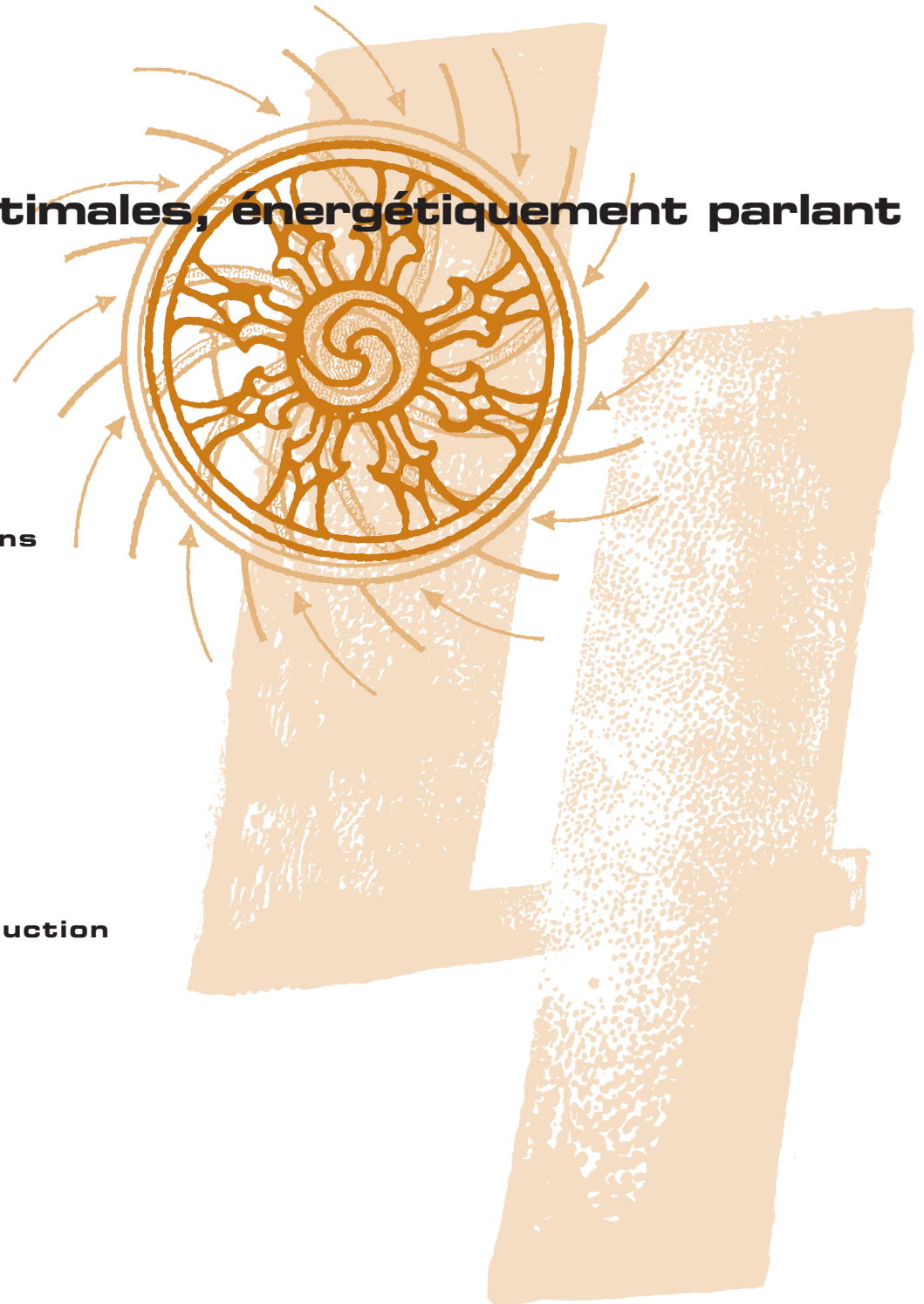


Enveloppes de bâtiments optimales, énergétiquement parlant

L'énergie dans l'enseignement professionnel

Modules pour les professions de la construction: Module 4

- 1 Introduction: de quoi s'agit-il?**
- 2 Objectifs de la formation**
- 3 Eléments proposés pour le plan des leçons**
- 4 Connaissances de base**
 - **Fonction de l'enveloppe**
 - **Dépenses thermiques**
 - **L'air humide**
 - **Etanchéité à l'air**
 - **Protection contre le bruit**
 - **Ponts thermiques**
 - **Exemples de quelques modes de construction**
- 5 Exercices et solutions proposées**
- 6 Bibliographie**
- 7 Sources**
- 8 Modèles**





1 Introduction: de quoi s'agit-il ?

Depuis un âge très reculé, l'homme a cherché à se protéger, lui et sa famille, contre le froid, la pluie, la neige, le soleil, les animaux sauvages, l'homme etc. Il a construit un refuge; espace intérieur séparé du dehors, espace qu'il a fermé pour sa propre sécurité, son intimité et enfin pour son confort.

C'est le volume interne qui est le but, la raison d'être du bâtisseur. C'est dans cet intérieur que l'homme développera son cadre social, qu'il organisera son chez lui, son territoire, il va s'y nourrir, élever sa famille, travailler, se recueillir, dormir, rêver...

Ce dedans est du vide (même si on le meuble) alors que les murs, le toit, le sol sont de la matière qui constitue l'enveloppe de cet espace et qui dès lors prend toute son importance.



2 Objectifs de la formation

Ce cours a pour objectif de sensibiliser les apprentis des métiers de la construction à la conception des enveloppes de bâtiment optimales, énergétiquement parlant. Il évoque et explique par des croquis simples, la conception des façades, des toitures et des sols ainsi que de l'importance des protections contre les intempéries, le soleil etc. Il évoque également l'isolation thermique et phonique, son rôle et sa mise en œuvre.

L'apprentie, l'apprenti...

- est capable de présenter les fonctions énergétiques des façades, des toitures et des sols
- peut citer des éléments nouveaux d'enveloppes de bâtiment
- est en mesure d'expliquer l'importance de la protection thermique en été
- peut citer les exigences légales et de physique du bâtiment auxquelles est soumise l'enveloppe
- connaît les problèmes résultant des ponts thermiques et propose des améliorations.



3 Eléments proposés pour le plan des leçons

Toutes les annexes (chapitre 8) sont destinées aux élèves soit par photocopies, soit par l'intermédiaire du rétroprojecteur (ou les deux).

Le maître connaît les normes et recommandations SIA relatives au sujet traité, principalement les normes 180 «Isolation thermique des bâtiments» et 181 «Protection contre le bruit dans le bâtiment» ainsi que la norme 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment». Il connaît également les lois et ordonnances fédérales et cantonales concernées sur l'énergie.



4 Connaissances de base

4.1 Fonction de l'enveloppe

L'enveloppe d'un habitat doit assurer une ...

Protection contre les influences extérieures:

- le vent
- la pluie
- la neige, le froid
- le soleil, la chaleur
- le bruit etc.

Protection contre les déperditions thermiques en proportions variables:

- par les façades
- par les fenêtres
- par la toiture
- par le sol
- par le fonctionnement du chauffage
- par le renouvellement d'air etc.

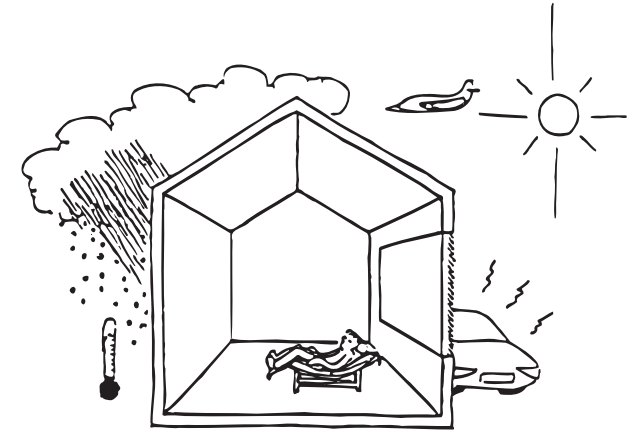


Fig. 1



4.2 Déperditions thermiques

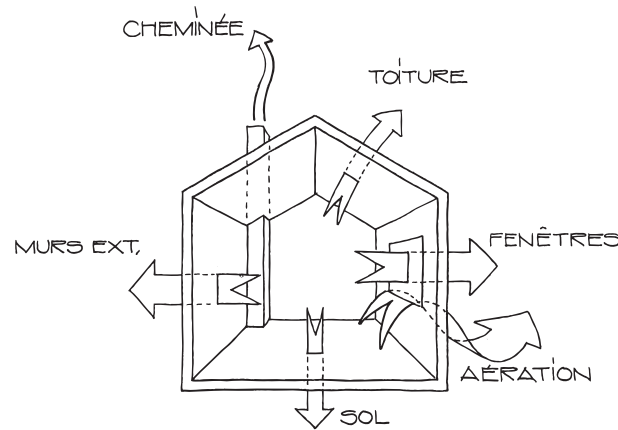


Fig. 2

La quantité d'énergie nécessaire au chauffage d'un local sert à compenser ses pertes thermiques vers l'extérieur du bâtiment. On constate expérimentalement que l'écoulement de la chaleur se fera toujours du chaud vers le froid. Plus la paroi est épaisse et bien isolée et plus le flux de chaleur sera faible.

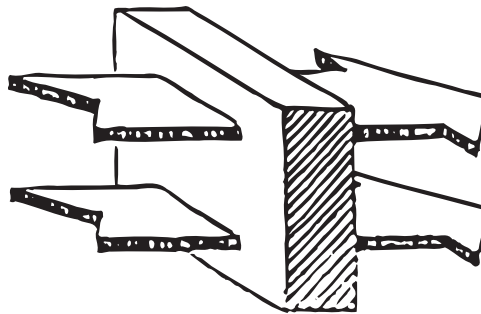


Fig. 3

Chacun des matériaux composant la paroi possède sa propre propriété de transmettre la chaleur par conduction que l'on nomme **conductivité thermique** « λ ».

Elle représente le flux de chaleur qui traverse 1 m^2 d'un matériau sur 1 m d'épaisseur lorsque la différence de température entre les deux faces de ce matériau est de 1° . Cette valeur est exprimée en W/mK .

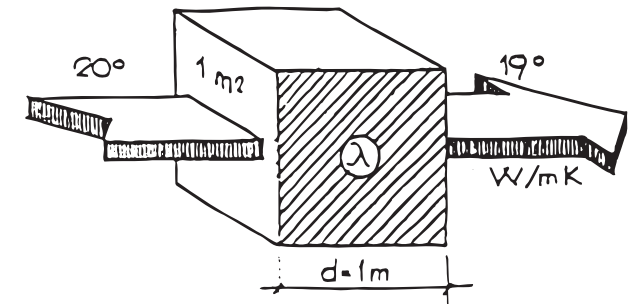


Fig. 4

Le coefficient λ augmente si le matériau est humide (eau de condensation, d'infiltration etc.) en effet, l'eau a une conductivité thermique 15 fois supérieure à celle de l'isolant, ce qui diminue considérablement son pouvoir d'isolation.

Tout produit ayant un λ supérieur à $0,095 \text{ W/mK}$ est considéré comme matériau de construction. Tout produit ayant un λ inférieur à $0,095 \text{ W/mK}$ est considéré comme isolant.

Les isolants sont des dispositifs qui emprisonnent de l'air sec et le rendent aussi immobile que possible.



Cet air est emprisonné dans les laines minérales par l'entrecroisement de millions de fibres et dans les mousses, par la présence de bulles microscopiques. Dans les polyuréthanes, les bulles renferment des gaz spéciaux (Pentane par exemple) afin d'obtenir un meilleur lambda.

Valeur moyenne de quelques matériaux

	λ [W/mK]
Isolants (en général)	0,024 – 0,04
Panneau en bois aggloméré	0,11
Sapin	0,14
Chêne	0,21
Plaques de plâtre	0,40
Brique de terre- cuite isolante	0,47
Enduits intérieur	0,70
Enduits extérieur	0,87
Brique silico-calcaire	0,80
Verre à vitre	0,81
Mortier de ciment pour chape	1,40
Béton armé	1,80
Air sec	0,02
Eau (à 20°)	0,58

Un matériau d'épaisseur **d** et de conductivité λ oppose au passage de la chaleur une **résistance thermique «R»**

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Si l'on a plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs différentes ($d_1, d_2, d_3, \dots$) et de conductivités thermiques différentes ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$) les résistances thermiques s'ajoutent, on a alors:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_n}{\lambda_n} = \sum \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

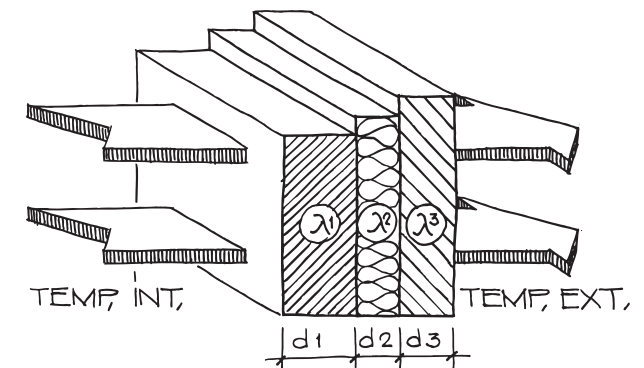


Fig 5

Pour trouver la résistance totale au passage de la chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment, il faut ajouter les résistances correspondantes aux **coefficients de convections thermiques h** (internes et externes) qui s'expriment en W/m^2K . En effet, il y a de part et d'autre d'une paroi, deux couches minces d'air presque immobiles qui prennent en compte les échanges intérieurs et extérieurs par convection et rayonnement entre (pour l'intérieur), l'air ambiant du local, les objets situés dans le local et la face intérieure de la paroi, et l'air et les objets (habitations, arbres etc.) situés à l'extérieur.

$\frac{1}{h_i}$ = coefficient de convection thermique interne

$\frac{1}{h_e}$ = coefficient de convection thermique externe

La résistance thermique totale d'un m^2 de paroi s'exprime par:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{h_e} \quad [m^2K/W]$$

Pour caractériser une paroi, on utilise l'inverse de la résistance thermique soit le **coefficient de transmission de chaleur U** qui indique la quantité de chaleur passant à travers une paroi de $1 m^2$, pendant une heure, lorsque la différence de température est de 1° entre les ambiances que sépare cette paroi; il s'exprime en W/m^2K .

Un coefficient **U** est à calculer pour chaque morceau de paroi, de toiture ou de sol, composé de mêmes matériaux.

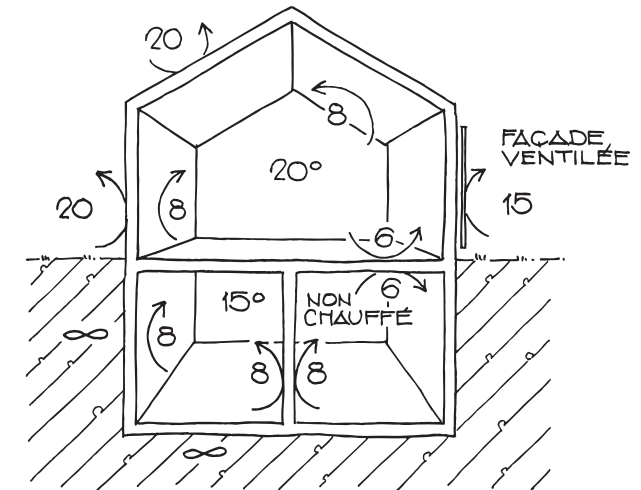


Fig. 6



Exemple de calcul de la valeur U d'un mur:

Mur constitué de:

- enduit intérieur $d_1 = 1 \text{ cm}$
- brique TC $d_2 = 15 \text{ cm}$
- isolation thermique $d_3 = 12 \text{ cm}$
- aggloméré de ciment $d_4 = 12 \text{ cm}$
- enduit extérieur $d_5 = 2 \text{ cm}$

(dans la formule, toutes les mesures s'expriment en mètre)

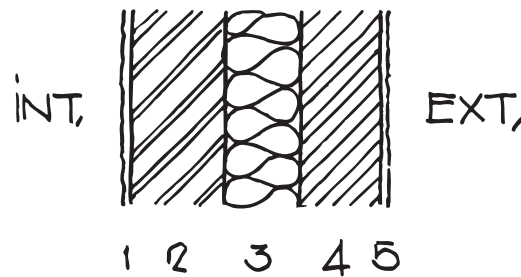


Fig. 7

Résistance thermique

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{1}{h_e} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,15}{0,47} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{0,12}{1,10} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{1}{20}$$

$$R = 0,125 + 0,014 + 0,32 + 3,0 + 0,11 + 0,023 + 0,05$$

$$R = 3,642 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Valeur U

$$U = \frac{1}{R} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

$$U = \frac{1}{3,642} = 0,2746 = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Notes:

0,27 W/m²K correspond aux valeurs actuelles traditionnelles. Les bâtiments à basses consommations d'énergies auront des valeurs U inférieures ou égales à 0,20 W/m²K.



Autre exemple de calcul de la valeur U pour une façade ventilée:

Mur constitué de:

- enduit intérieur $d_1 = 1 \text{ cm}$
- brique silico-calcaire $d_2 = 15 \text{ cm}$
- isolation thermique $d_3 = 20 \text{ cm}$
- espace ventilé $d_4 = 4 \text{ cm}$
- revêtement extérieur $d_5 = 2,5 \text{ cm}$

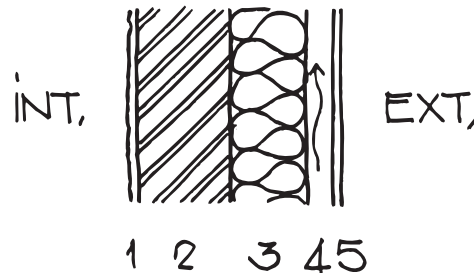


Fig. 8

Résistance thermique

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{1}{h_e} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,15}{0,80} + \frac{0,12}{0,04} + 0,08 + \frac{1}{15}$$

$$R = 0,125 + 0,014 + 0,187 + 5,0 + 0,08 + 0,067$$

$$R = 5,473 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Valeur U

$$U = \frac{1}{R} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

$$U = \frac{1}{5,473} = 0,183 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Notes:

Dans les façades et les toitures ventilées, la résistance d/λ correspondant à la couche d'air en mouvement prend la valeur de $0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$.

La couche extérieure (revêtement, couverture etc.) n'est pas pris en compte, le rapport $d/\lambda = 0$.

Les barrières et les freins de vapeur, les isolations contre l'humidité etc. ne sont pas pris en considération dans le calcul de la valeur U.

Un des rôles essentiel de l'enveloppe est également de maintenir à l'intérieur des pièces un taux d'humidité confortable et d'assurer le renouvellement de l'air.

4.3 L'air humide

L'air d'une atmosphère est un mélange de plusieurs gaz (azote, oxygène...) et de vapeur d'eau en quantité variable (humidité). A l'intérieur d'une habitation, cette vapeur d'eau provient de la respiration et de la transpiration des habitants (chaque personne produit environ 50 gr de vapeur d'eau par heure), ainsi que par les activités domestiques, telles que cuisson, bains etc.

Condensation superficielle

C'est une règle de la nature que toute atmosphère ne peut contenir qu'une quantité limitée de vapeur d'eau ; cette teneur en eau maximale dépend fortement de la température. Plus l'air est froid, moins il peut contenir de vapeur d'eau.

Ainsi, lorsqu'une masse d'air normalement humide rencontre une zone plus froide, par exemple un élément de construction tel qu'une surface non (ou mal) isolée thermiquement ou un vitrage de petite qualité, l'excédent d'humidité va se déposer sous forme d'eau de condensation, avec le risque d'y voir apparaître, avec le temps, des dommages superficiels tels que moisissures ou décollement de revêtements.

Diffusion de vapeur

En hiver, l'atmosphère intérieure d'une habitation est plus chaude que l'air extérieur. Etant donné que la teneur en eau de l'atmosphère à l'intérieur est en principe supérieure à celle à l'extérieur, les molécules de vapeur d'eau vont donc diffuser à travers la paroi, de l'intérieur vers l'extérieur, c'est-à-dire che-

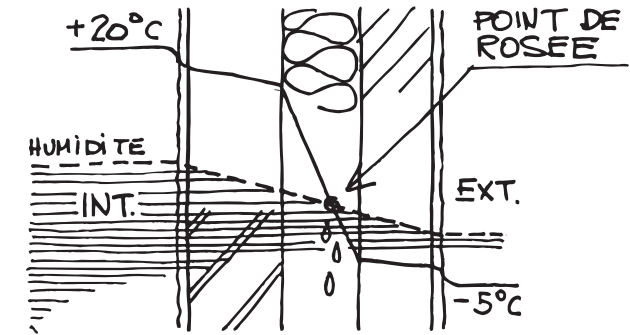


Fig. 9

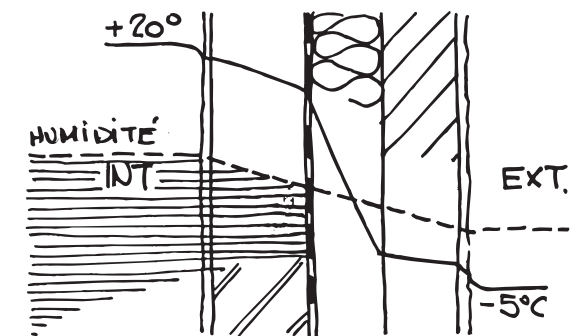


Fig. 10

miner à travers les pores des matériaux de construction. Si cette vapeur d'eau parvient à traverser ainsi une première couche d'isolation intérieure et rencontre ensuite une zone plus froide, il peut se produire un phénomène de condensation à l'intérieur même de la masse d'isolation.



En principe, aujourd'hui, deux types de constructions sont possibles :

1. une coupe type étanche à la diffusion de vapeur d'eau, avec une feuille résistante à la pression de vapeur d'eau placée sur le côté chaud de l'isolant thermique (on parle d'un frein vapeur ou barrage vapeur)
2. une coupe type ouverte à la diffusion de vapeur d'eau, avec une feuille cartonnée renforcée (papier Kraft) placée sur le côté chaud de l'isolant thermique ayant une résistance faible à la pression de vapeur d'eau (on parle d'une feuille coupe-vent ou d'étanchéité à l'air). Dans ce système il est admis que la résistance à la pression de vapeur d'eau de chaque couche doit diminuer de l'intérieur vers l'extérieur.

pour les 2 systèmes constructifs, il est important que les feuilles ou barrage-vapeur soient absolument étanches.

Un calcul de physique de construction permet de déterminer le point de rosée (point de condensât), la quantité d'eau de condensât en hiver et les conditions d'assèchement de cette construction en été avec l'adjonction d'une couche définie spécifiquement pour son degré de résistance à la pression de vapeur d'eau.

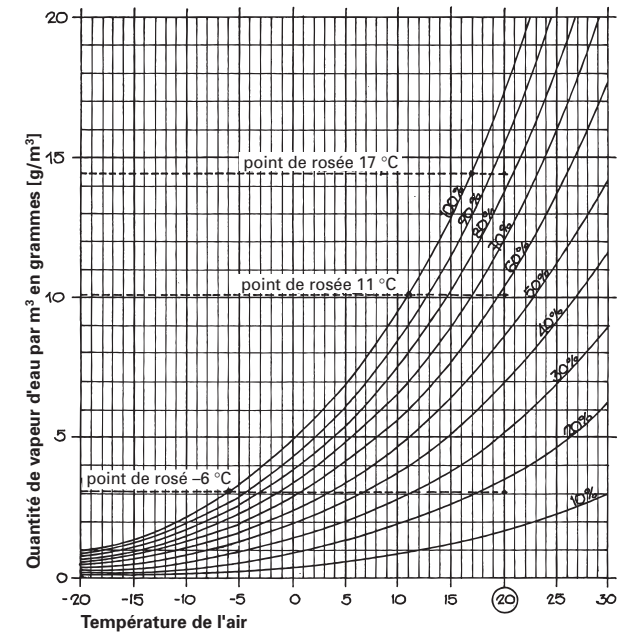


Fig. 11

4.4 Etanchéité à l'air

Pour améliorer le confort des habitants, l'enveloppe du bâtiment (façades, toiture, passage des chevrons, raccords entre toiture et façades etc.) doit assurer une étanchéité à l'air aussi bonne que possible; par contre un renouvellement régulier de l'air des locaux est indispensable (le renouvellement d'air neuf devrait être supérieur à 12 m³ par personne et par heure). Dès lors, et afin de concilier les deux paramètres, l'installation d'une aération contrôlée (prévoyant des entrées et des sorties d'air réglables) est conseillée.

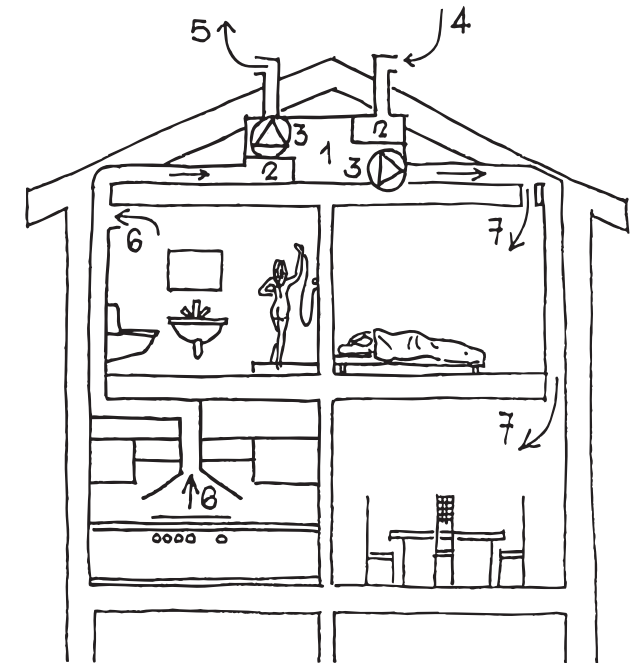


Fig. 12

- 1 échangeur de chaleur
- 2 filtre
- 3 ventilateur
- 4 air frais
- 5 air vicié
- 6 salles d'eau
- 7 chambres



4.5 Protection contre le bruit

L'enveloppe du bâtiment doit assurer une bonne isolation phonique contre l'environnement sonore extérieur (trafic routier et ferroviaire, aéroport, industries, stand de tir etc.).

L'échelle utilisée ordinairement pour exprimer l'intensité physiologique avec laquelle un être humain perçoit un bruit est le décibel **dB**; cette échelle permet de classer l'ensemble des bruits allant du seuil inaudible (0 dB) au seuil de la douleur (120 dB).

0	dB	Seuil inaudible
20	dB	Murmures
20 – 50	dB	Bruits de faible intensité
50 – 70	dB	Conversations
70 – 90	dB	Circulation, industrie
90 – 110	dB	Avions
120	dB	Seuil de la douleur

On notera que la perception d'un son par l'oreille humaine ne dépend pas seulement de l'énergie mise en jeu par la source sonore et de la distance à laquelle cette dernière se trouve par rapport à l'auditeur, mais encore de la fréquence du son, c'est-à-dire, du caractère grave ou aigu du son.

Pour améliorer l'atténuation de bruits qui parviennent de l'extérieur par voie aérienne, il convient en général d'augmenter la masse de l'enveloppe du bâtiment (béton en lieu et place du bois, vitrages plus épais etc.). Les indices d'atténuation à atteindre pour différents types de locaux sont représentés dans la table suivante.

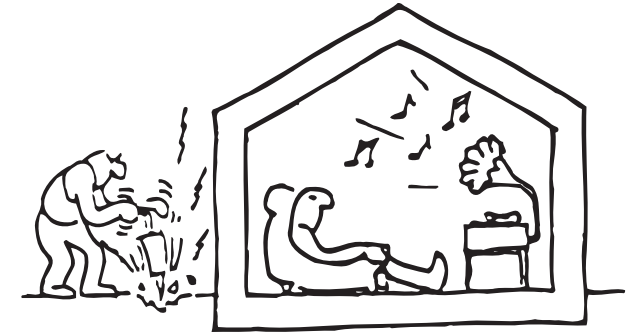


Fig. 13

-25 dB	Locaux peu sensibles au bruit (ateliers, cantines, locaux de vente, etc.)
-50 dB	Locaux sensibles au bruit (séjours, chambres à coucher, salle de classe, chambre d'hôtel, etc.)
-67 dB	Locaux très sensibles au bruit (salles de repos, hôpitaux, salles de musique, d'étude ou de lecture, etc.)



4.6 Ponts thermiques

Accroissement de la transmission de chaleur à travers une paroi avec risque de moisissure et de condensation superficielle aux endroits les plus faibles de l'isolation.

Solution

Niveau dalle

Mur porteur intérieur
Isolation périphérique

Niveau toiture

Toiture plate
Mur porteur intérieur
Isolation continue
Console d'isolation

Niveau balcon

Isolation continue
Balcon indépendant
Console d'isolation

Niveau socle

Socle isolant
Verre cellulaire
Thermur

à éviter

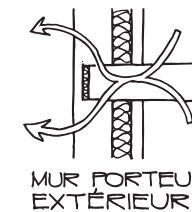


Fig. 14

solution

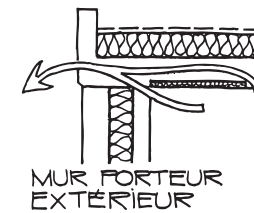


Fig. 15

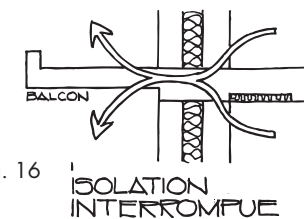
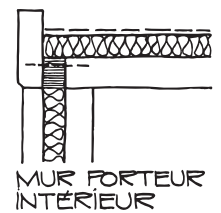


Fig. 16

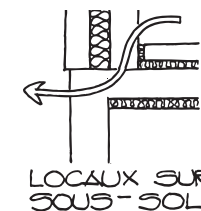
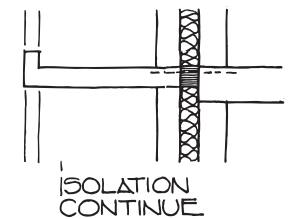


Fig. 17





4.7 Exemples de quelques modes de construction

La construction de l'enveloppe du bâtiment doit être conçue de manière à ce que la résistance thermique augmente depuis l'intérieur vers l'extérieur et que la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau, en revanche, diminue depuis l'intérieur vers l'extérieur.

Il est donc préférable de poser l'isolation à l'extérieur, du côté froid.

Façades

Mur porteur chaud intérieur Isolation entre murs

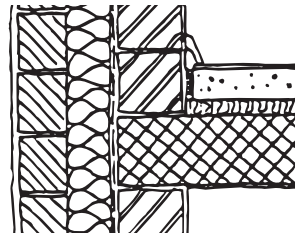


Fig. 18

Bonne masse thermique intérieure.
Ponts thermiques ponctuels à l'endroit des encrages.
Difficulté à augmenter l'épaisseur de l'isolation.
Bonne isolation phonique.
Cher et donc de moins en moins utilisé.

Mur porteur chaud intérieur Isolation thermique extérieure

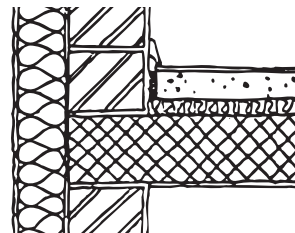


Fig. 19

Difficultés à augmenter l'isolation.
Bonne masse thermique intérieure.
Maîtrise des ponts thermiques.
Isolation phonique moyenne à bonne.
Avantageux, avant tout pour les assainissements.
Difficultés pour la rénovation d'immeubles protégés.
Surface extérieure moins solide.

Mur porteur chaud intérieur Isolation thermique extérieure ventilée

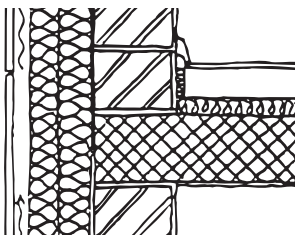


Fig. 20

Toutes épaisseurs d'isolation possible.
Différents systèmes de fixations.
Ponts thermiques ponctuels.
Bonne masse thermique intérieure.
Plusieurs revêtements extérieurs possibles.
Bonne isolation phonique.



Mur porteur froid extérieur Isolation intérieure

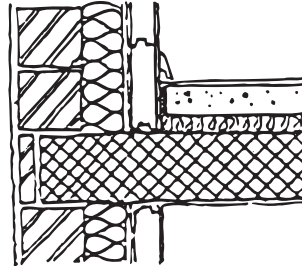


Fig. 21

Inertie thermique réduite à l'intérieur de l'enveloppe isolée.

Chauffage et refroidissement rapide des pièces.

Pont thermique au niveau des dalles en béton.

Inutilité d'augmenter l'épaisseur de l'isolation.

Bonne isolation phonique.

Risque de condensation sous la dalle à proximité de la façade. Eventuellement ajouter des plaques d'isolation en bordure de façade.

Murs monolithiques

Briques alvéolées,
ép. 36,5 cm + enduits,
coefficient de transmission thermique
 $U = 0,30$ à $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

Produits:

- ThermoCellit
- Poroton
- béton cellulaire Ytong
- etc.



Fig. 22

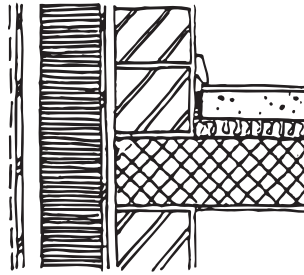
Avantages:

- Exécution des murs en une seule opération.
- Diffusion de vapeur d'eau sans risque de condensation.
- Utilisation des apports solaires en hiver etc...

Inconvénients:

- Fragilité des briques et capacité portante plus faible.
- Montage demandant plus de soins et de précision.
- Ponts thermiques relativement importants.
- Epaisseur totale souvent supérieure à 45 cm pour des vapeurs $U < 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Isolation thermique transparente



Exploitation maximale de l'énergie solaire dans les parties non transparentes du bâtiment. L'absorbeur placé devant la façade transforme le rayonnement solaire en chaleur.

Mur porteur intérieur.

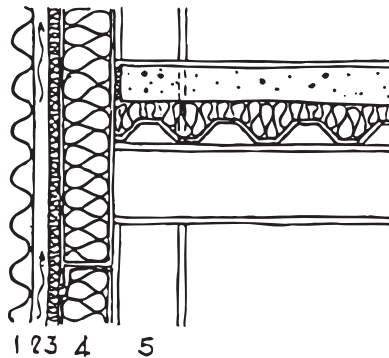
Bonne masse thermique intérieure.

Protection (mobile) contre le rayonnement solaire en été.

Fig. 23

Les matériaux utilisés pour l'isolation thermique sont caractérisés par un degré de perméabilité à l'énergie aussi élevé que possible pour le rayonnement solaire (valeur g) et par un coefficient de transmission de chaleur (valeur U) aussi bas que possible.

Façade légère non porteuse



- 1 revêtement de façade
- 2 vide d'air (ventilation)
- 3 isolation thermique
- 4 caisson en tôle isolée
- 5 charpente métallique

Structure porteuse indépendante de la façade.

Paroi mince, ne supportant plus l'édifice mais comportant un revêtement préfabriqué en panneaux (métal, béton léger, verre etc.). L'isolation thermique est réalisée, soit intégrée au panneau de façade, soit indépendante de la façade.

Pas de pont thermique.

Pas de masse thermique intérieure.

Toutes épaisseurs d'isolation.

Plusieurs revêtements extérieurs possibles.

Isolation phonique légère à moyenne.

Fig 24

Construction en bois, panneau de façade porteur

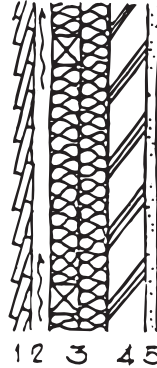


Fig. 25

- 1 revêtement extérieur
- 2 vide d'air (ventilation)
- 3 isolation thermique
- 4 panneau agglo. porteur
- 5 plaque de plâtre.

Ce système nécessite un socle qui éloigne les panneaux du sol afin d'éviter tout contact avec l'humidité. Des tirants sont nécessaires pour combattre les effets du vent.

Isolation thermique extérieure.

Pas de pont thermique.

Pas de masse thermique intérieure.

Toute épaisseur d'isolation.

Plusieurs revêtements extérieurs possibles.

Bonne isolation phonique.

Construction en bois, poteaux – poutres

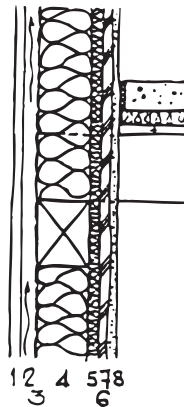


Fig. 26

- 1 revêtement extérieur
- 2 espace ventilé
- 3 feuille coupe-vent
- 4 isolation thermique
- 5 couche supplémentaire d'isolation pour éviter les ponts thermiques au travers des pièces de bois constituant la structure
- 6 barrière vapeur
- 7 panneau aggloméré
- 8 plaque de plâtre coté intérieur de la paroi, (autres solutions possibles)

L'ossature de la construction est auto-portante sans participation des façades.

Les poutres s'appuient sur des poteaux selon une trame bien définie; les poutres portent dans une direction, les solives dans l'autre.

Isolation thermique entre structure.

Ponts thermiques réduits du fait de l'isolation ajoutée à l'int.

Pas de masse thermique int.

Plusieurs revêtements de façades possibles.

Isolation phonique moyenne.



Construction bois sous forme de cadres

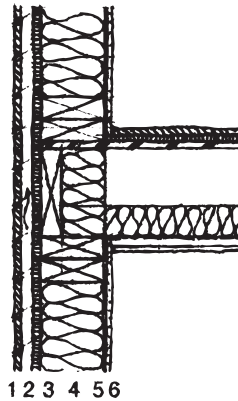


Fig. 27

- 1 revêtement de façade
- 2 vide d'air
- 3 étanchéité à l'air
- 4 isolation thermique
- 5 étanchéité ou barrage- vapeur
- 6 plaque de fibre et plâtre

Système semi-préfabriqué en bois de la hauteur d'un étage. Pas de jambage de contrevent nécessaires, utilisation de panneaux dérivés du bois comme contrevent.

Isolation thermique entre structure.

Isolant complémentaire à l'ext. sous forme de plaques.

Zone d'accumulation par isolation de cellulose.

Toutes les épaisseurs d'isolations sont possibles.

Divers revêtements extérieurs possibles.

Isolation phonique moyenne.

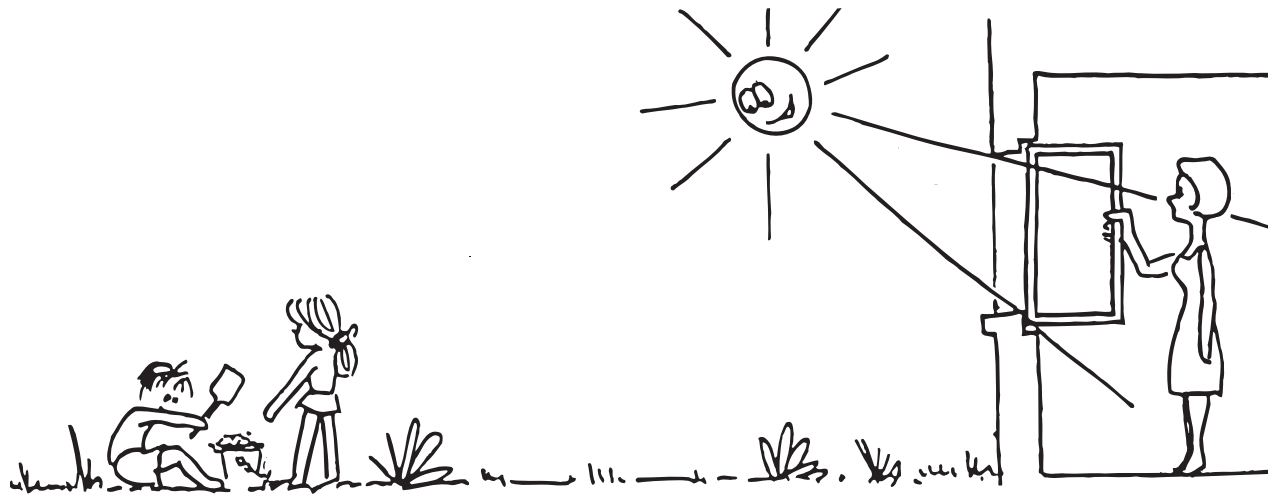


Fig. 28

Fenêtres

La fenêtre est un ouvrage prévu pour laisser entrer la lumière naturelle dans l'habitat.

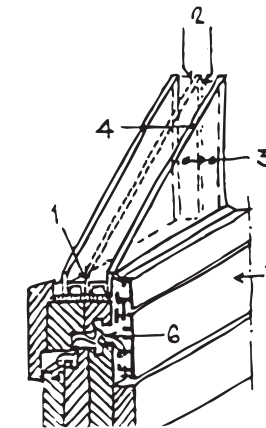
D'autres fonctions lui sont attribuées:

- Contact visuel.
- Ensoleillement; captage solaire par effet de serre.
- Aération et ventilation des locaux.
- Protection phonique.

Bien qu'elles soient la cause de déperditions thermiques importantes, les fenêtres actuelles offrent des coefficients U intéressants (voir exemple).

L'augmentation de la température à l'intérieur des locaux en été est due principalement au rayonnement solaire à travers les vitrages. Dans les bâti-

ments étudiés en relation directe avec l'énergie solaire passive, ce phénomène s'accroît proportionnellement aux surfaces vitrées. Sur les vitrages obliques particulièrement (serre, véranda etc.) des charges thermiques d'environ 500 W/m^2 de verre peuvent se produire les jours ensoleillés. Alors que la demande de chaleur d'un bâtiment actuel ne devrait pas dépasser 30 W/m^2 de surface des locaux, des pointes de 100 W/m^2 peuvent être atteintes pendant la journée. Les verres possédant de faibles coefficients thermiques réduisent quelque peu le taux de passage de l'énergie globale du rayonnement solaire (valeur g).



- 1 Séparation thermique «Golden stripe»
- 2 Films de faible épaisseur 2-HM (réflétant les UV)
- 3 Alvéoles isolantes
- 4 Vitrages float-glas
- 5 Bois lamellé-collé à 4 couches
- 6 Joint triple
- 7 Aluminium

Fig. 29 Fenêtre bois-aluminium

2-IV-IR: $U = 1,0 - 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 45 - 65 \%$

3-IV-IR: $U = 0,5 - 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 35 - 50 \%$

Valeur U vitrage: $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

Valeur U cadre: $0,70 - 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Protection contre la surchauffe

Afin d'éviter la surchauffe des locaux en été, il est nécessaire de bien étudier les différentes possibilités de protections.

Avant-toit, marquise et brise-soleil

Faisant partie intégrante de la construction, cette protection est efficace en été contre le rayonnement solaire direct mais inefficace contre le rayonnement solaire diffus. La mobilité des lamelles du brise-soleil permet le réglage du rayonnement solaire direct.

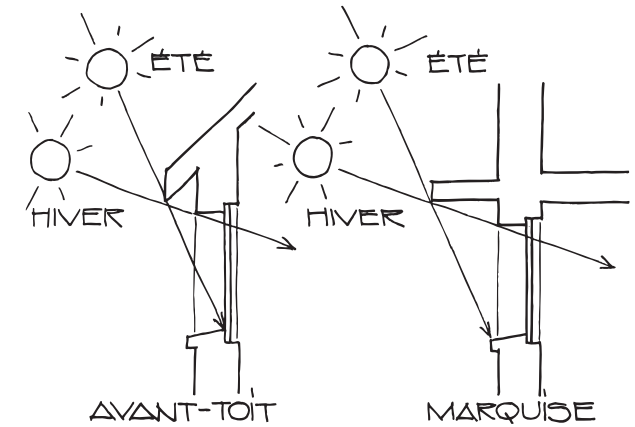
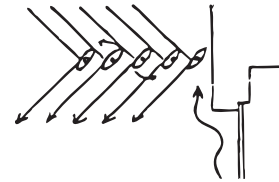


Fig. 30

Store en toile ou à lamelles extérieur

Excellente solution puisque le store extérieur protège le vitrage du rayonnement solaire en été et permet un réglage de la lumière. Il permet également d'aérer le local tout en étant baissé.

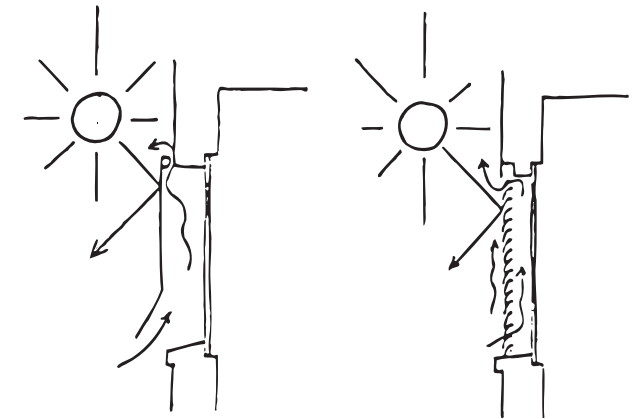


Fig. 31

Store en toile ou à lamelles intérieur

Très peu efficace contre la surchauffe des locaux puisque le rayonnement solaire traverse le vitrage pour ensuite, par convection, se répandre dans la pièce. En outre, il diminue l'aération du local quand il est baissé.

Cependant, des stores ou rouleaux intérieurs à surface réfléchissante peuvent être assez efficaces et bien se prêter lors de rénovation ou d'équipement ultérieur.

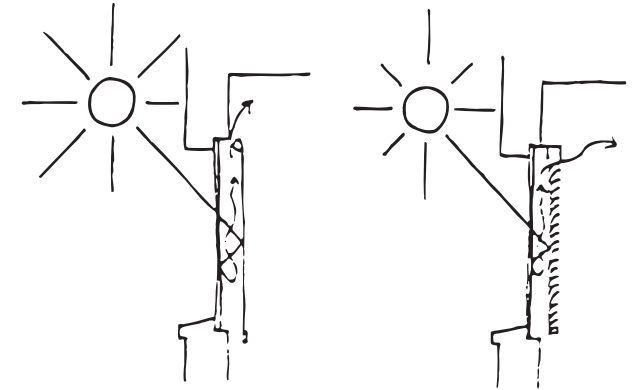


Fig. 32

Verre réfléchissant

Par beau temps, les verres réfléchissants réduisent sensiblement la chaleur qui pénètre dans les locaux mais la quantité de lumière diminue également. Ces vitrages nécessitent des protections placées devant les fenêtres.

D'une manière générale, ces diverses solutions sont également dictées par le choix architectural.

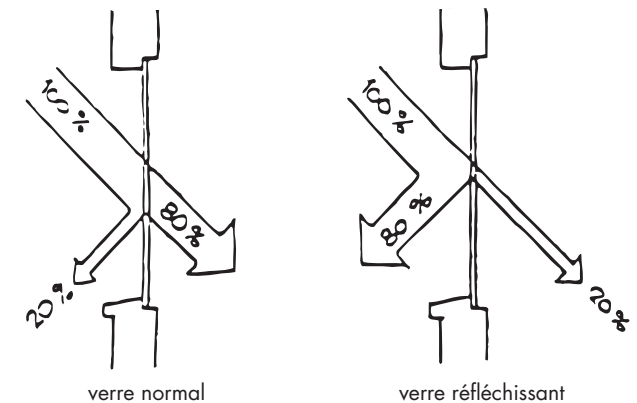


Fig. 33



Porte d'entrée

La porte est un ouvrage prévu pour entrer ou sortir de l'habitat. Sa conception doit répondre aux exigences actuelles en isolation thermique soit: maximum $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Une porte d'entrée bien étudiée permet d'obtenir des valeurs U de moins de $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Avec une isolation thermique de 2 cm d'épaisseur, on obtient, pour cette porte d'entrée, une valeur U de $0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$.

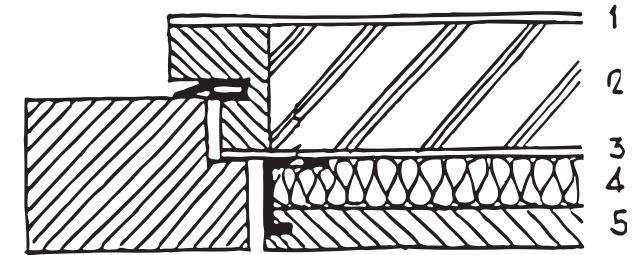


Fig. 34

- 1 Revêtement intérieur
- 2 Panneau aggloméré 40 mm d'ép.
- 3 Contre-placage
- 4 Isolation thermique,
- 5 Revêtement extérieur 21 mm



Toiture

La toiture est l'un des éléments essentiels de l'enveloppe de la construction. Elle comprend l'ensemble des éléments porteurs et de protection contre la pluie, la neige, le soleil, etc. Quelque soit son inclinaison (plate ou en pente) et au même titre que la paroi, elle doit répondre aux mêmes critères d'isolation phonique et thermique (son coefficient de transmission de chaleur «U» ne doit pas dépasser 0,30 W/m²K). La diffusion de vapeur d'eau doit également être parfaitement maîtrisée.

Toiture inclinée

Couverture traditionnelle de nos régions soutenue par une charpente en bois. Elle est constituée en règle générale par des matériaux superposés permettant à la pluie de s'écouler facilement sans pénétrer dans les joints. Tout comme la toiture plate, elle doit répondre à des exigences d'isolation thermique précise.

En général, nous sommes en présence d'une charpente en bois qui par sa structure, crée des ponts thermiques à travers les chevrons. Pour parer à cet inconvénient, les solutions les plus efficaces sont les suivantes.

Exemples:

Isolation sur chevrons (toiture semi-ventilée)

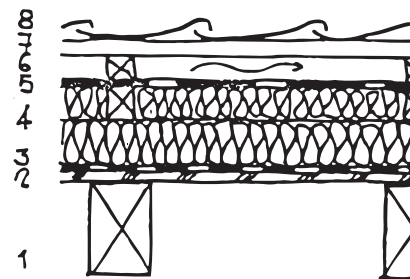


Fig. 35

- 1 chevrons apparents
- 2 lambrissage apparent de support de l'isolation
- 3 barrage vapeur étanche à l'air
- 4 2 couches d'isolation avec moyens de fixations croisés
- 5 sous-couverture perméable à la vapeur d'eau
- 6 contre-lattage, espace ventilé
- 7 lattage
- 8 couverture

Isolation entre et sous chevrons (toiture ventilée)

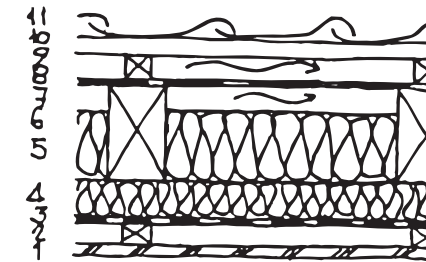


Fig. 36

- 1 revêtement de plafond
- 2 lattage de fixation
- 3 barrage- vapeur étanche à l'air
- 4 1^{ère} couche d'isolation thermique sous chevrons pour diminuer le coefficient U moyen
- 5 2^e couche d'isolation entre chevrons
- 6 chevrons
- 7 espace ventilé
- 8 sous-couverture
- 9 contre- lattage
- 10 lattage
- 11 couverture



Toiture plate

On différencie les constructions de toits plats sur système massif ou structure légère. La construction du toit plat sur structure bois est identique au principe du toit en pente. Les toits plats sur structure bois sont à réaliser avec une pente minimale de 2 à 5% et le vide d'air est à augmenter à min. 10cm. Il est impératif de prévoir un barrage ou frein vapeur.

Les toits plats sur dalles en béton sont réalisés de différentes manières. La construction est possible en toiture dite chaude, toiture inversée ou toit plus. Dans l'affectation du toit, on différencie: toit non accessible, accessible, carrossable et végétalisée. Les exigences de physique de construction sont définies dans les normes SIA pour la diffusion de vapeur et l'isolation thermique (valeur $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Exemples:

Construction en béton

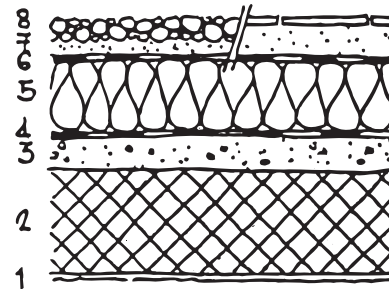


Fig. 37

- 1 enduit sous dalle ou peinture
- 2 support (béton)
- 3 forme de pente (éventuellement)
- 4 barrage - vapeur
- 5 isolation thermique
- 6 étanchéité (en une ou plusieurs couches)
- 7 protection de l'étanchéité
- 8 couche d'alourdissement ou revêtement

Construction en bois

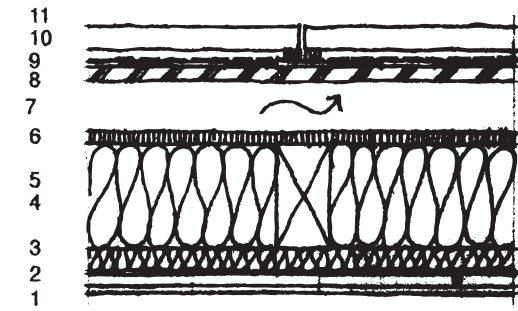


Fig. 38

- 1 revêtement de plafond fixé sur latte vissée
- 2 barrage- vapeur étanche à l'air posé sur toute la surface
- 3 couche mince d'isolation pour améliorer le U moyen
- 4 isolation thermique entre poutres
- 5 poutres en bois lamellé-collé
- 6 panneau en fibre de bois avec couche de bitume
- 7 vide d'air-lattage (min. 10 cm)
- 8 panneau aggloméré de bois
- 9 étanchéité (base bitume polymère ou synthétique)
- 10 couche de protection de l'étanchéité
- 11 couche d'alourdissement ou revêtement

Sol

Seul élément de l'enveloppe toujours en contact avec l'homme, le sol doit répondre à des exigences accrues en matière d'isolation thermique. Quelque soit le mode de diffusion de chaleur, chauffage par le sol ou par radiateur, la température au niveau du sol doit être aussi proche que possible de la température ambiante de la pièce et seule, une étude de cas en cas permet de résoudre les différents problèmes que posent les sols.

Le sol présente trois aspects:

1. Il est en contact avec l'air extérieur (porte-à-faux, oriel etc...); son coefficient de transmission de chaleur «U» ne doit pas dépasser $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.
2. Il est en contact avec un local moins ou pas chauffé, son coefficient «U» ne doit pas dépasser $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.
3. Il est en contact avec le sol;
Coefficient «U» " ou = à $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Exemples:

Dans le cas d'un chauffage par le sol, l'isolation (n°4) doit être augmentée afin de limiter le flux thermique vers le bas.

Sol en contact avec l'air extérieur ou avec un local non chauffé

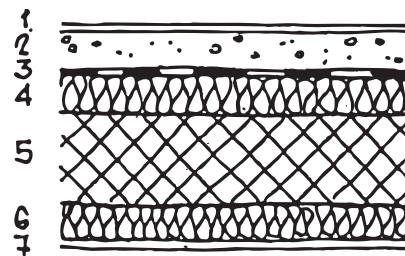


Fig. 39

- 1 revêtement de sol
- 2 chape ciment
- 3 barrage- vapeur
- 4 isolation thermique et phonique
- 5 dalle béton- armé
- 6 isolation collée sous dalle ou posée sur coffrage
- 7 enduit de façade ou autres revêtements

Sol en contact avec le terrain

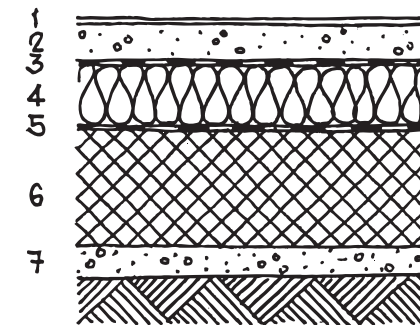


Fig. 40

- 1 revêtement de sol
- 2 chape ciment
- 3 barrage- vapeur
- 4 isolation thermique
- 5 étanchéité contre les remontées d'humidité
- 6 radier en béton- armé
- 7 béton maigre de propreté



5. Exercices et solutions proposées

Exercice 1

Déterminer la valeur U de la paroi ci-dessous.

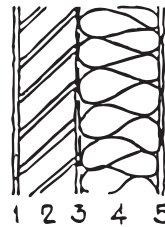


Fig. 41

- 1 enduit intérieur 1 cm
- 2 brique terre- cuite 12 cm
- 3 barrage-vapeur 0,01 mm
- 4 laine de pierre 18 cm
- 5 enduit extérieur 1,5 cm

Exercice 3

Une façade protégée d'un bâtiment est composée d'un mur monolithique de 70 cm d'épaisseur. Proposer une ou des solutions pour en améliorer l'isolation thermique.

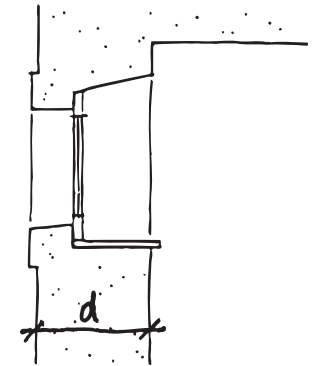


Fig. 42

Exercice 2

Un mur de façade ventilée est constitué de:

- 2 cm de crépissage intérieur
- 15 cm de briques terre- cuite isolante
- 6 cm d'isolation
- 4 cm d'espace ventilée
- revêtement en bois extérieur

Le propriétaire désire changer l'aspect extérieur de sa façade en remplaçant le bois par des plaques de cuivre tout en profitant d'améliorer l'isolation thermique en remplaçant celle existante. Quelle épaisseur d'isolation ($\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$) doit-il poser pour obtenir une valeur U de $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$?

Exercice 4

Faire une proposition pour améliorer l'isolation thermique de ce toit plat de plus de 30 ans.

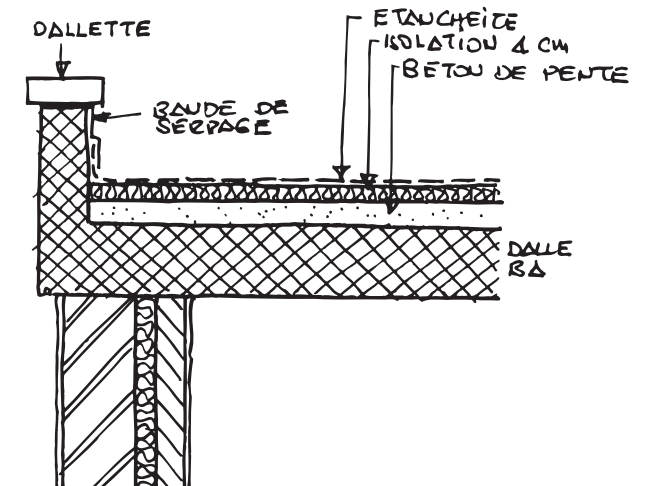


Fig. 43



Solutions

Solution 1:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + 0 + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{1}{h_e}$$

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,12}{0,47} + 0 + \frac{0,18}{0,035} + \frac{0,015}{0,87} + \frac{1}{20}$$

$$R = 5,604 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{5,604} = 0,178 = \mathbf{0,18 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Solution 2:

Résistance du mur existant:

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,70} + \frac{0,15}{0,47} + \frac{0,06}{0,04} + 0,08 + \frac{1}{15}$$

$$= 2,12 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Résistance du mur à la valeur U
de 0,25 W/m²K:

$$R = \frac{1}{25} = 4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Différence: } 4,0 - 2,12 = 1,88 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Épaisseur d'isolation à ajouter lors de la
modification du revêtement:
 $1,88 \text{ m}^2\text{K/W} \cdot 0,04 \text{ W/mK} = 0,075 \text{ m} = \mathbf{7,5 \text{ cm}}$

Solution 3:

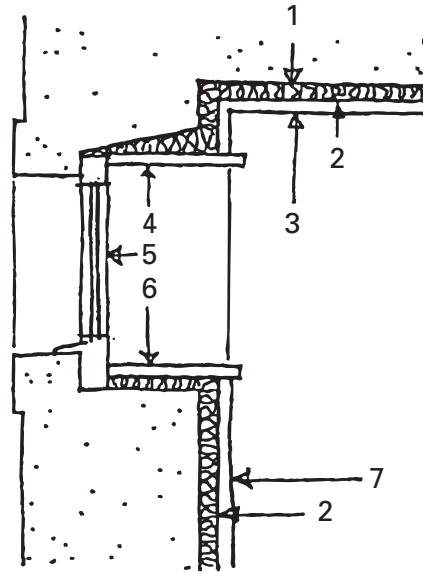


Fig. 44

- 1 isolation thermique
- 2 frein-vapeur
- 3 revêtement de plafond (plaque de plâtre sur lattage)
- 4 galerie à rideau
- 5 nouvelle fenêtre et verre isolant
- 6 tablette de fenêtre
- 7 revêtement de parois idem plafond

Solution 4:

Variante 1

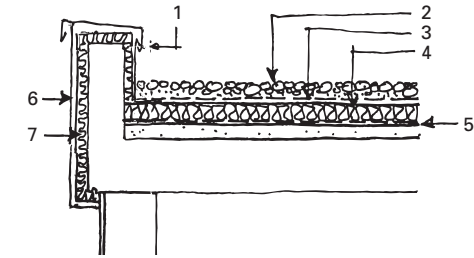


Fig. 45

- 1 recouvrement d'acrotère (tôle)
- 2 couche de protection (sable, gravier)
- 3 étanchéité
- 4 nouvelle isolation thermique
- 5 barrage vapeur
- 6 crépis
- 7 isolation thermique (collée sur acrotère)

Variante 2

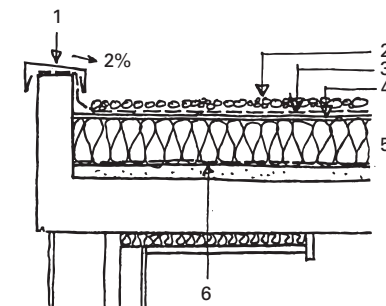


Fig. 46

- 1 recouvrement d'acrotère (tôle)
- 2 couche de protection (sable, gravier)
- 3 étanchéité
- 4 feuille de protection
- 5 nouvelle isolation thermique
- 6 barrage vapeur



6 Bibliographie

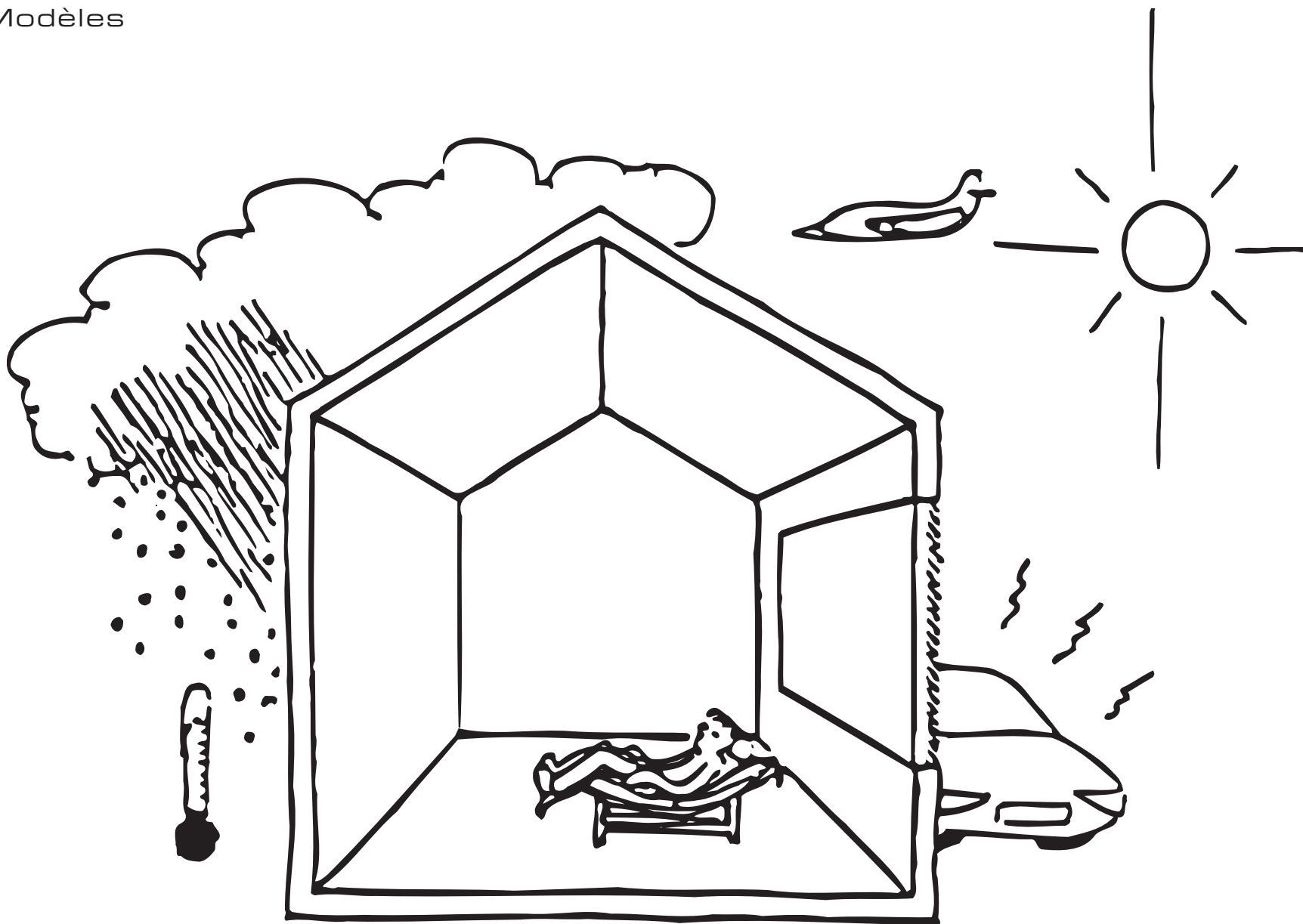
- L'énergie, Facteur- clé de notre temps: Maja Messmer et al., adaptation J. Fournier et O. Mercier. Edition LEP, Lausanne, 1998.
- Bâtir, manuel de la construction: René Vittone. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- L'hygrothermique dans le bâtiment: Maurice Croiset . Editions Eyrolles, Paris.
- Documentation technique des fabricants de matériaux traités dans ce module.
- Les normes de la SIA.

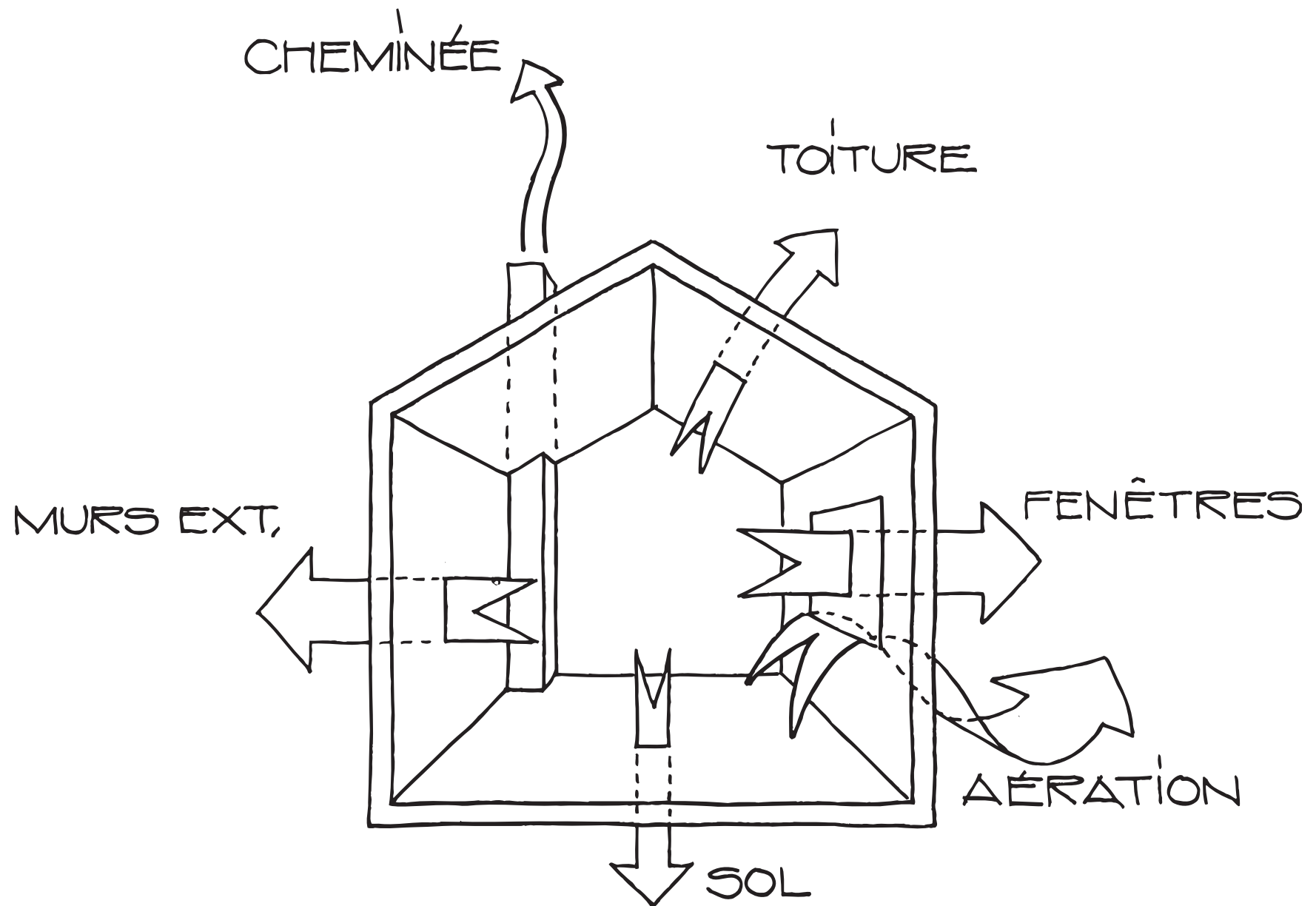
7 Sources

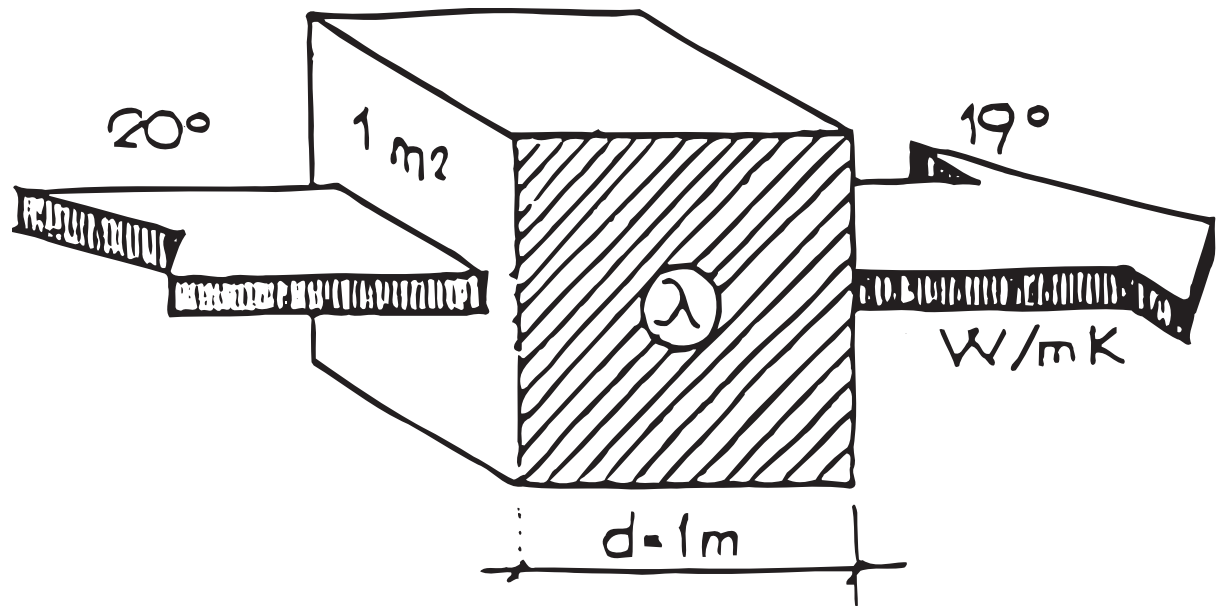
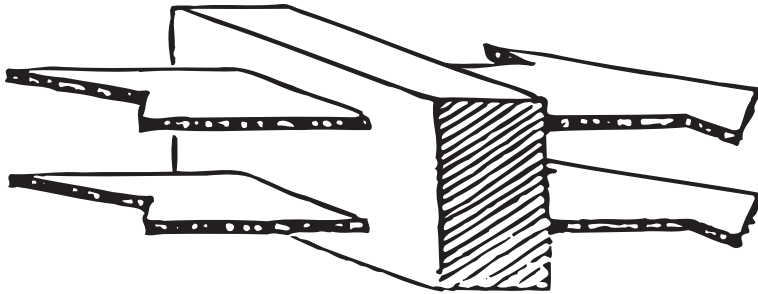
Tous les dessins et illustrations à part les Fig. 27, 38 et 45 sont de l'auteur Joseph Simon.

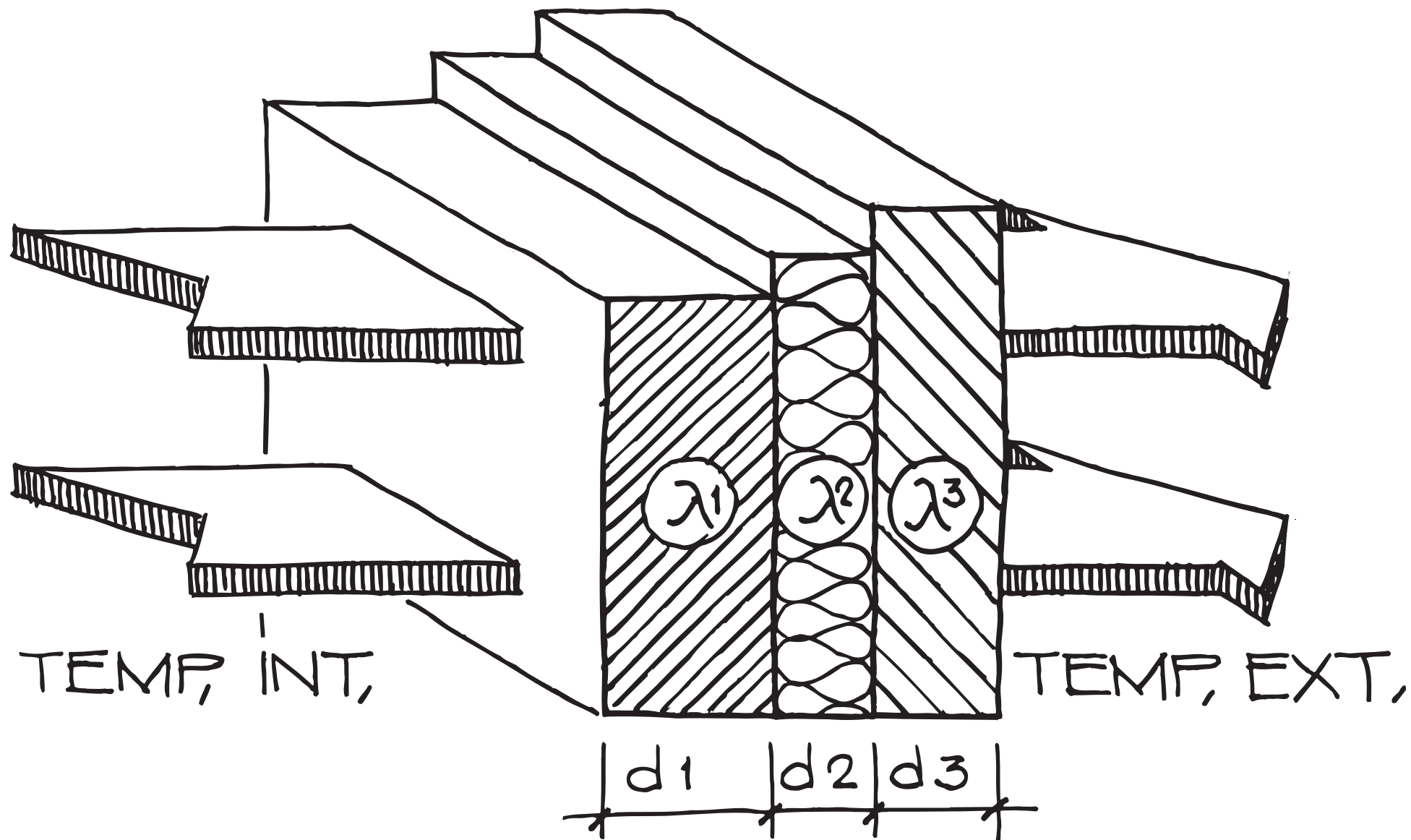
Les figures 27,38 et 45 sont de Markus Rebmann qui a aussi participé au développement des textes.

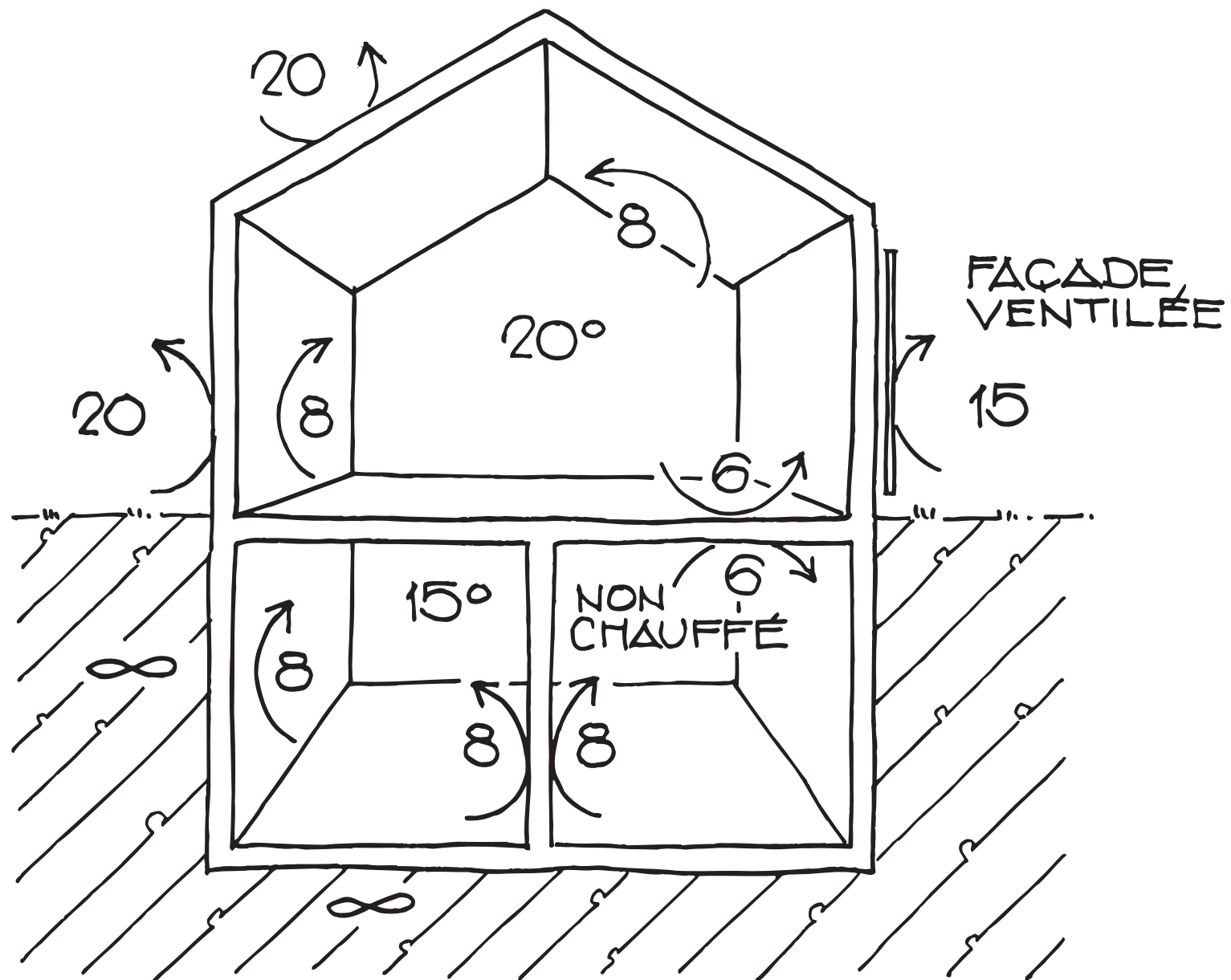
8 Modèles

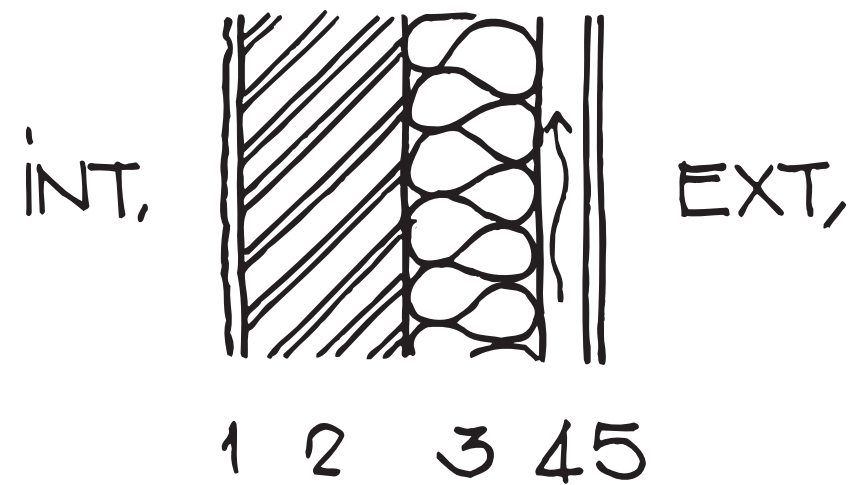
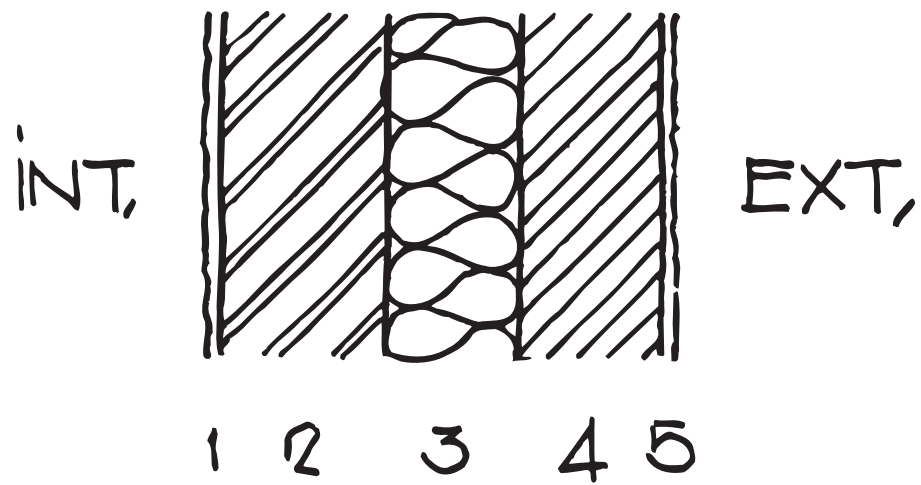


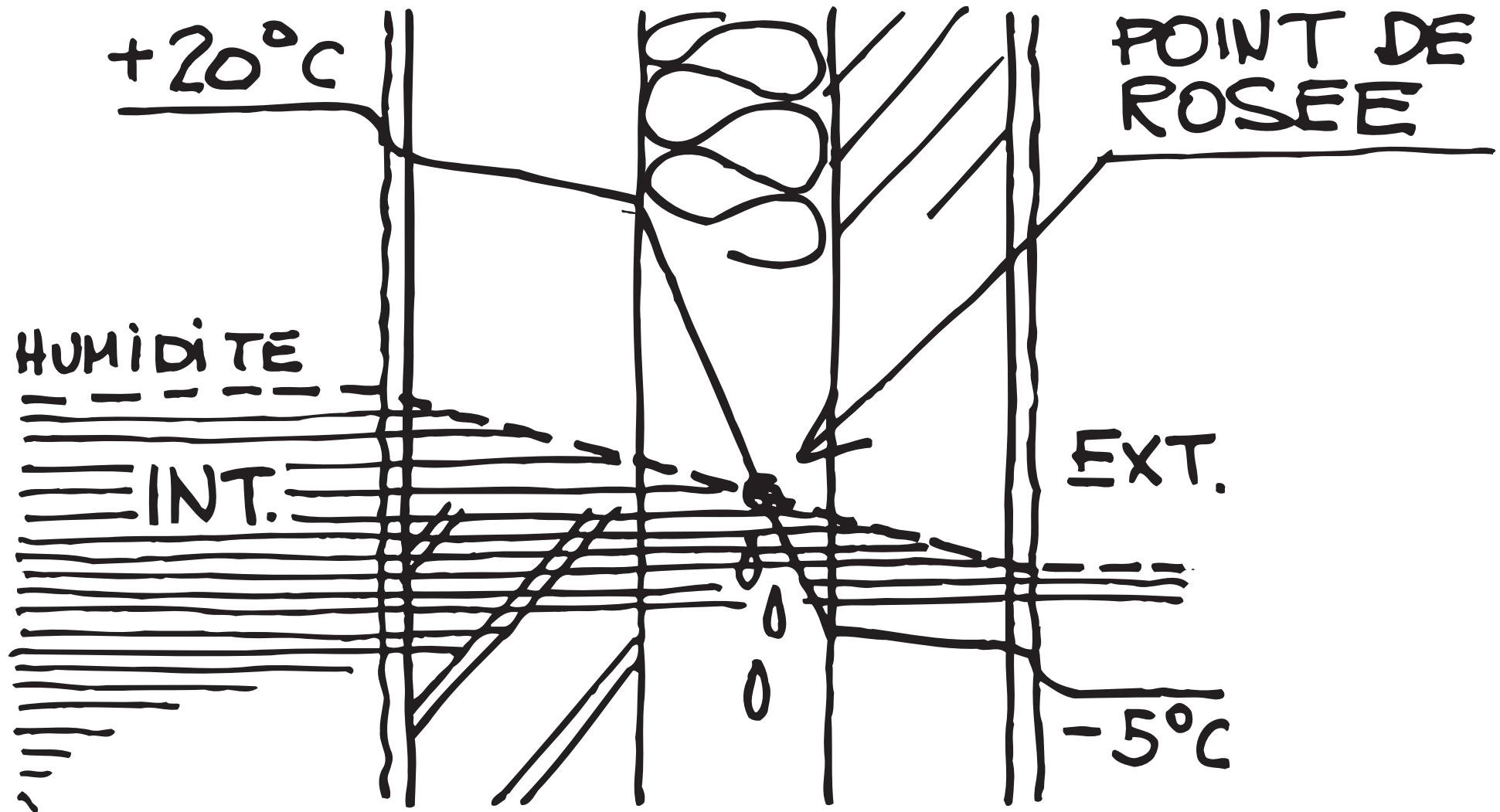


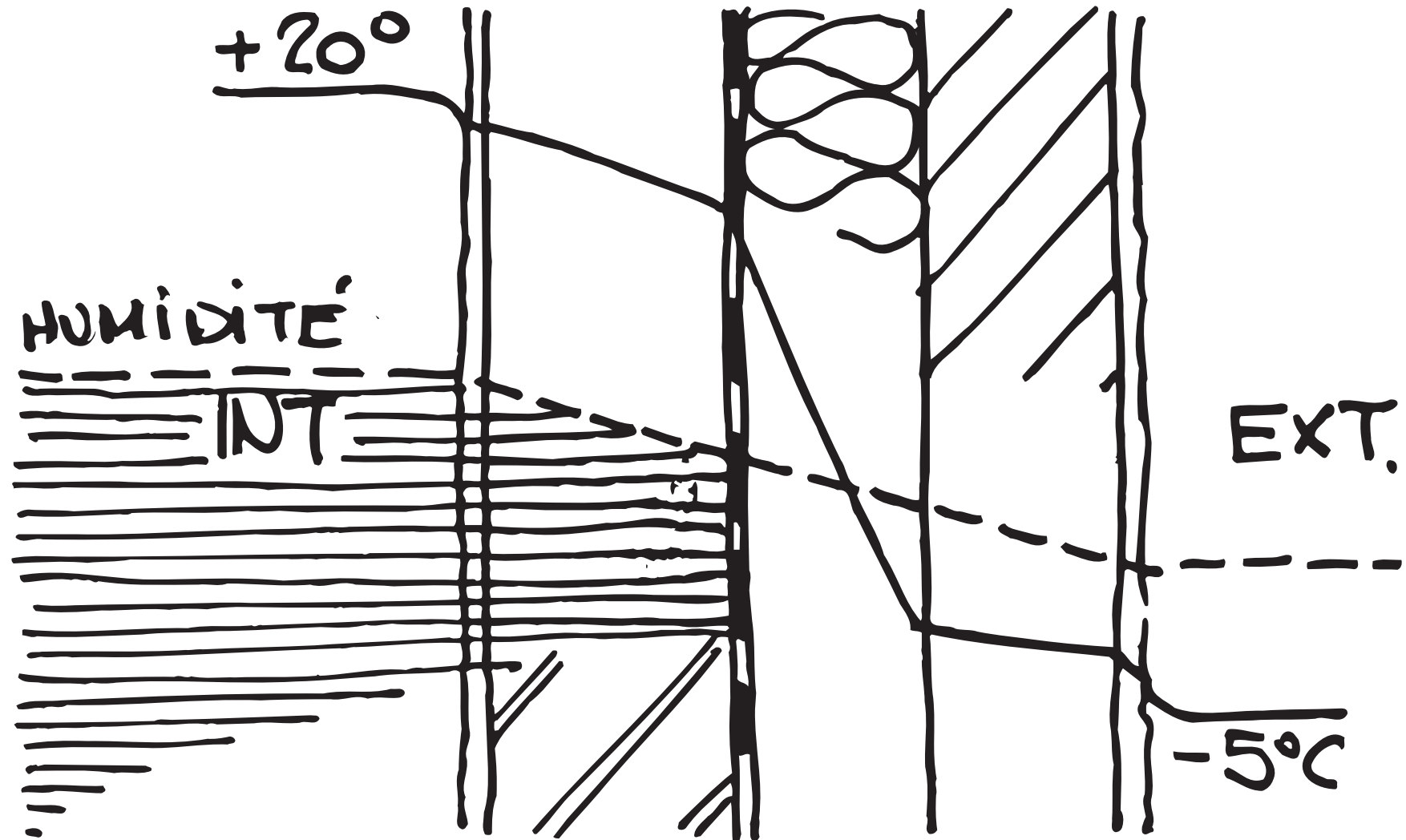


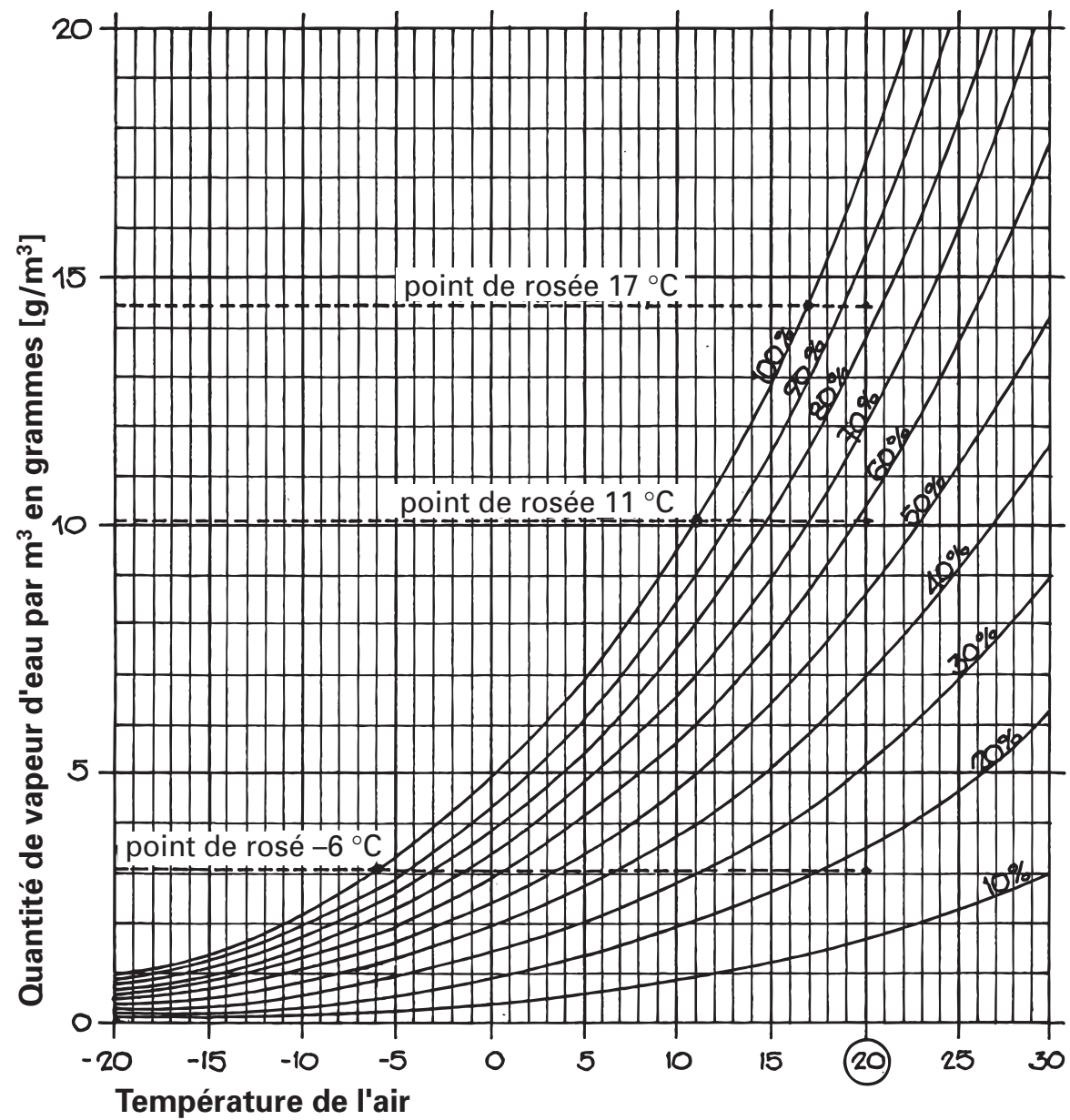


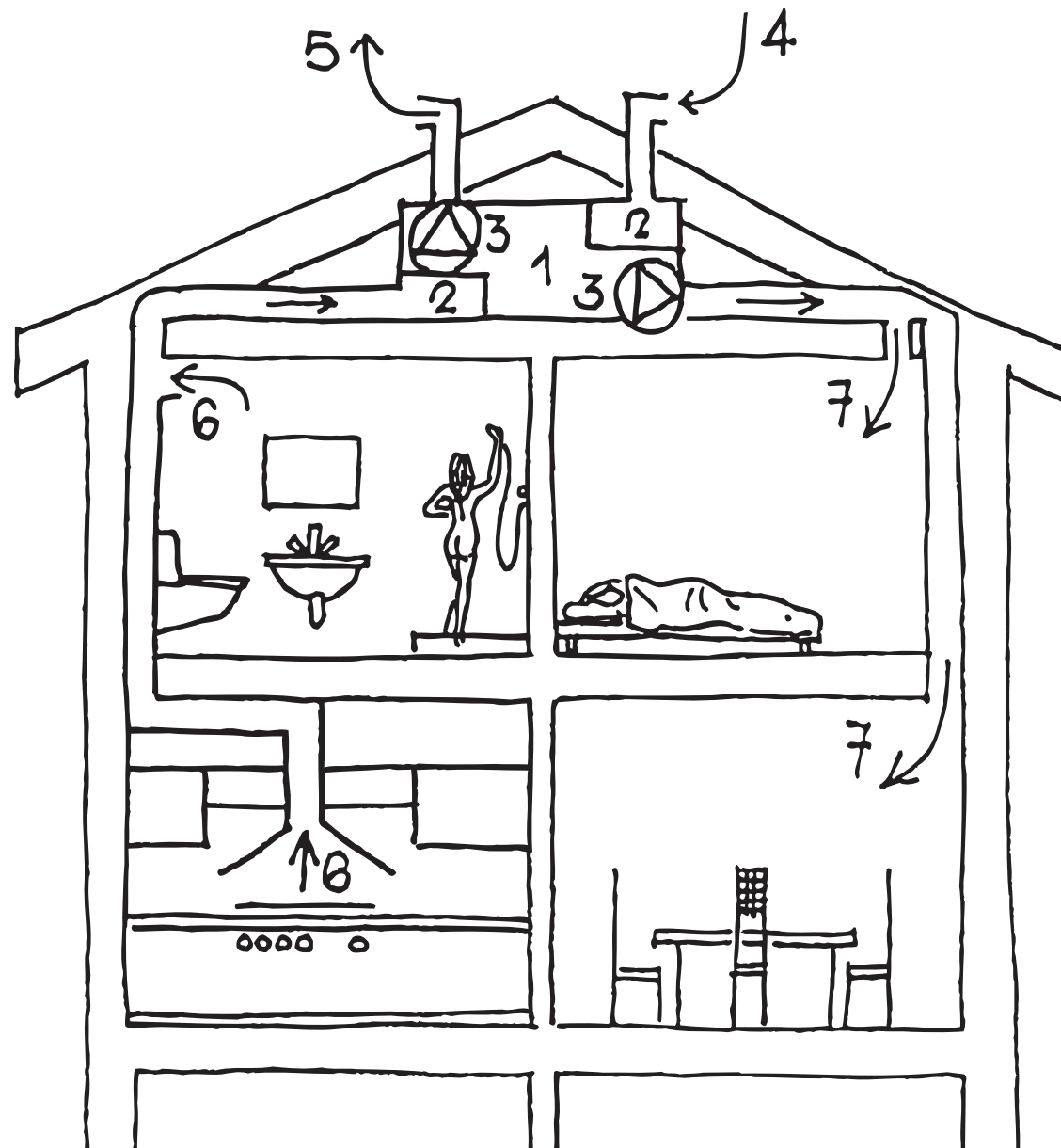


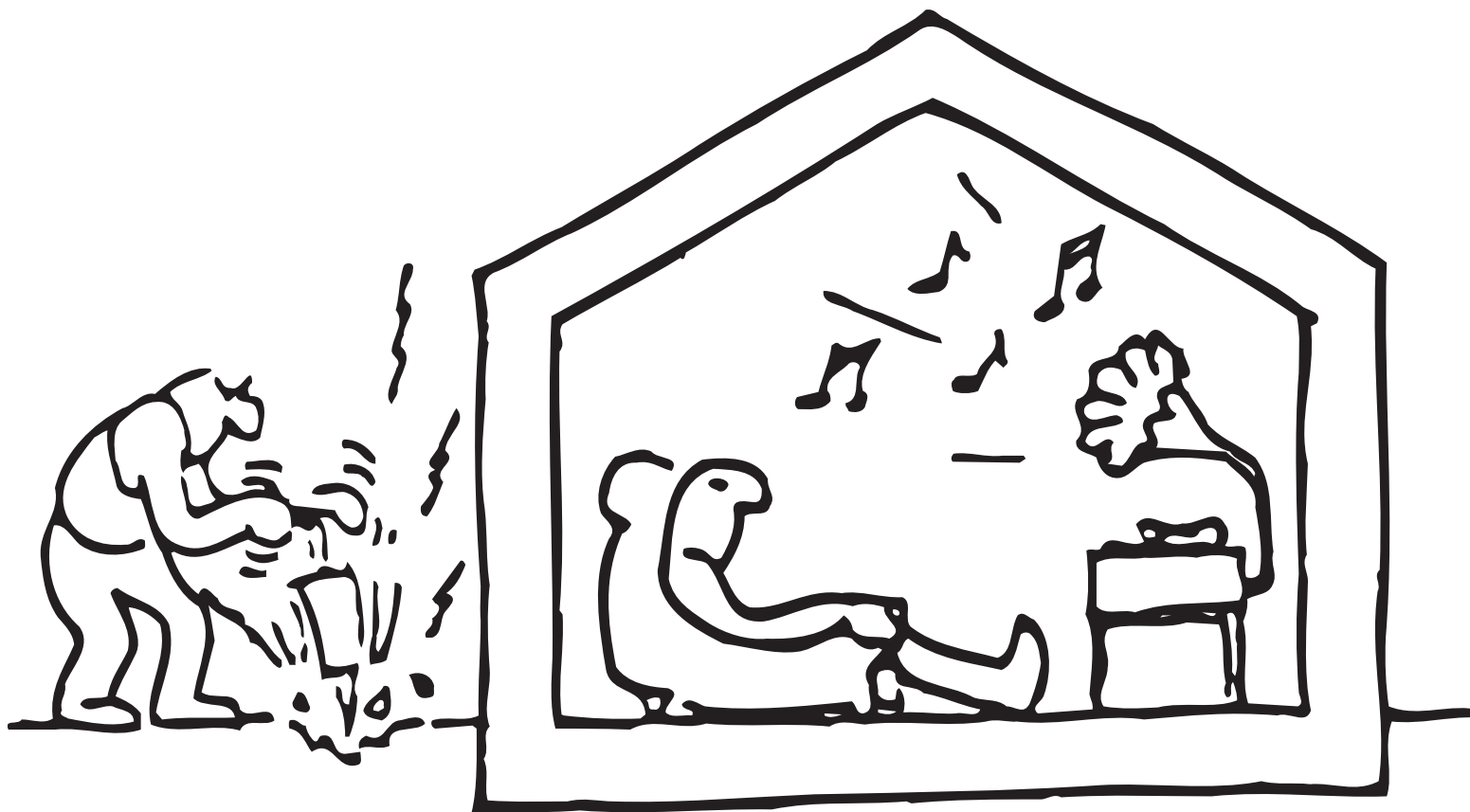




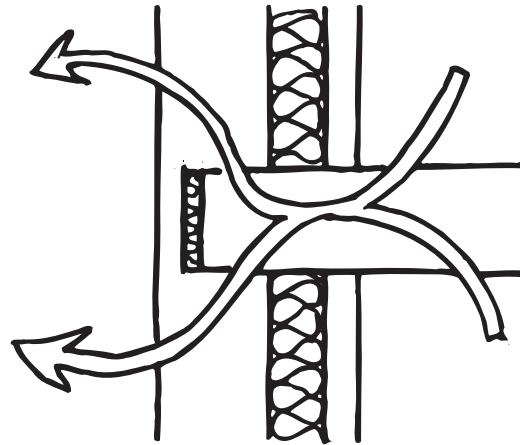




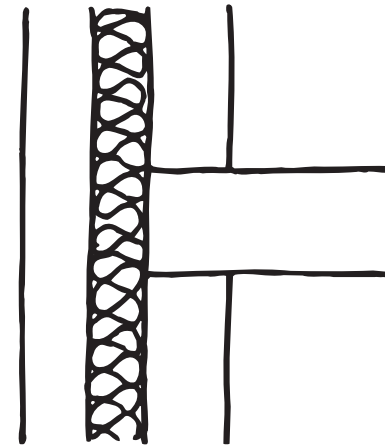




Niveau dalle

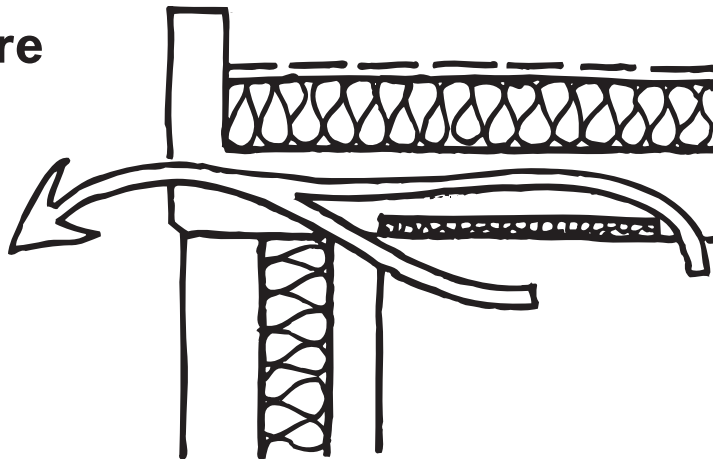


MUR PORTEUR
EXTÉRIEUR

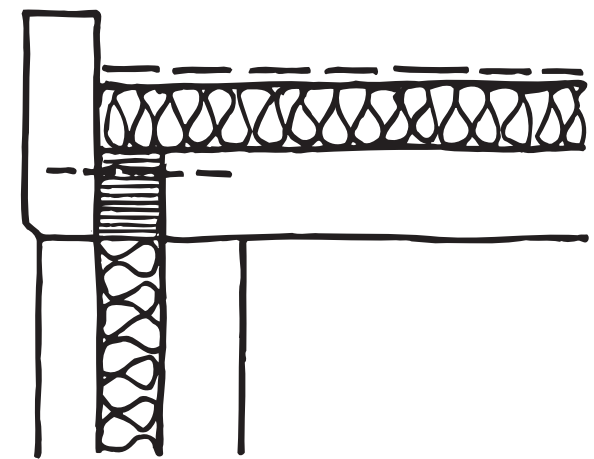


MUR PORTEUR
INTÉRIEUR

Niveau toiture

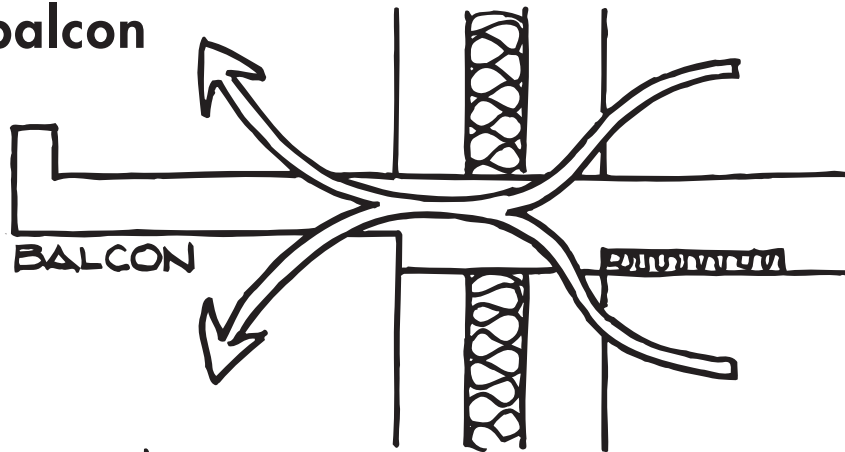


MUR PORTEUR
EXTÉRIEUR

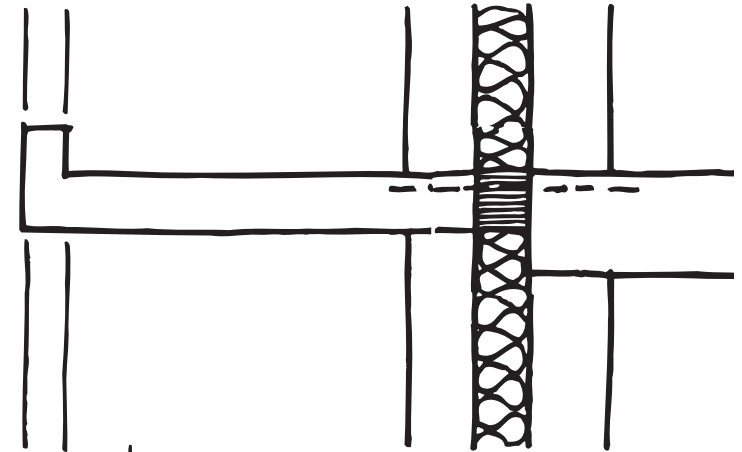


MUR PORTEUR
INTÉRIEUR

Niveau balcon

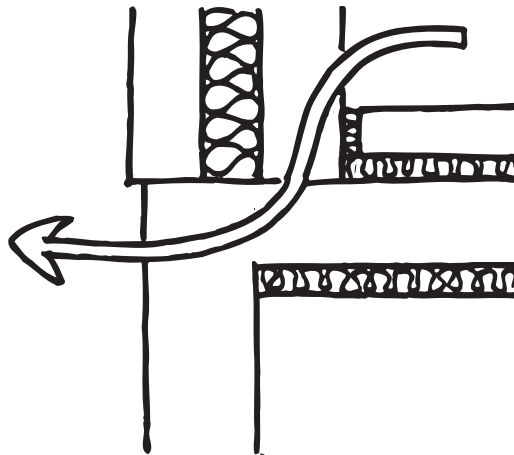


ISOLATION
INTERROMPUE

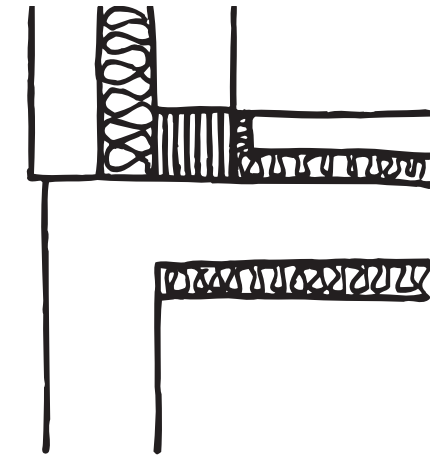


ISOLATION
CONTINUE

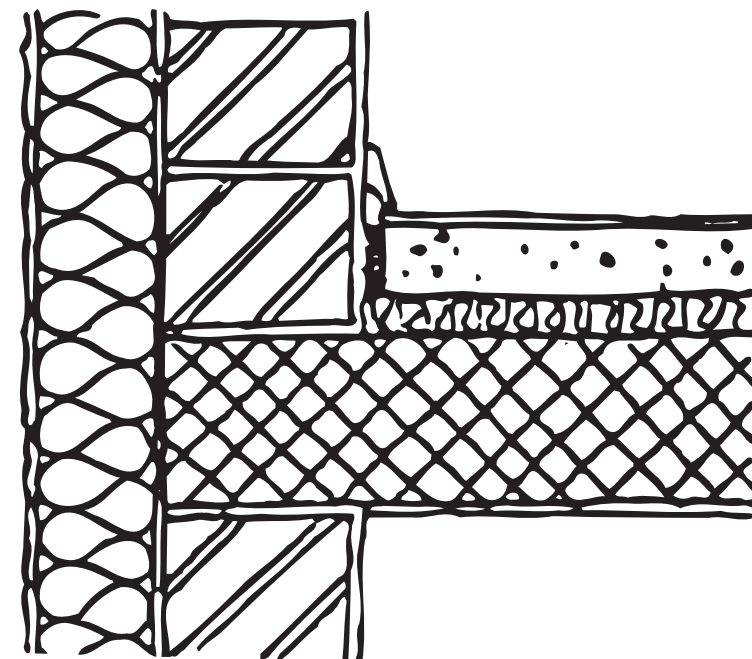
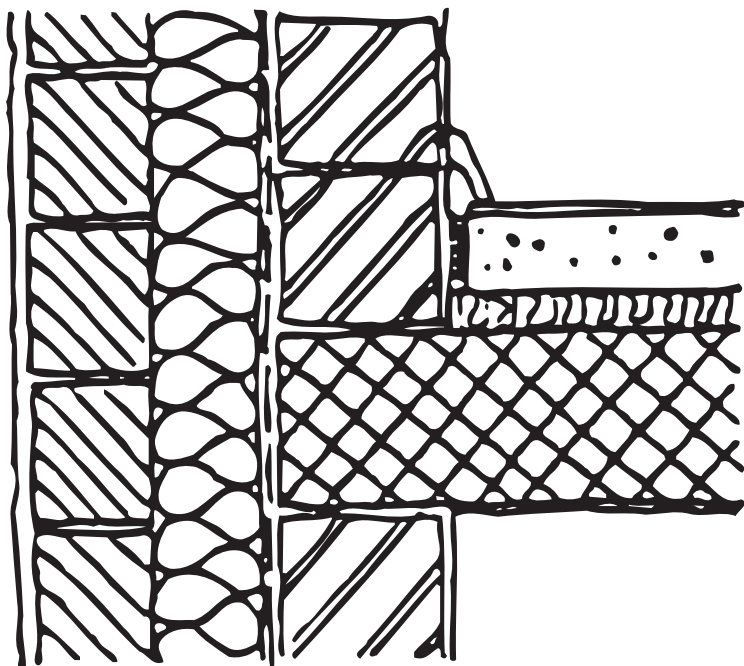
Niveau socle

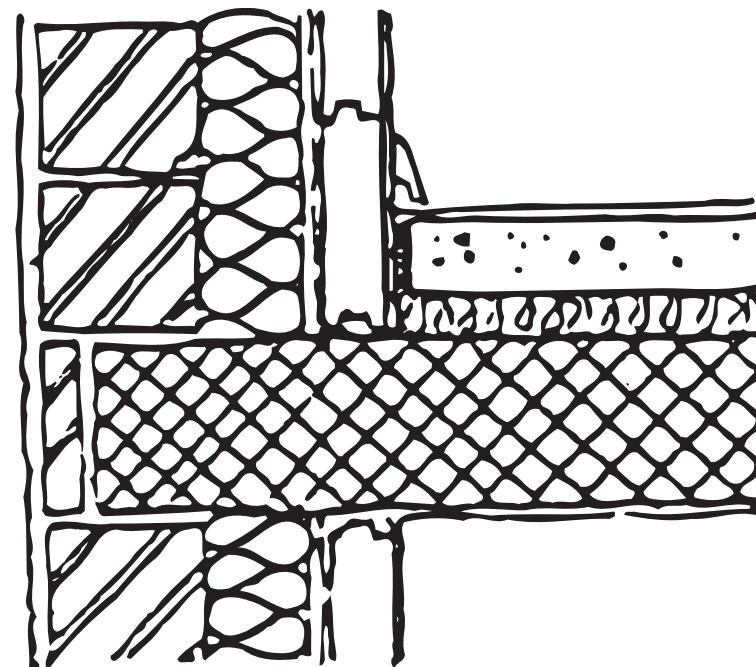
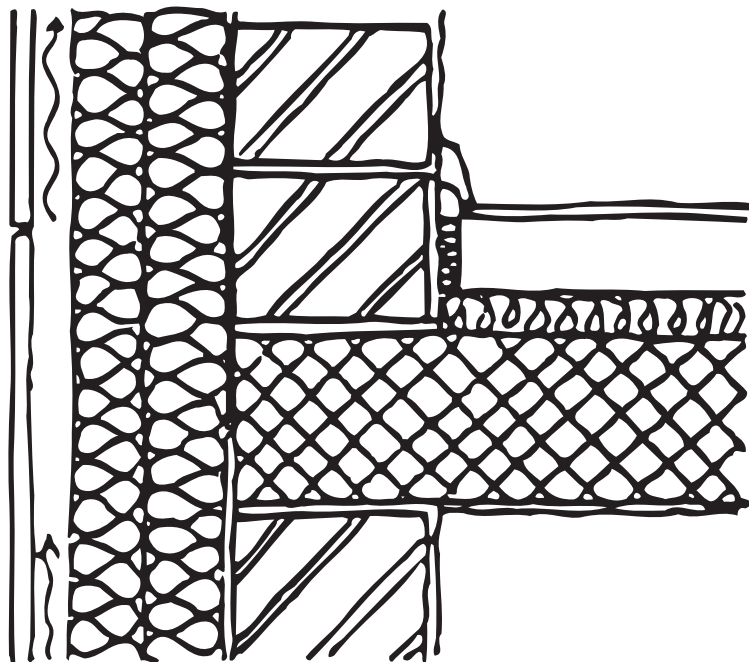


LOCAUX SUR
SOUS-SOL

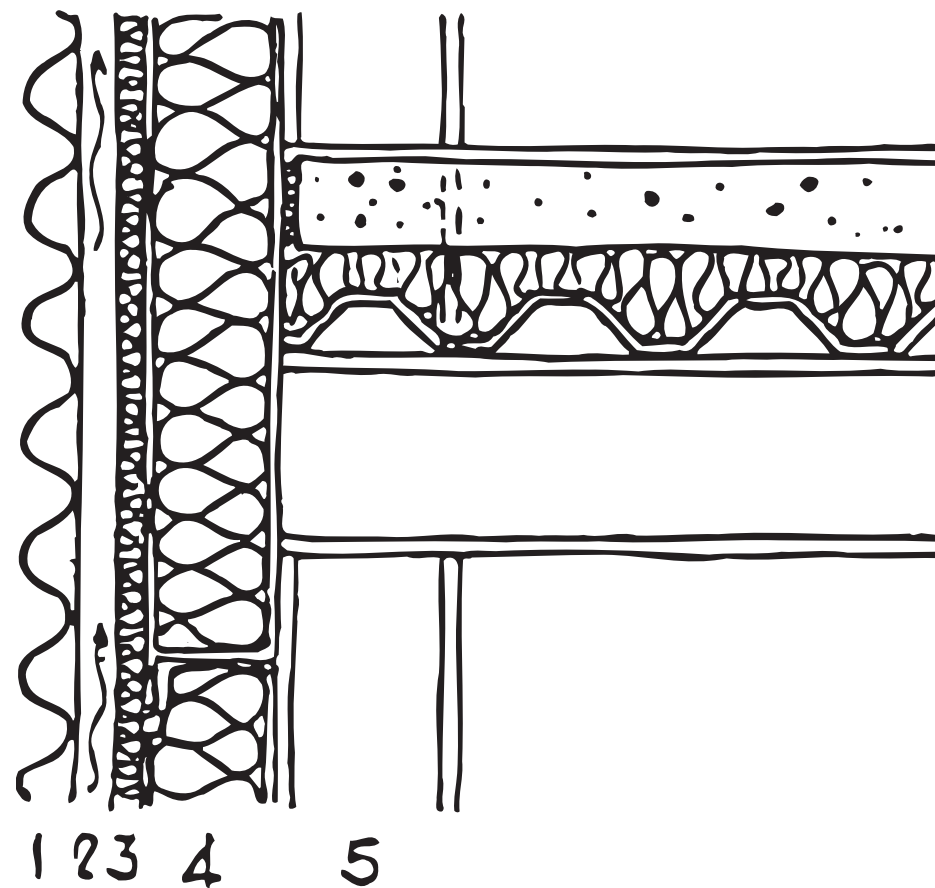
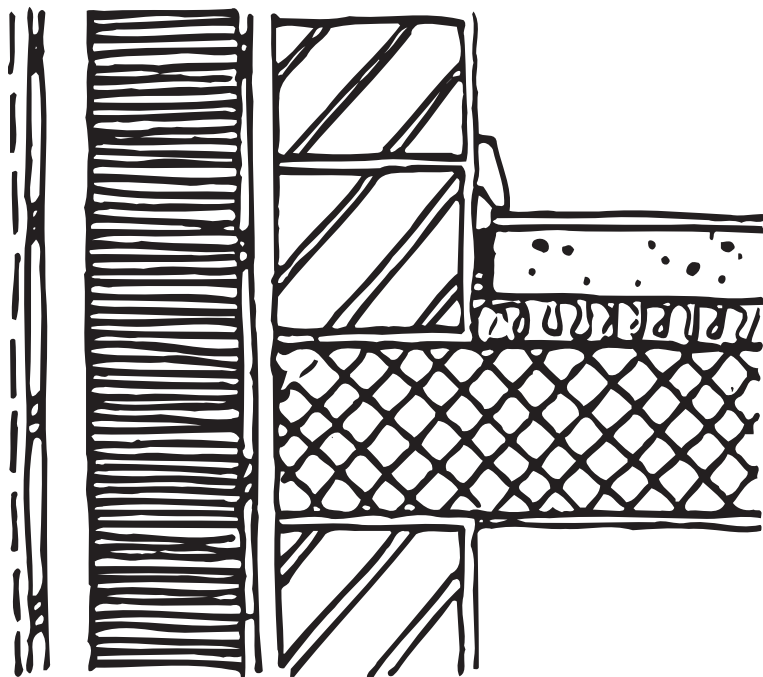


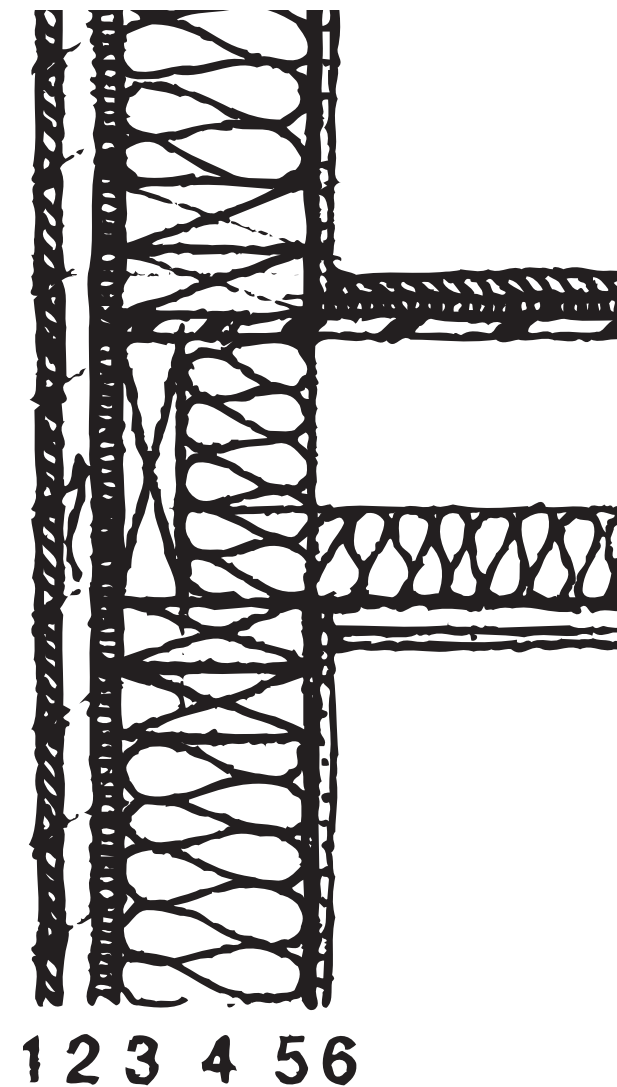
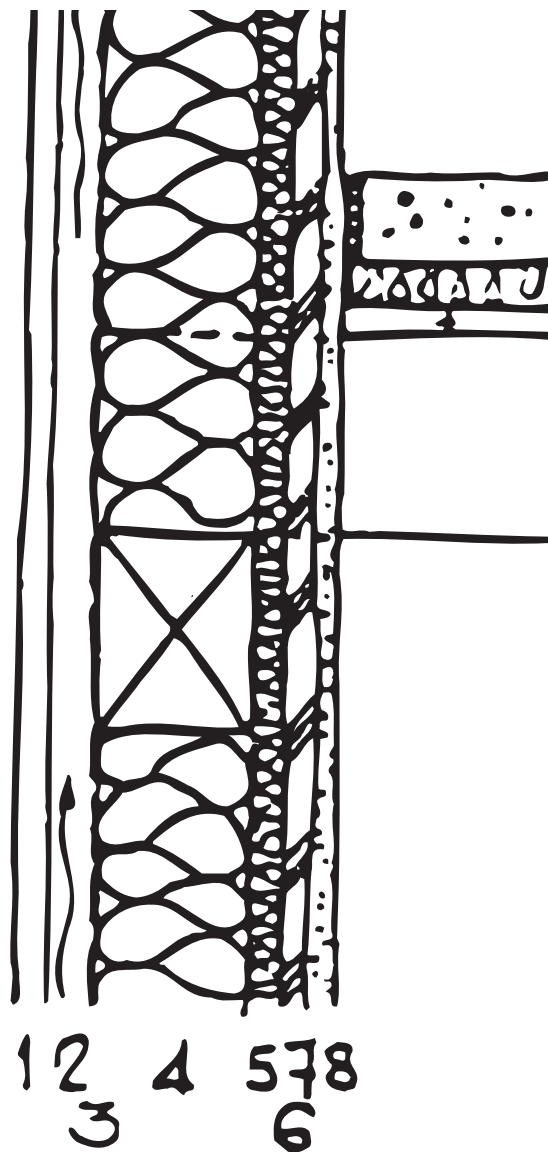
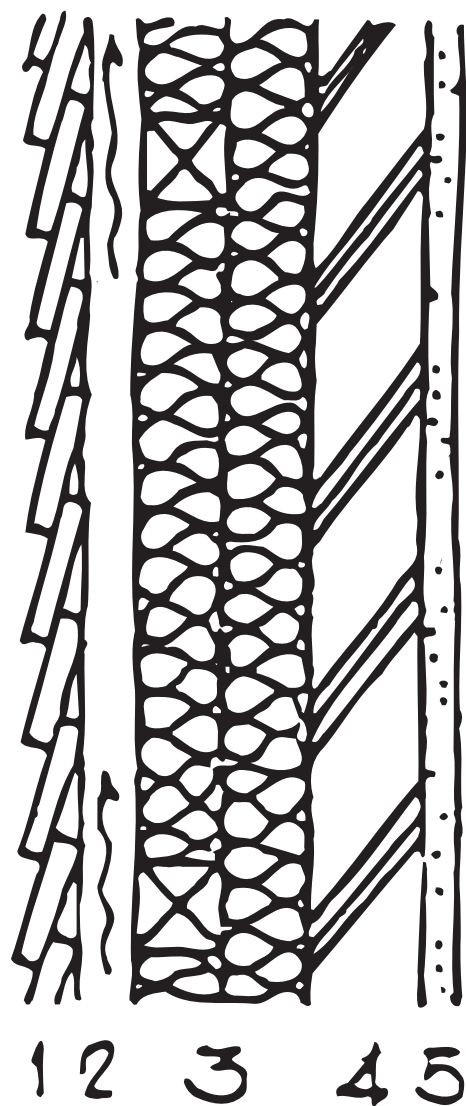
SOCLE: VERRE
CELLULAIRE

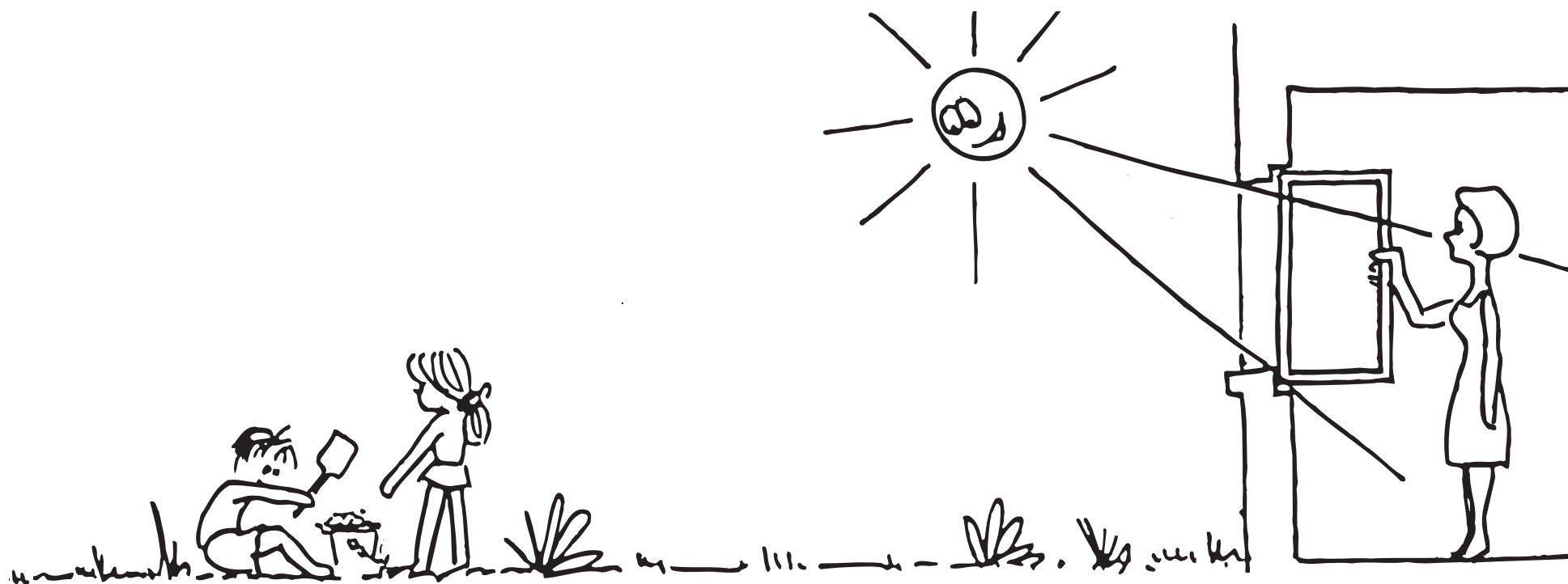


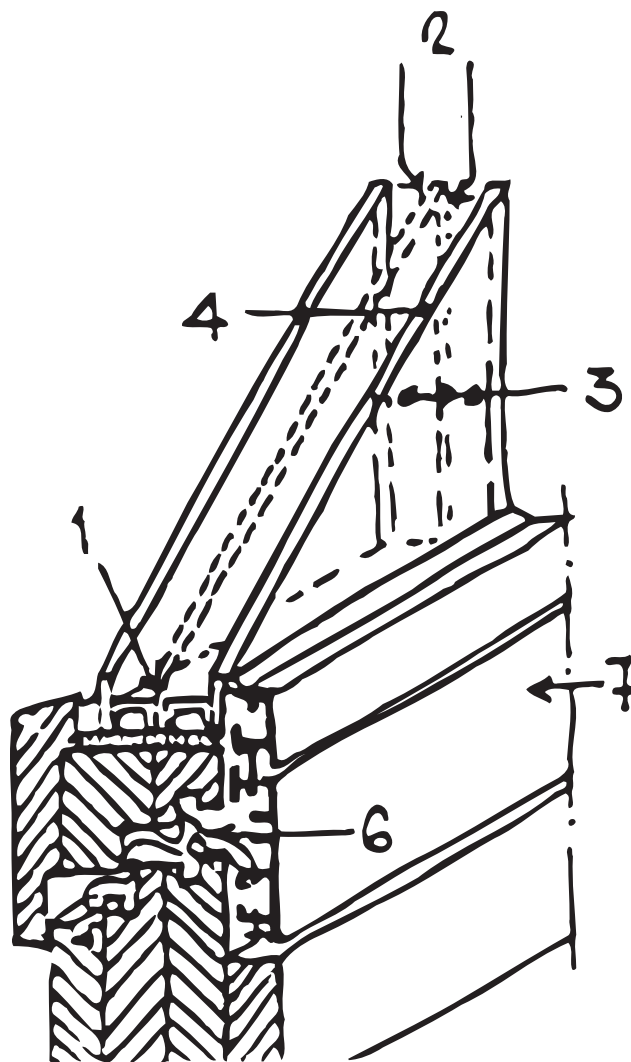


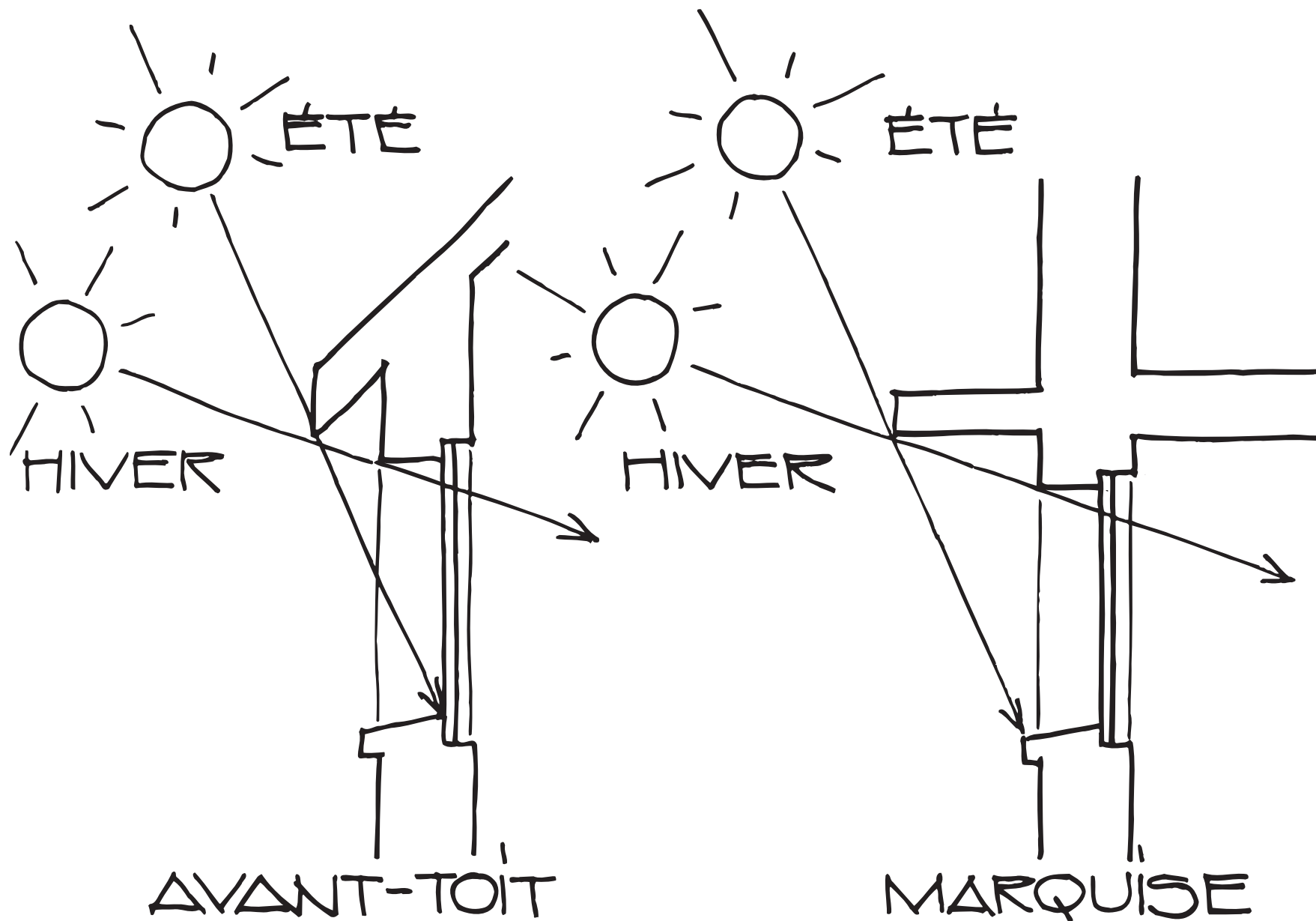


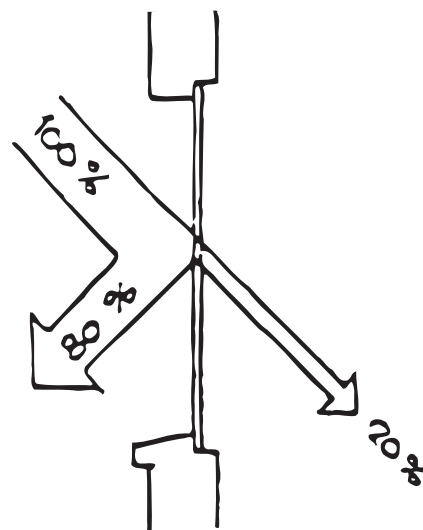
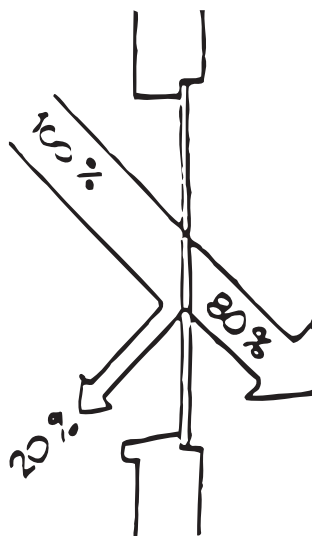
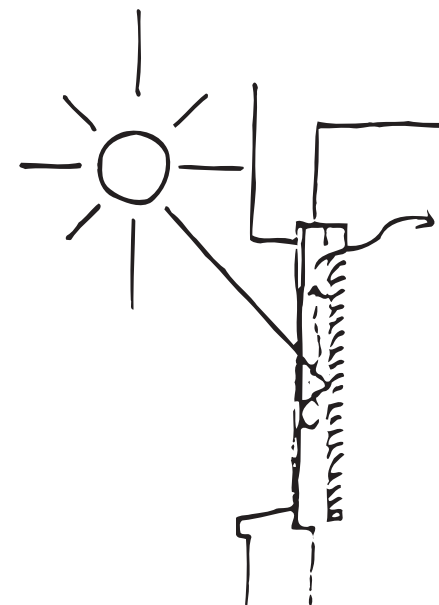
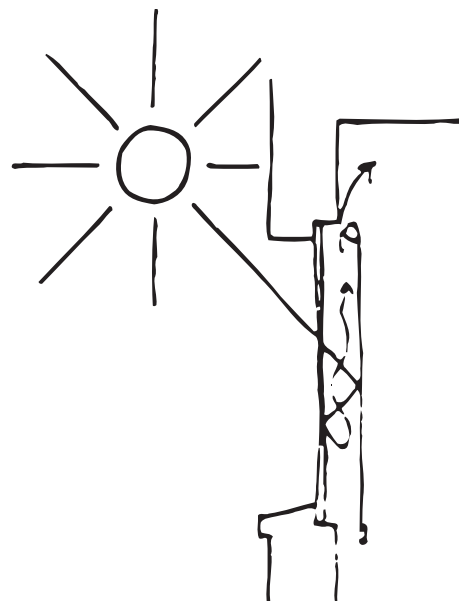
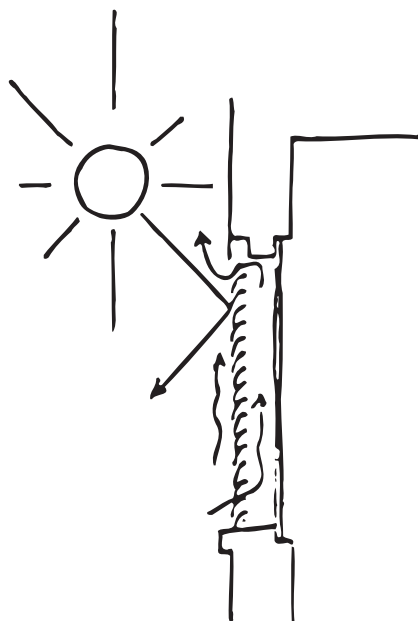
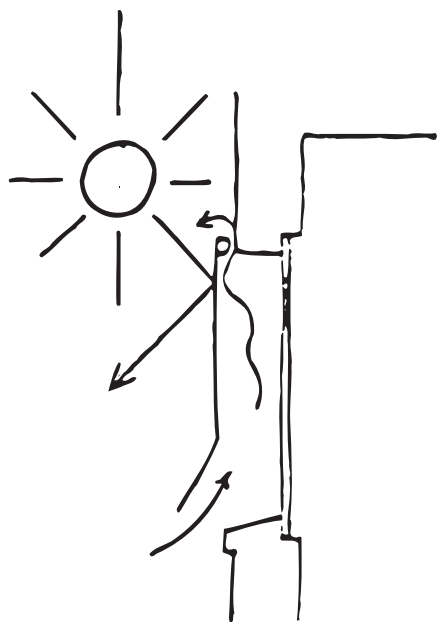


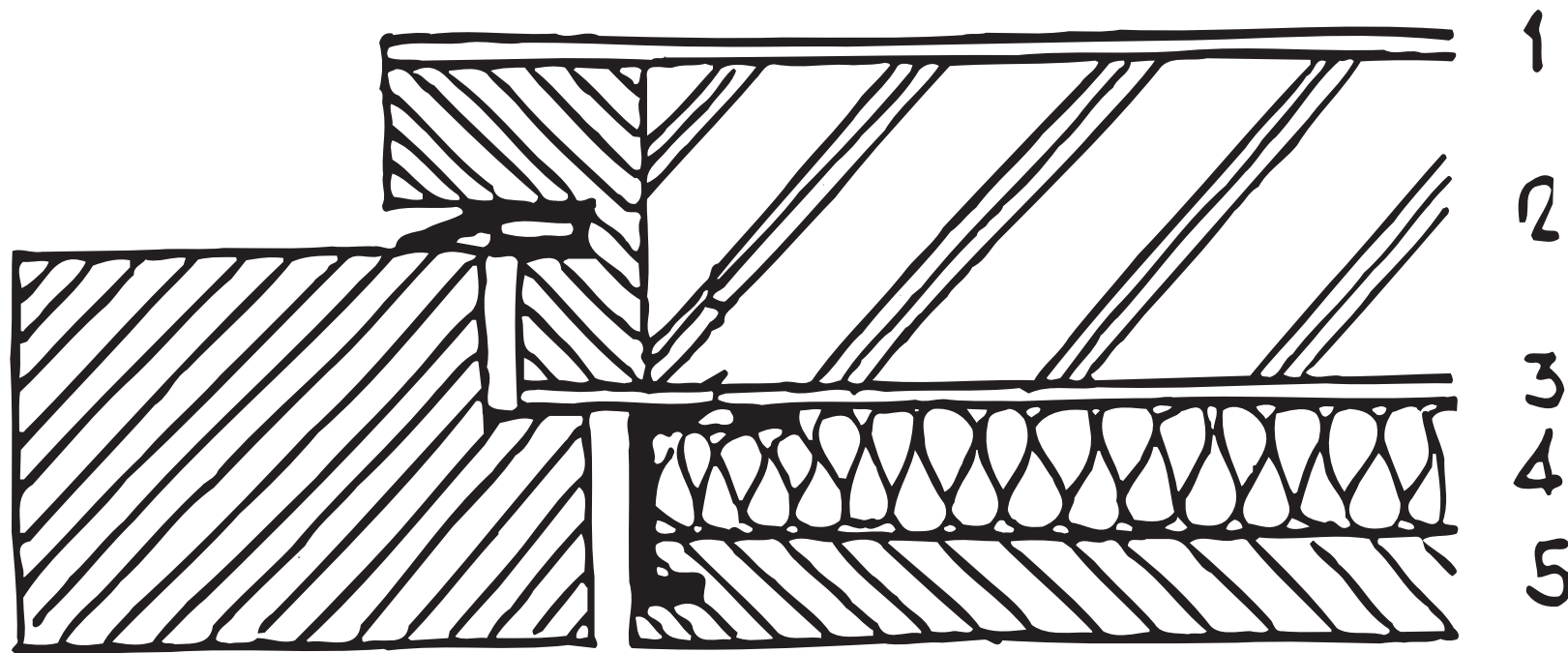






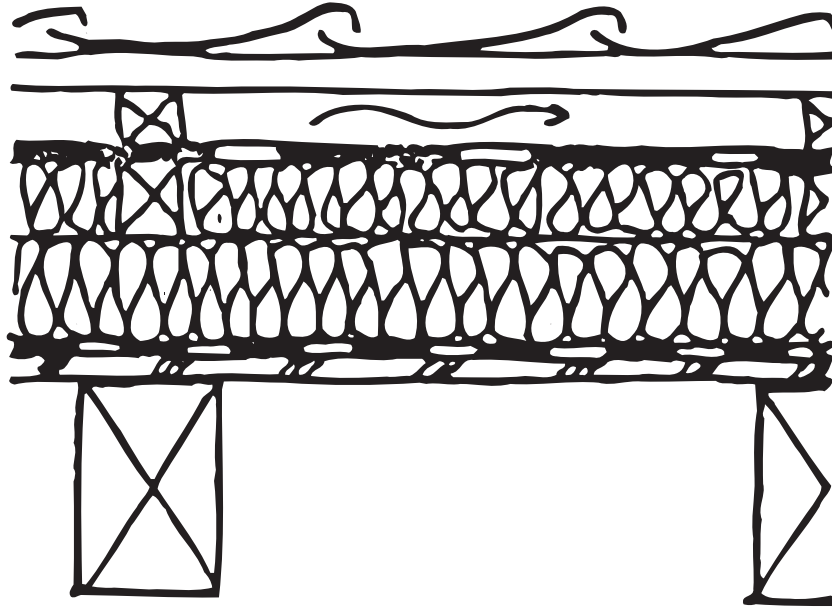








1- 25 4 10000



2- 25 4 10000

