

l'encyclopédie d'utovie

petite théorie du
CHAUFFAGE

16

Petite théorie du Chauffage

La maison traditionnelle s'implantait en fonction du lieu où elle se trouvait, ainsi que de l'homme qui y habitait. :

La "règle du jeu" était soit un certain équilibre, soit une domination qui n'avait pas les moyens actuels. .
Aujourd'hui, les habitations et la façon dont elles sont vécues ont pour principe un déséquilibre, une volonté de puissance, soit profitable pour certains, soit subie pour d'autres. :

Par exemple, au niveau du chauffage et du contrôle climatique, nos besoins sont en grande partie motivés par une incitation à la surconsommation (surchauffe en hiver, climatisation en été). :

La notion du confort est évidemment à revoir en tant que partie de nos conditionnements. Les éléments suivants n'ont pas la prétention d'apporter une solution à cette remise en cause, mais de poser une structure vague non limitée afin d'assembler entre eux des données et voir ce que ça donne. :

Attention : cette petite théorie du chauffage paraîtra parfois dure-dure à comprendre. Un effort d'attention vous montrera que c'est pas plus compliqué qu'autre chose. Rappelez-vous vos cours de physique quand vous étiez jeunes... sauf que là, a priori, vous êtes motivés pour étudier un peu ce topo. Bonne chance et bon travail! :

I . construction bio-climatique

1. ELEMENTS DE DEPART : INDIVIDU, LIEU, HABITAT

A) L'INDIVIDU : avec ses cinq sens, psychologie, physiologie, la santé, les rêves, le temps, le travail, le jeu, l'amour, les conditionnements culturels, politiques, etc.

B) LE LIEU : géographie ; vent; soleil; lune; humidité; altitude ; relief ; végétation ; cultures ; bêtes; sol; jour; nuit; température; courants magnétiques; etc.

C) HABITAT : toit ; murs ; sol; matériaux; inertie; ouvertures ; forme; sources de chaleur; de froid; la disposition des pièces : repos, boulot, bouffe, orientation; environnement; fantômes éventuels... etc.

2. PRENONS PAR EXEMPLE les éléments suivants:

LIEU : climat.

HABITAT : matériaux, disposition des pièces.

Mettons que vous habitez dans une région très chaude. Le "confort" est donc lié aux propriétés thermiques des murs et du toit. Il n'y a pas intérêt par exemple à

habiter une baraque en tôle. Il faut donc des matériaux non conducteurs de chaleur. S'il fait toujours aussi chaud la journée on vit au rez-de-chaussée où c'est plus frais, et la nuit on monte sur la terrasse s'il y en a une ou on dort dans une cour...

En développant cela avec certaines données on peut voir un peu où ça mène :

Par exemple :

A) SOLEIL, matériaux, disposition, ouvertures, forme de l'habitat.

Pour le SOLEIL on sait qu'une surface d'ombre traversée par un courant d'air sera toujours relativement fraîche et que, par contre, un endroit soumis à beaucoup de radiations et sans déplacement d'air sera chaud, c'est évident mais ça va loin!

Tout dépend de quoi on veut se protéger : du froid ou du chaud.

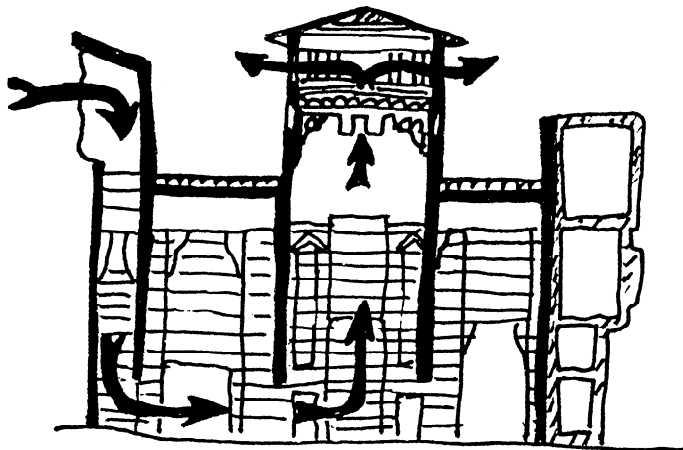
Par exemple : la simple couleur des murs facilitera la réflexion ou l'absorption des radiations; un arbre peut faire de l'ombre ; un mur au sud peut rayonner sur un mur au nord, etc.

B) VENT, idem pour les données.

Pour le vent, il faut orienter les pièces par rapport au vent pour essayer de l'utiliser : soit en captant son énergie (éoliennes) soit en l'utilisant pour sécher du linge ou pour l'aération par appel d'air.

D'où l'importance de la disposition des ouvertures dans une maison. Tout dépend là encore de ce qu'on veut faire : rafraîchir ou réchauffer.

On peut utiliser le renouvellement d'air en le réchauffant : voir articles CHEMINEES. Ou en le rafraîchissant le système du Malkaf est simple : un capteur amène l'air dans la maison, l'air chaud ressort en hauteur; le système peut être amélioré par un humidificateur (linge mouillé par exemple)...



Malakal ou capteur d'air,
Égypte XIV^e siècle. (en section).

C) TEMPERATURE, ibidem pour les données.

La température d'un lieu peut être augmentée de plusieurs degrés par un rideau d'arbres ou bien grâce à une étendue d'eau (mare).

Les variations de température sont beaucoup plus fortes en haut d'endroits dégagés (plateau par exemple) ; Voir aussi les températures intérieures qui varient avec la disposition des pièces. Mettre la cuisine au centre si on veut exploiter sa source de chaleur...

D) LA LUMIERE : l'ordre d'ensoleillement des différentes pièces selon leur utilisation : chambre à l'est pour le soleil matinal par exemple.

II . *l'inertie*

Les deux variantes (certains disent "paramètres") de la conduction thermique pour les parois sont :

- la capacité thermique ou inertie, souvent négligée;
- la résistance thermique qui permet de distinguer les corps bons conducteurs de la chaleur et les isolants.

Habituellement on ne tient compte que des régimes permanents, c'est à dire que les calculs (voir : Echanges thermiques et Mur solaire Calculs), sont fondés sur une différence de température à maintenir entre le milieu extérieur et le milieu intérieur.

C'est pour cette raison qu'on ne tient compte que d'une variante : la résistance thermique et qu'on raisonne en terme d'isolation. "On" étant un penseur-type de l'immobilier actuel.

Cela aboutit à des contre-sens dès que l'on veut introduire les variations de l'insolation et du rayonnement. L'inertie thermique des parois joue un grand rôle.

C'est ce que nous allons analyser en séparant les parois en deux catégories :

- les parois extérieures, séparant deux ambiances à des températures différentes; elles sont traversées en permanence, par un flux de chaleur. Elles l'absorbent en partie, le rendent avec un certain retard.
- les parois intérieures, baignant entièrement dans la même ambiance, absorbent une partie de la chaleur aux heures chaudes et la rendent aux heures froides.

1. AMORTISSEMENT DES APPORTS DE CHALEUR A TRAVERS LES PAROIS EXTERIEURES GRACE A LEUR INERTIE

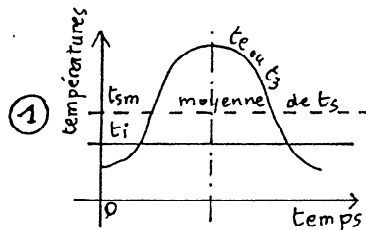
Lorsque la température extérieure, supposée initialement égale à la température intérieure, s'élève, un certain flux pénètre dans la paroi, mais ce flux ne la traverse pas immédiatement; il sert d'abord à chauffer la paroi. Le flux pénètre dans le local avec un certain retard. Celui-ci est fonction du poids et de la capacité thermique de la paroi.

Considérons une paroi opaque séparant une ambiance intérieure à température constante t_i et une ambiance extérieure dont la température t_e (ou t_s s'il y a du soleil) varie suivant la courbe diurne périodique :

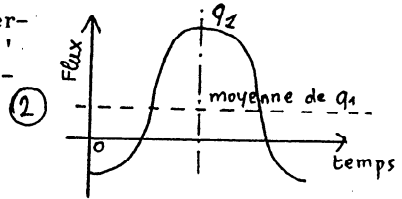
(1) Si on considère la paroi infiniment légère, le flux entrant est à chaque instant :

$Q_1 = K(t_s - t_i)$ t_s étant la température extérieure à l'instant considéré et K le coefficient de transmission thermique de la paroi.

Le calcul du coefficient d'amortissement m et du retard sont complexes. Leurs valeurs en tout état de cause sont fonction de la période du phénomène. Telle paroi qui amortit presque totalement une onde de 24 h peut ne pas amortir du tout une onde saisonnière.



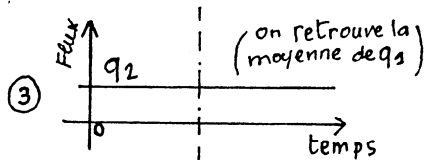
(2) En réalité du fait de l'inertie cette courbe est amortie, l'amplitude des variations est diminuée et elle est retardée, c'est à dire que le maximum du flux entrant a lieu un certain temps après le maximum de température extérieure.



A coefficient égal l'amortissement et le retard de parois homogènes sont fonction de l'admittivité des matériaux; produit de la conductivité par la chaleur massique et la masse spécifique. La chaleur spécifique est à peu près identique pour tous les matériaux de construction. Quant à la conductivité et à la masse spécifique elles varient dans le même sens. Aussi y-a-t-il de très grands écarts entre les admittivités des différents matériaux et par suite de gros écarts entre les coefficients d'amortissement et les retards.

(sur ces notions apparemment abstraites voir les explications déjà données au chapitre ENERGIE SOLAIRE/Matériaux pages 2 et 3).

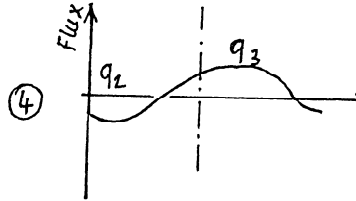
(3) Si la paroi est infiniment lourde, l'amortissement serait total, c'est-à-dire que les variations de température extérieure seraient amorties et que seule serait prise en considération la moyenne de la température extérieure. Le flux serait constant et égal à : $Q_2 = K(T_{sm} - T_i)$ T_{sm} étant la valeur moyenne de T_s . Q_2 est égal à la valeur moyenne de Q_1 .



(4) Si la paroi n'est ni infiniment légère ni infiniment lourde, la courbe de variation de flux oscille autour de Q_2 avec une amplitude inférieure à celle de Q_1 et un certain retard. A un instant donné le flux est égal à :

$$Q_3 - Q_2 + K (T_s - T_{sm})$$

m est un coefficient 1 appelé coefficient d'amortissement. T_s température extérieure, à un instant antérieur à celui considéré. Plus Q_3 s'éloigne de Q_2 (c'est-à-dire que m est grand) moins la paroi a d'inertie.



	λ conducti- vité	ρ chaleur spécifique	P masse spécifique	$\lambda \cdot C P$ admitti- vité	Amortis- sements	retards.
Matériaux très légers 2 cm	0,04 kcal/mh	0,22 kcal/kg	200 kg/m ³	1,8	0,67	2 heures
Béton léger 15 cm	0,3 kcal/mh	0,22 kcal/kg	800 kg/m ³	53	0,12	11 heures
Pierre calcaire 45 cm	0,9 kcal/mh	0,22 kcal/kg	1700 kg/m ³	340	0,005	29 heures

Paroi légère entraîne amortissement $\ll 1$ entraîne $m = 3/4$
 mur en blocs creux " " " " $1/2$ " " $m = 1/2$
 maçonnerie lourde traditionnelle amortissement total :
 $m = 0$.

2. AMORTISSEMENT DES APPORTS DE CHALEUR PAR L'INERTIE DE LA CONSTRUCTION

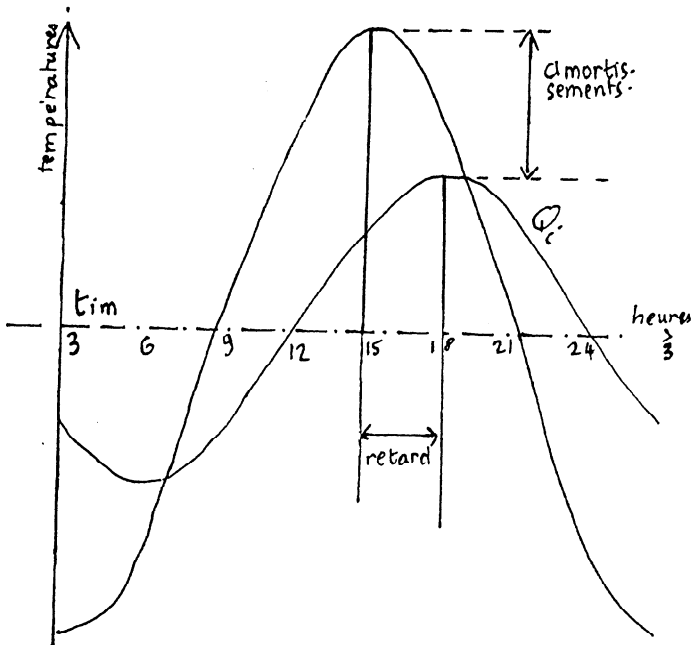
ROLE DES PAROIS INTERIEURES

En l'absence de climatisation, la température intérieure varie. Il y a alors des échanges incessants entre l'air et les parois intérieures (refend, plancher, cloisons). Ces parois absorbent de la chaleur aux heures chaudes et en restituent aux heures froides. La température intérieure est à chaque instant le résultat d'un équilibre entre les apports de chaleur, tantôt positifs et tantôt négatifs.

ECHANGES AVEC LES PAROIS INTERIEURES

Soit Q_1 la température de surface d'une paroi intérieure d'un local dont la température est T_i . La température moyenne Q_1 est égale à la température moyenne T_i . Les oscillations de Q_1 autour de cette valeur moyenne sont retardées et amorties par rapport à celles de T_i . Le retard et l'amortissement sont d'autant plus grands que la paroi est plus inerte. L'amplitude des oscillations de T_i est d'autant plus faible et l'amortissement est d'autant plus grand que :

- la surface des parois intérieures est plus grande et que celles-ci sont plus inertes;
 - les échanges avec l'extérieur sont plus faibles. Or en été ceux-ci sont fonction essentiellement du renouvellement d'air (une diminution de celui-ci est donc favorable). Mais l'élimination des apports solaires, et surtout des apports intérieurs nécessite de ventiler d'autant plus que ces apports sont plus élevés, surtout si l'inertie de la construction est faible. Dans une école métallique dont l'inertie est très faible et où les apports intérieurs sont élevés, il faut ventiler au maximum : le renouvellement de l'air sera de 20 volumes par heure; par contre dans un immeuble d'habitation en béton, donc d'inertie moyenne, et où les apports intérieurs sont faibles, on se contente de 5 à 6 volumes par heure.



- Les variations de T_i et Q_i au cours d'un cycle de 24 h :
- de 7 à 19 h, Q_i est inférieure à T_i . La paroi absorbe alors de la chaleur;
 - pendant les autres heures, Q_i est supérieure à T_i et la paroi cède de la chaleur.

L'INERTIE DES PAROIS INTERIEURES ELLE VARIE AVEC :

- Son poids et son épaisseur : une paroi est d'autant plus inerte qu'elle est plus lourde et plus épaisse. Toutefois, si l'on ne considère que les cycles de 24 h. les couches situées à plus de 8 cm environ de la surface de la paroi n'interviennent pas, leur température restant constante.

- L'incidence de la période du phénomène : l'onde de température extérieure correspond à une période de 24 h. pour le rayonnement solaire il existe des ondes de période plus courte. Il en est de même pour les apports intérieurs de courte durée. Plus la période décroît et plus les parois de faible épaisseur deviennent intéressantes.

Par contre, si l'on examine les phénomènes séquentiels, tels que l'évolution de la température au cours d'un mois, la période est beaucoup plus grande et seules les parois de forte épaisseur restent intéressantes. Il faut retenir que : . pour des phénomènes quotidiens qui sont importants (écarts diurnes de température, ensoleillement, apports intérieurs) l'épaisseur intéressante se situe entre 7 et 12 cm. Pour des parois en matériau autre que du béton on peut raisonner à poids égal : entre 150 et 250 kg/m²;

. mais seules les parois de plus de 19 cm et même 20, en béton, ou d'une façon plus générale 350 à 450 kg/m² permettent d'amortir des phénomènes séquentiels.

- L'incidence de l'inertie des autres parois : si certaines parois autres que celles considérées sont lour-

des, elles seront du fait de leur inertie à une température assez différente de celle de l'air et par contre proche de celle de la paroi lourde considérée. Les échanges par rayonnement seront donc faibles.

- Le revêtement de la paroi : isolant il réduit les échanges avec l'ambiance et diminue le rôle de la paroi quand il ne l'annule pas.

UNE METHODE SIMPLIFIEE D'APPRECIATION DE L'INERTIE D'UNE PAROI consiste à l'affecter d'un coefficient (1, 2/3, 1/3, 0) conformément aux indications suivantes :

tableau p 14.

On définit l'inertie d'un local à partir de sa surface lourde équivalente égale à la somme des surfaces des parois intérieures affectées du coefficient précédent. On définit 4 catégories d'inerties suivant la valeur du rapport de la surface lourde équivalente à la surface au sol du local :

- inertie dite très faible si ce rapport est inférieur à P.T. 0,5.
- inertie dite faible s'il est compris entre 0,5 et 1,5
- inertie moyenne s'il est supérieur à 1,5
- inertie forte s'il est supérieur à 1,5 et si plus de la moitié des parois au moins pèse plus de 350 kg/m².

TEMPERATURES ATTEINTES EN L'ABSENCE DE CLIMATISATION (confort maxi à 28°).

- Températures atteintes sans apport solaire ni apports intérieurs : moyenne T_i égale à moyenne T_e .
Exemple à Montpellier, séquence chaude : T_e varie de 20 à 32°. Moyenne : 26°. Suivant inertie de la construction, T_i aura donc pour valeur :

- . inertie forte ou moyenne entraînant un amortissement total et une T_i constante de 26°.
- . inertie faible donne une T_i de $26° + 6° \times 1/4 = 27°$.
- . inertie très faible : T_i de $26° + 6° \times 1/2 = 29°$.

- Température atteinte avec apports solaires. A Montpellier pour compenser les apports solaires :
 - . inertie forte ou moyenne (faible si on respecte ce qui suit):
 - . des protections extérieures avec store intérieur (il se passe le même phénomène de thermocirculation qu'avec le mur solaire);
 - . pas de fenêtre à l'ouest, plutôt au sud. Il n'y a pas alors coïncidence entre le maximum de température extérieure (15 h) et le maximum d'ensoleillement (12 h);
 - . double ventilation : ouvertures au soleil et à l'ombre.
- Incidence des apports intérieurs : s'ils sont importants prévoir une inertie moyenne et un renouvellement d'air de 5 à 10 volumes par heure.

ON DISTINGUE TROIS CATEGORIES DE CLIMAT :

- Les climats où la température extérieure est toujours inférieure à la limite du confort (28°). C'est le cas du nord de la France. Avec une faible inertie, à condition de limiter les apports solaires et intérieurs, il n'est pas nécessaire de climatiser.

- Les climats où la température maximale quotidienne est supérieure à la limite du confort mais où la température moyenne quotidienne est inférieure à cette limite. C'est le cas du sud de la France où la température atteint 32° mais reste en moyenne à 26°.

Une inertie suffisante et une bonne protection solaire permettent de maintenir à l'intérieur une température à peu près constante, voisine de la température moyenne extérieure, donc inférieure à la limite de confort. Cela suppose cependant qu'il y ait peu d'apports intérieurs et que l'air de ventilation soit pris à l'ombre.

- Les climats où la température moyenne quotidienne est supérieure à la limite de confort (28°) : Sahara, Sud-Espagne : moyenne à 30°.

Pour se passer de climatisation il faut une inertie très forte capable de se souvenir des jours frais qui ont précédé la séquence chaude. Cela est réalisable avec des murs de 50 cm d'épaisseur et en profitant du contact direct avec le sol. Cela est possible en s'enterrant profondément...

Paroi pesant	Résistance thermique $\frac{\rho}{\lambda}$ du revêtement		
	$\frac{\rho}{\lambda} < 0,15$	$0,15 < \frac{\rho}{\lambda} < 0,5$	$\frac{\rho}{\lambda} > 0,5$
plus de 200 kg/m ²	1	2/3	0
entre 200 et 100 kg/m ²	2/3	1/3	0
entre 100 et 50	1/3	0	0
moins de 50	0	0	0

III . *isolation*

Plutôt que de s'isoler du froid en s'enfermant dans du polystyrène si expansé soit-il: il vaut mieux commencer par voir d'où vient le froid, ainsi que la nécessité de s'en protéger.

On est alors amené à voir l'influence du vent. Pour des régions où elle est assez forte il faut tenir compte alors de l'exposition au vent et, bien sûr, aux autres éléments du coin.

Trois réactions possibles :

- on fait front au vent (bon pour les éoliennes!);
- on l'esquive (forme de construction, etc);
- on s'en protège (murs, arbres, etc.);

RAPPORT DANS L'ESPACE :

Plutôt que d'avoir son pavillon à 30 m des autres, il vaut mieux quelques constructions massives, surtout si la région est ventée, froide ou même chaude.

Constructions massives : groupements des constructions, avec passages, escaliers, pièces communes, volumes et matériaux lourds en fonction du lieu, etc... on y vient à l'habitat communautaire, on y vient.

Et puis, il faut utiliser les granges, les murs, les arbres... On peut aller jusqu'à planter des perches (coupes-vent en Suisse par exemple).

En Camargue, dans la Manche, on tourne le dos au vent en faisant un coin à l'abri. De plus le vent sèche les toits de chaume.

On peut aussi s'enterrer en partie; on profite en plus de l'inertie thermique du sol.

La forme importe beaucoup : offrir le moins de prises possibles au vent (plans massifs dégradés et formes se rapprochant des sphères...).

Et encore : surface minimum pour un volume maximum: déperditions réduites au maximum.

LES OUVERTURES

Plutôt que d'avoir des baies vitrées partout... sortez! et diminuez vos fenêtres exposées au vent et au nord. (sauf au Sahara et régions similaires...)

On peut mettre des doubles vitrages, des rideaux et des volets, et même "bloquer" certaines fenêtres.

Pour l'entrée faites un sas (ça peut être le traditionnel couloir d'entrée, ou ce que l'on veut, une surface de rangement par exemple : du moment qu'une porte sépare cette pièce de l'intérieur proprement dit)

ISOLATION ET INERTIE

Il y a le vent, mais aussi l'exposition au soleil, le versant, l'exposition au nord, dans un endroit dégagé ou protégé; etc. Voir la première partie "construction bio-climatique".

Avant d'entrer plus précisément dans la "sphère" isolation-inertie voici deux précisions supplémentaires :

- la chaleur dégagée par les occupants, l'éclairage, les travaux ménagers, etc... fait monter la température d'une maison classique de 2°C.

- les vêtements divisent en deux les échanges thermiques entre le corps et l'air ambiant (donc l'air ambiant profite moins de la chaleur que vous dégagez : pour réchauffer par votre activité l'atmosphère déshabillez-vous!).

Exemple par rapport à la laine de verre et au béton :

- 1 cm de laine de verre a le même coefficient de con-

ductibilité λ que 50 cm de béton : ils isolent autant. De plus la laine de verre arrête tout le flux de chaleur sauf 1 % qui la traverse directement. Les 50 cm de béton; eux, n'arrêtent que 90 % et laissent passer 10 % de chaleur avec un certain temps de pénétration (10 heures ou plus).

Donc la laine de verre isole mieux mais ne garde pas de chaleur. Exemple: si on ouvre une fenêtre dans une pièce en matériau léger isolée de laine de verre, la chaleur de la pièce part tout de suite.

Pour une pièce en matériaux lourds il faudrait laisser la fenêtre ouverte plusieurs heures avant que toute la chaleur interne n'ait disparue.

On parle là de Capacité thermique (inertie) et de résistance thermique (conductibilité).

En fait on s'occupe surtout des "bons" isolants (qui sont des matériaux légers, très peu conducteurs, voir MATERIAUX un peu plus loin).

Et on ne s'occupe pas de l'inertie et donc (encore moins !) du milieu environnant et de ses variations. Conséquence immédiate : pertes ou échauffement par convection très importantes. (Par exemple : reprendre l'exemple de la fenêtre qu'on a ouverte ci-dessus, et la refermer cet hiver).

Pour ce qui est des matériaux lourds : Pierre (densité de 1300 à 2500 kg/m³) ou béton (1000 à 2500 kg/m³), avec ce qui a été dit précédemment, on peut déterminer que des maisons ayant des murs plus ou moins denses, ceux-ci peuvent se permettre d'avoir une "isolation" plus ou moins faible puisque leur inertie pourra compenser cela. (L'inertie signifie ici en clair que ces murs conservent une partie de la chaleur et forment ainsi un "volant thermique" en restituant même une partie de cette chaleur; ce qui n'est pas le cas d'une cloison légère très bien isolée en laine de verre par exemple). Quelques chiffres : soit : d la densité du mur, en kg/m³ donc du matériau et liant, etc. Et soit K le coefficient de transmis-

sion thermique exprimé en Kilocalories par m² par heure et par °C.

$$d \text{ du mur } \overset{k}{\text{"acceptable"}}$$

$$d < 200 \rightarrow k = 1$$

$$200 < d < 400 \rightarrow k = 1,2$$

$$400 < d < 600 \rightarrow k = 1,4$$

$$d > 600 \rightarrow k = 1,6$$

↙ maçonnerie lourde ↘ mauvaise isolation.

Donc, en plus de ses avantages propres (solidité...), l'inertie du matériau peut compenser une mauvaise isolation.

LE RENOUVELLEMENT D'AIR

Dépense de chaleur dûes au renouvellement d'air. En moyenne cela cause 25 à 40 % des dépenses de chaleur de toute la maison.

On admet, très approximativement, que le volume d'air d'une pièce se renouvelle en une heure.

Ce renouvellement d'air augmente quand l'écart entre la température intérieure (ti) et la température extérieure (te) augmente (soit que Ti augmente, soit que Te diminue).

Son influence augmente quand la température diminue, et il est plus difficile de se protéger des courants d'air quand ils sont froids (d'ailleurs ce sont surtout ceux-là qu'on remarque!).

VENTILATION, TEMPERATURE ET HUMIDITE

Celle-ci varie avec les habitations. Dans le cadre actuel soit : U la vapeur et V le volume, le rapport U/V

peut être de : 2 g/m³h (maison confortable), 5 g/m³h (maison moyenne) ou 8 g/m³h pour une maison pauvre et surpeuplée (dans ce dernier cas : grand besoin de ventilation et donc d'inertie (sinon consommation énorme de chauffage vu qu'on ventile beaucoup)... et puis besoin de casser la baraque! C'est toujours la même chose malheur aux pauvres : quand on vous le dit que l'écologie c'est politique!

Pour avoir un degré d'humidité convenable, il faut qu'il y ait ventilation. Il y en aura presque toujours. Il vaut mieux que celle-ci soit dans ce sens :

- arrivée dans les pièces principales
- sorties d'air dans les autres (entrant de la cuisine, etc.)

LES DIFFERENCES DE TEMPERATURE AVEC LES PAROIS

Quand on est tourné vers une paroi froide on ressent une impression de froid qui peut être forte. C'est un simple problème de rayonnement. Pour limiter les gênes quand il y en a, il suffit de mettre des rideaux, des volets, etc.

Quelques chiffres pour appuyer cette impression, soit :
 Q_i : température de la paroi (face intérieure)
 t_i : température intérieure ambiante
 t_e : température extérieure.

Si $t_i = 20^\circ\text{C}$. avec un mur isolant $\kappa = 1$ $Q_i = 17^\circ\text{C}$
 er $t_e = -4^\circ\text{C}$, " " peu " $\kappa = 2$ $Q_i = 14^\circ\text{C}$
 " " double vitrage $\kappa = 3$ $Q_i = 11^\circ\text{C}$
 " " simple vitrage $\kappa = 5$ $Q_i = 5^\circ\text{C}$

Q_i est toujours inférieure à t_i de 3 ou 4°C.

LES DIFFERENCES DE TEMPERATURE AVEC LE SOL

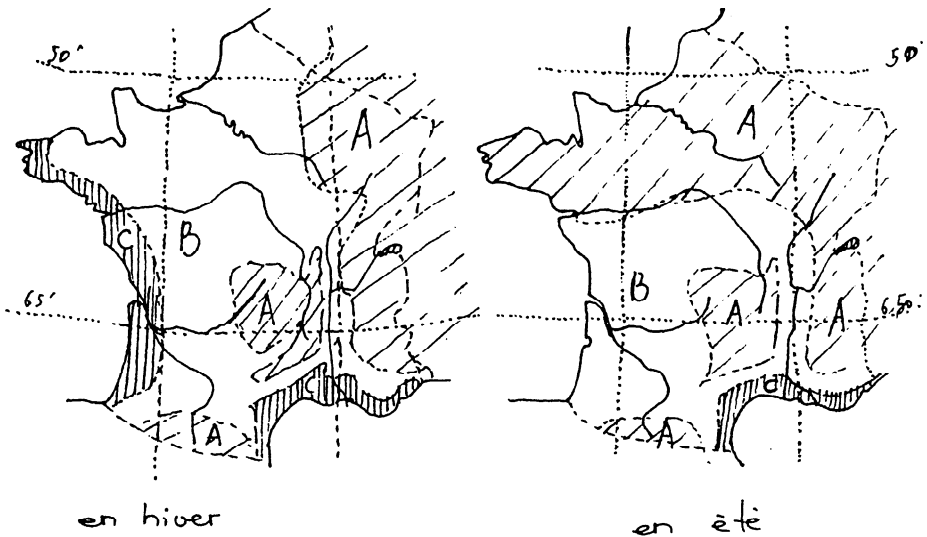
Quand on marche pieds nus, l'effet de froid varie suivant la température du sol et l'admitivité du matériau. Plus elle est forte et plus il y a sensation de froid. Celle d'un tapis (ou d'une moquette) est le centième de celle d'un carrelage.

Mieux vaut éviter un revêtement peu conducteur.

Quand la température intérieure est de 20° C. par exemple (ce qui est trop) il vaut mieux que celle du sol soit inférieure à 25° C. Et éviter bien sûr de chauffer par le sol. Si celui-ci est au-dessus d'une cave il vaut mieux qu'il soit à température de 15° C. En règle générale la différence entre la température intérieure et celle du sol doit être maximum de 5° C.

IV. isolation et déperditions

Les valeurs indiquées ci-dessous varient suivant les zones A, B, C qu'on différencie pour les valeurs de l'isolation, suivant le climat.



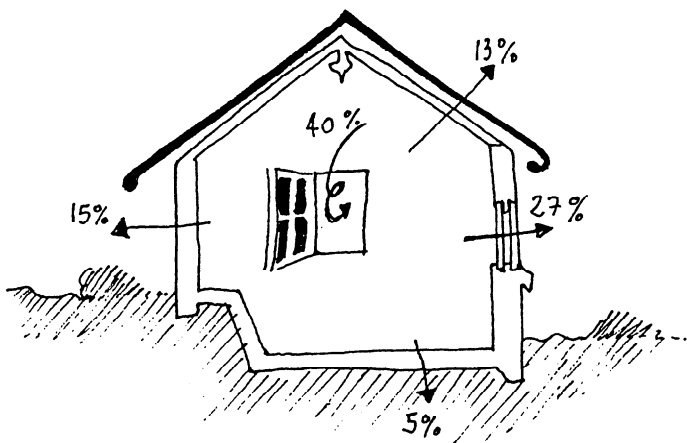
DEPERDITIONS

En général on tient compte des déperditions de chaleur suivantes :

- renouvellement de l'air : 30 à 40 %
- parois opaques : 30 à 50 %
- ouvertures : 20 à 30 %.

Total des pertes calorifiques : 100 %.

Pour les habitations actuelles, il faut rajouter encore 30 à 40 % de gaspillage dû au manque de "souplesse" de la construction et du chauffage. (D'après "L'hygrothermique dans le bâtiment").



OU L'ON REPARLE DE K

Comme effectivement on va reparler du coefficient K (coefficient de transmission thermique exprimé en Kilo-calories par m² par heure et par °C; voir ci-dessus à ECHANGES THERMIQUES), voici un ordre de grandeur :

- K = 0,5 (!!!) pour une maison "tout électrique".
- K des parois opaques = 1 (quand il y a une bonne isolation - double-vitrage et volets - et que la surface vitrée est au maximum égale à 1/10 de la surface de la pièce).
- K des parois opaques = 1,8 quand il y a une mauvaise isolation (vitrage simple sans fermeture, etc; et surface vitrée égale au quart de la pièce).

DIFFERENTES VALEURS DE L'ISOLATION
EN FONCTION DU LOCAL ET DES MATERIAUX UTILISES

A. Les Murs :

- Ceux en maçonnerie traditionnelle ont un K global de 1,4 à 1,6. L'isolation serait alors mauvaise. Pour des matériaux légers. Vu qu'ils sont lourds ce peut être une bonne solution.
- Rajouter un enduit de plâtre à l'intérieur ne change alors pas grand chose au point de vue isolation (tant que ce n'est qu'une couche de 1 ou 2 cm). Il vaut mieux bien isoler la surface extérieure pour que la chaleur reste dans le mur et soit restituée vers l'intérieur.

Tableau approximatif indiquant l'épaisseur des murs nécessaire pour une bonne isolation. Celle-ci varie en fonction du lieu (zones A, B, C) et du matériau. Le K indiqué est le maximum admissible vu le lieu, et le matériau, d'où l'épaisseur...

matériaux	Régions.		
	A	B	C
Calcaire ferme	65 cm. $K=1,5$ 1500 kg/m ²	55 cm. $K=1,7$ 1280 kg/m ²	45 cm. $K=1,9$ 1000 kg/m ²
Calcaire demi-ferme	55 cm. $K=1,5$ 1200 kg/m ²	45 cm. $K=1,65$ 980 kg/m ²	40 cm. $K=1,8$ 870 kg/m ²
Calcaire tendre n°3.	40 cm. $K=1,5$ 730 kg/m ²	35 cm. $K=1,65$ 640 kg/m ²	30 cm. $K=1,8$ 550 kg/m ²
Briques.	40 cm. $K=1,4$ 700 kg/m ²	35 cm. $K=1,5$ 600 kg/m ²	30 cm. $K=1,6$ 500 kg/m ²
Asblomeries de béton	35 cm. $K=1,3$ 450 kg/m ²	30 cm. $K=1,4$ 400 kg/m ²	25 cm. $K=1,5$ 310 kg/m ²

La valeur entre parenthèses permet de calculer la densité du matériau et le poids, connaissant la surface étudiée (1 m² de mur de "calcaire fermé" épais de 65 cm ça pèse dans les 1500 kg).

- Pour un mur contre un garage ou un cellier on compte K = 1,5.

- Pour les murs intérieurs, ce sont eux qui sont le mieux à même de jouer un rôle d'inertie (cf INERTIE E).

B. Le Sol

- Sur terre plein : il faut en général une isolation "périphérique" (à la périphérie de la construction. voir plus loin. Il en faut aussi par rapport à l'humidité; etc...

L'isolation périphérique empêche que la température du sol ne soit trop fraîche près des murs extérieurs. Elle diminue beaucoup les déperditions.

Par contre, une isolation de toute la surface du sol, au point de vue thermique, n'apporte pas grand-chose.

- sur cave (et vide sanitaire) :

Il faut éviter un K supérieur à 1,2 ou 1,3

- sur passage ouvert : il faut éviter que K dépasse 0,8 ou 0,9 en zone A ou B (cela demande une bonne isolation).

- Plancher entre grenier et pièce habitée : K maximum de 1,2 à 1,5.

(à ce niveau faire attention à la liaison du plancher et des murs : risques de "ponts thermiques").

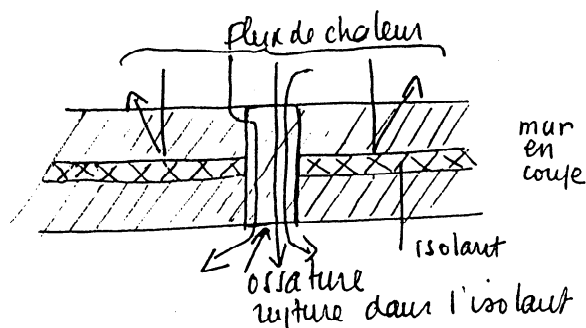
C. Le toit

Valeur maximum de K si on veut peu de différences entre les pièces sous toiture et les autres :

Zones	A	B	C
K maximum	0,8	1	1,2

LES PONTS THERMIQUES ou POINTS FAIBLES

Ce sont les points de rupture dans l'isolation : dûs la plupart à l'assemblage des murs, au liant utilisé, bref à tout ce qui d'une manière ou d'une autre rompt l'isolation.



Deux principes

par rapport à ces ponts thermiques, pour des "poteaux":

a. Principe d'isolation :

- On met sur la face intérieure de la paroi, devant l'ossature, une certaine épaisseur du matériau utilisée en partie couvrante (sur le reste de la paroi). Cette épaisseur varie du 1/5 de cm à la moitié de l'épaisseur du mur.



- On peut mettre aussi un isolant assez fort devant l'ossature (il faut que ça dépasse de chaque côté).



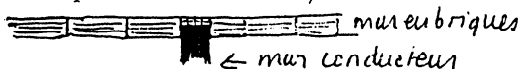
- Quant à protéger l'ossature de l'extérieur, cela pose nombre de difficultés sans être efficace.

b. Principe de répartition : on met une couche conductrice sur la face intérieure ce qui entraîne une température uniforme sur cette face avec le risque qu'elle soit froide. Pas forcément efficace.

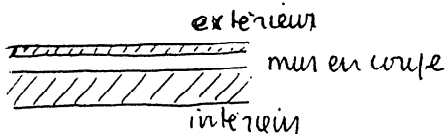
Applications et autres principes :

- En fait, le meilleur principe est de limiter les ossatures : mieux vaut une maçonnerie (brique ou pierre) poreuse et des murs porteurs ("de refend") à l'intérieur s'il y a beaucoup d'étages.

- Si on persiste à vouloir utiliser des ossatures (acier, béton armé, dalle avec ferrailage... etc) : faire en sorte que ça ne soit pas en contact avec l'extérieur (il s'agit ici de cloisons ou de planchers qu'on ne peut donc isoler que de l'extérieur).



- Quand on coule du béton en laissant un vide (ou en mettant un matériau isolant à l'intérieur) : celui-ci doit se trouver plus près de la face extérieure (pour l'isolation du mur, mais aussi pour que les refends ou les planchers s'encastrent dans la partie déjà isolée).



- Pour les refends et planchers, on peut donc isoler de l'extérieur (avec matériaux identiques à ceux du mur, s'ils sont en maçonnerie).

APPLICATION DE TOUT ÇA AUX :

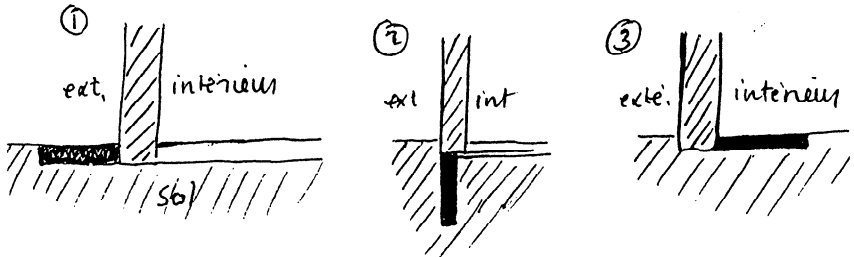
A. Sol sur terre plein :

Dans la région C on peut se passer d'isolation.

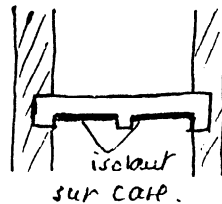
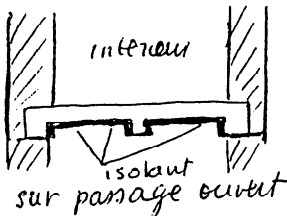
Dans les régions A et B, il faut en mettre (sur une longueur de 50 cm) :

- pour A : matériaux isolant où $K = \frac{1}{2}$ ou $\frac{2}{5}$
- pour B : matériaux isolant où $K = 2$ ou $2,5$.

Donc pas de problème mais il la faut continue.



B. Sol sur vide :



C. Ouvertures :

- Fenêtre étanche et fixe avec double vitrage : gains de 30 %. Mieux vaut un vitrage en hauteur qu'en largeur.

- les pertes par rayonnement durant la nuit, à travers les fenêtres, sont supérieures aux gains de la journée (surtout avec exposition plein nord, etc.).

- On a déjà vu l'intérêt des rideaux et volets (problème des parois froides). Il est bien sûr confirmé par rapport aux déperditions.
- De plus il vaut mieux des ouvertures petites au nord et au vent (quitte à ce qu'elles soient condamnées : rattrapez-vous sur la porte quitte à ce qu'elle soit à double battant.

D. Assemblages en maçonnerie :

- pour des ossatures de faible largeur (telles que les joints de maçonnerie) c'est pas la peine d'isoler.
- quant aux assemblages (de blocs, pierres, etc) : ceux en chicane améliorent l'isolation car ça allonge les circuits thermiques.

E. Matériaux :

(voir aussi à MATERIAUX)

- L'isolation varie en fonction du matériau mais ce n'est pas toujours le plus isolant qui est le plus intéressant (vu l'inertie, etc., voir plus haut).
- Une lame d'air est plus isolante si elle est dans des alvéoles ou autres espaces restreints placés côte à côte, que si elle est d'un seul tenant (problèmes de convection).
- L'isolation varie suivant l'utilisation du matériau
Ex : le bois est plus isolant dans le sens perpendiculaire des fibres (moins de conduction).
- enfin, un matériau est bien plus isolant sec qu'humide (vu la conductibilité de l'eau).
- la réflexion joue aussi un rôle important (voir RAYONNEMENT) : le blanc renvoie la lumière (sur un mur nord si on veut, etc...).

v. échanges thermiques

Précaution : l'enchaînement des phénomènes expliqués ici compte plus que le résultat numérique auquel on aboutit au bout de la démonstration, merci!

ECHANGES PAR CONVECTION

Les échanges thermiques ont toujours lieu du plus chaud au plus froid.

L'air chaud monte (plus léger) et l'air froid descend (plus lourd).

La différence de température entre les surfaces d'une paroi et les masses d'air qui les entourent entraîne des échanges thermiques par convection entre celles-ci. La quantité de chaleur échangée est :

- entre face interne et air intérieur :

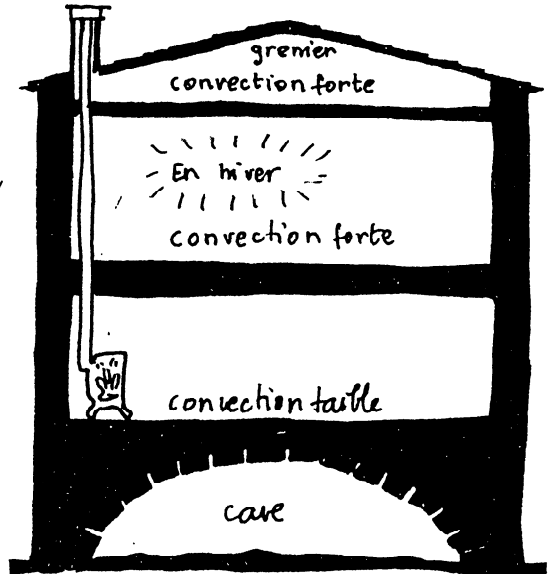
$$q_i = \alpha_e (t_i - \theta_i)$$

- entre face externe et air extérieur :

$$q_e = \alpha_e (t_e - \theta_e)$$

Le coefficient de convection α_c est fonction des facteurs suivants :

- l'orientation de la surface et le sens du flux;
- a. surface horizontale:
 - élément chaud sur élément froid : ↓ convection faible.
 - b. élément froid sur élément chaud : ↑ convection forte.
- b. surface verticale : le sens du flux n'intervient pas. α_c prend une valeur intermédiaire aux précédentes.



- la vitesse de l'air : plus elle est grande, plus les échanges sont importants.

Ordre de grandeur de α_c en air calme, cas d'un local fermé (20 cm/seconde) :

- paroi verticale : $\alpha_c = 4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$.

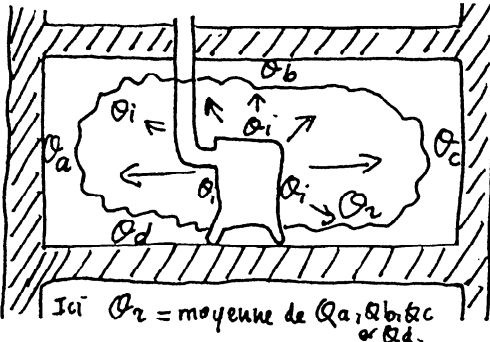
- paroi horizontale : . flux ascendant : $\alpha_c = 6 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$,

. flux descendant : $\alpha_c = 1 \text{ " " " "}$

ECHANGES PAR RAYONNEMENT

Deux surfaces mises face à face rayonnent une certaine énergie, de la plus chaude vers la plus froide.

Considérons une surface à une température Q_i entourée par un ensemble de corps (exemple : poêle chaud par rapport aux murs) dont les surfaces sont à des températures Q_a, Q_b, \dots etc. On prend alors pour celles-ci une température d'ensemble appelée température radiante Q_r . C'est la température d'une enceinte fictive à température uniforme provoquant un flux par rayonnement identique à celui de l'enceinte réelle.



L'expression de ce flux :

$$q = (Q_i - Q_r) \alpha_r$$

quand :

$$Q_i > Q_r$$

α_r est le coefficient de rayonnement. Sa valeur est fonction des émitivités des deux surfaces en présence. L'émitivité est un nombre sans dimension, au plus égal à 1. L'émitivité de la plupart des matériaux est de l'ordre de 0,9. La valeur de α_r est alors égale à $4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$. Seuls quelques métaux ont une émitivité moindre (aluminium de 0,05 à 0,25).

La forme des surfaces qui entourent le corps considéré, influe sur le rayonnement. Elle est prise en considération dans la température ambiante.

ECHANGES PAR CONDUCTION (voir RAYONNEMENT)

Ils ont pour expression :

$$q = \frac{\lambda (\theta_e - \theta_i)}{e} \quad \text{quand} \quad \begin{cases} \theta_e = \text{température de surface} \\ \theta_i = \begin{cases} \text{extérieure} \\ \text{intérieure} \end{cases} \\ e = \text{épaisseur de la paroi.} \end{cases}$$

λ est le coefficient de conductibilité du matériau. Sa valeur pour les matériaux de construction varie de : 0,03 Kcal/m².h.°C. pour les plus isolants à 3 pour les plus conducteurs. Elle excède 30 pour les métaux.

DEPERDITIONS DE CHALEUR DANS UNE MAISON

Considérons une paroi homogène, analysons les échanges thermiques, successifs de l'intérieur vers l'extérieur.

A l'intérieur :

les échanges ont lieu par convection entre la paroi et l'air et par rayonnement entre la paroi et les autres parois du local. Celle-ci étant en général inférieures la température radiante est égale à la température intérieure : t_i .

Ces échanges ont pour expression :

$$q = \alpha_c (t_i - \theta_i) + \alpha_r (t_i - \theta_i) \\ = (\alpha_c + \alpha_r) (t_i - \theta_i)$$

On pose

$$h_i = \alpha_c + \alpha_r$$

En général les parois sont émissives, ce qui entraîne:

$\alpha_r = 4 \text{ kcal/m}^2 \text{ h.}^\circ\text{C}$, d'où en paroi verticale: $h_i = 8 \text{ kcal/m}^2$
et en paroi horizontale: Flux ascendant $h_i = 10$ - descendant $h_i = 5$.

Dans la paroi : les échanges ont lieu ensuite par conduction :

$$q = \frac{\lambda (\theta_i - \theta_e)}{e}$$

A l'extérieur : les échanges ont lieu de la paroi à l'air extérieur.

Ici la température radiante moyenne des températures du sol, des bâtiments voisins et de la voûte céleste est égale à celle de l'air extérieur : t_e .

L'expression des échanges est : $q = h_e (\theta_e - t_e)$

h_e est essentiellement fonction de la vitesse du vent : 3 m/seconde en temps normal.

En paroi verticale : $h_e = 14,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h.}^\circ\text{C}$.

on a alors

en paroi horizontale : $h_e = 16,5 \text{ " " " "}$

Dans le cas de paroi hétérogène, cette somme comporte plusieurs e/λ une pour chaque matériau :

de ces trois expressions de q on obtient :

$$q = \frac{(t_i - \theta_i) + (\theta_i - \theta_e) + (\theta_e - t_e)}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}}$$

on pose alors : $\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$

ou K est le coefficient de transmission de la paroi, on a alors :

en hiver : $q = K(t_i - t_e)$ en été $q = K(t_e - t_i)$

Pour déterminer le K moyen d'un logement on calcule celui de chaque paroi en contact avec l'extérieur (parois vitrées des fenêtres, murs en béton ou maçonnerie, portes en bois) et on fait la moyenne en tenant compte de leurs surfaces respectives.

- une maison avec un K moyen égal à 0,5 est une maison bien isolée, type "tout électrique" (!!!),
- une maison avec un K moyen égal à 0,9 ou 1 est une maison moyennement isolée,
- une maison avec un K moyen égal ou supérieur à 1,8 est une maison mal isolée.

DÉPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR

formule : $q = 0,3 V (t_i - t_e)$

Où 0,3 Kcal/m³°C est la chaleur spécifique de l'air, V le volume d'air renouvelé en m³ par heure. On prend couramment : V égal à 1 volume du local par heure.

(Ces déperditions représentent environ 40 % des pertes dans une maison).

On a alors les déperditions globales d'un logement qui sont :

$$Q \text{ kcal/h.} = E S_0 K_0 (t_i - t_e) + E S V K_v (t_i - t_e) + 0,3 V (t_i - t_e).$$

$E =$ somme de. S_0 : surface opaque. K_0 : K des surf. opaques
 $S V$: " vitrée. K_v : K " " vitrées.

Cela nous donne la quantité Q de calories qu'il faut apporter toutes les heures à un logement si on veut le garder à la température t_i .

l'encyclopédie d'utovie n°16

PETITE THÉORIE DU CHAUFFAGE

Pour comprendre ces notions essentielles de base :

- bio-climatique
- inertie
- isolation
- déperditions
- échanges thermiques

pour mettre en œuvre les matériaux les mieux adaptés à ses souhaits
et ses possibilités tout en restant compatibles avec l'environnement.

PRIX : 22 F.F.

ISBN 2-86819-116-7