

JEAN DOULLIEZ

THEORIE DE L'ARCHITECTURE

ARCHITECTURE ET CLIMAT.

Manuscrit provisoire destiné aux étudiants de
l'Institut Supérieur d'Architecture de la ville de Mons
en guise de
Syllabus du cours "Théorie de l'Architecture"
1988

SOMMAIRE.

ARCHITECTURE et CLIMAT.

INTRODUCTION.

CHAPITRE 1. Soleil et Architecture. Principes généraux.

Section 1. Les données

§1. Ensoleillement et orientation

I. Positions du soleil au cours de l'année.

II. Diagramme d'ensoleillement.

III. Irradiation et insolation

§2. Dispositifs généraux de régulation passive

Section 2. Bilan thermique de la fenêtre.

Résumé.

§1. Orientation

§2. Nature du vitrage et isolation

a. déperdition

b. apports

c. bilan thermique du vitrage

§3. Forme des fenêtres et type de châssis

§4. Inclinaison.

Annexe.

CHAPITRE 2: Le Vent et l'architecture

Introduction.

§1. Protection contre le vent.

§2. Exemples vernaculaires d'adaptation au vent

Annexe

CHAPITRE 3: Forme générale et climat.

§1. Réduire les déperditions et augmenter l'isolation

§2. Formes basées sur les principes de "l'écodésign"

CHAPITRE 4: L'habitat solaire.

Introduction: Généralités

Résumé des systèmes solaires passifs et actifs

les systèmes fondamentaux de chauffage passif.

Energie solaire passive.

I. Introduction

II. Principes généraux

1. le Captage.

2. le stockage.

3. la Distribution.

III. les Systèmes intégrés passifs.

1. le mur de maçonnerie recouvert d'un vitrage (Syst. TRONBE).

2. Le Drumwall

3. Le mur à billes.

4. Les bassins de toiture.

5. Les serres.

Annexe 1: L'habitat solaire passif

Annexe 2: Raisons bioclimatiques.

Annexe 3: Comportement des occupants et économie d'énergie.

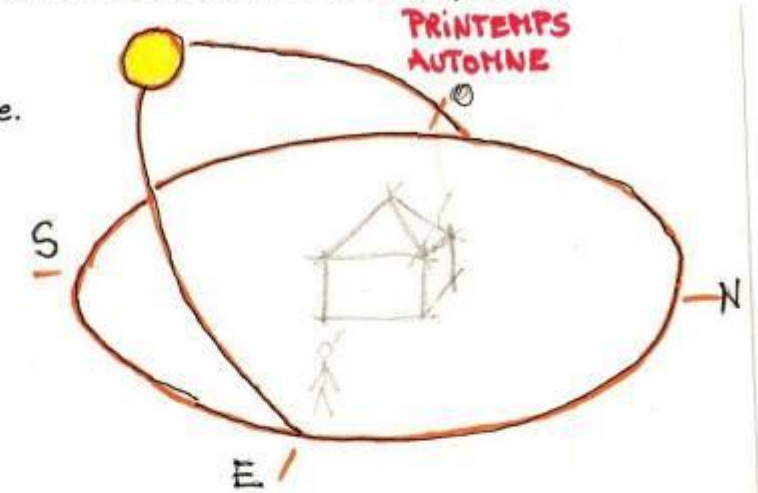
CHAPITRE 1: Soleil et Architecture - généralités.

SECTION 1: Les données.

§1. Ensoleillement et orientation.

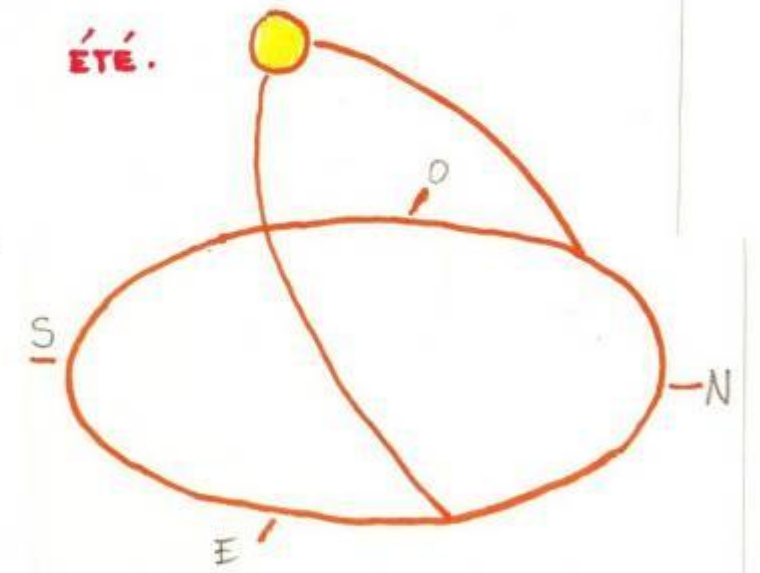
I. Les positions du soleil au cours de l'année. (Figure 1)

Equinoxes: 21 Mars
21 Septembre.



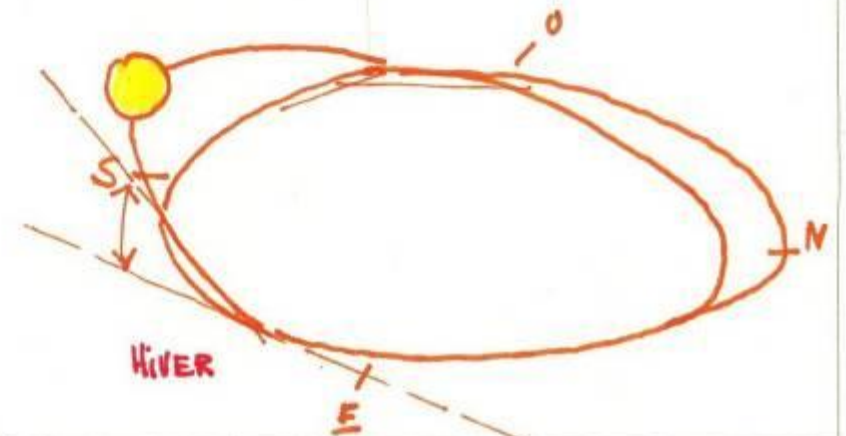
Solstices 21 Juin

ÉTÉ.



21 Décembre.

HIVER



2. Diagramme des ombres portées et d'ensoleillement.

Pour déterminer l'ensoleillement d'une construction à une certaine heure du jour et à une époque donnée de l'année il suffit de reporter sur le plan l'angle azimut du solstice correspondant.

Pour déterminer la limite d'ombre on reporte sur l'élévation (ou la coupe) l'angle solaire par rapport à l'observateur. La rencontre des deux lignes donne la limite d'ombre.

Attention! En reportant les différents solstices sur vos plans, veuillez toujours à la bonne orientation.

Figure 2.
SOLSTICE aux EQUINOXES de PRINTEMPS et d'AUTOMNE
(± 21 mars et ± 21 septembre)
51°30' latitude Nord (Antwerpen).

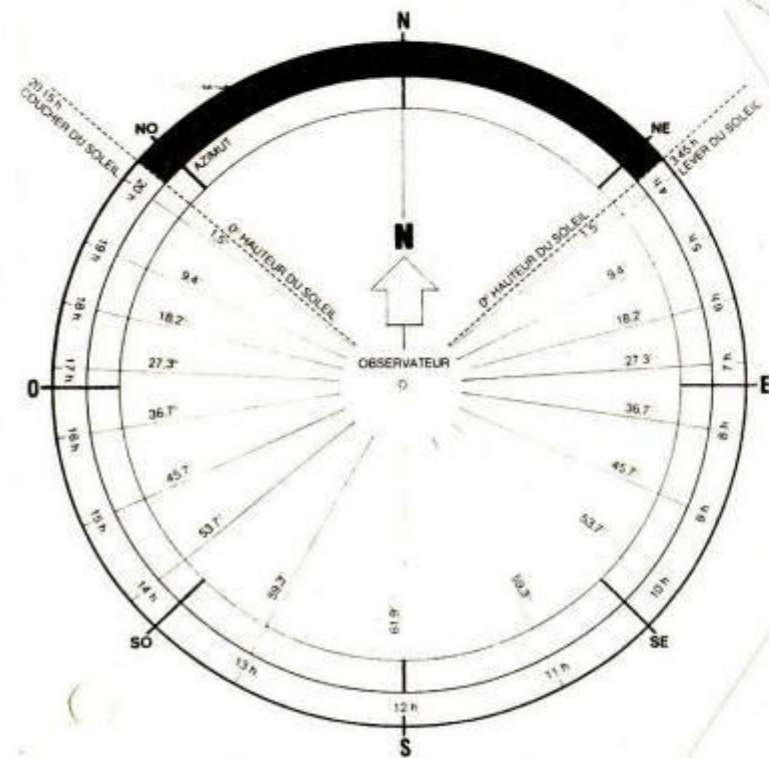
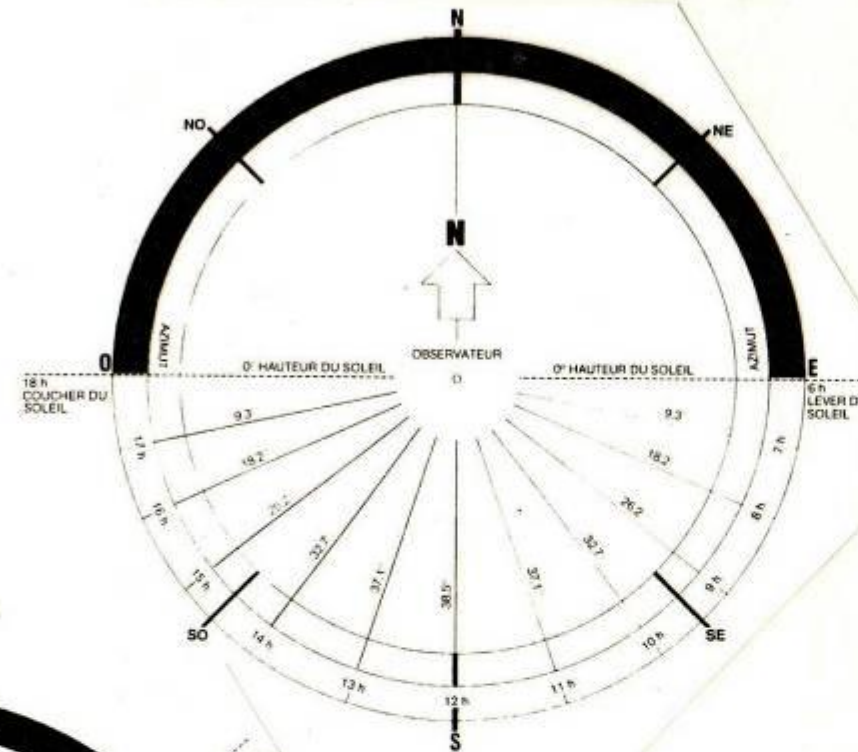
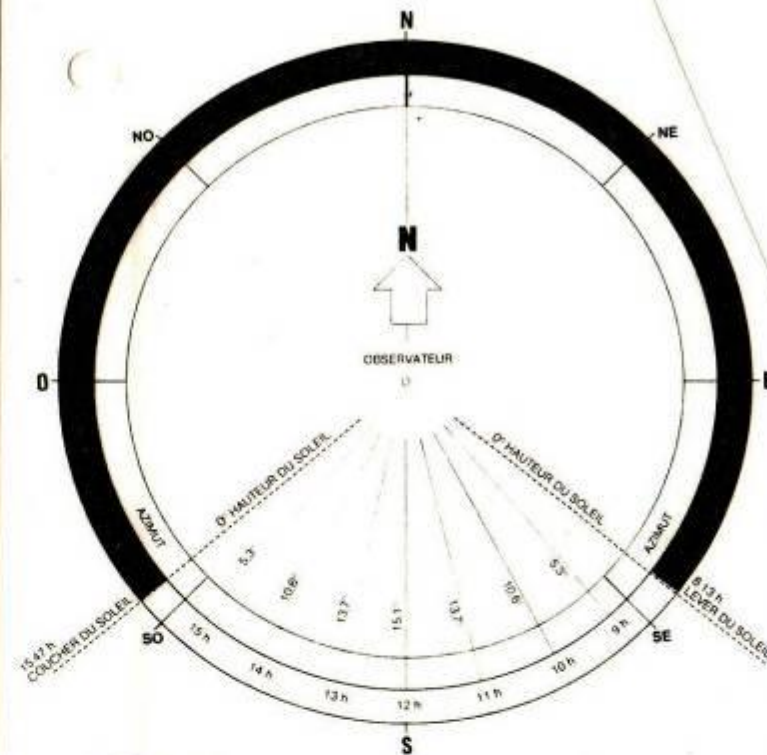


Fig. 3
SOLSTICE d'ETE
± 21 juin (jour le plus long de l'année)
51°30' latitude Nord (Antwerpen).

Fig. 4
SOLSTICE d'HIVER
± 21 décembre (jour le plus court de l'année)
51°30' latitude Nord (Antwerpen).



Ainsi, le 21 Décembre, à la latitude d'Anvers, à 11h00 du matin, le soleil est incliné de 13,7° sur l'horizon.

3. Irradiation et insolation.

Rayonnement solaire direct sur les façades

Pour un site donné, l'orientation optimum doit permettre le maximum d'irradiation en hiver et le minimum en été (inclinaison des murs, ombrage).

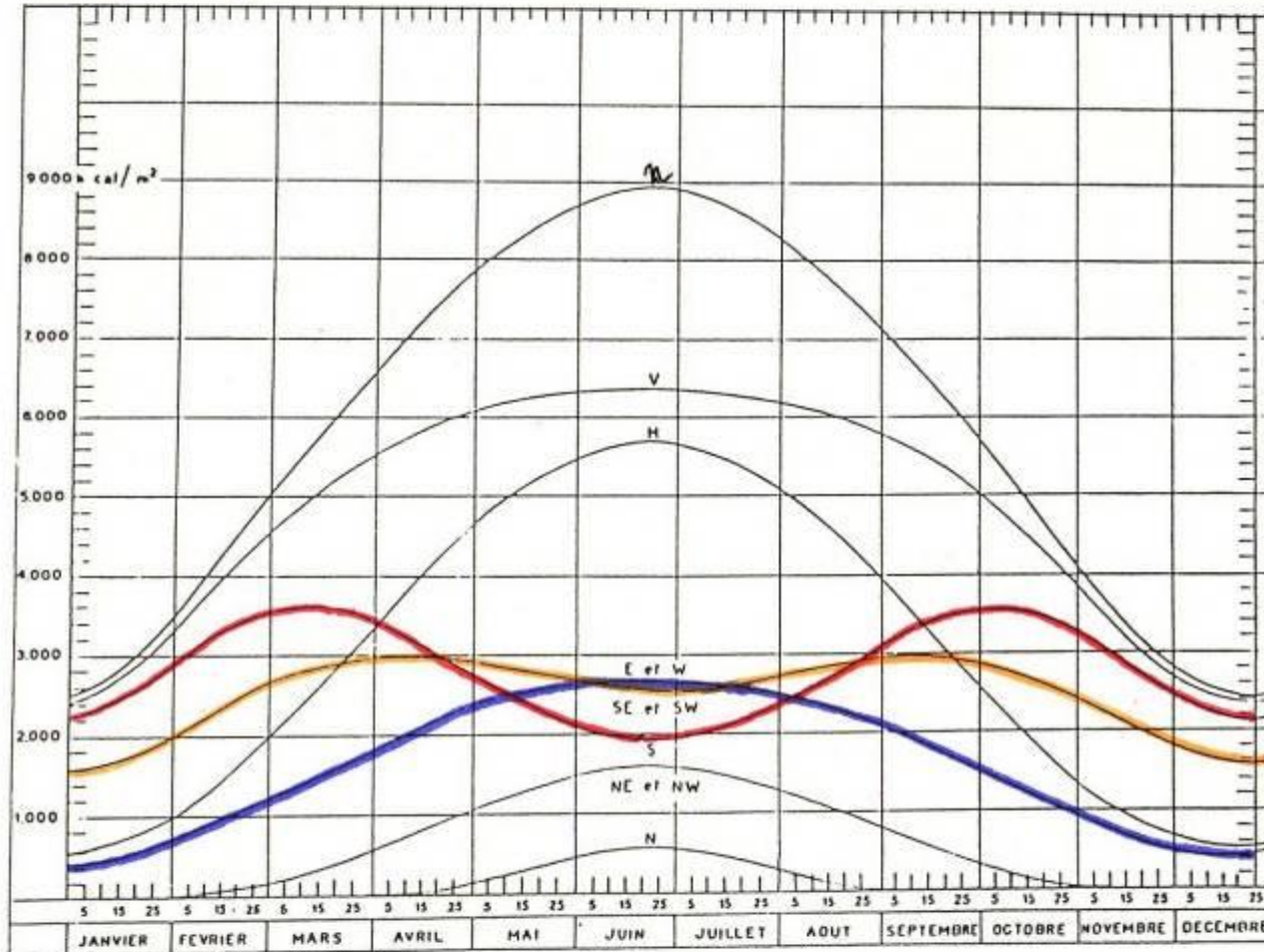


Fig. 5 Irradiation journalière directe (temps dégagé)

n : la surface réceptrice est maintenue normale aux rayons sol.

V : la surface réceptrice est un plan vertical perpendiculaire au plan d'incidence des rayons solaires

H : la surface réceptrice est horizontale

E, W, S : la surface est verticale, exposée à l'est, l'ouest, au sud.
En abscisse sont portés les différents jours de l'année ;
en ordonnée, l'énergie directe totale reçue (en kcal/m²)

L'examen du diagramme montre :

- paroi Sud = situation privilégiée

Insolation plus importante que tout autre orientation tout au long de l'année sauf en été où les façades S-E et S-O sont un peu plus longuement éclairées que la façade Sud et présentent une uniformité dans la durée d'ensoleillement.

- paroi Est : } reçoivent une insolation moindre en été
Ouest } que la façade Sud. *des variations annuelles.*
- paroi Nord : ne reçoit d'ensoleillement qu'en été.
- parois SE et SO : *Régularité d'irradiation*
plus froides en hiver } que la paroi Sud.
plus chaudes en été
- Variations journalières de la température

Si on tient compte des moments du jour où un rayonnement intense est désirable ou non et que l'on considère du point de vue confort que l'irradiation est nécessaire tôt le matin et par temps très chaud est souvent indésirable l'après midi, on est amené à déterminer l'orientation (SSE) comme optimum dans les régions tempérées.

→ l'orientation présente du point de vue rayonnement solaire une plus grande importance en été qu'en hiver, car au cours de l'hiver l'irradiation est répartie plus uniformément sur les diverses façades qu'au cours de l'été.

- Durée d'ensoleillement (direct) ou insolation des façades

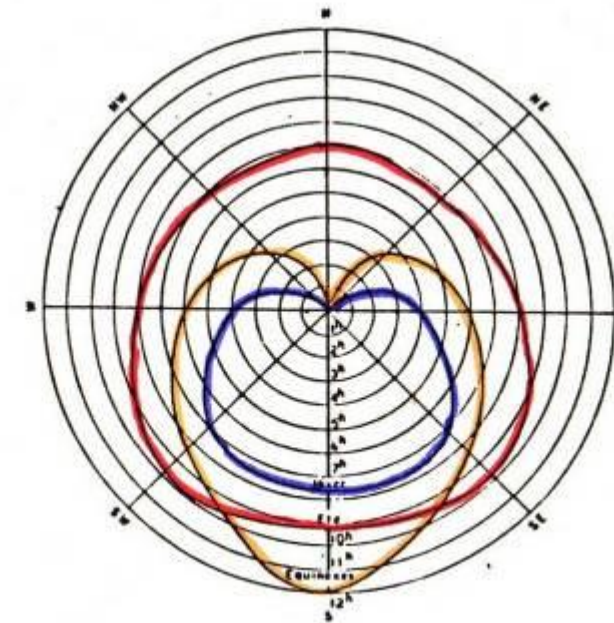


Fig 6 Insolation maximum possible en fonction de l'orientation des façades

Pour obtenir l'insolation effective, ces durées maximales doivent être réduites environ à 40 % de leur valeur en été, 20 % en hiver et 40 % aux équinoxes par suite des conditions météorologiques moyennes.

§2. Dispositifs généraux de régulation passive de l'ensoleillement.

protection contre le soleil:

Les feuillages des arbres et autres couverts végétaux réfléchissent, absorbent et transmettent le rayonnement solaire incident.

La part d'énergie transmise est évidemment d'autant plus faible que le feuillage est épais.

Pour les arbres à feuilles caduques, l'effet de réduction des températures de surface sous le couvert végétal est saisonnier: les arbres portent ombre en été, mais pas en hiver, quand les rayons solaires sont bienvenus.

Fig. 7
arbres à moyenne ou haute tige

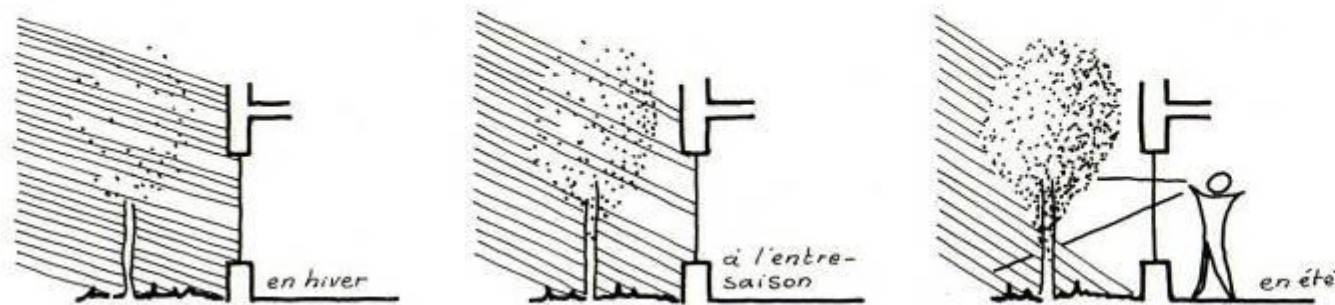


Fig. 8
arbustes ou arbres à basse tige

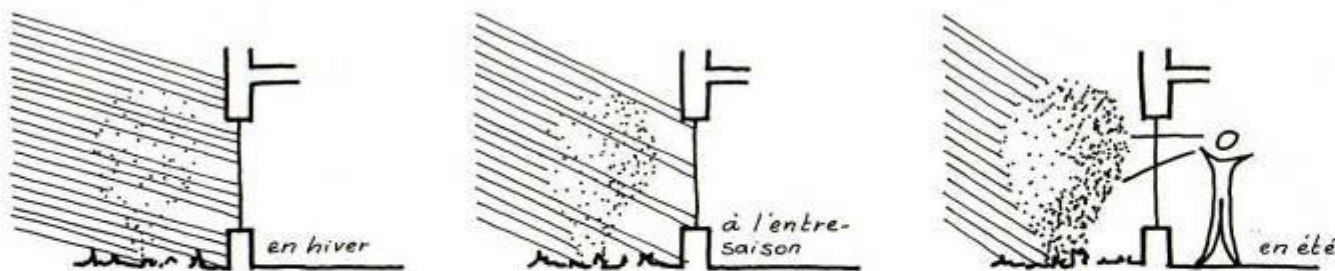
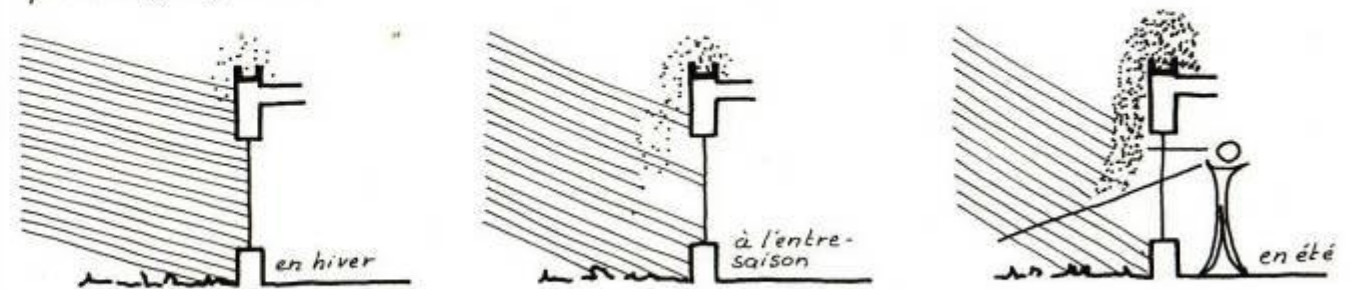


Fig. 9
plantes grimpantes

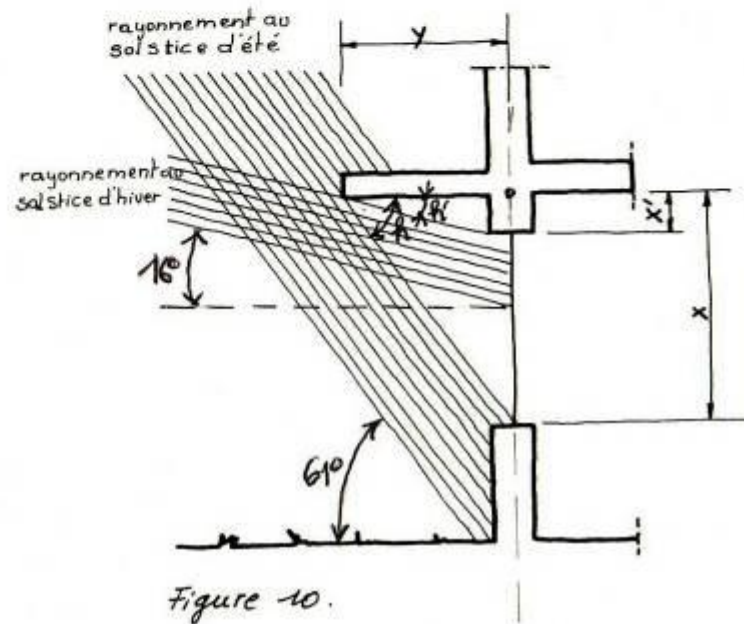


Les arbres à moyenne ou haute tige permettent la vue durant toute l'année, l'ombre obtenue sera fonction de la distance de plantation par rapport à l'élément à ombrer, de la hauteur de la tige et de la hauteur de l'arbre.

Dans le cas des arbustes, des arbres à basse tige ou des plantes retombantes, la vue est pratiquement inexistante durant la période estivale.

Le type de végétation sera donc choisi en fonction de la hauteur du feuillage, du type d'ombrage produit (total ou partiel, saisonnier ou non), de ses dimensions, ... Pour tous ces renseignements, consulter le livre: "l'élément vitré dans le cadre de la climatisation naturelle" (CRA)

Des éléments architecturaux fixes, tels que des avancées horizontales au dessus de l'élément vitré peuvent être utilisés. Le but est d'obtenir un ombrage maximum au solstice d'été: le 25 juin et une exposition maximale au solstice d'hiver: le 25 décembre.



Pour une orientation sud:
 $x = y \cdot \tan h$
 $\tan h = \frac{x}{y}$

le 25 juin à 11h45' : $h = 61^\circ \Rightarrow y = 0,53x$

$\tan h' = \frac{x'}{y}$

le 25 décembre à 11h45' : $h' = 16^\circ \Rightarrow x' = 0,15x$

Cette dernière relation montre que 85% de la hauteur x est ensoleillée au solstice d'hiver \rightarrow l'élément vitré aura donc une hauteur maximale de $0,85x$. Cette hauteur pourrait être supérieure si on veut profiter de l'apport énergétique avant et après 11h45' mais il est très faible.

Le tableau ci-dessous donne, pour cette hauteur maximale de $0,85x$ et pour l'azimuth du soleil $A_s = 0^\circ$, le rapport de la hauteur qui sera ombrée par rapport à celle qui sera ensoleillée.

	ombrage	captage		ombrage	captage
25 juin	100%	-	25 décembre	-	100%
25 juillet	86%	14%	25 janvier	5%	95%
25 août	57%	43%	25 février	18%	72%
25 septembre	33%	57%	25 mars	35%	65%
25 octobre	14%	86%	25 avril	62%	38%
25 novembre	4%	96%	25 mai	90%	10%

Pour une orientation sud-est ou sud-ouest, les relations deviennent:

$$y = 0,67x$$

$$x' = 0,05x$$

De même, le tableau ci-dessous donne, pour une hauteur maximale de l'élément vitré de $0,95x$ et pour l'azimuth du soleil $A_s = -45^\circ$ ou $A_s = 45^\circ$, le rapport de la hauteur qui sera ombrée par rapport à celle qui sera ensoleillée.

	ombrage	captage		ombrage	captage
25 juin	100%	-	25 décembre	-	100%
25 juillet	85%	15%	25 janvier	5%	95%
25 août	58%	42%	25 février	21%	79%
25 septembre	52%	48%	25 mars	39%	61%
25 octobre	16%	84%	25 avril	65%	35%
25 novembre	3%	97%	25 mai	88%	12%

SECTION 2: Bilan thermique de la fenêtre.

Résumé: Ce bilan sera fonction de:

1) orientation et répartition fenêtre. → mieux S → SE
Mauvais N.

2) Nature vitrage (isolation).

a) déperditions par transm. favori $\Phi = k \cdot A \cdot \Delta T$.

b) Apports

1. expos. encep. globale q_g .
2. Correction $q_p = q_g \left(a \cdot \frac{x}{x_0} + b \right)$.
3. multiplier valeurs par facteur énergétique du vitrage.

c) bilan thermique. apports de vitrage - déperditions

3) forme fenêtre, et type châssis.

4) inclinaison.

Il faut arriver à - optimiser les apports solaires par les baies vitrées
- éviter au maximum les déperditions.

Rappel: Le rayonnement solaire à la surface d'un vitrage est en partie transmis et en partie réfléchi. La réflexion et la transmission du rayonnement solaire dépend de l'angle d'incidence.

- A - Angle between sun and window in plan view
B - Angle between sun and ground plane (Altitude)
C - Incident angle

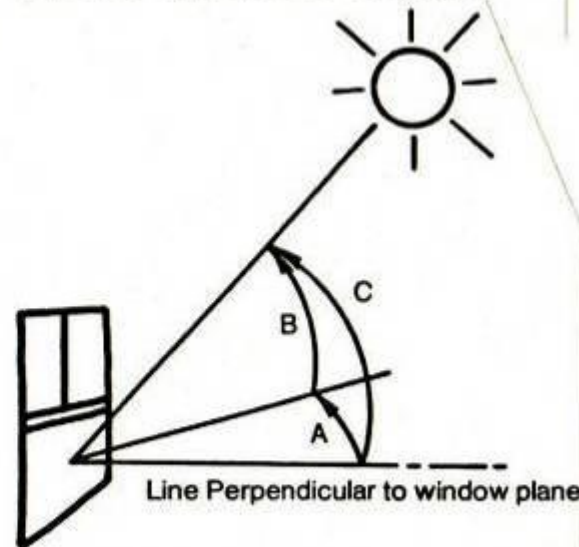


Figure 11. Incident Angle Illustrated

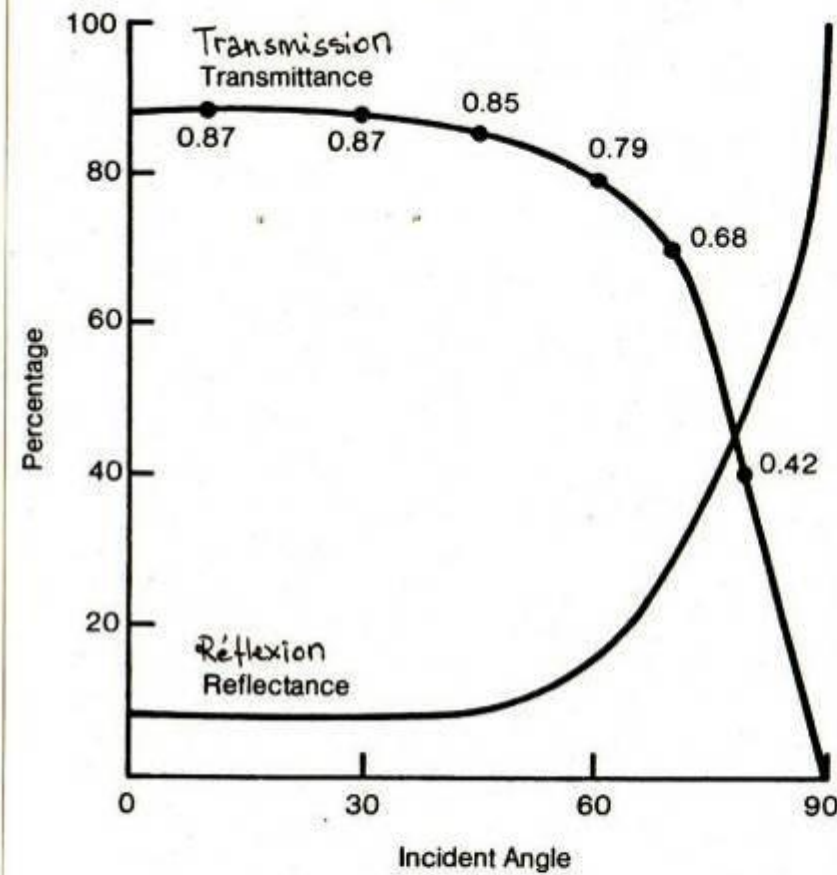


Figure 12. Light Transmitted and Reflected by Glass vs. Incident Angle

Plus l'angle d'incidence augmente (càd. plus le soleil est haut ds le ciel) plus la réflexion ↑ la transmission ↓

§1. L'orientation de la façade (et de la fenêtre).

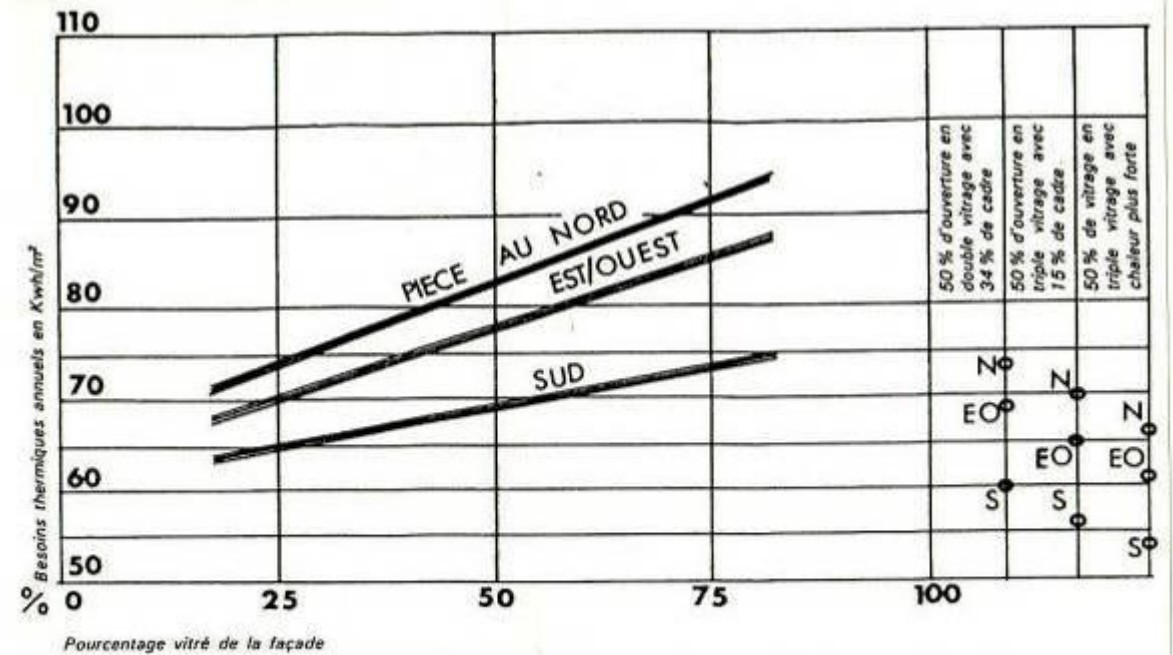


Fig. 13.

Pourcentage vitré de la façade

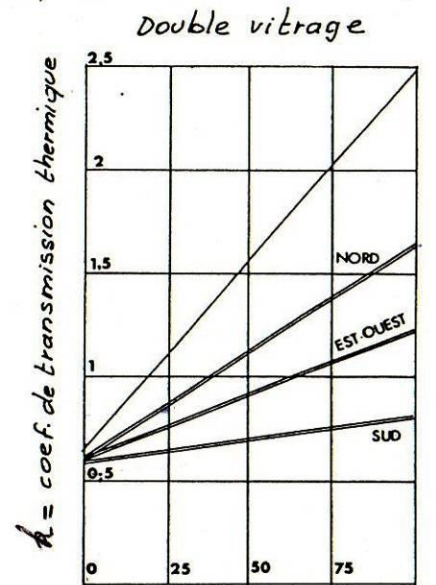
On a vu précédemment que l'orientation optimale se situait entre le sud et le sud est et que l'orientation la plus défavorable était le nord.

en hiver: rayonnement solaire intense par les fenêtres sud.
 en été: rayonnement solaire plus intense par les fenêtres est et ouest
 fenêtres ouest particulièrement défavorables en raison de la température élevée de l'air durant l'après-midi.

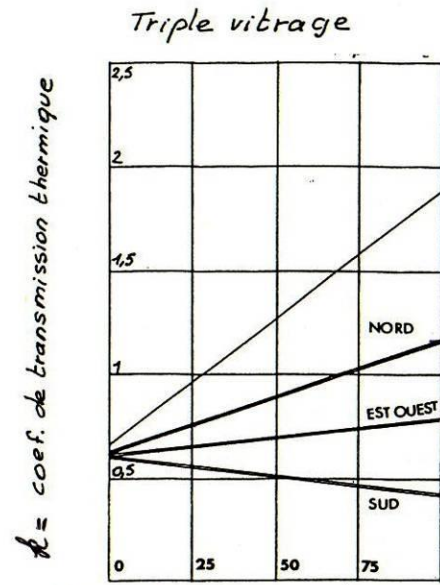
Par rapport aux apports énergétiques solaires dans le cas d'une orientation sud, il y a une diminution de 33-35% des apports dans le cas de l'orientation s-o et une diminution de 84-85% dans le cas de l'orientation E ou O

Influence du pourcentage vitré de la façade et de l'orientation.

(k = coeff. de transmission thermique, se rapporte à la perte de chaleur par transmission et dépend de la nature du vitrage et de son isolation - Plus k \rightarrow , plus l'isolation est bonne)



Rapport entre ouvertures et murs extérieurs en %.
 Fig. 14



Rapport entre ouvertures et murs extérieurs en %.
 Fig. 15

En pratique et en tenant compte des contraintes techniques et économiques, on aura la répartition optimale suivante:

- 60% au Sud
- 15% à l'Est
- le minimum au nord
- le reste à l'ouest

avec $\frac{\text{Surface Fenêtres}}{\text{Surface au sol}} = \frac{1}{6}$

La théorie montre que l'on a intérêt à avoir une surface de vitrage sud maximum et une façade nord entièrement fermée.

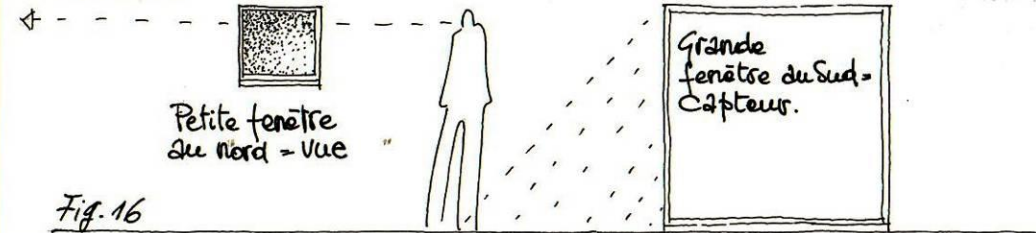


Fig. 16

Les ouvertures est-sud-est sont intéressantes car le rayonnement solaire viendra les toucher le matin lorsque l'habitat a besoin de se réchauffer, la maison ayant cédé pendant la nuit la chaleur accumulée pendant la journée précédente.

Les ouvertures ouest-sud-ouest sont d'un intérêt moindre car l'énergie ainsi captée en fin de journée viendra s'ajouter à l'énergie déjà captée durant le jour.

N.B. Il faut souligner qu'une bonne répartition des ouvertures entraîne également une économie d'énergie relative à l'éclairage.

Exemple: Dans une maison conventionnelle à Boston, on a modifié la répartition des fenêtres

	S	N	E	O
avant	33%	33%	17%	17%
après	60%	6%	17%	17%

4 personnes vivant dans la maison où une t° de 21° était maintenue, on a réalisé des économies d'énergie (gains t° + éclairage allant jusqu'à 20 KWh par jour).

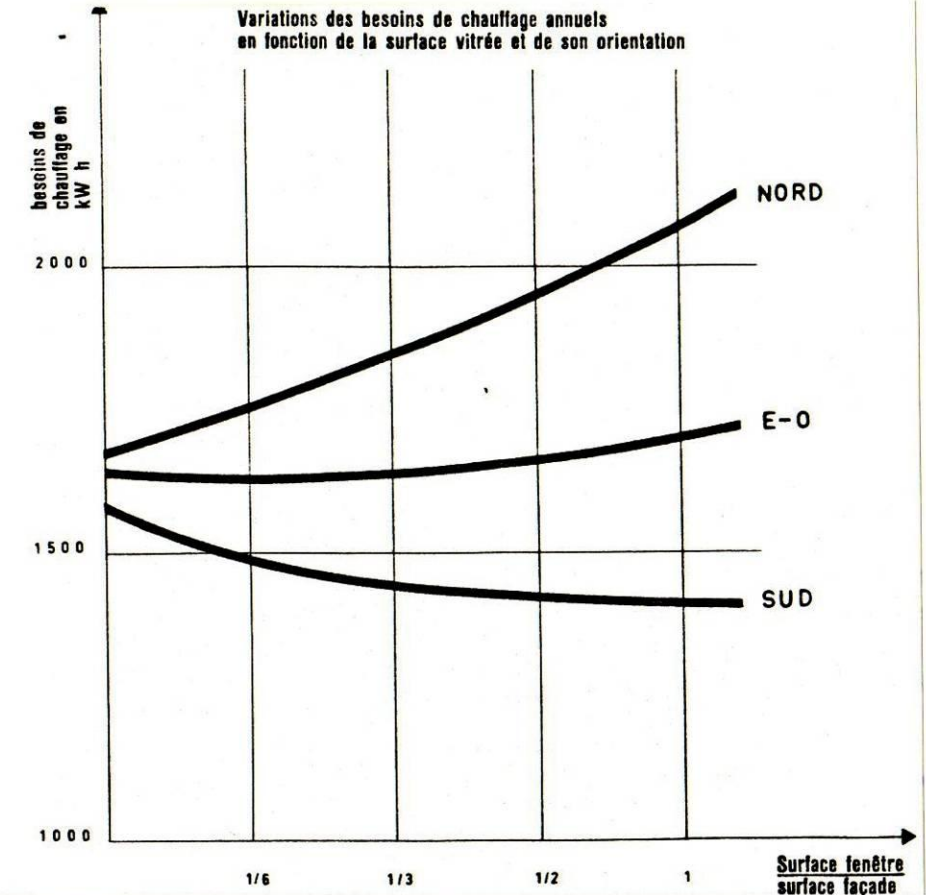


Fig. 17

§ 2. Nature des vitrages et de leur éventuelle isolation

Les vitrages peuvent avoir différentes épaisseurs, peuvent être simples, doubles ou triples, peuvent être isolés par des volets pourvus de différentes qualités d'isolation.

a. Déperdition

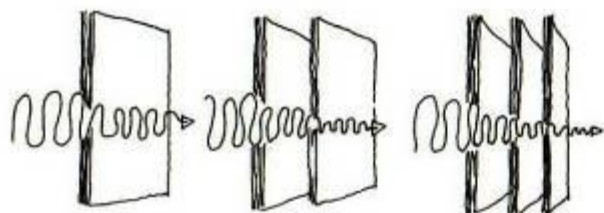


Fig. 18 : simple vitrage double vitrage triple vitrage

Les pertes de chaleur par transmission à travers une paroi sont traduites par l'équation : $\phi = k \cdot A \cdot \Delta T$.

k = coefficient de transmission thermique à travers la paroi considérée (plus $k \uparrow$ plus les pertes \uparrow)
 A = surface de la paroi
 ΔT = différence des t° situées de part et d'autre de la paroi.

Les déperditions à travers une vitre dépendent donc du coefficient de transmission thermique qui dépend lui-même de la nature du vitrage et de son éventuelle isolation.

Fig. 19 : Valeurs du coeff. k de transmission thermique

	4 mm de gl.	6 mm de gl.	8 mm de gl.
Simple vitrage	6,06	5,97	5,89
Double vitrage	20 mm d'is.	1,23	1,23
	40 mm d'is.	0,77	0,77
	60 mm d'is.	0,56	0,56
Triple vitrage	20 mm d'is.	3,23	3,18
	40 mm d'is.	1,04	1,04
	60 mm d'is.	0,69	0,69
Triple vitrage isolé	20 mm d'is.	2,20	2,16
	40 mm d'is.	0,91	0,90
	60 mm d'is.	0,63	0,63
Triple vitrage isolé (autre)	20 mm d'is.	0,48	0,48
	40 mm d'is.	0,48	0,48
	60 mm d'is.	0,48	0,48

	k w/m ² °C	ΔT	ϕ_p journalières diurnes Wh	ϕ_p journalières nocturnes Wh	ϕ_p journalières totales Wh	ϕ_p mensuelles Wh
Simple vitrage 6 mm	5,97	16,3	1 460	698	2 158	66 898
Double vitrage	20 mm is.	1,23		144	1 604	49 724
	40 mm is.	0,77	13	90	1 550	48 050
	60 mm is.	0,56		66	1 526	47 305
Triple vitrage 6 mm	3,18	16,3	778	372	1 150	36 650
Triple vitrage isolé	20 mm is.	1,04		122	900	27 500
	40 mm is.	0,69	13	81	859	26 529
	60 mm is.	0,52		61	839	26 009
Triple vitrage isolé (autre) 6 mm	2,16	16,3	528	253	781	24 211
Triple vitrage isolé (autre)	20 mm is.	0,90		105	633	19 623
	40 mm is.	0,63	13	74	602	18 662
	60 mm is.	0,48		56	584	18 104

Fig 20 : Valeurs des déperditions thermiques pour le mois de décembre

- Remarque :
- 1° On a presque 100% de déperditions en plus avec un vitrage simple qu'avec un vitrage double.
 - 2° On a moins de 50% de déperditions en plus avec un vitrage double qu'avec un vitrage triple.
 - 3° Avec la plus petite épaisseur d'isolant (2cm) on gagne de 26% (vitrage simple) à 19% (vitrage triple) des déperditions.

Les besoins calorifiques propres à un local diminuent en fonction de la qualité des vitrages (simples, doubles ou triples, protégés ou non par des volets).

Dans le cas où il y a une isolation nocturne, on peut remarquer qu'avec la plus petite épaisseur d'isolant, 20mm, on gagne déjà :

- 26% des déperditions dans le cas d'un simple vitrage
- 22% " " " " " d'un double vitrage
- 13% " " " " " d'un triple vitrage

De plus, on peut faire les constatations suivantes :

- on a presque 100% de déperditions en plus avec un vitrage simple qu'avec un vitrage double
- on a moins de 50% de déperditions en plus avec un vitrage double qu'avec un vitrage triple.

Suivant l'orientation des pièces et les dimensions des fenêtres, une protection contre le soleil est nécessaire.

Pour l'effet de protection, le coefficient total de transmission d'énergie est caractéristique :

- double vitrage (verre clair) : 0,8
- triple vitrage (verre clair) : 0,7
- verre antisolaires : 0,2 - 0,4 - 0,7

b. Apports

Pour calculer ces apports solaires, il faut :

- 1° calculer l'exposition énergétique globale G par ciel serein en fonction de l'orientation de la paroi considérée, de son inclinaison et du mois de l'année.

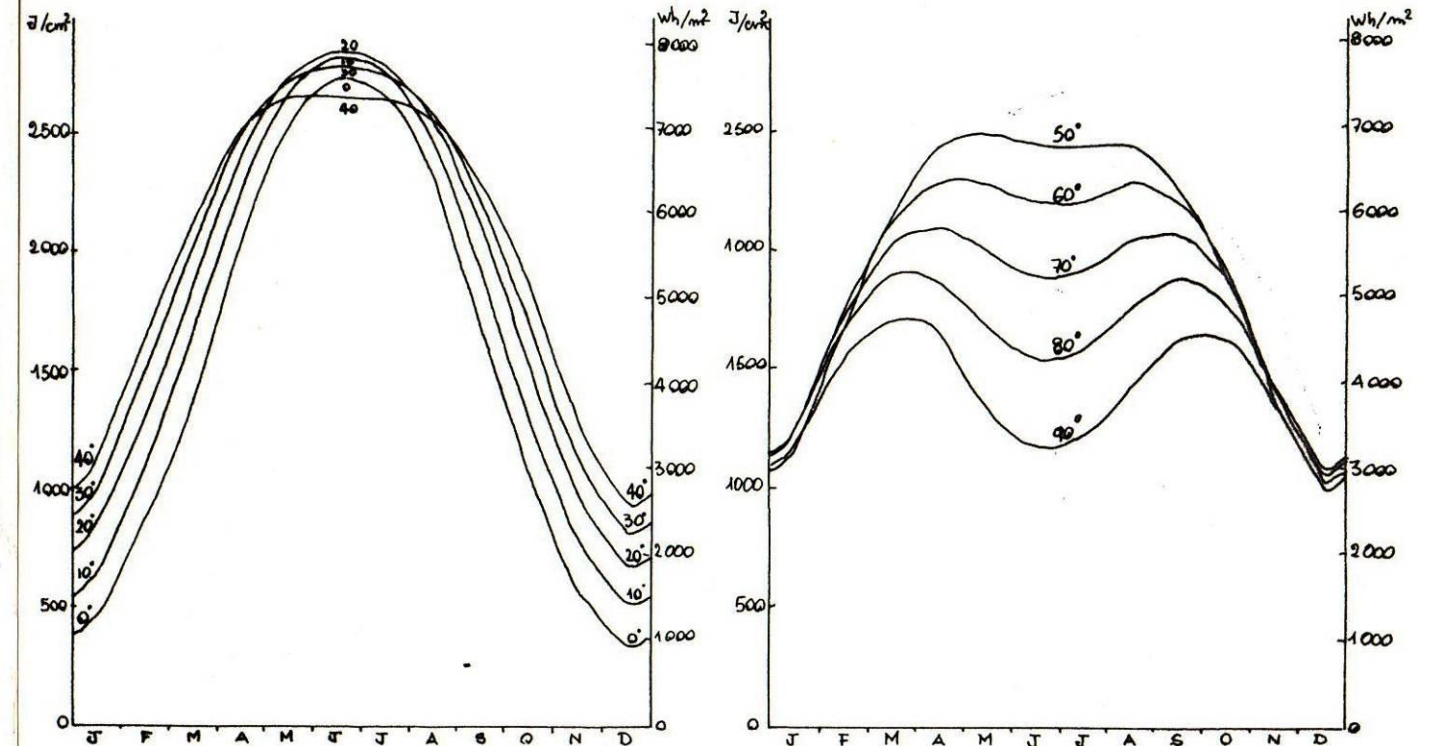


Fig. 21 Exposition énergétique globale par ciel serein pour la paroi sud

- 2° les conditions de ciel serein n'étant pas toujours rencontrées, il faut pondérer les valeurs : $G_p = G \left(a \frac{x}{x_0} + b \right)$

a = facteur empirique = 0,646 pour Uccle

b = facteur empirique = 0,354 pour Uccle

$\frac{x}{x_0}$ = insolation directe relative

(= $\frac{\text{insolation effective}}{\text{insolation max. possible}}$)

à Uccle $\frac{x}{x_0}$ = 0,23	en janvier	0,41	en juillet
		0,45	en août
	0,34	0,43	en septem
	0,39	0,35	en octobre
	0,46	0,24	en novembre
	0,40	0,17	en décembre

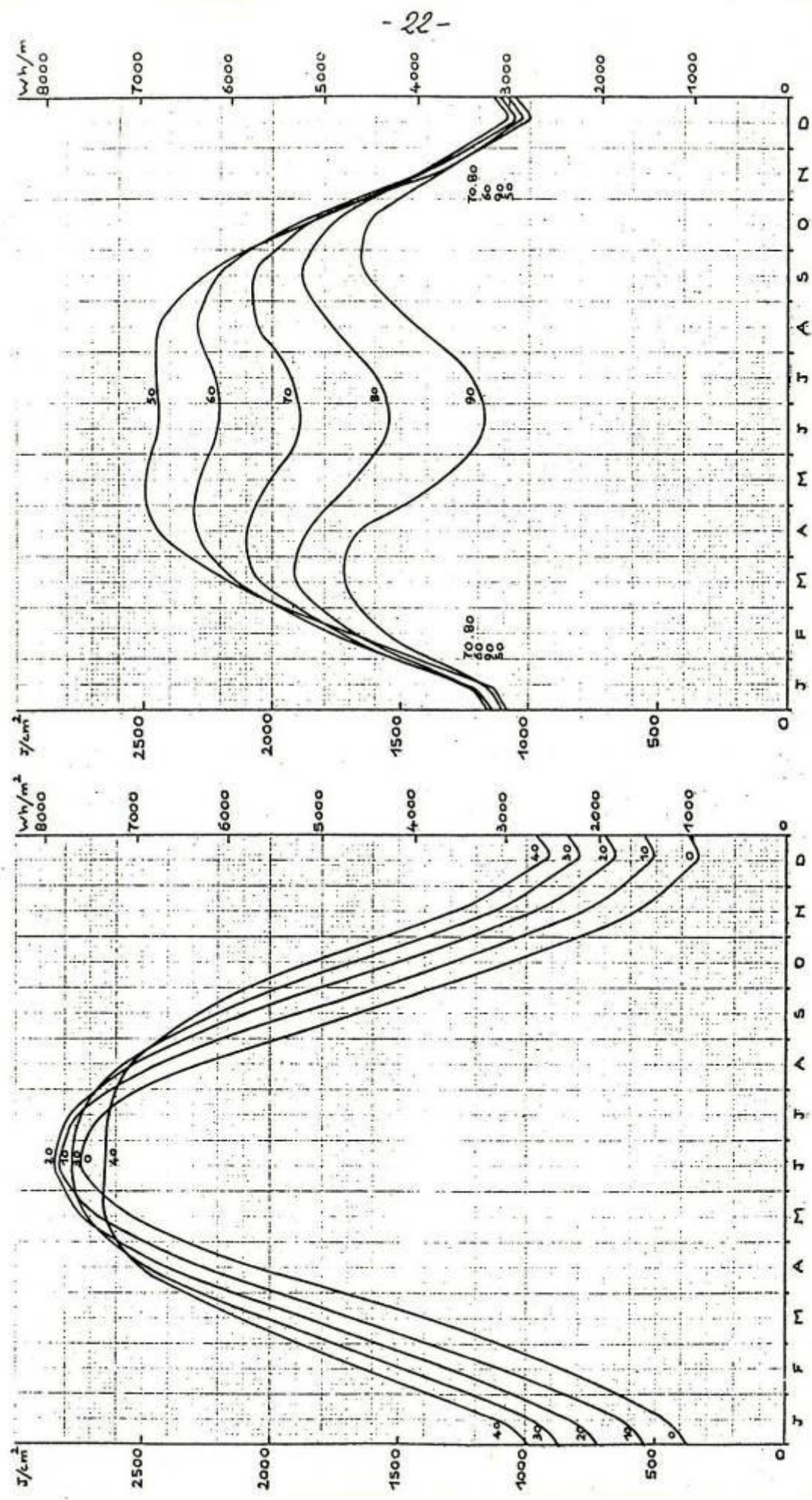


fig. 22

SUD

fig. 23

SUD

A₉

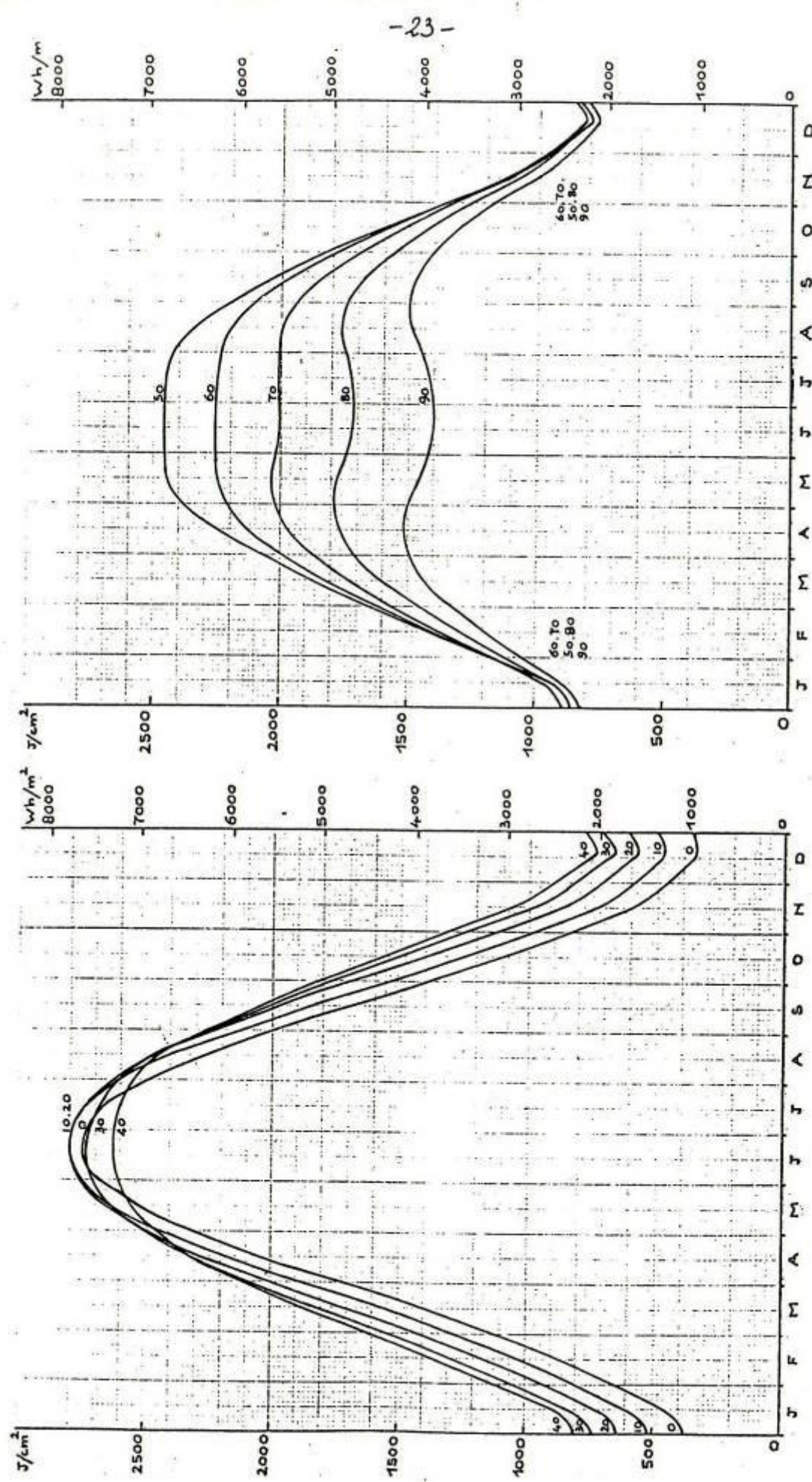


fig. 24

SUD-EST/SUD-OUEST

fig. 25

SUD-EST/SUD-OUEST

A₁₀

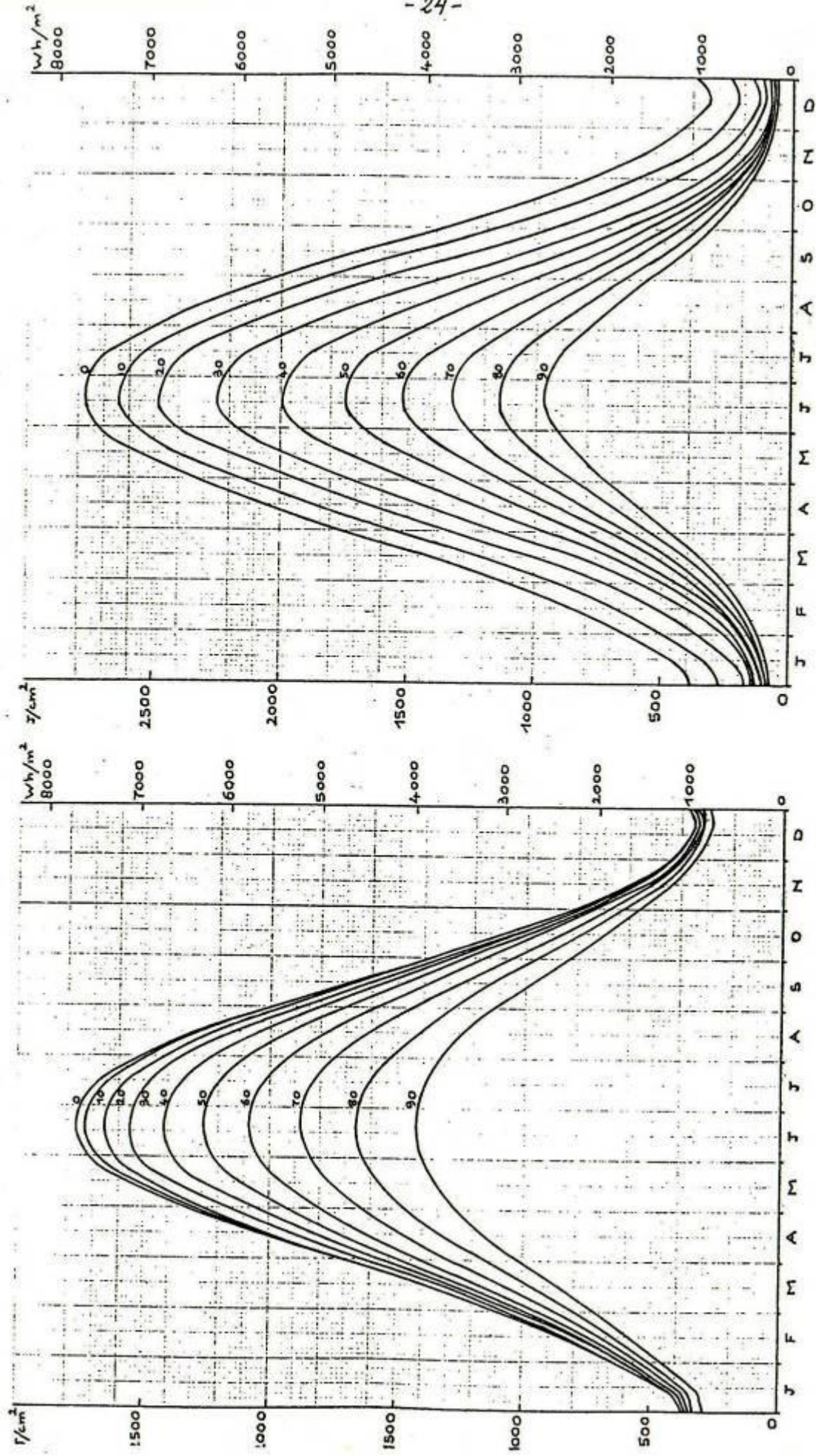


fig. 26

EAST/OUEST

fig. 27

NORD-EST/NORD-OUEST

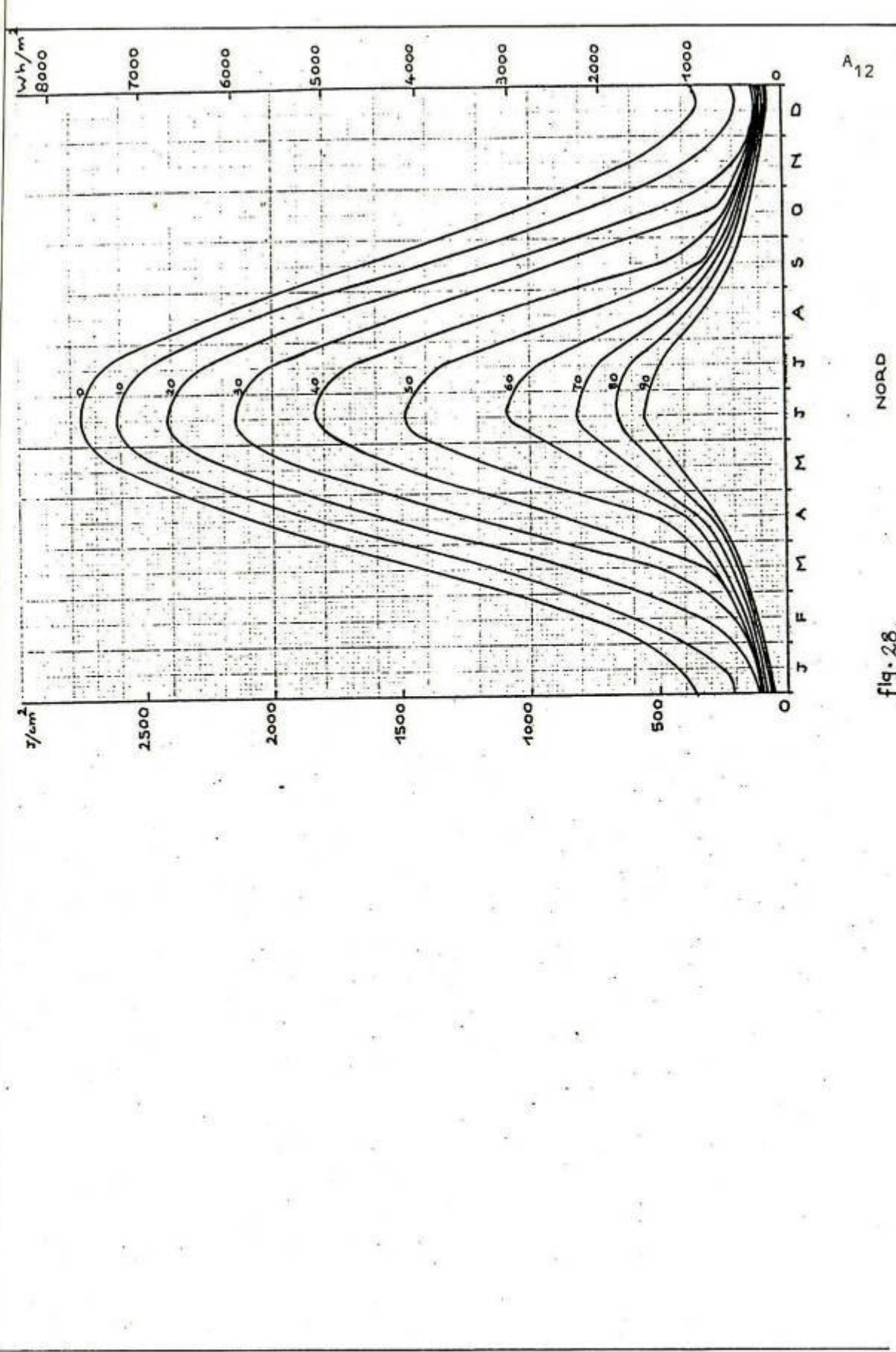
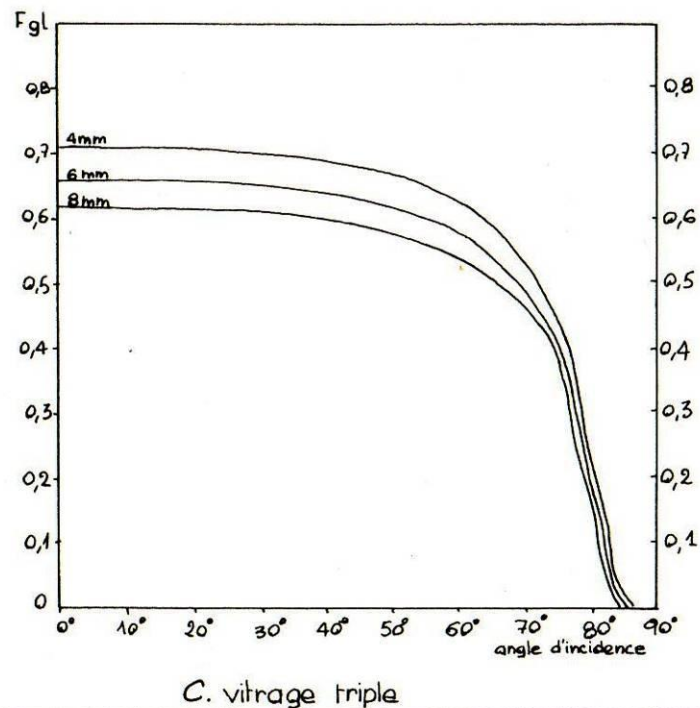
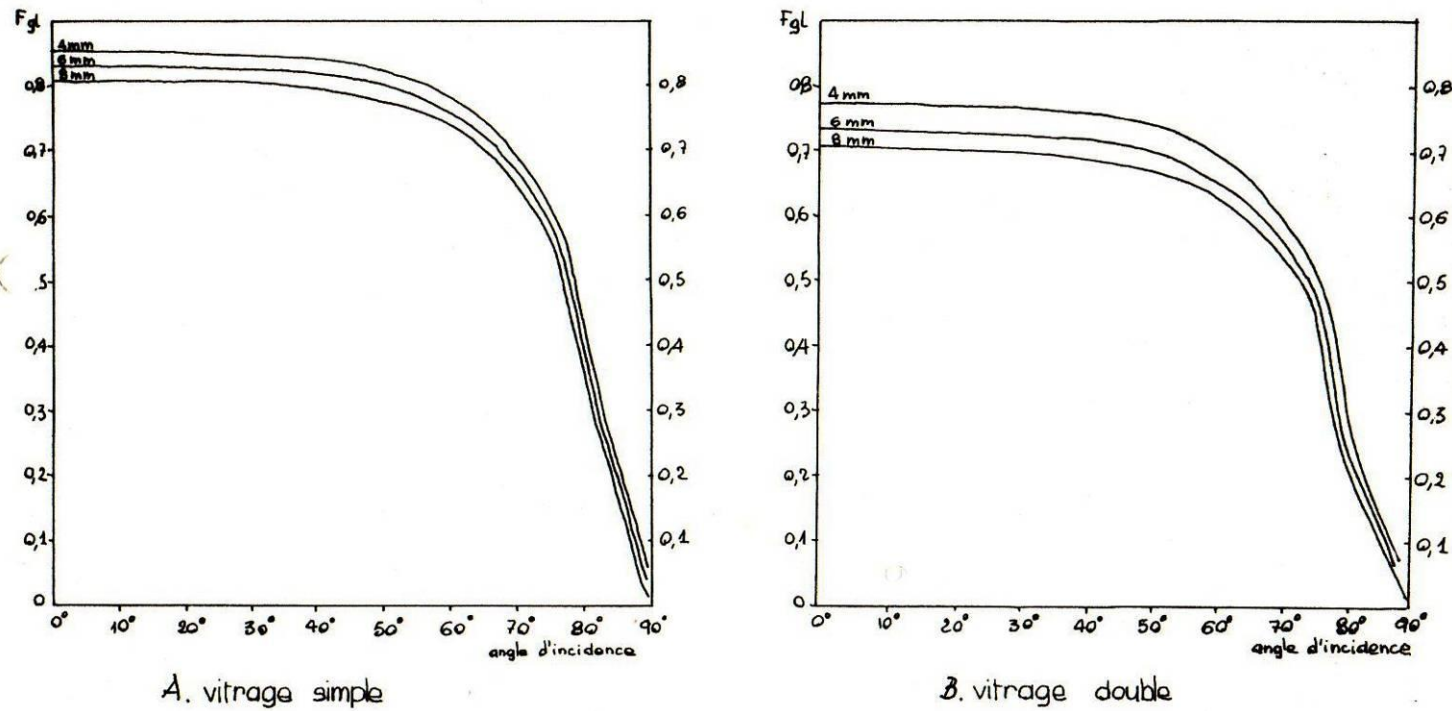


fig. 28

NORD

3° multiplier les valeurs obtenues par le facteur énergétique du vitrage, facteur qui dépend de l'angle d'incidence et de la nature du vitrage.

Fig. 29.
valeurs du facteur énergétique



Exemple: Le tableau suivant donne les apports énergétiques solaires par ciel serein, en Wh, pour chaque variation horaire (TU) de la période diurne, et les apports énergétiques solaires pondérés, en Wh, pour l'ensemble de la période diurne, pour les différents types de vitrages composés de glace de 6 mm. d'épaisseur, pour une paroi verticale ($s=90^\circ$) d'un m² orientée Sud, le mois de décembre à Uccle.

TU	angle d'incidence	vitrage simple		vitrage double		vitrage triple	
		Fgl	apports	Fgl	apports	Fgl	apports
08h - 09h	48°	0,81	156	0,71	138	0,63	142
09h - 10h	31°	0,82	312	0,72	274	0,65	247
10h - 11h	22°	0,83	427	0,73	375	0,65	334
11h - 12h	16°	0,83	470	0,73	414	0,66	374
12h - 13h	19°	0,83	445	0,73	391	0,66	354
13h - 14h	29°	0,82	344	0,72	302	0,65	273
14h - 15h	40°	0,81	196	0,71	172	0,63	152
15h - 16h	51°	0,79	48	0,69	42	0,61	37
Apports énergétiques solaires journaliers par ciel serein			2.400		2.108		1.913
Apports énergétiques solaires journaliers pondérés (facteur de pondération : 0,33)			792		696		631
Apports énergétiques solaires mensuels pondérés			22.552		21.565		19.570

Fig. 30.

Remarque: Différence des apports au mois de décembre par rapport au vitrage simple :
vitrage double $\approx -5\%$
vitrage triple $\approx -10\%$

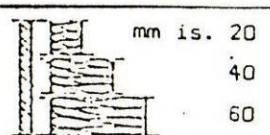
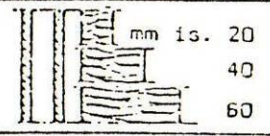

c. Bilan thermique

Pour calculer le bilan thermique, il suffit de soustraire les déperditions aux apports. Pour avoir un gain d'énergie, il faut donc avoir un bilan positif.

exemples

1. bilan thermique, en wh, pour 1 m² de surface vitrée verticale pour le mois de décembre et pour une orientation sud, à Uccle

Fig. 31

	Bilan thermique journalier		Bilan thermique mensuel	
	gain	perte	gain	perte
 mm is. 20		812		25 172
		758		23 498
		734		22 754
 mm is. 40		204		6 324
		163		5 053
		143		4 433
 mm is. 60	29	2	899	62
	47		1 457	

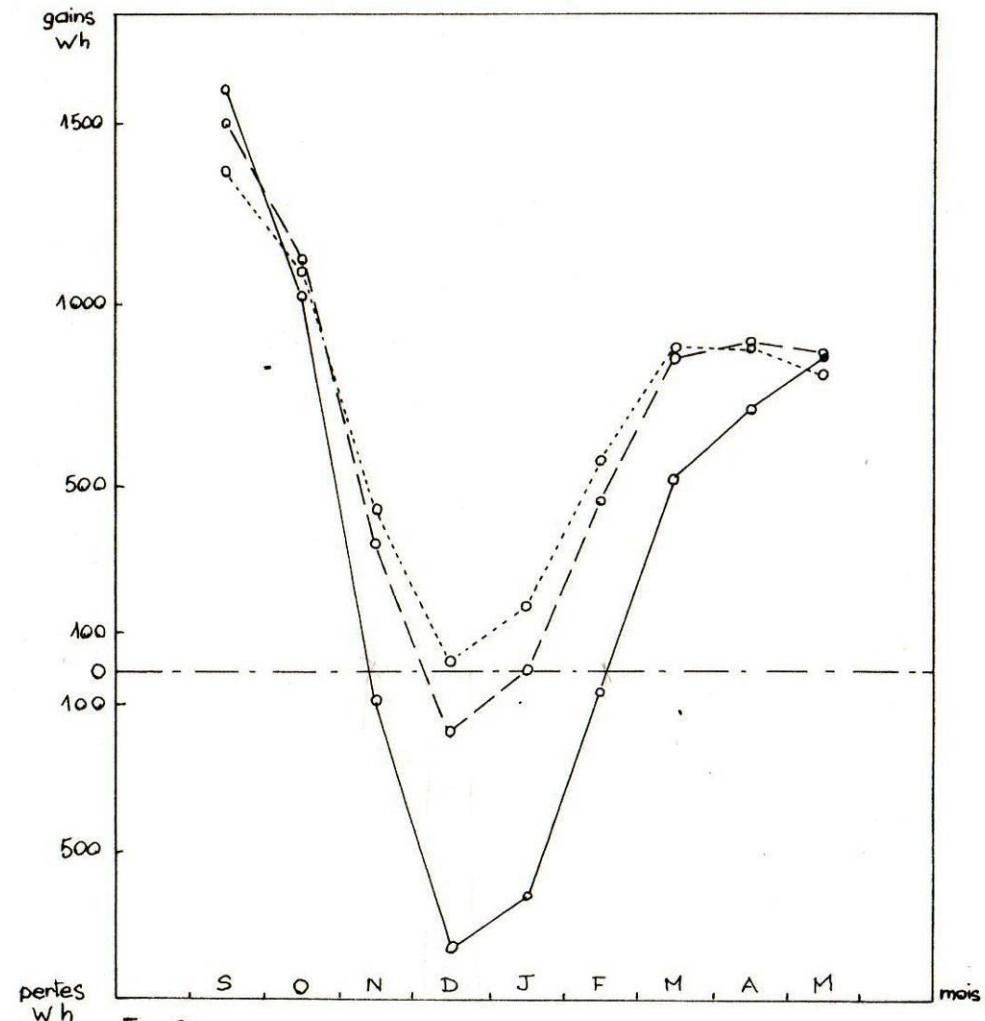
2.

Fig. 32 Comparaison déperditions-apports solaires pour une fenêtre sud de 1 m² en région parisienne *

	Déperditions avec :			Flux solaire moyen	
	Simple vitrage sans volet	Double vitrage sans volet	Double vitrage avec volets (bois fermant bien)	Incident sur le vitrage	Pénétrant dans le logement
Octobre	31,2 kW h	20,6 kW h	16,3 kW h	69,4 kW h	45,1 kW h
Novembre	46,4 kW h	30,7 kW h	24,2 kW h	38,4 kW h	24,96 kW h
Décembre	59,2 kW h	39 kW h	30,8 kW h	24,8 kW h	16,12 kW h
Janvier	62,5 kW h	41,3 kW h	32,5 kW h	28,5 kW h	18,52 kW h
Février	55,3 kW h	36,5 kW h	28,8 kW h	41,8 kW h	27,17 kW h
Mars	47,8 kW h	30,2 kW/h	23,8 kW h	69,5 kW h	45,17 kW h
Avril	32,8 kW h	21,6 kW h	17 kW h	79,2 kW h	51,4 kW h
Mai	20,8 kW h	13,8 kW h	10,8 kW h	91,8 kW h	59,67 kW h
TOTAL sur un hiver	356 kW h	233,7 kW h	184,2 kW h	443,4 kW h	288 kW h

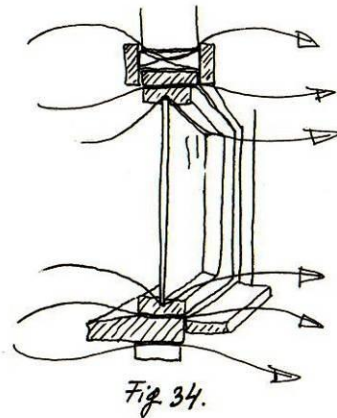
bilan thermique journalier

- pour un m² de surface vitrée verticale
- à Uccle
- pour une orientation sud
- avec isolation nocturne (40 mm) à partir de 21 heures
- épaisseur du vitrage : 6 mm
- — vitrage simple
- - - - vitrage double
- vitrage triple



On voit qu'il existe une grande économie d'énergie quand on passe du vitrage simple au vitrage double. Quand on passe du double au triple cette différence est beaucoup plus petite. En raison du coût d'achat des différents vitrages, on emploiera donc généralement des doubles vitrages. Il ne faut pas oublier l'importance d'une isolation des vitrages.

§ 3. Forme des fenêtres et type de châssis



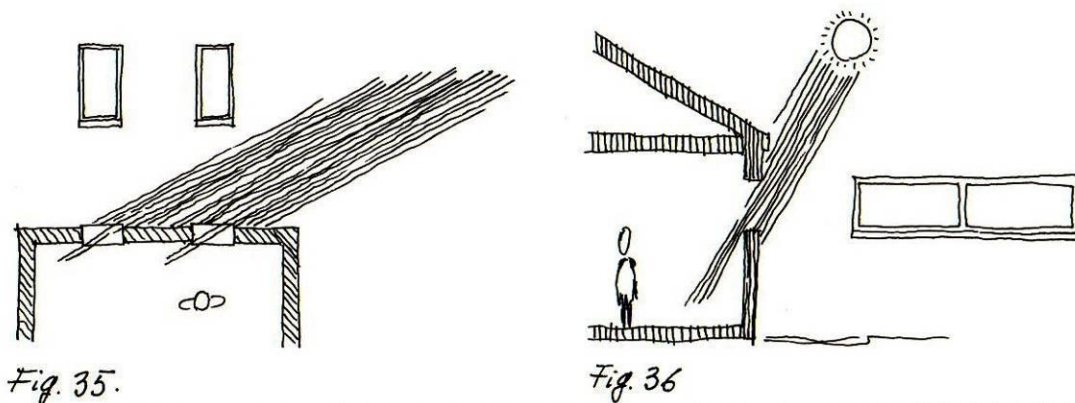
Il faut concevoir un système baie-châssis-vitrage qui ne permette qu'un minimum d'infiltrations. Il existe 3 types d'infiltration :

- joint entre la maçonnerie et le dormant
- joint entre le dormant et l'ouvrant
- joint entre l'ouvrant et le vitrage

Une bonne conception fournit une importante économie (→ 20 %)

Forme : il faut avoir une surface maximum pour un périmètre minimum → la plus carrée possible.

N.B. : pour un meilleur contrôle de la lumière fenêtres verticales à l'est et l'ouest horizontales au sud



On peut utiliser des éléments d'ombrage possédant une surface réfléchissante qui, en fonction de la pente de l'élément, augmenterait l'apport d'énergie solaire en période hivernale.

Fig. 37
En été :

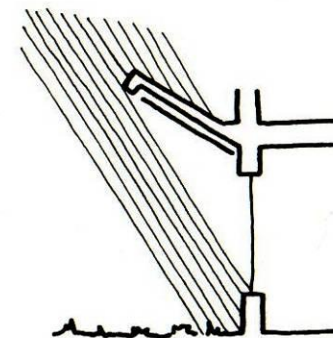
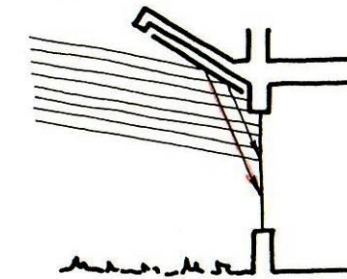


Fig. 38
En hiver :



L'ombrage peut aussi être obtenu par l'inclinaison du vitrage ou par l'application d'un enduit semi-permanent à base de chaux ou de craie ou encore par un film d'eau, colorée ou non, glissant sur l'élément vitré, ...

Les éléments architecturaux amovibles :

Les éléments architecturaux amovibles que l'on peut considérer sont les jalousies, les stores, les volets, les persiennes, les panneaux amovibles, etc... Ils sont d'un usage plus souple que les éléments fixes et offrent le grand avantage de permettre un ombrage total en période estivale et une captation totale en période hivernale.

§4. Inclinaison.

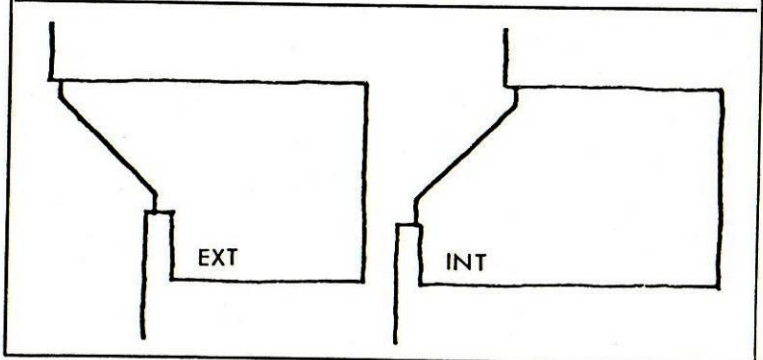
Les fenêtres inclinées vers l'intérieur, dont la taille équivaut à la moitié de celle du mur, ont une influence positive minimale sur le besoin thermique de la pièce éclairée.

Toute augmentation de la taille de ces fenêtres se traduit par des bilans énergétiques positifs

Fig. 39
Influence de l'inclinaison du vitrage sur les besoins thermiques

Surface vitrée en %	Inclinaison en degré	Nord en %	Est en %	Sud en %	Ouest en %
50 %	0°	100	93	83	94
58 %	30° int.	99	90	81	92
50 %	30° int.	95	88	78	88
50 %	15° int.	98	89	80	90
50 %	15° ext.	104	98	88	99

Calculs faits pour une pièce placée au centre d'un bâtiment; fenêtre à double vitrage avec cadre en bois (34% de l'ouverture).



Se chauffer avec du verre?

Annexe -

Après la « crise de l'énergie » (qui était surtout une crise de devises étrangères!), l'attention du public a été attirée sur les possibilités de récupérer la chaleur du soleil par des baies vitrées exposées vers le sud.

Comment le verre nous chauffe-t-il?

Vous le savez, sans doute, une surface vitrée nous procure un apport de chaleur par « effet de serre ». Techniquement, de quoi s'agit-il?

- Un verre à vitre normal reçoit le rayonnement solaire.
- Il en rejette une part à l'extérieur.
 - Une autre partie est absorbée dans la masse du verre, au point qu'elle peut devenir plus chaude que le milieu ambiant.
 - Une troisième partie du rayonnement traverse le verre. Voilà celle qui nous intéresse!

Le rayonnement solaire se propage en fait selon une longueur d'ondes comprise entre 0,3 et 3 micromètres. Le rayonnement supérieur à 3 micromètres est appelé « infrarouge lointain » (invisible).

Le verre, est très transparent aux radiations comprises entre 0,3 et 4 micromètres mais opaque aux radiations plus longues ou plus courtes. Autant dire qu'il est transparent au rayonnement solaire complet, plus à l'infrarouge lointain.

Lorsque ces longueurs d'ondes frappent, à travers le verre, les murs d'une habitation, elles sont absorbées. Puis restituées sous forme de longueurs d'ondes supérieures à 4 micromètres. Dès lors, elles ne peuvent plus traverser

ser le verre. La chaleur est piégée. Voilà l'effet de serre.

Remarque importante: plus grande est l'inertie du mur, plus facilement la chaleur solaire emmagasinée le jour sera restituée la nuit. Autrement dit, c'est une grave erreur, dans les pièces vitrées, que de placer l'isolant à l'intérieur des murs. L'inertie du mur, qui dépend de sa masse, en est pratiquement annulée. Il faut repousser l'isolant vers l'extérieur si possible.

Le bilan thermique peut être négatif!

Une paroi vitrée perd néanmoins bien plus vite sa chaleur qu'un mur isolé... quand le soleil ne brille pas. Ce qui sous nos climats, arrive tout de même assez fréquemment! Par temps couvert, nous ne recevons plus qu'un cinquième du rayonnement solaire. Et pratiquement rien la nuit. Quel est le bilan de ces échanges de chaleur? Positif ou négatif? En perd-on plus qu'on en gagne? Pour le verre simple, le bilan n'est pas fameux!

Il peut en aller différemment des vitrages double ou triple. Parce qu'une couche de gaz isolant, emprisonnée entre les vitrages, s'oppose aux déperditions de chaleur sans empêcher l'entrée du rayonnement solaire.

Vous trouverez au bas de la p.34 un graphique tiré d'une note de M. J. André, des Glaceries St Roch.

Il montre que, pour un vitrage simple (courbe A), le bilan thermique est, durant les mois les plus froids (novembre, décembre, janvier, février), fortement négatif. Le bilan du vitrage double (B) est légèrement négatif en décembre-janvier, positif les autres mois. Le bilan du vitrage triple est toujours positif, même en décembre (C). Il s'agit là, bien sûr, de chiffres fournis par un fabricant...

Quid du bilan financier?

Le problème ne s'arrête pas là. Les vitrages double ou triple ont leur prix, malheureusement élevé. Compte tenu des économies de combustible réalisables, en combien d'années seront-ils amortis? Les verriers, optimistes, parlent de quelques années. Les spécialistes de l'isolation parlent plus volontiers de nombreuses années! Mais ils recommandent tout de même les vitrages multiples dans les maisons à construire, parce que le calcul des intérêts s'y fait à long terme. Notons que dans ce cas, les châssis métalliques non isolés sont à déconseiller.

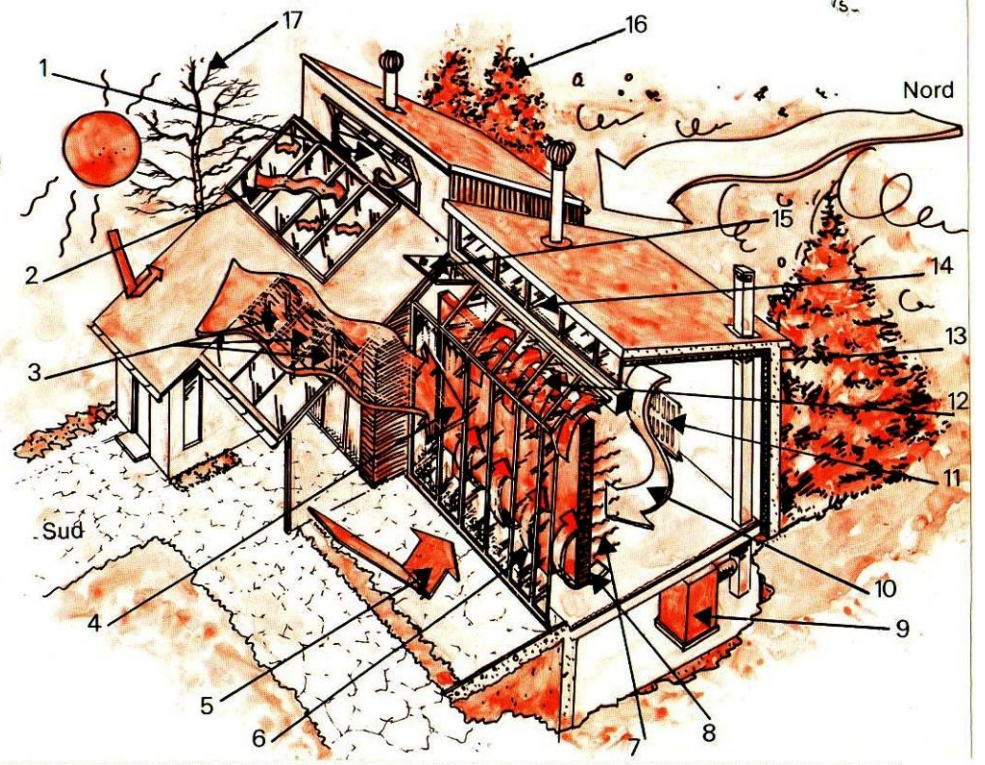
Rafrâchir le verre.

Ceux qui travaillent dans des buildings tout en vitres n'ignorent pas qu'en été, le problème est plutôt inverse: il faut se protéger d'un excès de chaleur gratuite ou mettre en branle des climatiseurs fort coûteux en énergie.

Les verriers ont trouvé la solution: revêtir les faces extérieures des vitres d'une pellicule métallique — par exemple de l'or. Elle laisse entrer une bonne partie de la lumière mais rejette une large part des rayons calorifiques, réduisant l'effet

Figure 40.

1. Aération été
2. Appoint « solaire » eau chaude
3. Voilages de fermeture été
4. 0,3 - 4 micromètres
5. Reflectance radiations
6. Mur de verre
7. Radiations nocturnes
8. Mur de Trombe
9. Chaudière
10. Air frais
11. Radiateur
12. Air réchauffé
13. Isolation
14. Lumière
15. Aération été
16. Arbres de protection
17. Arbres à feuilles caduques



CHAPITRE 2: Le Vent et l'architecture

Introduction.

L'habitat solaire répond à une logique économique visant à obtenir un confort maximal pour une consommation d'énergie payante minimale en limitant les besoins calorifiques de l'immeuble.

Les techniques de protections sont les plus simples à appliquer ayant toutes pour objectif de protéger, voire d'isoler les pièces principales des aléas climatiques.

Classées de l'extérieur vers l'intérieur, les solutions utilisables sont: la végétation coupe-vents, le talutage, l'aérodynamisme, l'isolation, les espaces tampons et les occultations

1) protection contre le vent:

Une haie ou un alignement d'arbres à feuilles persistantes peuvent sensiblement freiner ou détourner la course des vents froids dominants.

Les arbres se comportent comme un écran percé permettant à une certaine partie du flux d'air de le traverser. Il se produit ainsi un certain équilibre des pressions entre les cotés au et sous le vent, et la pente vers le sol de la couche frontière est beaucoup moins raide.



L'efficacité d'une haie d'arbres est réduite mais l'aire protégée s'étend bien au delà de celle fournie par les autres types d'écrans.

Certaines plantes grimpantes (lierre, vigne par exemple) peuvent également protéger une façade du vent et de la pluie.

Des solutions économiques

de serre... et les gains calorifiques en hiver.

En jouant sur les propriétés des couches réfléchissantes, isolantes, absorbantes, on arrive à créer des vitrages « sur mesure ». Suivant le rôle qui leur est imparti, ils absorbent ou réfléchissent le rayonnement solaire dans les proportions que l'on souhaite, pour un bilan thermique presque idéal.

Verres inclinés ou droits?

Certains architectes ont été plus loin. Pour augmenter la surface absorbante du verre et la garder la plus perpendiculaire possible au rayonnement solaire, ils ont imaginé des baies vitrées inclinées vers l'intérieur. Dans l'espace ainsi créé, le sol de la pièce est plus vaste que le plafond. C'est une belle solution... en théorie. En pratique, de graves inconvénients apparaissent.

Ces baies inclinées provoquent inévitablement la surchauffe des habitations en été. Il faut s'en protéger par des stores. Mais alors il entre si peu de lumière que les plantes dépérissent à l'intérieur.

Plus grave: ces vitrages inclinés accumulent la poussière. Il faut les laver souvent.

Mieux vaut donc prévoir des vitrages verticaux.

Quelques éléments supplémentaires peuvent en augmenter l'efficacité:

- Les arbres à feuilles caduques. En été, ils font de l'ombre. En hiver, le feuillage tombe et laisse passer le plus gros du rayonnement solaire.
- Les surfaces au sol réfléchissantes: piscine ou plan d'eau, terrasse en pierres blanches, renvoient vers les vitres une part du rayonnement qui, autrement, serait absorbé quasi entièrement par le sol extérieur.
- Les surfaces intérieures sombres: sol en basalte noir, murs faisant face au soleil, peints en couleurs sombres, absorbent davantage de chaleur.

Au sud, par contre, on évitera de placer des haies opaques en hiver (résineux, laurier...), ou des murets hauts.

Pour les maisons anciennes, il existe des solutions plus économiques que le double ou triple vitrage traditionnel. Le survitrage, bien fabriqué et installé convenablement, en est une. Même si l'esthétique des châssis est parfois discutable.

Une autre solution est d'apposer sur les vitres simples un film réfléchissant, moins cher qu'un double vitrage et dont le bilan est pratiquement identique. Son rôle est de s'opposer à la réémission de la chaleur de la maison vers l'extérieur.

La régulation, un point fondamental

Vous ne profiterez pourtant en rien du rayonnement solaire hivernal dans un habitat dépourvu de toute régulation! Vous n'y provoqueriez que des surchauffes. La chaudière ne s'arrêterait pas. Il vous faut au minimum un thermostat d'ambiance situé dans une pièce exposée au sud. Des robinets thermostatiques seront surtout utiles dans les pièces sud. Les systèmes de régulation plus sophistiqués, avec sonde extérieure, tiennent automatiquement compte de l'ensoleillement. Il va de soi que seule cette régulation arrêtera la chaudière à bon escient et réduira vos dépenses de combustible par temps ensoleillé.

Pourquoi pas une maison solaire?

Quand on construit, il est tentant de souhaiter un type de maison qui optimise les échanges de température, en perdant le moins possible de calories et en captant le maximum de chaleur solaire. Deux techniques sont possibles:

1 - **Le solaire « actif »**: un jeu de capteurs remplace la chaudière... quand il fait beau. Ce qui exige tout de même une chaudière normale les autres jours. Ce double système de chauffage revient terriblement cher. Sous nos climats, même les écologistes l'estiment non rentable!

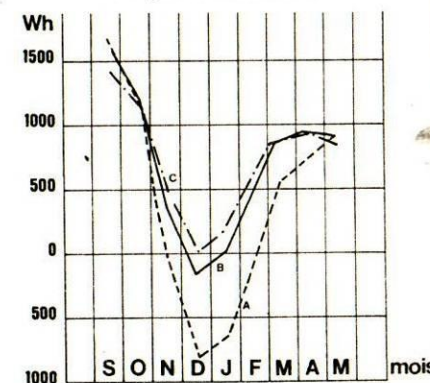
2 - **Le solaire « passif »**: on joue uniquement sur la disposition de l'architecture.

Les baies vitrées sont orientées au sud. Les murs au nord sont plus ou moins aveugles, voire enterrés pour les soustraire au vent et augmenter leur isolation thermique. L'isolation est ultra-soignée, bien entendu. Des vérandas peuvent isoler le bâtiment, accumuler de la chaleur qui sera récupérée, ou servir de sas, de serre, etc.

Des techniques plus sophistiquées tentent parfois de récupérer la chaleur solaire avec un maximum d'efficacité. Par exemple, le **mur de Trombe**, du nom de son inventeur. C'est un capteur solaire, mais intégré à l'architecture. Un mur de béton peint en noir est placé à 35 cm d'un double vitrage. Le soleil le surchauffe. Par deux ouvertures, on fait circuler un courant d'air qui balaie le mur et restitue, quand on en a besoin, les calories accumulées. La nuit, les orifices sont fermés et le mur chauffe la pièce par rayonnement. Ce système connaît malheureusement une tendance aux surchauffes, tout chauffage coupé! On l'a perfectionné en remplaçant le mur de béton par des tubes peints en noir et remplis de **chliarolithes**: ce fond à 39°C en absorbant énormément de chaleur, qu'il restitue en se solidifiant. La courbe de restitution est plus douce, plus régulière que pour le Mur de Trombe. Elle évite bien mieux les surchauffes. (Les chliarolithes sont fabriqués par les usines Solvay à partir d'un déchet chimique encombrant, le chlorure de calcium; double avantage écologique!).

Notons que les surchauffes peuvent être évitées par des stores à lames orientables placés à l'extérieur.

Fig. 41
BILAN THERMIQUE JOURNALIER
Moyennes d'Uccle



Principe de l'écran au vent.

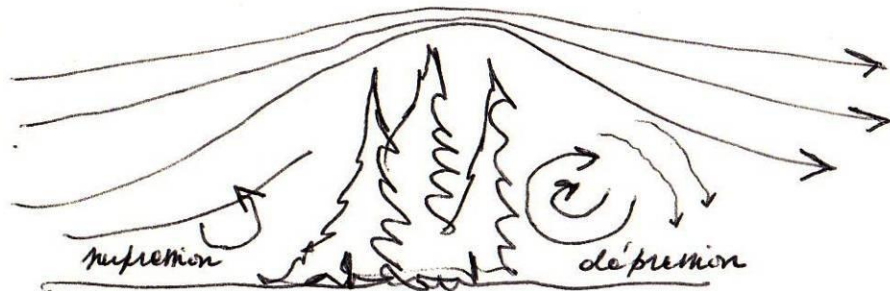


Fig. 43

1. L'écran oblige le courant d'air à le remonter
d'où vitesse vent à ce haut de l'écran

2. turbulence, créant a) surpression en amont

b) dépression en aval

le flux d'air passant au dessus de l'écran
est ralenti par cette dépression
donc : protection écran limitée

donc : prévoir un passage d'air à travers
l'écran pour la dépression.
(haie végétale de densité appropriée).

Fig. 44.

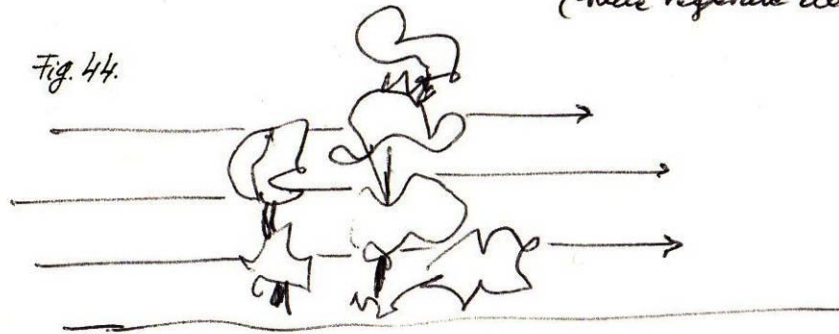
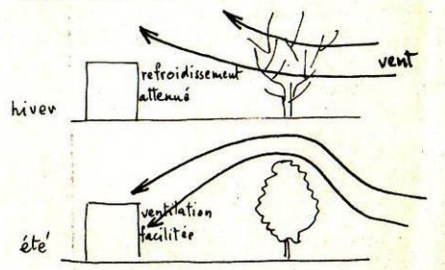


Fig. 45
écran d'un arbre à feuilles caduques



Contre une paroi verticale :

La couche d'air immobile en contact immédiat avec la paroi verticale participe à son isolation; par vent fort l'échange thermique augmente. Cet inconvénient est surtout sensible pour les vitrages simples dont les pertes augmentent de 33 % par vent de 65 Km/h et de 17 % pour les vitrages doubles.

* → choisir un site abrité des vents froids par :

- le relief
- la végétation existante + plantations nouvelles (Fig)
- les constructions alentours

* → concevoir une bonne disposition des locaux :

- du côté des vents : des garages, locaux de service, auvents et obstacles utiles divers (sas à double portes ...)
- du côté abrité : les vitrages, eux aussi protégés par des obstacles utiles, loggias, auvent, brise-soleil, etc... n'occultant pas le soleil hivernal et n'occasionnant pas de pont thermique (Fig).

Fig. 46

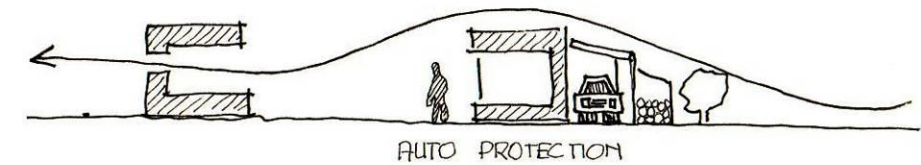
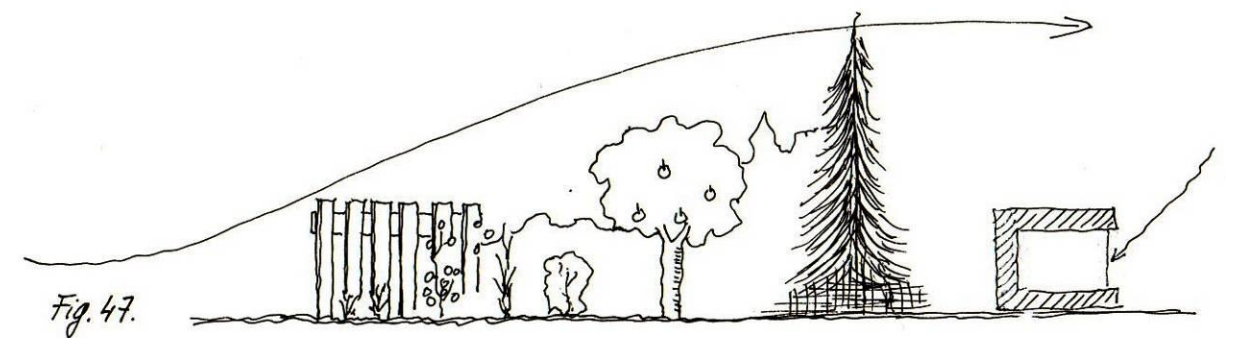


Fig. 47.



Végétation

- Protection contre le vent
- Protection contre la surchauffe (ombrage)
Ex. : arbres à feuilles caduques protègent en été et laissent passer les rayons en hiver.

à quelle distance

Influences des caractères locaux sur les effets du vent.

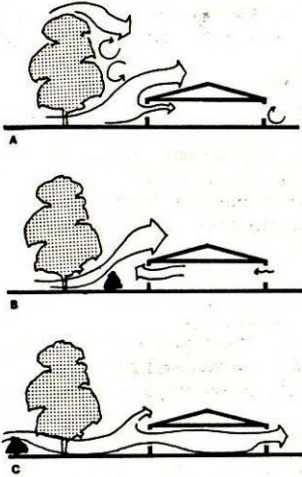


Fig. 48. Effet des coupe-vents, des arbres et des haies sur la ventilation naturelle. Un grand arbre situé à 6 mètres du bâtiment crée un effet de Venturi (A); une partie seulement de l'air pénètre par la fenêtre à cause du mouvement ascendant de l'air près du bâtiment; (B) effet d'une pression négative sur la fenêtre à cause d'une haie trop proche; (C) ventilation transversale complète créée par la position de la haie au vent du grand arbre. (D'après R. White, Effects of Landscape Development on Natural Ventilation, Texas A and M University, 1954)

Vent et courant d'air

De tous les facteurs climatiques, ce sont les vents locaux qui sont les plus influencés par les caractéristiques du terrain. Avant de choisir l'emplacement définitif du bâtiment, il est extrêmement utile de faire une étude du vent sur place, que l'on veuille minimiser la résistance au vent (dans les régions froides et exposées), ou augmenter l'effet de brise (dans les zones chaudes et humides).

En hiver, la direction des vents dominants est suffisamment constante pour justifier la création d'un moyen de protection intégré à la maison elle-même ou aménagé sur le terrain.

La direction des brises dominantes d'été permet de choisir la position des entrées et des fenêtres la plus adéquate pour une ventilation naturelle efficace. Dans certaines régions, la poussière ou les précipitations peuvent imposer des moyens de protection spéciaux. La direction des vents d'orage ou

de tempête peut souvent être déterminée en observant sur le terrain des différences dans la croissance de la végétation sur le versant abrité du site.

Les données sur les vents dominants que l'on peut obtenir des stations de météorologie ou des aéroports locaux sont suffisantes pour décider de l'emplacement du bâtiment et de sa conception. On pourra alors vérifier sur le site les conditions de vent en effectuant des observations à différentes périodes de l'année. On peut aussi prévoir l'effet des vents violents sur certains sites par des preuves naturelles comme les dommages causés aux arbres ou au terrain.

Les chercheurs du Texas A. and M. Research Station ont effectué des études sur les effets du vent sur les sites construits. Ces études ont mis en évidence l'influence de la végétation adjacente sur la circulation de l'air à l'intérieur et autour des bâtiments (fig. 48). (Le lince de la maison solaire (B))

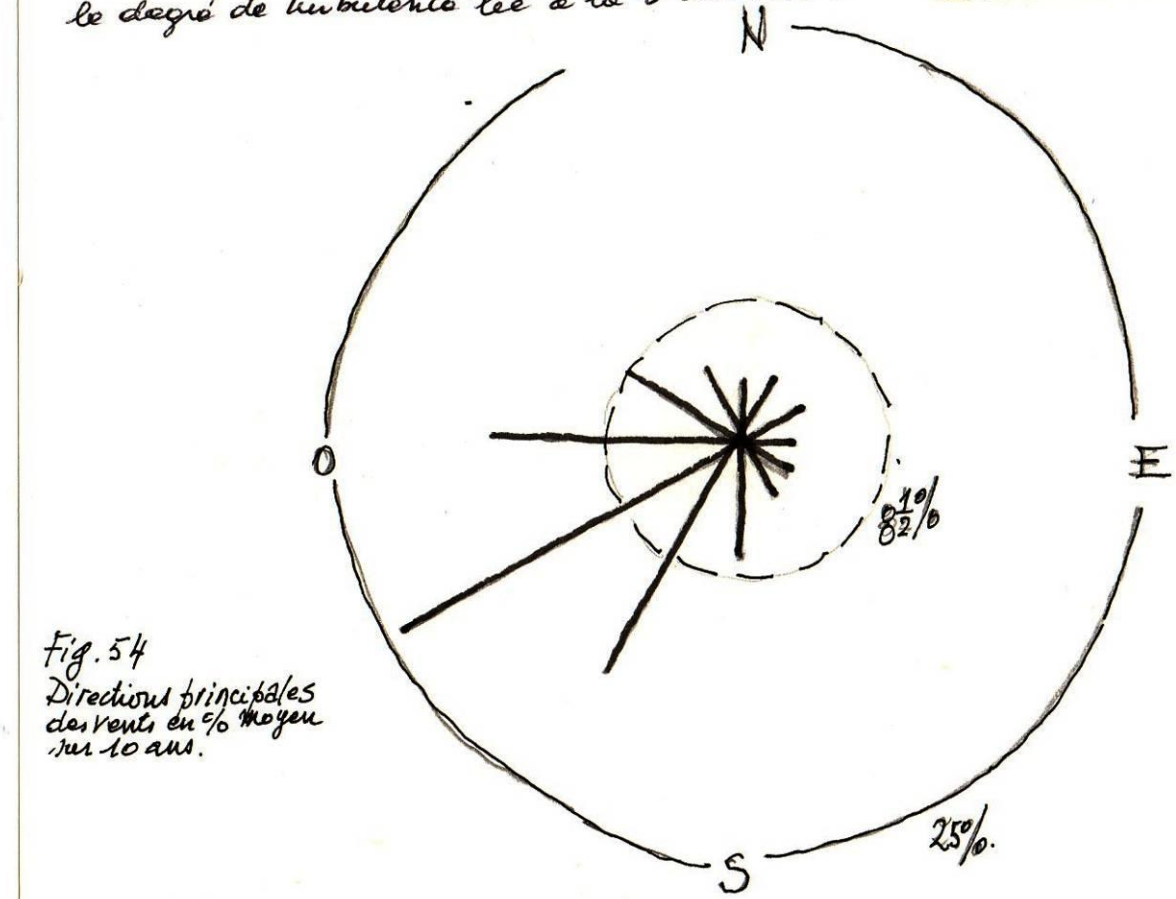
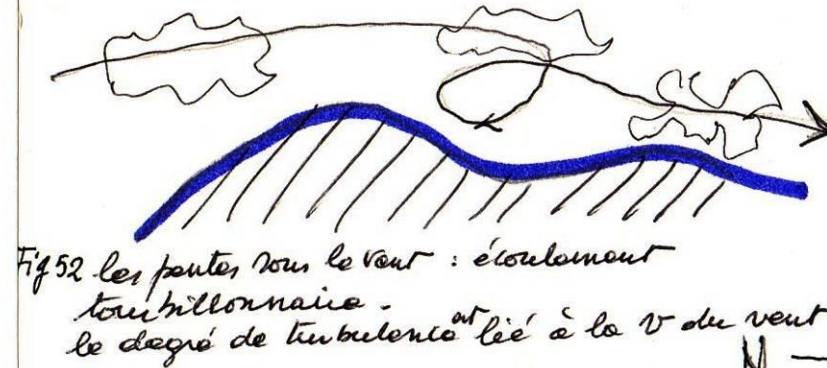
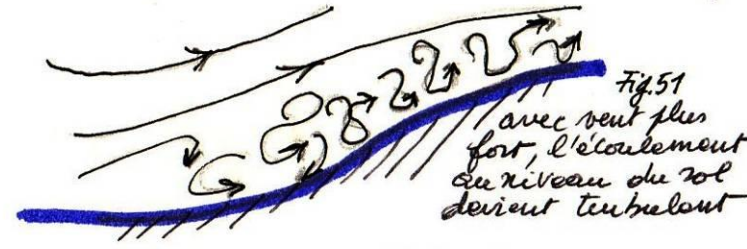
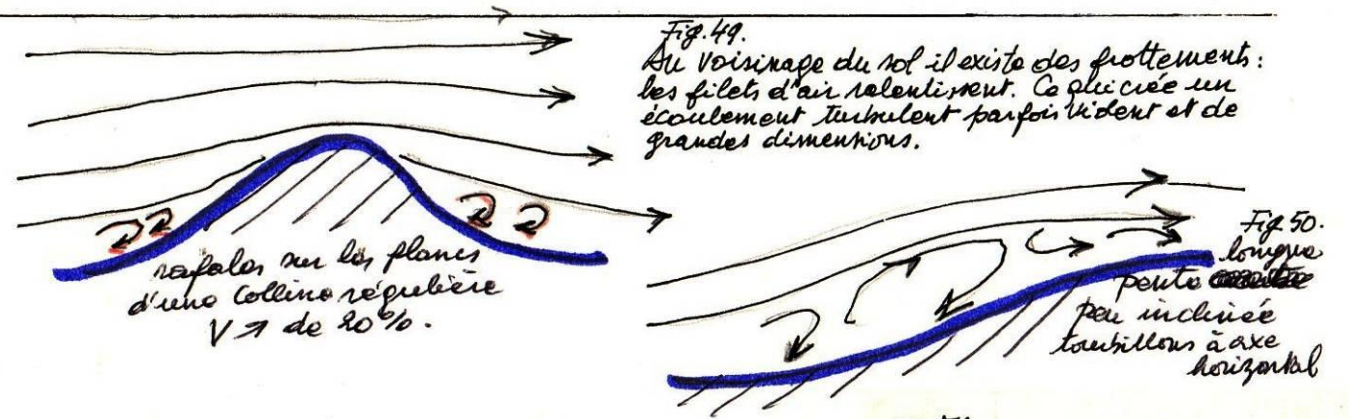
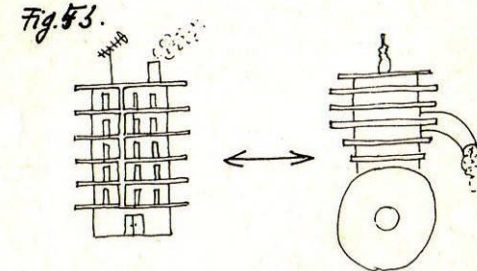


Fig. 54 Direction principales des vents en % moyen sur 10 ans.

Fig. 49. Au voisinage du sol il existe des frottements: les filets d'air ralentissent. Ce qui crée un écoulement turbulent parfois violent et de grandes dimensions.

Fig. 50. Longue pente inclinée tourbillons à axe horizontal



• Les « ailettes de refroidissement ». Nous appelons ainsi les balcons, brise-soleil, « affirmations » de structures verticales ou horizontales et parfois les deux, qui font ressembler certains immeubles collectifs à des cylindres de moteurs à refroidissement par air; ils ont donc la même particularité thermique, déplorable dans le cas d'un bâtiment, uniquement imputable à l'architecte. Il faut donc faire la chasse aux saillies inutiles et traiter celles que l'on juge indispensables à l'agrément du bâtiment de manière qu'elles aient le moins de contact physique avec la partie à chauffer (fig 53).

En ville.

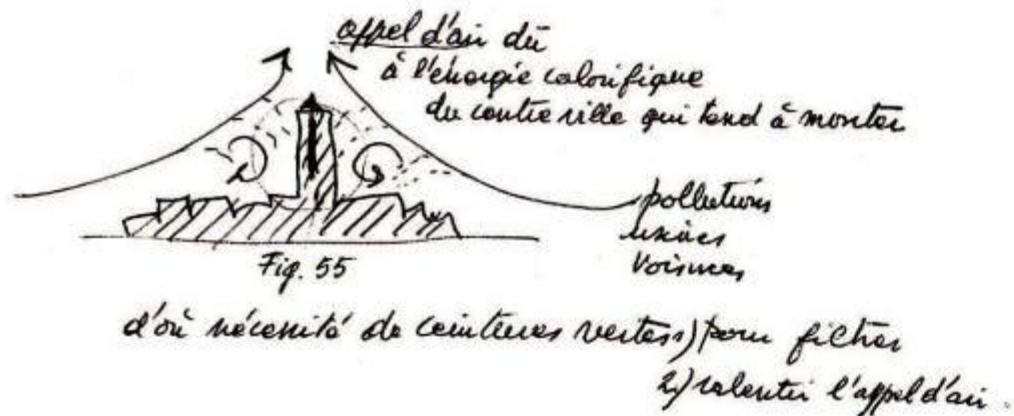
- distinguer 1) vents du macro-climat
2) vents créés par la ville elle-même.

- 1) ⇒ campagne il y a en ville locq. + de jours sans vent.
Car surface supérieure des hauts bât. qui ralentit la vitesse d'où zone calme au centre urbain.
Cet air ralenti est ce un couvain sur lequel butent les vents qui viennent au la ville qui a) soit les contourne
b) soit le ruyement

Donc rôle refroidissant ↓

Si fort vent: turbulences qui, m violentes, ne provoquent aucune ventilation car cet air tourbillonne ds un espace confiné.

2) Vents propres.



§2. Exemples vernaculaires d'adaptation au vent.

- Les réponses les plus énergiques sont fournies par les régions les plus durement éprouvées, et nous retrouvons la forme hémisphérique de l'igloo, ou celle quasi hémisphérique de la yourte mongole.
- Les Indiens des plaines laissaient ou non pénétrer le vent dans leur tepee au moyen de deux languettes saillantes que portaient deux perches.
- En Normandie, les toits de chaume ont une forme qui ressemble à la coque d'un bateau retourné, la proue face au vent d'Ouest.
- Sur l'île de Bâques, c'est toute l'habitation qui est en forme de pirogue. (Plan d'une case-pirogue 14m long. / amir au pique, troncs de saules ou de saules, hérisse. / languettes ou sautoirs en bois ou en cuir. / construction en matras, hérisse. / faible hauteur. forme aérodynamique → vent violent).
- La situation sur le terrain est aussi très importante; les maisons se blotissent sur le sol et se nichent dans les creux de terrain, profitant de la pente pour réduire la façade Nord et accentuer la façade Sud.

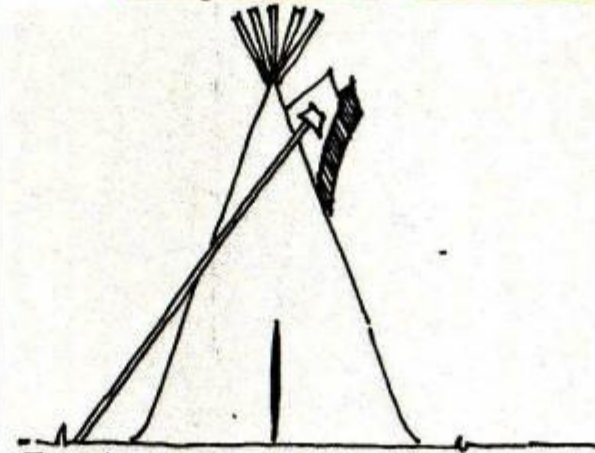


Fig. 56.
Tepee Indien
D'après A. Rapoport "Pour une anthropologie de la Maison", p. 138.

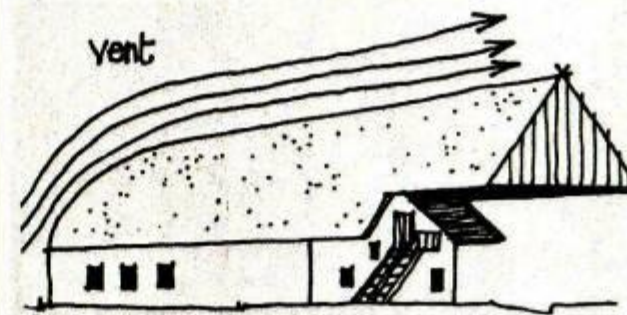
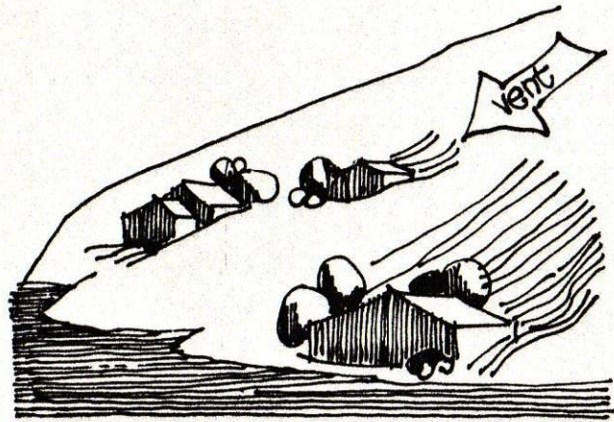


Fig. 57. Ferme en Normandie.
D'après A. Rapoport "Pour une anthropologie de la Maison", p. 139.

Dans le tepee des Indiens des plaines, on pouvait contrôler le vent au moyen de deux languettes saillantes, ou "oreilles", que portaient deux grandes perches insérées dans des bûches. On pouvait les ouvrir largement en écartant les perches afin de laisser pénétrer l'air et le vent par beau temps, ou bien les ramener l'une contre l'autre pour se protéger du vent et de la pluie ou pour garder la chaleur pendant la nuit.

En Normandie, où le vent est un problème, certaines fermes ont des toits de chaume dont la forme ressemble à la coque d'un bateau renversé, la proue faisant face au vent d'Ouest, et la poupe étant tournée du côté Est, calme et abrité.



Dans de nombreuses régions, les maisons sont situées de manière à se protéger des vents froids. C'est le cas en Suisse notamment où l'on a profité du relief pour enterrer à flanc de montagne la façade la plus exposée.

Fig. 58

Maisons protégées contre les vents froids en Suisse (d'après A. Rapoport, "Pour une anthropologie de la maison", p. 140.)

Annexe :

Les effets du vent et leur simulation

Divers facteurs ont, au cours des quinze dernières années, favorisé l'écllosion d'une nouvelle discipline: l'ingénierie éolienne, synthèse de connaissances appartenant à des disciplines aussi diverses que la météorologie, la mécanique des fluides, l'aérodynamique et l'étude des structures; sans oublier l'étude des réactions de l'homme confronté aux vents violents ou en contact avec certaines substances chimiques contenues dans l'atmosphère.

L'intérêt de développer l'ingénierie éolienne, afin de limiter les dégâts occasionnés aux bâtiments, se résume en quelques chiffres. Selon une récente étude américaine, la moyenne annuelle des dégâts provoqués par les vents et les tempêtes au cours des dix années écoulées dépasse le demi-milliard de dollars. Entre 1963 et 1970, Eole déchaîné a tué 1 677 personnes et en a blessé 18 255 autres.

En Angleterre, une étude, basée sur la relation par la presse des cataclysmes locaux, évalue les dégâts annuels à plus de 10 millions de livres et le nombre de bâtiments endommagés à 100 000.

Ces chiffres, déjà éloquentes, ne feront que s'alourdir au cours des prochaines années.

Les zones urbaines s'agrandissent sans cesse. La technique de construction fait appel à des matériaux de plus en plus légers, parmi lesquels, le verre. Les structures mêmes évoluent: les bâtiments deviennent plus légers ou plus élevés, ce qui diminue leur résistance mécanique.

Il est donc indispensable de connaître d'une manière approfondie les propriétés du vent ainsi que ses évolutions autour des bâtiments et de raffiner les normes relatives aux charges statiques et dynamiques. Un autre aspect de l'ingénierie éolienne est lié à cette quête permanente d'un confort accru. Il lui faut donc s'intéresser aux vibrations des immeubles; étudier le bruit induit par le vent tourbillonnant autour des immeubles; mesurer la gêne provoquée par le vent au niveau de la rue, etc... Et ce n'est pas tout: il y a encore la lutte contre la pollution atmosphérique et la protection du milieu.

Les plus importantes sources de pollution sont les cheminées d'usine et les voitures automobiles. La minimisation de la concentration au

niveau du sol dépend de divers facteurs: la hauteur de la cheminée par rapport aux zones habitées, la topographie locale ou encore, dans les villes neuves, la localisation de rues à trafic intense et des aires de parcage. Pour réduire et disperser le plus rapidement possible ces concentrations de fumées, des études sur modèle sont indispensables et, c'est là une des caractéristiques essentielles de l'ingénierie éolienne. En effet, l'interaction vent-bâtiments est très complexe et influencée par tant de facteurs qu'une analyse mathématique n'est pas concevable, même dans un avenir proche. L'étude en laboratoire s'impose donc et c'est d'ailleurs de là que provient la majorité des données obtenues par simulation en soufflerie d'une structure donnée.

L'air atmosphérique circulant le long du sol se comporte comme une couche limite au sein de laquelle la vitesse, nulle au niveau du sol, augmente en fonction de la hauteur pour atteindre une valeur déterminée.

D'autre part, l'écoulement du vent s'effectue par rafales de sorte que, pour une hauteur déterminée, la vitesse fluctue autour d'une valeur moyenne.

La figure 1 représente la répartition énergétique des rafales d'une durée déterminée, telle que mesurée par M. van der Hoven à une altitude de 100 m au-dessus de Brookhaven.

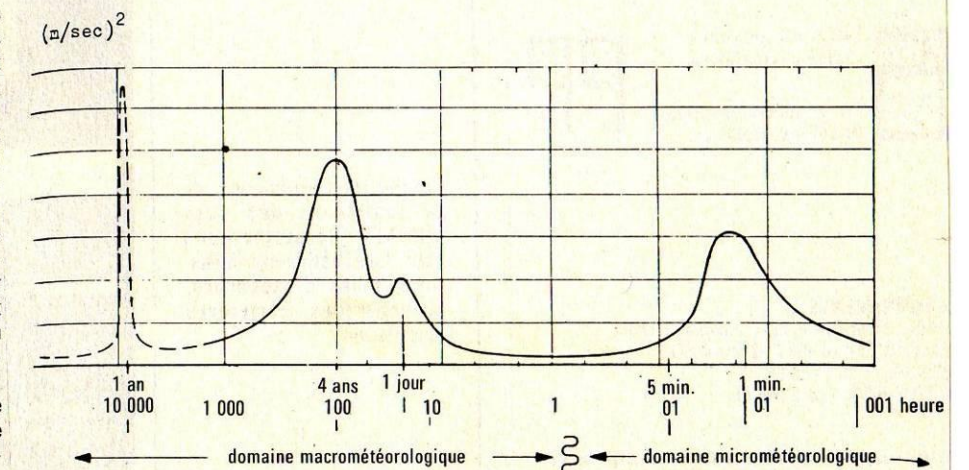
Les crêtes correspondent à des

cycles revenant dans l'atmosphère. Un an: cycle des saisons; quatre jours: durée moyenne d'une perturbation à grande échelle; un jour: cycle quotidien, échauffement diurne et refroidissement nocturne; une minute: période caractéristique d'une turbulence éolienne. L'on y remarque une séparation très nette entre le spectre aux environs de la minute et le spectre aux alentours de quatre jours. Ceci implique que deux parties du spectre peuvent être considérées comme statistiquement indépendantes. En d'autres termes, la répartition énergétique de la turbulence est indépendante d'autres fluctuations. Cette dernière propriété permet la simulation en soufflerie de l'écoulement du vent dans ce domaine micrométéorologique. Il y est en effet possible de reproduire, à un facteur d'échelle près, la structure des turbulences.

Le domaine à prendre en considération pour étudier l'influence du vent sur les structures peut être déterminé par la transformation de l'échelle temps en une échelle longueur.

Sur base d'une vitesse de 10 m/sec., une période d'une seconde correspond à une longueur de 10 m, une minute à 600 m, cinq minutes à 3 km, et une journée à 864 km. Il est donc clair, que le domaine micrométéorologique joue un rôle déterminant en ce qui concerne les effets du vent autour et sur les structures.

Répartition énergétique des rafales d'une durée déterminée telle que mesurée par M. van der Hoven à une altitude de 100 m au-dessus de Brookhaven.



Pour mesurer la vitesse moyenne dans l'atmosphère, on peut prendre la moyenne sur base d'un temps en dehors du spectre micrométéorologique, c'est-à-dire, compris entre 10' et 1 h.

La variation en fonction de la hauteur peut être représentée par la relation suivante: $V/V_g = (Z/Z_g)^n$ dans laquelle V_g est la vitesse extérieure à la couche limite mesurée à la hauteur Z_g ou, par répartition logarithmique, valable dans la couche inférieure de la répartition des vitesses, supérieure à une hauteur d par la relation

$$V/V^* = \ln \frac{z-d}{Z^0}$$

dans laquelle

V^* est une vitesse de référence dépendant à la fois de la résistance au cisaillement en bordure de la paroi et de Z^0 , une hauteur de rugosité équivalente. L'exposant n , la hauteur de la couche limite (Z_g) ainsi que Z^0 , la hauteur de rugosité sont fonction de la nature du terrain. Des valeurs caractéristiques sont pour:

- un terrain plat: $n = 0,14$
 $Z_g = 250$ m
 $Z^0 = 1$ cm
- un terrain boisé: $n = 0,18$
 $Z_g = 300$ m
 $Z^0 = 0,1$ m
- un site urbain: $n = 0,28$ à $0,4$
 $Z_g = 400$ à 500 m
 $Z^0 = 1$ m

Le rapport entre Z_g et l'épaisseur de la couche limite dans la soufflerie peut être pris comme facteur d'échelle de la modélisation, mais l'on peut également prendre le rapport entre les hauteurs de rugosité Z^0 lorsque la hauteur des structures étudiées est beaucoup plus petite que celle de la couche limite. Ce facteur d'échelle établit la relation entre les fréquences du spectre de turbulence qui est déplacé vers les fréquences plus hautes.

La simulation s'effectue de manière fort simple par le dépôt d'éléments rugueux sur le plancher de la section d'essai de la soufflerie qui, par voie de conséquence, doit être long d'au moins une dizaine de mètres. Il faut toutefois faire remarquer que les vitesses moyennes ainsi que les caractéristiques de turbulence sont valables pour les situations où la

couche limite peut se développer librement. Dans un site urbain, la situation au sol n'est pas uniforme et soumise à des impératifs locaux, tels la topographie ou encore la présence d'immeubles dans le voisinage immédiat. Ceci est important pour les courants d'air qui entourent les bâtiments au niveau du sol, ainsi que pour la répartition des forces; ces dernières devant être étudiées par simulation physique en laboratoire du milieu environnant. Hélas, comparées au profil d'une aile d'avion, les structures à étudier sont rarement aérodynamiques. Conséquence, l'écoulement des vents autour de ces structures est influencé par l'interaction non linéaire de vents turbulents, arrivant par rafales, avec la couche limite tridimensionnelle, également turbulente, qui se développe le long des parois du bâtiment, ainsi qu'avec le tourbillon qui se forme autour du bâtiment. Même dans les cas les plus simples, l'état actuel de nos connaissances ne nous permet pas de décrire avec précision cet écoulement. C'est pourquoi, des informations chiffrées relatives aux effets des vents ne peuvent être obtenues que par des mesures effectuées en soufflerie sur modèles ou in situ sur des constructions existantes.

Les forces exercées par des vents

Les pressions exercées par les vents se rangent toutes dans l'une des trois catégories suivantes: — les forces statiques, c'est-à-dire, les pressions temporelles moyennes; — les changements locaux et immédiats de la pression; — les variations instantanées de la somme des pressions. Les forces statiques sont les seules à prendre en considération pour des structures rigides, c'est-à-dire présentant une grande résistance mécanique, tandis que les variations locales et immédiates de la pression exercent une action importante sur les vitres, les parois vitrées et les revêtements de façade.

Les variations instantanées de la somme des pressions jouent un rôle important: elles produisent une charge non stationnaire qui induit une réponse dynamique de la structure, fonction à la fois de la structure elle-même et de la nature de la sollicitation.

Généralement, elle se matérialise

par des vibrations de la structure: flexion, torsion; la superposition de divers modes de vibration étant possible. Ce sera par exemple le cas pour des structures élancées, telles les cheminées, les immeubles-tours, les ponts, etc...

Lorsque la structure est particulièrement aéroélastique — ce qui est le cas pour certains ponts — le mouvement de la structure peut être suffisamment ample pour, à son tour, influencer les courants qui l'entourent.

Cette interaction non linéaire peut induire une rétroaction positive, tel que le mouvement de la structure ne fera que croître en amplitude, avec toutes les conséquences qui en découlent: une rupture franche, ou un état de fatigue tel, que la rupture ne tardera pas à survenir.

● Forces statiques - Pressions moyennes

La résultante des pressions moyennes sont les forces statiques qui s'exercent sur les structures et pour lesquelles des normes existent depuis de nombreuses années.

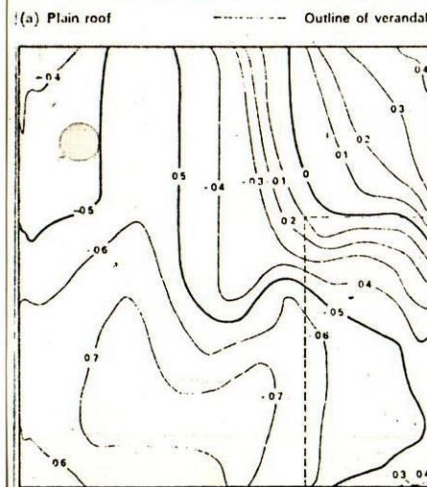
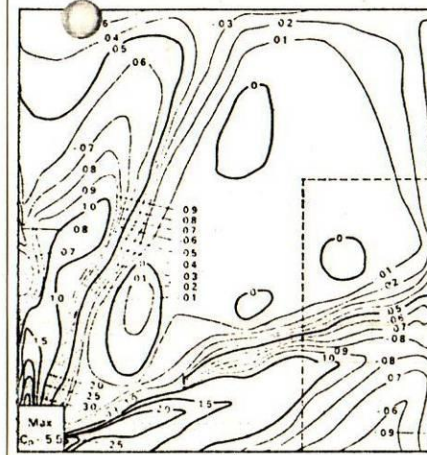
Pour obtenir la pression moyenne, il faut moyenner sur des périodes correspondant au gap central du spectre, c'est-à-dire, celles comprises entre 500 et 1 000 secondes, durée réduite à une quinzaine de secondes en soufflerie.

Lors des mesures effectuées en soufflerie, il est important de simuler correctement le profil moyen de la vitesse, car la répartition des coefficients de pression statique sur une surface est fortement influencée par la répartition des vitesses. C'est pourquoi, des comparaisons avec des mesures relevées sur des bâtiments existants restent indispensables.

Les conditions locales d'écoulement sont à ce point importantes, que les résultats obtenus pour un immeuble isolé ne seront pas forcément valables lorsque cet immeuble sera entouré d'autres constructions. Ce phénomène ne peut pas être perdu de vue, même en cas d'utilisation des normes les plus modernes.

La figure 4 représente un relevé détaillé des coefficients de pression et, malgré sa complexité, illustre clairement le rôle que peuvent jouer les conditions locales. Elle montre également comment de simples détails architecturaux peuvent complètement modifier la répartition des pressions.

Des recherches expérimentales et théoriques, destinées à mieux connaître les phénomènes suivants, demeurent indispensables: — étude systématique de diverses formes d'immeubles placés dans des environnements différents; — étude systématique de l'influence des immeubles environnants sur les turbulences locales.



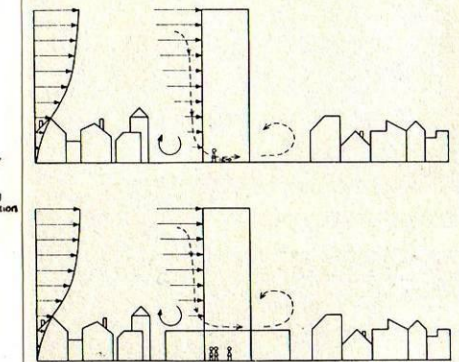
Relevé détaillé des coefficients de pression illustrant le rôle que peuvent jouer les conditions locales et plus particulièrement les détails architecturaux.

● Valeurs instantanées de la pression locale

L'intensité des variations de la pression instantanée le long des surfaces externes des immeubles est souvent supérieure à la moyenne de la pression dynamique du vent géostrophique, c'est-à-dire, à la vitesse du

vent à grande hauteur. Les différences de pression qui en résultent peuvent provoquer d'importants dégâts sous forme de fatigue, de bris de vitres, de chute de panneaux par libération des ancrages ou encore, de pénétration d'eau au travers des jointures.

D'une manière générale, ces fluctuations sont à mettre au passif d'un vent fortement influencé par les conditions locales. En effet, l'interaction du bâtiment et de son environnement avec le vent engendre de nouvelles turbulences à l'échelle du bâtiment et fonction de la géométrie ainsi que de la structure de l'environnement. Les mouvements, qui auront lieu autour d'un bâtiment déterminé, sont donc la combinaison d'une turbulence survenant avec une turbulence induite. Ce sera également le cas pour les variations de la pression instantanée. Ces dernières sont liées à l'adhérence ou au décollement du courant circulant autour de l'immeuble, ainsi qu'aux détails architecturaux de la structure ou de son environnement.



Une solution parmi d'autres pour éviter des vitesses excessives au niveau du sol.

La seule manière d'analyser ces phénomènes lors de l'établissement d'un projet est d'étudier le bâtiment et son environnement en soufflerie, avec une simulation correcte de la structure turbulente du vent incident.

De nombreuses études sont nécessaires en ce domaine, notamment en ce qui concerne les points suivants: — meilleure connaissance statistique des variations de pression se produisant lors d'écoulements décollés, de recollements ou de formation de tourbillons;

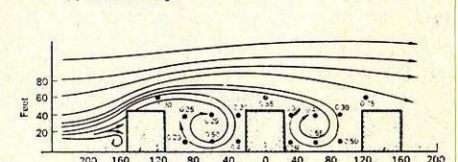
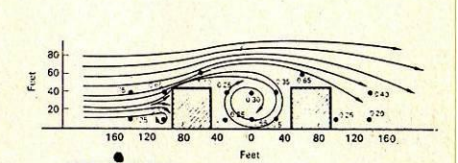
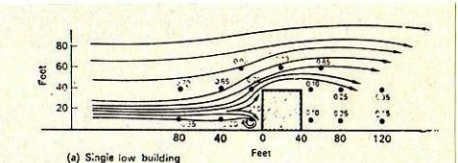


Schéma montrant les effets du vent selon qu'il y a un, deux ou trois immeubles bas. A hauteur de toit, la vitesse est de 1,0.

— influence de l'échelle des turbulences et de l'intensité du vent survenant sur les variations de pression; — propriétés des couches limites se formant le long des parois extérieures des immeubles.

● Pressions instantanées totales

Ces pressions totales, non stationnaires, exercées sur une structure possèdent une propriété statistique, fonction du temps, superposée à une composante périodique éventuelle. Avec ou sans composante périodique de la force non stationnaire, la réponse de la structure est un déplacement dont la composante périodique correspond à une fréquence propre superposée à une variation statistique. Pour les édifices bas de section rectangulaire, la réponse de la structure est statique. Toutefois, les maxima instantanés peuvent atteindre 40 % de cette valeur moyenne. Des expériences ont montré que la répartition spectrale des forces dépend fortement de la longueur de l'échelle des turbulences ainsi que de détails de la structure des turbulences.

Les normes tiennent compte de cette charge statique non-stationnaire sous forme d'un facteur de rafales et, l'un des problèmes les plus importants

est d'établir une relation rationnelle entre les propriétés de turbulences et la réponse des structures. Ceci permettrait une détermination rationnelle des facteurs de rafales.

Les phénomènes aérodynamiques les plus courants induisant des mouvements de structure sont :

— formation périodique de tourbillons (tourbillons de Von Karman) ;

— « Galloping » : auto-excitation de la structure provoquée par une force non-stationnaire induisant des vibrations par flexion ;

— « Flutter » : combinaison des vibrations par flexion et par torsion provoquée par une alternance de décollements et recollements, particulièrement sensible sur les ponts.

Ici encore, l'excitation aérodynamique est fortement influencée par des vents provenant de l'entourage. Des expériences effectuées sur une tour modélisée ont montré qu'un afflux uniforme engendrait une vibration par flexion latérale, tandis qu'un afflux avec gradient provoquait une excitation par « galloping ». La proximité de bâtiments ainsi que la

géométrie des structures et de la topographie locale sur la réponse dynamique des structures puisse être définie sans recours à la simulation.

La plupart des coefficients aérodynamiques appliqués, par exemple lors du calcul des ponts, ont été déterminés en soufflerie à l'aide d'afflux uniformes et de turbulences de faible intensité. C'est dire l'importance d'une simulation correcte des turbulences lors de la détermination des coefficients.

Gênes éoliennes au niveau piétonnier

La structure complexe des écoulements aux alentours des immeubles (fig. 6) ainsi que les accélérations locales peuvent engendrer des nuisances au niveau piétonnier, dans un centre commercial par exemple, et il importe dès lors de les réduire au maximum.

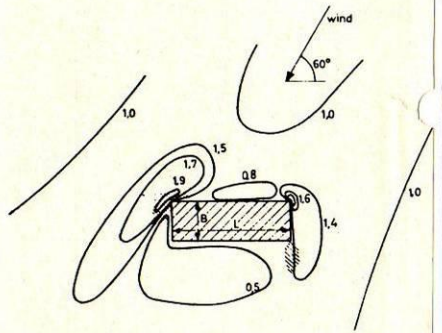
Des études physiologiques relatives à la vitesse ainsi qu'aux accélérations maximales supportables, ont été effectuées et sont résumées dans le tableau ci-dessous. Les vitesses et accélérations mentionnées correspondent à une durée de rafale de 30 secondes.

Des études effectuées en laboratoire ont démontré le peu d'efficacité des haies : à 30 m, la vitesse est encore de 85 %. Les arbres donnent de meilleurs résultats : une rangée haute de 10 m réduit la vitesse de moitié à 100 m et de 25 % à 200 m.

Chose curieuse, la multiplication des rangées ne modifie guère les résultats mais, la plantation d'une seconde rangée à 200 m de la première entraînerait une réduction de 55 % à 400 m de la première rangée. Cette réduction importante suffit pour obtenir en campagne des vitesses analogues à celles existant en milieu urbain. Bien entendu, les arbres doivent être plantés denses, de façon à présenter un écran plus ou moins continu et le feuillage joue dès lors un rôle prépondérant.

C'est pourquoi, l'utilisation de conifères s'impose : ne perdant pas leurs feuilles, ces arbres sont d'autant plus efficaces en automne, c'est-à-dire, au moment où les vents sont les plus violents.

Dans les centres urbains il est également possible de réduire les nuisances au pied des immeubles-



CHAPITRE 3 :

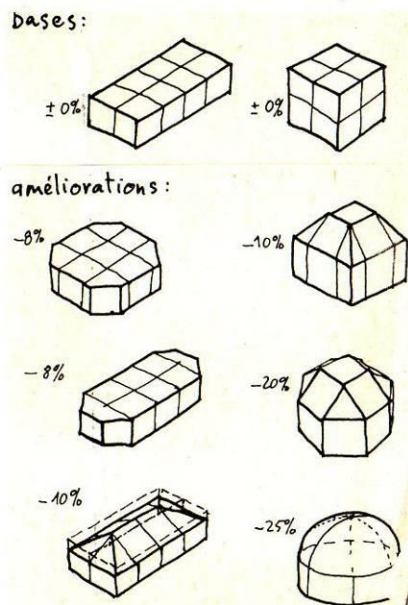
Forme générale des constructions en fonction du climat (soleil, vent).

§1. Réduire les déperditions et augmenter l'isolation

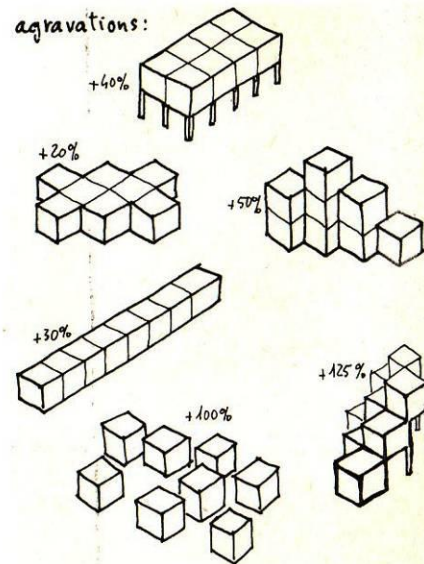
Les déperditions calorifiques étant proportionnelles à la surface extérieure, il faudra réduire le rapport surface extérieure/volume

Il faudra donc se rapprocher autant que possible d'un volume compact et très simple, réduire la face exposée au nord et se protéger du vent, des tempêtes, ...

Fig. 54 Variation des déperditions calorifiques en fonction du volume
volumes compacts: volumes plus de coupés:



Théoriquement, il faudrait donc se rapprocher de la forme ovoïdale
- éviter les angles et recoins sources de tourbillons
- réduire les surfaces frontales ⊥ au vent, au bénéfice des formes fuyantes.



A la recherche du nouvel équilibre, chacun peut s'orienter dans une voie ou dans une autre, selon ses motivations psychologiques ou matérielles :

- partir, comme d'habitude, des espaces intérieurs et de leurs relations, tant entre eux qu'avec l'extérieur; mais, au lieu de leur laisser modeler librement l'aspect extérieur (liberté souvent exploitée, voire stimulée, pour personnaliser les immeubles), négoçier avec cette « galette » habitable de surface et généralement de hauteur constante, pour la resserrer au maximum, éroder ses angles, la disposer en plusieurs couches sans trop mépriser les formes acceptées aujourd'hui.

- partir, à l'inverse, d'une frontière thermique très compacte et essayer de la rendre agréable à habiter et facile à construire; cette dictature de l'enveloppe sur le fonctionnement interne a souvent été refusée, mais on la fait intervenir ici pour une raison fonctionnelle supplémentaire; de plus, la menace de lourdeur ou de monotonie du paysage peut être combattue en agrémentant la frontière thermique d'une façade vue (balcons, circulation, serres, etc.) aussi farfelue qu'on le souhaiterait.

Il est facile de concevoir des cellules individuelles demi-sphériques; leur juxtaposition en une seule demi-sphère pose des problèmes de plus en plus complexes si l'on veut, par exemple, que chacun bénéficie du même ensoleillement direct et que la partie centrale garde un contact avec l'extérieur.

★ la diminution des surfaces refroidies entraîne une diminution paradoxale conjointe et directement proportionnelle des pertes thermiques et du coût total des façades et de la couverture.

Il ne faut donc pas s'en priver. Il ne s'agit pas, en toute rigueur, de la façade vue, mais de la frontière thermique qui limite l'espace à chauffer et qui peut être cachée par des volumes annexes non chauffés.

La figure 54 compare les surfaces refroidies de plusieurs associations de huit cellules de base qui peuvent être constituées, selon leur échelle, par un appartement ou par une pièce d'un appartement (en réalité, une unité de surface horizontale rayonne plus vers le ciel qu'une unité verticale, ce qui favoriserait les bâtiments à plusieurs niveaux s'il n'était plus économique de bien isoler une toiture qu'une façade). Cette figure permet plusieurs observations, sur le seul plan des pertes thermiques : l'habitat individuel est moins bon que le collectif courant, encore que certaines tendances actuelles du collectif puissent être pire. Les performances s'améliorent quand les angles concaves disparaissent, puis quand les angles convexes deviennent moins aigus.

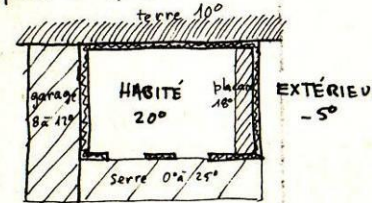
Faut-il donc réformer l'architecture actuelle pour améliorer ses performances thermiques sans perdre ses conquêtes récentes, ou bien faut-il révolutionner au nom des économies d'énergie et de manière de vivre et de construire?

Sur les T° ext. et T° intérieure (confort): Atta-remment, le concepteur n'a aucune influence sur ces deux termes, dont la réglementation prévoit, pour chaque région, une valeur de référence, par exemple: T° int. = 20° , T° ext. = -5° , dont $\Delta T^{\circ} = 25^{\circ}$. Il peut pourtant intervenir à l'extérieur et à l'intérieur.

★ 1° A l'extérieur, en choisissant ou en créant un microclimat plus favorable: terrain en pente au sud, abords absorbant et réémettant la chaleur solaire (graviers, dallages); en évitant en montagne les fonds de vallées (inversion des températures), ...

En plaçant des espaces-tampon entre la paroi isolée et l'air libre (fig 60). Bien que non chauffés,

Fig. 60. espaces-tampons



ces espaces-tampon, garages et remises, combles, serres, auront une température nécessairement supérieure à celle de l'extérieur (ensoleillement propre, pertes du bâtiment, air calme, ...); on peut même y insufler l'air vicié qui sort à 20°C de l'habitation si on ne craint ni les odeurs ni que les vapeurs de graisse et d'eau ne salissent les parois ou n'imbibent les isolants; quant au gaz carbonique, il est bénéfique aux plantes de serre.

En enterrant une partie du bâtiment, on profite de la température de la terre qui est, durant toute l'année, d'environ 10° à 1 m de profondeur; cette solution ne vaut qu'en prenant en considération les réserves émises plus bas.

Le talutage: peut aller jusqu'à l'enterrement partiel ou complet d'un immeuble. L'intérêt est double:

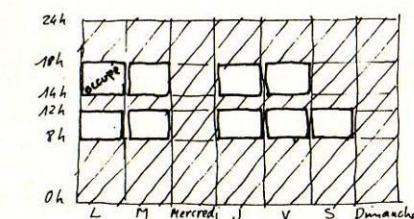
- limitation de la surface exposée aux vents et froidures
- bénéfice de l'inertie de la terre.

On peut obtenir de meilleurs résultats en cernant le bâtiment d'un matelas protecteur, constitué de tourbe ou de déchets industriels biologiquement actif, qui drainera les eaux de pluie et accumulera les radiations solaires.

★ 2° A l'intérieur, en installant des placards fermés contre les façades pour améliorer leur isolation; en ménageant la possibilité de réduire la température de certaines pièces d'un bâtiment quand elles sont inutilisées: baisser la température des pièces la nuit et dormir à 17° est plus sain.

Ces réductions cycliques ou occasionnelles de température et la remontée en température rapide qui doit précéder l'utilisation peuvent être contrariées par une forte inertie thermique du bâtiment, inertie que pourtant nous vantons plus loin; dans certains locaux d'utilisation diurne, lieux de travail (fig 61), ou d'utilisation épisodique (salles de spectacle ou de sports, résidences secondaires), il sera intéressant de réduire l'inertie thermique quand on ne pourra pas profiter d'énergie gratuite par façades et toitures légères ou isolation à l'intérieur des maçonneries.

Fig. 61 in-occupation hebdomadaire d'une école



On peut aussi jouer en regroupant les parties de l'habitation consacrées au sommeil au centre du plan (fig.), solution qui synthétise tous les avantages : la nouvelle surface de refroidissement entre la partie nuit et le reste de l'appartement est bien inférieure à celle du jour, entre appartement et extérieur. Le reste de l'appartement, dont on néglige le chauffage nocturne, fait office de tampon très efficace par sa bonne isolation extérieure et son inertie thermique ; les besoins nocturnes de chauffage peuvent ainsi être divisés par deux. L'inconvénient de ce genre de solution est que les chambres ne sont plus éclairées ni ventilées directement de l'extérieur : effet psychologique de l'éclairage en deuxième jour, nécessité d'une ventilation mécanique, intéressante par ailleurs ; de plus, cela nécessite une certaine isolation thermique entre la partie nuit et le reste.

L'application simultanée de toutes ces recommandations sera la plupart du temps impossible. Mais elles montrent que, pour un habitat individuel, les pertes par les parois peuvent aisément être divisées par deux par rapport aux usages actuels.

★★ 2.2 les pertes par renouvellement d'air représentent, dans les constructions courantes, à peu près la moitié des besoins de l'habitation par temps calme et jusqu'aux trois quarts par vent fort. Elles sont directement proportionnelles au volume d'air neuf à chauffer et au nombre de degrés dont il faut augmenter sa température initiale. Elles ont deux causes distinctes :

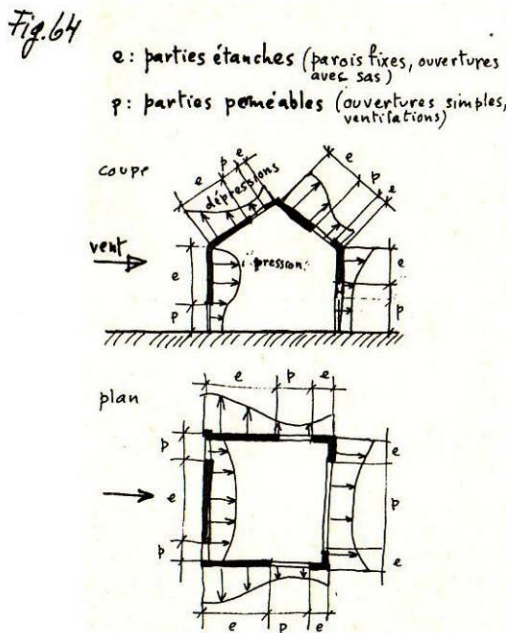
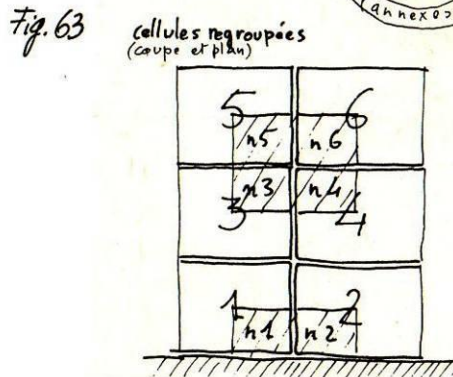
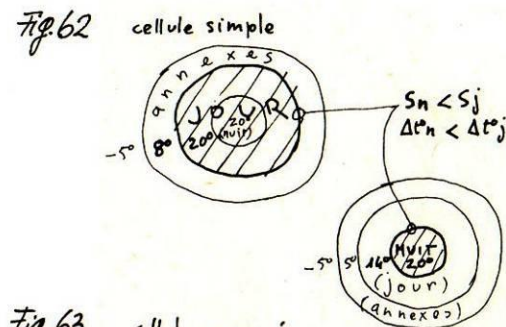
★ (2.2.1) le renouvellement hygiénique de l'air qui est nécessaire, mais dont le volume horaire est, la plupart du temps, excessif.

Il faut officiellement 60 m³ horaires pour un séjour et 30 m³ pour une chambre, mais les prises d'air actuelles sont en général surabondantes et soumises à l'influence du vent ; il faut adopter des prises autoréglables ajustées aux volumes réels et éviter de les placer sur les façades exposées au vent (fig.). Cette ventilation naturelle, fonctionnant sur le principe du thermosiphon est variable en fonction des différences de température. En plus, il faudrait pouvoir faire varier le renouvellement en fonction des besoins de l'instant : inoccupation temporaire, production limitée de vapeurs ou d'odeurs...

★ (2.2.2) les infiltrations d'air froid aggravent le renouvellement de manière intempestive, surtout quand il y a du vent.

Il faudra donc choisir un site abrité des vents froids (fig.), prévoir un sas à l'entrée principale, assurer l'étanchéité à l'air des joints de préfabrication, (même des maçonneries traditionnelles, qui peuvent être poreuses), et surtout des menuiseries, qui devront être disposées sur les façades les moins exposées aux vents dominants (fig.) ou, puisque leur orientation dépend surtout de l'ensoleillement, protégées par des coupe-vent. On rejoint ici 2.1.1 ; elles devront aussi être du type « à étanchéité à l'air améliorée » et, quand ce sera possible fixes, au moins partiellement. Une légère surpression artificielle du bâtiment réduit les infiltrations.

Les volets sont souvent aussi des causes d'infiltrations, soit quand, pour les fermer on doit ouvrir les fenêtres, soit, dans le cas de volets roulants, dont le dispositif de commande intérieure est souvent le lieu d'infiltrations, en même temps que pont thermique.



§2. Formes générales basées sur les principes de l'écodesign.

(1) Minimum de dépenses - développer les espaces requis avec le minimum de surface exposée à l'extérieur.

L'hémisphère est la forme qui répond de façon idéale à cet objectif car on utilise la plus faible surface d'enveloppe pour une surface de plancher donnée. Les igloos de l'Arctique, les habitations troglodytes et les abris en terre des tribus indiennes aborigènes de l'Amérique du Nord sont des exemples de l'utilisation d'une telle forme dans la construction primitive. Ce même objectif (réduction des pertes thermiques) peut aussi être atteint par des normes d'isolation sévères, par un enterrement partiel de la maison, par des toitures couvertes de neige ou de gazon, par le zonage des espaces intérieurs, et par un plan compact comme dans le cas d'une construction à deux niveaux.

(2) Maximum de gain solaire en hiver:

L'utilisation de la surface extérieure d'un bâtiment pour obtenir un gain de chaleur solaire nous amène à préférer aux formes rondes ou carrées des plans allongés qui présentent une plus grande surface d'exposition au soleil d'hiver. Cela est possible en agrandissant la façade sud du bâtiment afin d'installer sur les murs verticaux ou inclinés, ou encore, sur la toiture, des pièges solaires passifs ou des capteurs solaires actifs.

Il existe, cependant, une limite à l'allongement d'une forme compacte du point de vue de l'efficacité thermique. A partir d'un certain point, les pertes de chaleur par la surface extérieure agrandie dépassent les gains en chaleur solaire. Austin Whiller, un

chercheur des maisons solaires expérimentales du M.I.T., a déterminé que la limite à ne pas dépasser, pour un bâtiment de forme classique équipé de capteurs solaires, était un rapport de longueur sur largeur de 1,5 (le plus long côté étant orienté au sud). Au delà, les pertes de chaleur peuvent être supérieures aux gains solaires possibles. On pourrait étirer le plan du bâtiment dans le sens de la longueur si les coûts de construction n'étaient pas considérés et à condition d'augmenter l'isolation.

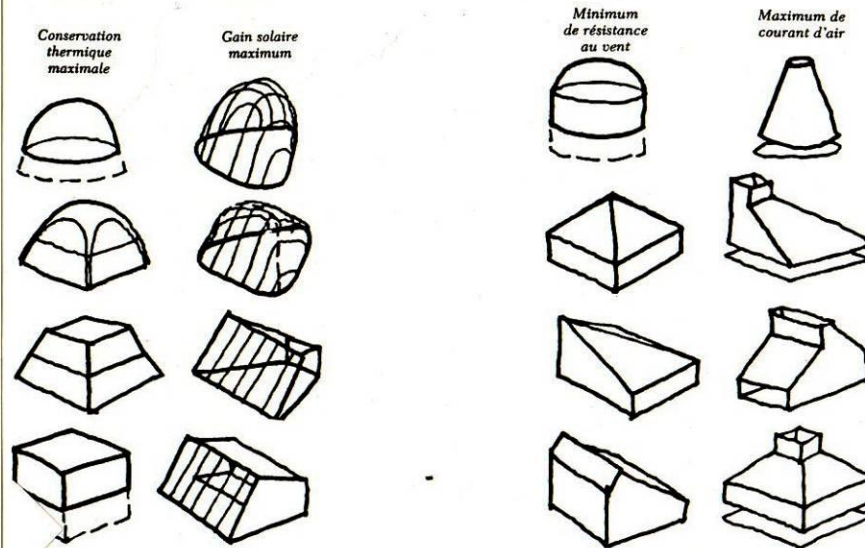
(3) Minimum d'exposition au vent:

Dans les zones soumises à des vents sévères, la forme du bâtiment pourrait être imposée par une exigence de résistance au vent minimale. Cela procure une résistance structurale aux forces du vent et, dans les climats froids, réduit les pertes de chaleur.

Les façades d'un bâtiment exposées à un vent froid perdent plus rapidement de la chaleur que des façades non exposées et d'autant plus rapidement que la vitesse du vent est grande. Il en résulte un accroissement du «facteur de refroidissement». Il est donc important de placer les ouvertures majeures sur la façade opposée au vent froid dominant afin de réduire les pertes thermiques par les joints des portes et des fenêtres.

Les abris des Indiens du Dakota présentent une forme idéale pour une résistance au vent minimale, si l'on suppose que les vents sont multidirectionnels. Les toits en pente des maisons anciennes avec leur côté le plus bas face au vent d'hiver dominant représentent une réponse valable dans le cas de vents violents. Les constructions enterrées, les patios protégés et le zonage à l'intérieur d'un bâtiment constituent d'autres solutions au problème du vent froid.

Fig. 65 Formes de maisons basées sur des conditions climatiques spécifiques.



(4) Maximum de courant d'air:

Dans les climats chauds et humides, la ventilation et les courants d'air sont des éléments de confort essentiels. Au cours des dernières années, l'utilisation de la ventilation mécanique a conduit à des conceptions de maisons qui négligent les techniques de climatisation naturelle telles que l'ombrage et la ventilation naturelle.

Mais, même dans le cas où la climatisation mécanique est employée, que ce soit un système à combustibles classiques ou un système solaire, on peut réduire la charge énergétique de la maison en prenant des dispositions pour le refroidissement et la ventilation naturels au moment de la conception de la maison.

On peut obtenir un agréable effet de ventilation et de refroidissement naturels lorsque l'air peut s'élever à l'intérieur d'un bâtiment et s'échapper à son sommet. L'air chaud évacué peut alors être remplacé par de l'air plus froid au niveau du sol. Cet effet de «cheminée thermique» fonctionne bien, même en l'absence de vent extérieur, à condition que les ouvertures de toiture et de façade soient bien proportionnées et convenablement disposées.

La tente indienne utilise de façon idéale, pour la ventilation naturelle, de tels dispositifs qui se contrôlent en réglant les ouvertures du haut et du bas. Les coupoles de toiture des fermes anciennes ont été mises au point pour répondre à la même préoccupation.

Ces formes bien adaptées nous montrent comment les bâtiments devraient être conçus en fonction des exigences du climat. Cependant, tous les objectifs de l'écodesign peuvent être combinés pour répondre aux conditions climatiques d'un lieu donné. Dans chaque climat, un grand éventail de conceptions peut satisfaire les mêmes exigences. Un plan de maison basé sur les objectifs de l'écodesign

peut donc être réalisé en réponse aux conditions particulières de chaque région climatique (fig. 66).

CHAPITRE 4: L'habitat solaire

Introduction.

Nous avons à plusieurs reprises présenté les travaux du C.S.T.C. relatifs à l'utilisation de l'énergie solaire active dans le bâtiment. Comme on le sait, un important programme de travail est en cours de réalisation actuellement sur ce sujet à la station de recherche. Ce n'est cependant pas la seule utilisation possible du solaire dans le bâtiment!

On reparle — aussi bien dans le milieu des architectes que dans le grand public — de techniques que possédaient fort bien nos ancêtres: la conception des bâtiments en fonction du climat.

L'énergie bon marché avait fait oublier les haies coupe vent ou les longs toits pentus adossés au nord. Actuellement l'intérêt se réveille et l'on s'applique à maîtriser l'emploi de l'énergie solaire passive pour l'orienter vers le chauffage des bâtiments.

DE QUOI S'AGIT-IL ?

Comment peut-on concevoir un bâtiment pour que l'ensoleillement incident soit utilisé au maximum en toute saison et sans intervention de capteurs ou d'autres cellules - actives - ? L'énergie solaire passive fonctionne le plus souvent sans accessoires mécaniques de transfert des fluides chauffés vers les pié-

ces de séjour. C'est le bâtiment lui-même qui constitue en fait le système d'économie d'énergie.

On distingue généralement trois - classes - ou systèmes comme le montre le tableau ci-dessous. Ce sont:

• la captation directe: l'ensoleillement est capté directement dans les pièces par les fenêtres, qui sont surtout orientées vers le sud. La chaleur captée est en partie diffusée directement dans la pièce, et en partie stockée dans des éléments de construction (murs, plancher ou paroi d'eau); ensuite, lorsqu'il n'y a plus de soleil, elle est rediffusée dans la pièce;

• la captation indirecte: dans ce système le soleil n'atteint pas directement les pièces à chauffer, mais chauffe une masse thermique située entre le soleil et la pièce à chauffer. Cette masse donne la chaleur stockée à la pièce, de là le terme « indirecte ». Des exemples sont illustrés dans le tableau; ce sont les parois thermiques de stockage (matériaux lourds, murs-trombe) ou certains systèmes de toitures;

• les serres: elles constituent un composant d'énergie solaire passive fréquemment utilisé, c'est une combinaison entre la captation directe et indirecte.

QUE FAIT-ON EN BELGIQUE ?

Il existe réellement d'importantes possibilités d'économiser l'énergie grâce à l'emploi des systèmes passifs, aussi les plus hautes instances se préoccupent-elles de la promouvoir.

La Commission des communautés européennes par exemple (Directeurat Général XII) a — en 1980 — organisé un concours européen axé sur la promotion de ce type d'énergie. Ce fut un grand succès de participation (223 participants) aussi ce concours est-il réédité cette année: les travaux retenus seront couronnés du 13 au 16 décembre prochain à Cannes (F) à l'occasion de conférences internationales sur l'énergie solaire passive.

La Communauté Européenne a d'autre part conclu une vingtaine de contrats de recherche avec les industries, les universités etc. sur ce même sujet. Pour la Belgique, ces travaux sont suivis par les SPPS (1).

Il existe également plusieurs groupes spécialisés qui suivent les performances de l'énergie solaire (active ou passive) dans les bâtiments construits. Grâce à son passé de recherche et sa compétence en la matière, le C.S.T.C. a été admis comme représentant belge dans l'un de ces groupes créés par la C.E.

Outre un inventaire des travaux de recherches effectuées en Europe sur ce sujet, ce groupe s'efforce présentement de rédiger un catalogue des produits qui peuvent être utilisés pour équiper des habitations en énergie solaire passive (2).

Rédaction de manuels ou préparation de conférences sont également au programme du groupe de travail: nous aurons l'occasion d'y revenir en temps opportun...

L'ensemble des travaux débouchera sur la présentation de documents destinés à fixer la ligne de conduite des travaux de recherche de la C.E. pour les années 83 à 87.

Ce n'est évidemment pas sans importance!

(La Construction N°37. 10/11/1982).

(1) SPPS: Services de programmation de la politique scientifique. Organisme public dépendant du Ministère de la Politique Scientifique.

(2) A l'occasion de cet inventaire, le C.S.T.C. a contacté quelque 300 firmes belges susceptibles d'être intéressées. Certaines ont peut-être été oubliées... Les personnes qui souhaitent voir leur produits repris dans l'inventaire peuvent prendre contact par écrit avec le C.S.T.C., rue du Lombard, 41 - 1000 Bruxelles. Mentionner: « Catalogue Energie solaire passive ».

Climats froids. La réduction des pertes de chaleur dans les maisons situées dans les régions froides peut être réalisée par une construction en partie enterrée, par une conception qui favorise les accumulations de neige contre les murs et les toits, ainsi que par un zonage de la chaleur avec l'utilisation de «sas» pour les entrées. Ces solutions ont été utilisées pendant des siècles dans l'habitat traditionnel dans le Nord de l'Europe, en Scandinavie et en Amérique du Nord.

Climats tempérés. Dans les climats tempérés, l'humidité qui s'accumule à l'intérieur du bâtiment et des matériaux de construction doit être contrôlée par l'exposition au soleil et au vent. Cela va en général à l'encontre des constructions enterrées qui peuvent être valables pour les climats plus froids.

Les serres et d'autres dispositifs de chauffage solaire passif peuvent être utilisés avantageusement dans les zones tempérées. Par ailleurs, le refroidissement qui n'est nécessaire que pendant une partie de l'été peut être assuré par des vasistas ou d'autres systèmes de ventilation qui réduisent les besoins énergétiques supplémentaires.

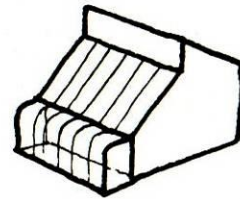
Climats chauds et secs. L'objectif principal, dans les climats chauds et secs, consiste à obtenir le maximum d'effet de refroidissement par l'exposition aux vents. Les murs comportant des fenêtres, des grillages et des persiennes protègent contre les tempêtes et les insectes, assurent l'intimité et permettent des éclairages variés. Les patios et les vasistas peuvent être utilisés pour ventiler la maison. Dans certains cas, le bâtiment est surélevé pour augmenter son exposition au vent et réduire l'humidité autant que pour l'isoler des insectes et des bêtes.

Les recommandations concernant la conception d'un bâtiment qui sont illustrées ici sont générales et elles doivent être adaptées soigneusement aux conditions spécifiques du site. Au moment de concevoir une maison, il faut savoir tirer parti des conditions climatiques particulières du lieu afin d'améliorer le confort par des méthodes naturelles.

on indiquera les moyens d'utiliser l'information sur le climat local avant d'entreprendre la construction d'une maison.

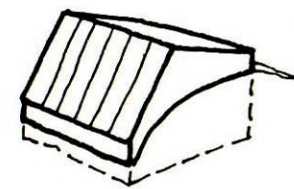
Pour les besoins particuliers du chauffage solaire en tant que partie de la conception du bâtiment, les exemples donnés sont basés sur les objectifs de l'écodesign qui permettent de répondre aux conditions climatiques tout au long de l'année.

Fig. 66. Conceptions de maisons basées sur la combinaison de conditions climatiques.



Climat tempéré

Conservation thermique modérée
Gain solaire modéré
Légère exposition au vent (contrôle de l'humidité)
Courant d'air modéré



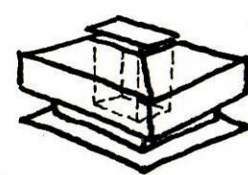
Climat froid

Maximum de conservation thermique
Maximum de gain solaire
Minimum de résistance au vent



Climat chaud et sec

Minimum de gain solaire
Résistance au vent modérée (poussière)
Courant d'air modéré



Climat chaud et humide

Maximum de résistance au vent
Maximum de courant d'air

Conception d'une maison solaire: considérations techniques et esthétiques

Le chauffage solaire peut être économiquement justifié dans les climats froids, car les coûts du chauffage domestique sont proportionnels à la rigueur de l'hiver. La discussion porte donc ici surtout sur la conception des maisons dotées de surfaces de captage moyennes ou grandes qui sont nécessaires en climats froids. Nous avons cherché, dans le cas des climats froids, la façon la plus esthétique et la plus pratique de disposer les capteurs sur le bâtiment. Il est bien évident que les applications seront beaucoup plus faciles pour les climats plus doux.

Les points les plus critiques dans la conception d'un système de chauffage solaire sont la dimension et l'emplacement des capteurs solaires sur le bâtiment ou à proximité de celui-ci. Même en utilisant les meilleurs capteurs solaires qui existent au-

jourd'hui, la surface de captage requise peut atteindre 40% de la surface de plancher à chauffer. Avec des capteurs moins efficaces, la surface de captage sera encore plus grande.

Si les capteurs sont fixés sur une structure quelconque, adjacente au bâtiment ou sur le sol, on élimine le problème relié à la conception de la maison, mais on doit alors considérer l'aspect des capteurs dans le paysage. De plus, les capteurs doivent être assez proches du bâtiment pour des raisons d'économie de construction et de rendement thermique.

Passif ou actif, un système de chauffage solaire dans les climats froids peut donc devenir embarrassant et coûteux si l'on ne prévoit pas soigneusement les conséquences de la surface de captage sur la conception du bâtiment. En conclusion, deux règles devraient être suivies pour la conception des maisons solaires.

Premièrement: Utiliser les techniques de l'écodesign pour diminuer les besoins de chauffage de la maison, avant de considérer les gains de chaleur solaire.

Deuxièmement: Utiliser les méthodes de chauffage passives seulement que l'on peut utiliser dans la conception fondamentale et la construction de la maison.

Les Systèmes fondamentaux de chauffage solaire.

Il y a 5 systèmes fondamentaux de chauffage solaire. En conclusion générale - lement que les deux premiers sont des systèmes «passifs» alors que les trois autres sont des systèmes «actifs». Dans la conception d'une maison solaire, il est en général intéressant de combiner les deux systèmes pour obtenir un chauffage efficace.

1. Les fenêtres solaires

Les fenêtres sont orientées vers le soleil d'hiver afin d'amener la chaleur directement à l'intérieur du bâtiment. Elles constituent les capteurs.

La température des surfaces et de l'air à l'intérieur est élevée de telle sorte que c'est la masse elle-même des matériaux du bâtiment qui sert à stocker la chaleur.

C'est le mouvement naturel de l'air qui distribue la chaleur à l'intérieur du bâtiment. Les surfaces intérieures, à condition de pouvoir absorber la chaleur, agissent comme éléments de stockage et comme radiateurs longtemps après que le soleil est couché ou caché par les nuages (figure 67).

2. Éléments de captage et de stockage intégrés

Les rayons du soleil réchauffent les éléments absorbants (tels que les murs de maçonnerie ou les réservoirs d'eau) et la chaleur ainsi emmagasinée se propage directement

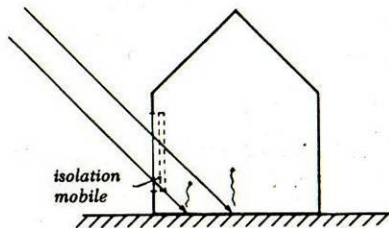


Fig. 67. Des fenêtres solaires orientées vers le sud fournissent un chauffage solaire direct.

à l'intérieur de la maison. Le mouvement naturel de l'air dans le bâtiment peut aussi aider à la distribution de la chaleur dans les autres parties de la construction (figure 68).

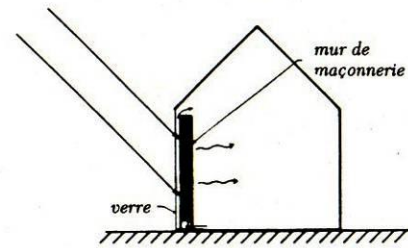


Fig. 68 Des éléments de captage et de stockage intégrés (par exemple: des fenêtres devant un mur de maçonnerie)

3. Capteur actif, système de stockage et de distribution

La chaleur du soleil est retenue à l'intérieur du capteur constitué, habituellement, d'un panneau métallique recouvert de verre ou de plastique. L'air ou le liquide qui traverse le capteur transporte la chaleur vers un dispositif de stockage. Quand le bâtiment a besoin de chauffage, la chaleur emmagasinée est alors distribuée à l'intérieur du bâtiment par des gaines de ventilation ou par tuyauterie et radiateurs (figure 69).

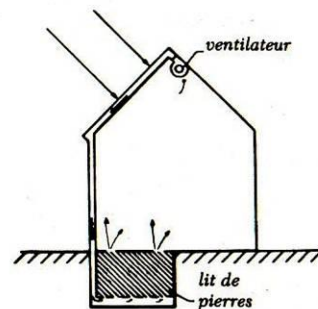


Fig. 69 A. Chauffage solaire actif: système de captage à air avec une zone de stockage constituée de pierres.

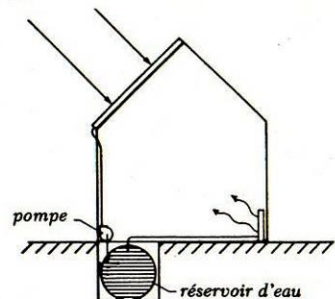


Fig. 69 B. Chauffage solaire actif: système de captage et de stockage à eau.

4. Les systèmes actifs avec un équipement de chauffage (ou de climatisation) spécial

Le transfert de la chaleur, du capteur au dispositif de stockage, se fait de la même façon que dans le cas précédent. Cependant, la chaleur emmagasinée est ensuite utilisée par un appareil mécanique de chauffage ou de climatisation, avant d'être distribuée aux différentes pièces du bâtiment.

L'exemple le plus courant d'un tel système utilise le rayonnement solaire pour «préchauffer» une pompe à chaleur qui élève la température de l'eau ou de l'air. Ensuite, on peut distribuer la chaleur à travers le bâtiment de façon conventionnelle (figure 70).

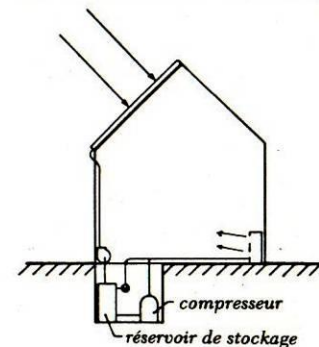


Fig. 70. Chauffage solaire actif avec un équipement spécial (par exemple: une pompe à chaleur).

Plusieurs méthodes, adaptées à ce genre de système, servent à la climatisation. L'une d'elles consiste à faire fonctionner, à l'aide de l'eau chauffée par le soleil, un système de refroidissement à absorption ou un quelconque moyen de réfrigération. D'autres méthodes ont pour effet d'éliminer l'humidité de l'air et de rendre ainsi les pièces plus confortables.

5. Les piles photovoltaïques pour la conversion électrique

Un cinquième système utilise des piles photovoltaïques qui, au contact de la chaleur solaire, produisent de l'électricité. Ce procédé est fondamentalement différent des techniques de captage de la chaleur décrites ci-dessus. D'un point de vue économique, les piles solaires ne sont pas avantageuses pour satisfaire aux besoins en énergie d'une maison. Cependant, les recherches en cours visent à assurer leur utilisation future (figure 71).

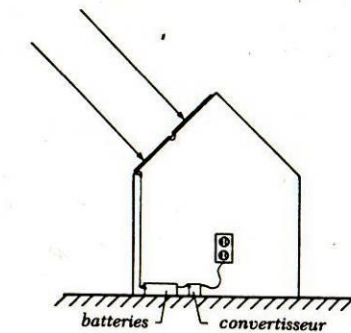


Fig. 71. Cellule photovoltaïque pour la conversion électrique de l'énergie solaire.

Résumé des Systèmes passifs et leur efficacité (Fig. 72)

EFFICACITE SELON LA SAISON	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT					
	HIVER	AUTOMNE	ETE	PRINTEMPS		
<p>APPORT D'UN ESPACE VOISIN</p> <p>Thermosiphon</p> <p>Serre</p>						
<p>APPORT INDIRECT</p> <p>Bassin d'eau sur toiture</p> <p>Mur trombe massif</p>						
<p>APPORT DIRECT</p> <p>Diffusion</p> <p>Non diffusion</p>						
	<p>Ce sont les systèmes passifs les plus utilisés : le soleil pénètre dans les surfaces habitées et son énergie est stockée dans la masse des murs, à l'intérieur. L'isolation thermique des murs de stockage se trouve à l'extérieur de la construction.</p> <p>Le mur de stockage est massif et sa face dirigée vers le sud est de tonalité foncée. De plus il est placé derrière une paroi vitrée. En arrière de la paroi vitrée et du mur se trouve l'espace habité. Le mur absorbe l'énergie solaire pendant la journée et la transmet à l'espace habité quelques heures plus tard. La durée de transmission de l'énergie à travers le mur est fonction de l'épaisseur du mur. Pour un transfert immédiat de la chaleur stockée, il faut ménager une communication entre l'espace mur-paroi et l'intérieur de la pièce. Le mur trombe à eau procède du même principe que le mur massif. L'eau ayant une capacité calorifique plus importante par volume que le béton ou la brique, la capacité d'absorption du mur s'en trouve accrue.</p> <p>Il s'agit du même principe que le mur Trombe à eau : la réserve de stockage est située sur le toit de l'immeuble. La seule voie de distribution de la chaleur est une radiation à travers le plafond métallique. Une isolation mobile est nécessaire afin de réduire une perte de chaleur en hiver et un surcroît de chaleur en été.</p> <p>Une serre constitue un espace orienté vers le sud et isolé des espaces habités. Occasionnellement, elle peut constituer une extension du logement. La masse de stockage peut être un mur Trombe ou peut être placée sur le plancher ou le plafond des espaces habités. Eventuellement, un petit ventilateur, en connexion avec la masse de stockage assure une distribution d'air vers les espaces habités.</p> <p>Le système par thermosiphon utilise le changement de densité du liquide absorbant afin de créer une circulation de fluide réchauffant la masse thermique de stockage. Cette masse thermique peut être placée dans le plancher ou dans le plafond de la pièce habitée.</p>					

ENERGIE SOLAIRE PASSIVE

- = Energie illimitée
- = Energie de remplacement
- = Energie gratuite et propre

I Introduction

L'habitat, dont l'état constitue le reflet tant des besoins que des moyens de la société, va devoir changer. En effet, l'énergie ne sera économisée de manière significative que si tout le monde y contribue et, en particulier dans l'habitat, qui consomme à lui seul 30 % de l'énergie. Le principe de la maison passive est d'emmagasiner la chaleur du soleil et de la dégager ensuite peu à peu pour le plus grand confort de ses habitants.

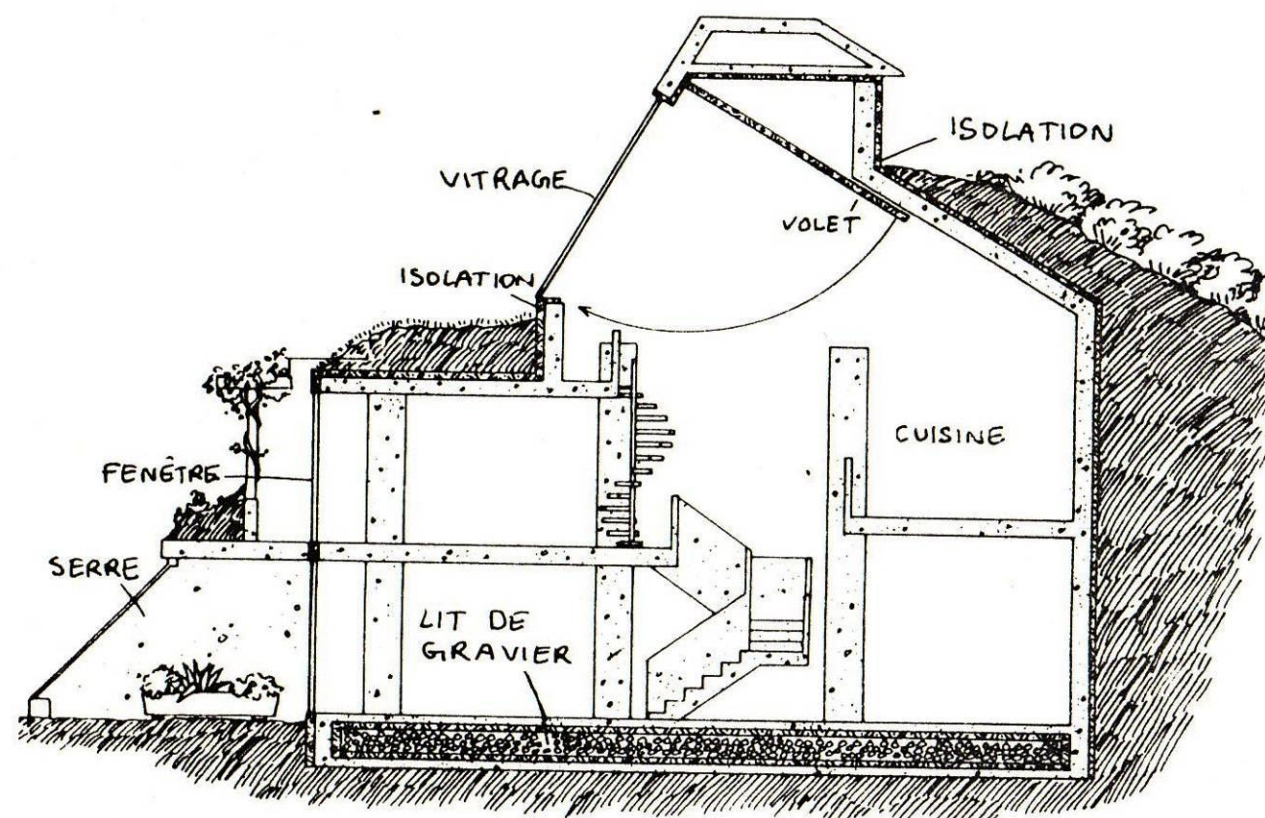


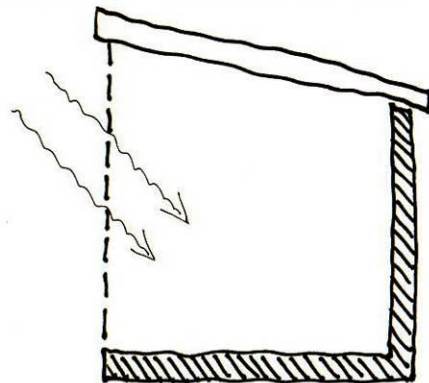
Fig. 73 La maison de Raven Rocks à Barnesville dans l'Ohio. D'après « The Solar Home book » de Bruce Anderson et Michael Riordan. Ed. Cheshire books.

II Principes:
généralux.

Le capter
+
Le conserver (éviter les déperditions)
+
Le stocker (pour utiliser la nuit ou les jours sans soleil)
+
L'utiliser c'est distribuer.

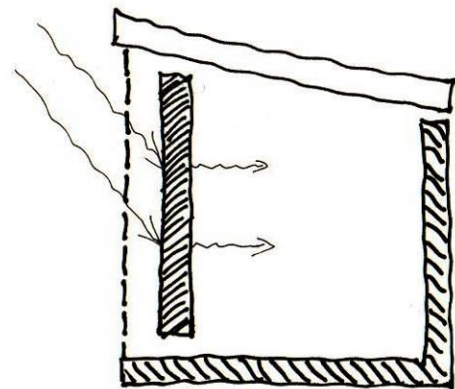
1. Capter le soleil (Fig. 74).

Le captage passif se fait simplement par éléments architecturaux. Les ouvertures dans les murs, fenêtres ou baies vitrées constituent la forme la plus élémentaire de captage — néanmoins, beaucoup de constructions solaires sont à la fois actives et passives —

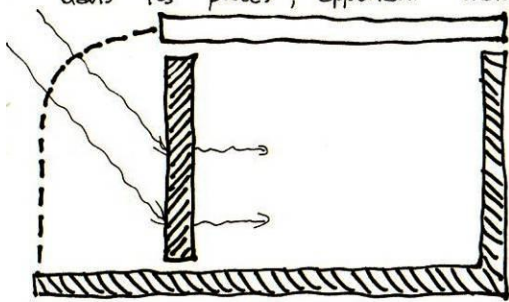


GAIN DIRECT

une ouverture dans une paroi orientée du SE au SO permet au rayonnement solaire de pénétrer directement dans les pièces, apportant chaleur et lumière



MUR ACCUMULATEUR



SERRE

les ouvertures en toiture permettent des apports de chaleur et de lumière dans des volumes situés en retrait de la façade Sud; les risques de fuites thermiques et de surchauffes estivales sont amplifiés avec les vitrages découpés dans les pentes de toiture: il faut prévoir une occlusion efficace

les puits de lumière permettent de canaliser le rayonnement solaire vers des espaces non directement exposés.

- emploi de surfaces réfléchissantes

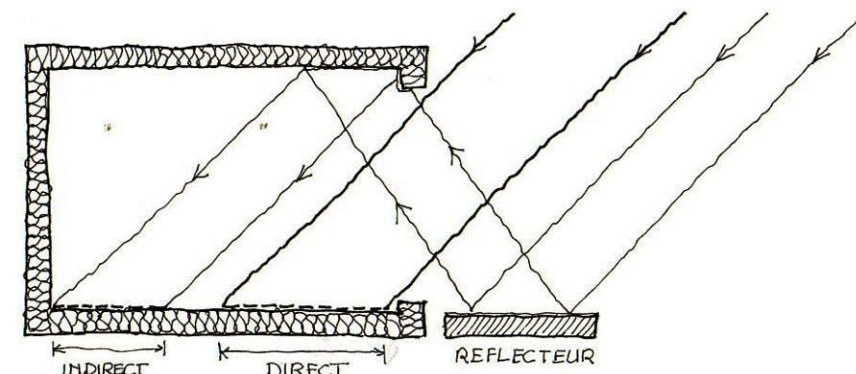


Fig. 75.

Matériaux réfléchissants :

- peinture blanche : 55 à 75 %
- neige : 64 à 74 %
- végétation : 25 %
- macadam : 18 %
- eau : 8 à 10 %
- Miroir parfait : 100 %

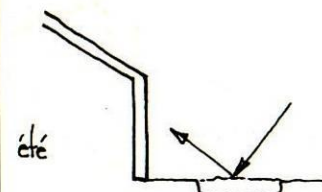
(Attention problème de surchauffe en été)

N.B. emploi d'une piscine comme surface réfléchissante

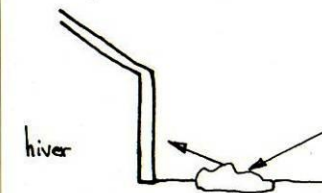
Fig. 76 → en été : rafraichit



→ en hiver : recouverte de neige



été



hiver

les réflecteurs

leur orientation ne permet le captage que de certains angles de rayonnement, ce qui représente à la fois une limite et un avantage d'autorégulation (rayonnements choisis d'avance) L'utilisation de réflecteurs à l'intérieur d'un bâtiment permet également d'obtenir un éclairage et un rayonnement calorifique indirect en dirigeant les rayons solaires vers le plafond ou certains murs.

Le réflecteur peut être une piscine (puits de lumière de l'eau : 8 à 10%)

- en été : rafraichissement
- en hiver : ensoleillement indirect (en présence de neige fraîche : 60 à 80% - neige dure : 40 à 70%)

Les réflecteurs

Les planchers, les toits et les murs des bâtiments, les surfaces environnantes et même les montagnes proches réfléchissent les rayons du soleil sur une construction. La chaleur du soleil réfléchi par la neige, l'eau, le sol ou la surface des toits, peut donc être utilisée avantageusement par les fenêtres solaires, les éléments de captage et de stockage intégrés ou les capteurs solaires. La figure donne des valeurs typiques de la réflectivité de certaines surfaces.

Des surfaces à haute réflectivité ont été utilisées pour augmenter le rendement des systèmes de captage passifs, comme nous l'avons vu dans le Drumwall. Des réflecteurs peuvent aussi être associés aux capteurs solaires actifs décrits dans les chapitres suivants.

Fig. 78. Lentille solaire dans un chalet de ski, Snowmass, Colorado. Ce système, fabriqué à l'aide d'un verre réfléchissant doré, concentre les rayons solaires devant l'entrée, de septembre à mars, pour faire fondre la neige et évaporer l'eau. (James Lambeth)

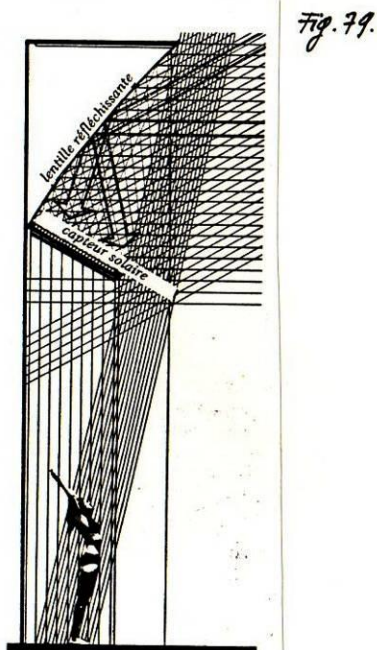
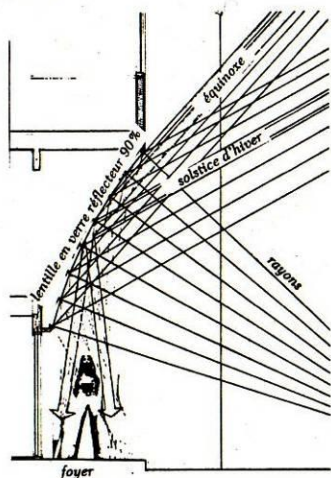
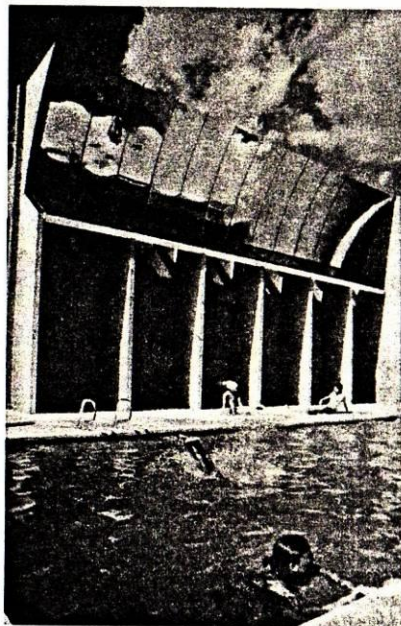


Fig. 80. Lentille solaire, piscine, Springfield, Missouri. Construit en acier inoxydable, cet appareillage concentre le rayonnement sur des capteurs solaires et sur la piscine. (James Lambeth)

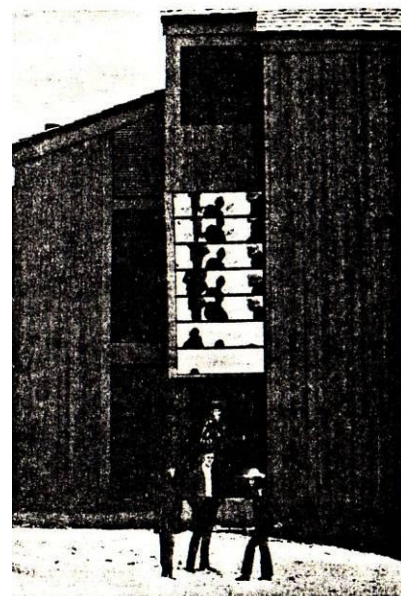


à la surface vitrée, est inférieure à 30°, on aura plus de chaleur perdue par réflexion vers l'extérieur que de chaleur transmise en arrière du verre.

L'angle d'orientation des capteurs solaires par rapport à la hauteur du soleil d'hiver est important si on veut réduire ces « pertes par réflexion » (pertes de chaleur utilisable qui est réfléchi vers l'extérieur par le vitrage du capteur). En changeant la position d'un réflecteur une fois par mois, on peut obtenir un meilleur angle d'incidence des rayons réfléchis, correspondant aux différentes hauteurs du soleil au cours de l'année. Le réglage d'un réflecteur est plus simple que le changement d'orientation d'une grande surface de captage.

Fig. 77. Réflectivité des surfaces.

miroir parfait (théorie)	1,00
aluminium poli (Alzak)	0,75-0,85
acier inoxydable poli	0,60-0,80
mylar aluminisé (propre)	0,60-0,80
neige fraîche	0,60-0,80
neige sale	0,40-0,70
bleu	0,10-0,25
eau	0,08-0,10



En tant que tels, les réflecteurs constituent une méthode passive pour augmenter le gain de chaleur solaire. À cause de leur usage généralisé pour améliorer le rendement du captage solaire (que ce soit par des fenêtres ou par des panneaux capteurs), il nous faut parler ici des réflecteurs afin d'expliquer comment ils peuvent s'intégrer à n'importe quel système de chauffage solaire.

Des panneaux à surface réfléchissante, placés selon un certain angle par rapport au soleil et par rapport aux capteurs, augmentent la quantité de rayonnement solaire qu'ils reçoivent. On peut ainsi capter les rayons du soleil sur une surface plus grande que celle du capteur lui-même. Les panneaux réfléchissants sont faciles à fabriquer. Il est

donc plus économique et plus pratique de les utiliser que de construire des capteurs de grande étendue qui fourniraient la même quantité de chaleur solaire.

Des projets de l'architecte James Lambeth montrent quel degré d'ingéniosité peut atteindre l'emploi des capteurs solaires. Dans un des projets, des réflecteurs servent à faire fondre la neige à l'entrée d'un chalet de ski (fig. 78). Dans un autre projet, ils fournissent de la chaleur à une cour extérieure et à une piscine (fig. 80).

Des panneaux réflecteurs plans sont faciles à fabriquer et à installer pour augmenter le gain de chaleur passif ou actif des capteurs solaires. Le rayonnement solaire direct tombant selon un faisceau de rayons parallèles, il est facile de prévoir leur cheminement. Sur une surface lisse, ces rayons sont réfléchis selon un angle égal à leur angle d'incidence. À différentes époques de l'année, le trajet des rayons directs reçus par un réflecteur (qui sont ensuite renvoyés sur une surface captante) peut donc être déterminé par un simple calcul géométrique. Il est ainsi très facile de déterminer la position optimale d'un réflecteur (fig. 81).

Les surfaces de fenêtres ou de capteurs réfléchissent aussi les rayons solaires incidents. Si l'angle de ces rayons, par rapport

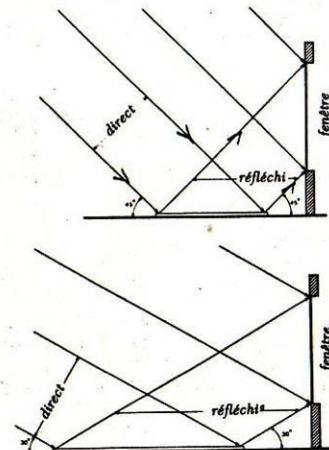


Fig. 81. Gain de chaleur réfléchi sur une fenêtre captante. L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. L'efficacité du réflecteur peut être connue en traçant le trajet des rayons pour des hauteurs de soleil données et une certaine surface de fenêtre.

Les réflecteurs sont efficaces dans tous les systèmes passifs décrits dans ce chapitre, en particulier, dans les régions du Sud pour lesquelles la hauteur du soleil d'hiver se situe aux alentours de 45°. Cet angle d'incidence n'est bon ni pour les murs solaires verticaux, ni pour les bassins de toiture horizontaux (fig. 82).

1. Panneaux réfléchissants isolants

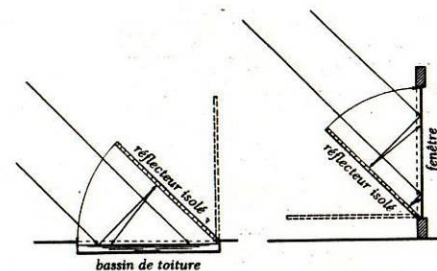
Dans le Drumwall de Steve Baer, le panneau qui retombe sur le sol (à la base d'un mur de captage) pendant les heures ensoleillées expose au soleil une surface réfléchissante en aluminium. On pourrait, idéalement, donner à ce panneau une certaine inclinaison, calculée pour tirer parti des différentes hauteurs du soleil pendant la saison de chauffage. La nuit et pendant l'été, le panneau est rabattu pour isoler le mur capteur. Les panneaux réfléchissants isolants sont bien adaptés aux fenêtres solaires et aux systèmes de captage et de stockage intégrés, puisqu'ils offrent un moyen simple d'accroître le gain de chaleur tout en fournissant une isolation efficace pour la nuit.

La surface réfléchissante la moins coûteuse est constituée par du mylar* aluminé collé sur un support rigide tel qu'un contre-plaqué. Des panneaux isolants en mousse de plastique rigide et ayant une surface réfléchissante précollée en mylar sont disponibles sur le marché. Un réflecteur plus résistant, mais plus coûteux que le précédent, peut être réalisé en acier inoxydable.

Les coûts d'entretien, de remplacement et de fonctionnement des surfaces réfléchissantes doivent être considérés, car elles sont susceptibles de se détériorer au contact de l'air pollué, de la poussière et des salissures de la pluie.

* N. de L.: Marque de commerce d'un plastique utilisé surtout en feuilles minces.

Fig. 82. Réflecteurs réglables ajustés pour augmenter la surface exposée au soleil (traits pointillés) ou pour réfléchir à nouveau, vers le capteur, des rayons qui ont subi une première réflexion par le vitrage lorsqu'ils se présentent sous un angle inférieur à 45° par rapport à la surface du capteur (traits pleins).



2. Des réflecteurs à optique pyramidale

Le nom d'optique pyramidale a été donné, par son inventeur, à un système de capteurs solaires qui emploie des panneaux réfléchissants pour concentrer le rayonnement solaire provenant d'une grande surface sur un petit capteur solaire. Ce système, mis au point par Eric Wormser, est appliqué dans une maison expérimentale à Stanford, Connecticut (fig. 83).

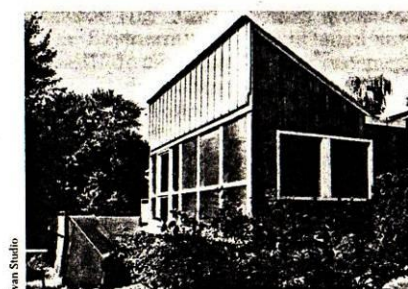
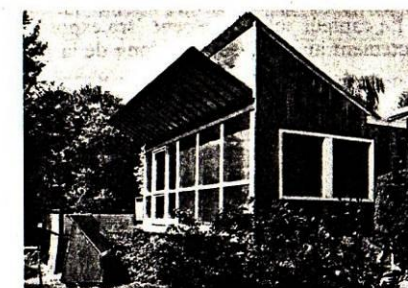


Fig. 83. Prototype de l'installation d'un système à optique pyramidale à Stamford, Connecticut. Les panneaux extérieurs sont fermés la nuit et quand il fait mauvais.

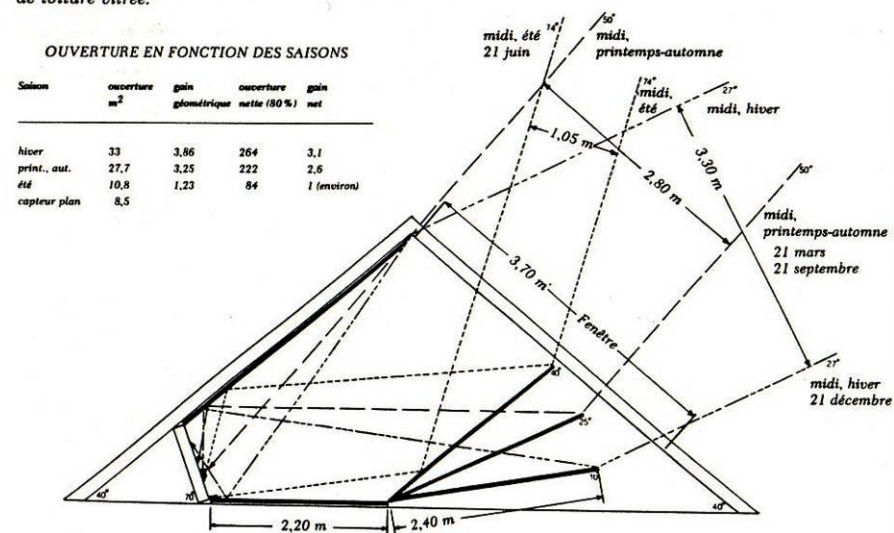
Un panneau réfléchissant s'ouvre automatiquement pendant les heures ensoleillées et se ferme quand le temps est défavorable ainsi que la nuit. La surface intérieure de la structure du toit est aussi recouverte de surfaces réfléchissantes (mylar collé sur du contre-plaqué). L'orientation adéquate des réflecteurs est telle que le rayonnement solaire qui tombe sur le toit ouvrant est réfléchi sur une petite surface de captage. Cette surface reçoit, en fait, la même quantité de chaleur qu'un capteur de taille plusieurs fois supérieure. Ce système permet de faire des économies appréciables car les capteurs sont beaucoup plus coûteux que les panneaux réfléchissants.

Le capteur solaire ne peut être exposé directement au soleil tout au long de la jour-

née à cause de l'ombrage créé par la structure du toit. Malgré cet inconvénient, la température de l'air à l'intérieur de la structure du toit s'élève car il s'agit, en fait, d'une poche d'air protégée du vent. Nous verrons, dans le chapitre suivant, que l'élévation de la température de l'air à proximité du capteur augmente directement son rendement.

Wormser a récemment modifié son système en installant les panneaux réfléchissants à l'intérieur d'une structure de toit recouverte de plastique (fig. 84). Cela protège les surfaces réfléchissantes de la poussière et de la pollution et facilite la manipulation de panneaux qui, autrement, auraient dû être conçus pour supporter le poids de la neige et l'effet du vent.

Fig. 84. Trajet des rayons dans un système d'optique pyramidale installé dans une structure de toiture vitrée.



2. Stockage de la chaleur

Pour stocker il faut un excédent de chaleur à un moment et un manque à un autre.

- Hiver, pas intéressant : on a besoin de toute la chaleur
- Demi saison, oui : chaud le jour, froid la nuit !
- Été, surchauffe : il faut ventiler

Matériaux de stockage

1. Eau : 1,16 KWh/m³·°C
2. Cailloux : 0,3 KWh/m³·°C pour une masse volumique $\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^3$
0,32 " " " " " $\gamma = 3000 \text{ Kg/m}^3$
3. Béton : 0,22 KWh/m³·°C pour une masse volumique $\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$
0,44 " " " " " $\gamma = 2000 \text{ Kg/m}^3$
4. Sel : chaleur latente (température de transition $T_t = 40^\circ\text{C}$)
sulfate de sodium $C_1 = 58 \text{ Wh/Kg}$

Circulation (pour l'air): - naturelle

- artificielle (emploi d'un ventilateur)

Le coefficient d'échange de chaleur entre l'air et la surface chaude (béton, acier) est d'autant plus importante que la vitesse de circulation de l'air est élevée.

Circulation (pour l'eau): - avec pompe

Le coefficient d'échange de chaleur avec l'eau est meilleur qu'avec l'air : 4180 J/Kg contre 1000 J/Kg. Il est donc intéressant de stocker l'eau et de chauffer celle-ci en la faisant circuler dans le mur exposé au soleil.

Il paraît logique de stocker l'énergie non immédiatement utilisable afin de la conserver disponible pour une utilisation ultérieure, les apports ne coïncidant pas avec les besoins. Les techniques actuelles permettent seulement un déphasage d'exploitation de quelques heures ou de quelques jours. Les techniques se divisent en deux groupes:

* les stockages de chaleur sensible : on chauffe un corps de forte inertie qui restera chaud un certain temps, fonction de sa t° et de sa masse.

→ murs et dalles en matériaux lourds, s'échauffant pendant la journée lorsqu'ils sont exposés au soleil, accumulant la chaleur qu'ils restitueront ultérieurement. Une inertie thermique est appréciable hiver et été car elle amortit les variations de t° .

⚠ ces matériaux sont les plus chers à l'achat et sur chantier, ainsi une calorie stockée pourrait devenir plus chère qu'une calorie produite !!

laves d'eau ou lits de galets participant à un système actif. Des bidons remplis d'eau inerte peuvent également être utilisés comme stockage passif. Disposés derrière un vitrage, ils sont exposés au soleil pendant les périodes d'ensoleillement d'hiver et restituent la chaleur accumulée, la nuit ; l'été les bidons sont exposés à la fraîcheur nocturne et isolés du soleil diurne afin de constituer des masses froides.

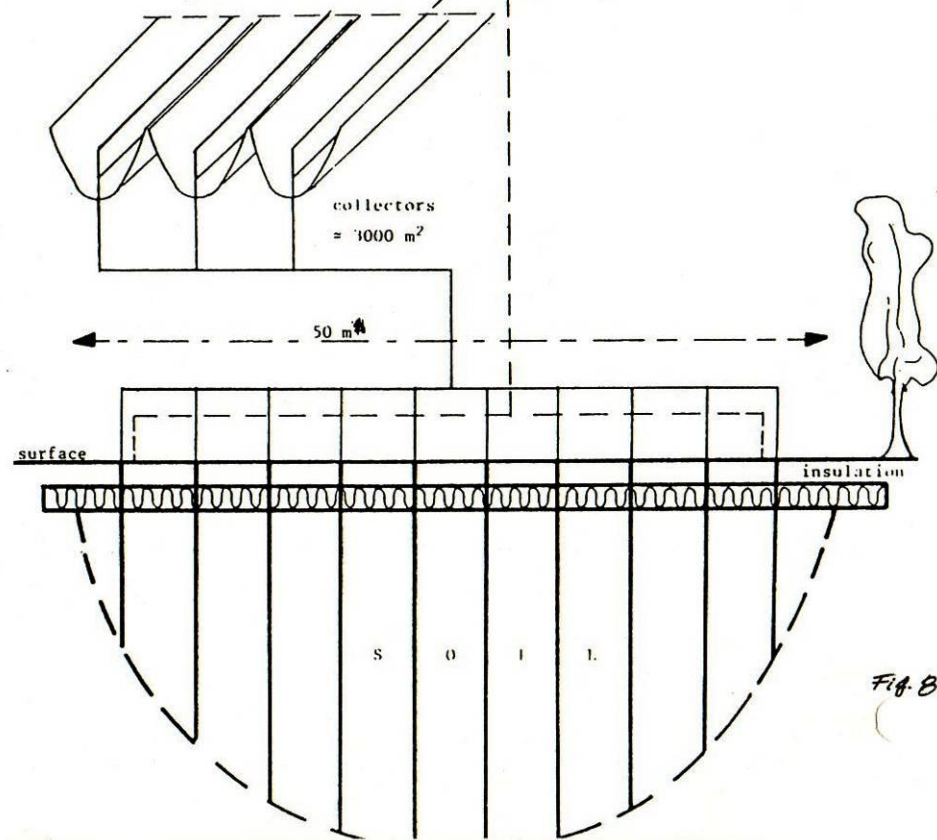
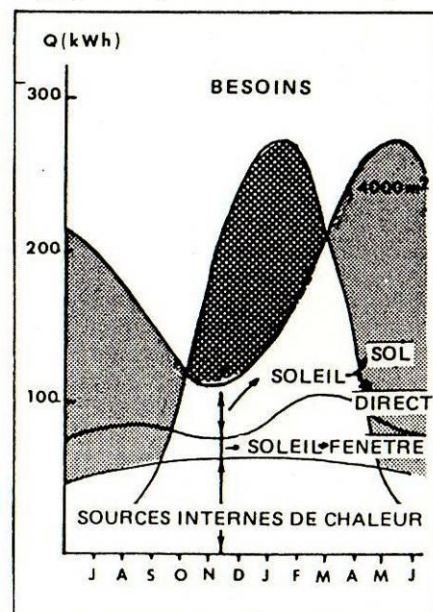


Fig. 85 Le sol peut servir de stockage intersaisonnier.
(d'après C. Den Ouden TNO-Delft)

Fig. 86 : Projet de la ville de Lalystad.



→ le sol : le stockage en profondeur peut être à air ou à eau : il suffit d'enterrer un réseau de gaines ou de tuyaux afin de pouvoir envoyer et récupérer des calories (on profite de l'inertie de la terre en faisant l'économie d'isolation).
Le coefficient d'échange de chaleur entre l'air et la surface est d'autant plus important que la vitesse de circulation de l'air est élevée (→ ventilateur).
Le coefficient d'échange de chaleur avec l'eau est meilleur qu'avec l'air.
(4180 J/kg contre 1000 J/kg)

* les stockages à énergie latente : l'énergie thermique "captée" lors du changement d'état solide-liquide d'une préparation saline est restituée lors du changement inverse qui se produit spontanément à même t°. Ce phénomène tend à s'épuiser après un certain nombre de cycles ⇒ renouvellement nécessaire.
⇒ difficulté d'intégrer ces éléments.

Quelques chiffres : béton : 0,22 kWh/m³°C pour $\delta = 1000 \text{ kg/m}^3$ $C_p = 1,16 \text{ kWh/m}^3$
Sulfate de sodium $T_c = 40^\circ\text{C}$ $C_i = 58 \text{ kWh}$

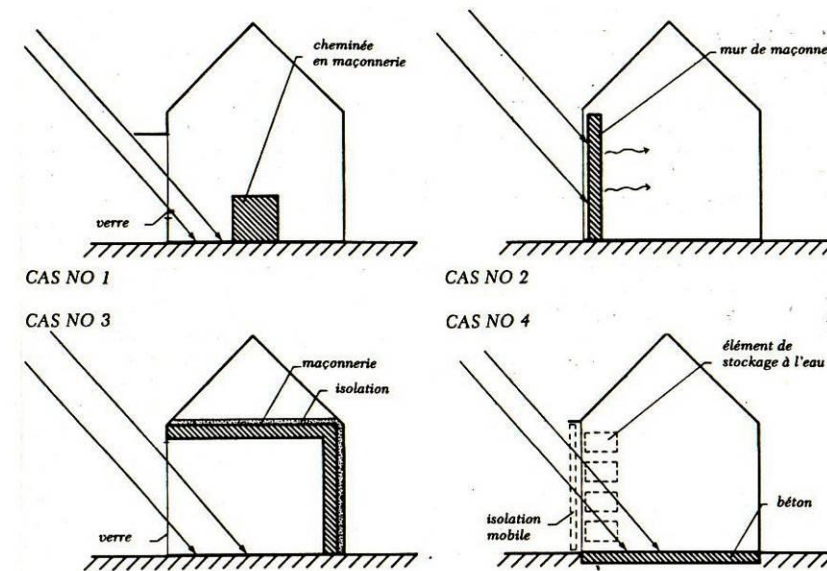


Fig. 87. Comparaison de 4 systèmes passifs

CAS NO 1) L'élément de stockage intérieur (une cheminée en maçonnerie par exemple) est simplement chauffé par l'air de la pièce (en dehors du trajet des rayons directs).
CAS NO 2) L'élément de stockage est exposé directement au soleil (maçonnerie recouverte d'un vitrage par exemple) sans contrôle d'isolation entre le stockage et la pièce.
CAS NO 3) L'élément de stockage est en dehors du trajet des rayons directs mais il fait partie de la structure du bâtiment (mur ou toit de maçonnerie) qui est isolée à l'extérieur.
CAS NO 4) L'élément de stockage est directement en contact avec les rayons du soleil mais il y a un contrôle d'isolation pour éviter les pertes thermiques vers l'extérieur (comme dans le système Drumwall).

cas pendant un an, pour le climat du Nouveau-Mexique. Le cas n° 3 présente un meilleur rendement que le cas n° 1, car la surface de l'élément de stockage exposée à la chaleur est plus grande. Les cas n° 2 et n° 4 sont supérieurs aux deux autres, à cause de l'effet de chauffage direct de l'élément de stockage. Le contrôle isolant utilisé dans le cas n° 4 lui confère le meilleur rendement à cause de la réduction des pertes thermiques durant la nuit. Le stockage par l'eau a été jugé meilleur que le mur de maçonnerie car il permet de conserver une température plus uniforme entre la surface extérieure (exposée au soleil) et la surface intérieure (donnant dans la pièce). La température élevée du mur de maçonnerie (comme l'a montré la figure) entraîne un dégagement thermique plus grand vers l'extérieur que vers l'intérieur.
On a démontré que des systèmes passifs de ce genre, munis de dispositifs isolants adéquats, étaient valables pour le chauffage résidentiel dans le Sud-Ouest des États-Unis. (Référence: Simulation Analysis of Passive Solar Heated Buildings, Los Alamos Scientific Laboratory).

Une étude par simulation, avec l'ordinateur, effectuée par J.D. Balcomb et J.C. Hedstrom, a permis de comparer le rendement de ces quatre

3. Distribution

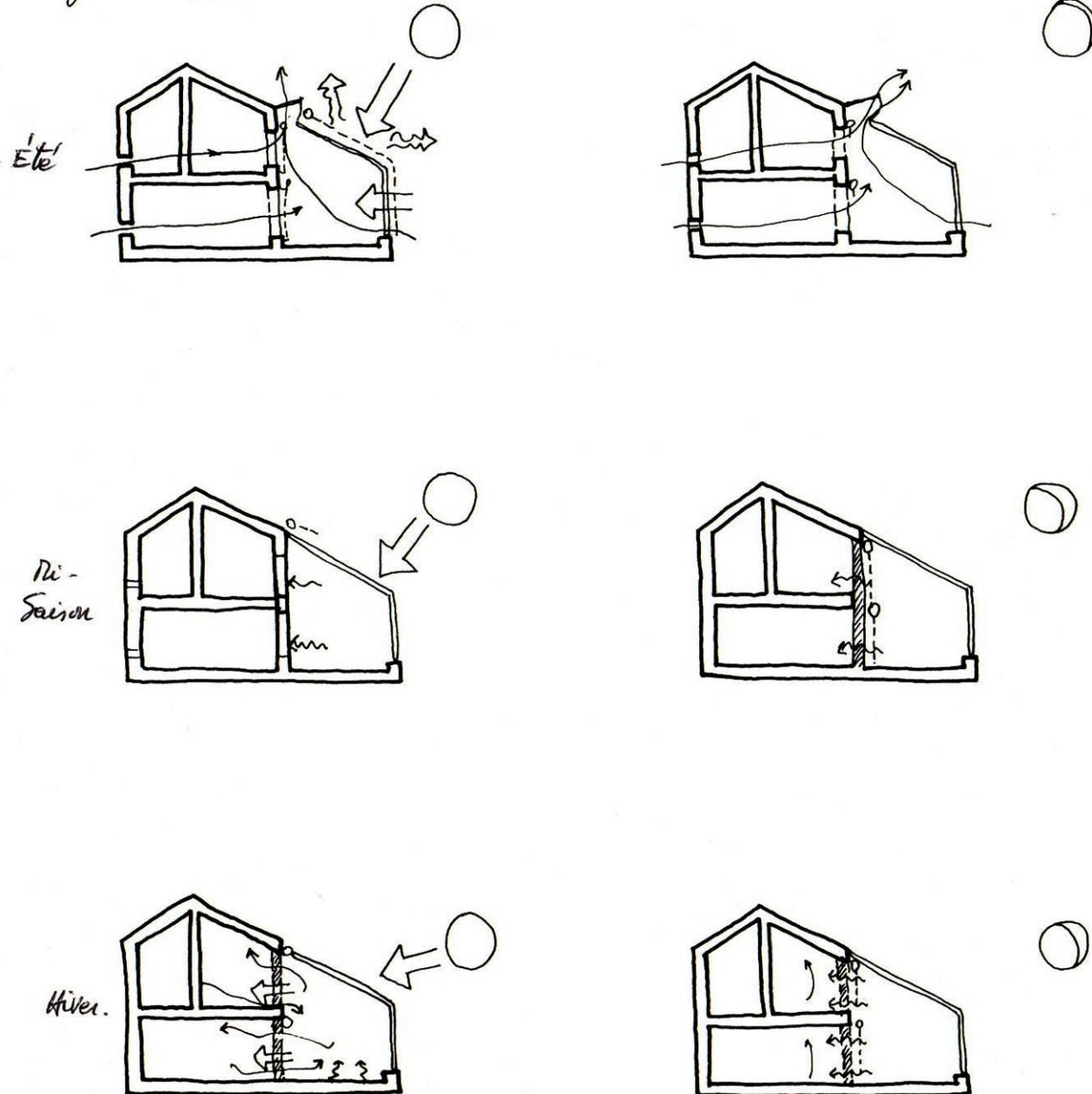
Dans le passif, la chaleur captée et stockée est rayonnée directement par les fenêtres, et en diffère par les maçonneries des murs ou celles des sols accumulateurs.

Les conditions de confort doivent rester constantes alors même que les conditions météorologiques varient. Les systèmes de chauffage à air utilisent un réseau de gaines véhiculant l'air chaud provenant des capteurs ou du stockage: une arrivée d'air chaud en hauteur (niveau plafond) et une reprise basse (niveau plancher) assurent des températures homogènes.

Divers équipements permettent d'adapter l'immeuble aux circonstances:

Fig. 88 Jour

Nuit



III. Les Systèmes intégrés.

1. Mur de maçonnerie recouvert par un vitrage

On peut utiliser comme élément de captage et de stockage intégrés un mur de maçonnerie peint d'une couleur foncée et recouvert extérieurement d'une vitre ou d'une feuille de plastique. Le mur de maçonnerie stockera la chaleur au cours des jours froids. La maçonnerie étant exposée directement à l'intérieur du bâtiment, la chaleur stockée dans le mur rayonnera vers l'espace intérieur avec un déphasage de plusieurs heures (fig. 89).

Cette idée de combiner le captage et le stockage dans un mur a été proposée en 1881 par E.L. Morse de Salem, Massachusetts. La même idée a aussi été exploitée en 1961 pour une partie du mur sud de l'école de Wallasey, en Angleterre. Le chauffage complet de l'école est assuré par l'effet combiné des fenêtres orientées au sud et

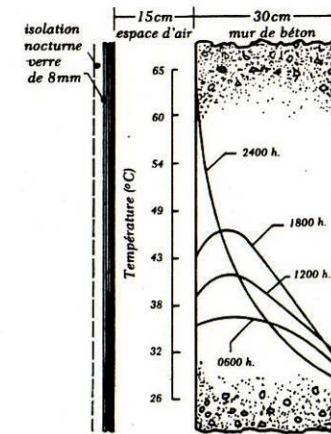


Fig. 89 Température d'un mur de maçonnerie vitré en fonction du déphasage, calculée par ordinateur. (Référence: Other Homes and Garbage, Sierra Club Books)

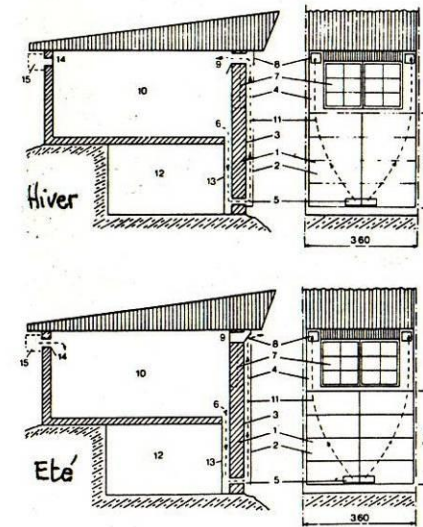


Fig. 90 Mur solaire de Michel-Trombe

Légende

1. mur de béton
2. vitrage
3. peinture noire
4. 11. écoulement de l'air
5. 6. ouverture
7. fenêtre
8. volets pour la ventilation d'été
9. arrivée d'air chaud
10. zone habitable
12. sous-sol
13. conduit d'air en contrebas pour éviter l'inversion nocturne
14. 15. arrivée d'air frais (en été) et filtre.

d'un système de murs à captage et stockage intégrés, de même que par la chaleur dégagée par l'éclairage artificiel et par les occupants eux-mêmes. Un système similaire a été installé dans des maisons à Odeillo, en France, par l'équipe d'architecte-ingénieur de Michel-Trombe (fig. 90).

Comme nous l'avons mentionné plus haut, la distribution de la chaleur provenant d'un mur de maçonnerie est difficile à contrôler et l'espace intérieur peut être surchauffé. Pour éviter cela, une solution consiste à ajouter un système d'isolation, fixe ou mobile, sur la face intérieure du mur.

Dans le cas d'une isolation fixe, la chaleur est conduite vers les espaces qui se trouvent au-dessus du mur capteur, s'il s'agit d'un bâtiment à plusieurs étages. Pour récupérer la chaleur emmagasinée dans le mur, on peut utiliser le phénomène de thermocirculation naturelle ou de «thermosiphon». On emploie ce terme pour décrire des systèmes de chauffage solaire qui sont basés sur le mouvement ascendant d'un fluide chauffé qui évacue la chaleur sans l'intermédiaire de pompes ou de ventilateur.

Un petit ventilateur est cependant plus efficace. En utilisant des ventilateurs, on peut conduire la chaleur vers les zones les plus froides du bâtiment ou vers une unité de stockage thermique.

Dans le cas d'une isolation mobile, constituée par des panneaux ou des volets, on peut utiliser l'effet radiant de l'élément de captage et de stockage intégrés en ouvrant le système isolant afin d'exposer la maçonnerie à l'intérieur de la pièce. S'il y a surchauffe, le chauffage radiant direct peut être interrompu en remplaçant les panneaux isolants contre le mur.

Des panneaux isolants peuvent aussi être ajoutés sur la face extérieure du mur de captage et de stockage. Ils contrôlent ainsi assez bien la surchauffe pendant les journées chaudes. Cela présente l'inconvénient de

perdre de la chaleur solaire, mais l'effet de chauffage du mur durera plusieurs heures après la fermeture des panneaux isolants. Ceux-ci présentent également l'avantage d'isoler le mur durant la nuit.

L'installation d'un mur de captage et de stockage intégrés en maçonnerie a été réalisée dans le New Hampshire en utilisant un système d'isolation Beadwall entre deux vitrages extérieurs en plastique renforcé de fibre de verre (fig. 91). La qualité isolante de la couche extérieure est particulièrement importante dans des régions aussi froides puisqu'elle empêche les pertes thermiques du mur au cours des journées sans soleil et pendant la nuit.

Les avantages des murs de maçonnerie à captage et stockage intégrés sont le faible coût de leur construction (puisqu'il s'agit d'éléments standards) et la facilité avec laquelle ils peuvent être intégrés à la conception d'un bâtiment conventionnel. Des couleurs autres que le noir peuvent être employées, à condition qu'elles absorbent bien la chaleur (le rouge ou le bleu foncé par exemple).

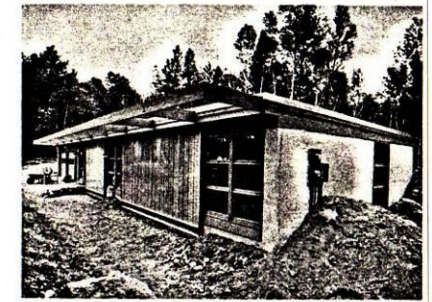
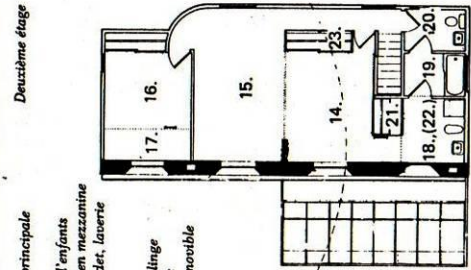
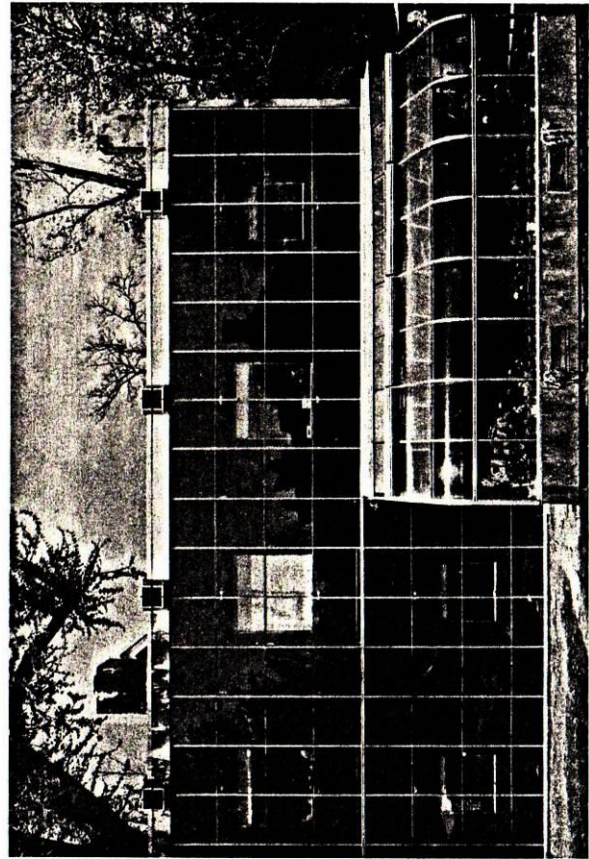


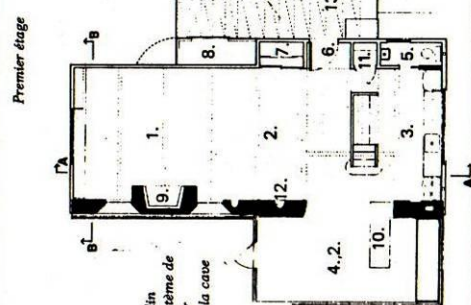
Fig. 91. Résidence Tyrrell, Bedford, new Hampshire (1975). Un système isolant Beadwall entre deux plaques de plastique renforcé de fibre de verre est placé devant un mur de béton. Concepteur: Total Environmental Action.

En plus du problème du contrôle de la chaleur, les murs à captage et stockage intégrés présentent un autre inconvénient: ils occupent une grande partie des murs ensoleillés du bâtiment (là où l'on désire habituellement placer des fenêtres, des portes-fenêtres, des balcons ou d'autres éléments architecturaux).

Ce dernier inconvénient a été surmonté par l'architecte Dave Kelbaugh dans sa résidence personnelle à Princeton (New Jersey). Il a utilisé un système de mur de maçonnerie entièrement recouvert de vitrages, mais une serre et des fenêtres orientées vers le sud y sont intégrées (fig. 92).



- Deuxième étage
- 14. chambre principale
 - 15. bureau
 - 16. chambre d'enfants
 - 17. couchette en mezzanine
 - 18. lavabo, bidet, laverie
 - 19. bain
 - 20. W.C.
 - 21. armoire à linge
 - 22. rangement
 - 23. placard amovible



- Premier étage
- 1. séjour
 - 2. coin repas
 - 3. cuisine
 - 4. serre
 - 5. W.C.
 - 6. entrée
 - 7. pendante
 - 8. rangement de jardin
 - 9. cheminée avec système de circulation de l'air
 - 10. trappe d'accès à la cave
 - 11. plaque
 - 12. niche à bougie
 - 13. airt de voiture

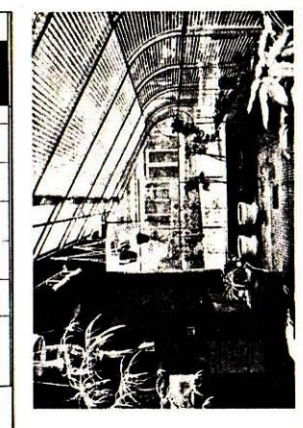
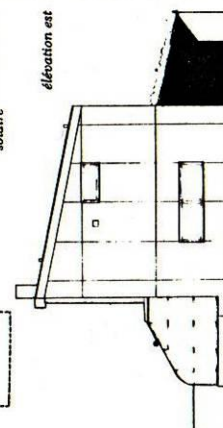
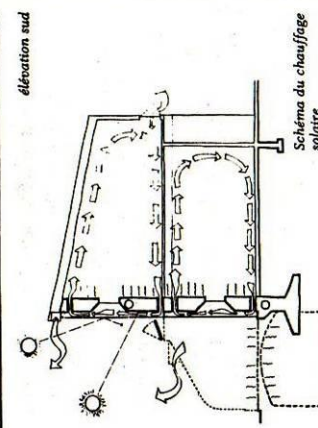
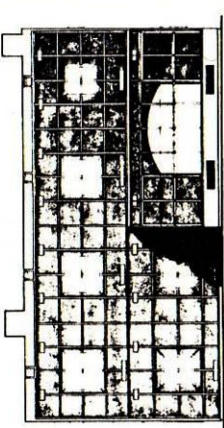
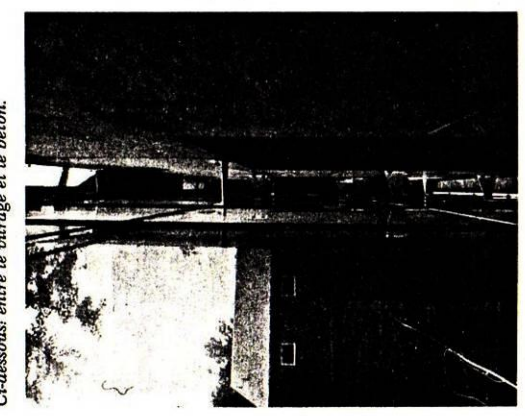


Fig. 92. Résidence Kelbough, Princeton, New-Jersey (1976).

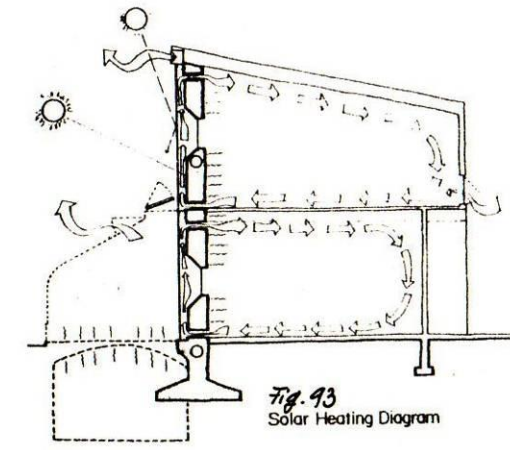


Ci-dessous: entre le vitrage et le béton.

L'ensemble assume tout à la fois les fonctions de captage, stockage et distribution. Des ouvertures en bas et en haut du mur permettent l'admission d'air frais intérieur qui s'échauffe entre le vitrage et le mur puis retourne dans la pièce à chauffer (convection naturelle).

- △ il est assez délicat
- de prévoir son comportement effectif
 - de bien le dimensionner
 - d'écarter efficacement les ouvertures afin d'éviter l'admission d'air froid, voire le fonctionnement inversé de l'ensemble aspirant l'air intérieur plus chaud!

Le mur de maçonnerie stocke la chaleur pendant les journées froides et ensoleillées. La maçonnerie étant exposée directement à l'intérieur du bâtiment, la chaleur stockée dans le mur rayonnera vers l'espace intérieur mais avec un déphasage de plusieurs heures.



La distribution de la chaleur provenant du mur est difficile à réguler et on peut arriver à surchauffer l'espace intérieur. Une isolation intérieure peut donc être utile pour contrôler la distribution de la chaleur. On peut également disposer un panneau isolant à l'extérieur pour éviter les déperditions nocturnes vers l'extérieur ainsi que les surchauffes mais avec le déphasage cité plus haut.

Le rendement du mur trombe peut être amélioré de plusieurs manières :

1. passer de la circulation naturelle de l'air à une circulation forcée par un ventilateur
2. placer une plaque métallique devant le mur, l'air circulant entre la plaque et le mur
3. recouvrir cette plaque avec une substance sélective, elle doit bien absorber le rayonnement de courte longueur d'onde mais émettre peu dans l'infrarouge
4. employer l'eau pour prendre la chaleur, l'eau circule dans des tuyaux placés dans le mur.

2 Drumwall

Le mur de captage et de stockage intégrés décrit ci-dessus utilise une masse de maçonnerie comme élément de stockage thermique. Mais on peut aussi employer des réservoirs d'eau. Cela a été réalisé dans la maison solaire de Steve et Holly Baer près d'Albuquerque au Nouveau-Mexique (fig. 94). Le système, appelé Drumwall (mur de barils), est constitué par des barils de pétrole récupérés qui sont remplis d'eau et supportés par une structure métallique verticale. L'ensemble se trouve derrière une paroi complètement vitrée. La surface des barils exposée au soleil est peinte en noir. La chaleur solaire est donc absorbée puis transférée lentement vers l'intérieur, après le coucher du soleil (fig. 95).

Les espaces vides existant entre les barils et la structure permettent de voir dehors et ils laissent la lumière et le soleil pénétrer directement à l'intérieur de la maison. Le matin, le rayonnement solaire qui atteint directement l'espace intérieur fournit un chauffage plus rapide que dans le cas d'un

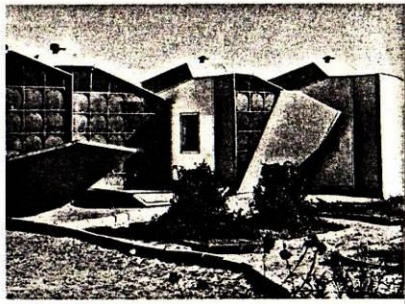


Fig. 94. Le système Drumwall de la résidence de Steve et Holly Baer (1972). (Zomeworks Corporation)



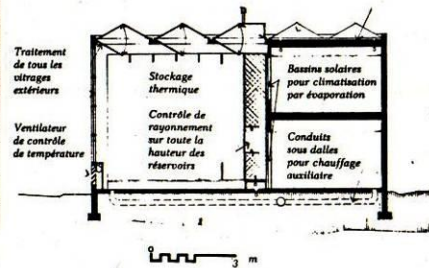
Fig. 95. Le système Drumwall, vu de l'intérieur.

mur plein. Par ailleurs, l'eau a la capacité de stocker plus de chaleur que la maçonnerie, pour un même volume.

Ce système combine donc les avantages des fenêtres solaires et des murs à captage et stockage intégrés. En fournissant de la lumière et une certaine visibilité, le stockage par barils peut surmonter les inconvénients des murs massifs à captage et stockage intégrés.

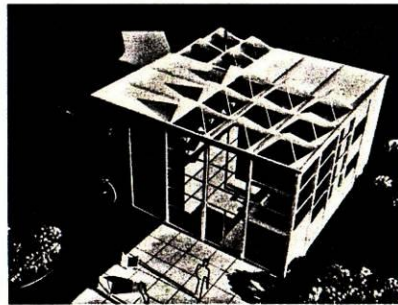
Les Baer contrôlent la surchauffe en été et les déperditions thermiques pendant les nuits d'hiver en manoeuvrant un panneau isolant extérieur. Ce panneau sert aussi de réflecteur lorsqu'il est en position ouverte, ce qui a pour avantage d'accroître le gain de chaleur. De tels réflecteurs, utilisés en même temps que des capteurs solaires, seront étudiés plus loin dans ce livre.

Une autre solution, du même genre que la précédente, a été proposée par la société Kalwall Corporation. Il s'agit de colonnes verticales constituées de réservoirs d'eau translucides absorbant la chaleur solaire. Ces colonnes servent de stockage thermique et procurent un certain déphasage, tout en permettant à la lumière de pénétrer. La conception de la maison de Bill Mingenback repose sur l'utilisation de telles colonnes d'eau (fig. 96).



Les murs de captage et de stockage intégrés, qu'ils soient en maçonnerie ou constitués de réservoirs d'eau, peuvent donc être utilisés avantageusement si on prévoit de larges surfaces vitrées. Le problème du réchauffement lent peut être résolu par des fenêtres orientées vers l'est, par une cheminée efficace ou un poêle à bois comme système de chauffage auxiliaire. Le problème de la surchauffe est surmonté en utilisant des panneaux isolants ou un système de distribution de l'air avec un ventilateur de faible puissance.

Fig. 96. Proposition des architectes Taos, utilisation de réservoirs de stockage verticaux remplis d'eau, exposés au soleil, munis de contrôles thermiques (TCA).



3. Le mur à billes

Constituée d'un dormant en bois supportant un double vitrage, le soleil traverse cette paroi transparente pendant la journée. La nuit, des billes de polystyrène remplissent cet espace, limitant les pertes thermiques. Le système de remplissage et de stockage est constitué de bidons de plusieurs centaines de litres - mis en pression ou en dépression par l'intermédiaire des moteurs d'aspiration. Lorsque les bidons sont en pression, les billes sont évacuées du bidon et soufflées dans l'espace entre les vitres. Lorsque les bidons sont en dépression, les billes sont aspirées et ramenées ainsi dans les bidons. Une petite communication avec l'extérieur a résolu tous les problèmes de buée. Néanmoins, le matin par temps froid, la vapeur d'eau située entre les vitres, se condense sur la vitre extérieure et givre. Il arrive parfois qu'en certaines conditions météorologiques il y ait collage des billes par électricité statique.

4. Les bassins de toiture

Un bassin de toiture est constitué par un réservoir en plastique transparent rempli d'eau et placé sur un toit métallique peint en noir. Ce système a été développé pour combiner le chauffage solaire d'hiver et la climatisation d'été par rayonnement nocturne. Conçu par Harold Hay et breveté sous le nom de Skytherm, ce système a été expérimenté en Arizona (1967) et en Californie (1973). Pour rendre une maison confortable, il utilise de façon ingénieuse, simple et élégante des phénomènes naturels pour le

chauffage et la climatisation. Ce système est adapté de façon idéale aux conditions particulières des climats chauds et secs, comme celui du Sud-Ouest des États-Unis. Dans ces régions, la climatisation d'été est une des principales exigences de la conception d'une maison; de plus, les températures nocturnes tombent considérablement en dessous des températures diurnes, en hiver comme en été. Des adaptations de ce système pour d'autres types de climats ont été mises au point par son inventeur.

Dans le système Skytherm (fig. 97), l'élément de captage et de stockage est aussi

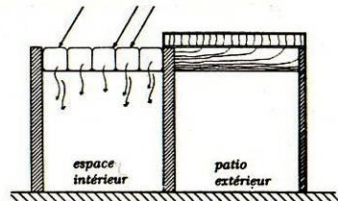


Fig. 97 A. journée d'hiver

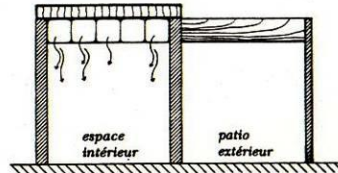


Fig. 97 B. nuit d'hiver

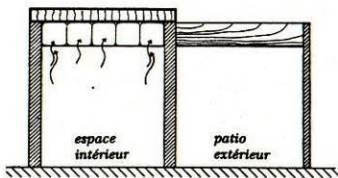


Fig. 98 C. journée d'été

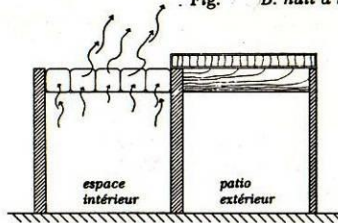


Fig. 98 D. nuit d'été

constitué par des sacs de plastique transparent remplis d'eau, d'environ 20 cm d'épaisseur. Ces sacs sont placés sur le toit plat de la maison. Des panneaux isolants mobiles sont fixés sur des rails au-dessus des réservoirs d'eau (fig. 97). Pendant les journées ensoleillées d'hiver, les panneaux isolants sont ouverts et les réservoirs d'eau sont ainsi exposés au rayonnement solaire. Accumulée pendant la journée, la chaleur peut ensuite rayonner vers le bas à travers le toit métallique, afin de chauffer l'intérieur du bâtiment. À l'intérieur, des murs de maçonnerie exposée permettent d'équilibrer les écarts de température et de contrôler la surchauffe.

L'été, la manipulation des panneaux est inversée. Ils sont fermés durant la journée pour ne pas être chauffés par le soleil et ouverts la nuit. Orientés vers le ciel, la nuit, alors qu'il fait plus froid, les «bassins thermiques» perdent leur chaleur par rayonnement. Lorsque leur température est inférieure à celle de la maison, ils absorbent la chaleur

du bâtiment, ce qui permet une climatisation naturelle en été à l'aide des mêmes éléments que ceux qui fournissent le chauffage solaire en hiver. Les seules parties mobiles du système sont les panneaux isolants qui peuvent être manoeuvrés manuellement ou automatiquement avec un petit moteur électrique.

La maison expérimentale du système Skytherm à Atascadero, Californie est occupée à l'année longue. Les conditions de confort pour la période de chauffage et pour la période de climatisation sont obtenues sans l'aide d'un combustible quelconque. Actuellement, cinq maisons Skytherm sont en cours de construction par la compagnie Self-Help Enterprises de Visalia, en Californie. Ces projets utilisent donc des systèmes d'énergie naturelle dans la conception de maisons qui sont construites par leurs propriétaires eux-mêmes, dans le cadre de programmes d'auto-construction.

L'utilisation de bassins de toiture pour la climatisation par rayonnement est valable en zones de ciel clair.

5. Les serres

D'une façon générale, on appelle "serre" une structure vitrée quelconque placée contre une maison.

La serre doit être isolée des espaces habités pour deux raisons :

1. pour éviter les surchauffes les jours ensoleillés
2. pour éviter les déperditions lorsque la température de la serre décroît.

Utilité de la serre

Il faut bénéficier de la chaleur solaire captée par la serre :

1. par une ventilation vers les espaces froids
2. par un stockage --- maçonnerie

Remarque : La rentabilité de la serre est fort discutable, en effet les apports calorifiques sont difficilement calculables, le prix de revient d'une serre est élevé; malgré cela si elle est bien conçue elle peut être un élément supplémentaire améliorant le confort d'une habitation aussi bien au point de vue espace qu'au point de vue thermique.

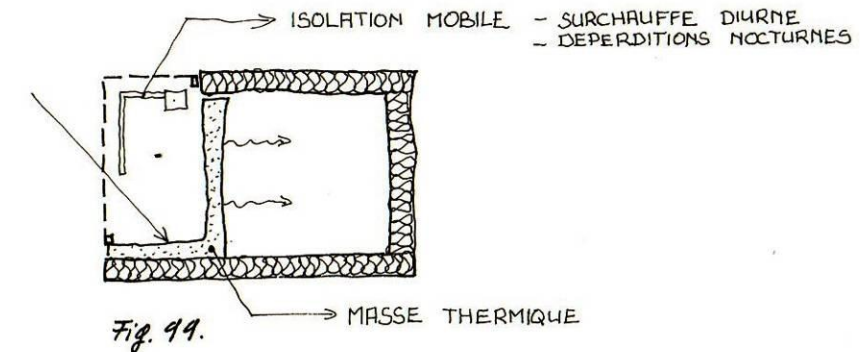


Fig. 99.

Surchauffe

L'emploi du solaire passif pose le problème de la surchauffe. Cela est dû en premier lieu à une mauvaise gestion de la chaleur produite qu'elle soit stockée ou non. Cette gestion est nécessaire à cause du déphasage thermique causé par l'inertie des matériaux d'accumulation utilisés.

Pour diminuer les risques de surchauffe, on peut :

- faire une bonne utilisation des locaux
- produire une bonne ventilation régulée
- utiliser judicieusement des panneaux isolants
- employer un système d'accumulation ou de stockage.

- captage : nécessite une bonne orientation, inclinaison et position du vitrage par rapport à l'espace à chauffer.
- stockage : dans les éléments lourds (matériaux à forte capacité thermique et coefficient de passage de chaleur aussi petit que possible pour éviter la conduction)
 ⚠ la moquette a une forte résistance thermique.
- distribution de la chaleur : par système rayonnant direct, par redistribution de l'air chauffé etc...
- dépense et surchauffe dues aux vitrages : il s'agit d'éviter la perte de calories qui se produit par rayonnement, convection et conduction.
 Il faut éviter que la serre rayonne sur la voûte céleste la nuit (phénomène du corps noir) notamment prévoir un vitrage à couches sélectives qui réfléchisse le rayonnement infrarouge à l'intérieur. Prévoir aussi à l'extérieur une couche isolante à forte résistance thermique (rideaux isolants) pour empêcher la conduction nocturne. (En été), il faut abaisser la t° par des protections extérieures, par une ventilation naturelle de la serre. On peut également abaisser la t° de l'air de ventilation venant du dehors en déchargeant les calories dans une mare à t° plus basse.

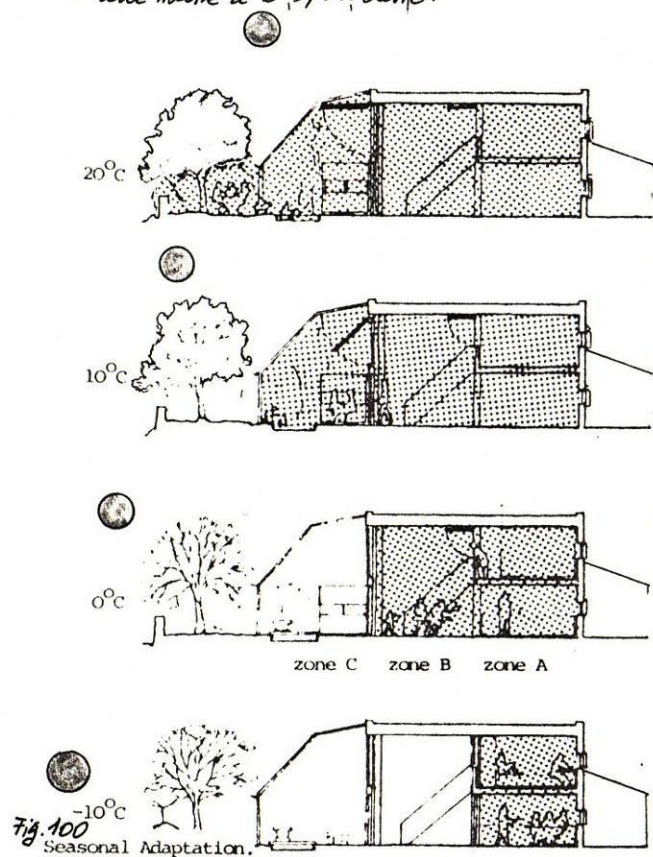
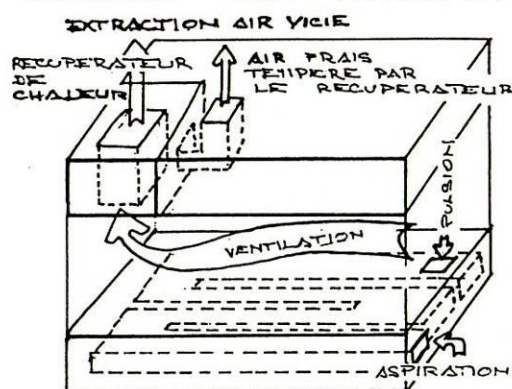


Fig. 101.
CIRCUIT DE L'AIR:
SCHEMA DE PRINCIPE



CANAL PERMETTANT L'ECHANGE DE CHALEUR.

Fig. 102
COUPE DE PRINCIPE

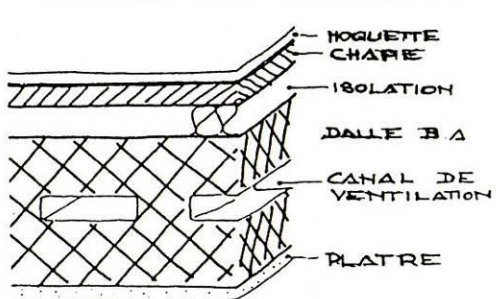
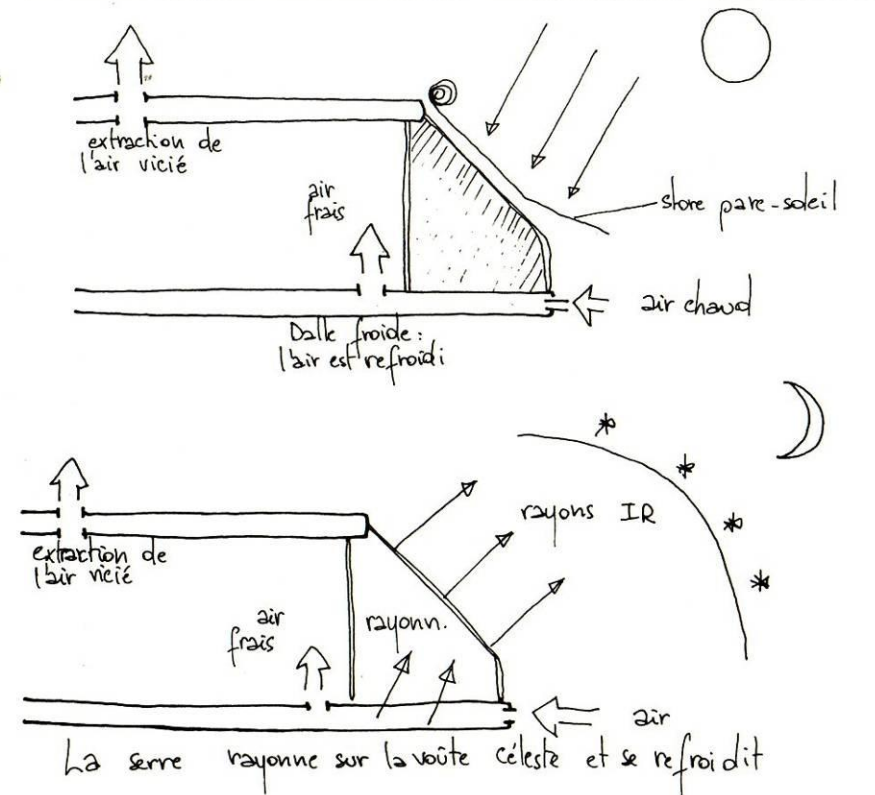
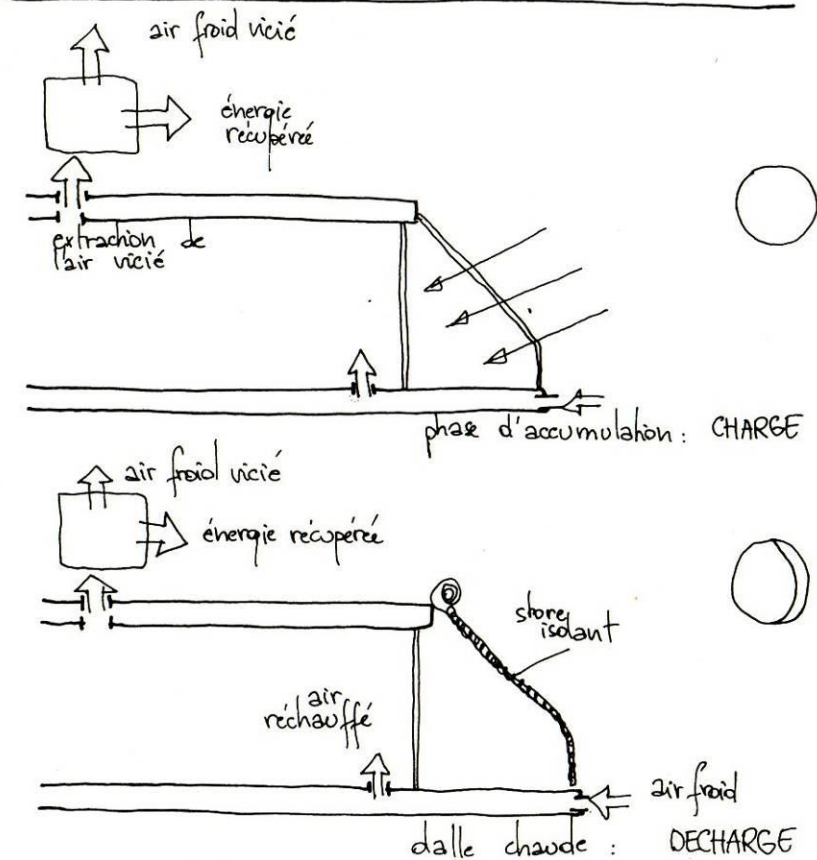


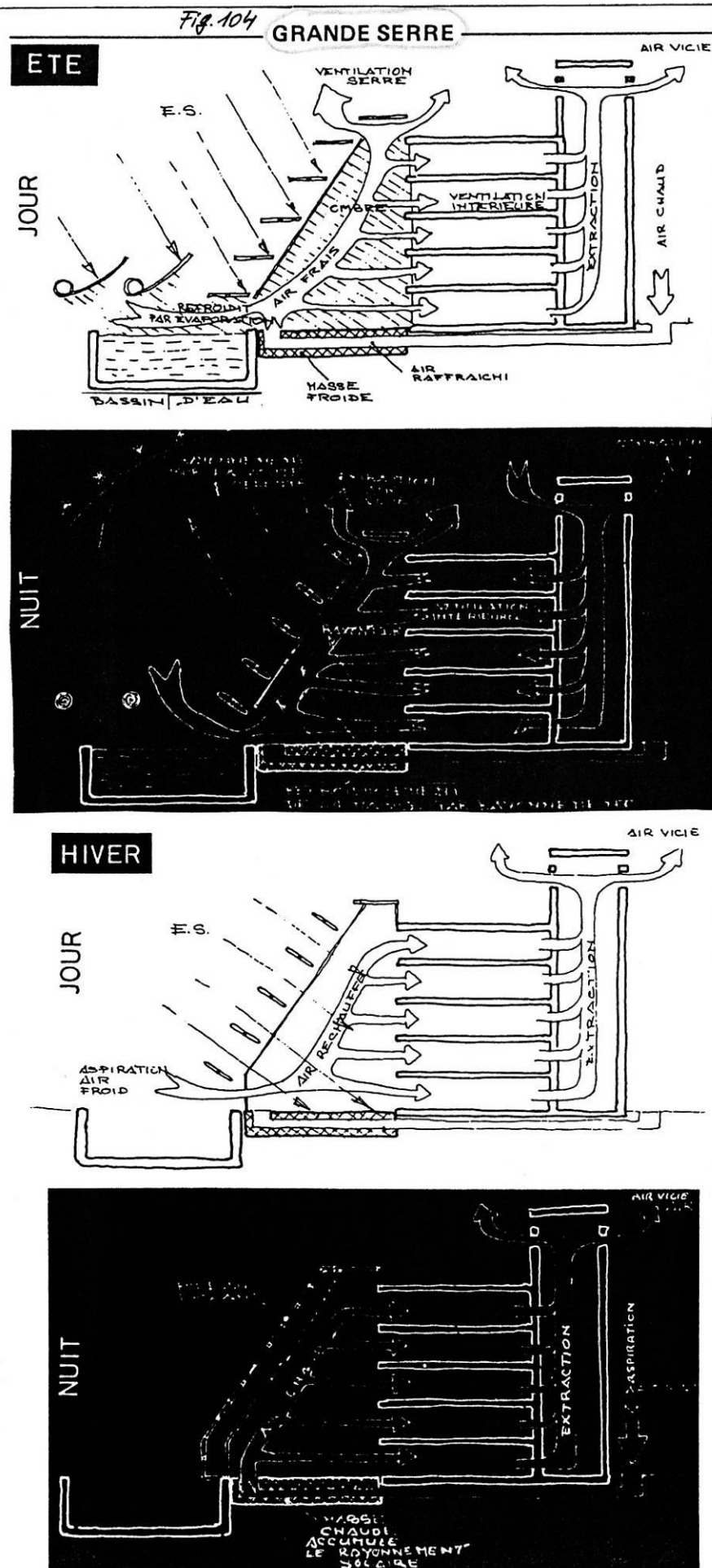
Figure 103.

ETE



HIVER





Annexe 1.

l'habitat solaire passif

"La Construction"
N°22. 3 Juin 1983.

Quand on a commencé à parler de l'exploitation de l'énergie dispensée par l'astre soleil, on a mis en branle des techniques « actives »: panneaux solaires, régulation, toiture énergétique, échangeurs, etc. Des techniques qui, bien qu'offrant des énergies gratuites, ont l'inconvénient d'engager des frais d'investissement de départ qui peuvent être élevés, sans parler de l'entretien ultérieur. Du solaire actif on est ainsi arrivé à redécouvrir un technique séculaire, celle qui consiste à concevoir l'habitat en fonction de son microclimat: c'est ce qu'on appelle l'architecture bioclimatique ou solaire « passive ». Une façon de récupérer des calories de manière presque gratuite. L'intérêt de l'approche solaire passive tient en effet à son aspect économique, c.-à-d. à un surcoût faible, voire nul, des éléments de captation, de conservation, de distribution de la chaleur gratuite. Chaleur qui provient des rayonnements solaires directs et diffus et des sources de chaleur dues aux activités humaines. L'ingénieur-architecte Francys Simon, Chargé de cours au Centre de recherches en architecture de l'UCL, fait pour nous le point sur la conception solaire passive d'un logement. Non pas de façon sophistiquée, mais en partant d'une simple opération: conception solaire passive + habitant actif = architecture bioclimatique.

CHOISIR LE SITE EN FONCTION DU MICROCLIMAT

Bien avant toute intervention d'un architecte, le maître d'ouvrage doit décider souvent lui-même du site dans lequel il souhaite soit construire, soit rénover un bâtiment, un logement. Ce choix dépendra bien sûr d'autres exigences propres à ce maître d'ouvrage, mais il en est une qui, trop souvent, est délaissée: l'exigence microclimatique. Directement dérivé du climat local, le microclimat se caractérise par des variations de température, de vents, de pluies et d'ensoleillement suivant les saisons.

Pour découvrir ce microclimat il faut analyser:

- la façon dont les anciens bâtiments se sont implantés;
- la dénomination des lieux dits sur les cartes et les plans cadastraux. Ceux-ci sont quelques fois révélateurs;
- les protections vis-à-vis des vents dominants et des bises du Nord (végétations persistantes; milieu bâti; colline, buttes; vallée encaissée);
- les obstacles à l'ensoleillement (pente et encaissement du terrain; contradiction entre vues et orientation Sud; rideaux d'arbres à feuillage caduque ou persistant); milieu

bâti portant ombrage; prescriptions urbanistiques permettant des constructions en hauteur).

De cette analyse, on pourra déduire si le lieu est propice à une construction énergétiquement valable, en diminuant la convection sur les faces, et en permettant un bon ensoleillement.

Une fois le site choisi en fonction du microclimat il faut savoir que les concepts du solaire passif se divisent en deux saisons. En saison de chauffe et aux mi-saisons, il faut successivement capter, stocker, garder et répartir la chaleur. Tandis qu'en été il s'agit de repousser et évacuer la chaleur.

EN SAISON DE CHAUFFE ET MI-SAISONS

Première exigence: capter la chaleur gratuite. La fenêtre est l'élément capteur principal, travaillant par effet de serre. De larges baies en face Sud équipées de vitrages isolants et d'une isolation mobile en période non ensoleillée sont thermiquement positives sur une année. Une ouverture généreuse au Sud (ordre de 15% de la surface plancher), compatible avec les autres performances constitue une des options fondamentales ayant une répercussion tant sur le choix des locaux à placer au Sud que sur la conception architecturale globale.

Les éléments vitrés en toiture sont aussi intéressants mais perdent plus d'énergie que les éléments vitrés verticaux. De plus, à la saison de chauffe l'angle d'incidence des rayons solaires peut être moins intéressant si la pente est faible ou nulle. De même, en été des nuisances peuvent résulter d'une surchauffe due à la pénétration du soleil directement par ces ouvertures.

Deuxième exigence: stocker la chaleur captée. Tous les éléments de construction intérieurs et directement frappés par les rayons solaires peuvent accumuler la chaleur reçue en fonction de leur couleur, de leur masse et de leur conductivité thermique. Les éléments non frappés par le soleil pourront aussi stocker la chaleur qui leur sera transmise par convection de l'air réchauffé. Certains systèmes de stockage peu dispendieux peuvent s'envisager et améliorer ainsi l'efficacité de la capacité thermique normale de l'habitat. De tels systèmes doivent être étudiés en fonction du type d'occupation du logement.

Troisième exigence: garder la chaleur. Pour conserver le plus longtemps possible la chaleur gratuite et celle apportée par l'installation du chauffage complémentaire, trois principes doivent être respectés au niveau de la conception.

D'abord un volume compact qui serait obtenu par le rapport de V volume total sur S surface des faces extérieures et dont le résultat doit être le plus grand possible, ceci afin de diminuer les surfaces de contact avec l'extérieur.

Ensuite une configuration auto-protectrice du plan. Les espaces de

vie, demandant la température de confort la plus élevée, devront être bien ensoleillés et bien isolés (en permanence sur les faces NO - N - NE, en alternance sur les faces SO - S - SE). La protection permanente se réalise à partir des autres espaces de vie ou des espaces plus techniques disposés sur les faces NO - N - NE: ce sont des **espaces-tampons**. La protection en alternance peut se réaliser à partir d'éléments mobiles isolants ou du repli de la vie familiale sur l'espace de vie le plus central de l'habitat.

Enfin une **isolation thermique**. C.-à-d. que diminuer la conduction de chaleur à travers les parois extérieures par l'interposition d'un matériau isolant ($\gamma \leq 0,07 \text{ W/m K}$) amenant les coefficients de transmission calorifique K de parois et de toiture à des niveaux très bas (ordre de: $K \leq 0,40$ à $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$) permet de compléter les deux mesures précédentes. De plus, l'isolation maximale des parois vitrées aux périodes non ensoleillées est importante. Nous noterons que les deux premiers principes énoncés ci-dessus ne demandent aucun matériau ni main-d'œuvre complémentaire. Quant au troisième, on ne peut plus parler de surcoût de l'isolation car son amortissement est très rapide au vu des prix des combustibles quels qu'ils soient.

Quatrième exigence à respecter en saison de chauffe et mi-saisons: répartir la chaleur. Suivant le rythme de vie de la famille, il peut être intéressant de veiller à éviter des surchauffes solaires durant l'absence des occupants. Il est possible de prévoir une distribution naturelle de la chaleur dans l'ensemble de l'habitat en disposant le plan de façon à permettre une thermocirculation naturelle de l'air chauffé en face Sud vers la face Nord. Ceci peut se faire par les pièces en communication ou par des bouches à air comme nos parents en pratiquaient dans les plafonds du séjour pour préchauffer les chambres. Il est cependant essentiel que la circulation soit complète et que l'air refroidi redescende pour être réchauffé à nouveau et que les habitants comprennent le mécanisme et l'utilisent.

EN ETE

En été le premier principe consiste à repousser la chaleur. En période estivale, les faces Sud verticales vitrées reçoivent relativement peu d'ensoleillement et ne causent guère de nuisances. Les faces SE et SO sont plus délicates et demandent des protections extérieures (pare-soleil, ou arbres à feuilles caduques). Les vitres inclinées en toiture ou en serre deviennent des supercapteurs en été et il faut alors soit les occulter par l'extérieur, soit les tempérer par une végétation à feuilles caduques, type grimpants ou tom-

bants. Les occultations intérieures sont, rappelons-le, nettement moins efficaces. L'isolation des parois collabore à cette limitation de pénétration de chaleur dans l'habitat. De plus, si l'on veille à tenir le bâtiment au frais, l'inertie thermique apporte un facteur intéressant à la régulation de température estivale intérieure.

Le second principe exige d'évacuer la chaleur. Il est évidemment difficile d'empêcher le réchauffement de l'air intérieur. Aussi doit-on prévoir une ventilation naturelle des locaux en jouant sur la différence de température et de pression entre les faces opposées du bâtiment.

DES HABITANTS ACTIFS

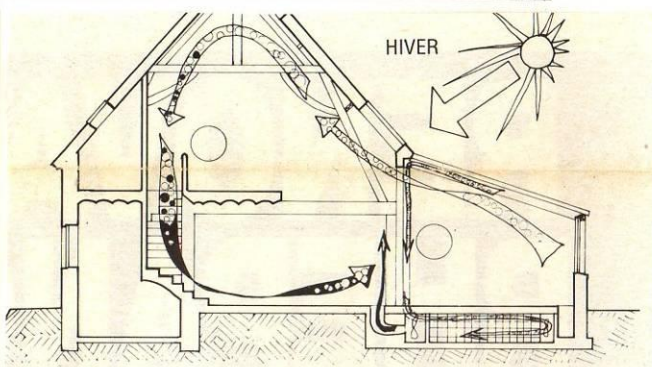
L'habitant doit être actif et dans la mesure du possible, être intégré dès le départ au processus de réflexion énergétique de l'architecture.

Pour ce faire il devra être conseillé pour choisir le site, le lieu sur lequel s'implanter. De même, le type de vie familiale et professionnelle devra être analysé de façon à pouvoir choisir les formules de captation, de stockage et de répartition de chaleur les plus adaptées aux rythmes d'occupation journalier et saisonnier. C'est en effet à cette étape de la conception que doit s'installer la symbiose entre la famille et le concept habitat.

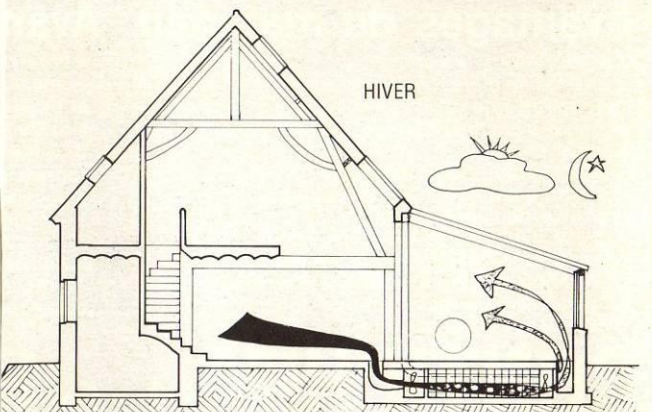
Il est néanmoins important que les occupants prennent conscience du fait que le bâtiment devra présenter des caractéristiques bioclimatiques différentes suivant l'heure et la saison. Certaines modifications devront dès lors être apportées par eux-mêmes de façon à optimiser le comportement « passif » du système « habitat ». Il est également nécessaire que lors de la construction les futurs occupants puissent observer la mise en place des divers systèmes afin de leur permettre de mieux comprendre leurs principes et leur fonctionnement. L'on recherchera ainsi à appliquer des systèmes simples, permettant une intervention facile des occupants. Par ailleurs certaines habitudes de décoration de fenêtres (voilage, rideaux) devraient être revues car elles constituent des écrans au rayonnement solaire.

CONCLUSION: DES POLITIENS PASSIFS DEVANT UNE TECHNIQUE ENERGETIQUE

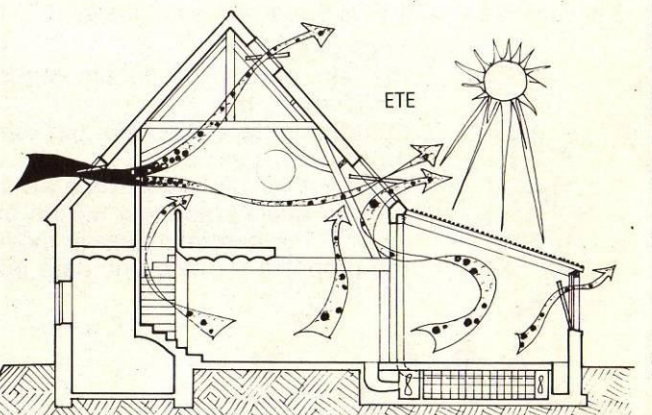
Finalement le solaire passif, c'est quoi? C'est un événement de tous les jours qui se vit au jour le jour. Il fait partie de la vie quotidienne. C'est la raison pour laquelle on a pu dire que rien de spectaculaire ne se manifeste en Belgique (voir à ce propos « La Construction » n° 13/83 p. 7).



(1) Thermocirculation naturelle
Circulation mécanique pour stocker la chaleur
→ AIR FRAIS OU REFRROIDI
← AIR RECHAUFFE



(2) restitution de chaleur du stockage
→ AIR FRAIS OU REFRROIDI
← AIR RECHAUFFE



(3) Ventilation naturelle transversale et protection solaire de la partie inclinée de la serre.
→ AIR FRAIS OU REFRROIDI
← AIR RECHAUFFE

Annexe 2.

Maisons bioclimatiques et économies d'énergie

Parmi les informations recueillies à Cannes (voir notre article ci-dessus) figure un excellent exposé de Monsieur Izard architecte-enseignant, du groupe ABC de Marseille reproduisant un condensé des erreurs les plus couramment commises dans la conception de l'habitat bioclimatique.

«...construire avec le climat», «construire plus près de la nature...» au nom de ces slogans d'un style très «mode» on arrive parfois à l'inverse du résultat recherché!

Les erreurs visibles (forme et couleur) et les erreurs invisibles (isolation et inertie thermique); les plus fréquentes sont rassemblées dans les croquis et dans les commentaires ci-après vraiment très explicites...

LES ERREURS VISIBLES LES PLUS FREQUENTES

1 - Mauvais coefficient de forme solaire. Une bonne performance en économie d'énergie ne passe pas uniquement par une surisolation des parois d'enveloppe ou par un surdimensionnement des parois caprices mais par un bon ratio parois déperditrices/parois caprices.

2 - Mur isolé peint en blanc. Le fait d'isoler un mur de séparation de serre permet de résoudre le problème des déperditions nocturnes d'hiver ou les apports de chaleur par conduction en été. Mais cela transforme la serre en capteur d'air dont la performance dépend surtout de l'absorption de la surface ou mur qui, ici, est très faible.

3 - Patio à vitrage zénithal. A l'instar des vitrages orientés à l'ouest, mais avec des effets encore plus marqués, un vitrage zénithal capte beaucoup d'énergie solaire en été et très peu en hiver. Mais les déperditions vers le ciel sont intenses en hiver et les apports solaires d'été sont brûlants en été.

4 - Verrière orientée à l'est. Le problème est identique à celui de la serre ouest au détail près que la surchauffe intervient au moment où la température extérieure est encore relativement fraîche, ce qui préchauffe le local au moment où il devrait garder la fraîcheur de la nuit.

5 - Serre blanche. Le rayonnement solaire incident sur une paroi blanche est réfléchi de 50 à 80 % et le rayonnement réfléchi traverse intégralement le vitrage de la serre. La quasi-totalité de cette énergie est donc perdue pour le système.

6 - Serre directement en contact avec une mezzanine. Cette solution ne permet pas d'augmenter la quantité d'énergie captée alors que les déperditions sont augmentées par rapport au cas où le vitrage est situé verticalement en façade. Par ailleurs, les surchauffes d'été de la serre ne peuvent pas être isolées de la partie habitable de la maison. Enfin, la stratification thermique due à la hauteur libre de la serre aboutit à une surchauffe permanente de l'étage supérieur.

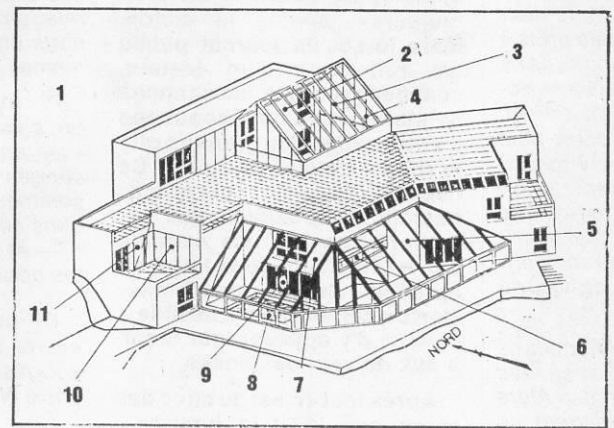
7 - Serre orientée à l'ouest. L'orientation à l'ouest d'une patio verticale fait que l'énergie solaire reçue est minimale en hiver et maximale en été: ceci correspond exactement à l'inverse du programme des besoins.

8 - Piscine dans la serre. La présence d'une piscine dans une serre augmente inutilement l'inertie thermique de celle-ci, crée des conditions favorables à des condensations permanentes sur la face interne du vitrage (cycle évaporation-condensation). Quant à l'espoir de pouvoir conserver une température d'eau compatible avec la baignade, il serait totalement vain.

9 - Ouverture orientée à l'ouest sans protection solaire. La problématique est la même que pour une serre orientée à l'ouest mais avec pénétration des rayons solaires à l'intérieur de l'habitation au moment où la température extérieure atteint sa valeur maximale.

10 - Mur capteur orienté ouest. Les conséquences sont les mêmes que dans le cas d'une serre et de baies orientées à l'ouest: le mur capte et stocke le maximum d'énergie en été.

11 - Mur capteur masqué. Il est préférable d'éviter les masques portants, ombre sur un mur capteur, l'énergie solaire reçue diminue alors que les déperditions demeurent.



LES ERREURS CACHEES

Les défauts d'isolation thermique. L'isolation thermique en général pratiquée dans le bâtiment. Des incitants y aident. Cependant, dans certains cas, on ne considère pas toujours que l'isolation thermique soit nécessaire.

• **LE CAS DES PAROIS ENTERREES:** le fait d'enterrer partiellement une paroi verticale, entraîne souvent la suppression de toute isolation thermique, or, la terre n'est isolante que sur une grande épaisseur. Tel n'est pas le cas des dalles recouvertes de terre ou des parois semi-enterrées.

• **LES PAROIS DE SEPARATION DES ESPACES TAMPONS:** Un espace tampon ne peut jouer un rôle thermique intéressant que si sa température intérieure est maintenue plus élevée qu'à l'extérieur par une source thermique extérieure (rayonnement solaire par exemple) et non par de la chaleur provenant de la partie chauffée de la maison. Il faut donc que la paroi séparant la partie chauffée de l'espace tampon non chauffé soit isolée.

• **LE DALLAGE SUR RADIER:** le terrain situé immédiatement sous une dalle peut servir de stockage thermique, mais il faut maîtriser les pertes latérales au moyen d'une isolation périphérique.

Les défauts d'inertie thermique. Même en respectant les formes et configurations favorables à un bon captage d'énergie solaire, la gestion de cette énergie captée dépend d'un dimensionnement correct de la masse thermique mise en œuvre dans la construction. Si l'inertie thermique est sous-dimensionnée les surchauffes sont certaines et le rendement de récupération des apports solaires chute, le confort thermique n'est pas assuré et il n'y a pas d'économie d'énergie. Si l'inertie thermique est trop importante, les apports solaires captés sont «noyés» dans la masse et leur effet est insensible mais les conditions de confort sont sauvegardées en été.

* Extrait du Moniteur des T.P. et du Bâtiment n° 2/1983 (Paris).

La Construction N° 5 — 4 février 1983

Annexe 3.

une enquête pleine d'enseignements! *La Construction*
N°44- 4/11/1983.

comportement des occupants et consommation d'énergie de chauffage

Un ensemble de 40 habitations sociales identiques a fait l'objet d'un travail de recherche sur l'impact du comportement des occupants sur leur consommation d'énergie de chauffage, entre 1977 et 1981.

Cette étude a été réalisée par le CRA (Centre de recherche en architecture de l'Université catholique de Louvain U.C.L. - Prof. De Herde) (*), en collaboration avec le C.S.T.C. (Centre scientifique et technique de la construction) et la compagnie locale de gaz et d'électricité.

Elle s'est tout d'abord basée sur l'ensemble des plans des maisons, sur la consommation théorique d'énergie de chauffage (en tenant compte des gains gratuits d'orientation et d'occupation), sur la composition des familles (nombre de personnes - âge - profession), mais aussi sur l'évolution des familles (naissances - départs), et sur les consommations réelles relevées pendant les quatre années.

Suite à ces premières analyses, une enquête sociologique non orientée a été mise au point, pour définir les causes des divergences entre la réalité observée et les résultats théoriques. Ces différentes études, accompagnées d'observations in situ, ont permis d'élaborer un ensemble d'hypothèses de conclusions, sur l'importance du comportement et du mode de vie des occupants sur leur consommation d'énergie de chauffage.

(*) Publié en septembre 83 par le CRA, place du Levant 1 - 1348 Louvain-la-Neuve.

Les logements étudiés.

Sur l'ensemble des 40 habitations faisant l'objet du travail, 34 sont des maisons mitoyennes du type I (hall d'entrée et garage au rez-de-chaussée, living et cuisine au 1er étage en contact avec le jardin, trois chambres au 2^{ème} étage); 6 sont des maisons du type II (living, cuisine, hall d'entrée et garage au rez-de-chaussée, trois chambres au 1er étage). Dans ce deuxième cas, seuls les garages sont mitoyens.

Pour chacune des familles — toutes locataires — le nombre de personnes, leur âge et leur profession ont été relevés, ainsi que l'évolution de leur composition depuis l'hiver 1974 (naissances et décès).

Pour tous les logements également, la consommation de gaz et d'électricité a été relevée: la statistique porte de novembre 1976 à avril 1981 inclus.

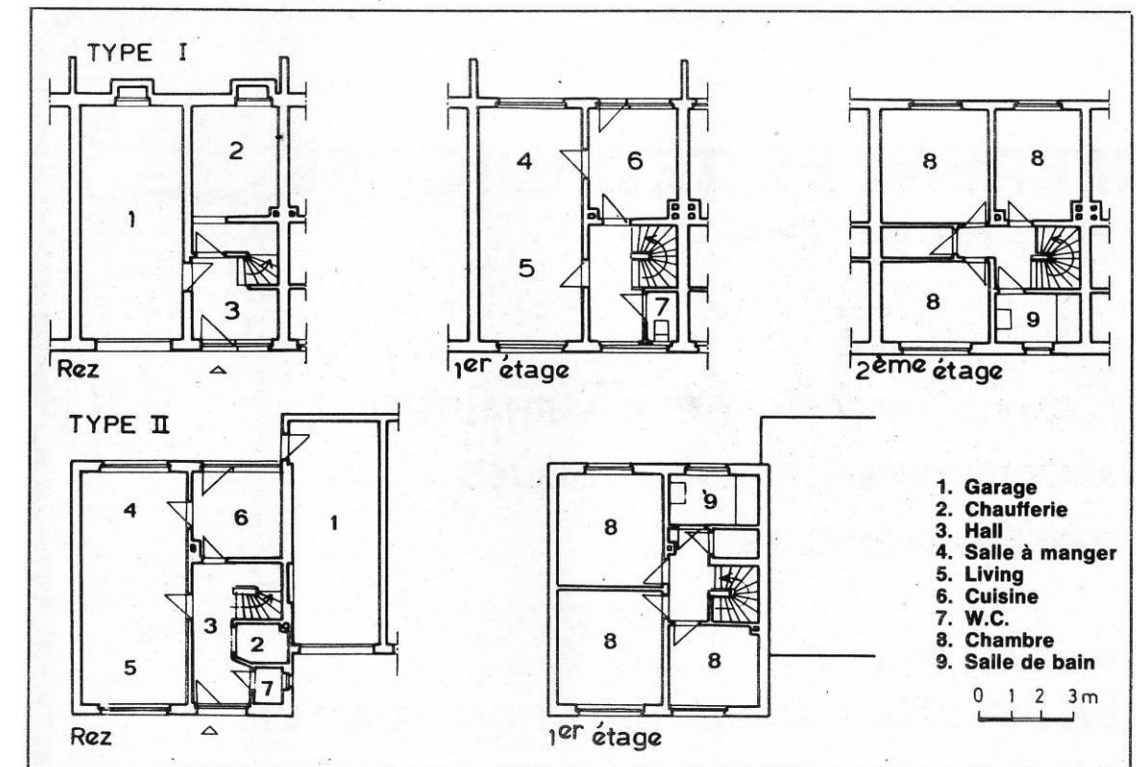
Il n'est pas possible, dans le cadre de notre actualité, de commenter tous les diagrammes de consommation établis à cette occasion.

Suite à ces premières investigations et analyses, l'interrogation directe des personnes fut réalisée pour permettre de mieux définir les

causes de certaines divergences entre la réalité et les résultats théoriques. Comme, dans ce cas-ci, une enquête du type « statistique » n'était pas possible, le choix s'est porté sur une enquête « non dirigée » mettant davantage l'accent sur une qualification des facteurs intervenant plutôt que sur la quantification de ceux-ci. Ceci d'autant plus que le sujet traité est délicat, touchant à la fois au mode de vie et aux revenus des personnes.

Dans le même temps, une série d'observations in situ ont été notées: le calfeutrage des châssis les coupe-vent aux portes, la tendance à laisser les portes ouvertes, le niveau des températures d'ambiance, etc. De plus, des visites régulières du quartier ont permis de repérer de visu le degré et la fréquence d'ouverture des fenêtres.

Chacune des enquêtes a ainsi permis de compléter les données sur l'habitation, les consommations, la présence dans la maison; et d'ajouter à celles-ci des informations sur les activités des membres de la famille, l'utilisation de l'ins- de la famille, l'utilisation de l'installation de chauffage et du système



	Surface chauffée m ²	Volume chauffé m ³
Type I	105 m ²	260 m ³
Type II	95 m ²	235 m ³

Le tableau ci-contre donne la surface et le volume chauffés, pour chaque type de maison, calculés entre faces intérieures des murs extérieurs.

hypothèses de conclusions

Une série d'hypothèses de conclusions ont pu être émises suite à l'analyse de ces enquêtes sociologiques, complémentaires aux premières données.

• Le facteur « facture à payer » est dominant et est confirmé par la sensible diminution des consommations moyennes pour la période de nov. 80 à avril 81.

Ainsi en reprenant les catégories d'évolution des consommations, on peut dire que :

A. — les habitations où il y a une alternance régulière entre une diminution et une augmentation de consommation, sont celles où l'effet « facture à payer » se vérifie.

B. — les habitations où il y a une diminution régulière des consommations sont celles où les habitants souhaitent rester à un niveau constant de la somme à payer.

Par contre,

C. — les habitations où il y a une constance des consommations, sont celles qui acceptent les augmentations de prix et souhaitent ne pas diminuer leur mode de chauffage.

Dans les deux premiers cas, la diminution de consommation est principalement obtenue par le fait de chauffer moins de locaux, et d'avoir une température d'ambiance moins élevée (19-20° C).

Par exemple, le living sert de séjour — endroit de travail — de jeu — de soins à donner au bébé, les deux enfants de la famille dorment dans la même chambre, « on ne chauffe que le living et la salle-de-bains ».

Ces premiers éléments concordent avec les travaux de recherche entrepris dans le cadre des Services de Programmation de la Politique Scientifique (S.P.P.S.) : en effet, la réaction la plus fréquente des Belges à la crise de l'énergie est la diminution des températures (42 % ont diminué leur température d'ambiance diurne et 64 % leur température nocturne), et le fait de chauffer moins de pièces (39 %).

Vis-à-vis de ces résultats, il faut s'interroger sur les limites d'un tel comportement et signaler que dans les couches défavorisées de la population le stade des « économies d'énergie » est dépassé, et que cette partie de la population vit en état de « restriction d'énergie » où le minimum des exigences de température n'est plus atteint.

• La consommation d'énergie de chauffage n'est pas directement liée au nombre d'enfants, mais l'est beaucoup plus à leur âge et leurs activités. Ainsi, si la naissance d'un premier enfant est prépondérante, on peut émettre les observations suivantes :

□ lorsque l'enfant a moins d'un an, il faut chauffer fortement un local.

□ lorsque l'enfant a entre 1 et 3 ans et qu'il reste à la maison, il suit sa mère partout et demande une température assez homogène dans toute la maison.

□ lorsque l'enfant a entre 3 et 6 ans, il va à l'école et se couche tôt, ce qui amène une diminution des consommations.

D'autres éléments observés sur place sont à prendre en considération :

□ près de 18 % des habitations se sont équipées d'un poêle au bois, utilisé principalement à l'entre-saison.

□ un petit chauffage d'appoint électrique permet de chauffer rapidement les locaux dont la durée d'utilisation est réduite, comme la salle-de-bains par exemple.

□ pour l'ensemble des habitations, l'aquastat des chaudières est fixé en général à 60° C, ce qui est une température basse.

□ un seul habitant a isolé le plancher du grenier (rappelons que les habitants sont des locataires).

Ces différents points sont à mettre en relation avec les travaux du S.P.P.S. qui observe que « bien que la moitié des belges soient insatisfaits de l'isolation de leur logement, trois personnes sur quatre n'ont réalisé aucun investissement en vue de l'améliorer », et que « depuis le début de la crise de l'énergie, plus de 80 % des personnes interrogées avouent n'avoir effectué aucune modification de leur installation de chauffage ».

Il ressort aussi des visites in situ que plusieurs faits vont à l'encontre des économies recherchées, comme par exemple :

□ dans plus de 45 % des cas, les portes restent ouvertes et certaines personnes croient économiser de l'énergie en ne chauffant que le living et en laissant les portes ouvertes : ainsi une certaine homogénéité des températures est obtenue dans toute la maison. Plutôt que de fermer les portes du living et de ne chauffer les autres locaux qu'en cas de nécessité.

□ les radiateurs restent « ouverts » pendant la ventilation des locaux par l'ouverture des fenêtres : on a constaté que les grands consommateurs avaient une ventilation importante de l'ensemble des locaux. Signalons ici que près de 14 % laissent leurs radiateurs en fonctionnement pendant l'aération.

□ chauffer toute la maison à des températures élevées, et être habillé en tenue d'été.

• Si on pouvait raisonnablement émettre l'hypothèse qu'une maison peu habitée devrait consommer moins (à condition que les habitants changent la consigne du thermostat pendant leur absence), il s'avère dans le cas présent que lorsqu'une personne reste à la maison durant la journée, les consommations d'énergie de chauffage sont moins importantes, que lorsque la maison est vide durant la journée. Ceci peut s'expliquer par le fait, qu'en cas d'absence, une température de consigne constante est maintenue, tandis qu'en cas de présence, de par les occupations de la personne, la demande de chaleur est nulle ou très faible. Quant à l'ensemble de la Belgique, en cas d'absence durant la journée, 13 % des gens ne chauffent pas et 40 % d'autres diminuent la température dans l'ensemble du logement.

• Enfin, beaucoup de personnes défendent leur avis par des paroles du genre « les voisins font ceci », « beaucoup font cela »...

En conclusion, et selon le rapporteur de l'étude, il serait nécessaire de pouvoir dégager des conclusions basées sur un nombre plus important et plus diversifié d'habitants, sans oublier divers facteurs qui ne tiennent pas du raisonnement économique. Par exemple, certaines dépenses n'entraînant aucun gain de confort thermique sont davantage négligées, telles celles d'un changement de brûleur : le voisin « admirera la nouvelle voiture, mais il ne peut apercevoir la laine de verre dans le grenier, ou la nouvelle chaudière ; et la notion même d'utilisation rationnelle de l'énergie est peu en vogue dans une société de consommation, où le « gaspillage » apparaît comme un signe de bien-être.

Bibliographie -

- 1) Notions d'urbanisme J.-P. Collette - Cours de l'Univ. de Liège
 - 2) Climatologie appliquée Fihuat
 - 3) L'élément vitré dans le cadre de la climatisation naturelle CRA
 - 4) Natural solar architecture David Wright
 - 5) Solar house Donald Watson
 - 6) Notions d'architecture passive G. Humblet - M. Legrain - C. Ganette
 - 7) Revues AA juin 1980
Tet A n° 325
Neuf n° 71 83 84 88
- B) le livre des maisons solaires
Donald Watson Ed. L'Étincelle 1979.