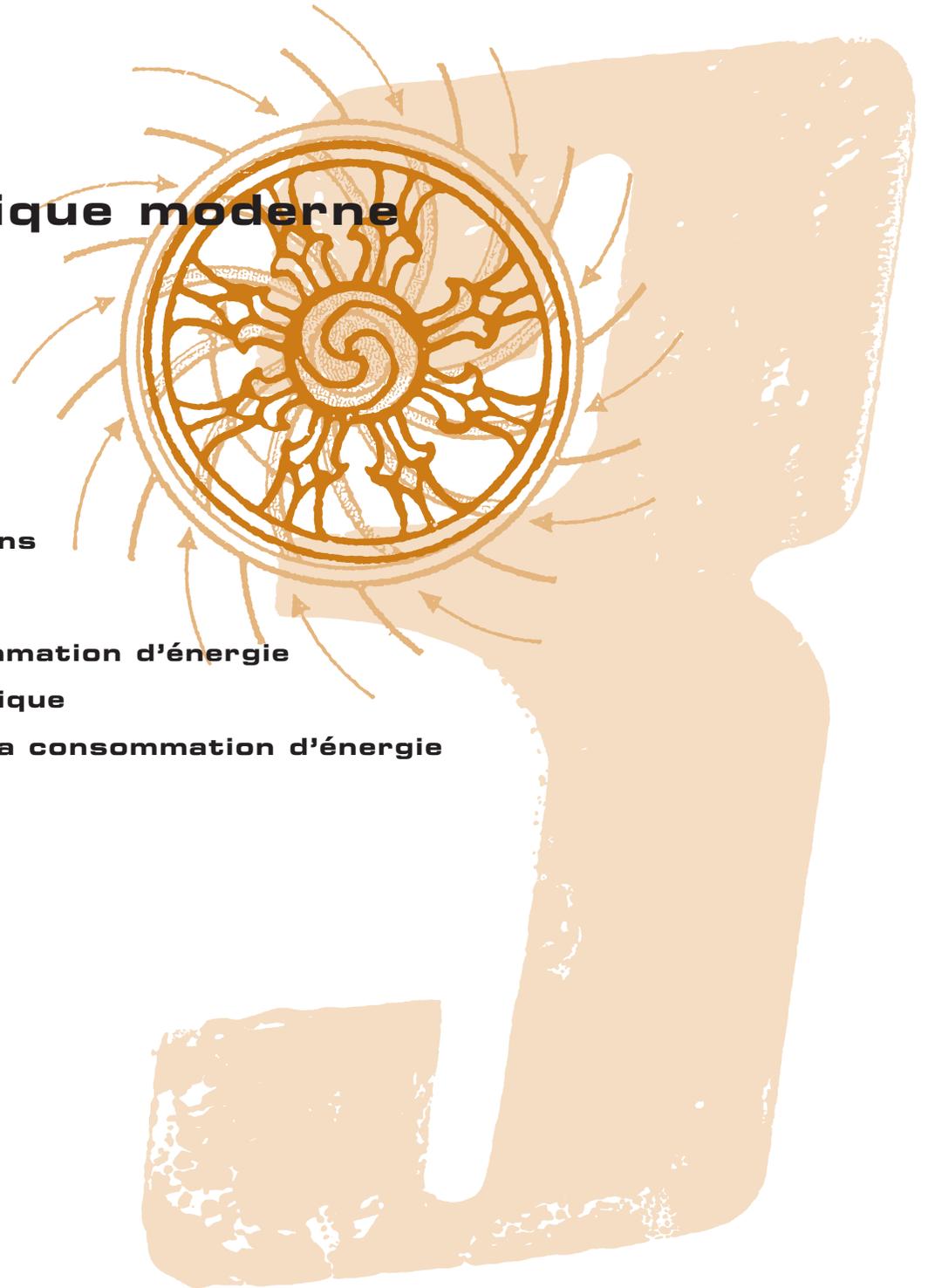


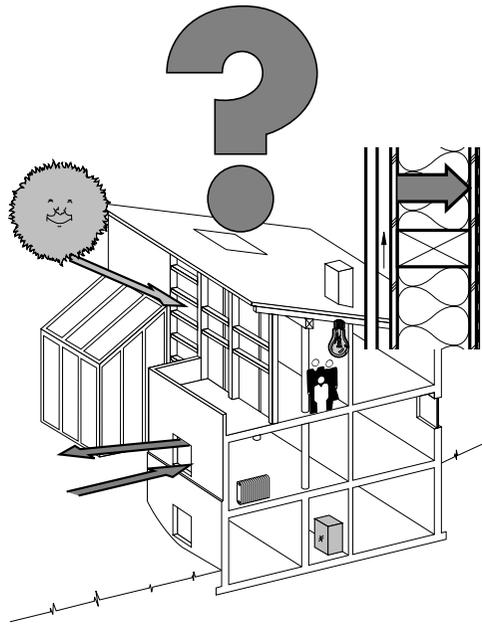
# Eléments du bilan thermique moderne

L'énergie dans l'enseignement professionnel  
Modules pour les professions de la construction: Module 3

- 1 Introduction: de quoi s'agit-il?**
- 2 Objectifs de la formation**
- 3 Eléments proposés pour le plan des leçons**
- 4 Connaissances de base**
  - Influences sur les besoins et la consommation d'énergie
  - Exigences en matière d'isolation thermique
  - Influence de la forme du bâtiment sur la consommation d'énergie
  - La production de chaleur
  - La distribution de chaleur
  - Le dégagement de chaleur
  - La régulation du chauffage
- 5 Exercices et solutions proposées**
- 6 Bibliographie**
- 7 Sources**
- 8 Modèles**



## 1 Introduction: de quoi s'agit-il ?



### Importance du bilan thermique

Comme la construction est généralement chère en Suisse et l'énergie bon marché, il n'est pas étonnant que, souvent, on respecte uniquement les dispositions légales en vigueur en matière d'isolation thermique: l'enveloppe du bâtiment est alors minimisée au lieu d'être optimisée - autrement dit l'isolation thermique prévue doit être à peine suffisante pour que l'on puisse construire.

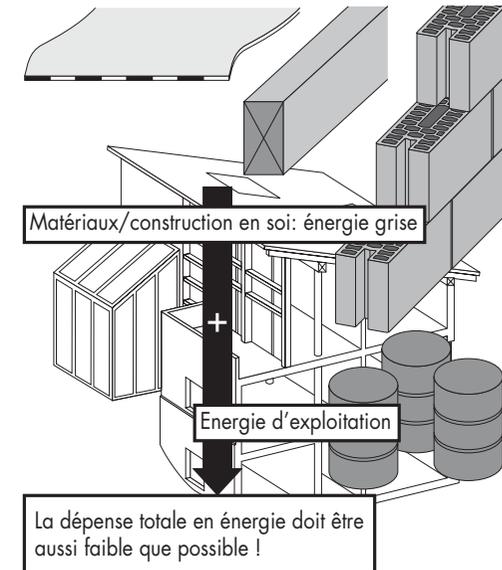
L'importance actuellement attribuée à l'énergie demeure bien trop faible car quand on discute du bilan thermique, on prend trop peu en considération l'énergie nécessaire à l'exploitation et ses effets écologiques (p.ex. effet de serre) ainsi que la durée de vie utile de l'enveloppe du bâtiment.

Ou bien, ce qui est probablement bien plus fréquent encore en pratique, on ne discute pas du tout de l'énergie parce qu'on manque de connaissances sur les facteurs influant le bilan thermique.

C'est pourquoi nous voulons ici montrer comment le bilan thermique d'un bâtiment peut être influencé.

### Énergie pour l'édification et l'exploitation du bâtiment

Pour ériger un bâtiment on a besoin d'énergie que l'on qualifie de grise et qu'il convient de distinguer entre renouvelable et non renouvelable. Cet apport d'énergie n'a lieu qu'une fois et est «amorti» au fil des années de vie du bâtiment.



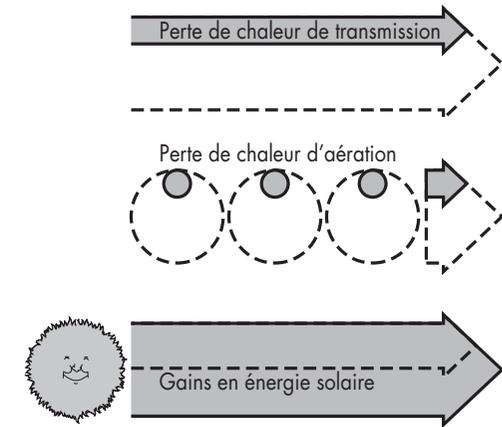
Pour qu'un bâtiment puisse offrir l'utilité qu'on en attend, p.ex. des pièces d'habitation et de travail confortables, il faut lui apporter de l'énergie en hiver afin de compenser les pertes qui se produisent. Pendant l'été il faut aussi utiliser de l'énergie mais cette fois pour refroidir les pièces. Ces besoins en énergie répétés chaque année varient fortement en fonction de la qualité du bâtiment.

Lors de la planification des bâtiments il faut donc prendre en considération tant l'énergie grise que l'énergie d'exploitation: une technique de construction et des installations techniques intelligentes doivent permettre de réduire au minimum l'ensemble de la dépense en énergie.

### Influence de la technique de construction sur le bilan thermique

En priorité, il est possible d'exercer une influence sur la dépense d'énergie nécessaire à l'exploitation en prenant les mesures suivantes pour les bâtiments:

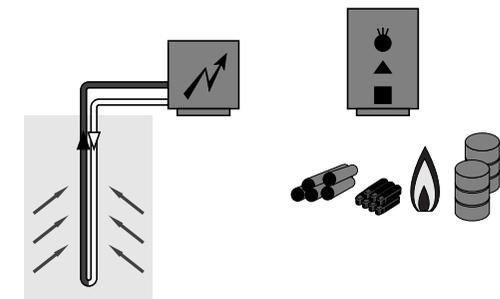
- réduire les pertes de chaleur de transmission (pertes d'énergie dues aux éléments de la construction) grâce à une isolation thermique améliorée (couches d'isolation plus épaisses);
- réduire les besoins en énergie pour l'aération, resp. le renouvellement d'air frais grâce à des enveloppes de bâtiments si possible imperméables et à l'aménagement d'une installation de renouvellement d'air pourvue d'un système de récupération de chaleur (RC);
- réaliser autant de gains en énergie solaire possibles grâce à de grandes fenêtres exposées au sud.

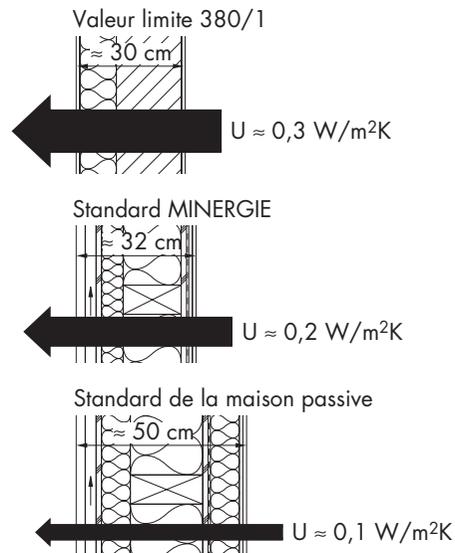


### Couvrir le reste des besoins en énergie en ménageant l'environnement

Il convient enfin de couvrir le reste des besoins en énergie, réduits au minimum, d'une façon aussi écologique que possible:

- avec une énergie renouvelable (solaire, géothermique, hydraulique, éolienne, bois)
- réutilisation de la chaleur perdue (géothermique, dégagements internes, eaux usées...)
- de façon conventionnelle, avec du mazout, du gaz ou même de l'électricité (pompe à chaleur)





### Différents standards d'isolation thermique et de construction

De nos jours on parle de trois standards de construction qui diffèrent fortement les uns des autres, surtout en ce qui concerne les besoins en énergie d'exploitation impliqués:

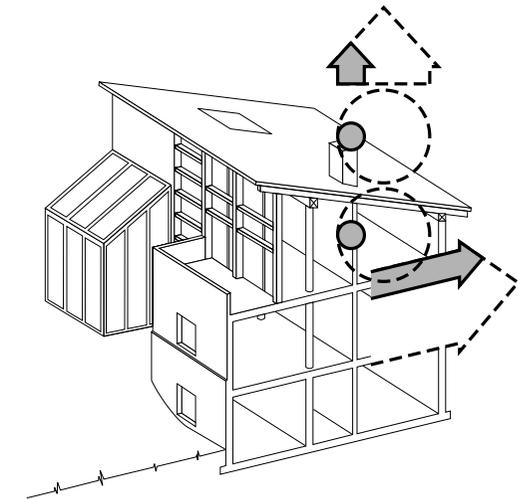
- Valeur limite 380/1  
 (valeurs prescrites légalement, valeurs U vers  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )  
 → chauffage conventionnel statique
- Standard MINERGIE  
 (Valeurs U vers  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )  
 → chauffage statique conventionnel + renouvellement d'air avec RC
- Standard de la maison passive  
 (valeurs U vers  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ )  
 → installation de renouvellement d'air avec RC, resp. «chauffage par air»

### Réduire l'influence exercée sur l'environnement

Avec un bilan thermique judicieux, correspondant aux moyens actuels, on peut également réduire considérablement les effets nuisibles pour l'environnement. A cet égard nous citerons surtout l'effet de serre (émissions de  $\text{CO}_2$ ) et les polluants de l'air. Tant la construction (matériaux, parties, installations techniques) que l'exploitation (besoins en énergie, support d'énergie) exercent des effets sur l'environnement.

### Installations techniques

Il faut exploiter de façon rentable les possibilités actuelles des installations techniques. Les chapitres 4.4 à 4.7 des connaissances de base du présent module donnent un bref aperçu de l'état actuel des choses. Pour des informations plus détaillées sur les installations techniques, veuillez vous reporter au module 5, «Les installations de technique ménagère efficaces sur le plan de l'énergie». Les passages concernés contiennent des indications et renvois à d'autres modules du matériel pédagogique sur l'énergie.



## 2 Objectifs de la formation

### L'apprentie, l'apprenti sait ...

- citer les influences des différents éléments sur le bilan thermique
  - perte de chaleur par transmission (technique de construction, valeurs U)
  - perte de chaleur par aération (fenêtres/aération contrôlée.)
  - gains d'énergie (rayonnement solaire, personnes, chaleur électrique dégagée)
  - capacité d'accumulation/ombrage pour la protection thermique en été
  - système de chauffage, resp. distribution/dégagement de chaleur et régulation
- décrire les principes physiques de base de chacun des éléments:
  - transmission: plus la valeur U est petite, moindres sont les pertes
  - aération: réduction des pertes par récupération de chaleur (RC)
  - rayonnement solaire: exposition sud, valeur G du vitrage plus élevée
  - chaleur dégagée par les personnes ou électrique: optimisation de gain impossible
  - mode de construction/système de chauffage: capacité d'accumulation thermique et système de chauffage influencent la part utile de «chaleur gratuite»
- lire des schémas de principes simples
- proposer des mesures pour améliorer le bilan énergétique:
  - amélioration de la capacité d'isolation thermique (valeur U) des éléments de construction opaques (couches d'isolation plus épaisses) et transparents (év. triple verre isolant)
  - choisir autant que possible une exposition Sud pour les fenêtres et évaluer des vitrages à haut degré de transmission d'énergie
  - réduire les pertes de chaleur dues à l'aération par l'augmentation de l'imperméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment (pas de convection non planifiée) et/ou aménagement d'une aération contrôlée de l'habitat avec RC
  - générer de l'eau chaude sanitaire en partie au moyen de collecteurs solaires.

### 3 Eléments proposés pour le plan des leçons

#### Montrer des images de types de construction caractéristiques

- Bâtiments conventionnels avec enveloppes peu compactes
- Maisons MINERGIE et passives avec:
  - enveloppe de bâtiment compacte
  - grandes fenêtres au sud et petites au nord
  - installations de renouvellement d'air
  - collecteurs solaires et géothermiques, entre autres.



#### Les apprentis/ies cherchent des exemples dans leur environnement ou la littérature

- Les apprentis étudient, à l'aide d'une check-list, le mode de construction et la consommation énergétique d'un bâtiment :
  - matériel illustratif (photos, plans)
  - forme du bâtiment (év. indices relatifs à l'enveloppe du bâtiment)
  - éléments de construction, capacités d'isolation thermique
  - installations techniques, support d'énergie
  - consommation d'énergie
- Ils ou elles présentent les résultats de leurs recherches (exposé ou bref rapport)

#### Organisation d'une visite d'atelier

- Chantier, objet de référence (installations techniques et de construction)
- Industrie (p.ex. préfabrication de maisons à basse consommation d'énergie)
- Entreprises pour le chauffage, ventilation, climatisation (p.ex. installation de renouvellement d'air, technique de pompe à chaleur)

<b>Exemple pratique:</b>		
Étudiez un bâtiment sous les angles du mode de construction, des installations techniques et de la consommation d'énergie		
<b>Données du bâtiment:</b>		
Chantier:	_____	
Année de construction:	_____	
Utilisation:	_____	
Adresse:	_____	
NPA/localité:	_____	
Surface des éléments de construction de référence A		
(surface brute):	_____ m <sup>2</sup>	
Surface de référence énergétique SRE (surface brute):	_____ m <sup>2</sup>	
Coefficient de l'enveloppe A/SRE:	_____ -	Photo
<b>Éléments de construction/capacité d'isolation thermique:</b>		
Construction des éléments essentiels et évaluation ou calcul de leur capacité d'isolation:		
Paroi extérieure:	_____	U = _____ W/m <sup>2</sup> K
Toit:	_____	U = _____ W/m <sup>2</sup> K
Fenêtre:	_____	U = _____ W/m <sup>2</sup> K
Autres:	_____	U = _____ W/m <sup>2</sup> K
	_____	U = _____ W/m <sup>2</sup> K
<b>Installations techniques/consommation d'énergie:</b>		
Chauffage/support d'énergie:	_____	
Eau chaude/support d'énergie:	_____	
Consommation d'énergie pour le chauffage:	_____	MJ/a
Consommation d'énergie pour l'eau chaude:	_____	MJ/a
Consommation d'énergie pour chauffage + eau chaude:	_____	MJ/a
Consommation d'énergie par m <sup>2</sup> de surface de référence énergétique SRI:	_____	MJ/m <sup>2</sup> a
<b>Évaluation personnelle du bâtiment:</b>		
(état, consommation d'énergie, potentiel d'économie, influence sur l'environnement)		
_____		

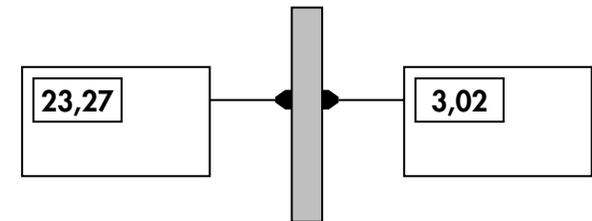
### Les apprentis/ies récoltent des informations

- Entretiens avec des maîtres d'ouvrage institutionnels et/ou des architectes sur leur «comportement en matière de construction»
  - philosophie (comment construit-on et pourquoi)
  - opinion sur les nouveaux standards de construction (MINERGIE, maison passive)
  - estimation des chances des nouveaux standards de construction
  - perspectives d'avenir
- Les apprentis définissent leurs idées quant aux valeurs qui leur sont chères:
  - comment construiraient-ils s'ils «avaient leur mot à dire»?



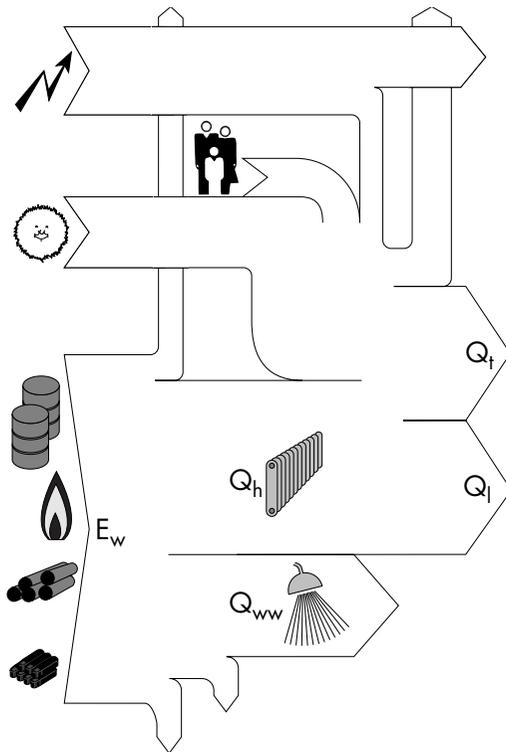
### Interface avec la branche «fondements des sciences naturelles»

- Lancer des expériences dans le domaine de la physique:
  - conduction de chaleur
  - convection
  - ...



## 4 Connaissances de base

### 4.1 Influences sur les besoins et la consommation en énergie



La consommation énergétique annuelle d'un bâtiment est essentiellement marquée par les facteurs d'influence suivants:

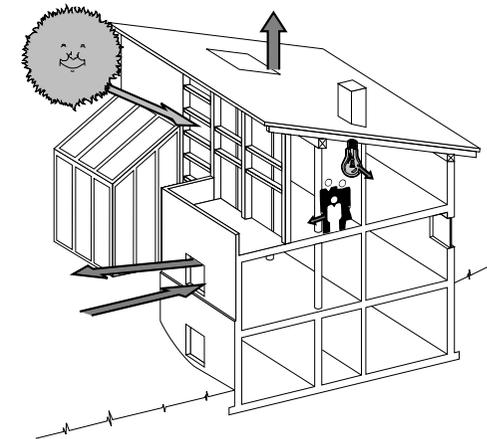
- consommation d'énergie pour le chauffage et éventuellement pour la climatisation
- dépense d'énergie pour la production d'eau chaude
- électricité domestique pour l'éclairage et le fonctionnement des appareils ménagers (cette consommation est surtout influencée par le choix des lampes et des appareils)

Au moyen d'un bilan énergétique (p.ex. SIA 380/1) on peut calculer l'influence des facteurs particuliers sur les besoins annuels en énergie. Ce calcul est basé sur l'hypothèse d'une utilisation standard (p.ex. pour le renouvellement d'air, nombre des personnes, etc). Ceci dit on constate dans la pratique d'exploitation des différences considérables concernant la consommation énergétique réelle des bâtiments, selon leur utilisation effective.

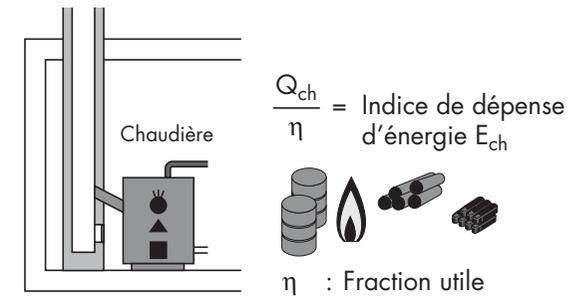
### Besoins en énergie de chauffage

Les facteurs d'influence sur les besoins en énergie de chauffage:

- la perte de chaleur par transmission
- la perte de chaleur par aération
- les gains d'énergie par
- le rayonnement solaire
- la chaleur dégagée par les personnes
- la chaleur dégagée par les appareils électriques (lumière, appareils)

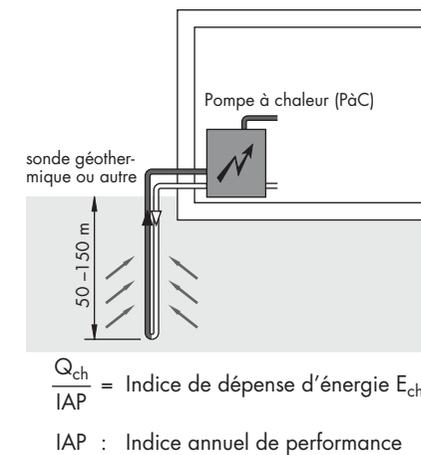


La chaleur de chauffage visant à couvrir le besoin en énergie doit être générée et amenée dans les pièces. Des pertes se produisent alors (préparation, accumulation et distribution), lesquelles sont prises en considération avec la fraction utile (rendement)  $\eta$  du chauffage. Si l'on divise la demande d'énergie de chauffage  $Q_{ch}$  par la fraction utile  $\eta$  du chauffage (p.ex.  $\eta = 0.85$ ) et par la valeur de référence du support énergétique utilisé (p.ex.  $H_u = 11,9$  kWh/ kg mazout), on obtient la consommation énergétique finale, p.ex. en kg de mazout.



Pour les systèmes de chauffages recourant à la technique des pompes à chaleur (on utilise celle de la terre, de l'eau ou de l'air) on parle non pas de fraction utile mais de d'indice de puissance ou de l'indice annuel de performance (IAP) de la pompe à chaleur. L'indice annuel de performance indique l'énergie calorifique ou de chauffe générée par une part de courant électrique (énergie motrice de la pompe à chaleur). Pour obtenir un indice aussi élevé que possible il faut :

- utiliser une bonne pompe à chaleur (comparaison des résultats d'essais)
- disposer d'une haute température à la source de chaleur
- admettre la température de chauffage la plus basse possible (p.ex. chauffage par le sol à basse température et à réglage automatique).





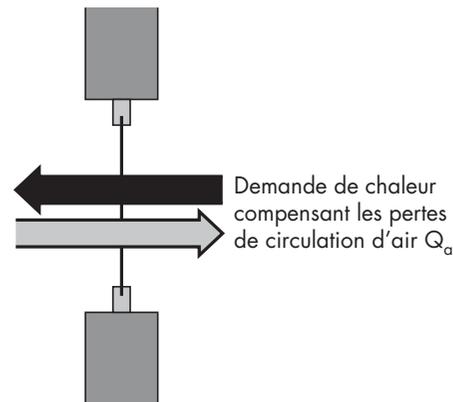
Demande de chaleur compensant les pertes par transmission thermique  $Q_t$

$$Q_t = U \cdot SEC \cdot DJ \cdot 0,024 \quad [\text{kWh/a}]$$

U	coefficient de transmission de chaleur	[W/m <sup>2</sup> K]
SEC	surface de l'élément de construction (A)	[m <sup>2</sup> ]
DJ	degrés jours par période de chauffe	[K·d/a]
0,024	coefficient	[h·kW/d·W]

### Perte de chaleur par transmission

On désigne par perte de chaleur par transmission le flux de chaleur traversant les éléments de construction suite à des différences de température. L'ampleur de cette perte dépend d'une part des conditions climatiques générales (températures intérieure et extérieure de l'air), d'autre part elle peut être directement influencée par la qualité de l'isolation thermique. La mesure de la qualité de l'isolation thermique est le coefficient de transmission de chaleur U (ancienne valeur k) exprimé en W/m<sup>2</sup>K. Plus la valeur U est petite plus la perte d'énergie est minime pour une différence de température donnée.



$$Q_{ai} = \frac{V \cdot n \cdot (c \cdot \rho) \cdot DJ \cdot 0,024}{3,6} \quad [\text{kWh/a}]$$

V	volume chauffé (net)	[m <sup>3</sup> ]
n	taux de renouvellement d'air (p.ex. 0,5)	[h <sup>-1</sup> ]
c · ρ	capacité calorifique spécifique de l'air (plateau CH = 1,15)	[kJ/m <sup>3</sup> K]
DJ	degrés jours par période de chauffe	[K·d/a]
0,024	coefficient	[h·MJ/d·kJ]
3,6	coefficient	[MJ/kWh]

### Perte de chaleur par aération

L'usage standard (SIA 380/1) suppose qu'en cas d'aération naturelle (fenêtres, portes, joints) le taux de renouvellement d'air extérieur est d'environ 0,5 en période de chauffage. Cela signifie qu'en une heure le volume d'air est renouvelé pour moitié: de l'air frais et froid remplace l'air chaud et vicié des différentes pièces.

Pour le plateau suisse, cet échange d'air dans les logements a pour résultat une perte d'énergie d'environ 35kWh/m<sup>2</sup>a.

S'il y a aération mécanique contrôlée et équipée d'un récupérateur de chaleur (RC) cette perte de chaleur d'aération ne s'élève plus qu'à environ 7 kWh/m<sup>2</sup>a. Elle dépend du degré d'efficacité de la RC et de l'imperméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Il faut compter environ 2 kWh/m<sup>2</sup>a supplémentaires pour l'énergie motrice d'un tel système d'aération pendant la période de chauffage.

Si l'on compare avec le mode d'aération habituel par l'ouverture des fenêtres, on peut donc obtenir une importante économie d'énergie en recourant à un échangeur d'air.

### Apports de chaleur

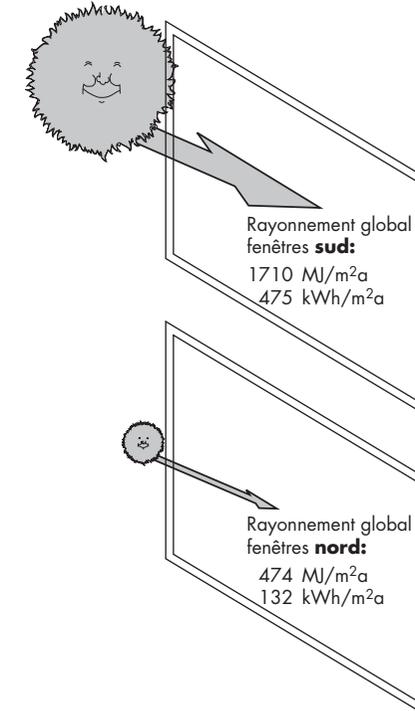
Même sans architecture spéciale le rayonnement solaire contribue à l'apport d'énergie, de façon non négligeable et pour chaque bâtiment. On peut influencer ce gain d'énergie en adoptant une orientation adéquate des fenêtres (l'exposition au sud est idéale) et un bon vitrage (degré de pénétrabilité énergétique  $g$ ), sans oublier cependant que ce gain se poursuit en été et entraîne alors une surchauffe indésirable (prévoir des possibilités d'ombrages ou de protection solaire).

Les habitants (dégagement de chaleur moyen par personne: 80 à 100 Watt) et l'éclairage ainsi que les appareils électriques fournissent d'autres gains en énergie (chaleur perdue).

Au sujet de ces gains en énergie il convient de noter que seule une certaine part de la chaleur libérée (soleil + personnes + éclairage / appareils) peut être utilisée. Ces gains en énergie entraînent parfois une surchauffe indésirable qu'il faut éliminer, p.ex. en aérant plus.

Le degré d'utilité des gains en énergie dépend d'abord du rapport entre les gains d'énergie à disposition et les besoins en énergie. Exercent aussi une influence : le système de chauffage choisi, resp. la façon dont la chaleur est dégagée (les radiateurs sont «rapides», les chauffages par le sol inertes), ainsi que la capacité d'accumulation thermique des divers éléments de construction (masse capable d'accumuler).

Exemple pour la station climatique Zurich SMA



## 4.2 Exigences en matière d'isolation thermique

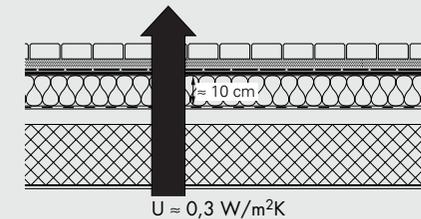
Lorsqu'on décide la façon dont on va construire il faut se livrer à certaines considérations philosophiques: quelle durée utile doit-on envisager pour le système " réalisation, entretien, exploitation ", comment juger de la disponibilité et du prix d'approvisionnement des supports d'énergie fossile dont on dispose, comment évaluer les points de vue pertinents quant à l'environnement, etc. Pour en discuter, le maître d'ouvrage et l'architecte p.ex. peuvent se baser sur la confrontation entre trois standards de construction différents que nous exposons ci-dessous. Les valeurs citées sont indicatives. Pour les documents relatifs aux chantiers spécifiques les prescriptions correspondantes doivent être respectées et varient partiellement d'un canton à l'autre.

### Standard de construction n°1: «exigences légales»

Les exigences légales qui marquent le standard de construction le plus courant de nos jours relèvent d'abord des lois cantonales sur l'énergie, lesquelles s'appuient sur des normes reconnues telles que p.ex. SIA 180 et 380/1. Ces normes visent à régler la protection thermique par le biais d'exigences à l'égard des différents éléments de construction, par exemple dans le cas de bâtiments de taille modeste ou de bâtiments possédant une part réduite de surface vitrée. Actuellement, pour les nouvelles constructions, il convient d'observer les coefficients de transmission de chaleur  $U$  suivants (plus connus jusqu'à présent sous le nom de valeur  $k$ ):

### Valeurs $U$ indicatives pour les éléments de construction

- éléments opaques en contact avec le climat extérieur: env.  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- éléments pour pièces non chauffées ou en contact avec la terre: env.  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- fenêtres, portes-fenêtres, portes: env.  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$



Ce standard de construction aujourd'hui habituel est également caractérisé par l'emploi de couches isolantes de haute valence, d'env. 10 cm d'épaisseur, pour les éléments de construction extérieurs ou bien, pour les murs extérieurs, par des constructions homogènes en briques spéciales de grande épaisseur. Dans le cas de modifications ou de rénovations, des valeurs  $U$  augmentées d'environ  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  sont admises.

Pour les bâtiments plus importants ou possédant une grande surface vitrée (p.ex. supérieure à 20% de la surface de référence énergétique SRE) la protection thermique correspond aux exigences légales si la demande en énergie de chauffage  $Q_{ch}$ , calculée selon SIA 380/1, est inférieure à la valeur limite  $Ch_{li}$ . Cette valeur  $Ch_{li}$  dépend de la catégorie du bâtiment et du coefficient de l'enveloppe SEC (A)/SRE (cf. chap. 4.3)

### Standard de construction n°2 «MINERGIE»

La technique MINERGIE plaide pour une utilisation rationnelle de l'énergie et pour l'emploi des énergies renouvelables, en améliorant à la fois le confort et le respect de l'environnement. Ce standard réduit la consommation d'énergie non renouvelable à un niveau continuellement bas. Pour correspondre au standard MINERGIE les bâtiments d'habitation doivent remplir les critères suivants:

- les bâtiments neufs peuvent avoir un indice de dépense d'énergie (chauffage et eau chaude) de plus de 45 kWh/m<sup>2</sup>a (160 MJ/m<sup>2</sup>a), en considérant que seule l'énergie de haute valence amenée au terrain (combustibles, chaleur à distance directement utilisable) est à prendre en compte et que l'électricité fournie pour la production de chaleur et la ventilation doit être prise en compte au double de sa valeur dans le calcul.
- Pour les bâtiments construits avant 1990, l'indice de dépense d'énergie à respecter pour les assainissements est de 90 kWh/m<sup>2</sup>a (320 MJ/m<sup>2</sup>a).

Quelles sont les mesures permettant d'atteindre le standard MINERGIE ? Les expériences montrent que ce standard peut être atteint par les mesures constructives et techniques suivantes :

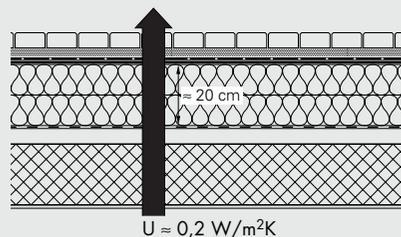
- mesures architectoniques telles que le choix d'une enveloppe de bâtiment compacte et une orientation optimisée (grandes fenêtres au sud, petites fenêtres au nord);
- bonne protection thermique avec des valeurs U d'éléments de construction nettement meilleures que celles du standard 1 (pour les éléments de construction extérieurs des couches d'isolation thermique d'env. 20 cm d'épaisseur sont nécessaires) et avec des raccords entre éléments construits sans points faibles significatifs du point de vue de la technique d'isolation thermique (ponts thermiques):

- enveloppe de bâtiment étanche à l'air avec valeurs  $n_{ai,50} < 1,0 \text{ h}^{-1}$
- pendant la période de chauffage, aération mécanique avec récupération de chaleur efficace (RC) et faible consommation de courant;
- utilisation d'énergies renouvelables, p.ex. en recourant à la technique des pompes à chaleur (géothermie, eau nappe phréatique) et des collecteurs solaires (chauffage solaire de l'eau);
- utilisation d'appareils électroménagers à consommation électrique minimale.

Ces mesures constructives et de techniques permettent de réduire les besoins en énergie de chauffage de 30% par rapport au standard de construction n°1.

#### Valeurs U indicatives pour les éléments de construction

- éléments opaques en contact avec le climat extérieur: env. 0,2 W/m<sup>2</sup>K
- éléments pour pièces non chauffées ou en contact avec la terre: env. 0,3 W/m<sup>2</sup>K
- fenêtres, portes-fenêtres, portes: env. 1,3 W/m<sup>2</sup>K



### Standard de construction n°3 «la maison passive»

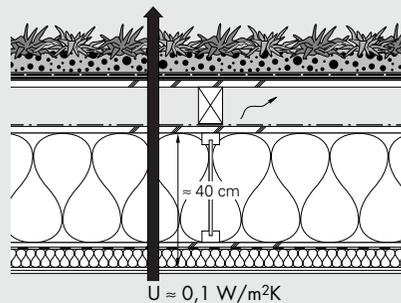
Lorsqu'on obtient un climat intérieur confortable, sans limite d'utilisation ni chauffage statique, on parle de bâtiments répondant aux critères du standard de la «maison passive». Dans ce type de construction, l'énergie de chauffage encore nécessaire peut être apportée par l'installation de renouvellement d'air (registre de chauffe). Afin de pouvoir y parvenir il faut généralement un besoin très réduit en énergie de chauffage,  $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , et une puissance de chauffage ne représentant plus que  $10 \text{ W/m}^2$  env., ce qui est nettement moins que les bâtiments en standard MINERGIE par exemple. La réalisation de maisons passives impose donc de très hautes exigences quant aux composants utilisés. En effet elle requiert des éléments de construction et des systèmes possédant l'efficacité énergétique la plus élevée actuellement disponible sur le marché. En particulier, les critères suivants doivent être respectés:

- prise de mesures architectoniques telles que:
  - enveloppe de bâtiment compacte et orientation optimisée (grandes fenêtres au sud et petites fenêtres au nord)

- protection thermique de très haute qualité (couches isolantes d'environ 40 cm d'épaisseur) avec réalisation des raccords d'un élément de construction à l'autre sans ponts thermiques:

#### Valeurs U indicatives pour les éléments de construction

- éléments opaques en contact avec le climat extérieur: env.  $0,1$  à  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- éléments pour pièces non chauffées ou en contact avec la terre: env.  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- fenêtres, portes-fenêtres, portes: env.  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

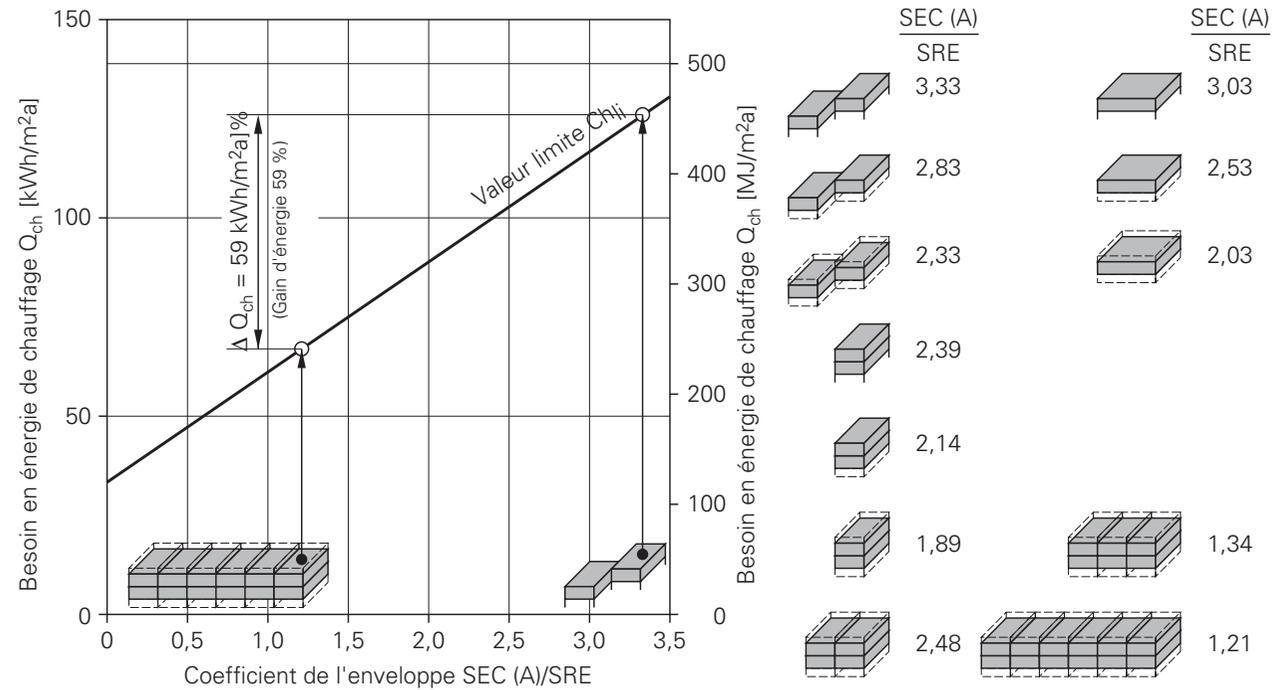


- vitrages avec le plus haut taux possible de passage de l'énergie globale (valeur  $g \geq 50\%$ ) malgré une valeur U basse
- enveloppe de bâtiment imperméable à l'air avec valeur  $n_{ai,50} < 0,6^{-1}$
- pendant la période de chauffage, aération mécanique avec récupération de chaleur (RC) efficace et à faible consommation de courant.
- utilisation d'appareils électroménagers à consommation électrique minimale.

Dans une maison passive, le besoin en énergie de chauffage ne correspond plus qu'à environ 10% de celui d'une maison construite selon le standard n°1.

### 4.3 Influence de la forme du bâtiment sur la consommation d'énergie

Plus un bâtiment est compact, plus la valeur-limite à maintenir sera basse au niveau du besoin en énergie de chauffage. De plus cette «économie d'énergie» s'obtient sans dépense technique supplémentaire pour la construction car dans ce cas vaut le principe suivant: plus un bâtiment est compact, plus les besoins en énergie de chauffage diminuent. Il faudrait donc renoncer à construire des volumes décalés pour des raisons purement énergétiques.



## 4.4 La production de chaleur

### Construction et caractéristiques du système de chauffage central

Les systèmes de chauffage central se présentent sous différentes variantes mais se ramènent cependant toujours au même système de base.

Voici les parties les plus importantes d'une installation de chauffage utilisant l'eau comme conducteur de chaleur: (la numérotation se rapporte aux chapitres 4.1 à 4.7 des connaissances de base).

#### 1 Production de chaleur:

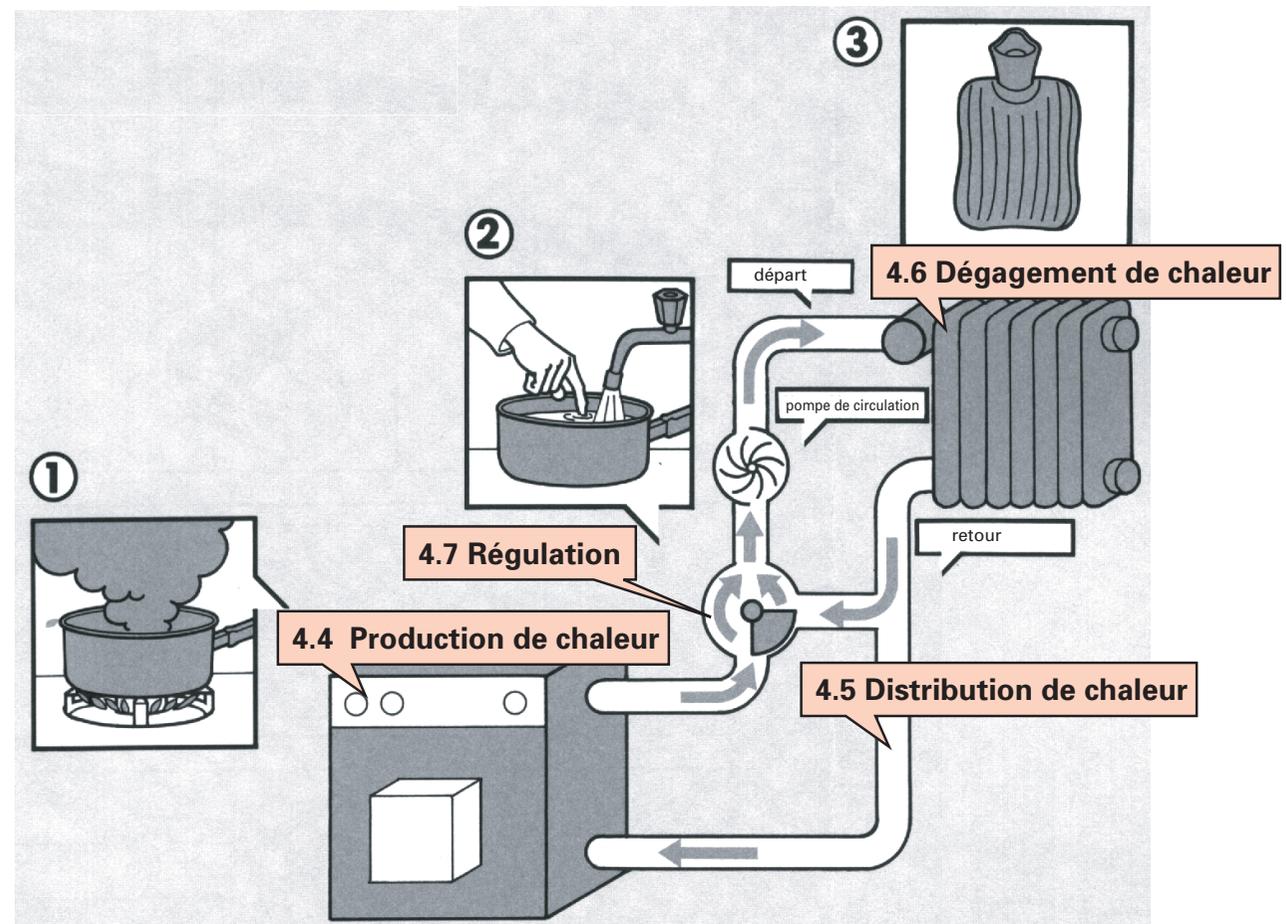
Dans ce cas l'eau, choisie pour conduire la chaleur, est réchauffée dans le circuit de chauffage.

#### 2 Réglage de la température de départ d'eau (mélangeur):

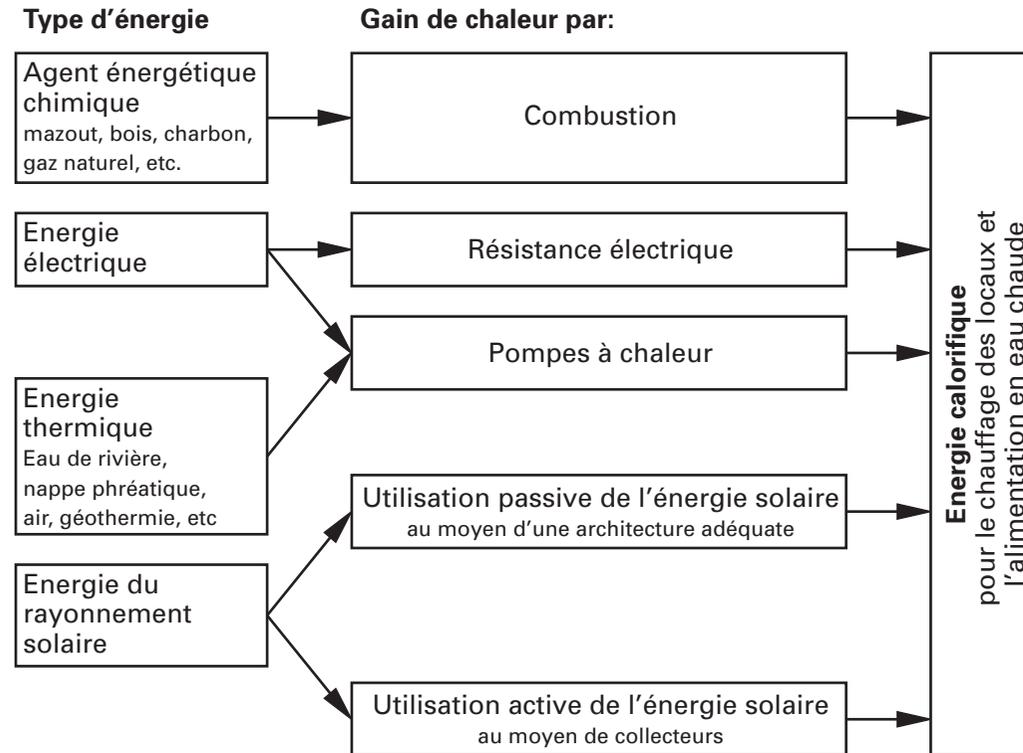
Ici, l'eau chaude provenant de la production de chaleur est mélangée avec l'eau refroidie du retour afin de maintenir la température de départ adaptée au climat extérieur. La pompe de circulation veille à ce que la circulation d'eau chaude soit suffisante.

#### 3 Surfaces de chauffage:

La chaleur requise est dispensée dans l'air de la pièce.



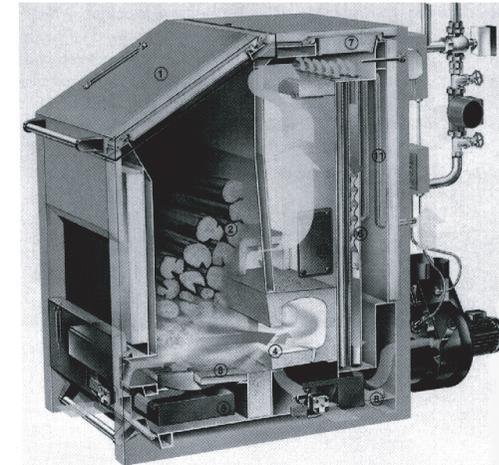
### Energies disponibles pour fournir de la chaleur:



Le producteur **ou générateur de chaleur** est une dénomination commune à tous les types possibles d'appareils permettant de gagner de la chaleur par le biais d'une transformation d'énergie.



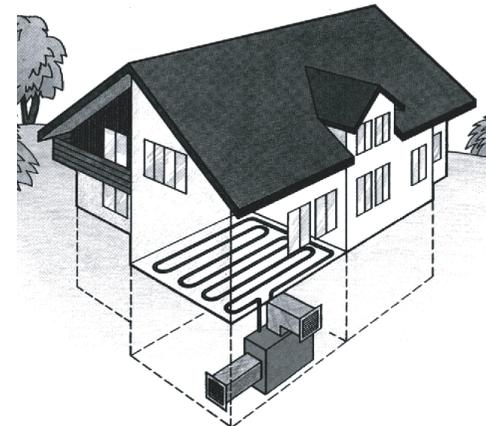
**Chaudière pour combustion de mazout**  
(avec accumulateur auxiliaire pour l'alimentation en eau chaude)



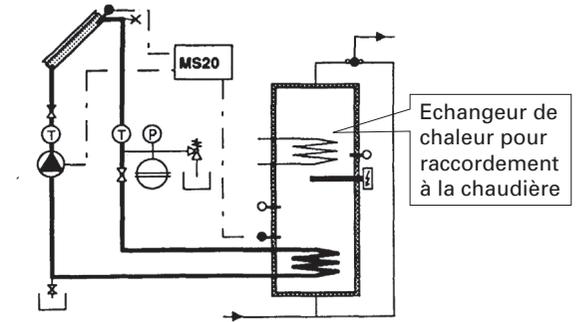
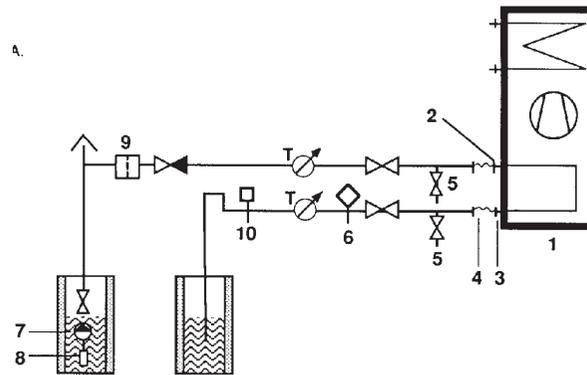
**Chaudière pour combustion de bois**  
voir module 7



**Chaudière pour combustion de gaz**



**Pompe à chaleur air/eau**  
(emplacement dans le bâtiment)  
voir module 5 et professions techniques, module 3



### Pompe à chaleur eau/eau

pour l'exploitation de l'énergie thermique tirée de l'eau:

- nappe phréatique
- eau de surface
- eau usée
- etc.

voir module 5 et professions techniques, module 3

### Installations solaires

voir module 7 et professions techniques, module 2

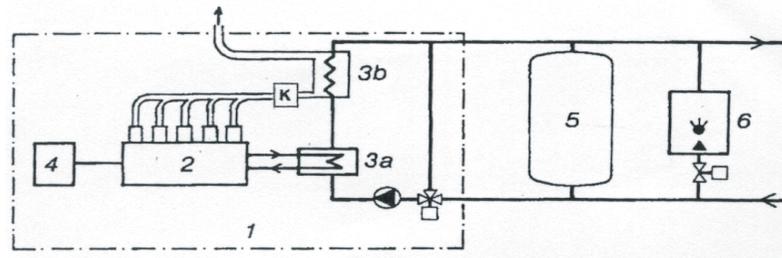


### Chaleur à distance

Les systèmes de chaleur à distance sont caractérisés par le fait que des quartiers ou des régions sont alimentés par une ou quelques sources de chaleur puissantes et peu nombreuses.



Schéma de principe



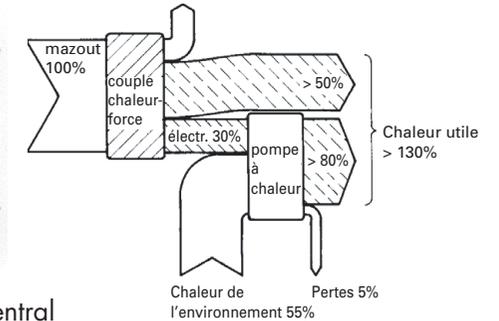
### Moteurs à couplage chaleur- force

Ou bloc central thermique:

En combinant la production d'électricité d'un moteur chaleur- force pour alimenter une pompe à chaleur alors, l'installation produit avec les dégagements de chaleur, une chaleur utile de 130% (apport de combustible = 100%).

voir module 5 et professions techniques, module 4

Diagramme de flux d'énergie



- 1 Bloc central de chauffage
- 2 Moteur à combustion gaz ou diesel
- 3a Eau de refroidissement- échangeur de chaleur
- 3b Gaz d'échappement- échangeur de chaleur
- 4 Générateur
- 5 Accumulateur
- 6 Chaudière complémentaire
- K Catalyseur

### La chaleur destinée à l'alimentation en eau chaude sanitaire

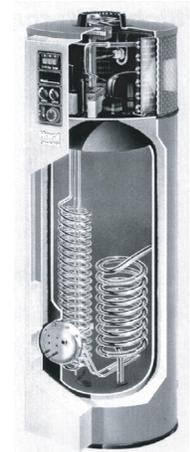
La plupart des installations de production de chaleur fournissent également la chaleur nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire. Dans ce but on met en place un accumulateur d'eau chaude séparé ou bien un accumulateur combiné chauffage - eau chaude. Parmi les chauffe-eau séparés les plus courants on trouve les chauffe-eau électriques, les chauffe-eau à pompe à chaleur ou les chauffe-eau solaires.

### Pompe à chaleur air/eau

pour l'alimentation en eau chaude sanitaire

Appareil compact utilisant l'air de la cave comme source de chaleur; pour les installations plus importantes on utilise de l'air extérieur comme source de chaleur.

Voir professions techniques, module 7



## 4.5 La distribution de la chaleur

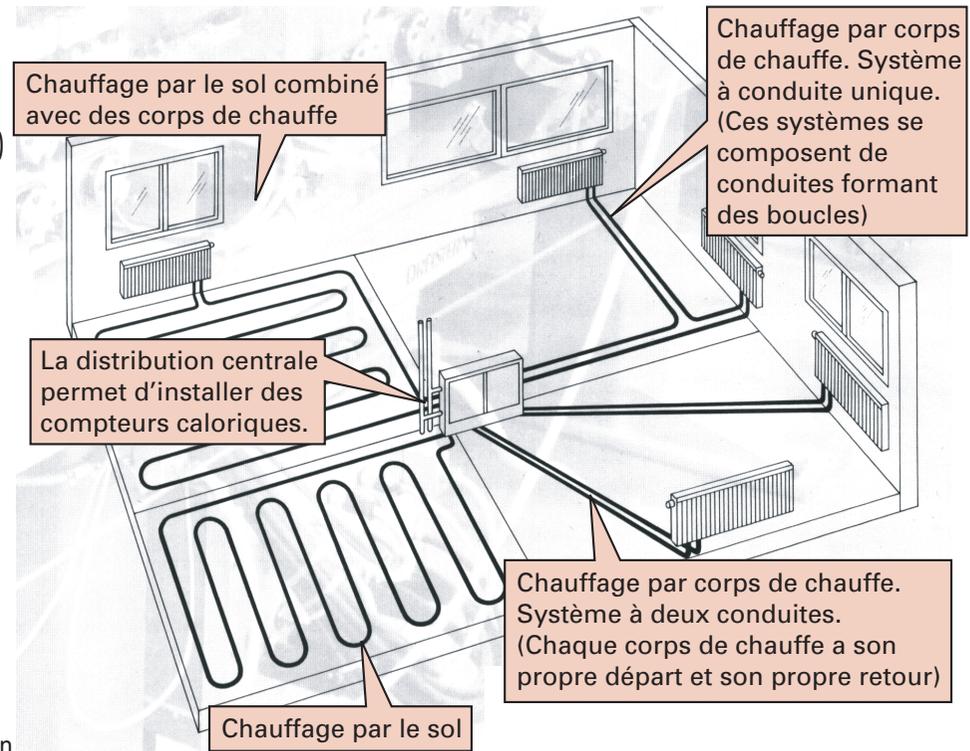
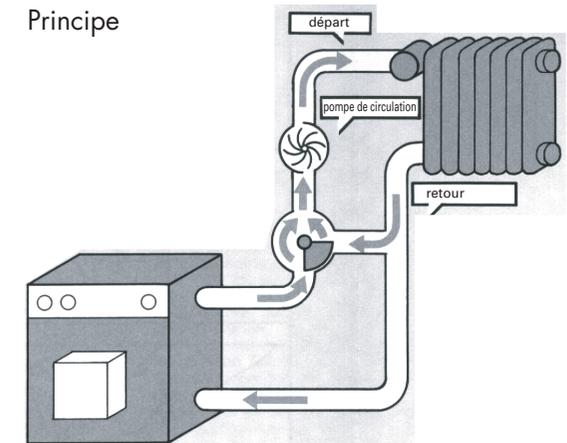
### Distribution de chaleur avec de l'eau comme conducteur de chaleur

Dès qu'une installation de chauffage est mise en marche, l'eau (conducteur thermique) contenue dans le système de conduites, circule entre la production de chaleur et les surfaces de chauffe.

Un système de chauffage ordinaire travaille avec les températures de départ d'eau suivantes en considérant une température extérieure de  $-10^{\circ}\text{C}$  (valable pour le plateau suisse):

- température des corps de chauffe jusqu'à env.  $60^{\circ}\text{C}$
- chauffage par le sol jusqu'à env.  $50^{\circ}\text{C}$
- PàC- solaire- Minergie jusqu'à env.  $45^{\circ}\text{C}$  (si possible  $30 - 35^{\circ}\text{C}$ )

Principe



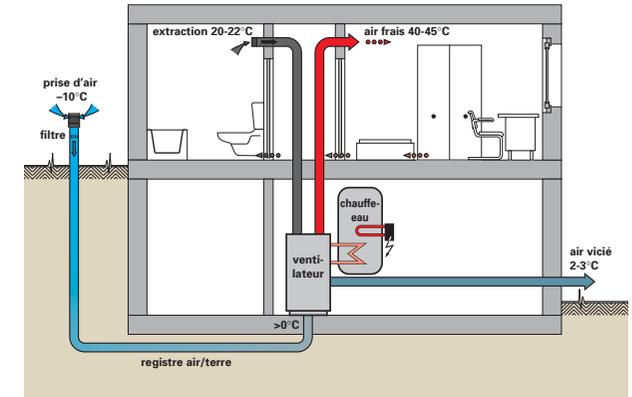
Les systèmes de distribution

## Distribution de chaleur utilisant l'air comme conducteur

### Le chauffage à air chaud

Les chauffages à air chaud sont peu répandus chez nous.

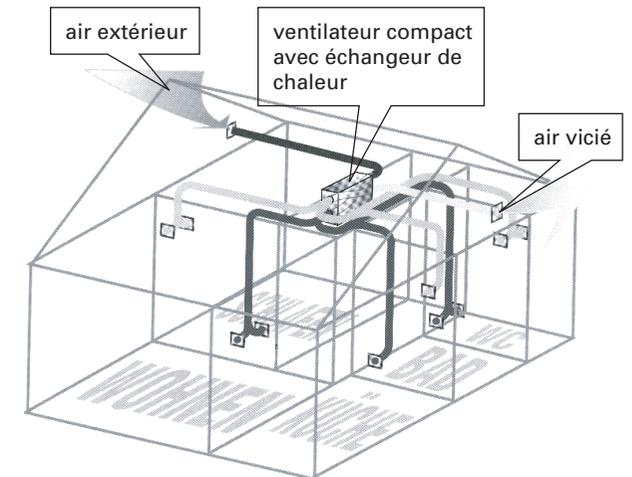
On leur reproche divers problèmes de poussière, d'odeur, de transmission des sons et de courant d'air. En revanche il existe des systèmes d'aération contrôlée de l'habitat qui contribuent à couvrir le besoin de chaleur avec une température d'air légèrement relevée.



### Aération contrôlée de l'habitat

Si le besoin de transmission de chaleur a fortement baissé ces dernières années du fait de mesures de protection thermique, le besoin de chaleur par l'aération est cependant resté constant pour des raisons d'hygiène. Dans les bâtiments très bien isolés thermiquement, le besoin de chaleur par l'aération est aussi grand que celui de la transmission de chaleur.

Les appareils de ventilation avec récupérateurs de chaleur permettent de réduire les besoins en chaleur de la ventilation.



## 4.6 Le dégagement de chaleur de chaleur

### Le dégagement de chaleur avec l'eau comme conducteur

#### Chauffage par le sol

##### Avantages

- forte radiation thermique procurant du confort
- possibilité de températures de départ et de retour particulièrement basses
- effet d'autorégulation
- invisible, ne dérange pas

##### Inconvénients

- si grande surfaces vitrées, baisse des températures de surfaces (quand valeur  $U > 1$ )
- très lent à régler, grande inertie



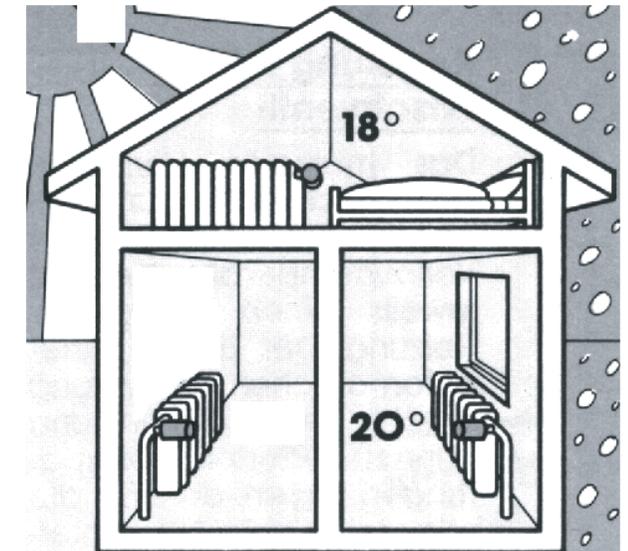
#### Corps de chauffe

##### Avantages

- réglage rapide
- réglage simple pièce par pièce par vannes thermostatiques
- possibilités d'adaptations ultérieures

##### Inconvénients

- température de départ plus élevée ou très grands corps de chauffe (pour une température de départ basse)
- besoins de place



## 4.7 La régulation du chauffage

### La régulation du chauffage avec l'eau comme conducteur

#### Exemple: Réglage de la température de départ dictée par les conditions météo

Principe de base:

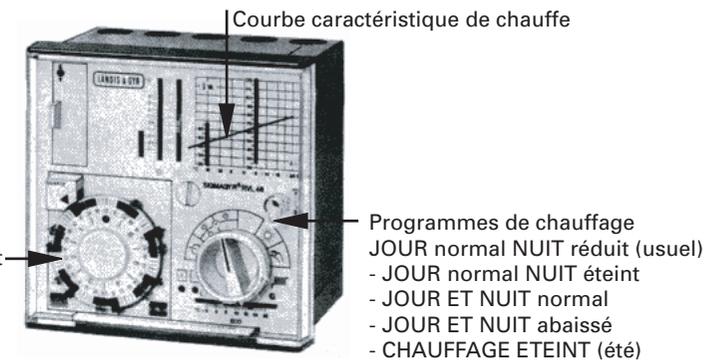
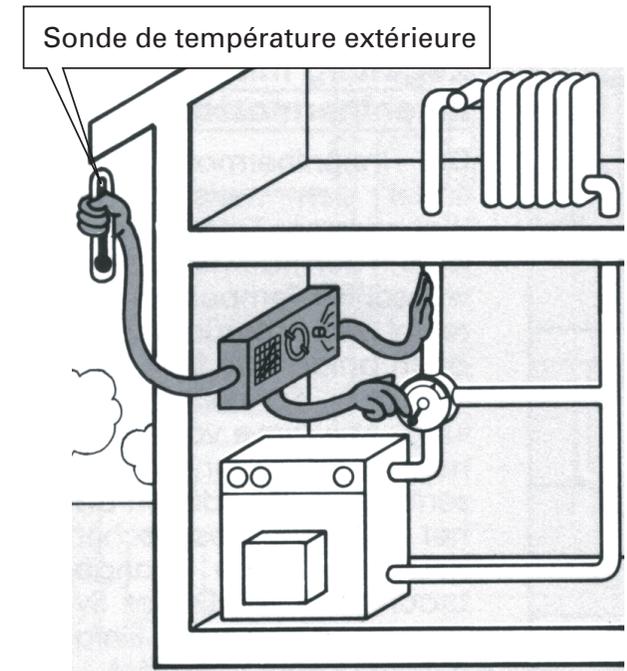
plus la température extérieure est basse, plus l'eau chaude est fortement réchauffée.

Mode de fonctionnement de l'appareil de régulation: L'appareil de régulation adapte automatiquement la température de départ aux conditions climatiques.

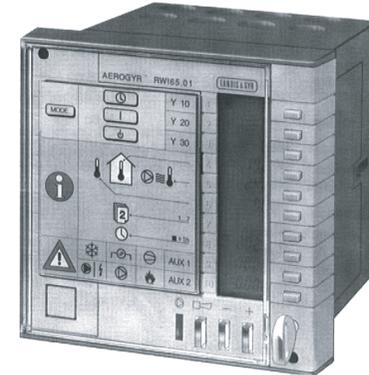
Il comprend trois éléments de commande:

- la courbe caractéristique de chauffe qui règle la température de départ selon celle de l'air extérieur;
- une horloge d'enclenchement, permettant de réduire ou d'arrêter automatiquement le chauffage (p.ex. la nuit)
- un interrupteur de cycles de programmes, permettant de choisir le programme de chauffage adapté à la saison, sans qu'il faille modifier le réglage de base.

Exemple d'un appareil de régulation

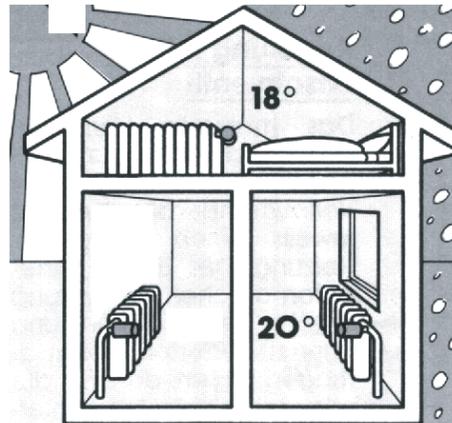


De nos jours on utilise le plus souvent des régulateurs de chauffage multi-fonctionnels. Selon les modèles, ces régulateurs ont des propriétés "d'auto apprentissage" : Le système de régulation est en mesure d'optimiser lui-même des réglages complexes - différents d'une maison à l'autre ou dépendant des circonstances météorologiques.



### Réglage pièce par pièce

Dans certains cantons on prescrit sous certaines conditions des réglages pour chaque pièce.



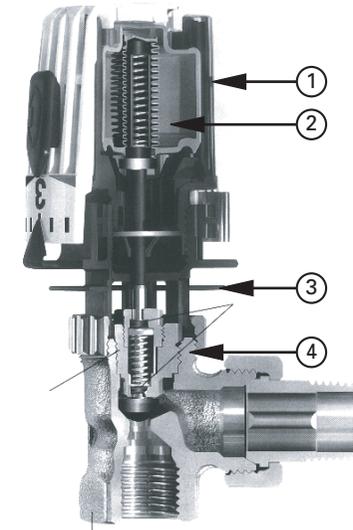
Des températures individuelles dans chaque pièce sont possibles avec une régulation de la température de départ commandée par les conditions météorologiques.

### Vannes thermostatiques de corps de chauffe

Mode de fonctionnement:

Avec la vanne manuelle (1), on établit la valeur voulue. Lorsque la température de la pièce augmente, le médium contenu dans la sonde de température (2) se dilate. Elle se compose d'un soufflet à ressort rempli d'un gaz, d'un liquide ou d'une cire. La cheville de transmission (3) fait bouger le plateau de la soupape (4) vers l'ouverture de soupape, fermant ainsi ladite soupape.

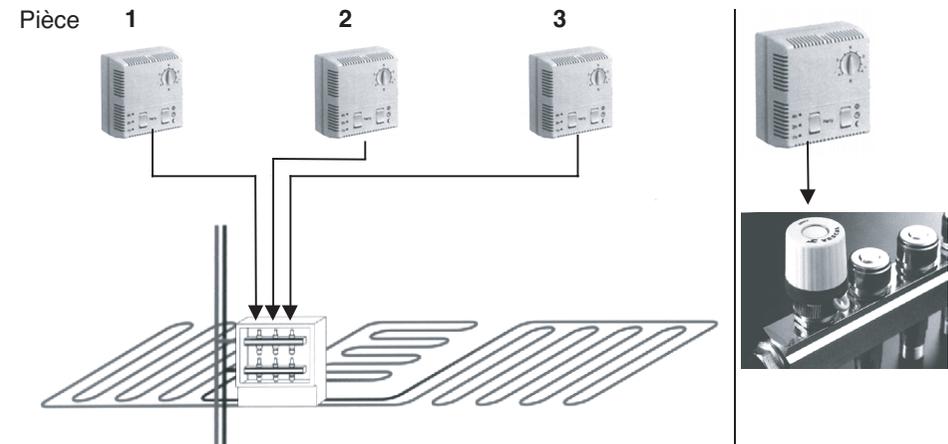
Si la température de la pièce baisse, la sonde se rétracte et ouvre la soupape en actionnant la cheville.



### Régulation électrique dans chaque pièce pour des chauffages par le sol

On utilise dans chacune des pièces un régulateur de température qui agit sur la commande de réglage du distributeur du chauffage par le sol.

Dans les maisons à faible consommation d'énergie, avec des températures de départ très basses du chauffage par le sol, l'effet d'auto régulation (l'émission de chaleur baisse lorsque la température du sol est presque identique à celle de l'air) peut rendre superflue une régulation individuelle de chaque pièce.



## 5. Exercices et solutions proposées

### 5.1 Construction

#### Exercice 1: analyse d'un bâtiment

<b>Exemple pratique:</b>		
Étudiez un bâtiment sous les angles du mode de construction, des installations techniques et de la consommation d'énergie		
<b>Données du bâtiment:</b>		
Chantier: _____		
Année de construction: _____		
Utilisation: _____		
Adresse: _____		
NPA/localité: _____		
Surface des éléments de construction de référence A (surface brute): _____ m <sup>2</sup>		
Surface de référence énergétique SRE (surface brute): _____ m <sup>2</sup>		
Coefficient de l'enveloppe A/SRE: _____ -		Photo
<b>Éléments de construction/capacité d'isolation thermique:</b>		
Construction des éléments essentiels et évaluation ou calcul de leur capacité d'isolation:		
Paroi extérieure: _____		
_____		U ≈ _____ W/m <sup>2</sup> K
Toit: _____		
_____		U ≈ _____ W/m <sup>2</sup> K
Fenêtre: _____		
_____		U ≈ _____ W/m <sup>2</sup> K
Autres: _____		
_____		U ≈ _____ W/m <sup>2</sup> K
_____		U ≈ _____ W/m <sup>2</sup> K
<b>Installations techniques/consommation d'énergie:</b>		
Chauffage/support d'énergie: _____		
_____		
Eau chaude/support d'énergie _____		
_____		
Consommation d'énergie pour le chauffage: _____		MJ/a
Consommation d'énergie pour l'eau chaude: _____		MJ/a
Consommation d'énergie pour chauffage + eau chaude: _____		MJ/a
Consommation d'énergie par m <sup>2</sup> de surface de référence énergétique SRI: _____		MJ/m <sup>2</sup> a
<b>Évaluation personnelle du bâtiment:</b>		
(état, consommation d'énergie, potentiel d'économie, influence sur l'environnement)		

### Exercice 2: énergie/indice de consommation

pour divers exemples pratiques les chiffres annuels de consommation d'énergie pour le chauffage (moyennes sur plusieurs périodes de chauffage) et les surfaces de référence énergétiques SRE sont les suivants:

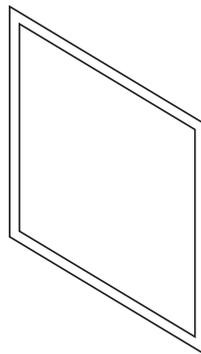
Objet N°	Type	Consommation énergétique annuelle	Surface de référence énergétique SRE
1	MPF	8'700 kg de mazout	550 m <sup>2</sup>
2	MPF	90 m <sup>3</sup> de bois	1470 m <sup>2</sup>
3	MF	1'060 m <sup>3</sup> de gaz naturel	145 m <sup>2</sup>
4	MF	32'200 kWh de courant	160 m <sup>2</sup>

MPF = maison pluri-familiale MF = maison familiale

Comment classer ces objets selon leur efficacité énergétique?

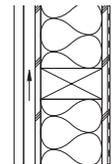
### Exercice 3: efficacité énergétique d'éléments de construction

Lequel des éléments de construction présentés ci-dessous (les couches sont représentées à l'échelle) a la meilleure efficacité énergétique si l'on considère uniquement l'énergie d'exploitation (couverture de la perte de chaleur de transmission)? Etablissez un classement et motivez-le.

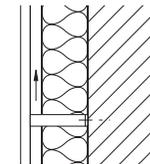


Fenêtre exposée au sud  
 Valeur U cadre: 1,5 W/m<sup>2</sup>K  
 Valeur U verre: 1,1 W/m<sup>2</sup>K  
 valeur G verre: 0,6  
 valeur U fenêtre: 1,4 W/m<sup>2</sup>K

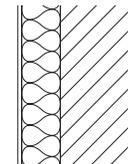
Paroi extérieure en construction bois légère sur ossature



Paroi extérieure avec revêtement de façade ventilé



Paroi extérieure avec construction compacte



### Solutions pour la construction

#### Solution exercice 2:

Rang	Objet n°		
1.	2	consommation d'énergie en kWh/a: $90 \text{ m}^3 \text{ bois} \cdot 250 \text{ kg/m}^3 \cdot 3,4 \text{ kWh/kg}$ consommation d'énergie en kWh/m <sup>2</sup> a: $76'500 \text{ kWh/a} : 1470 \text{ m}^2$	= 76'500 kWh/a  = <b>52 kWh/m<sup>2</sup>a</b>
2.	3	consommation d'énergie en kWh/a: $1'060 \text{ m}^3 \text{ gaz naturel} \cdot 9,4 \text{ kWh/m}^3$ consommation d'énergie en kWh/m <sup>2</sup> a: $9'964 \text{ kWh/a} : 145 \text{ m}^2$	= 9'964 kWh/a  = <b>69 kWh/m<sup>2</sup>a</b>
3.	1	consommation d'énergie en kWh/a: $8'700 \text{ kg de mazout} \cdot 11,9 \text{ kWh/kg}$ consommation d'énergie en kWh/m <sup>2</sup> a: $103'530 \text{ kWh/a} : 550 \text{ m}^2$	= 103'530 kWh/a  = <b>188 kWh/m<sup>2</sup>a</b>
4.	4	consommation d'énergie en kWh/a: consommation d'énergie en kWh/m <sup>2</sup> a: $32'200 \text{ kWh/a} : 160 \text{ m}^2$	= 32'200 kWh/a  = <b>201 kWh/m<sup>2</sup>a</b>

### Solution exercice 3:

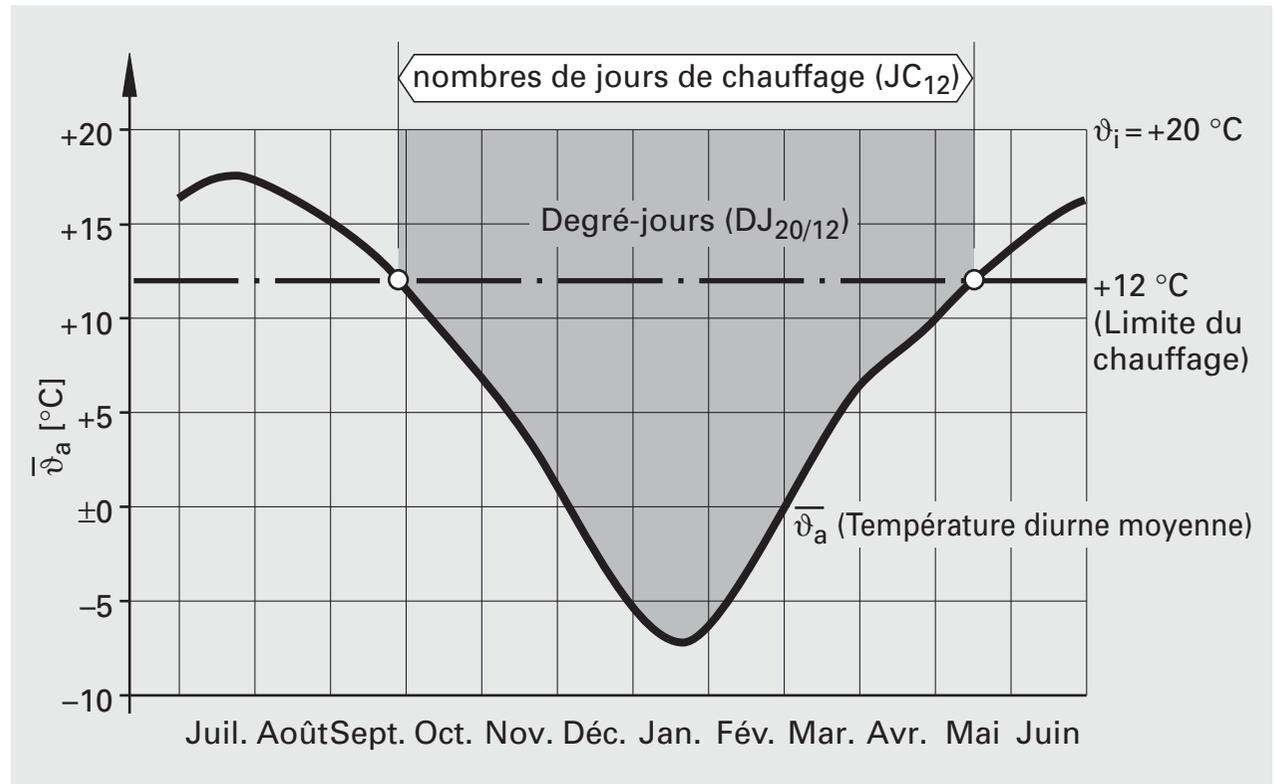
- 1er rang: fenêtre orientée sud avec une bonne protection thermique par vitrage isolant.  
En considérant le gain énergétique par rayonnement solaire, cet élément de construction a un bilan énergétique annuel «négatif», ce qui signifie qu'il résulte un gain d'énergie annuel (la perte de chaleur de transmission est inférieure au gain d'énergie par le soleil). Cela ne peut être obtenu par aucun élément de construction opaque comme une paroi extérieure, un toit ou autre, même si on choisit une couche d'isolation aussi épaisse que possible.
- 2ème rang: la paroi extérieure en construction bois légère.  
La couche d'isolation thermique de cette ossature en bois est un peu plus épaisse que celles des deux autres parois extérieures. Malgré la non homogénéité (cadre en bois entre la couche isolante) on obtient une meilleure valeur U que pour les autres parois extérieures et la perte de chaleur de transmission qui en résulte est donc plus petite.
- 3ème rang: la paroi extérieure avec façade compacte.  
La couche d'isolation thermique est aussi épaisse que celle de la paroi avec revêtement de façade aéré par l'arrière. Elle peut cependant être posée sans points faibles sur le plan de la technique thermique.
- 4ème rang: la paroi extérieure avec revêtement de façade ventilé  
Les éléments de fixation (p.ex. en aluminium) font qu'il y a des pertes de chaleur élevées qui doivent être prises en considération lors de l'évaluation de la capacité d'isolation thermique.

**Tableaux annexes 1 à 5 pour les exercices «construction»**

Support d'énergie	Valeur de chauffe min. $H_u$ par kg		
	MJ	kWh	kcal
<b>Mazout</b> – extra léger (EL) (1 litre $\cong$ 0,84 kg)	42,7	11,9	10'200
<b>Gaz naturel</b>	selon provenance env. $(34 \pm 3) \text{ MJ/m}^3_n$ ( $H_u \approx 0,9 H_o$ )		
<b>Gaz liquide</b> – propane, butane	46	12,8	11'000
<b>Électricité</b>	3,6	1	
<b>Combustibles solides</b>			
– charbon, coke	29,3 <sup>1)</sup>	8,1	7'000
– briquettes de charbon (1 paquet $\cong$ 25 kg)	20	5,6	4'800
– bois, séché à l'air (15 % d'humidité) 1 stère (1 m <sup>3</sup> ):	15,5	4,3	3'700
• Résineu $\cong$ 360 kg			
• Feuillus $\cong$ 500 kg			
– copeaux de bois (30 % d'humidité) 1 m <sup>3</sup> $\cong$ 250 kg	12,1	3,4	2'900

<sup>1)</sup> valeur moyenne

Valeur calorique inférieure et supérieure des supports d'énergie



Evolution annuelle de la température extérieure avec intégrale pour détermination des degrés jours de chauffage (DJ<sub>20/12</sub>)

## Bever

altitude: 1712 m.

températures:  $\vartheta_{\min}$ : -26 °C

$\vartheta_h$ : -22 °C

$\vartheta_{\max}$ : 25 °C

		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	jours de chauffage uniquement		
															18/10	20/12	22/14
$\overline{\vartheta}_a$	°C	-9,7	-7,7	-4,4	0,7	5,5	9,5	11,0	10,2	7,6	3,2	-2,9	-9,4	1,2	-0,9	0,2	0,9
GH	MJ/m <sup>2</sup> a	173	241	418	547	623	626	670	554	443	342	180	158	4975	3596	4255	4752
GS	MJ/m <sup>2</sup> a	275	316	393	383	330	294	328	355	399	410	288	295	4066	3293	3681	3951
GE	MJ/m <sup>2</sup> a	106	140	238	295	330	326	342	299	244	192	106	103	2721	1997	2345	2605
GW	MJ/m <sup>2</sup> a	123	159	238	301	324	313	342	299	261	209	121	119	2809	2089	2437	2694
GN	MJ/m <sup>2</sup> a	61	70	109	131	174	175	174	122	102	92	56	58	1324	975	1141	1267
DJ10	d/a	31	28	31	30	29	16	11	14	24	31	30	31		306		
JC 18/10	Kd/a	859	720	695	519	374	175	111	139	269	456	627	850		5794		
DJ12	d/a	31	28	31	30	31	23	19	23	29	31	30	31			337	
JC 20/12	Kd/a	921	776	757	579	447	271	202	250	365	521	687	912		6688		
DJ14	d/a	31	28	31	30	31	28	27	29	30	31	30	31				357
JC 22/14	Kd/a	983	832	819	639	511	361	314	348	433	583	747	974				7544

Températures mensuelles moyennes, rayonnement solaire, DJ et JC

## Lugano

altitude: 276 m.

températures:  $\vartheta_{\min}$ : -5 °C  
 $\vartheta_h$ : -2 °C  
 $\vartheta_{\max}$ : 33 °C

		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	jours de chauffage uniquement		
															18/10	20/12	22/14
$\overline{\vartheta}_a$	°C	1,9	3,9	7,3	11,5	15,4	19,1	21,4	20,4	17,6	13,0	7,3	2,8	11,8	4,5	5,5	6,4
GH	MJ/m <sup>2</sup> a	148	202	358	478	562	653	701	561	394	301	153	147	4658	1033	1341	1672
GS	MJ/m <sup>2</sup> a	235	265	337	335	298	307	343	359	355	361	245	275	3715	1330	1606	1875
GE	MJ/m <sup>2</sup> a	90	117	204	258	298	340	358	303	217	169	90	96	2540	606	777	957
GW	MJ/m <sup>2</sup> a	105	133	204	263	292	327	358	303	232	184	103	110	2614	663	840	1025
GN	MJ/m <sup>2</sup> a	52	59	93	115	157	183	182	123	91	81	47	54	1237	308	389	475
DJ10	d/a	31	27	25	10	1	0	0	0	0	5	25	31		155		
JC 18/10	Kd/a	498	391	293	96	5	1	0	0	0	47	288	471		2090		
DJ12	d/a	31	28	29	17	4	1	0	0	1	11	29	31			182	
JC 20/12	Kd/a	561	450	382	185	36	5	0	0	5	112	375	533			2644	
DJ14	d/a	31	28	31	23	10	2	0	0	2	19	30	31				207
JC 22/14	Kd/a	632	507	453	274	93	19	3	0	21	203	440	595				3231

Températures mensuelles moyennes, rayonnement solaire, DJ et JC

**Zurich SMA** altitude: 569 m.  
 températures:  $\vartheta_{\min}$ : -14 °C  
 $\vartheta_h$ : -8 °C  
 $\vartheta_{\max}$ : 32 °C

		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	jours de chauffage uniquement		
															18/10	20/12	22/14
$\overline{\vartheta}_a$	°C	-1,1	0,9	3,7	8,6	12,2	15,8	17,5	16,4	14,3	9,8	4,2	-0,9	8,5	2,6	3,8	5,0
GH	MJ/m <sup>2</sup> a	106	179	316	458	579	618	657	531	389	248	121	83	4285	1287	1716	2229
GS	MJ/m <sup>2</sup> a	169	234	297	321	307	290	322	340	350	298	194	155	3277	1393	1710	2063
GE	MJ/m <sup>2</sup> a	65	104	180	247	307	321	335	287	214	139	71	54	2324	733	965	1240
GW	MJ/m <sup>2</sup> a	75	118	180	252	301	309	335	287	230	151	81	62	2381	780	1016	1295
GN	MJ/m <sup>2</sup> a	37	52	82	110	162	173	171	117	89	67	38	31	1129	363	474	606
DJ10	d/a	31	28	29	18	9	2	1	1	3	15	28	31		196		
JC 18/10	Kd/a	593	476	431	122	94	20	5	4	23	168	405	582		3023		
DJ12	d/a	31	28	31	23	16	5	2	3	8	22	29	31			229	
JC 20/12	Kd/a	655	533	502	305	167	54	22	26	74	261	471	647			3717	
DJ14	d/a	31	28	31	27	22	10	5	7	15	27	30	31				264
JC 22/14	Kd/a	717	589	567	382	259	102	49	69	156	354	533	709				4486

Températures mensuelles moyennes, rayonnement solaire, DJ et JC

## 5.2 Installations techniques

### Exercice 1

#### Production de chaleur

En Suisse (presque) chaque bâtiment dispose d'une installation de chauffage

#### Vous aurez besoin des aides suivantes:

Informations spécifiques

#### Votre travail:

Établissez une liste des systèmes de production de chaleur des bâtiments (habitations, écoles, commerces). Comparez pendant le cours les différents systèmes (si possible procurez-vous des plans ou des documents sur les systèmes)

### Exercice 2

#### Type d'énergie

Les différents types d'énergie ont des avantages et des inconvénients.

#### Vous aurez besoin des aides suivantes:

Littérature spécialisée

#### Votre travail:

Établissez une liste des différents supports d'énergie utilisés pour le chauffage des bâtiments et cherchez les avantages et les inconvénients par rapport à l'écologie et à l'économie.

**Exercice 3****Distribution/Dégagement de chaleur**

Dans les divers bâtiments qui existent, on emploie les systèmes de distribution de chaleur les plus différents.

**Vous aurez besoin des aides suivantes:**

Informations spécifiques

Collaboration de votre concierge (parents, etc.)

**Votre travail:**

Cherchez à savoir pourquoi on a choisi tel type de système dans votre bâtiment, et quels sont les avantages et les inconvénients de ce système.

Comparez ce que vous avez trouvé avec les résultats de vos camarades.

**Exercice 4****La régulation du chauffage**

Toute installation de chauffage possède un dispositif de réglage.

**Vous aurez besoin des aides suivantes:**

L'installation de chauffage dans votre bâtiment, votre école, etc.

**Votre travail:**

Essayez de comprendre comment l'installation de chauffage est régulée.

Quelles sont les possibilités de choisir une température individuelle pour chaque pièce?

Mettez les différentes fonctions par écrit et discutez les avec un spécialiste (concierge, etc.)

Présentez les résultats de vos analyses en classe.

**Exercice 5****Systèmes de ventilation**

Où a-t-on besoin de systèmes de ventilation?

**Votre travail:**

Essayez de découvrir si des systèmes de ventilation sont installés dans votre école et quelles fonctions ils remplissent. Notez vos constatations et comparez vos résultats avec ceux de vos camarades. Discutez ensemble vos travaux préliminaires avec une personne compétente (concierge, technicien en ventilation, etc.)

## 6 Bibliographie

### Publications

- Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments, norme SIA 180, Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA), Zurich (1999)
- l'énergie dans le bâtiment, norme SIA 380/1, Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA), Zurich (2001)
- l'indice de dépense d'énergie, recommandation SIA 180/4, Société suisse d'ingénieurs et architectes (SIA), Zurich (1982)
- données climatiques relatives à la recommandation SIA 380/1, recommandation SIA 381/2 Société suisse d'ingénieurs et architectes (SIA), Zurich (1988)
- les degrés-jours en Suisse, recommandations SIA 381/3, Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA), Zurich (1982)
- puissance thermique à installer dans les bâtiments, recommandation SIA 384/2, Société suisse d'ingénieurs et architectes (SIA), Zurich (1982)
- performances thermiques des bâtiments- transfert de chaleur par le sol- méthode de calcul, EN ISO 13370, CEN, Bruxelles (1998)
- Programmes d'impulsion de l'ancien Office fédéral pour les questions conjoncturelles (RAVEL, PIBAT, PACER), commande : Office fédérale des constructions et de la logistique (OFCL), 3000 Berne (disponible aussi sur CD-Rom)
- L'énergie, Facteur-clé de notre temps: Maja Messmer et al., adaptation J. Fournier et O. Mercier. Edition LEP, Lausanne (1998).

### Adresses Internet

#### *Institutions:*

- [www.info-energie.ch](http://www.info-energie.ch)
- [www.strom.ch](http://www.strom.ch)
- [www.mazout.ch](http://www.mazout.ch)
- [www.gaz-naturel.ch](http://www.gaz-naturel.ch)
- [www.energie.ch](http://www.energie.ch)
- [www.swissolar.ch](http://www.swissolar.ch)
- [www.energie-bois.ch](http://www.energie-bois.ch)
- [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)

#### *entreprises:*

- [www.kapag.ch](http://www.kapag.ch)
- [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)
- [www.holzfeuerung.ch](http://www.holzfeuerung.ch) (Schmid AG)
- [www.viessmann.com](http://www.viessmann.com)

## 7 Sources

### **7.1 Construction**

Tous les textes et illustrations sont de l'auteur, Marco Ragonesi.

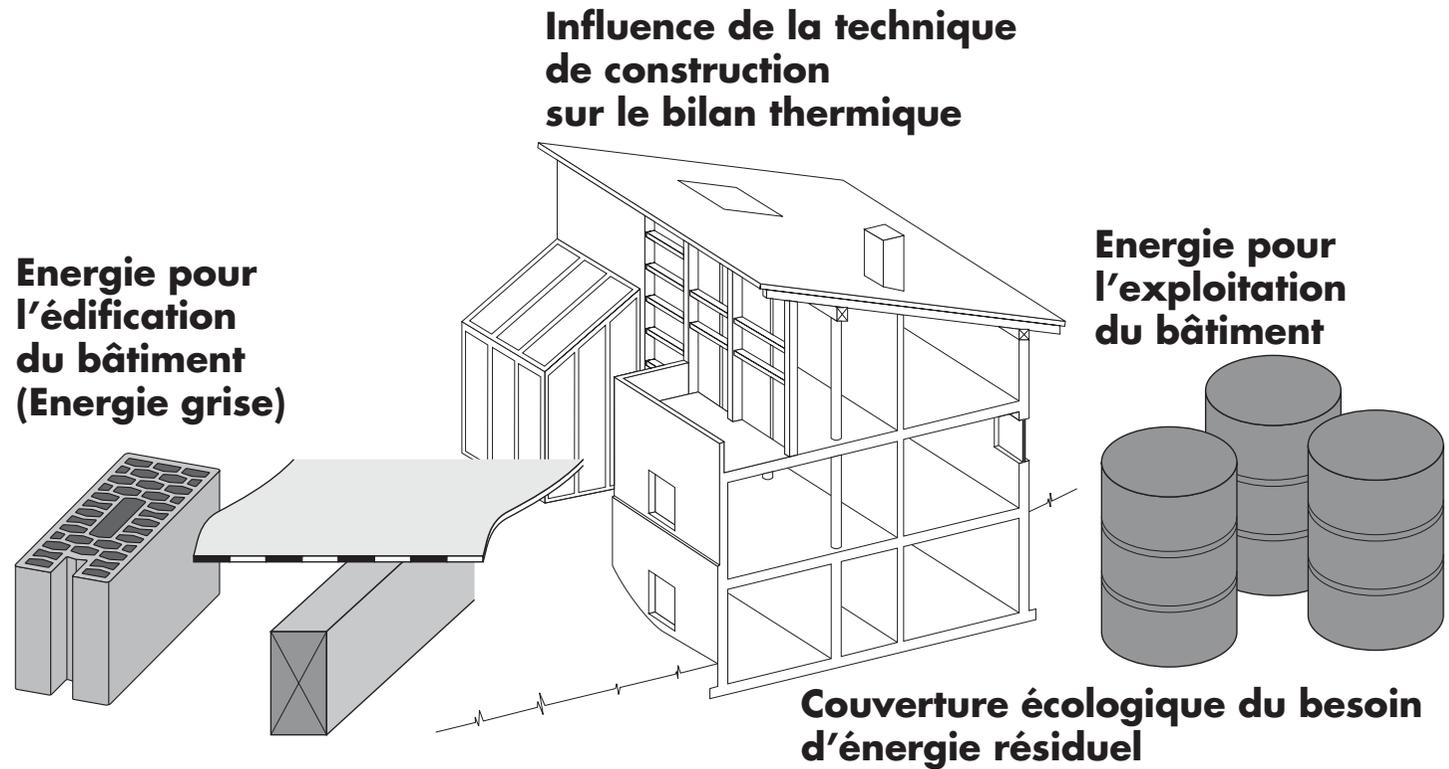
### **7.2 Installations techniques**

Tous les textes sont de l'auteur, Peter Scherer. Les photos d'atelier et les dessins ont été mis à disposition par des fournisseurs. D'autres illustrations sont tirées des publications de l'Office fédéral de l'énergie et de l'ancien Office fédéral pour les questions conjoncturelles, ou ont été dessinés par l'auteur.

## 8 Modèles

### 8.1 Construction

La dépense d'énergie pour l'édification et l'exploitation du bâtiment doit, dans l'ensemble, être aussi petite que possible.



## Deux types caractéristiques de construction

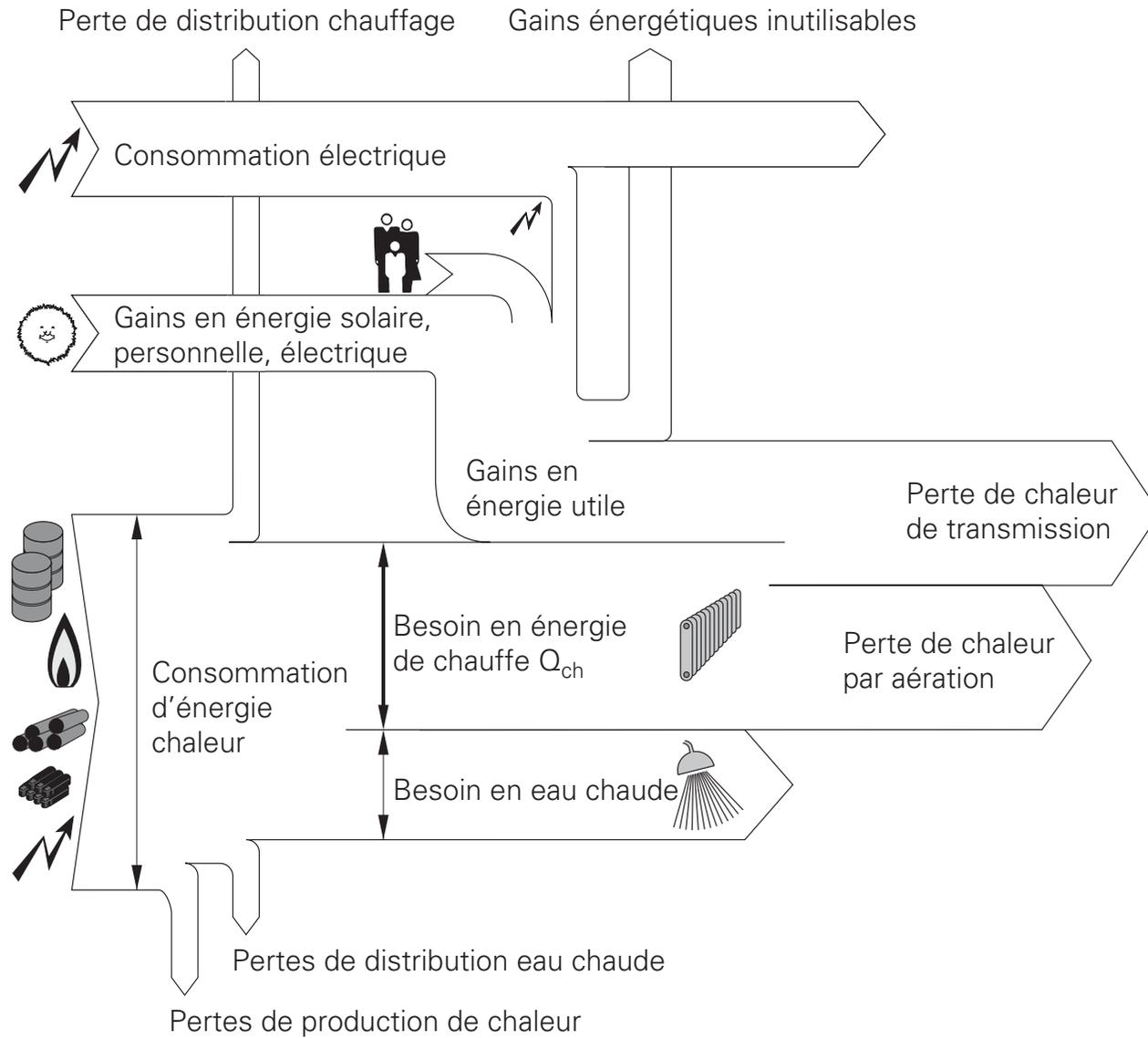


Enveloppe conventionnelle présentant un rapport défavorable entre les surfaces de déperdition de chaleur (éléments extérieurs) et la surface de référence énergétique (SRI).

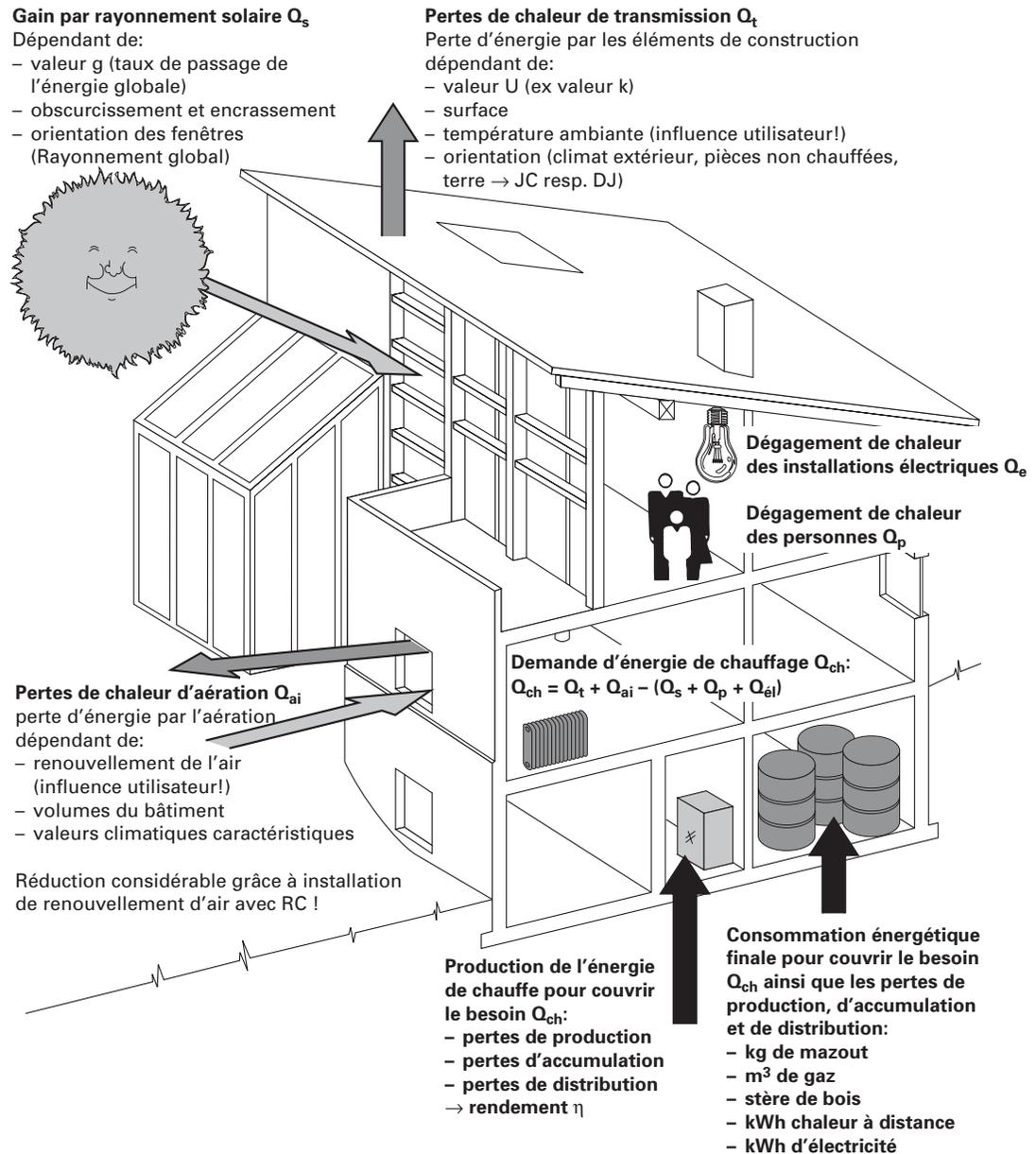
Enveloppe compacte d'une maison passive avec collecteurs solaires intégrés sur la façade Sud.



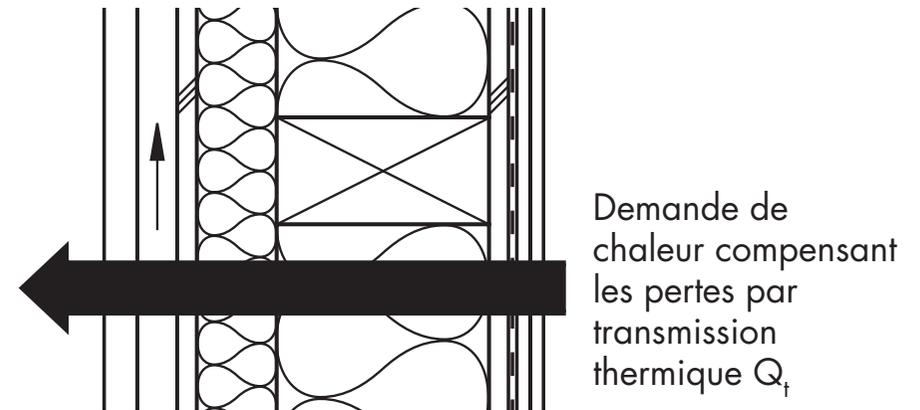
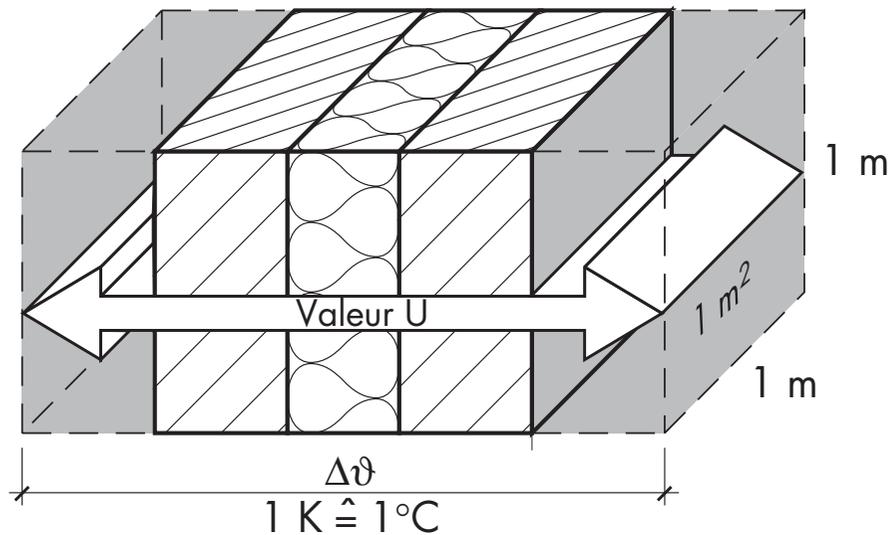
## Influences sur les besoins et la consommation d'énergie: diagramme du flux de l'énergie



## Besoin en énergie de chauffage



## Perte de chaleur par transmission



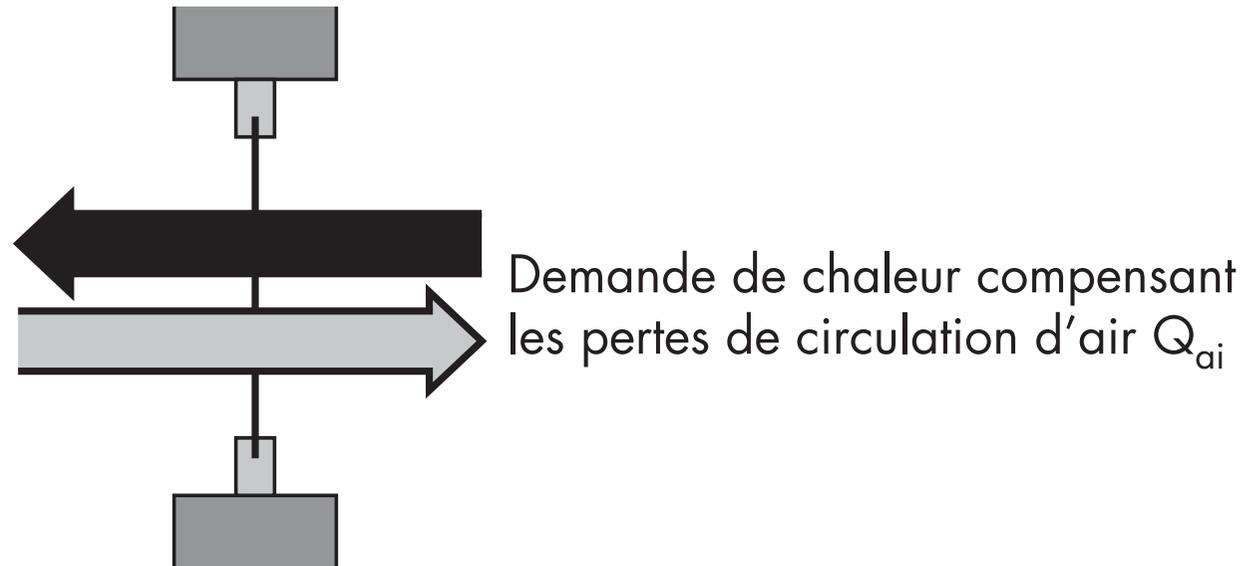
$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$$

U	coefficient de transmission de chaleur	[W/m²K]
$\alpha_i; \alpha_a$	coefficient de transmission thermique superficielle	[W/m²K]
d	épaisseur des couches d'éléments	[m]
$\lambda$	coefficient de conductibilité thermique	[W/mK]

$$Q_t = U \cdot \text{SEC} \cdot \text{DJ} \cdot 0,024 \quad [\text{kWh}/\text{a}]$$

U	coefficient de transmission de chaleur	[W/m²K]
SEC	surface de l'élément de construction (A)	[m²]
DJ	degrés jours par période de chauffe	[K·d/a]
0,024	coefficient	[h·kW/d·W]

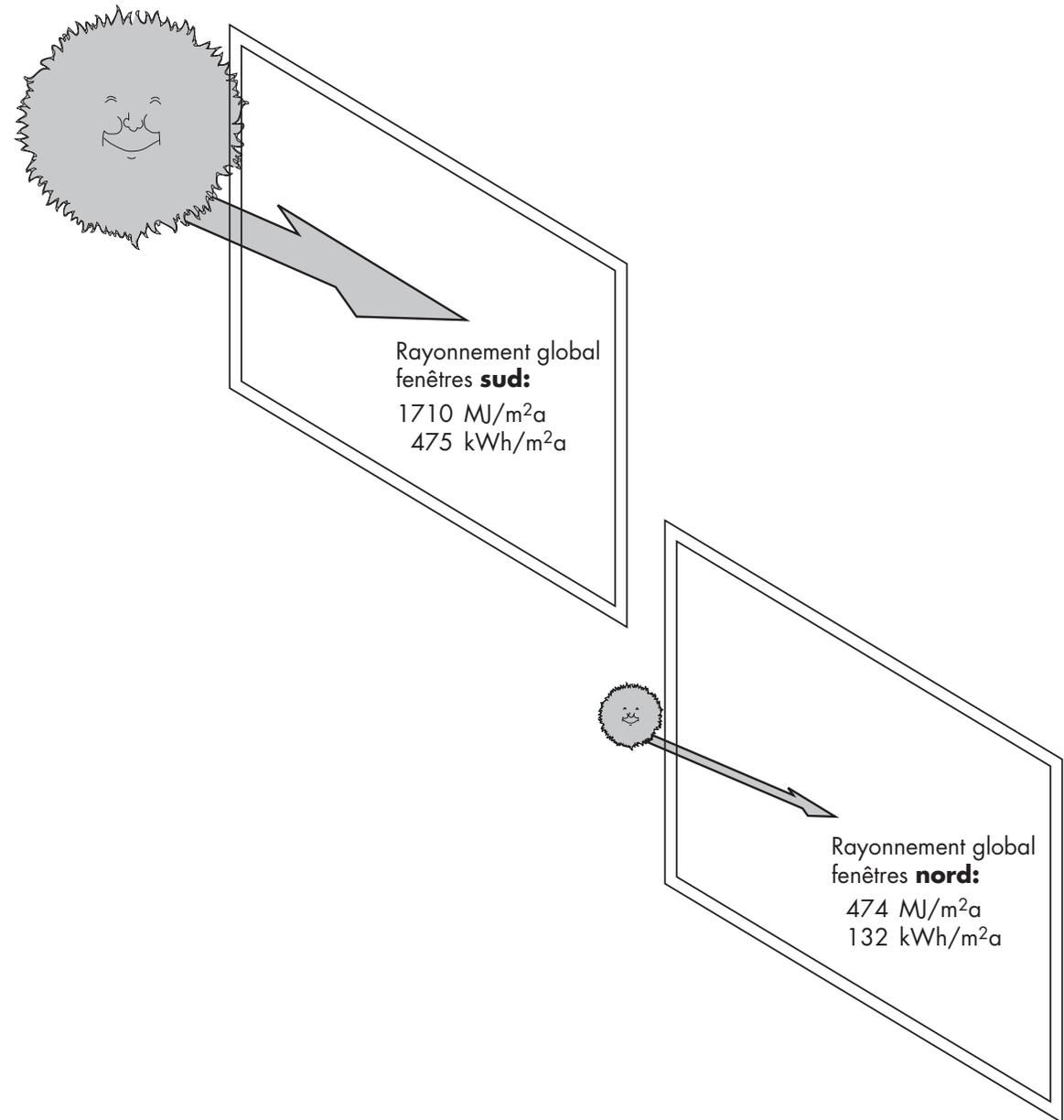
## Perte de chaleur par aération



$$Q_{ai} = \frac{V \cdot n \cdot (c \cdot \rho) \cdot DJ \cdot 0,024}{3,6} \quad [\text{kWh/a}]$$

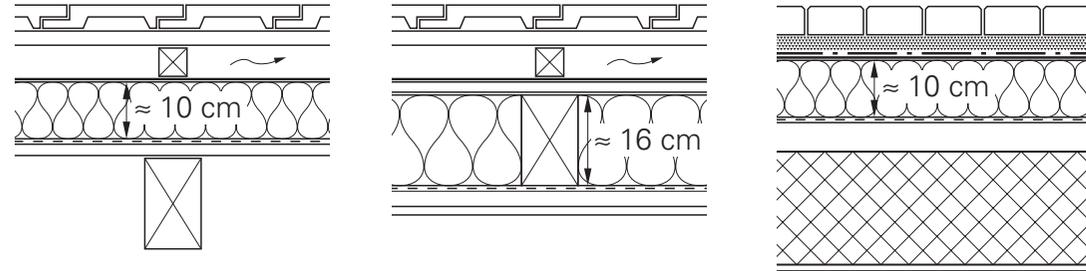
V	volume chauffé (net)	[m <sup>3</sup> ]
n	taux de renouvellement d'air (p.ex. 0,5)	[h <sup>-1</sup> ]
c · ρ	capacité calorifique spécifique de l'air (plateau CH = 1,15)	[KJ/m <sup>3</sup> K]
DJ	degrés jours par période de chauffe	[K·d/a]
0,024	coefficient	[h·MJ/d·kJ]
3,6	coefficient	[MJ/kWh]

## Gains en énergie par la pénétration des rayons du soleil (exemple pour station climatique Zürich SMA)

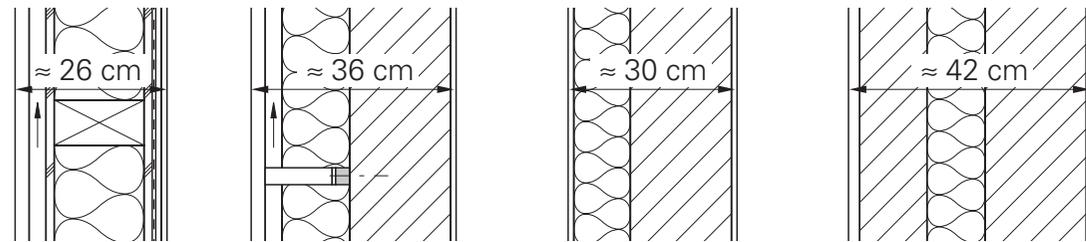


# Éléments de construction pour le standard de construction 1: «exigences légales»

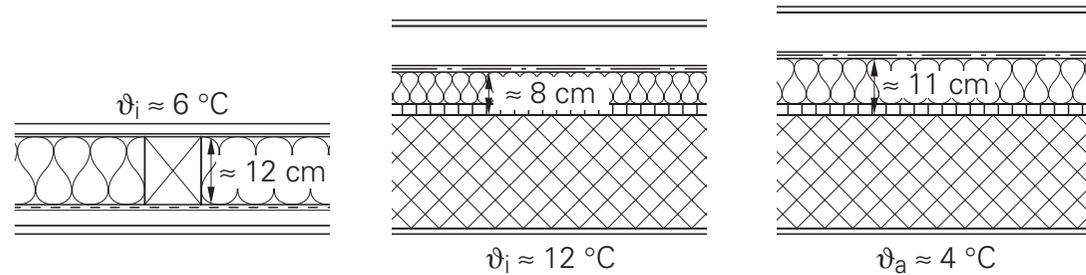
## Toits



## Parois extérieures

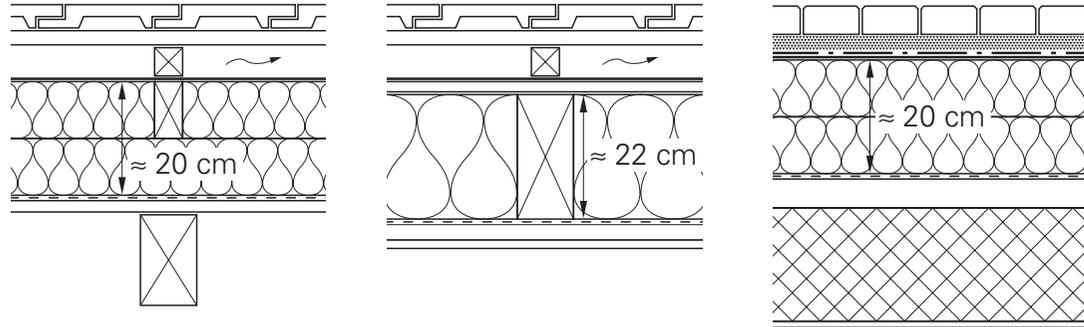


## Sols et plafonds

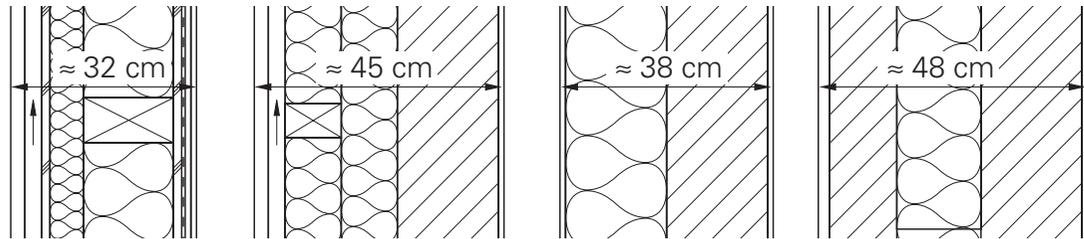


## Éléments de construction pour le standard de construction 2: «MINERGIE»

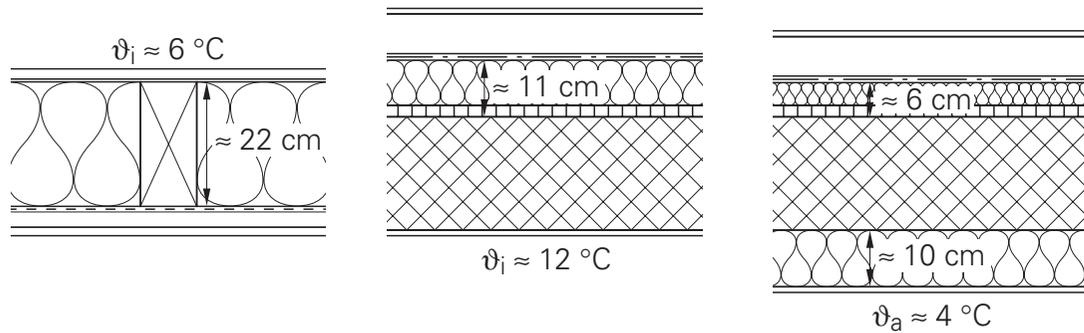
Toits



Parois extérieures

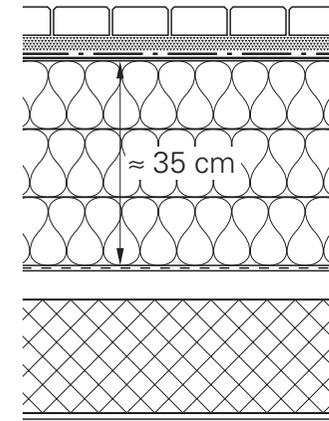
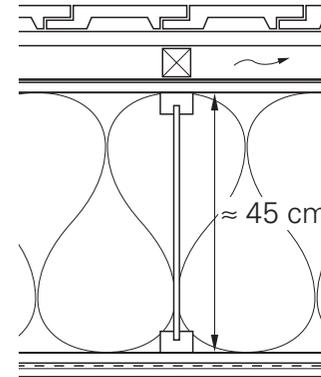
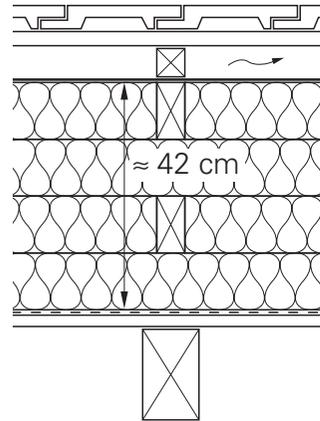


Sols et plafonds

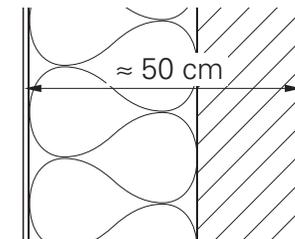
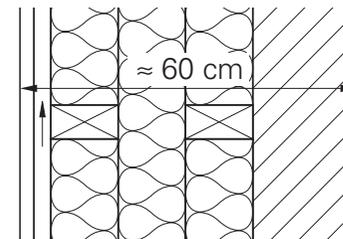
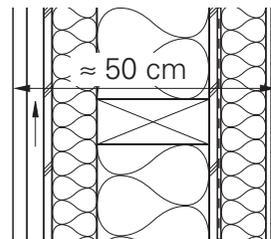


## Éléments de construction pour le standard de construction 3: «maison passive»

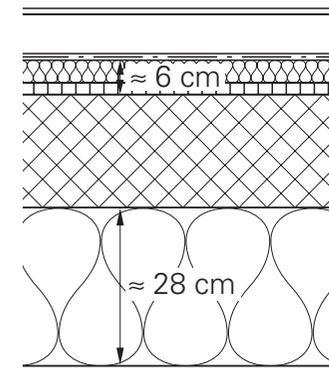
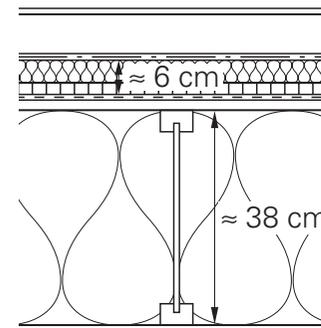
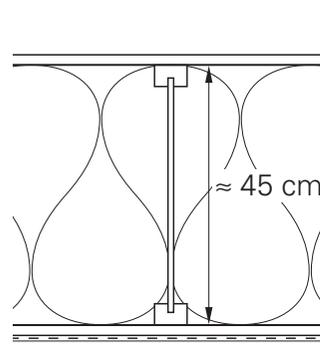
Toits



Parois extérieures



Sols et plafonds

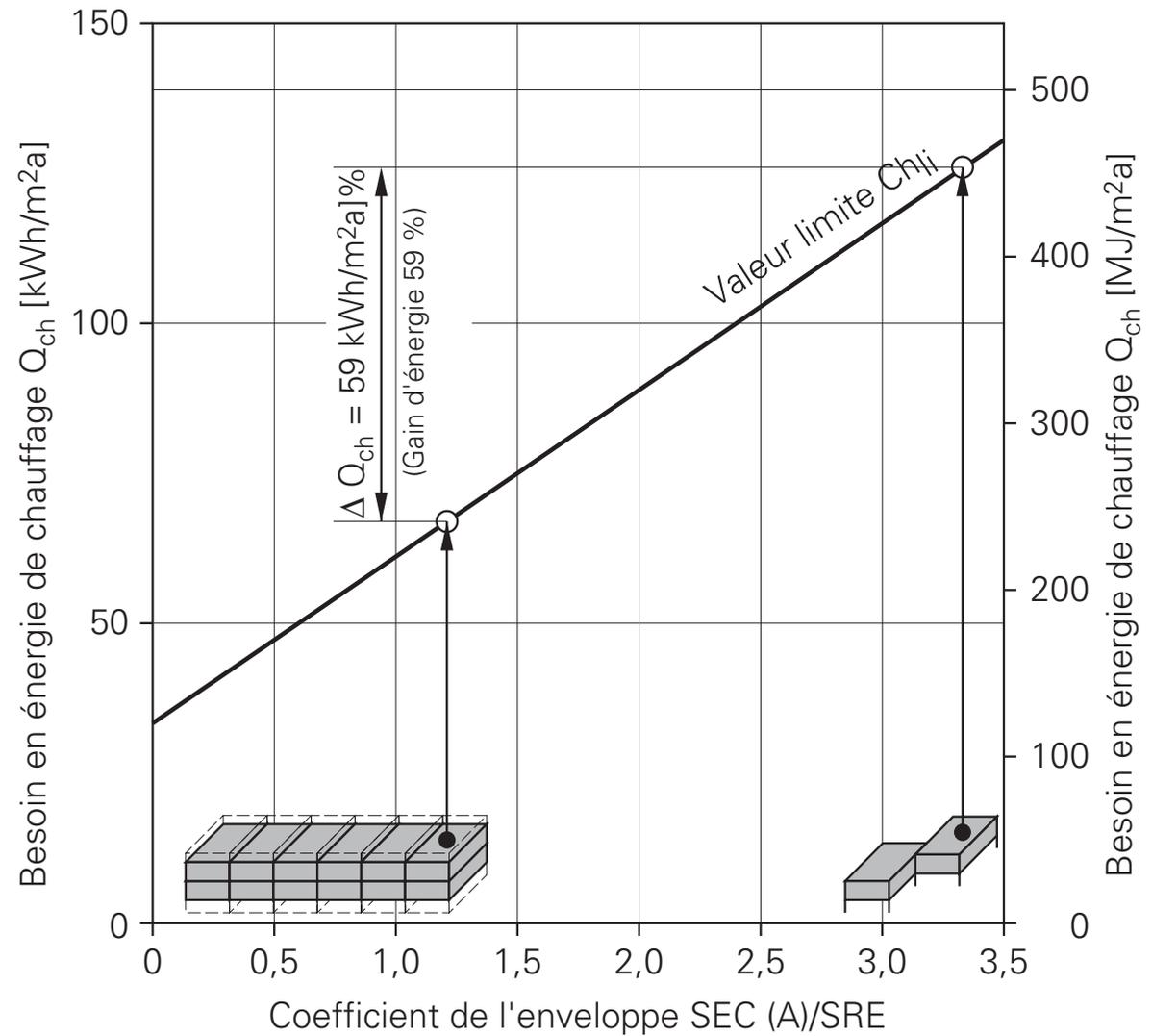


## Effets de la taille de la fenêtre, du cadre et du verre sur le bilan énergétique de la fenêtre, selon l'orientation (emplacement climatique Zurich SMA)

Cadres $U_R$ [W/m <sup>2</sup> K]	Verre $U_G$ [W/m <sup>2</sup> K]	g [%]	vitrage ext. $\Psi_R$ [W/mK]	orientation	Modèle 1					Modèle 2				
					$U_F$ [W/m <sup>2</sup> K]	$Q_t$ [kWh/a]	$Q_g$ [kWh/a]	$Q_t - Q_g$ [kWh/a]	$U_{Feq}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_F$ [W/m <sup>2</sup> K]	$Q_t$ [kWh/a]	$Q_g$ [kWh/a]	$Q_t - Q_g$ [kWh/a]	$U_{Feq}$ [W/m <sup>2</sup> K]
2,0	1,4	65	0,07	Sud	1,77	359	352	7	0,04	1,67	338	379	-41	-0,20
				Ouest			209	150	0,74			225	113	0,56
				Est			198	160	0,79			214	125	0,61
				Nord			97	261	1,29			105	233	1,15
2,0	1,1	61	0,05	Sud	1,47	297	330	-33	-0,16	1,37	277	356	-79	-0,39
				Ouest			196	101	0,50			211	66	0,32
				Est			186	111	0,55			201	76	0,38
				Nord			91	206	1,01			99	178	0,88
1,50	1,4	65	0,07	Sud	1,66	337	352	-15	-0,07	1,59	322	379	-57	-0,28
				Ouest			209	128	0,63			225	97	0,48
				Est			198	138	0,68			214	109	0,54
				Nord			97	239	1,18			105	217	1,07
1,50	1,1	61	0,05	Sud	1,36	275	330	-55	-0,27	1,29	261	356	-95	-0,47
				Ouest			196	79	0,39			211	50	0,25
				Est			186	89	0,44			201	60	0,30
				Nord			91	184	0,91			99	163	0,80
1,50	0,7	42	0,05	Sud	1,04	212	227	-15	-0,08	0,95	193	245	-52	-0,26
				Ouest			135	77	0,38			146	47	0,23
				Est			128	84	0,41			138	54	0,27
				Nord			63	149	0,73			68	125	0,61
1,50	0,5	42	0,05	Sud	0,89	180	227	-47	-0,23	0,78	158	245	-86	-0,43
				Ouest			135	45	0,22			146	13	0,06
				Est			128	52	0,26			138	20	0,10
				Nord			63	117	0,58			68	91	0,45

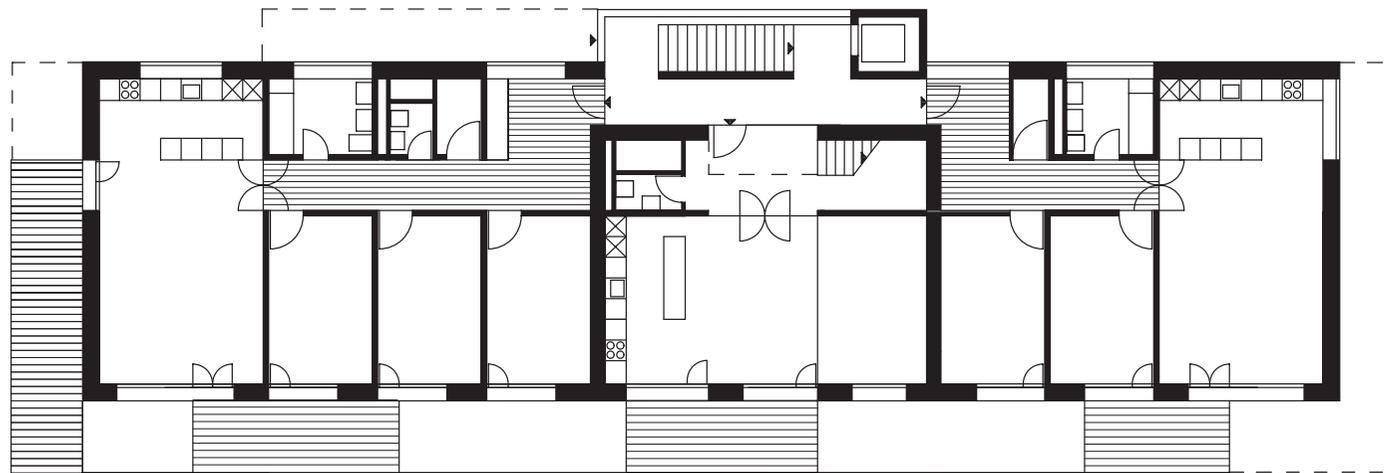
Optimum selon l'orientation concernant le bilan énergétique

## Influence de la forme du bâtiment sur la consommation d'énergie

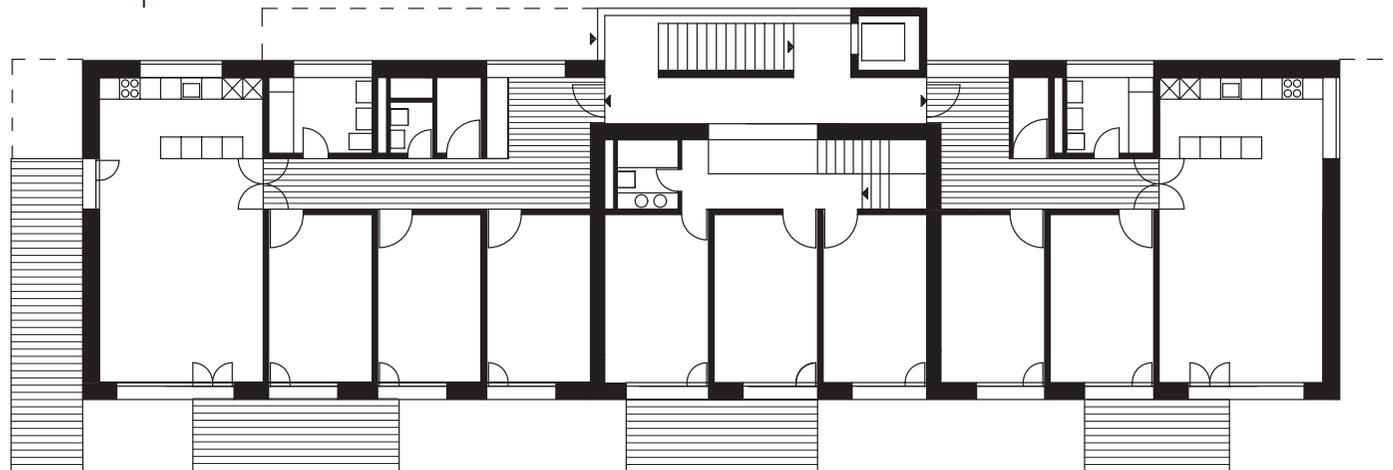


**Plus la forme devient compacte, plus le besoin en énergie de chauffage diminue.**

## Comparaison d'un bâtiment avec trois standards de construction différents



Rez-de-chaussée



étage

### Projet pour immeuble

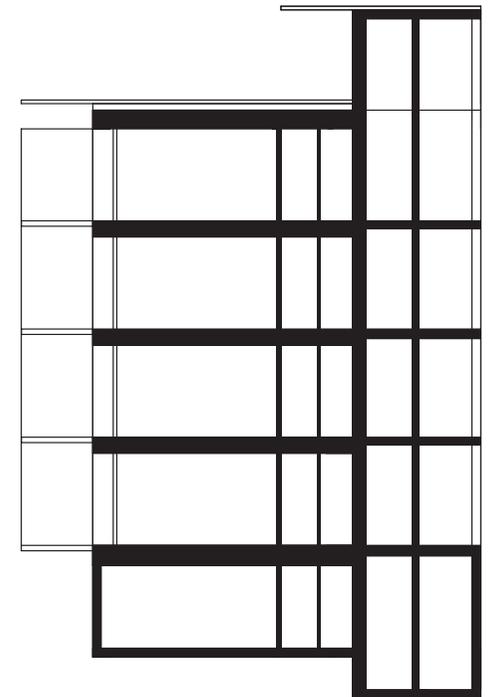
coefficient de l'enveloppe

$$A / SRE = 1,34$$

→ valeur limite  $Ch_{li}$

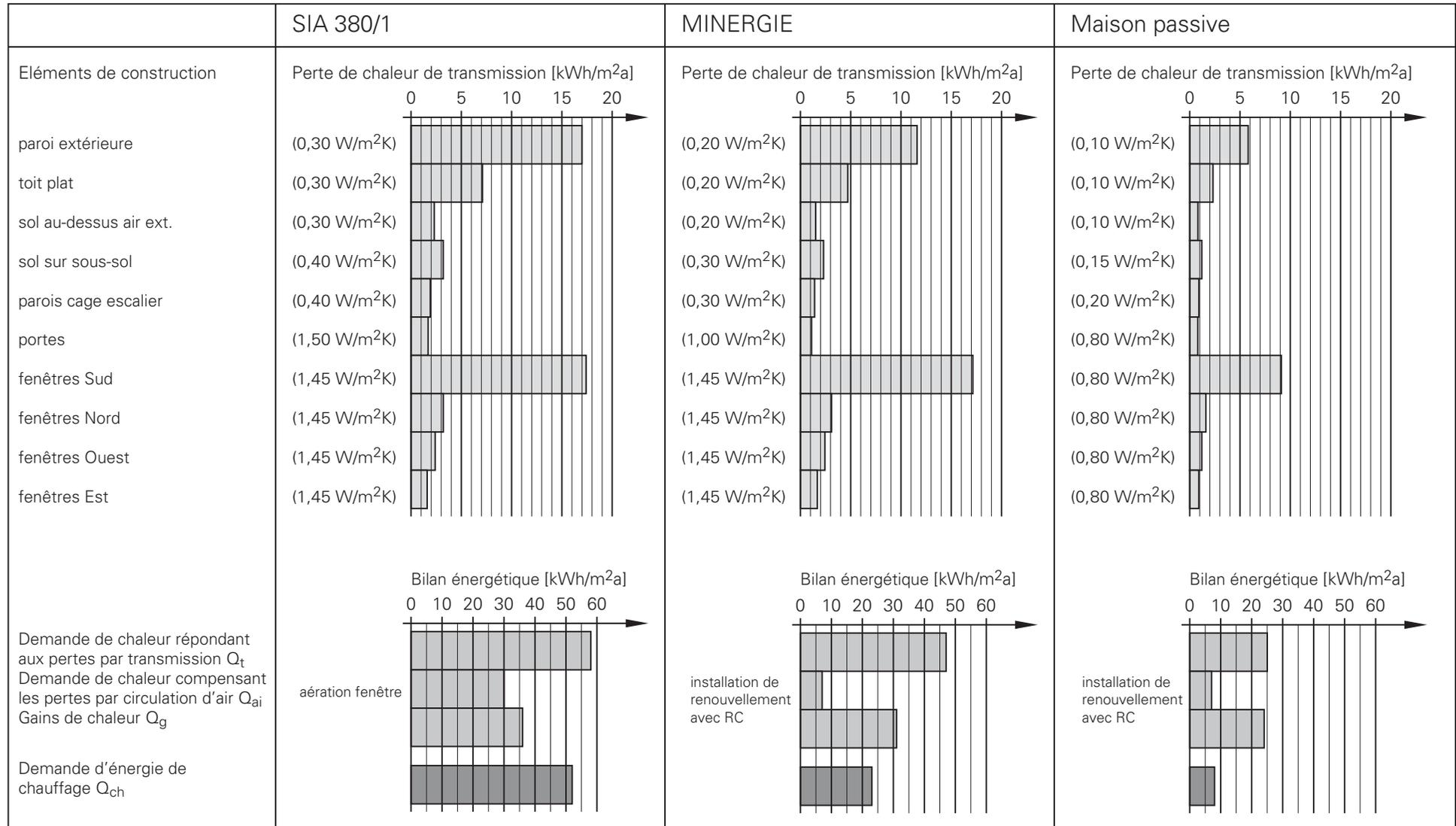
$$= 120 + 100 \cdot (A/SRE)$$

$$= 254 \text{ MJ/m}^2\text{a bzw. } 71 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

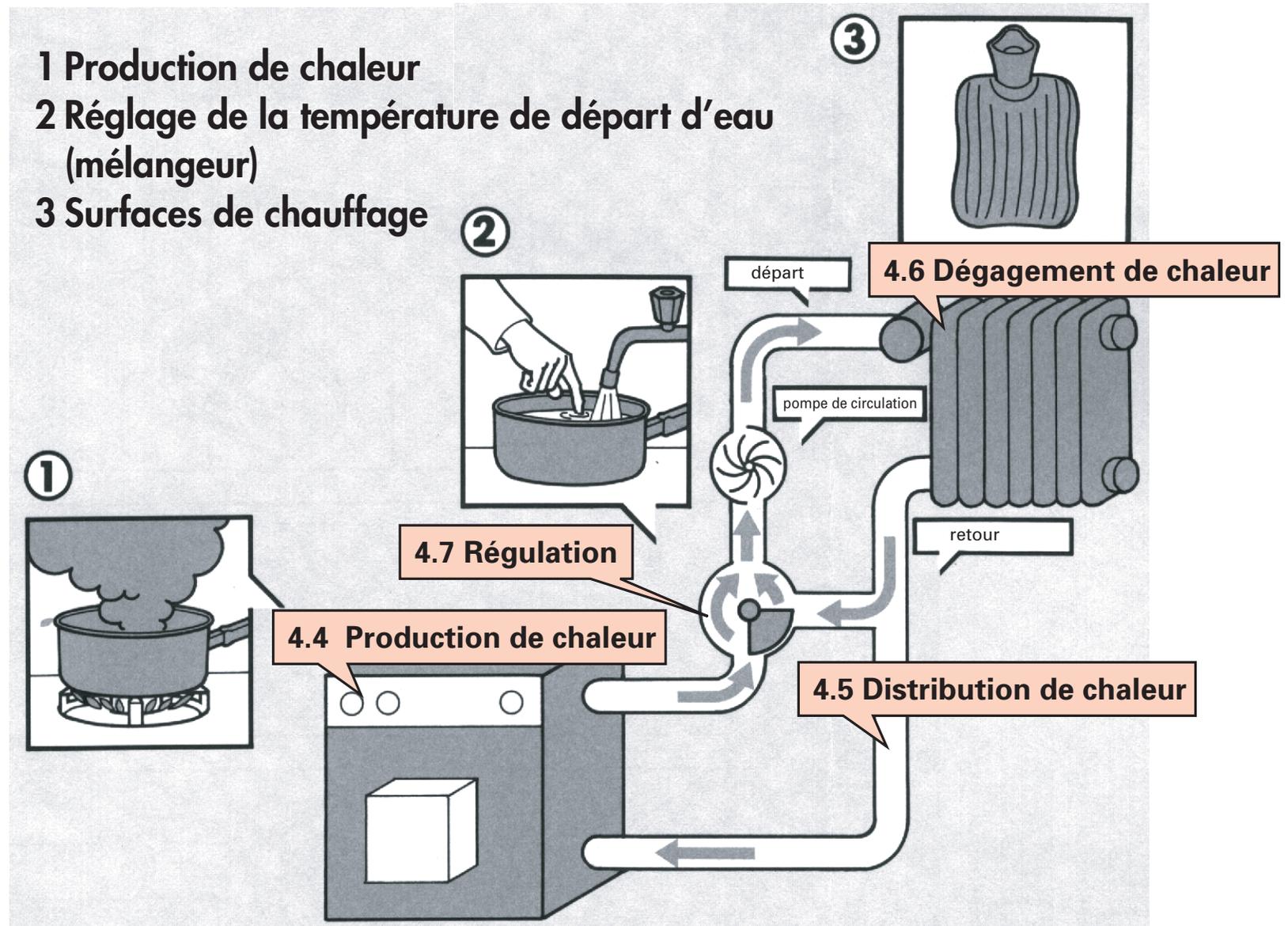


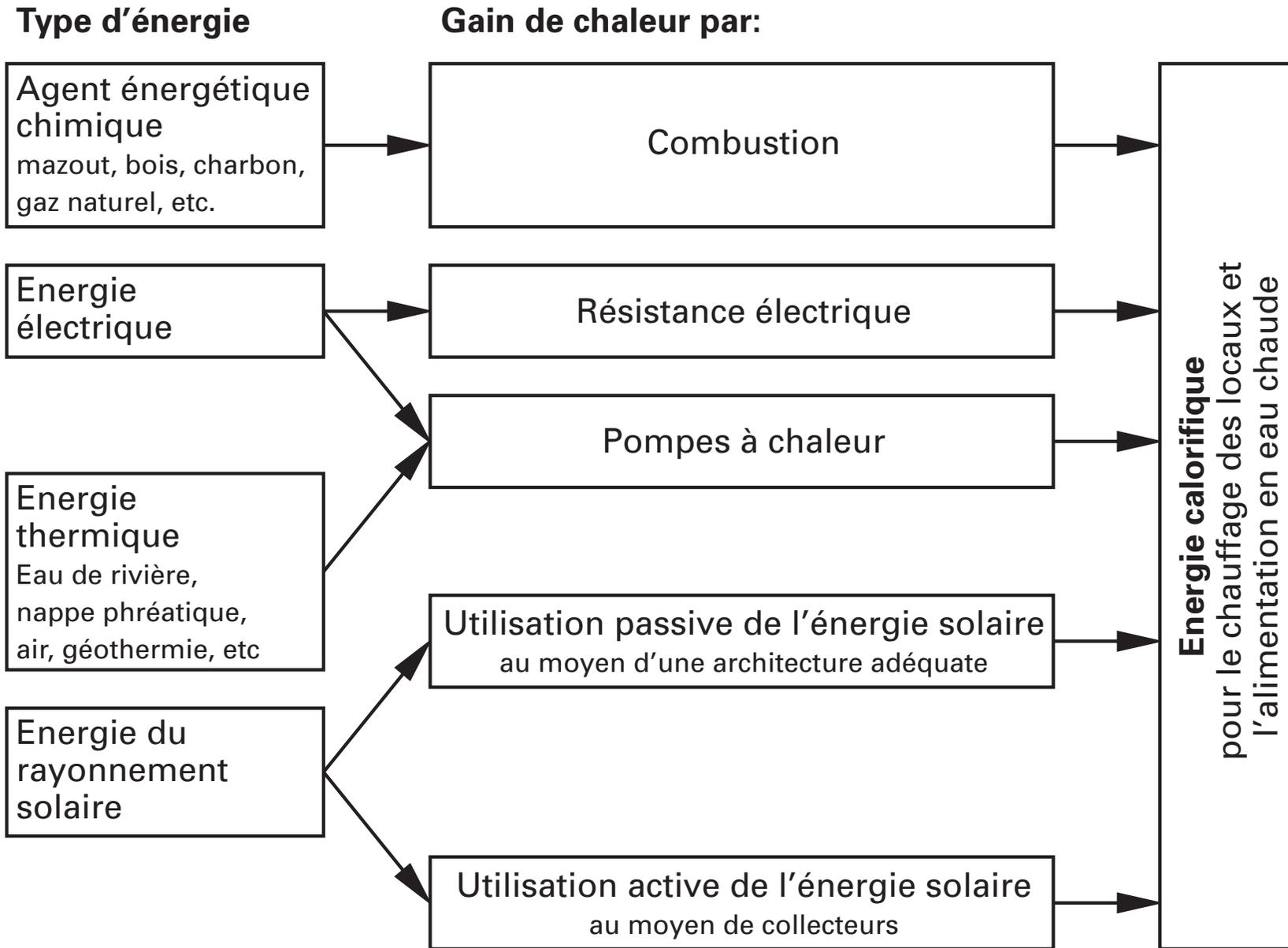
coupe

## Comparaison d'un bâtiment avec trois standards de construction différents

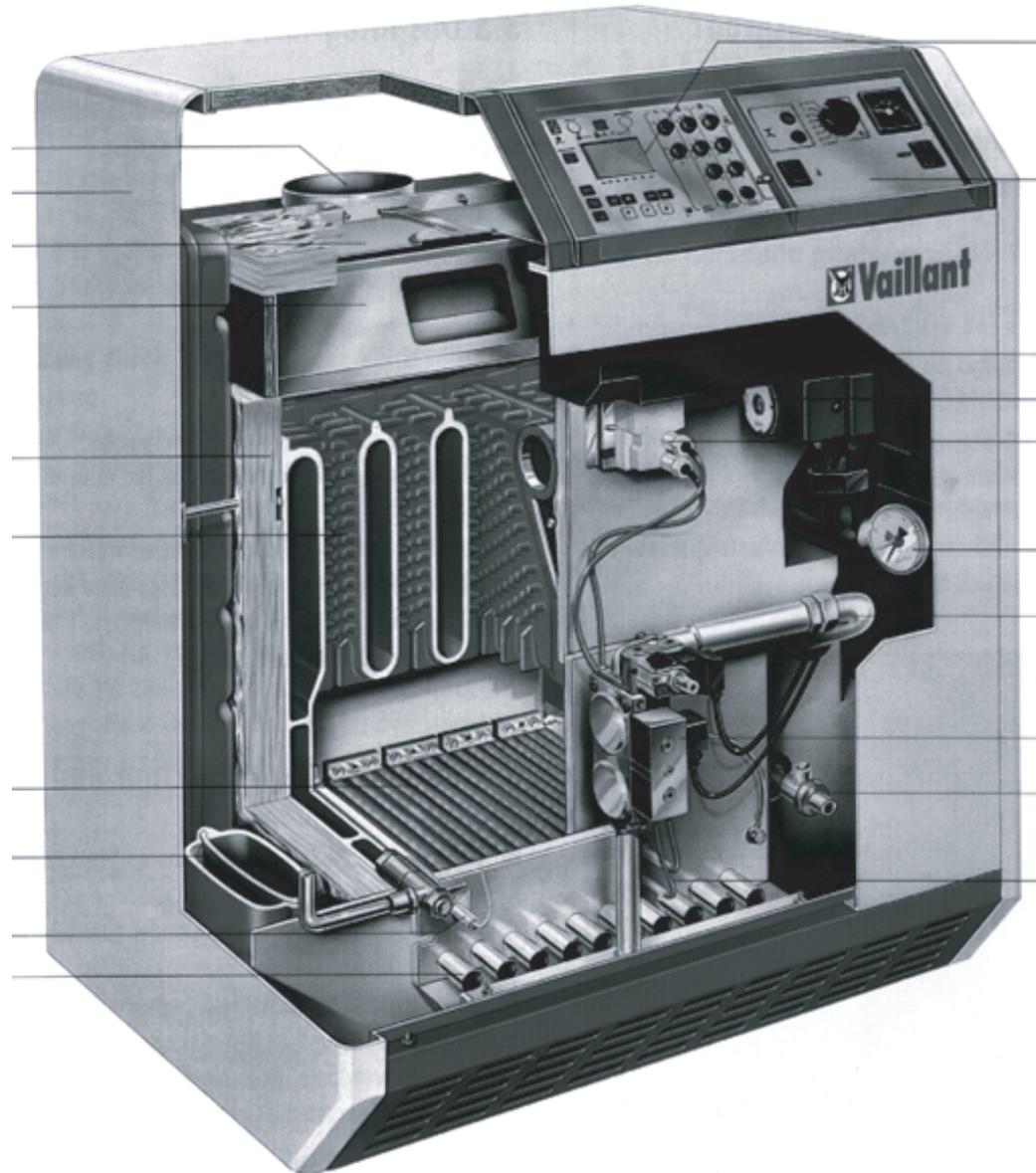


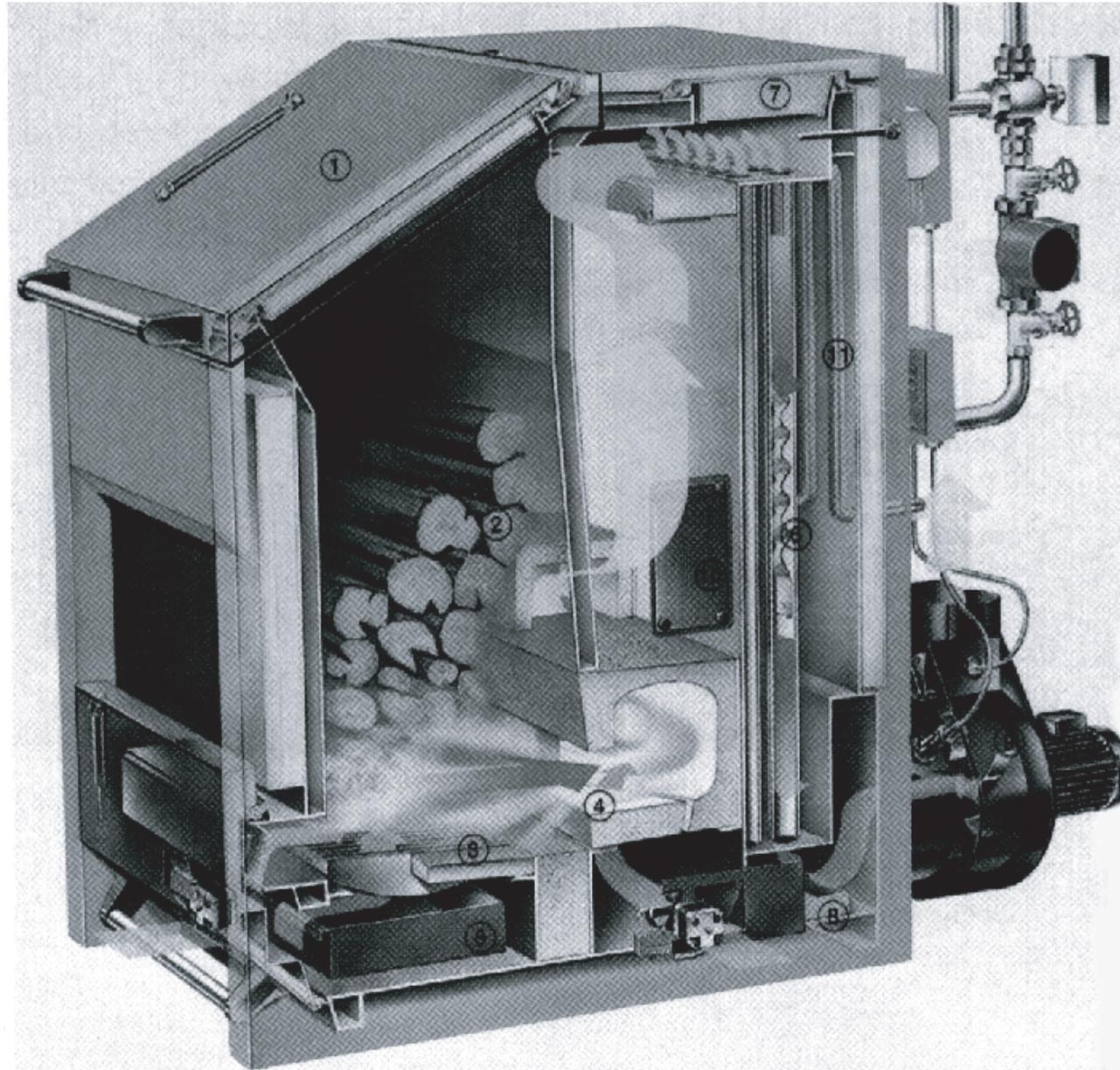
## 8.2 Installation techniques

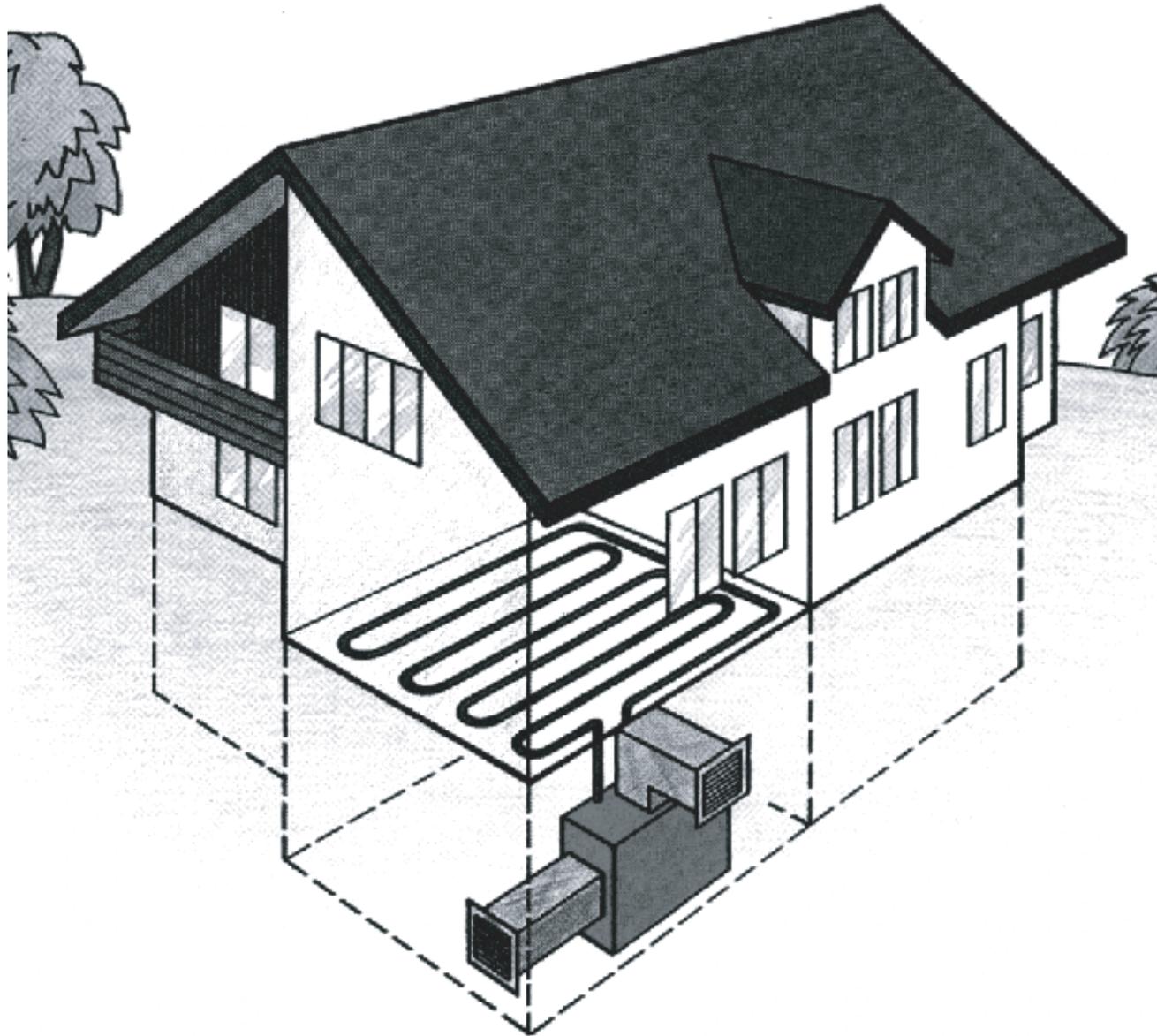




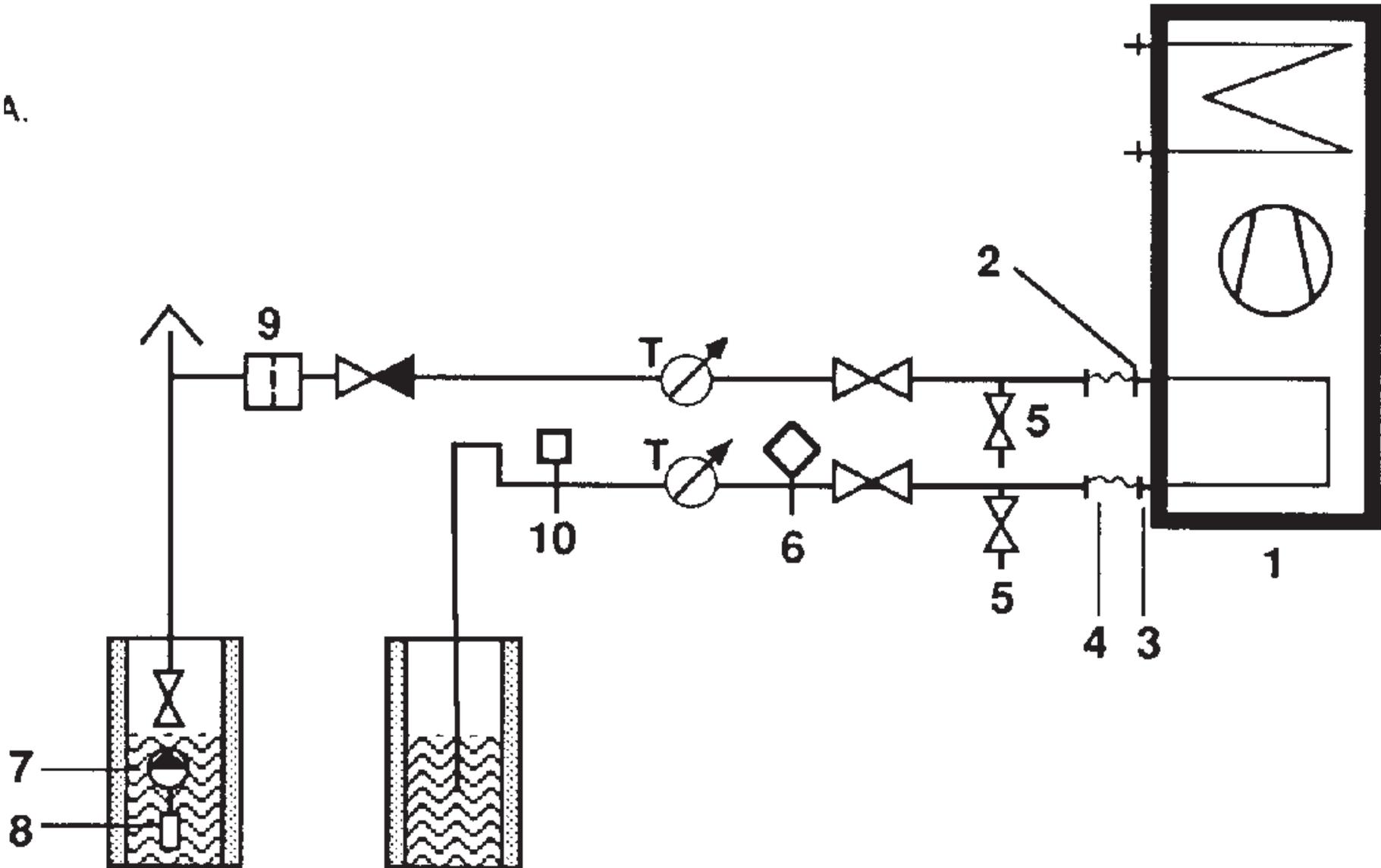




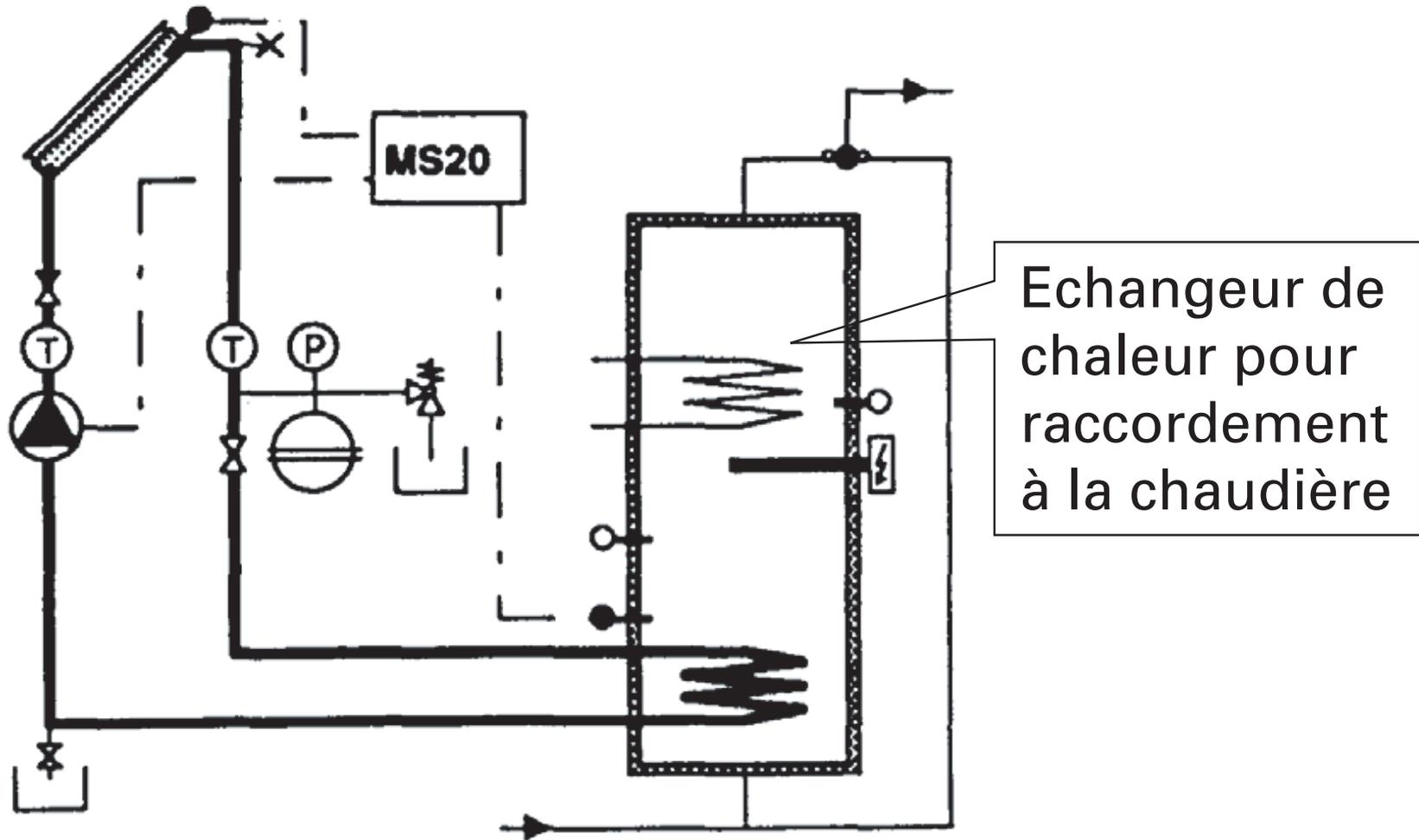


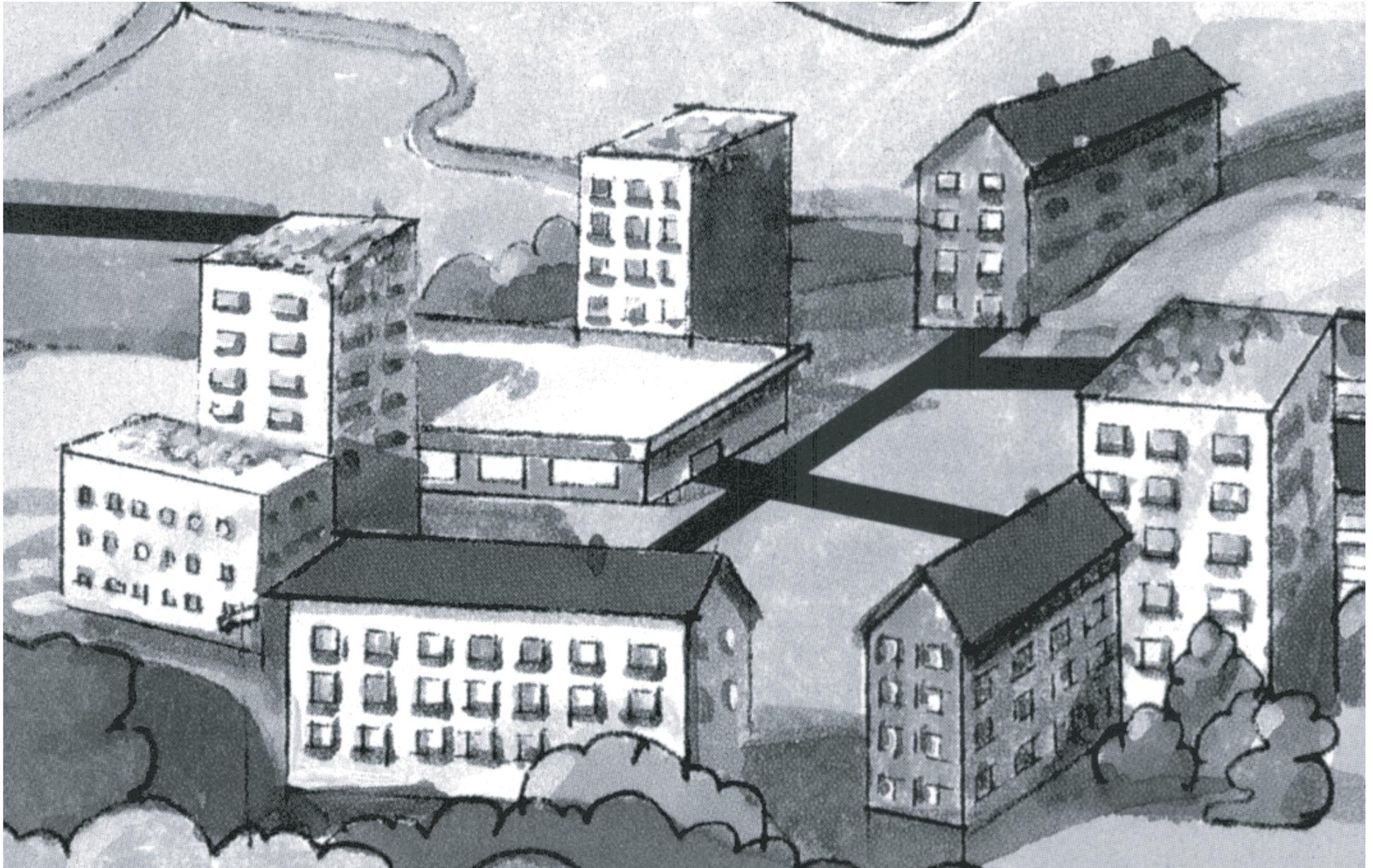


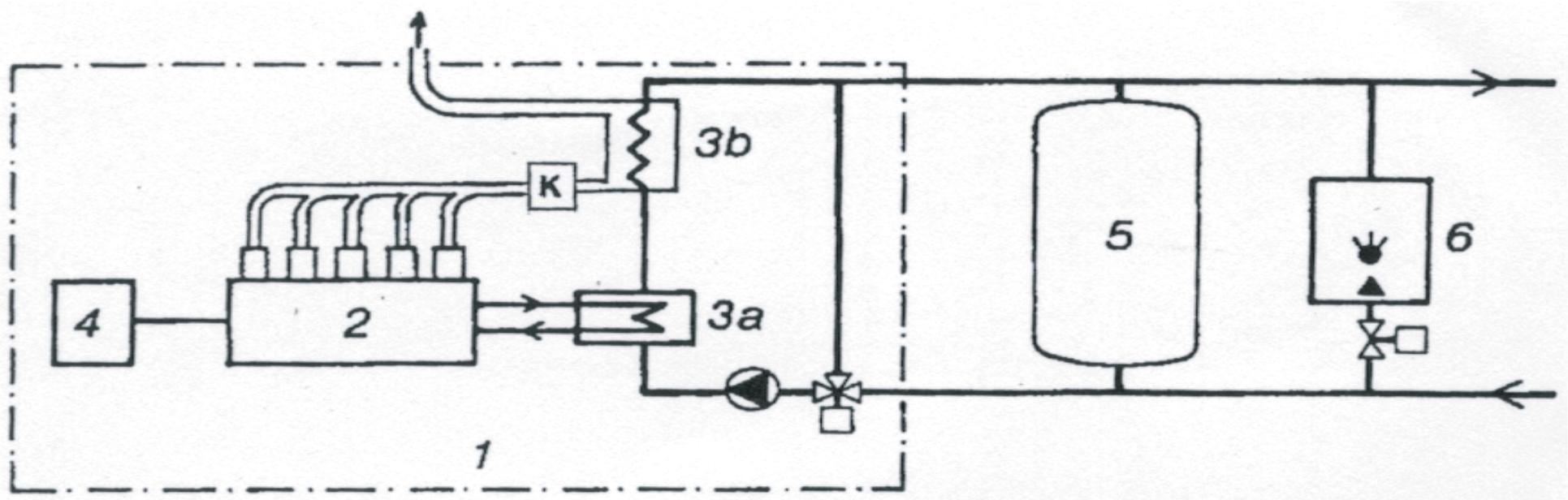
A.



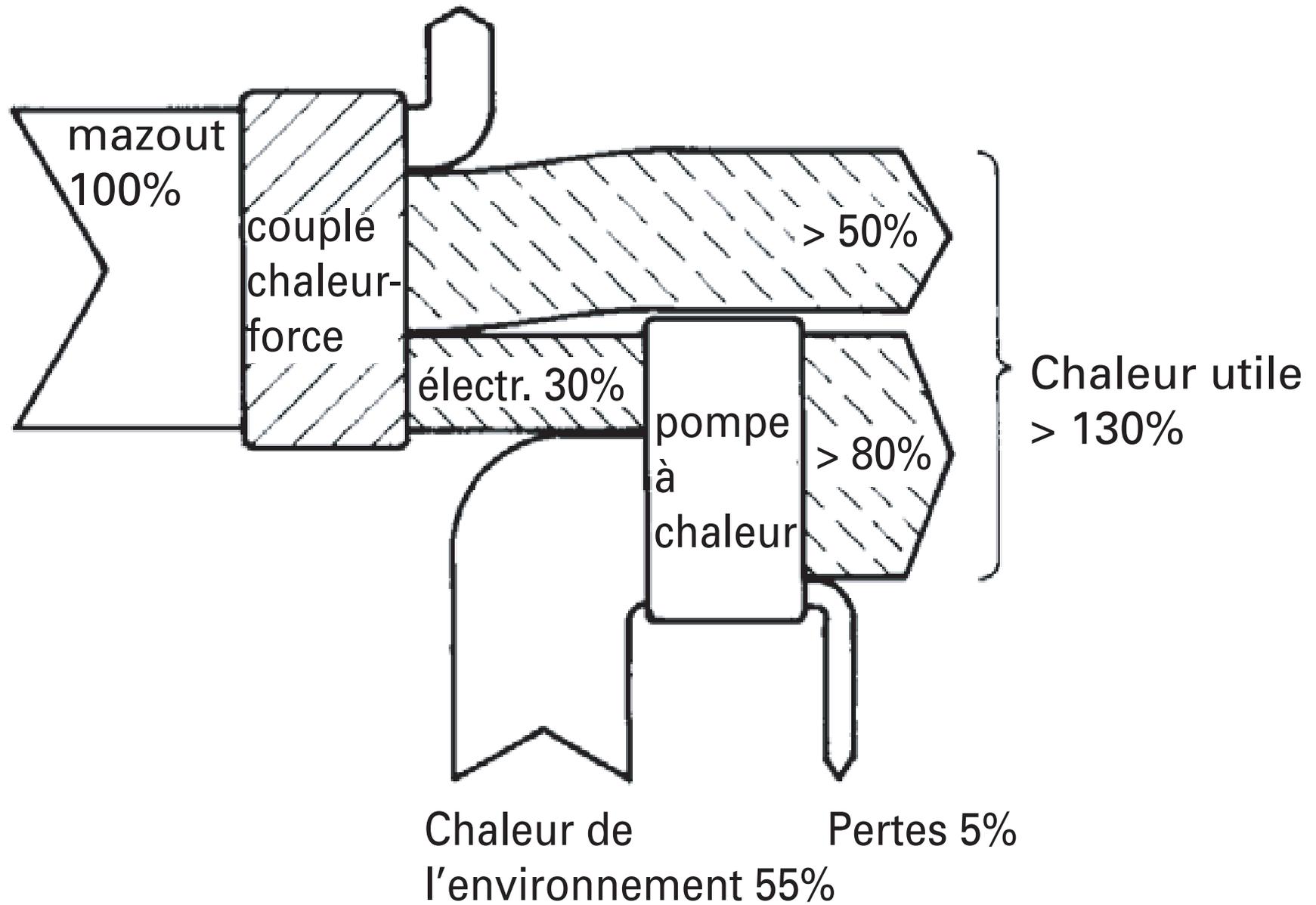


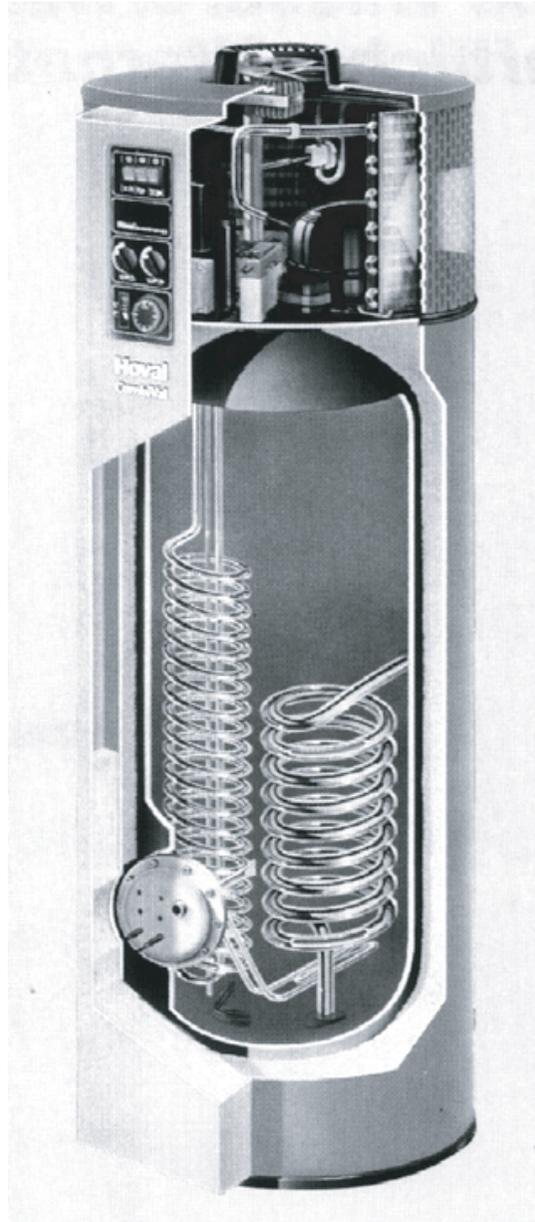


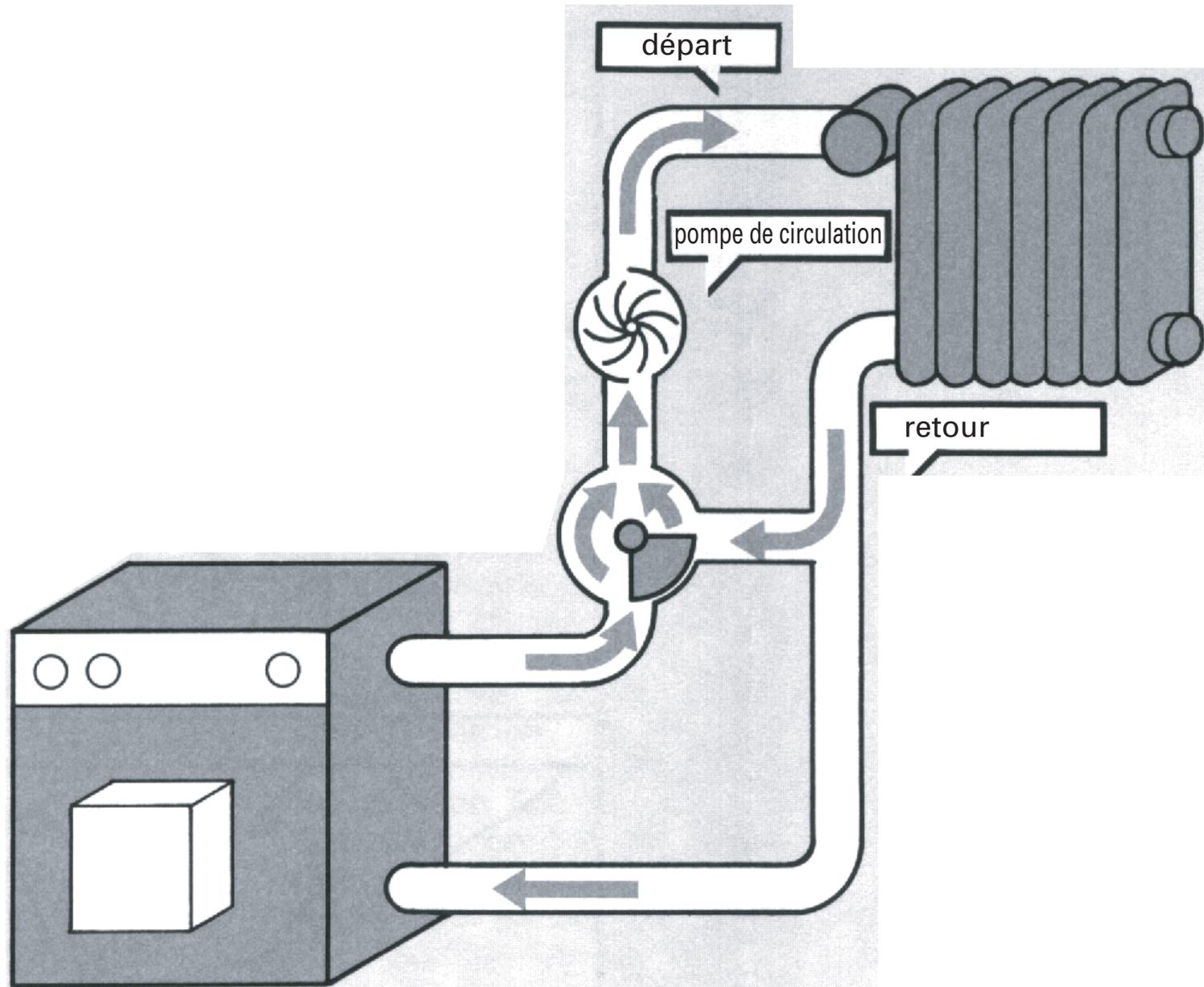


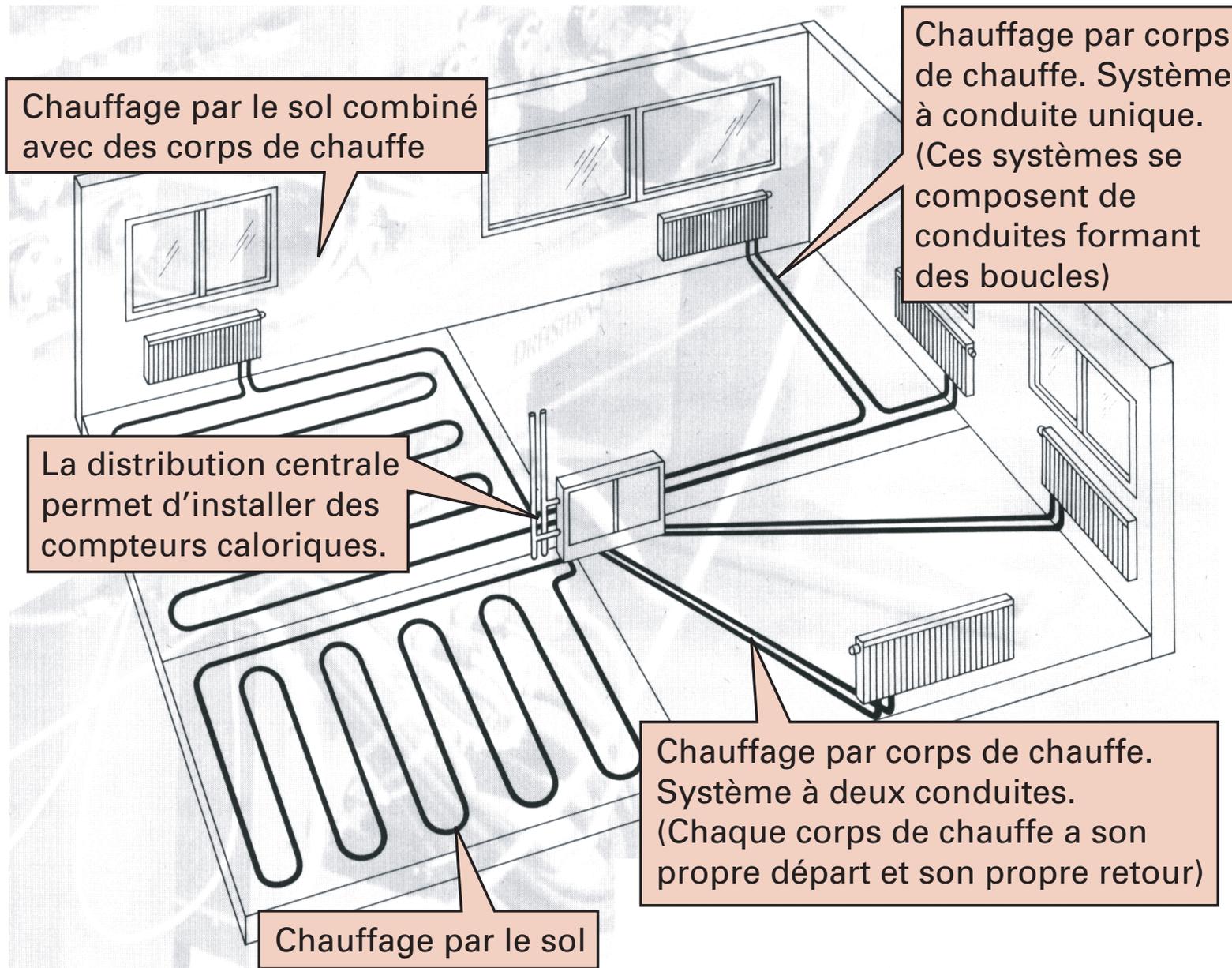


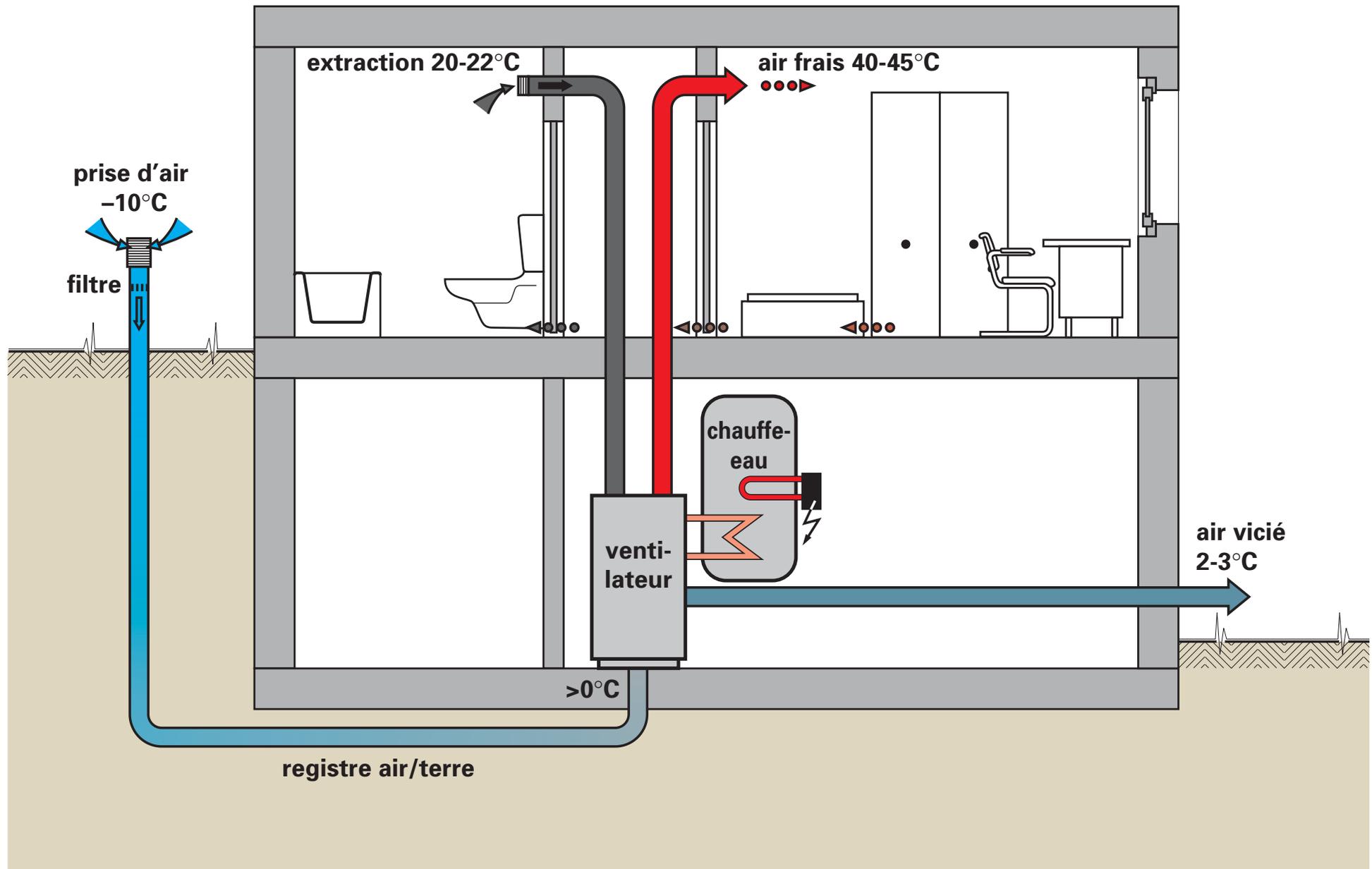
- 1 Bloc central de chauffage
- 2 Moteur à combustion gaz ou diesel
- 3a Eau de refroidissement-échangeur de chaleur
- 3b Gaz d'échappement-échangeur de chaleur
- 4 Générateur
- 5 Accumulateur
- 6 Chaudière complémentaire
- K Catalyseur

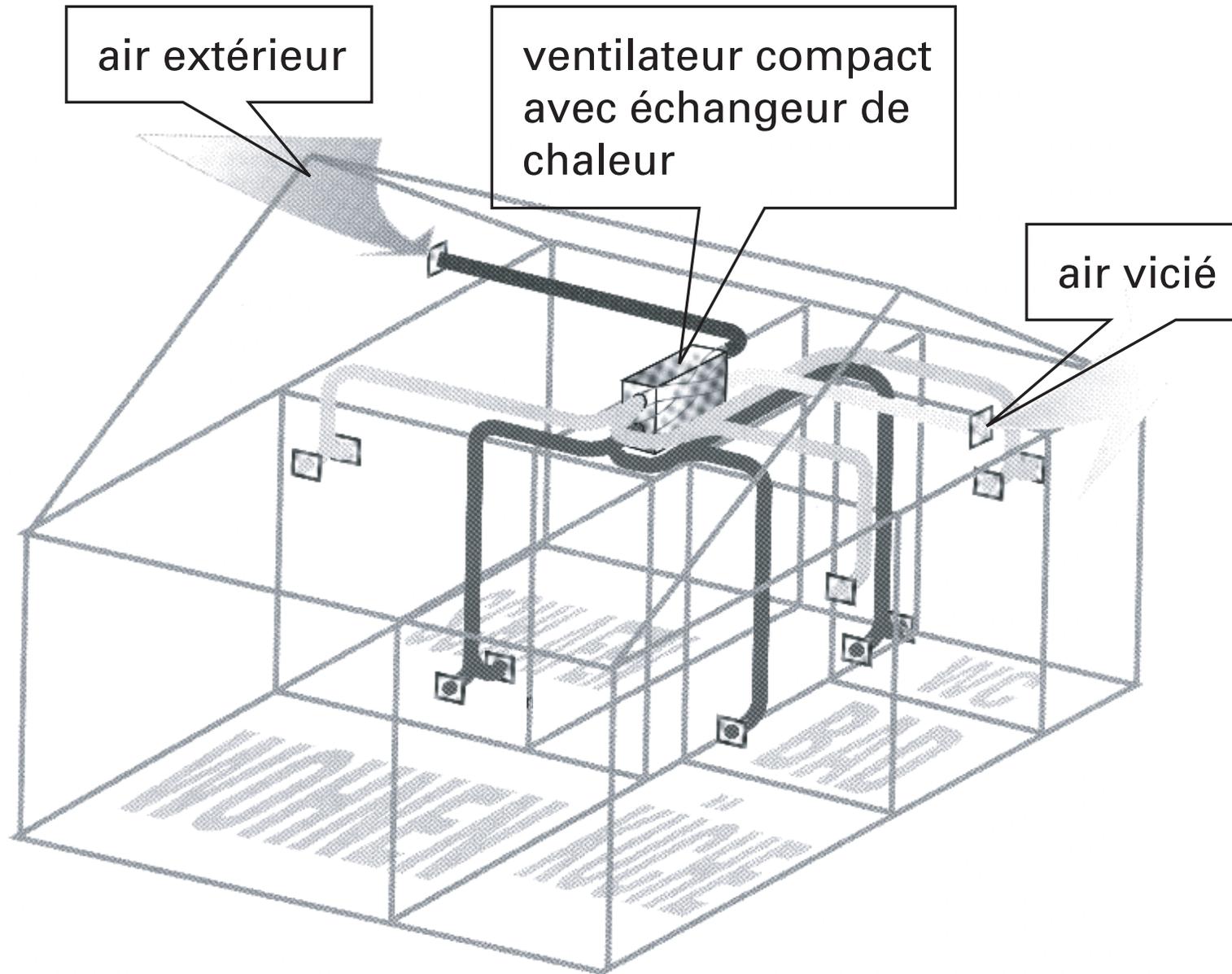


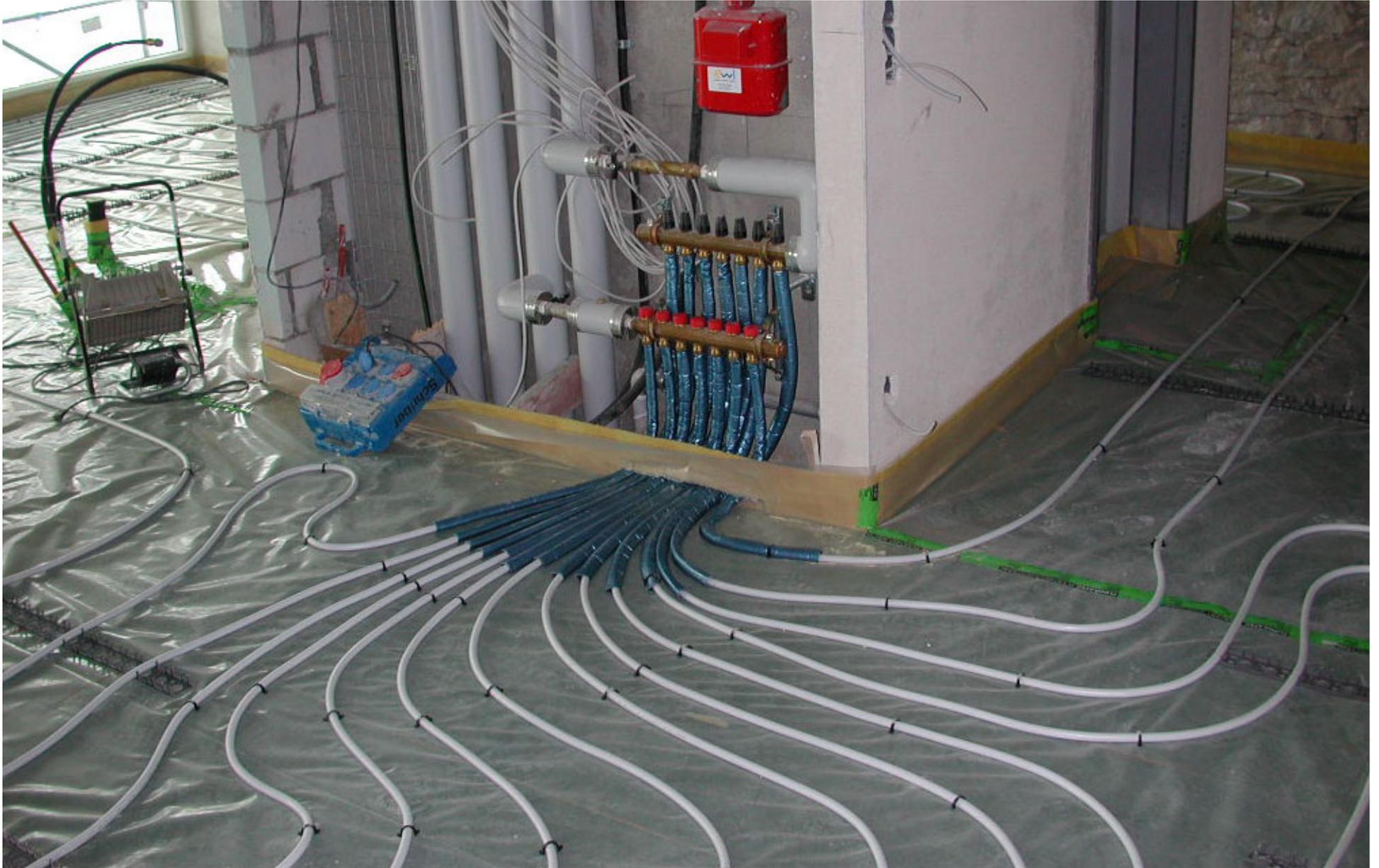


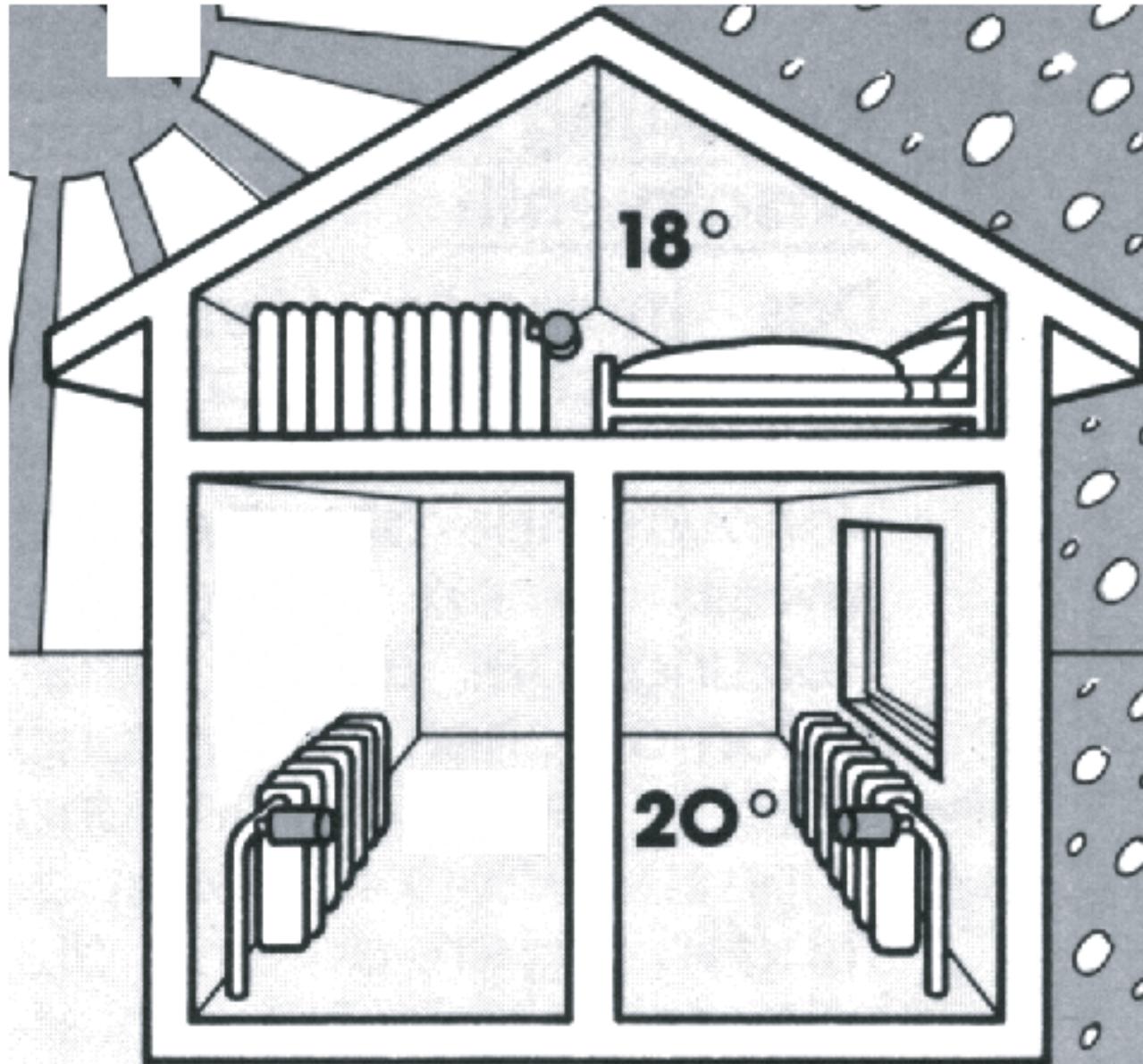




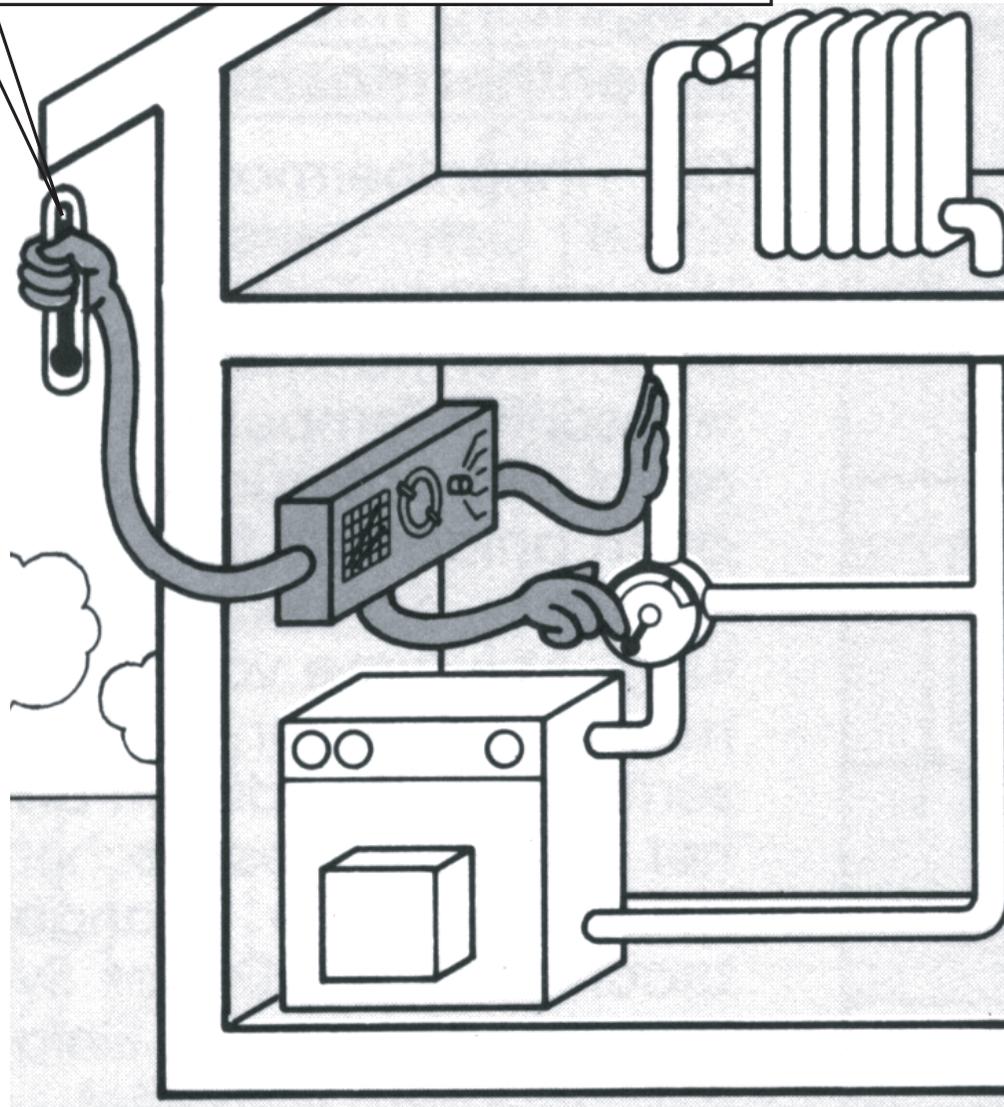


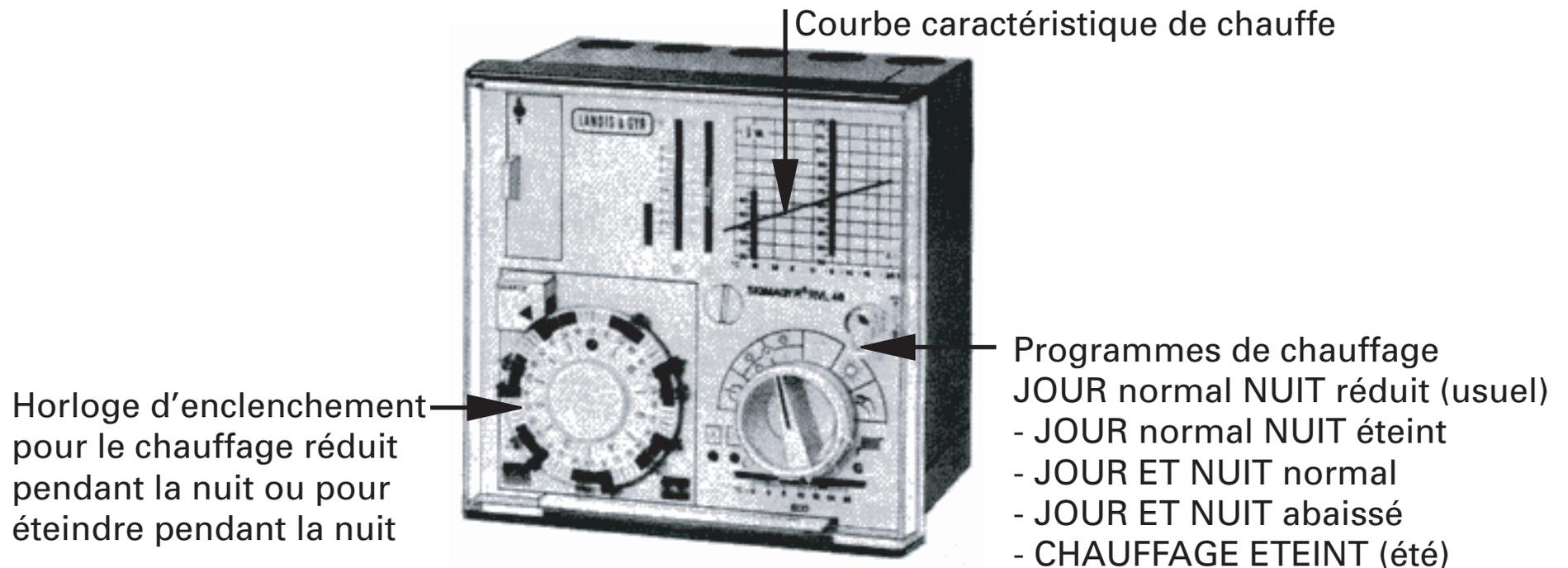


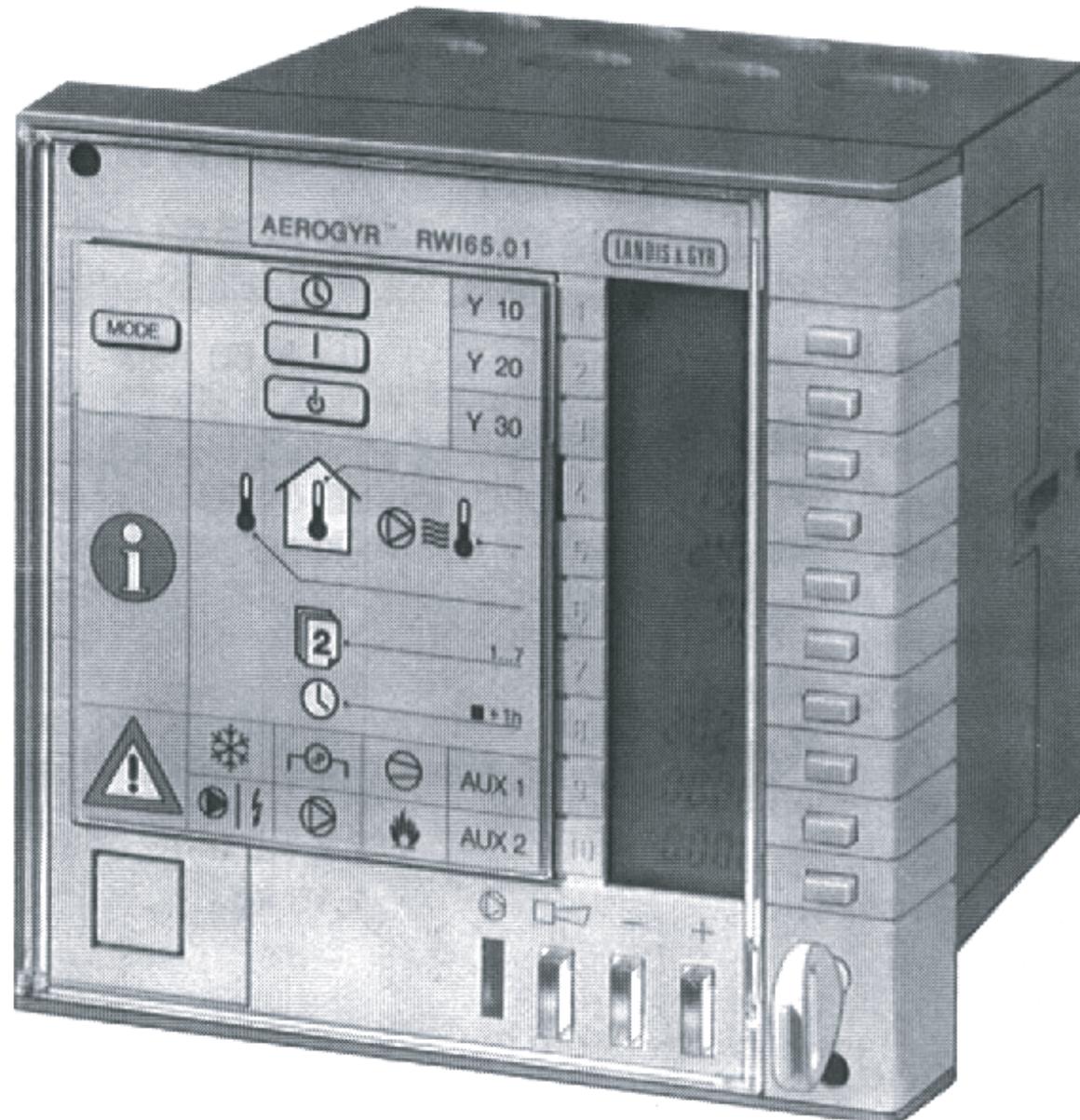


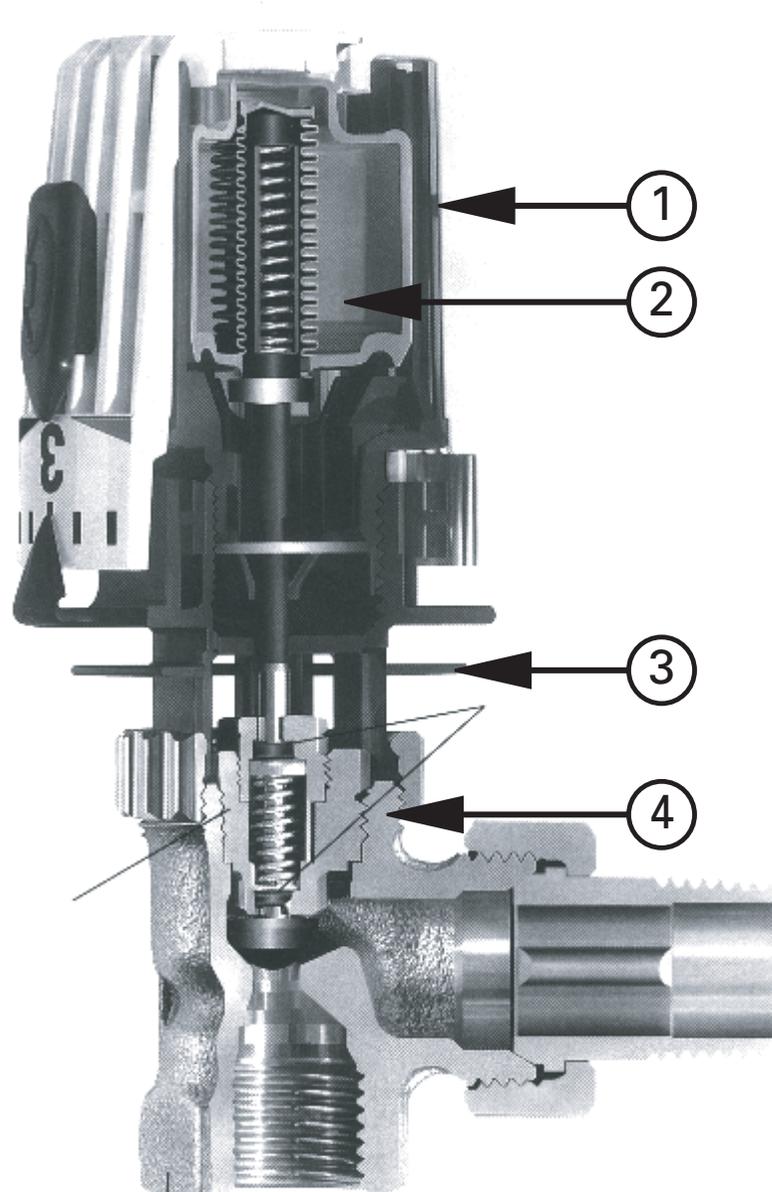


Sonde de température extérieure









- 1 vanne manuelle
- 2 sonde de température
- 3 cheville de transmission
- 4 plateau de la soupape

Pièce

1



2



3

