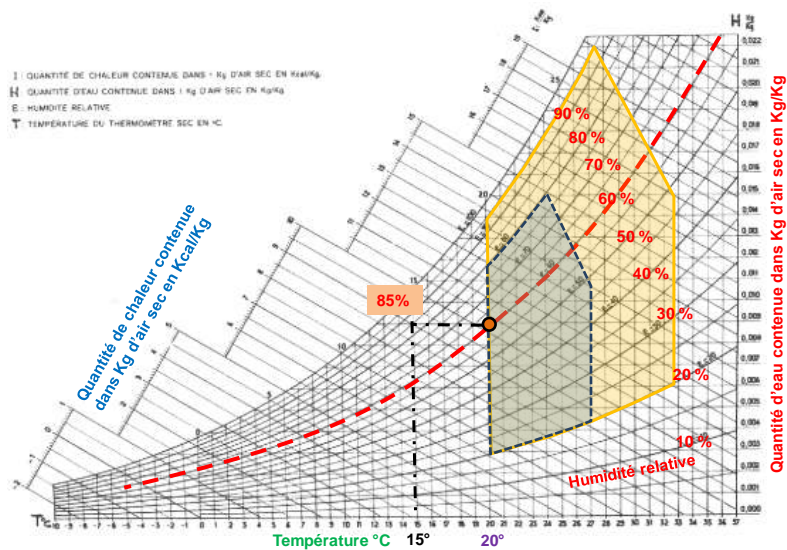
### 3 > Confort et humidité

- Pourquoi un logement mal chauffé est-il plus humide ?
- On peut l'argumenter avec l'exemple d'une pièce chauffée à  $20^{\circ}\text{C}$  avec un taux d'humidité relative de 60 % dont la température passerait à  $15^{\circ}\text{C}$  si l'on coupait le chauffage.

19

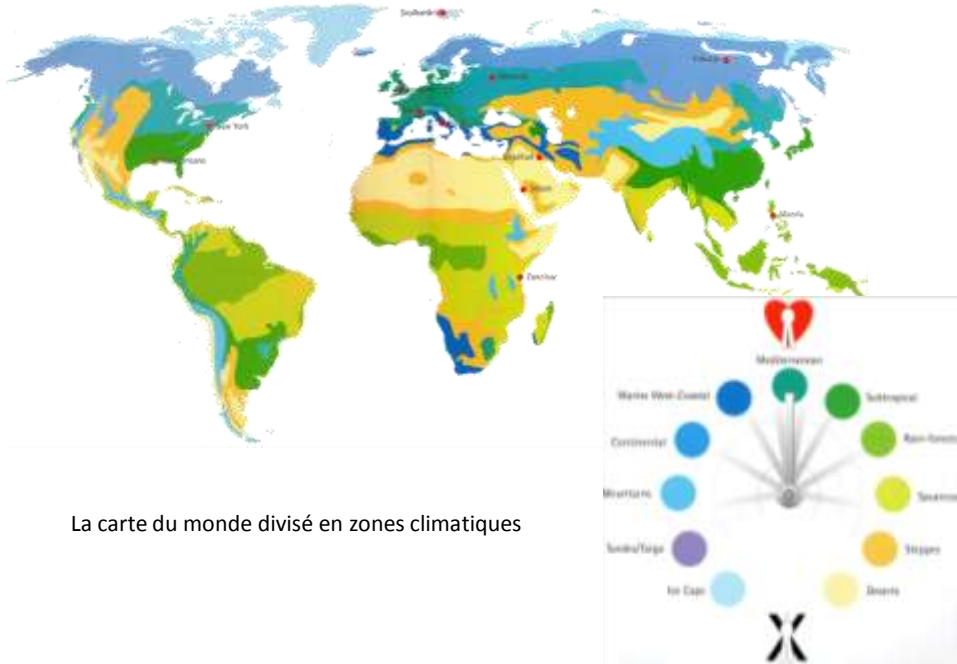
## CONFORT THERMIQUE

Solution



L'humidité relative de l'air est le rapport (en pourcentage) entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir dans les mêmes conditions de température et de pression 20

## CONFORT THERMIQUE



## CONFORT THERMIQUE

### L'impact sur l'architecture

#### Première Phase

Chaque région, à travers son architecture locale, a réussi à créer des solutions architecturales appropriées à son climat.

Tous les exemples de l'ancien architecture nous donne une richesse architecturale pour s'adapter au climat local.

*Farmhouse* dans les pays occidentaux

L'histoire de l'architecture jusqu'à un passé très récent a répondu à l'idée **qu'il faut vivre avec le climat**.

## CONFORT THERMIQUE

### L'impact sur l'architecture

#### Deuxième Phase

L'architecture moderne a développé un autre chemin pour régler les conditions climatiques

*Le Corbusier*, dans ses conceptions architecturales, il cherche à homogénéiser le chauffage, à normaliser le climat intérieur en élaborant les concepts de:

*mur neutralisant*  
*respiration exacte*

*Frank Lloyd Wright*, il est le premier de mise en œuvre moderne de planchers chauffants qui génèrent un climat intérieur parfaitement équilibré, normalisé et silencieux.

L'architecture moderne a pris donc une autre voie: celle de la séparation du milieu naturel et l'architecture. On s'en isole le plus possible avec le secret espoir de pouvoir l'ignorer .

23

## CONFORT THERMIQUE

### L'impact sur l'architecture

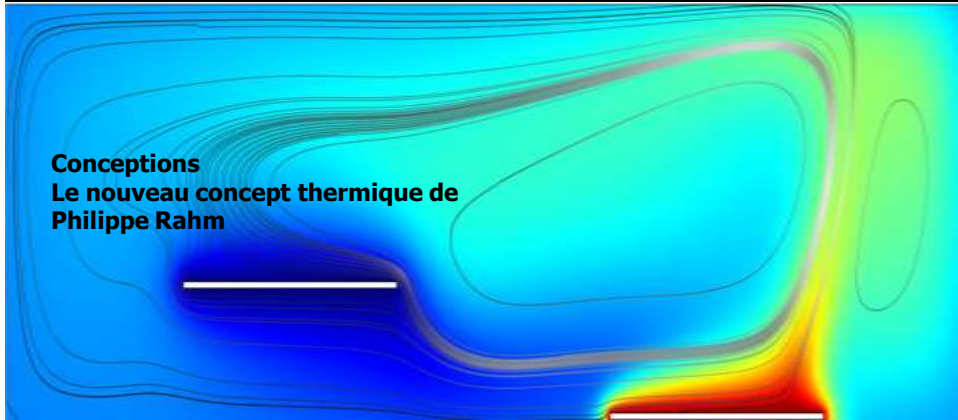
La grande différence entre le bâti ancien et le bâti moderne est que le premier vit avec son environnement selon un équilibre qu'il convient de **comprendre** et **de protéger**, alors que l'autre cherche à **s'isoler** de son environnement.

24

## LA NOTION DE CONFORT THERMIQUE: ENTRE MODERNISME ET CONTEMPORAIN

Troisième Phase

**Conceptions**  
**Le nouveau concept thermique de**  
**Philippe Rahm**



Ecole Nationale Supérieur d'Architecture de Grenoble

nohagamal\_12@yahoo.com

25

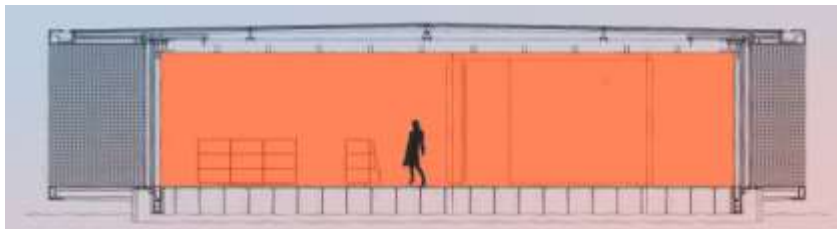
### LA ZONE DE CONFORT

*Critique*

Les technique de l'isolation extérieure ou l'air conditionné ont normalisé et banalisé les températures et les climats intérieurs.

La modernité occidentale est fondé sur une objectivation et une normalisation de la notion de confort produisant des espaces homogènes et constants.

La température de l'air	21°C
L'humidité relative	50%
L'intensité lumineuse	2000 lux



L'espace intérieur devient une sorte de bain d'air chaud autour notre corps, contre notre corps et dans notre corps à chaque respiration.

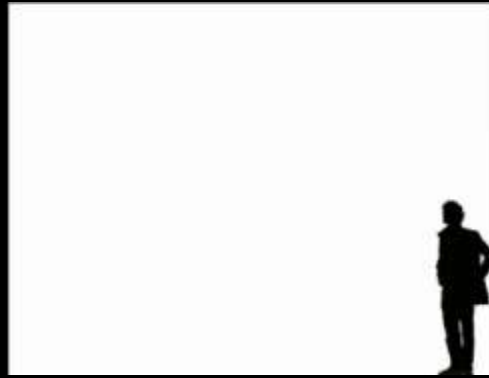
## REGLEMENTATION THERMIQUE

*La norme Suisse pour la construction SIA 384/2*

Salle de bain	22°C
Séjour/Salon	20°C
Cuisine	18-20°C
Chambre à coucher	16-18°C
Corridor/Toilettes	15-18°C
Escaliers	12°C
Services	12°C

Ces températures sont relative à:

- L'habillement et nudité
- L'activité physique

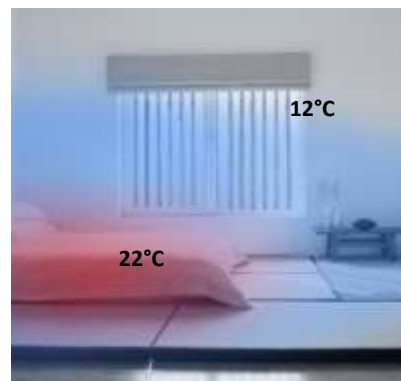


## L'ESPACE JAPONAIS CONTEMPORAIN

L'espace japonais contemporain présente une distorsion par rapport à la banalisation moderne de climat intérieur.

Dans cet espace, il y a des plusieurs phénomènes pour chauffer ponctuellement certains parties du corps (conduction et radiation) offrant une grand richesse de sensations.

Cette chambre peut offrir une température de l'air proche de 12°C tandis que le lit chauffé de l'intérieur par un matelas électrique pour fournir au corps une douce chaleur de 22°C



## L'ESPACE JAPONAIS CONTEMPORAIN

À l'opposé de l'homogénéisation moderne occidentale où l'ensemble de la température de la pièce (air, surfaces, objets,) est chauffé à 21°C notamment par la convection, cette composition intérieure diversifie

- ✿ Les modes d'émissions thermiques,
- ✿ Les sources,
- ✿ Leurs intensité,
- ✿ Les lieux de leurs réception sensible.

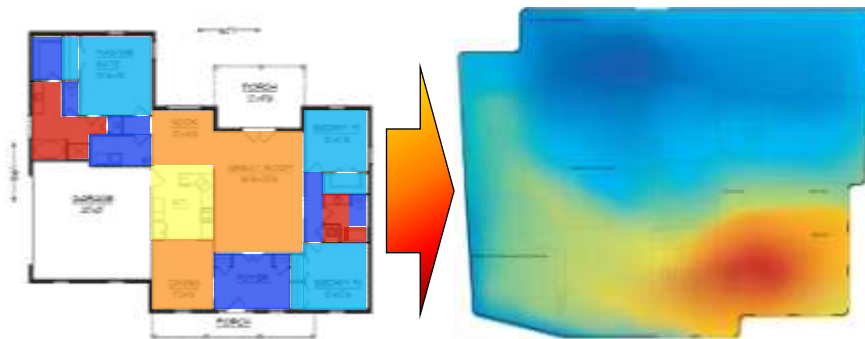
Ce qui produit une richesse spatiale de sensations, de contrastes thermique, de qualités sensuelles

### La naissance d'une nouvelle approche thermique

#### Plan libre

L'idée de séparer spatialement les pièces par des portes est contre le plan libre de l'architecture moderne (Le Corbusier) et contemporaine.

Au lieu de séparer spatialement chaque pièce et de chauffer chacune spécifiquement à une température précise, Philippe Rahm propose de penser à l'ensemble de la maison comme une atmosphère globale.



## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Vide/ plein

**Le vide et le sujet de l'architecture. Le plein lui est secondaire.**

**L'histoire de l'architecture est paradoxalement celle du plein et de ses classifications associées, entre formes, structures et matières.**

- ✿ Jusqu'au XVIII ème siècle, le vide est resté un élément unique et indivisible, celui de l'air.
- ✿ Dans la seconde moitié du XVIII ème siècle, on a commencé à comprendre la nature réelle du vide; une fluide, plus léger, plus transparent que l'eau, composé de différents gaz.
- ✿ Un siècle plus tard, la découverte des propriétés physiques de l'air.
- ✿ Dans la seconde moitié de XIX ème siècle, la découverte des continus biologiques, micro-organismes, germes, microbes et poussières.
- ✿ Aujourd'hui, on continue à explorer les propriétés électromagnétiques ou électriques.

**La mission de l'architecture est de définir le creux qu'est l'espaces et de qualifier le vide à laquelle on soustrait certaines propriétés.**

## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Symétrie/Asymétrie

- ✿ La notion de symétrie signifié la beauté jusqu'au XX ème siècle. Le corps humain ait servi de modèle à la composition architecturale.
- ✿ Cette notion a dominé la composition des corps des bâtiments servant uniquement le visuel. Le problème dans l'invisible continuaient de régner le désordre et l'inharmonie.
- ✿ A la fin de XIX ème siècle, on a commencé à se réaliser l'ordonnance dans l'invisible grâce aux nouvel technique de climatisation.
- ✿ Au XX ème siècle, pendant l'époque modern, Le Corbusier cherchait à normaliser le climat intérieur en élaborant des concepts comme le « mur neutralisant » ou de « respiration exacte » conduisant à la banalisation des espaces intérieur au niveau thermique.





## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Symétrie/Asymétrie

- ✿ Au cours de XX<sup>ème</sup> siècle, l'étude des machines à vapeur a montré que l'équilibre ne permet pas la production de l'énergie, il annihile toute possibilité de mouvement.
- ✿ La loi de la thermodynamique, dans un système fermé, l'énergie est constante causant une diminution de l'énergie potentielle conduisant à la mort thermique.

La thermodynamique inverse les critères de valeur; l'équilibre équivaut à la mort, tandis que le déséquilibre ouvre à la vie.

Il y a un renversement de valeur entre symétrie et asymétrie, visible et invisible, formel et climatique qui ont fait basculer la notion d'esthétique du laid vers la beau. L'équilibre dans l'invisible s'accompagne d'un retour du désordre formel dans le visible.

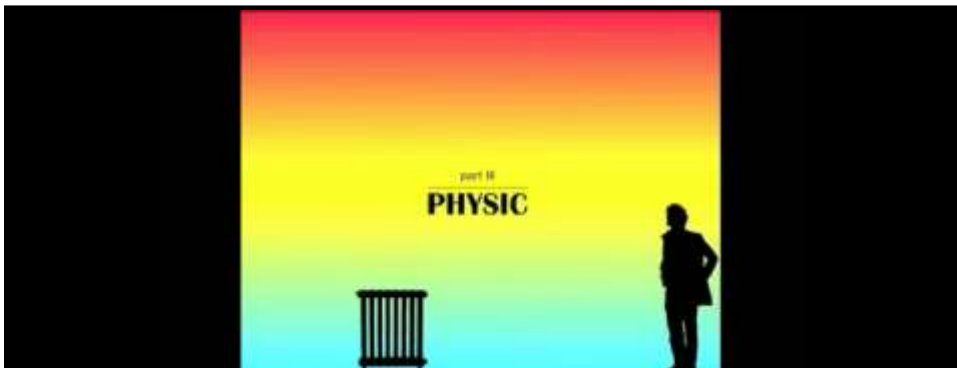


## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Loi d'Archimède

Selon la loi d'Archimède, l'air chaud monte tandis que l'air froid descend et cette réalité physique a une influence directe sur la répartition des températures à l'intérieur d'un appartement.

On peut mesurer de grandes disparités de températures entre le niveau du plancher et le niveau du plafond. Il fait par exemple 19° C au niveau des pieds et 28°C, 3 mètres plus haut, sous le plafond.



## La naissance d'une nouvelle approche thermique

- Plan libre
- Vide/ plein
- Symétrie/Asymétrie
- Loi d'Archimède

### Paysage thermique



## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Paysage thermique

- \* Les moyens de l'architecture doivent devenir invisible et légers, produire des lieux comme des paysages ouverts, libres, des géographies nouvelles, d'autre météorologique.
- \* L'espace se déploie entre le physiologie et le climatique, entre déterminisme et liberté; cet entre-deux maintenant ouvert, flottant, indécis, est l'espace d'un niveau paysage humaniste.
- \* Penser l'architecture en terme de climat signifie se projeter dans une autre spatialité, un rapport sensuel à l'espace, habiter l'espace intérieur comme une atmosphère, avec ses diversités de climats, ses variations météorologiques et des gradients.

#### Ambiance thermique

L'architecture doit construire des échanges sensoriels entre le corps et l'espace, les sens, le peau, la respiration et le climat, la température, les variations d'humidité et de lumière.

## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Paysage thermique

Refonder le langage de l'architecture sur des glissements des valeurs vers l'invisible.

La forme d'un bâtiment et la qualité d'un espace se donnent en termes de surface et de volume. Il présente l'architecture comme météorologique et atmosphère.

**Surface** → **météorologique**

**Volume** → **atmosphère**

**Visible** → **invisible**

**Composition métrique** → **composition thermique**

## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Paysage thermique

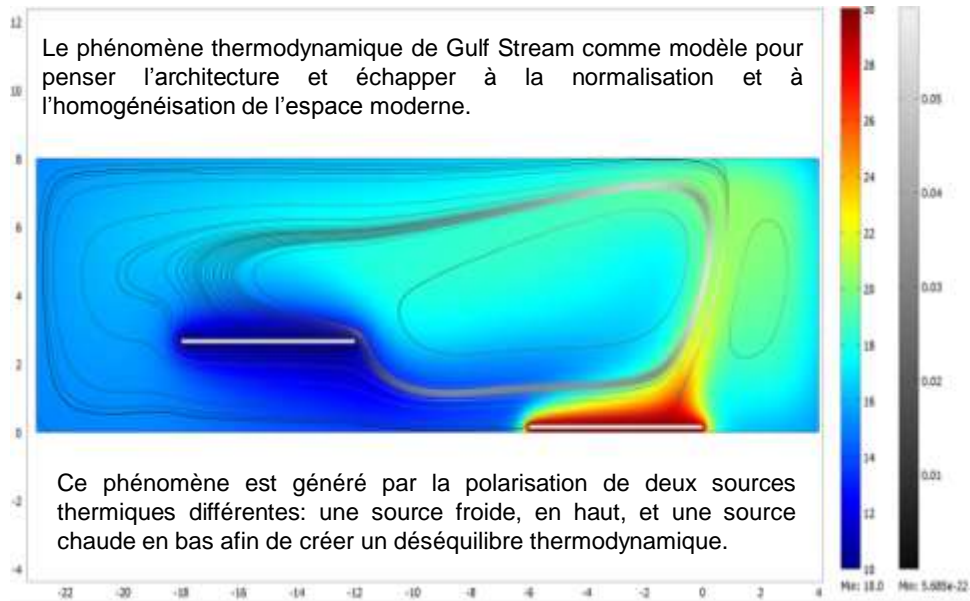
Dans son approche, il utilise la mission climatique de l'architecture non seulement comme objective mais également comme moyen.

Les éléments physiques du climat deviennent des dispositifs architecturaux:

- ✿ **Pression/Dépression**
- ✿ **Température**
- ✿ **Humidité relative**
- ✿ **Tracé des mouvements d'air**
- ✿ **Stratification des températures**

Travailler sur le vide, sur l'air et ses mouvements, sur les phénomènes de conduction, de transpiration, de convection comme nouveaux paradigmes de l'architecture contemporaine

# Gulf Stream



## La naissance d'une nouvelle approche thermique

### Gulf stream

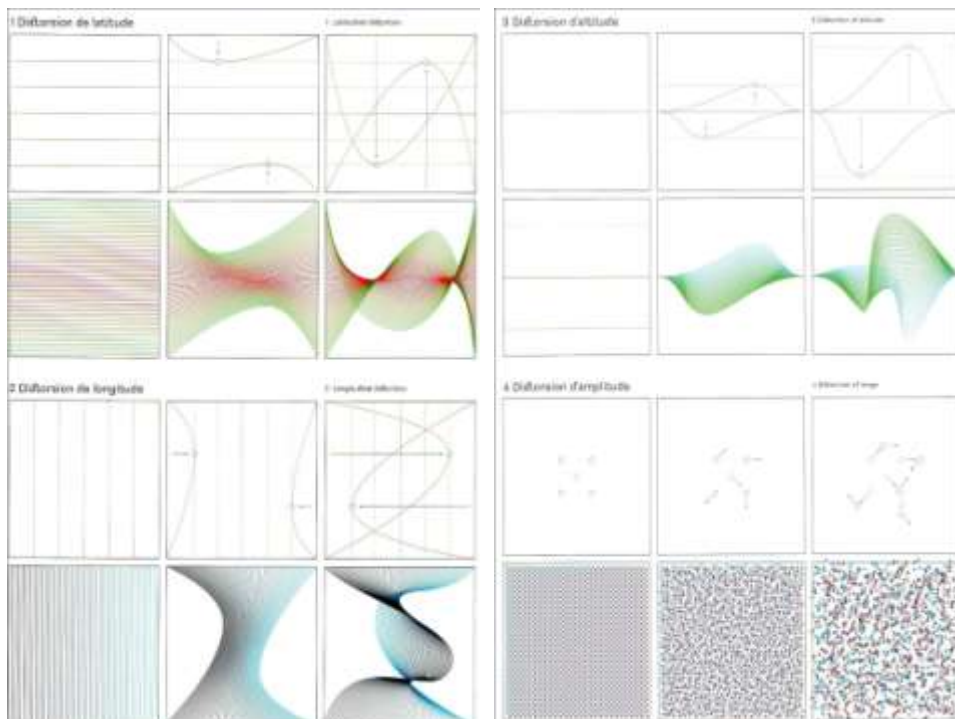
- ✿ Cette méthode crée un paysage thermique invisible, complexe et riche, défini selon de multiples zones de différentes températures comme autant de climats, de sensibilités, de territoires.
- ✿ Dans ce processus de conception architecturale, on crée d'abord une atmosphère, avant le programme, avant les formes spatiales.
- ✿ C'est ensuite que le programme est placé dans l'espace, en y cherchant des convenances thermiques sensorielles qui croisent les critères de températures ambiantes localisées, habillement, activité physique et pure subjectivité.

## DISTORSION

## La naissance d'une nouvelle approche thermique

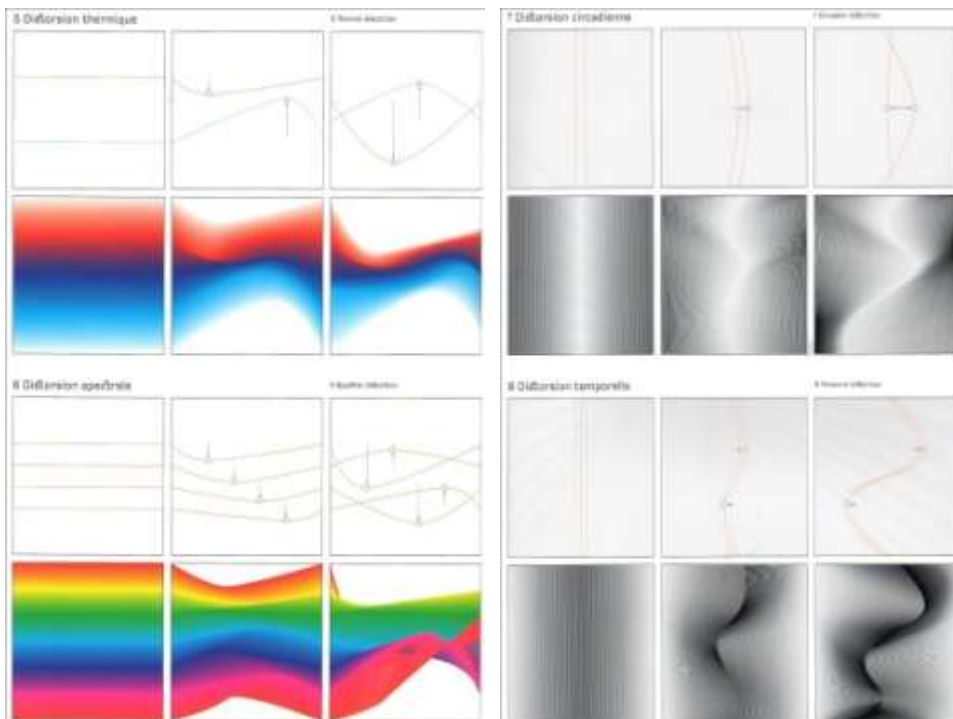
### Distorsion

- ✿ Philippe Rahm offre une architecture qui travaille dans le champ de la modernité, dans cette transformation artificielle des lieux et des climats, mais dont elle distord les limites, en deçà du visible, au-delà de l'espace et du temps.
- ✿ Sur-naturelle plus qu'artificielle, sur-territorialisée plutôt que déterritorisée. Une architecture comme surmodernité.

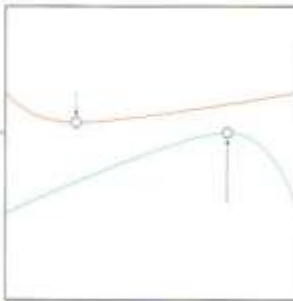
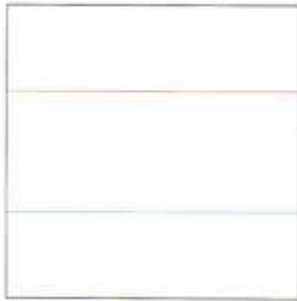


## La naissance d'une nouvelle approche thermique

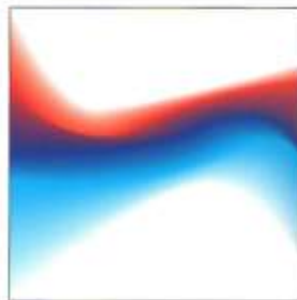
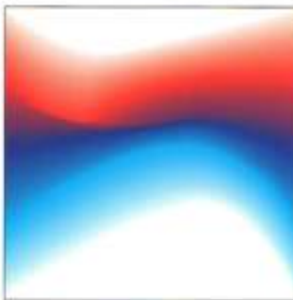
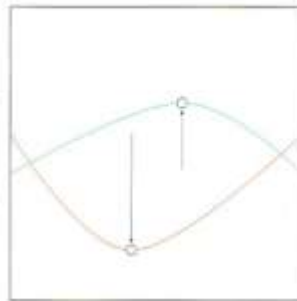
Le chauffage est un voyage géographique ponctuel, comme un glissement domestique de latitude, en temps réel entre le 0°C du nord de l'Europe au 18°C du Sud de l'Europe. Il est considéré comme un voyage immobile dans l'espace, une contraction spatiale localisée.



## 5 Distorsion thermique



## 6 Thermal distortion



### DISTORSION THERMIQUE

#### Galerie d'art contemporain

Définir l'espace par nuance de chaleur  
qui génère différentes zones et  
fonctions



Travailler assis	21°C
Visiter en marchant	16°C
Stocker	12°C

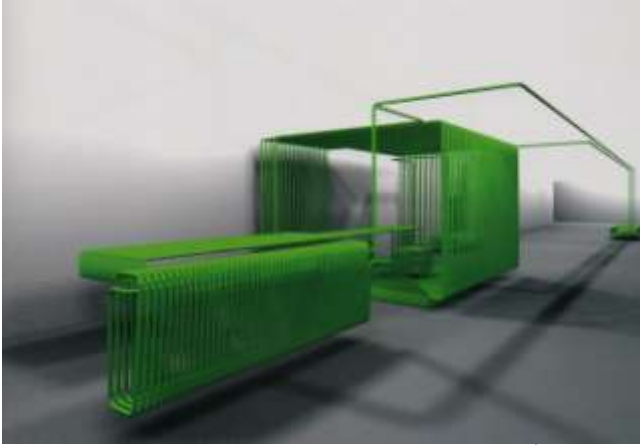




## DISTORSION THERMIQUE Galerie d'art contemporain

Le réseau tubulaire d'eau chaude en hiver/ froide en été, offre des une variété de conditions, d'espace et de températures.

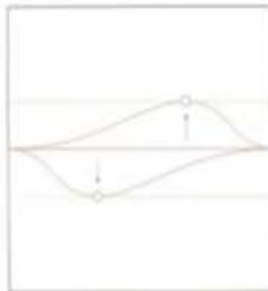
La chaleur donne forme à l'espace par radiation, cloisonner par conduction, agencer par convection



Le circuit constitue à la fois un sol, une paroi, un plafond, mais aussi une table, un banc.



3 Distorsion d'altitude



3 Distorsion of altitude



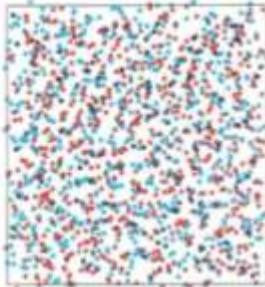
50



4 Distorsion d'amplitude



4 Distorsion of range



52

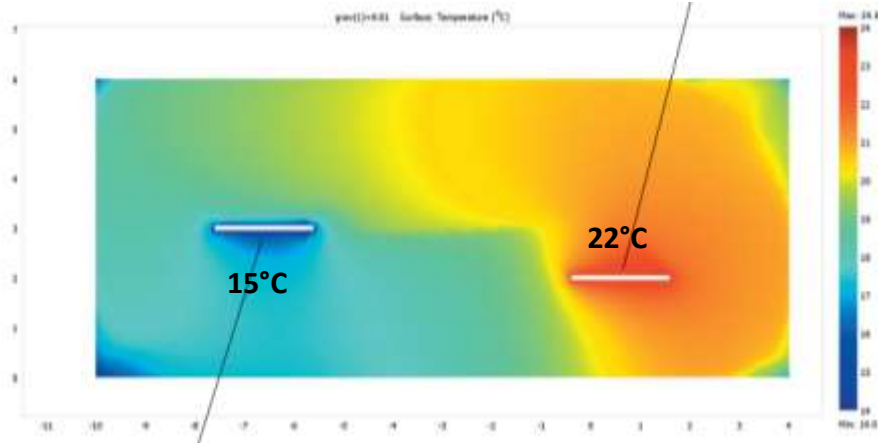


53

## Exemples des projets Architecturaux de Philippe Rahm

## CONVECTION Astronomie Domestique

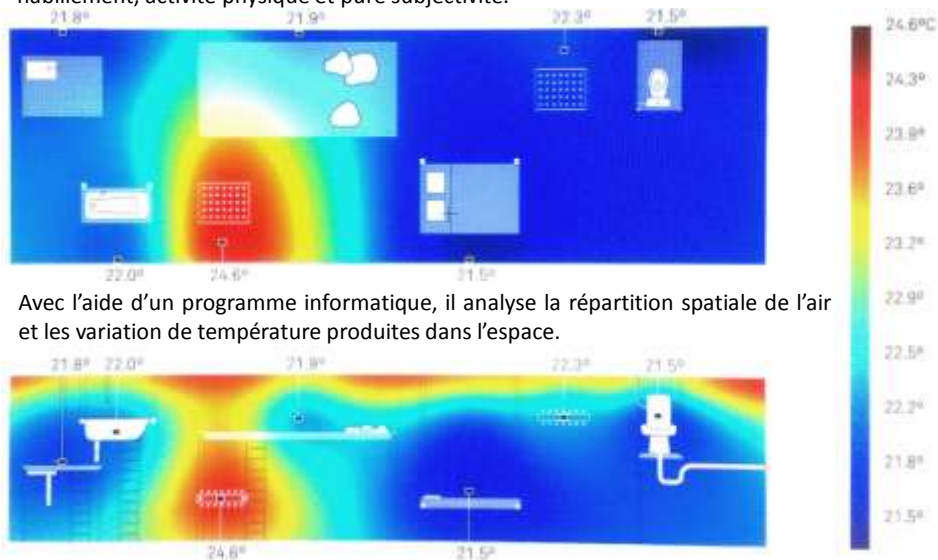
L'objectif est de créer d'abord une ambiance thermique, avant le programme et avant les formes spatiales, en le traitant comme une atmosphère d'une seule chambre, par chercher les différentes températures appropriées pour différentes fonctions



Une économie est réalisée dans le bilan global thermique de la maison, dont la moyenne de chauffage à été abaissée à 18°C.

## CONVECTION Astronomie Domestique

Le programme du projet est placé dans l'espace, en y cherchant des convenances thermiques sensorielles qui croisent les critères de températures ambiantes localisées, habillement, activité physique et pure subjectivité.



Avec l'aide d'un programme informatique, il analyse la répartition spatiale de l'air et les variations de température produites dans l'espace.



## CONVECTION Astronomie Domestique

Le concept de cette maison est de créer un prototype où l'on n'habite non plus les surfaces mais une ambiance. Tous les planchers, les fonctions et les meubles flottent dans l'espace, évaporent dans l'atmosphère.

Dans ce projet, on remplace l'horizontalité par la verticalité où l'on occupe des zones différentes de chaleur, plusieurs couches de l'espace ainsi que plusieurs hauteurs.

Dans ce paysage thermique, il découvre les zones plus propices à certaines activités en fonction de corps, d'habillement, et l'activité physique.

Leur température telle que le recommande la norme SIA 384/2.



## CONVECTION Astronomie Domestique

Dans le système écologique, les éléments constituant l'atmosphère sont reliés; la lumière, la chaleur, l'espace, la température, les mouvements d'air. Comme le soleil qui est une source de chaleur est lumière en même temps.

Pour le système de chauffage, il utilise des ampoules qui produisent la lumière et la chaleur par la radiation électromagnétique.

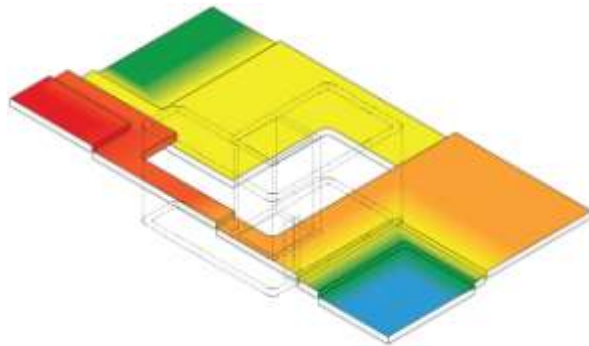


Pour cet espace de 225 m<sup>2</sup>, on a besoin de 5000 W, 45 ampoules normales et 45 ampoules fluorescentes.

**CONVECTION**  
**Appartements Convectifs**

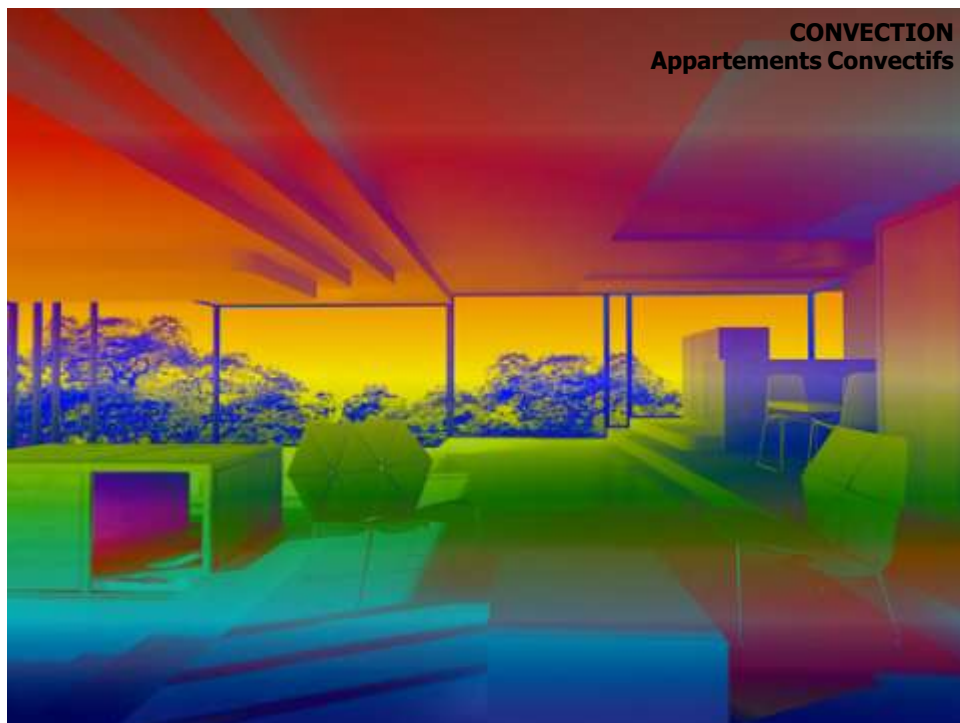


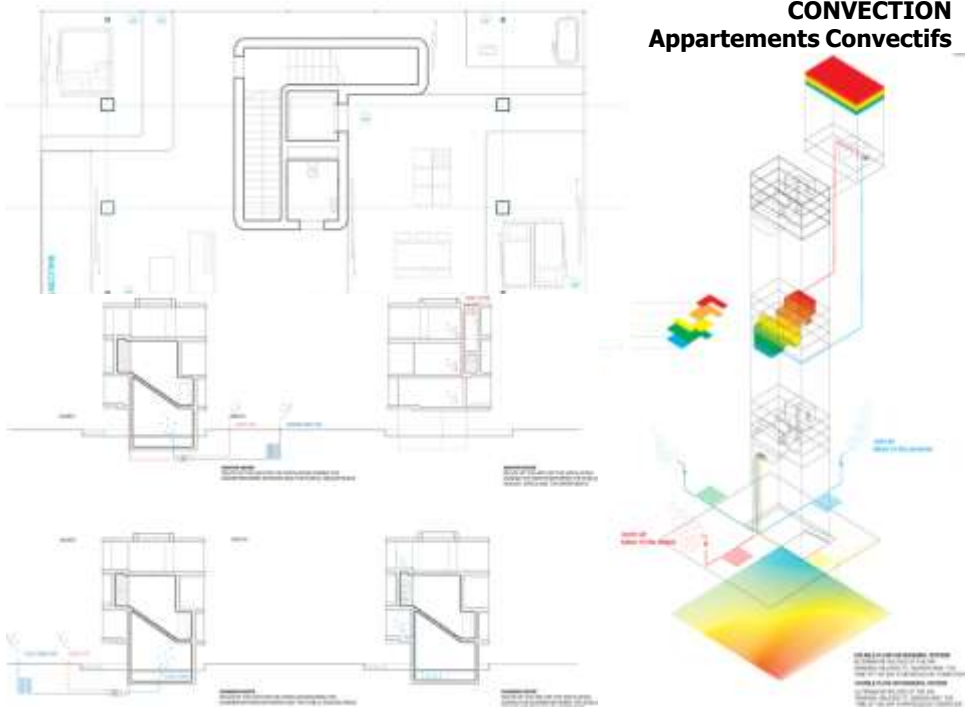
**SECTION, APARTMENT**  
**FUNCTIONS RELATED TO THERMAL ZONES**



**LANDSCAPE OF APARTMENT**  
**RELATED TO THERMAL ZONES**

**CONVECTION**  
**Appartements Convectifs**





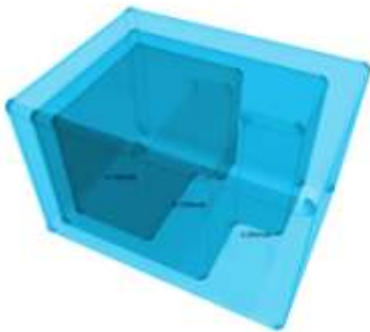
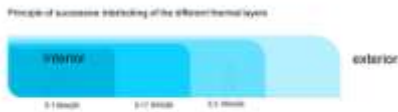
**CONVECTION**  
**Appartements Convectifs**

La forme de bâtiment

La conception paysagère

L'enveloppe de triple vitrage





## CONDUCTION ECOLE PRMIERE EN SUISSE

L'école se stratifie comme un oignon thermique en fonction des températures exigées en relation avec l'activité que l'on y a.

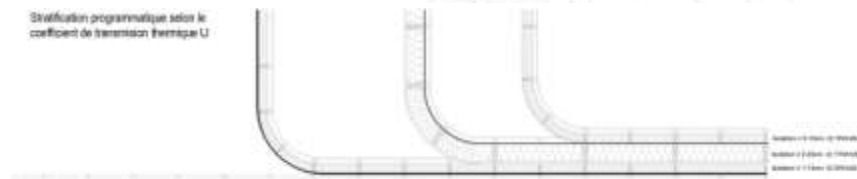
Il rend visibles et sensibles les différentes couches d'isolation thermique dans lesquels on pénètre physiquement, on s'infiltrer littéralement, se faufile, se glisse et que l'on élargit ensuite, que l'on dilate, évase pour y placer des pièces en fonction des températures.

mais plutôt une succession de couches lesquels, l'une après l'autre, filtrent progressivement une certaine quantité de température et de lumière et font passer de l'extérieur à l'intérieur sans que l'on sache exactement quand.

les couches fonctionneront réellement comme des tampons thermiques participant à l'isolation du bâtiment.

## CONDUCTION ECOLE PRMIERE EN SUISSE

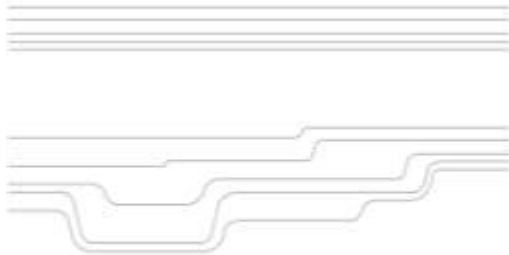
Notre projet se définit ainsi en une série de couches d'isolation qui réduisent progressivement le coefficient de transmission thermique U, passant de 0,3w/m2.k dans la première strate à 0,1 dans la troisième strate. Plus sensible aux variations extérieures, la première strate, en périphérie du bâtiment est celle où l'on passe le moins de temps. Elle contient les WC et les locaux techniques. La seconde couche, un peu plus à l'intérieur, et plus isolée, accueille les espaces intermédiaires, les circulations et l'Aula. La dernière strate, la plus intérieure, protégée par 40 cm d'isolation, loge les salles de classe et offre un confort maximum pour les enfants avec un coefficient thermique de 0,1.



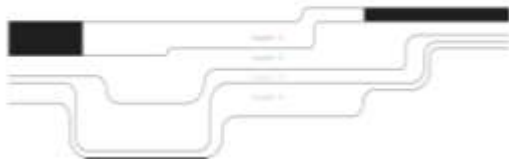




## CONDUCTION MUSEE TADEUSZ KANTOR



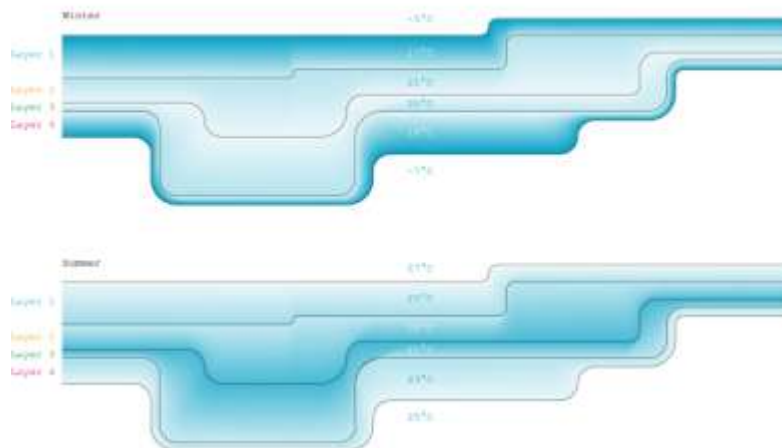
L'idée principale est d'augmenter la conductance des murs par ajouter des couches en augmentant la distance entre les couches depuis quelques millimètres jusqu'au l'espacement devient un espace habitable.



## CONDUCTION MUSEE TADEUSZ KANTOR

Notre projet offre ainsi un parcours dans son architecture comme une migration à travers la chaleur et la lumière, où chaque couche offre un climat différent comme autant de variations de lieux d'exposition et de conservation.

Temperature variations by layers



Il se donne comme une division cellulaire, de ce qui, au départ, est unique, et qui, ici, se dédouble en deux temps parallèles, la nuit et le jour, mais présent en même temps.

## RADIATION SPLIT TIME CAFE



Split times café donne la possibilité d'habiter trois temporalités: l'une naturelle, les deux autres artificielles, physiologiquement produites.

Le projet est ainsi une machine à traverser le temps, du jour à la nuit, du naturel à l'artificiel et l'architecture est ici littéralement l'art de la construction du temps.



## RADIATION SPLIT TIME CAFE

La première temporalité, prise dans une enveloppe de verre clair, est celle, en temps réelle, de la course solaire naturelle. Le mobilier est celui d'un café traditionnel, avec tables et chaises.



La seconde temporalité est construite avec une enveloppe en verre coloré jaune, bloquant les longueurs d'ondes de la lumière responsable de la baisse de la mélatonine dans le corps. Elle reproduit donc une nuit physiologique véritable tout en étant lumineuse. Le mobilier est ici plus proche d'un lounge et le mobilier se rapproche du sofa voir du lit.



La troisième temporalité est définie par une enveloppe de verre bleu, dont les longueur d'onde sont celle qui bloque la sécrétion de la mélatonine dans le corps. C'est donc une pièce d'un jour perpétuel, en action que l'on convertit en bar, avec table haute uniquement, où l'on reste debout pour de courts séjours.



**ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE**  
*Applications*

**L'ARCHITECTURE INTELLIGENTE**  
Des systèmes réactifs et automatisés

**LA BIOMIMETIQUE**  
Des systèmes naturels et appropriés

**LES SURFACES ACTIVES**

**Applications**

---

69

**Smart Materials and Technologies**  
for Architecture and Design (2008)  
Michelle Adlington and Daniel Schodde

**RESPONSIVE ENVIRONMENTS**  
LUCY BILLWANT

**Architecture intelligente**  
*Introduction*

Ed van Hinte  
Marc Neelen  
Jacques Vink  
Piet Vollaard

**Smart Architecture**

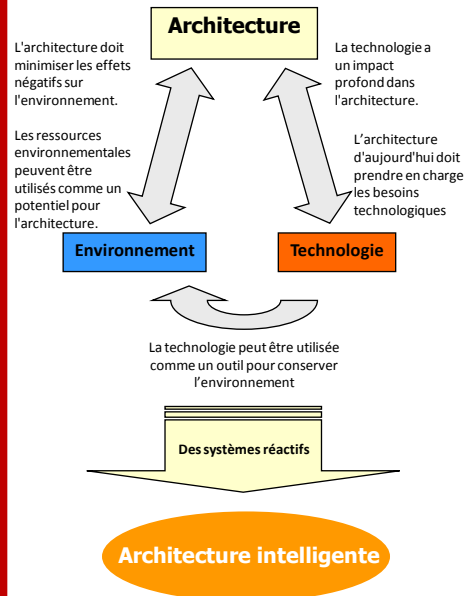
## La technologie comme un outil pour des objectifs environnementaux

Les objectifs principaux de la technologie sont la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles.

L'architecture intelligente considère la technologie non comme un ennemi de la nature, mais comme un allié naturel qui peut aider à augmenter le potentiel technologique pour résoudre les problèmes environnementaux.

## Architecture intelligente

### Définitions



## Automatisé/Réactive

Un bâtiment intelligent comme un système idéal, c'est-à-dire, une enveloppe et des systèmes de service **automatisés** qui sont capable de **répondre** d'un côté, aux activités, besoins et exigences de ses utilisateurs, d'autre côté, à l'environnement extérieur, et aux échanges entre les systèmes et son environnement.

Yeang, K., "Designing with Nature: The Ecological Basis for Architecture Design", p.31.

Wigginton définit le bâtiment intelligent que un bâtiment **réactive** et bien connecté par des systèmes de communication et qui utilise des systèmes biomorphiques pour optimiser ses fonctions.

Wigginton, M., "Response and Responsibility: How Clever can a Building be today", p.52.

Rab Bennetts voit le bâtiment intelligent comme un bâtiment qui **répond** à sa fonction et à **l'environnement** à travers la **technologie**.

Wigginton, M.& Harris, J., "Intelligent Skins", p.171.

## Architecture intelligente

### Définitions

## Architecture intelligente

*Approche*

L'idée principale derrière le mouvement de l'architecture intelligente est de «prendre l'intelligence humaine comme un prototype pour les bâtiments».

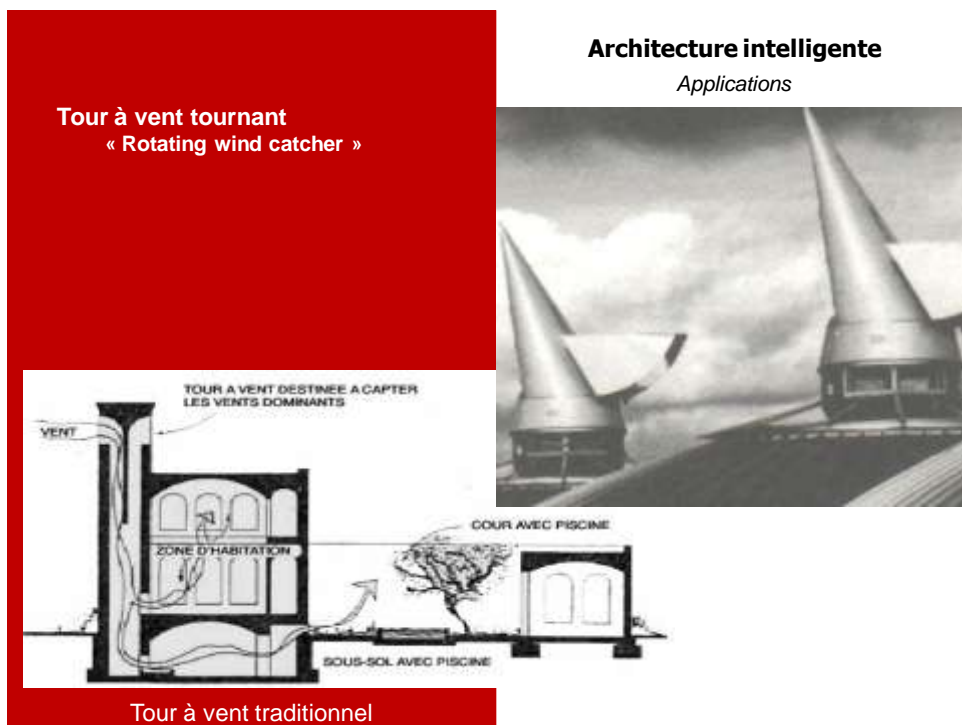
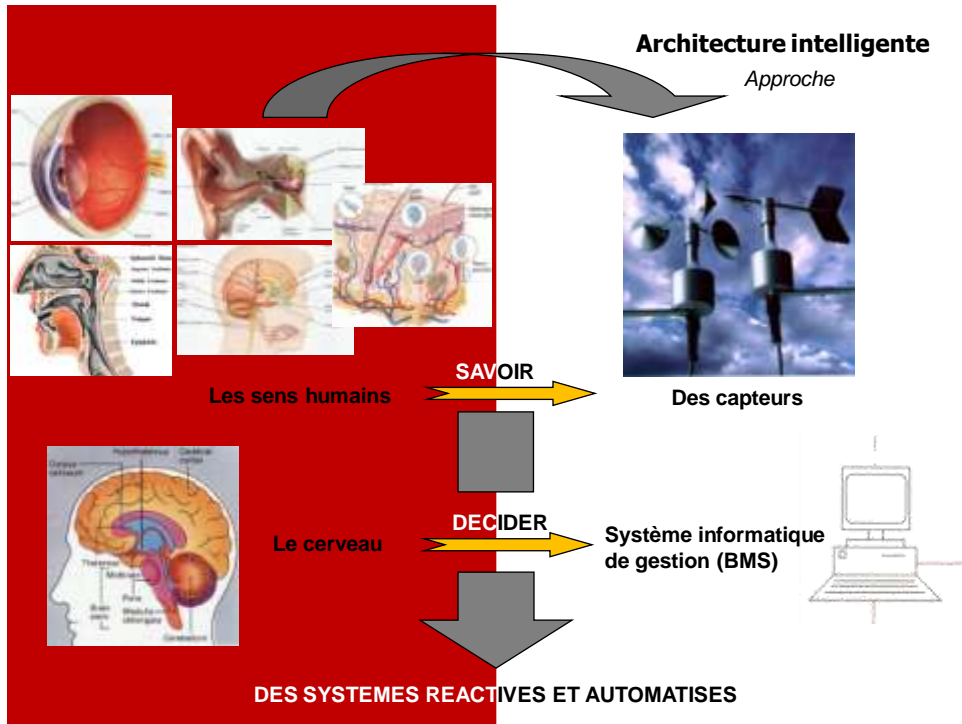
## Architecture intelligente

*Approche*

Un bâtiment intelligent doit fait référence aux trois attributs:

- Les bâtiments doivent **savoir** ce qui se passe à l'intérieur et à l'extérieur.
- Les bâtiments doivent **décider** de la manière la plus efficace afin de fournir un environnement confortable, pratique et productif pour les occupants.
- Les bâtiments doivent **réagir** rapidement aux changements.

*« Intelligent buildings », Brian Atkins.*



**Cour contrôlé**  
« Environmental controlled court »



Le cour traditionnel

**Architecture intelligente**  
*Applications*



**Moucharabieh automatisé**



Le moucharabieh traditionnel

**Architecture intelligente**  
*Applications*





**Brise soleil réactive**  
« Responsive shading systems »

## Architecture intelligente

*Applications*



## Architecture intelligente

*Approche*

L'architecture intelligente peut contrôler les conditions climatiques pour une meilleure efficacité pour les occupants par des éléments réactives. Ces éléments mobiles peuvent également être automatiquement fermés dans des conditions défavorables, telles que le vent et la pluie.



### Siège de GSW « GSW Headquarters »

- C'est le nouveau bâtiment du siège d'une entreprise de logements sociaux à Berlin.
- En 1990-91, ils ont décidé d'organiser un concours architectural pour développer un bâtiment existant et ajouter des espaces de bureaux supplémentaires.
- Sauerbruch Hutton, l'architecte, a gagné le concours, proposant un tour de 22 étages liée à la tour existante.
- Le bâtiment a été terminé en Sept. 1999.

### Le climat

- Le bâtiment est situé au centre de Berlin. Le climat à Berlin, comme le centre de l'Allemagne, est «continental». Ses étés sont chauds et les hivers sont froids.
- Ses températures en hiver peuvent descendre jusqu'à -25°C et en été, les températures peuvent s'élever à 35°C.

### Architecture intelligente

Exemples



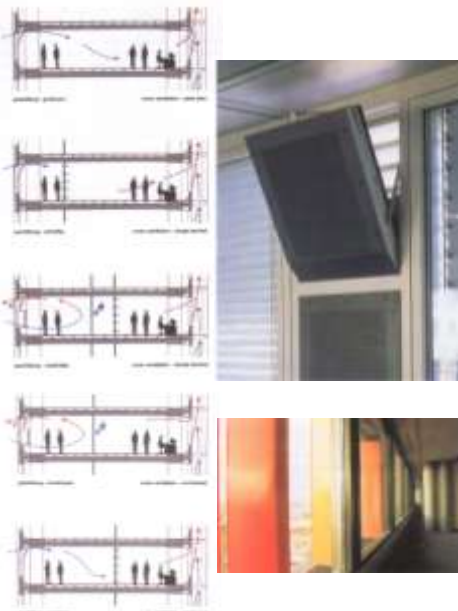
### Les factures intelligentes

- 70% de l'année, le bâtiment est naturellement ventilé sans utiliser des systèmes énergétiques.
- La ventilation est contrôlée par un BMS.
- Un système de refroidissement par des arroseurs d'eau est utilisé pendant l'été.
- La lumière à côté des fenêtres et les brises soleil sont contrôlées et automatisées par rapport aux besoins de l'éclairage et de la chaleur.

Intelligent control	Present	Manual	Automatic
Daylight adjustment - reflector/positioner	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Blind control - slats/tilt/cover/hood	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Responsive artificial lighting control	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Heating control	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Heat recovery - energy/cooling	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cooling control	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ventilation control	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Fabric control - windows/temperature	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Insulation - night/white	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

### Architecture intelligente

Exemples



### Siège de « Commerzbank »

- Un concours international d'architecture a été lancé au début de 1991 pour concevoir un nouveau siège de la Commerzbank.
- Le premier prix a été décerné à Foster Associates.
- Le plan du tour prend la forme triangulaire avec une cour centrale de 200m d'hauteur liée avec des jardins chaque 4 étage.
- Le projet a été terminé en Oct. 1996.

### Le climat

- Le climat de Francfort est décrit comme «Continental» avec des étés plus chauds et des hivers plus froids.

### Architecture intelligente

Exemples



### Les factures intelligentes

- Les fenêtres sont à double vitrage automatisées avec une troisième couche en verre à 250cm de distance offrant un espace ventilé et contrôlé par le BMS.
- Les jardins agissent à la fois comme des capteurs solaires et à la fois comme des espaces tampons.
- Un système informatisé de BMS est programmé pour faciliter le refroidissement nocturne de la dalle en béton à travers l'ouverture automatisée des fenêtres.

Intelligent control	Passive	Manual	Automatic
Daylight adjustment - reflection/protection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Glare control - blinds/curtains/hood	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Responsive artificial lighting control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heating control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heat recovery - warmth/cooling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cooling control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ventilation control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fabric control - windows/dampers/doors	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Insulation - night/heat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Architecture intelligente

Exemples



## SUVA entreprise d'assurance

- Ce bâtiment est une agence suisse du service national d'assurance.
- Le bâtiment d'origine de six étages a été construit pendant les années 1950.
- Les architectes ont été chargés pour renouveler les façades existantes et d'améliorer son comportement thermique.
- La façade ancienne reste derrière la nouvelle peau vitrée à 10 cm.

## Architecture intelligente

### Exemples



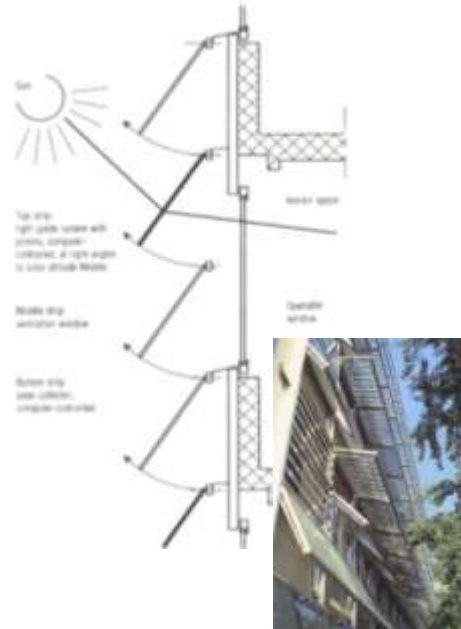
## Les factures intelligentes

- La nouvelle façade vitrée est divisée, pour chaque étage, en trois parties horizontales motorisées, chaque partie effectue une fonction différente.
- La partie inférieure est des panneaux photovoltaïques.
- La partie centrale en verre au niveau des yeux permet une ventilation contrôlée.
- La partie supérieure consiste des prismes en verre, qui ajuste son angle en fonction de l hauteur du soleil.

Intelligent control	Prismes	Manual	Automatic
Daylight adjustment - reflector/position			<input checked="" type="checkbox"/>
Glare control - blinds/shades/hood			<input checked="" type="checkbox"/>
Response artificial lighting control	<input checked="" type="checkbox"/>		
Heating control			<input checked="" type="checkbox"/>
Heat recovery - warmth/cooling			<input checked="" type="checkbox"/>
Cooling control			<input checked="" type="checkbox"/>
Ventilation control			<input checked="" type="checkbox"/>
Fabric control - windows/dampers/doors			<input checked="" type="checkbox"/>
Insulation - night/winter			<input checked="" type="checkbox"/>

## Architecture intelligente

### Exemples





**La biomimétique est la science qui imite la nature afin de créer des systèmes non biologiques.**



«Le génie de l'homme peut produire de nombreuses inventions grâce à la mise en œuvre de divers instruments contribuant au même but. Cependant, il n'en fera jamais de plus belles, de plus simples ou de plus adaptées que celles de la nature car, dans ses inventions à elle, rien ne manque et rien n'est superflu ».

**Léonard De Vinci**

## LA BIOMIMETIQUE

*Introduction*

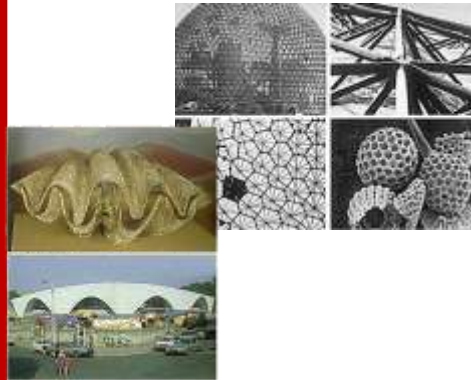


## LA BIOMIMETIQUE

*Approche*

**Bien avant d'être une science, la biomimétique était pratiquée pour améliorer le quotidien ou tenter d'augmenter la capacité humaine.**

Pour l'architecture, l'imitation de la nature a créé beaucoup d'exemples architecturaux (figure, forme et structure).



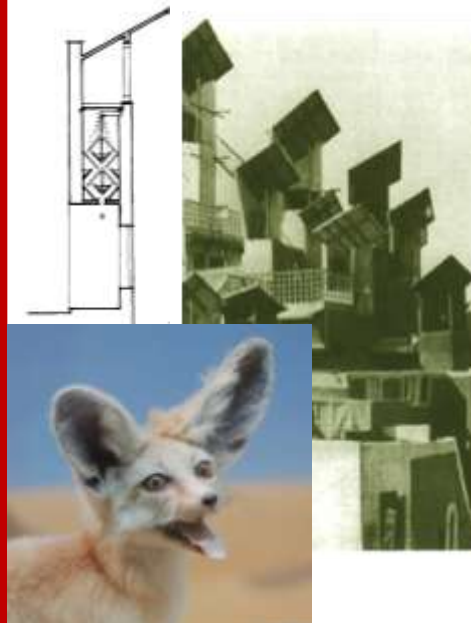
**La biomimétique n'a pas imité seulement les figures, les formes et les structures, MAIS AUSSI DES SYSTEMES BIOCLIMATIQUES**

Ces systèmes sont appropriés au climat locale

L'idée du tour à vent se ressemble beaucoup le fonctionnement des éléments élargis (comme les oreilles de renard désertique)

## LA BIOMIMETIQUE

*Applications*





La biomimétique n'a pas imité  
seulement les figures, les formes  
et les structures  
**MAIS AUSSI DES SYSTEMES  
BIOCLIMATIQUES**

La création des bâtiments tournant  
en imitant des fleurs qui suivent la  
direction du soleil



## LA BIOMIMETIQUE

*Applications*



La biomimétique n'a pas imité  
seulement les figures, les formes  
et les structures  
**MAIS AUSSI DES SYSTEMES  
BIOCLIMATIQUES**

L'utilisation des systèmes de  
refroidissement par l'évaporation en  
imitant le processus de la sudation.

## LA BIOMIMETIQUE

*Applications*



**Le centre d'Eastgate à Harare-Zimbabwe, qui a ouvert en 1996, est bien connu comme l'icône de l'architecture biomimétique.**

Mick Pearce, l'architecte, voulait que la construction tienne compte de deux principes :

- Les conceptions architecturales développées pour l'hémisphère nord sont mal adaptées aux climats tropicaux comme le Zimbabwe.
- Deuxièmement, que la conception efficace devrait s'inspirer de la nature locale.



## LA BIOMIMETIQUE

*Exemple*



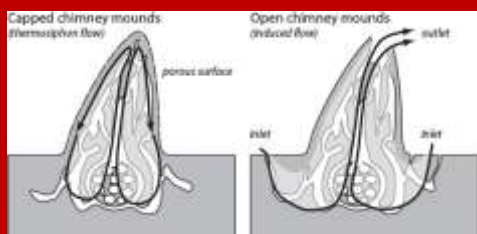
## La termitière comme un exemple d'une construction naturellement ventilée.

Mick Pearce a étudié la remarquable termitière au Sud de l'Afrique.

La termitière est une structure biogénique (fabriquée par le vivant) qui constitue la partie aérienne du nid des nombreuses espèces de termites (fourmis blanches).

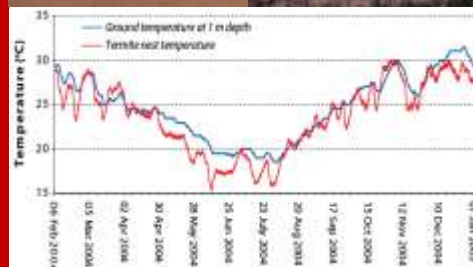
Ces constructions résistent très bien aux vents et pluies des zones tropicales, et à la chaleur du soleil.

La structure est conçue pour une ventilation passive et le maintien d'une température et d'une hygrométrie optimales pour le nid.



## LA BIOMIMETIQUE

*Exemple*



## Un bâtiment inspire le concept de ventilation de la nature

Mick Pearce a analysé le système de ventilation trouvée à la nature et l'a appliqué à son bâtiment.

L'idée était de garder une température acceptable à l'intérieur du bâtiment en bénéficiant de la ventilation naturelle et sans consommer l'énergie.

## LA BIOMIMETIQUE

*Exemple*



## SURFACES ACTIVES

*Questions*

Pourquoi on chauffe et refroidi les bâtiments par l'air?

Comment l'air comme un medium thermodynamique devient la méthode dominante pour chauffer et refroidir les bâtiments?



L'eau est 832 fois plus dense que l'air

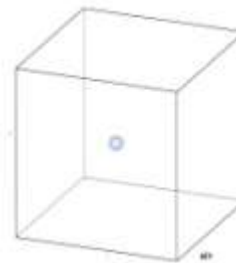
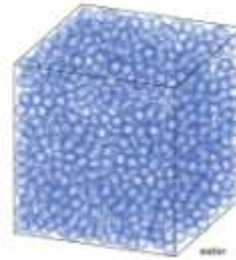
La quantité de chaleur est directement relié à la densité des matériaux.

L'eau peut capter et transmettre beaucoup plus de chaleur par unité de volume que l'air.

Matériaux	Conductivité
L'air	0.000057 cal cm/s cm <sup>2</sup> K
H2O	0.0014 cal cm/s cm <sup>2</sup> K
Tissu humain	18 cal cm/m <sup>2</sup> hr K

## SURFACES ACTIVES

*Principes*

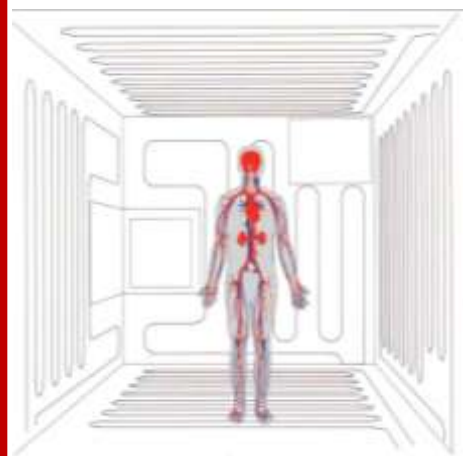


## SURFACES ACTIVES

*Principes*

Le corps humain est un système hydronique de surfaces thermiquement actives

La chaleur est transférée dans le corps par un système hydronique circulatoire. Le système thermique est découplé du système de ventilation.



## SURFACES ACTIVES

### Principes

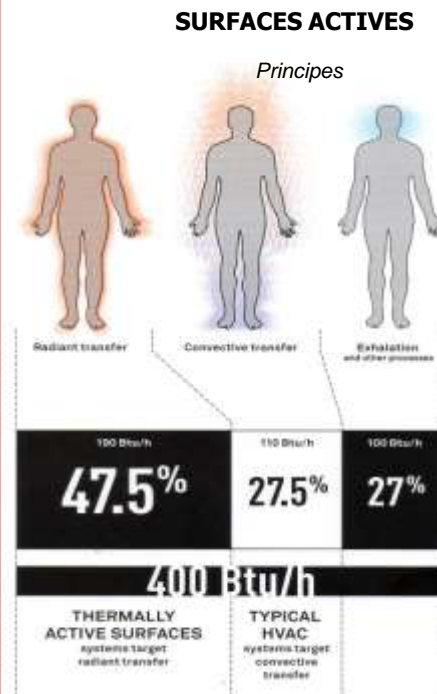
Le système de surfaces thermiquement actives dans les bâtiments ne sont pas un métaphore du corps et ils n'imitent pas les système naturels, mais ils partagent le même système thermodynamique.

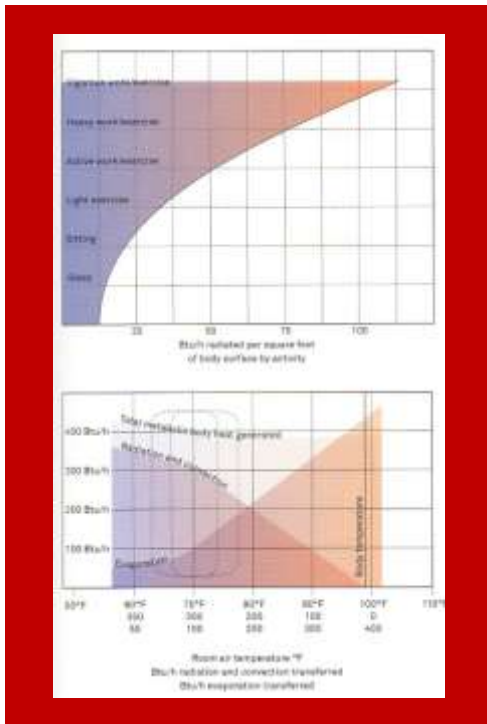
Dans ce siècle, la science de bâtiment suivra le fonctionnement du corps (La biomimétique).

Le corps humain transfère la plupart de sa chaleur par la radiation

Trois modes de Transfer de chaleur:

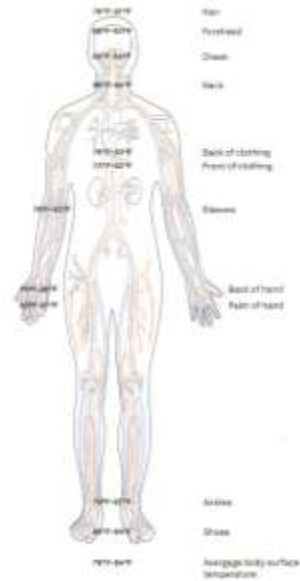
- Conduction,
- Convection,
- Radiation





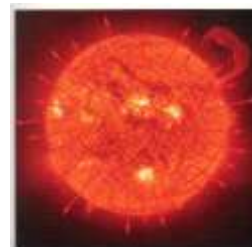
## SURFACES ACTIVE

### Principes



## SURFACES ACTIVE

### Principes



### Convection

La chaleur ne monte pas, mais l'air chaud monte à cause de la différence de pression en bas et en haut d'une molécule.

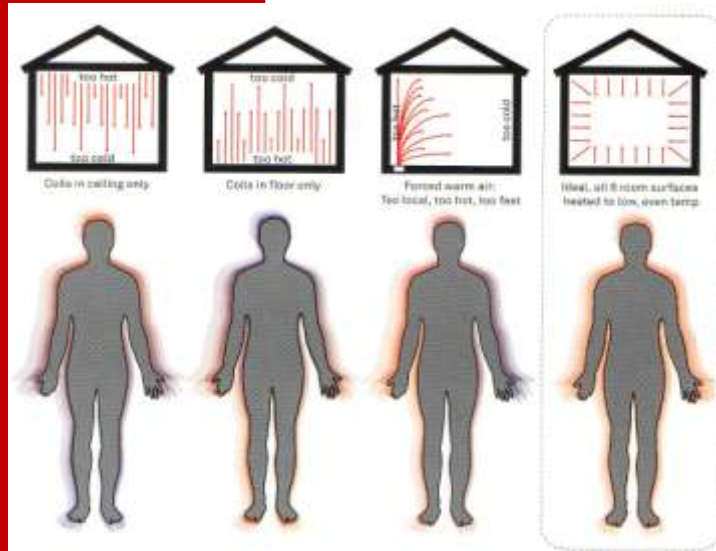
### Radiation

La chaleur ne monte pas, mais elle est toujours transmise des corps chauds vers les corps moins chauds.

L'optimal est d'avoir six surfaces actives dans un espace.

**SURFACES ACTIVES**

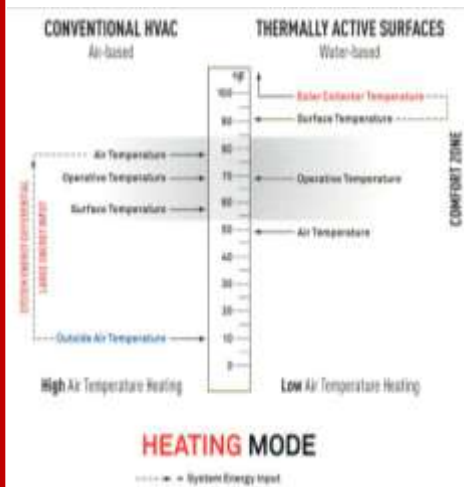
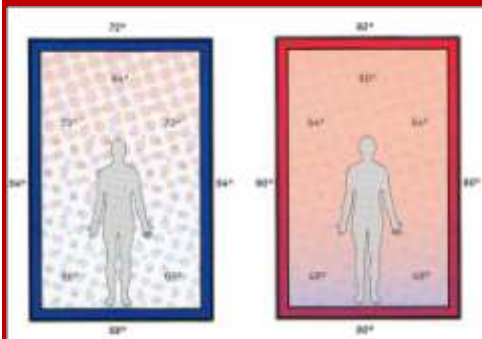
*Principes*



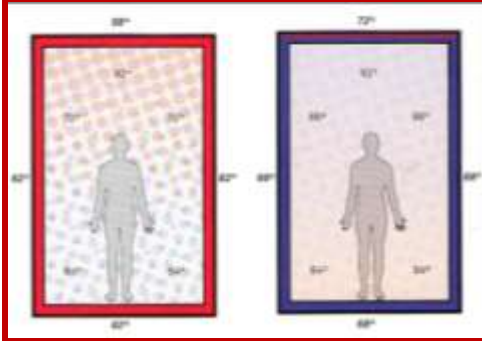
Le concept de surface thermiquement active utilise une température basse pour chauffer.

**SURFACES ACTIVES**

*Principes*

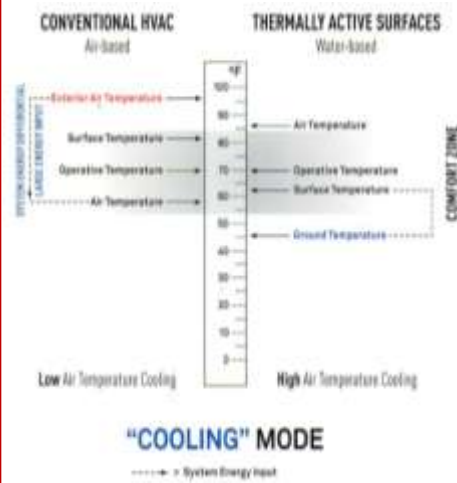


Le concept de surface thermiquement active utilise une température haute pour refroidir.



### SURFACES ACTIVES

Principes



### SURFACES ACTIVES

Principes

Importance de la température des parois



Expérience réalisée au Massachusetts Institut of Technology Source : [www.promodul.org](http://www.promodul.org)

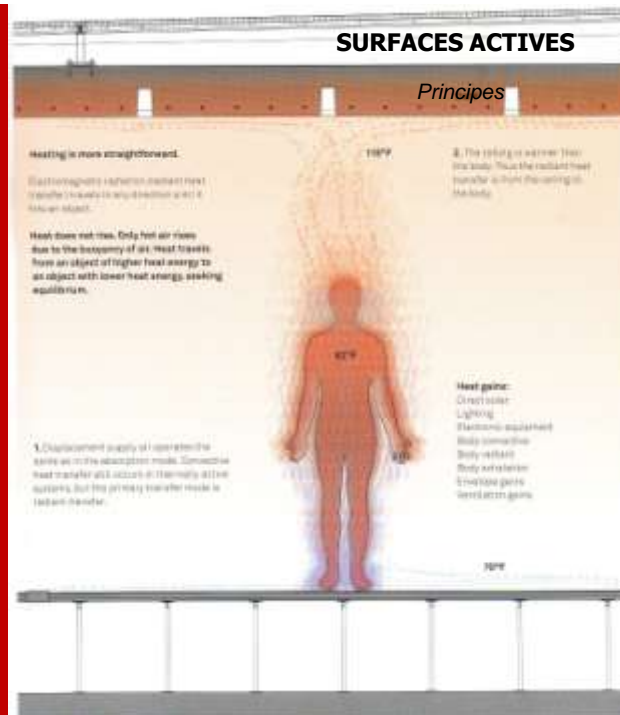
## SURFACES ACTIVES

### Principes

Ces deux concepts peuvent économiser beaucoup d'énergie pour les bâtiments de XXI siècle.

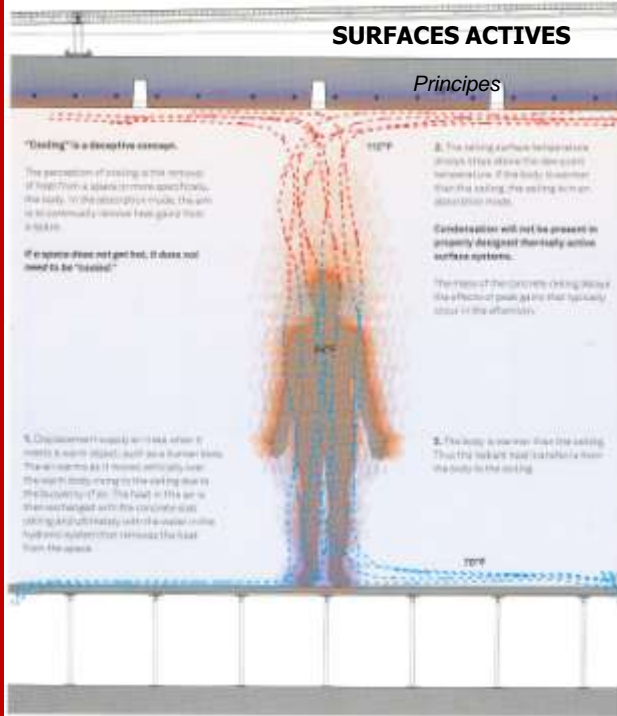
Chauffer  
Le mode d'émission

- L'eau
- Radiation



Refroidir  
Le mode d'absorption

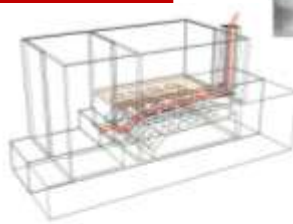
- L'eau
- Radiation



Au Nord-est d'Asie

**SURFACES ACTIVES**

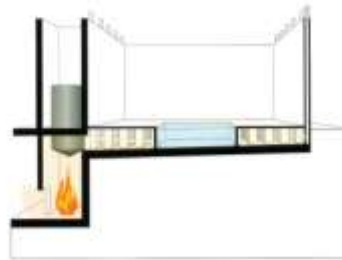
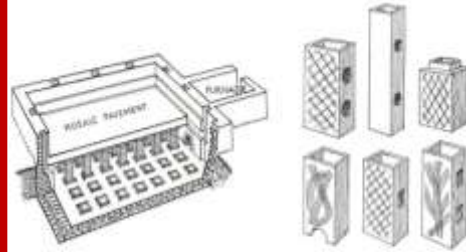
*Les surfaces actives  
à travers l'histoire*



## Le Roman

### SURFACES ACTIVES

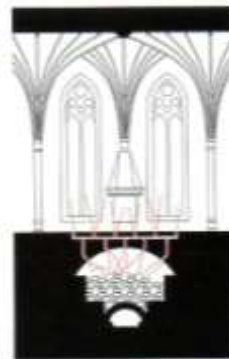
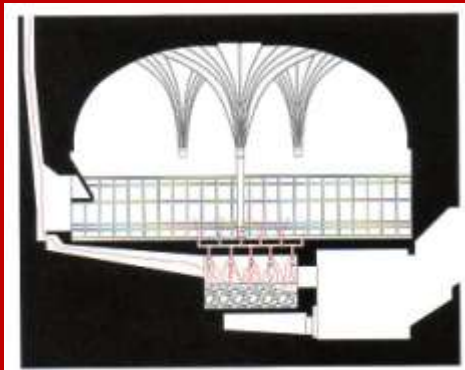
*Les surfaces actives  
à travers l'histoire*



## Au moyen-âge

### SURFACES ACTIVES

*Les surfaces actives  
à travers l'histoire*

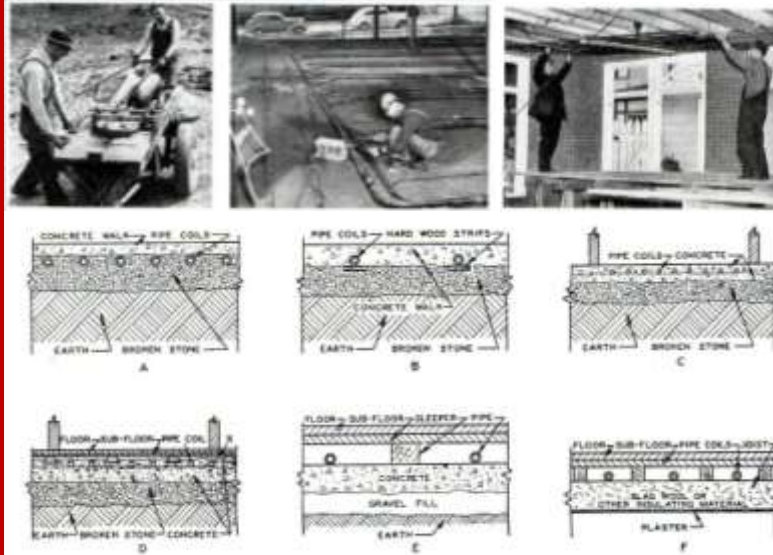




Au XX ème siècle

## SURFACES ACTIVES

*Les surfaces actives  
à travers l'histoire*



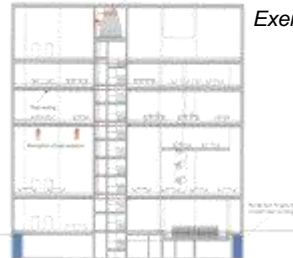
### L'école de design et management de Zollverein

Ce projet est situé à la région de Ruhr  
à l'ouest d'Allemagne et à proximité de  
la mine de Zollverein.

Il a été conçu par le groupe SANAA  
prenant la forme de cube.

## SURFACES ACTIVES

*Exemples*



## SURFACES ACTIVES

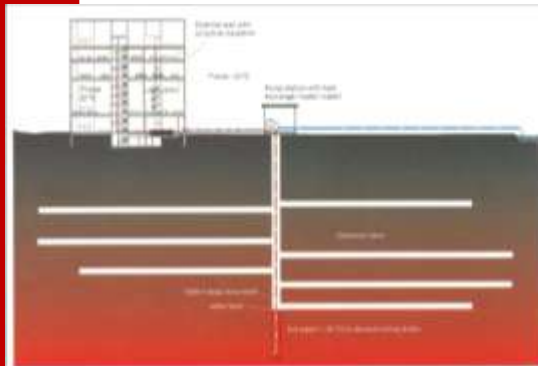
### Exemples

Le puits de la mine fermée joue un rôle central dans la stratégie thermique du bâtiment.

Lorsque la mine a été fermée en 1995, le 1000m de profondeur des puits de mine ont été laissés et remplis par l'eau.

Le propriétaire des mines avait pompé cette eau dans une rivière, cette eau a une température constante (84°F/28,8°C).

Le concepteur a marqué cette valeur thermique, et reconnue comme une source d'énergie gratuite pour son bâtiment.

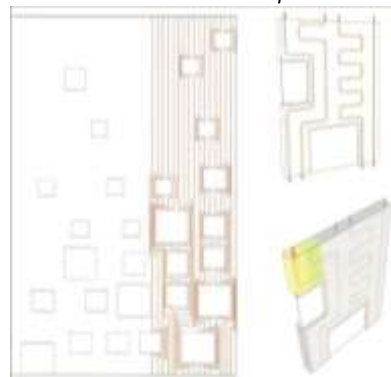


## SURFACES ACTIVES

### Exemples

Cette eau chaude est pompée à la construction pour ses surfaces thermiquement actives (façades et dalles), économisant d'environ 7000€ en coût annuel de chauffage.

Les tubes placés dans les façades sont espacés par 16 pouces, il en résulte des températures de surface moyenne comprise entre 64°F (17,7°C) et 72°F (22,2°C) pendant l'hiver.



**Bibliothèque de Klarchek,  
Université de Loyola, Chicago**

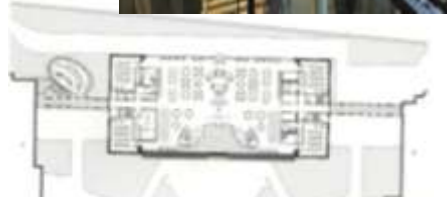
Ce bâtiment est une bibliothèque numériques de la recherche de 7000 pieds carrés, situé au bord de la lac Michigan.

Le site conduit de nombreux aspects de la conception:

- La vue sur le lac Michigan est importante.
- Le site au bord du lac offre des vents prévisibles qui ont été pris en compte pour les stratégies énergétiques du bâtiment.
- Un stratégie de contrôle solaire pour les façades vitrées.

**SURFACES ACTIVES**

*Exemples*



Les dalles sont des surfaces thermiquement actives

Une double peau joue un rôle important pour ventiler le bâtiment et dissiper la chaleur par la collecte d'échappement de l'air.

**SURFACES ACTIVES**

*Exemples*



Le système de surface thermiquement active et la haute performance de l'enveloppe du bâtiment fonctionnent ensemble en quatre modes d'opération:

- Un mode de ventilation naturelle,
- Un mode hybride de refroidissement.
- Un mode de refroidissement,
- Un mode de chauffage,

## SURFACES ACTIVES

*Exemples*

