

De la notion de confort à la notion d'ambiance

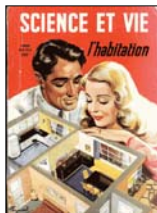
Nicolas Tixier, architecte DPLG, docteur en sciences pour l'ingénieur, option architecture
Laboratoire Cresson, UMR CNRS Ambiances architecturales et urbaines



Photographie > Wim Wenders

Master MOBAT

De la notion de confort à la notion d'ambiance



A. Problématique de la notion de confort

➤ Une notion pour le moins mouvante...

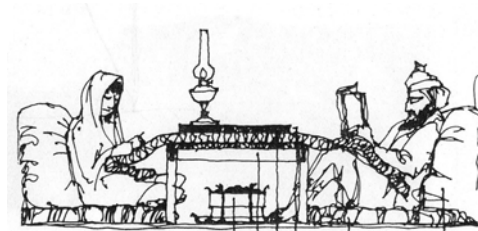


B. Application : la thermique dans l'habitat

- Ensoleillement : principes, apports énergétiques, outils de conception
- Stratégies thermiques et principes de conception pour l'espace habité
- Le confort thermo-hygrométrique : principes, outils et limites
- Inertie(s) et régime dynamique

A. Problématique de la notion de confort

La notion de confort, un concept pour le moins mouvant



MANQAL : récipient à
charbon de bois

SANDALI : table

LYAF : couverture carrée

TAKHTA : pierre ou planche

TOCHAK : matelas de coton

BALECHT ou POUCHTI : coussin

« La cuisine afghane », Noche Djan,
dessins Abdullah Breshna,
CEREDA
(Centre de recherches et d'études
documentaires sur l'Afghanistan)
Paris 1986.

Qu'est ce que le confort ?

- Le confort : une notion en perpétuelle redéfinition
 - La notion de confort est principalement défini par sa négative : l'inconfort (seuils)
 - La notion de confort est évolutive dans le temps (Cf. du luxe au confort)
 - La notion de confort varie selon les géographies et les sociétés
 - De la perception à l'action : les usages *in situ*
 - *In situ*, le corps n'est pas uniquement un récepteur passif de stimuli extérieurs (physiologie)
 - *In situ*, nous sommes toujours « en usage » (micro-sociologie)
 - *In situ*, nous sommes toujours en situation sensible et affective (psychologie)
- > L'approche du confort implique au moins trois champs disciplinaires :
- L'architecture
 - Les sciences de l'ingénieur
 - Les sciences humaines et sociales

> Confort normé (Absence de sensation) / Confort sensible (Excitation des sens)

Proposition : la théorie des trois confort

- Confort de commodité [Logique de substitution]
 - Capacité technique à assurer un niveau de confort [Adaptation]
 - Technicité de l'objet
 - Ergonomie de l'habitat
 - Exemple : seuils d'acceptabilité, T°C minimum...
- Confort de maîtrise [Logique de réinterprétation]
 - Possibilité matérielle de maîtriser et de régler un niveau de confort [Appropriation]
 - Pratique de l'usager
 - Style de vie
 - Exemple : système de régulation et d'arrêt du chauffage...
- Confort de réserve [Logique d'échappement]
 - Potentialité réelle ou imaginaire d'échapper à un niveau de confort
 - Relation entre l'objet et le sujet [Incarnation]
 - Sentiment de chez-soi
 - Exemple : relation physique, corporelle avec un objet froid ou chauffant. T°C différenciées...

Cf. les travaux du Cresson et plus particulièrement ceux de Pascal Amphoux

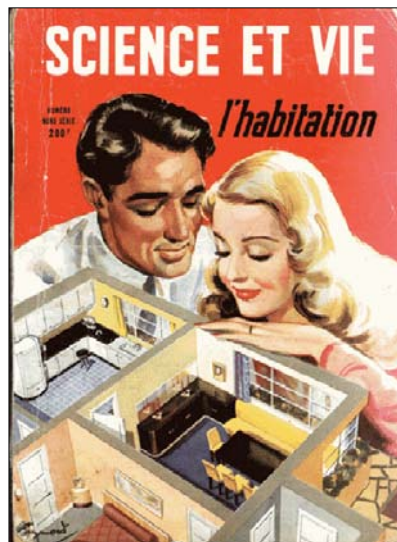
De la notion de confort à celle d'ambiance...

- Déclinaisons possibles
... et complémentaires

Aborder l'espace habité en terme :

- de nuisance (logique de la gêne)
- de fonction (logique d'opérationnalité)
- de confort (logique de la norme)
- de paysage (logique de l'esthétique)
- d'ambiance (logique de l'usage et de la sensation)

Le confort comme forme sociale récente
Où un certain être au monde passe
Par le bonheur technique...
O. Le Goff.



Science et vie - Numéro spécial « l'habitation » - Mars 1951

B. Application : la thermique dans l'habitat

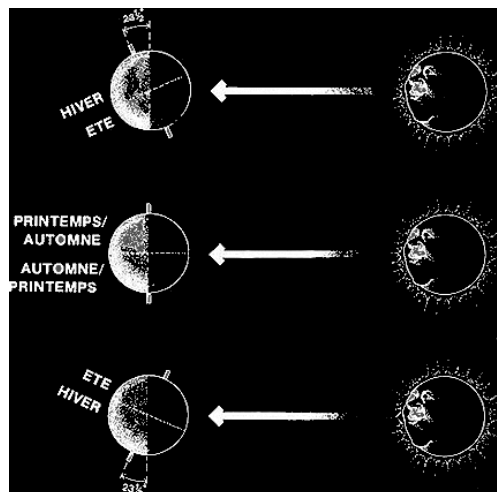
> Ensoleillement : principes, apports énergétiques, outils de conception



Architectes > Jourda & Perraudin

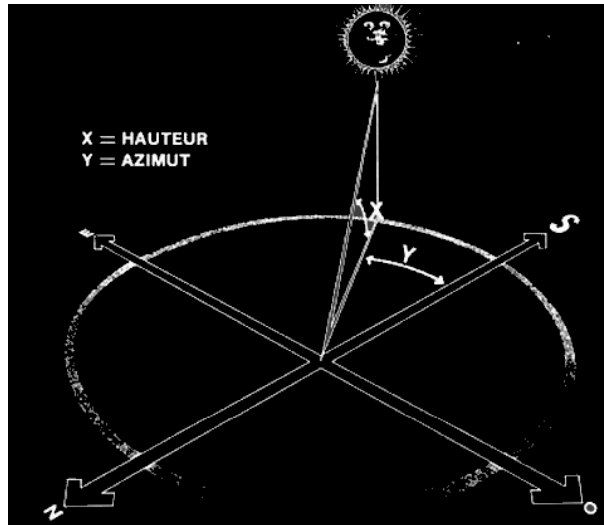
Les illustrations de ces cours ne sont utilisées qu'à des fins pédagogiques

Géométrie solaire



Source : site Audience

Géométrie solaire



Source : site Audience

Géométrie solaire

Grenoble
Latitude 45°10' N
Longitude 5°43' E

Hiver GMT+1
Eté GMT+2

Attention :
Les données sont
soit en heures solaires,
soit en heures légales.



Source : S@tel-Light

Zone F
S@tel-Light
www.satel-light.com

Heure solaire / Heure légale

Quelle heure est-il à la montre d'une personne située à Grenoble à midi solaire ?

En hiver ? En été ?

Si on considère la terre comme étant ronde. Pour en faire le tour, il faut faire 360°

1. Le soleil fait le tour de la terre en 24 heures. Donc pour se déplacer de 1°, le soleil met 4 minutes (24 h x 60 mn / 360°)

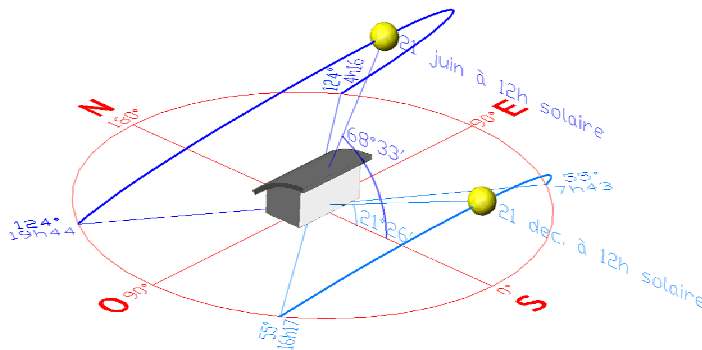
2. Grenoble est situé à dans l'hémisphère nord à 5°43 Est de Greenwich. 5°43 mn simplifié à 5,7 en mesure décimale, nous fait un décalage de $5,7 \times 4 \text{ mn} = 22,8 \text{ minutes}$, disons 23 mn.

3. Le soleil se levant à l'Est et se couchant à l'Ouest, il est midi solaire à Grenoble, avant qu'il ne soit midi solaire à Greenwich.

Donc en hiver [GMT + 1] quand il est midi solaire à Grenoble il est 12h37 à la montre

Et en été [GMT + 2] quand il est midi solaire à Grenoble, il est 13h37 à la montre

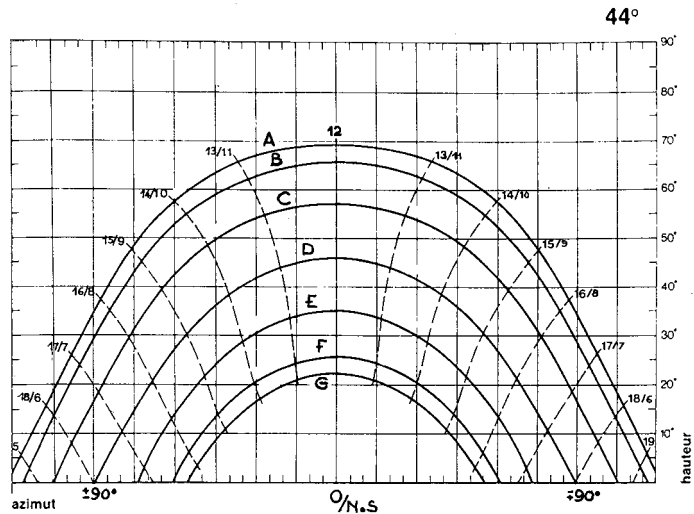
Course du soleil à Grenoble > Schéma récapitulatif



Latitude: 45° Nord [GRENOBLE]
Courses du soleil aux solstices d'été et d'hiver

> Réalisé par A. Bruckert > cours E.A.G. - N. Tixier

Course du soleil à Grenoble > Courbes de travail



Apport énergétique > Principes

Densité de flux atteignant un plan donné dans des conditions définies :

Sur les tables d'ensoleillement on peut lire en général :

- la densité de flux incident (en première ligne) en W / m^2
- l'énergie incidente cumulée depuis le lever du soleil en $W.h / m^2$

Pour tenir compte de la qualité de l'air et de la météo, on est obligé d'avoir un coefficient e (coefficient énergétique) tel que :

Energie effectivement reçue = e . Energie théorique reçue

e peut être connu par le coefficient d'ensoleillement σ , qui est le rapport entre le temps d'ensoleillement réel et le temps d'ensoleillement théorique (par ciel clair continu).

Pour l'Europe, la corrélation $e = 0,33 + 0,70 \sigma$ est satisfaisante avec $\sigma > 0,15$.

Cf. Pierre Lavigne, « Architecture Climatique » pour plus de détails

Apport énergétique > Carte d'irradiation globale - moyenne annuelle - [en kWh/m²]



Source : European Solar Radiation Atlas - 1966 - 1975

Outils numériques

Scripts développés
par le laboratoire CERMA

[Manipulation]

<http://audience.cerma.archi.fr>

Données du lieu et du temps

Date: 21 juin
Latitude: 46° 12' nord
Longitude: 6° 10' est
Méridien: 0
Option: résultat en heure solaire

Données du plan récepteur

Orientation: 0 ouest
Inclinaison: +90

Coefficients solaires du récepteur (en %)

absorption: 0
transmission: 100
réflexion: 0

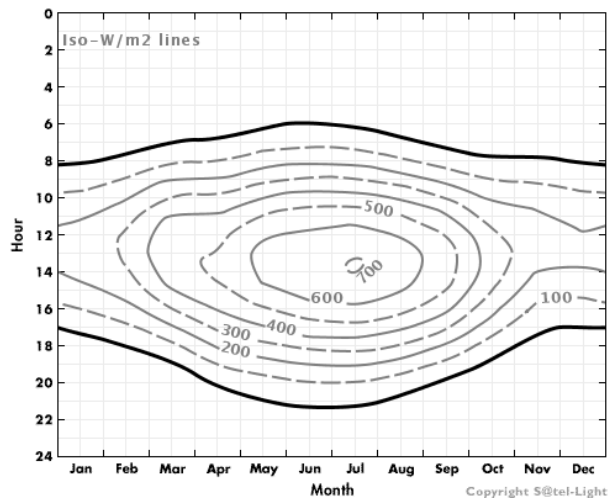
calculer 0% Calcul en attente

Apports énergétiques

Avec les résultats d'Audience
(valeurs théoriques ciel pur et sans nuage)
on peut enlever :

40 % l'été
60 % l'hiver

Apport global > Pour une surface horizontale



Apports énergétiques

Pour avoir des données d'ensoleillement
liées à des relevés : S@tel-light

Apport global > Pour une surface horizontale

S@tel-Light Site : Grenoble, France

From : Sunrise To : Sunset Using : Clock Time Years : 1996 to 2000

Parameter : Global Horizontal Irradiance

Information : Monthly Mean of daily sums (Wh/m2)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Mean	1364	2009	3538	4060	5274	5859	6044	5290	4070	2328	1382	1125	3538

Apport global > Pour une surface verticale orientée au Sud

S@tel-Light Site : Grenoble, France

From : Sunrise To : Sunset Using : Solar Time Years : 1996 to 2000

Parameter : Global Tilted Irradiance

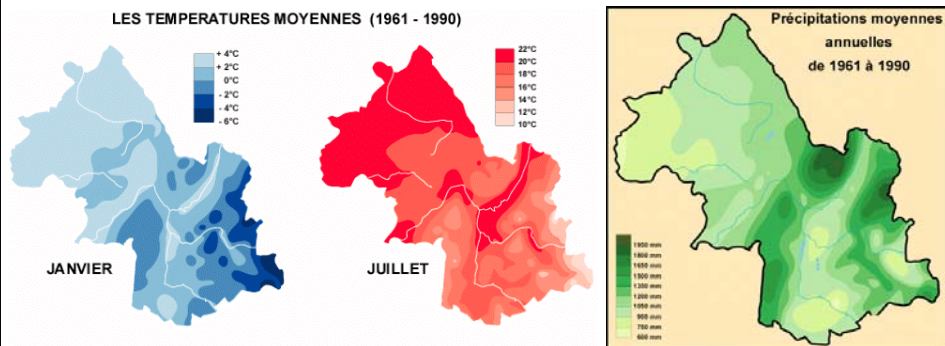
Surface : 90° from Horizontal, 180° from North (South), 0.15 Ground Reflectivity

Information : Monthly Mean of daily sums (Wh/m2)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Mean	2318	2628	3395	2526	2433	2323	2568	2994	3367	2618	1981	2038	2600

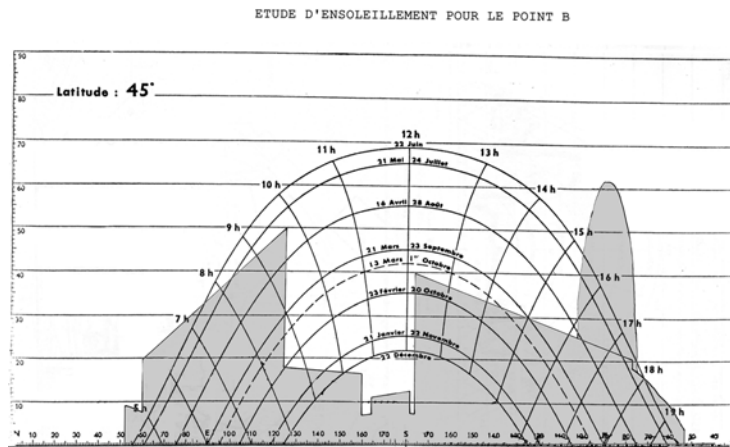
Données météorologiques : Températures, précipitations, vents dominants

<http://www.meteo.fr/meteonet/meteo/pcv/cdm/dept38/cdm2.htm>



Calcul des masques

Soit manuellement avec les graphiques
Soit numériquement avec un logiciel



Calcul des masques

Manuellement pour les masques proches et lointains :

- On prend un point de référence : une future ouverture au sud par exemple, ainsi qu'une hauteur de référence (au niveau du sol, au niveau de l'allège, etc.)
- On note sur le terrain et/ou sur un plan de type cadastre les arbres, bâtiments, murs pouvant faire masque, on relève leur distance, leur hauteur et leur azimut.
- On en déduit l'angle que fait notre point de référence avec le sommet de l'objet faisant masque.
- On reporte l'azimut et la hauteur sur le graphe précédent.
- On recommence avec les autres points.
- Pour les montagnes prendre les cartes de type IGN et les sommets importants (ne pas oublier qu'il faut retrancher de l'altitude du sommet, l'altitude du point de référence : 215 m environ pour Grenoble).

Numériquement ou manuellement pour les masques propres aux bâtiments : pare-soleil, stores, avancée de toiture, enfoncement, décroché de façade, etc...

Stratégies thermiques et principes de conception pour l'espace habité

Stratégie du chaud (hiver)



Ici, un mur trombe...

Stratégie du froid (été)



Ici, un pare-soleil...

Architectes >
Arup
Associates

**Attention : l'ensemble de ce cours s'applique à des logiques d'habitat en climat tempéré
(froid l'hiver / chaud l'été)**

Les illustrations de ces cours ne sont utilisées qu'à des fins pédagogiques

Plan

- Stratégies du chaud (pour l'hiver)
- Stratégies du froid (pour l'été)
- Application à la serre
- Etude critique d'un projet / stratégies du froid et du chaud

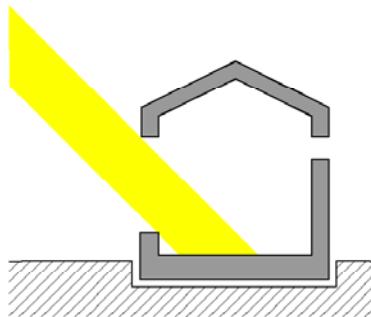


Architecte Bruno Burlat

Stratégies de conception pour l'espace habité

- Cette partie, sur les stratégies de conception, s'appuie principalement sur les ouvrages :
 - John R. Goulding, J. Owen Lewis, Theo C. Steemers (1992). Energy conscious design. A primer for Architects. Londres : Éd. Batesford - Union européenne. [Schémas sur les stratégies]
 - Pierre Lavigne (1998). Architecture climatique, une contribution au développement durable. Tome 2, Aix-en-Provence : Éd. : Edisud.
- Les stratégies thermiques présentées ici ne sont valables que :
 - Pour l'espace habité : à savoir un habitat avec plutôt des occupations permanentes
 - Jour / nuit
 - Semaine / Week-end
 - Été / hiver
 - Pour des habitats situés dans des climats dits tempérés avec des saisons contrastées où (on situera les exemples dans l'hémisphère nord) :
 - Il fait froid l'hiver
 - Il fait chaud l'été
 - On simplifie les logiques de conceptions aux saisons extrêmes (été / hiver) en considérant, qu'aux saisons de printemps et d'automne, il y a peu de problèmes thermiques.

Stratégie du chaud > hiver



CAPTER

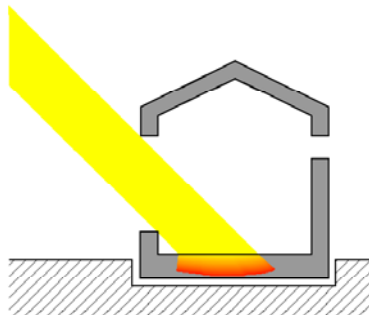
Stratégie du chaud : CAPTER

- L'hiver on a le maximum d'entrée solaire au Sud. On ne capte rien au Nord, et très peu à l'Est et à l'Ouest.
 - Plan d'habitat très orienté au sud, c'est-à-dire :
 - De grands vitrages au sud avec, plutôt les pièces de vie au sud et plutôt les pièces de service au nord
 - Eviter les masques aux entrées solaires d'hiver (masques propres au bâtiment autant que les masques proches).



Architecte
Bruno Burlat

Stratégie du chaud > hiver



STOCKER

Stratégie du chaud : STOCKER

- L'inertie par absorption
 - Prévoir une inertie intérieure par absorption suffisante pour que le captage solaire direct ait un bon rendement de récupération.
 - Dallages, dalles, refends en maçonnerie.



Architecte Bruno Burlat

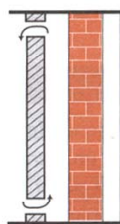
Stratégie du chaud : STOCKER

- Les murs trombes

Schéma Thierry Salomon, Stéphane Bedel
La maison des [néga] watts.

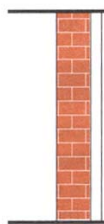


Avec un simple vitrage et thermocirculation de l'air dans une contre-cloison intérieure



51 kWh/m²/an

Avec double vitrage anti-émissif



76 kWh/m²/an

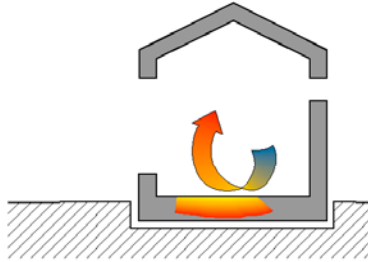
Avec un isolant transparent de 5 cm



118 kWh/m²/an

Comparatif des gains apportés par différents murs capteurs^[B] sur un lotissement dans les Ardennes.

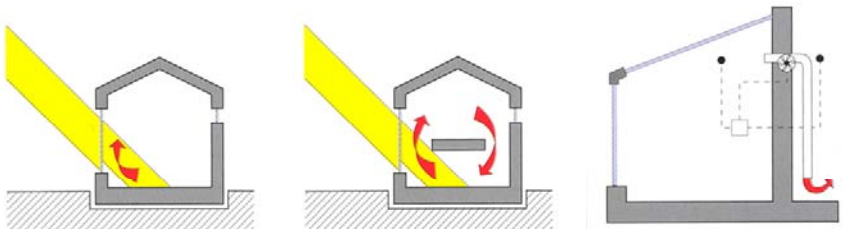
Stratégie du chaud > hiver



DISTRIBUER

Stratégie du chaud : DISTRIBUER

- Il s'agit de distribuer l'apport solaire entré par les ouvertures au sud :
 - Par les mouvements d'air avec des thermosiphons naturels (ou mécaniquement forcés). [détails dans le cours n°04]



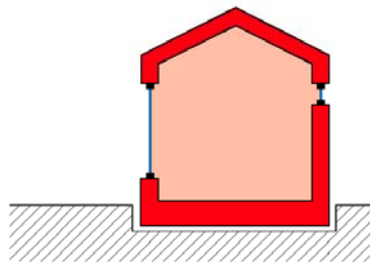
Stratégie du chaud : DISTRIBUER

- Il s'agit de distribuer l'apport solaire entré par les ouvertures au sud :
 - Par les murs et dalles servant à stocker les apports et étant en contact avec des espaces ne recevant pas le soleil.



Maison Sidler dans la Drôme [France]

Stratégie du chaud > hiver



CONSERVER

Stratégie du chaud : CONSERVER

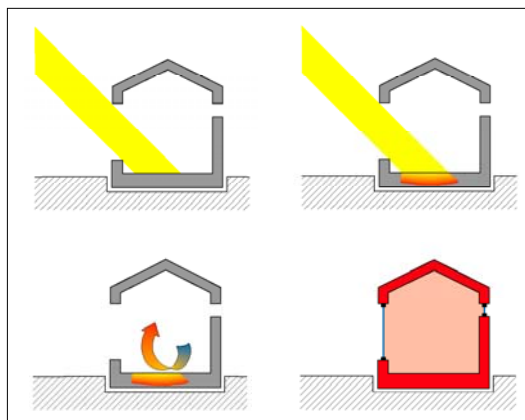
- Il s'agit de d'éviter les pertes vers l'extérieur des apports solaires et des apports provenant des dispositifs de chauffage. Moyens :
 - Avoir une bonne isolation de l'enveloppe (murs, toiture, sol) de l'habitat (isolants, double vitrage, éviter les ponts thermiques, menuiseries de qualité posées au droit de l'isolant, etc.) (avantage des structures bois)
 - Avoir un habitat compact afin de diminuer le rapport entre les surfaces en contact avec l'extérieur et le volume intérieur. C'est le coefficient de forme : S/V qui doit être faible. Principes :
 - Garder des formes simples
 - Construire sur deux niveaux
 - Jouer sur l'effet d'échelle (semi-collectif, collectif,...)
- S

 Meilleur que

S/2

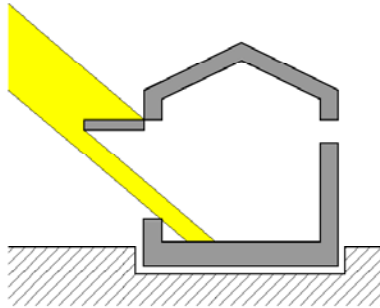
S/2
- Ne vitrer que selon les normes de l'éclairage naturel **sauf au sud** (1/5^{ème} de la surface du plancher environ)
 - Disposer des espaces tampons au nord (plutôt les pièces de service, rangement, atelier, garage...) - Mais aussi des doubles peaux, etc.

Stratégie du chaud > hiver



CAPTER - STOCKER - DISTRIBUER - CONSERVER

Stratégie du froid > été



SE PROTEGER

Stratégie du froid : SE PROTEGER

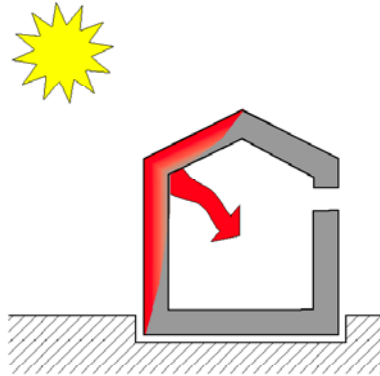


Architecte Bruno Burlat

Il s'agit de se protéger au maximum des entrées solaires par les ouvertures. Au moyen :

- De brises-soleils horizontaux au Sud (calculés)
 - Balcons,
 - Casquettes,
 - Passées de toiture
 - Stores à lames horizontales situés à l'extérieur
- De brises-soleils verticaux à l'Est et à l'Ouest (calculés)
 - Volets (attention au positionnement des gonds pour les volets simples : au sud)
 - Stores verticaux situés à l'extérieur
 - Modénatures de façade verticales
 - Mais aussi des arbres !!!
- Ne pas faire d'ouverture zénithale.

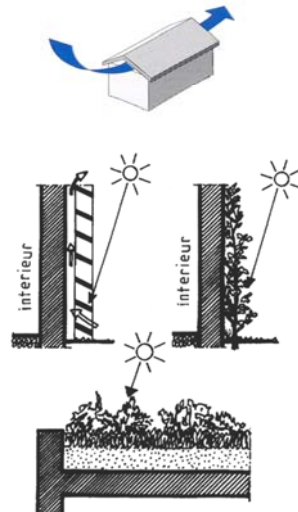
Stratégie du froid > été



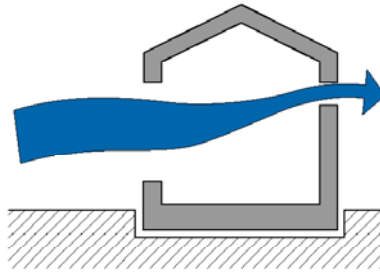
EVITER

Stratégie du froid : EVITER

- Il s'agit de d'éviter au le transfert de la chaleur vers l'intérieur par les matériaux :
 - Par l'isolation des murs
 - Par l'isolation des toitures
 - Par la ventilation des espaces sous-toiture
 - Par la présence de végétaux, sur les murs verticaux ou par des toitures végétalisées (mais aussi avec un décalage pour la ventilation de claustras, de doubles peaux)



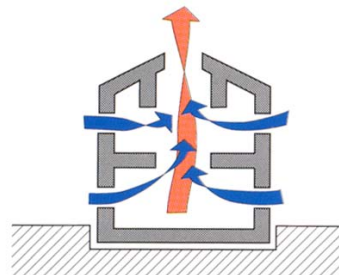
Stratégie du froid > été



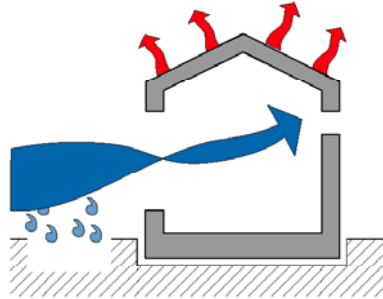
DISSIPER (VENTILER)

Stratégie du froid : DISSIPER

- Il s'agit de dissiper l'air chaud rentrer dans l'habitat pendant la journée, ou l'air chaud produit par les activités à l'intérieur de l'habitat.
 - Par une ventilation nocturne naturelle (l'air est plus frais que pendant la journée)
 - L'idéal est d'avoir une ventilation transversale (traversant toute l'habitat)
 - On peut aussi avoir une ventilation verticale et profiter d'un thermosiphon naturel (combinable avec la ventilation traversante)
 - La ventilation nocturne permet de rafraîchir les matériaux intérieurs ayant une forte inertie par absorption, leur permettant d'emmagasiner du frais la nuit et de le « rendre » la journée.



Stratégie du froid > été



RAFRAÎCHIR (REFROIDIR)

Stratégie du froid : RAFRAÎCHIR

- Il s'agit par un dispositif mécanique ou naturel d'apporter de la fraîcheur dans l'habitat. Quelques possibilités simples :
 - Présence de l'eau (mouvement d'air > évapo-transpiration)
 - Bassin, mais aussi jarre de grande porosité, tissu humide, paille humide, etc.)
 - Présence de la végétation (mouvement d'air > évapo-transpiration)
 - Puit provençal
 - Etc.

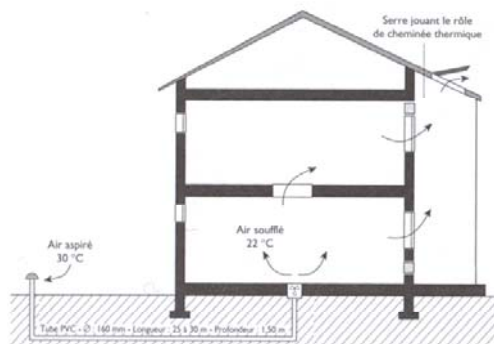
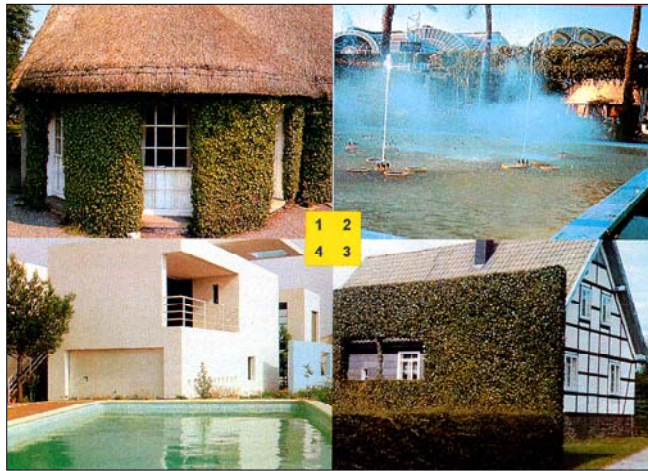


Schéma Thierry Salomon, Stéphane Bedel
La maison des Inéga watts.

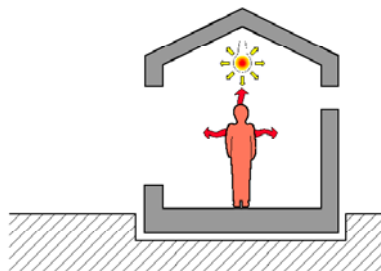
Schéma de fonctionnement en été d'un puits provençal.

Stratégie du froid : RAFRAICHIR



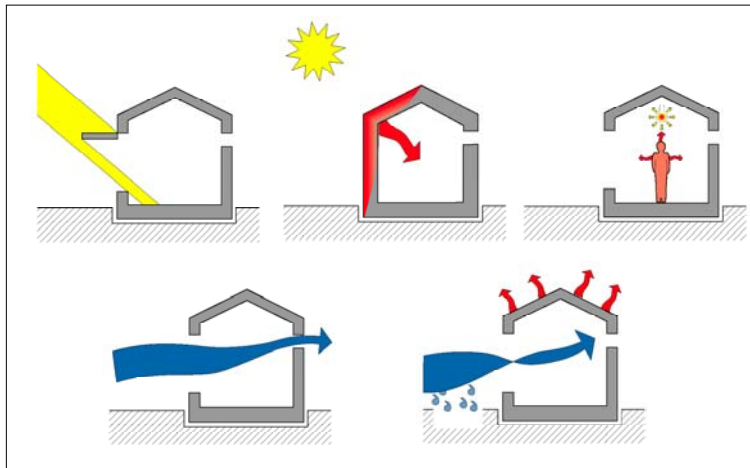
Référence : Guide de l'architecture bioclimatique, Alain Liebard

Stratégie du froid > été



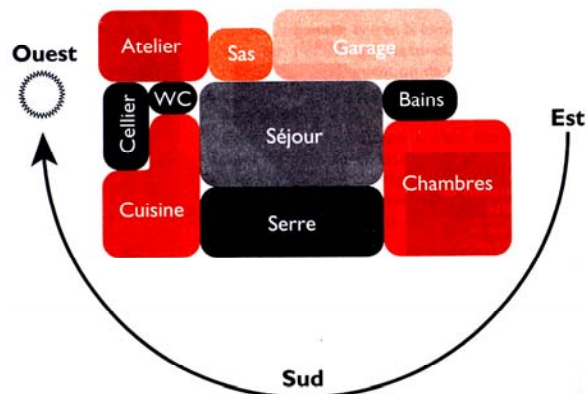
MINIMISER

Stratégie du froid > été



PROTEGER - EVITER - DISSIPER - RAFRAÎCHIR - MINIMISER

Organisation raisonnée pour une maison



Mais ce n'est pas la seule ! Loin de là !

Application à la serre

Application des principes :

ETE / HIVER

JOUR / NUIT

4 schémas



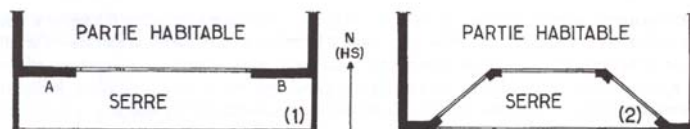
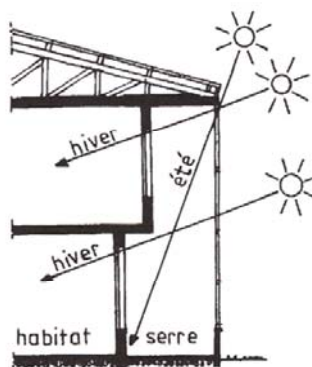
Architectes > Lacaton & Vassal > Maison à Coutras
Photo Revue Verb architecture boogazine > octobre 2001

Application à la serre



Architecte Bruno Burlat

Application à la serre



Schémas Pierre Lavigne

Application à la serre

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Référence : ...

Application à la serre

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Référence : ...

Étude critique d'un projet / stratégies du chaud et du froid

Comment se comporte thermiquement cet habitat en été et en hiver ?

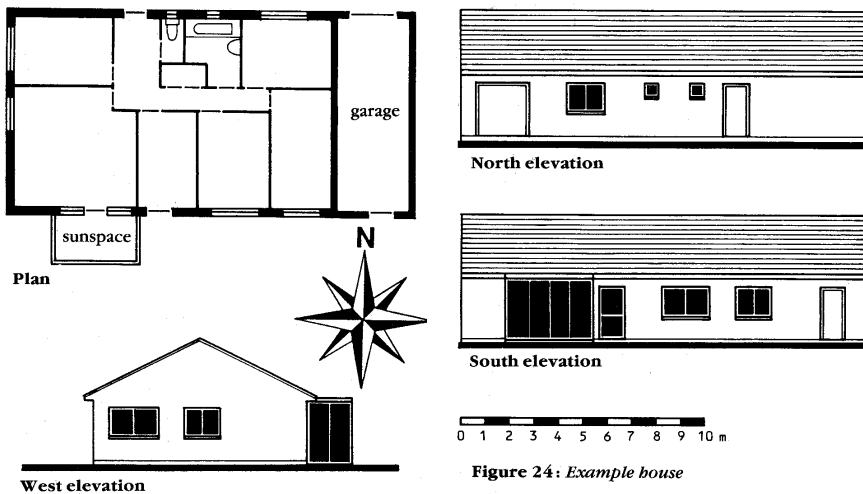
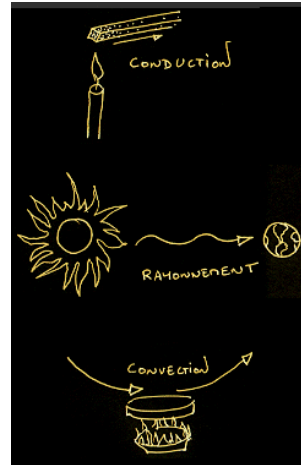
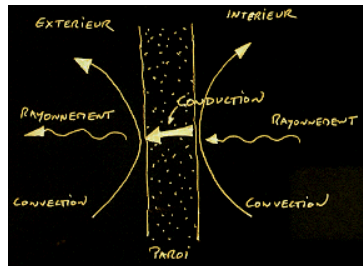


Figure 24: Example house

Paramètres physiques de base

- La chaleur : trois modes de transfert

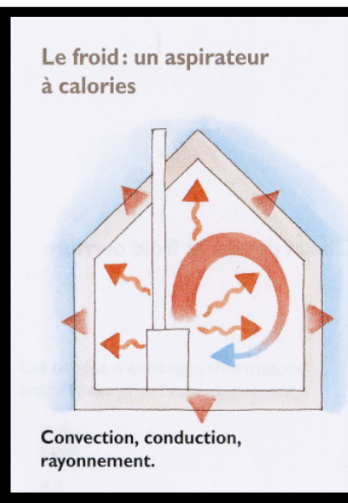
- La conduction
- Le rayonnement
- La convection



- Les mouvements thermiques se font du chaud vers le froid

> 3 modes de transferts de chaleur > 3 sensations différentes qui ne se moyennent pas forcément !

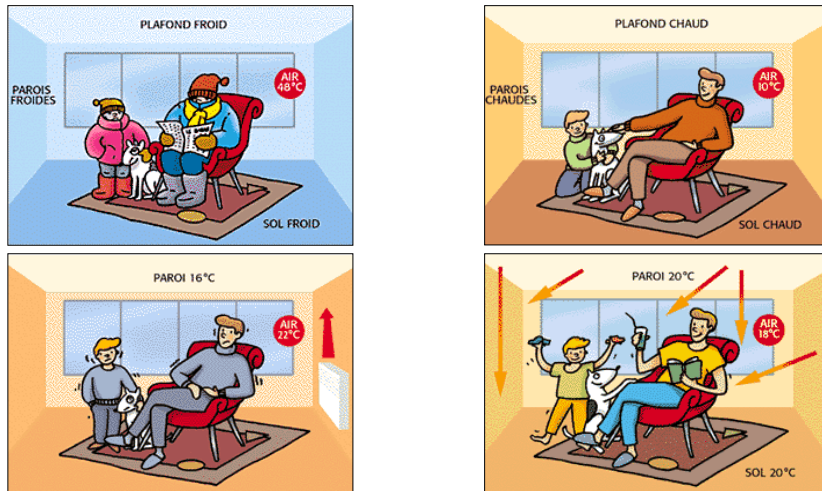
Application des paramètres physiques de base à l'habitat



Schémas in « L'isolation écologique » de JP Oliva, Éd. Terre Vivante

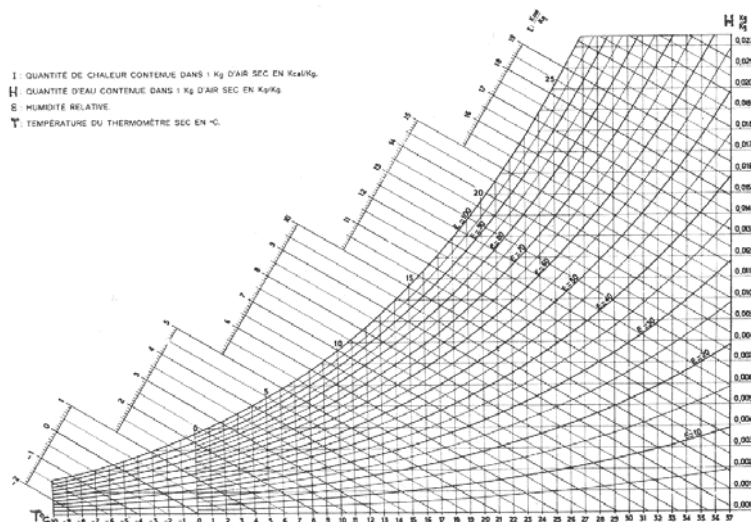
Application des paramètres physiques de base à l'habitat

- Importance de la température des parois



Expérience réalisée au Massachusetts Institut of Technology Source : www.promodul.org

Le diagramme de l'air humide

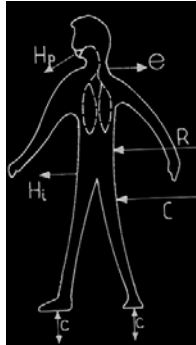


L'humidité relative de l'air est le rapport (en pourcentage) entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir dans les mêmes conditions de température et de pression

Des paramètres physiologiques au confort thermohygrométrique

- Le métabolisme humain

- Le corps humain échange de la chaleur avec son environnement selon 6 modes de transferts.



- 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)

- Principe des travaux sur le confort :

- 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 $T^\circ\text{C}$ des corps touchés (c)
 - Des $T^\circ\text{C}$ des corps qui entourent la personne (R)
 - De la $T^\circ\text{C}$ 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

Cf. les travaux sur le confort
(Fanger, Givoni, Lavigne, etc.)

> Nécessité de simplifier !

Des paramètres physiologiques au confort thermohygrométrique

- La température résultante

Une personne dans une pièce est en échange avec :

- La $T^\circ\text{C}$ de l'air
 - Des échanges avec les parois. Qui dépendent :
 - $T^\circ\text{C}$ des parois
 - De l'angle solide que l'on fait avec chacune d'elle

Le calcul de l'incidence des $T^\circ\text{C}$ de parois réintroduit la place du corps dans l'espace.

Température radiante = $\sum (\text{des } T^\circ\text{C de parois} \times \text{angle solide fait avec chacune d'elle}) / 4 \pi$

Quand les écarts entre les $T^\circ\text{C}$ de parois et d'air ne sont pas trop grands...
on peut établir une $T^\circ\text{C}$ résultante

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

In fine, il reste pour évaluer le confort thermohygrométrique : T° résultante, PH2O et V.

Cf. les travaux sur le confort (Fanger, Givoni, Lavigne, etc.)

Des paramètres physiologiques au confort thermohygrométrique

- Le principe d'un angle solide ; étant donné un point dans l'espace (O), on peut toujours dessiner une sphère de rayon 1 ayant pour centre ce point (O). On appelle un angle solide de sommet (O) le volume engendré par les demies droites d'origine (O) qui rencontrent la sphère. Les angles solides se mesurent en Stéradian. L'angle solide maximum est de 4π .

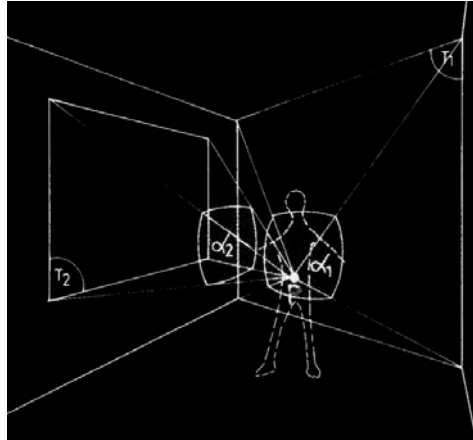


Schéma Pierre Lavigne

Des paramètres physiologiques au confort thermohygrométrique

- 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.

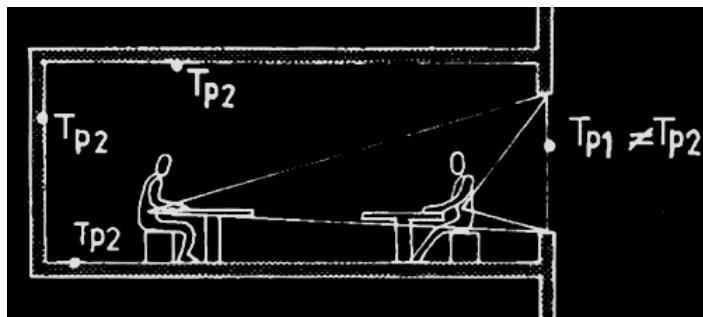
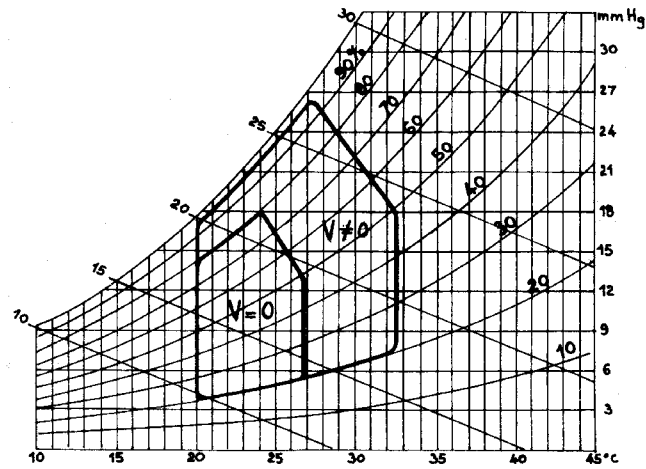


Schéma Pierre Lavigne

Le graphe du confort : un outil simplifié de prédiction



Cf. les travaux sur le confort (Fanger, Givoni, Lavigne, etc.)

Inertie(s) et régime dynamique

1. Apports et pertitions thermiques
2. Deux principes d'inertie thermique

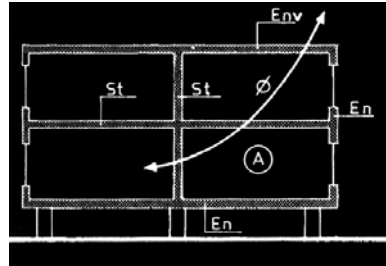


Maison Sidler dans la Drôme [France]

1. Apports et pertitions thermiques

- En régime permanent, on considère que la puissance de chauffage ou de climatisation nécessaire pour un bâtiment est égale au flux de chaleur qui sort ou qui entre.

$$P = \phi = U_T \cdot \Delta T$$



- Mais un édifice n'est jamais en régime permanent !
 - La $T^{\circ}\text{C}$ extérieure est variable
 - Le rayonnement solaire est périodique et orientée
 - Une puissance intérieure est produite par les usages
 - Le bâtiment est ventilé avec un débit d'air
- Le problème est donc dynamique !

Cette partie s'appuie principalement sur les travaux de Pierre Lavigne

1. Apports et pertitions thermiques

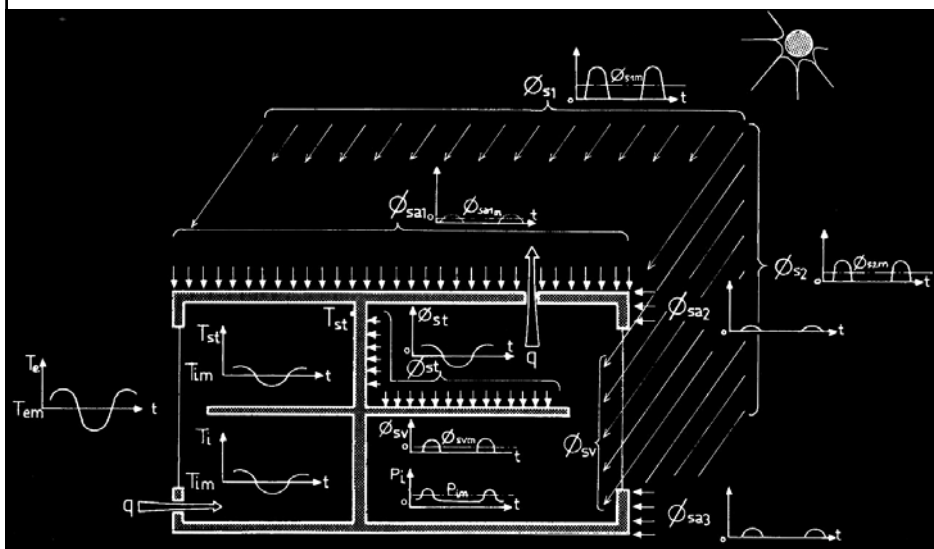
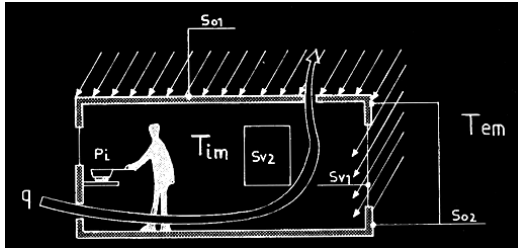


Schéma de Pierre Lavigne

1. Apports et pertes thermiques

- Bilan des pertes thermiques et des captages solaires



- Conductance totale U_T
- Surfaces vitrées (S_{v1} , S_{v2} , ...) qui reçoivent E_{v1} , E_{v2} [Wh/m²] diminuées de f_{v1} , f_{v2} , etc...
- Surfaces opaques (S_{o1} , S_{o2} , ...) qui reçoivent E_1 , E_2 , ... [Wh/m²] selon leurs inclinaison et orientation et diminuées de f_{o1} , f_{o2}

On peut écrire que les puissances fournies par l'édifice sont égales aux puissances perdues par ce dernier

ou

les puissances créées à l'intérieur de l'édifice, celle captées par les parois opaques et vitrées sont perdues à travers son enveloppe (U) et par sa ventilation ($A \cdot q$) (on peut prendre $A=0.35$, q étant le débit d'air)

$$P_i + P_{cv} + P_{co} = U_T (T_{im} - T_{em}) + A \cdot q \cdot (T_{im} - T_{em})$$

1. Apports et pertes thermiques

- Bilan des pertes thermiques et des captages solaires

$$\Delta T_m = T_{im} - T_{em} = \frac{P_i + P_{cv} + P_{co}}{U_T + A \cdot q}$$

A- Enveloppes vitrées

-perd le flux moyen $\Phi_{pm} = U_T \cdot S (T_{im} - T_{em})$

- capte $\Phi = \tau \cdot S_v \cdot \phi_i$

τ : transmittance du vitrage [0 (opaque) et 1 (ouvert)]

ϕ_i : densité de flux incident sur le plan concerné

On connaît **Énergie Solaire globale**

(Max ou effective) reçue / m²

$$\Phi_{cmv} = f_v \cdot S_v \cdot E/24 \text{ [W]}$$

f_v : facteur d'ensoleillement

S_v : Surface vitrée

B- Enveloppes opaques

On peut montrer que le flux capté par une Surface S en tenant compte des masques

$$\Phi_{cm} = f_o \cdot \alpha \cdot \frac{U}{h_c} \cdot E \cdot S \text{ [W]}$$

α : absorbanse de la surface S



f_o : facteur d'ensoleillement (dépend de la géométrie du bâtiment et de l'orientation et inclinaison de la surface)

$1/h_c$: résistance superficielle



E : Énergie effectivement reçue

2. Deux principes d'inertie thermique

DEUX EXEMPLES EXTREMES... LA GROTTES ET LA TENTE

La grotte	La tente
	
<p>Inertie thermique très grande Quand il y a de grandes variations de $T^{\circ}\text{C}$ extérieure Variations de $T^{\circ}\text{C}$ intérieure quasi nulles</p>	<p>Inertie thermique quasi nulle Quand il y a de grandes variations de $T^{\circ}\text{C}$ extérieure Variations de $T^{\circ}\text{C}$ intérieure très importantes</p>

MAIS AUSSI... LA CAVE ET LA SERRE

La cave	La serre
	
<p>Inertie thermique très grande Quand il y a de grandes variations de $T^{\circ}\text{C}$ extérieure Variations de $T^{\circ}\text{C}$ intérieure quasi nulles</p>	<p>Inertie thermique quasi nulle Quand il y a de grandes variations de $T^{\circ}\text{C}$ extérieure Variations de $T^{\circ}\text{C}$ intérieure très importantes</p>

2. Deux principes d'inertie thermique

L'inertie thermique (par absorption) est la capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique

- C'est la capacité thermique d'un matériau qui détermine son inertie. Plus la capacité thermique est élevée, plus le matériau est capable de stocker et de restituer des quantités de chaleur.
- Une pierre, un mur (maçonnerie) ensoleillé reste chaud longtemps après le coucher du soleil et pour les mêmes raisons, une cave reste fraîche même en plein été. C'est la forte inertie thermique du mur qui permet ce phénomène. La capacité thermique dépend de trois paramètres propre à chaque matériau :
 - La conductivité thermique
 - la chaleur spécifique
 - la densité (masse volumique)

2. Deux principes d'inertie thermique

Diffusivité : $a = \lambda / \rho C$ [en m²/s]

Effusivité : $b = (\rho \lambda C)^{1/2}$ [en J/m².°C.S^{1/2}]

PROPRIÉTÉS THERMIQUES DE QUELQUES MATÉRIAUX					
Matière	Densité ou masse vol. ρ en kg/m ³	Conductivité λ en W/m.°C	Chaleur spécifique c en J/kg.°C	Capacité thermique $S = \rho \cdot c$ en kJ/m ³ .°C	Effusivité $E_f = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}$ en J/√s.m ² .°C
Air	1,29	0,024	1005	1,256	5,6
Polystyrène	15	0,04	1380	21	29
Laine de verre	120	0,04	828	99	63
Liège	215-220	0,04-0,05	1750	376-385	122-139
Bois	400-800	0,13-0,2	2400-2700	960-2160	353-657
Béton cellulaire	400-800	0,14-0,23	1000	400-800	237-429
Isolant fibreux	500	0,05	600	300	120
Béton léger	600-2000	0,22-102	1000-1100	600-2200	360-1600
Linoléum naturel	700	0,081	1900	1330	330
Maçonnerie en briques	700-2000	0,30-0,96	900	630-1800	480-1300
Terre sèche	1500	0,75	900	1350	1000
Pierres naturelles (poreuses)	1600	0,55	700	1120	785
Béton ordinaire	2200-2400	1,6-2,1	1100	2400-2640	1960-2350
Aluminium	2700	200	900	2430	22000
Pierres naturelles (non poreuses)	2800-3100	3,5	900	2520-2790	2970-3120
Fer	7250	56	540	3915	14800
Acier	7800	60	500	3900	15300
Cuivre	9000	348	385	3465	34700
Eau	1000	0,58	4200	4200	1560

Tableau in « L'habitat écologique » de Friedrich Kur

2. Deux principes d'inertie thermique

Diffusivité : $a = \lambda / \rho C$ [en m²/s]

Effusivité : $b = (\rho \lambda C)^{1/2}$ [en J/m².°C.S^{1/2}]

Béton ordinaire	5,5 à 8.10 ⁻⁷	Maçonnerie	2 000	[Effusivité courante]
Mortier	4.10 ⁻⁷	Bois	350	[Effusivité médiocre]
Béton cellulaire	4.10 ⁻⁷	Laine minérale	60	[Effusivité très faible]
Brique pleine	5 à 6.10 ⁻⁷	Plastique aléolaire	30	[Effusivité très faible]
Polystyrène expansé	4 à 8.10 ⁻⁷			
Laine minérale	2 à 20.10 ⁻⁷			
Bois	1,5 à 2,5.10 ⁻⁷			
Fibre de bois	1,3 à 1,9.10 ⁻⁷			

On remarque que des matériaux aussi différents que du mortier et du polystyrène expansé ont pratiquement la même diffusivité. L'un conduit mieux la chaleur que l'autre mais sa capacité volumique étant bien plus grande, sa température ne s'élève pas plus.

S'ils transmettent pratiquement de la même façon une variation de température, ils n'absorbent pas du tout la même puissance thermique (rapport de 50 !). Le polystyrène conduit mal la chaleur et, sa chaleur volumique étant faible, il absorbe peu de chaleur)

2. Deux principes d'inertie thermique

Une inertie ?... Deux inerties !

- On parle souvent d'inertie thermique au singulier concernant une paroi. Mais, plus précisément, nous pouvons distinguer deux types d'inertie de nature différente :
l'inertie de transmission et l'inertie par absorption.
- L'inertie de transmission
- Agit en résistant à la transmission de la température et de la chaleur. Elle ne concerne que les parois opaques de l'enveloppe d'un bâtiment.
- Concrètement, l'inertie de transmission augmente quand, pour les matériaux de paroi :
 - La diffusivité diminue (a)
 - La conductivité diminue (λ)
 - L'épaisseur augmente (e)
- L'inertie par transmission fait plutôt appel à des matériaux légers que sont les isolants.

2. Deux principes d'inertie thermique

Une inertie ?... Deux inerties !

- L'inertie par absorption
- Réduit les variations de température en absorbant (ou restituant) la chaleur (la puissance thermique).
- Concrètement, l'inertie par absorption augmente quand, pour les surfaces opaques d'enveloppes :
 - L'effusivité augmente (b)
- Concrètement, l'inertie par absorption augmente quand, pour les structures-cloisonnements intérieures d'épaisseur suffisante et de surface I :
 - L'effusivité augmente (b)
 - La surface augmente (I)
- Concrètement, l'inertie par absorption augmente quand, pour les couches intérieures d'épaisseur suffisante de l'enveloppe de surface S :
 - L'effusivité augmente (b)
 - La surface augmente (S)
 - En cas de bi-couche, mettre la plus effusive à l'intérieur.
- L'inertie par absorption fait appel à des matériaux effusifs, qui, minéraux se trouvent être lourds, mais dont l'action est due à leur surface d'échange et peu à leur épaisseur (10cm suffisent), donc peu à leur masse. Cette dernière intervient que dans les évolutions de T°C de plusieurs jours.

2. Deux principes d'inertie thermique

Quelques remarques valables pour l'habitat en climat tempéré.

- La capacité thermique d'une paroi est surtout utile que si elle est placée du côté intérieur du bâtiment et isolée des conditions climatiques extérieures.
- Construire en "forte inertie", c'est donc utiliser des matériaux lourds à l'intérieur de l'habitat afin de stocker la chaleur solaire et d'atténuer les variations de température interne.
- À l'inverse, une maison à "faible inertie" montera vite en température au moindre rayon de soleil sans possibilité de stocker la chaleur solaire. Les écarts de température internes seront importants. Les risques de surchauffe élevés.
- Une forte inertie est surtout utile en cas d'occupation permanente. Une faible inertie peut être intéressante pour des locaux à usage intermittent.
- La prise en compte pour l'habitat d'une forte inertie thermique dans la conception offre de nombreux avantages tant au point de vue du confort de l'usager que de celui de l'économie d'énergie et d'une logique de développement durable. Mais attention, il n'y a pas de systématisme à son utilisation !

Quelques références bibliographiques

Sur la notion de confort dans l'habitat

Amphoux Pascal et alii (1989). *Dictionnaire critique de la domotique*, Habitation Horizon 2000, Lausanne : Éd. IREC / EPFL.

Goubert J.-P. (sous la direction de) (1988). *Du luxe au confort*, Paris : Éd. Belin.

Heschong Lisa (1981). *Architecture et volupté thermique*, Marseille : Éd. Parenthèses (traduction Hubert Guillaud).

Le Goff Olivier (1994). *L'invention du confort. Naissance d'une forme sociale*, Lyon : Éd. Presses Universitaires de Lyon.

Perec Georges (1974). *Espaces d'espaces*, Paris : Éd. Galilée.

Sur le confort thermique et l'énergétique

Collectif (Energy Research Group, University College Dublin) (1996). *The climatic dwelling. An introduction to climate responsive residential architecture*, Londres : Éd. James & James - Union européenne.

Lavigne Pierre et alii (1994). *Architecture climatique*, Aix-en-Provence : Éd. Edisud, Tome 1 et 2.

Oliva Jean-Pierre (2001). *L'isolation écologique*, Mens : Éd. Terre vivante.

Salomon Thierry, Bedel Stéphane (2001). *La maison des [néga]watts*, Mens : Éd. Terre vivante.

Document audiovisuel support pour le cours

Tati Jacques (1958). *Mon oncle*, (copie format VHS).