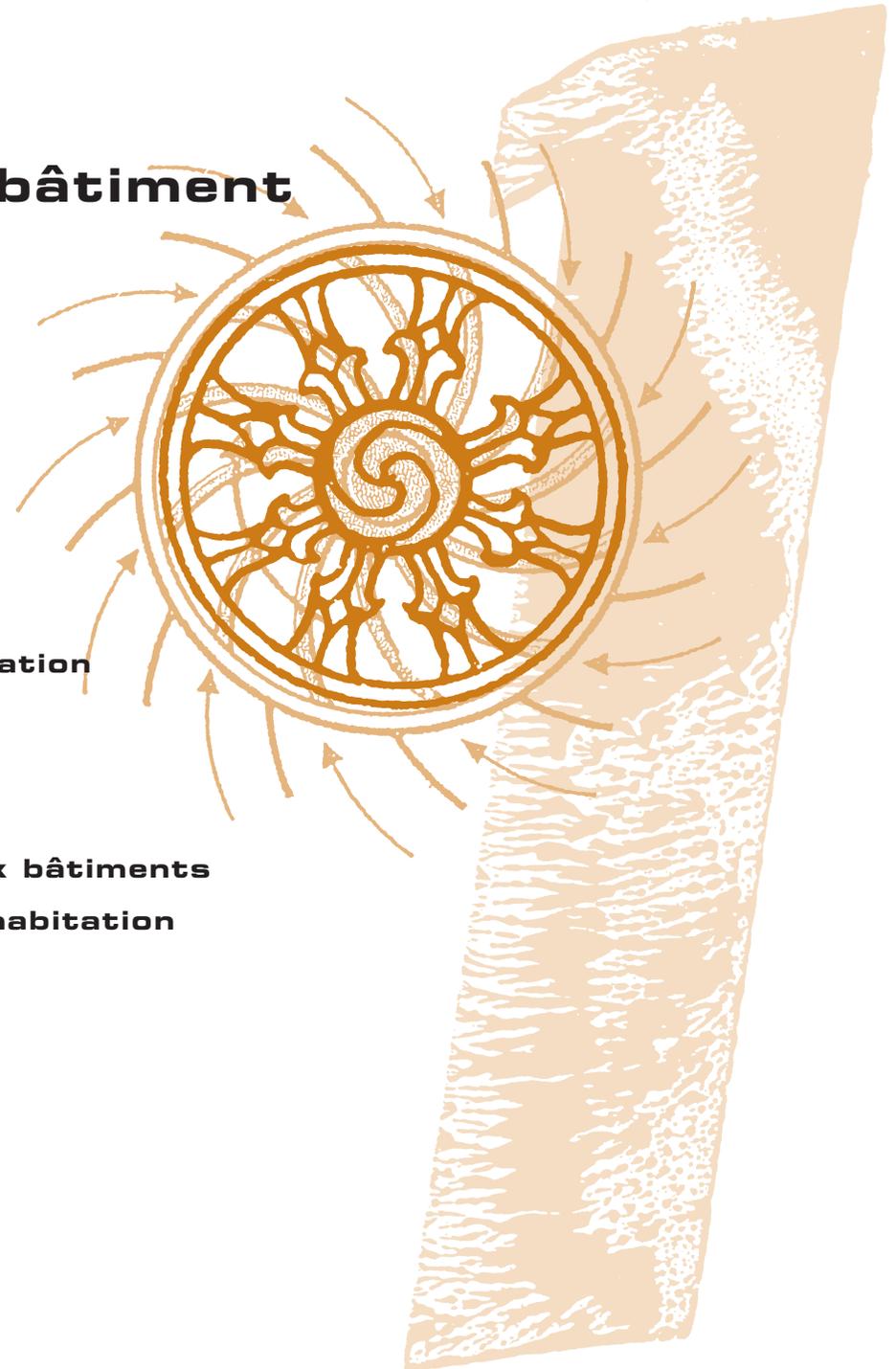


Les flux d'énergie dans un bâtiment

L'énergie dans l'enseignement professionnel
Modules pour les professions de la construction: Module 1

- 1 Introduction: de quoi s'agit-il?**
- 2 Objectifs de la formation**
- 3 Eléments proposés pour le plan des leçons**
- 4 Connaissances de base**
 - La chaîne énergétique de l'énergie d'exploitation
 - Les flux d'énergie dans un bâtiment
 - Le bilan énergétique d'un bâtiment
 - Diagramme des flux d'énergie
 - Les standards énergétiques applicables aux bâtiments
 - Le flux énergétique de l'exploitation d'une habitation
 - Energie et durabilité
 - Glossaire
- 5 Exercices et solutions proposées**
- 6 Bibliographie**
- 7 Sources**
- 8 Modèles**





1 Introduction: de quoi s'agit-il ?

Nous avons besoin d'énergie pour construire et exploiter un bâtiment. Afin de stabiliser ou de réduire les atteintes à l'environnement ainsi que pour ménager les ressources énergétiques disponibles, il est nécessaire d'utiliser rationnellement l'énergie. Il faut connaître les **flux d'énergie** dans un projet de construction pour pouvoir bien gérer la consommation d'énergie. A l'aide de **bilans énergétiques**, on peut évaluer les flux d'énergie et mettre en évidence les économies d'énergie possibles.

Le **bilan énergétique global** d'un projet de construction tient compte de tous les flux énergétiques qui se présentent dans la construction et l'exploitation d'un ouvrage. Le flux énergétique global comprend tous les éléments en rapport avec l'énergie, de la production de l'énergie à la consommation d'énergie utile dans le bâtiment. On inclut dans le bilan global aussi bien les flux énergétiques de l'exploitation (par exemple: le combustible couvrant les besoins thermiques d'un bâtiment) que l'énergie grise nécessaire à la fabrication des matériaux de construction.

Pour l'évaluation du **bilan thermique** d'un bâtiment, seuls les flux énergétiques de l'exploitation sont considérés. Cette comptabilité de l'énergie décrit les flux énergétiques, de l'énergie finale à l'énergie utile disponible. C'est pour ces éléments de la chaîne énergétique que l'influence de la gestion de l'énergie sur sa consommation est la plus grande. Le type de construction et la qualité de la construction, le mode d'utilisation et la façon dont la chaleur est produite déterminent l'énergie finale nécessaire à la couverture des besoins thermiques d'un bâtiment. Par le biais des indices de dépense d'énergie, on dispose de valeurs limites à respecter et de valeurs comparatives au niveau de l'énergie finale, pour les différentes utilisations du bâtiment. Les bilans énergétiques peuvent être représentés à l'aide de diagrammes pour bien mettre en évidence les flux d'énergie.

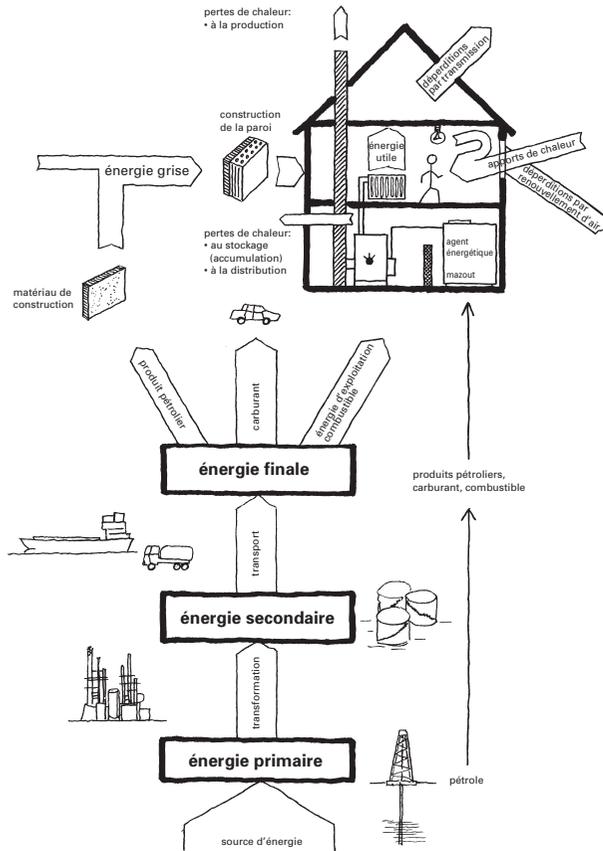


Fig. 1 Bilan énergétique global



2 Objectifs de la formation

L'apprentie, l'apprenti sait ...

- citer les consommateurs d'énergie les plus importants dans une habitation,
- citer les sources d'énergie et les agents énergétiques entrant ligne de compte,
- dessiner un diagramme élémentaire des flux énergétiques pour une habitation et nommer les flux énergétiques et les consommateurs d'énergie les plus importants,
- trouver et expliquer les possibilités d'action sur le bilan énergétique,
- expliquer ce que l'on entend par «énergie d'exploitation» et «énergie grise».



3 Eléments proposés pour le plan des leçons

Comprendre le rapport entre énergie et bâtiment

- A l'aide de la vue d'ensemble «Energie et bâtiment» (p. 5), lire et décrire les différents flux énergétiques.

Esquisser et expliquer un bilan énergétique global

- Esquisser un diagramme du bilan énergétique global et citer les flux d'énergie.
- A l'aide du diagramme, donner la signification de l'énergie grise et de l'énergie d'exploitation.

Elaborer un diagramme des flux d'énergie selon la norme SIA 380/1

- Représenter, dans un diagramme des flux énergétiques, les pertes et les apports d'énergie pour une maison d'habitation toute simple.
- Marquer dans le diagramme les composantes des flux d'énergie.
- Expliquer l'indice de dépense d'énergie thermique (chauffage et eau chaude sanitaire) E_{hww} et les besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude Q_{hww} sur la base de valeurs données.
- Au moyen des valeurs de référence de la norme SIA 380/1, porter un jugement sur l'indice de dépense d'énergie thermique E_{hww} obtenu.

Montrer les possibilités d'action sur le bilan énergétique

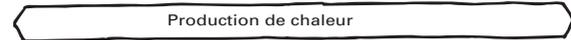
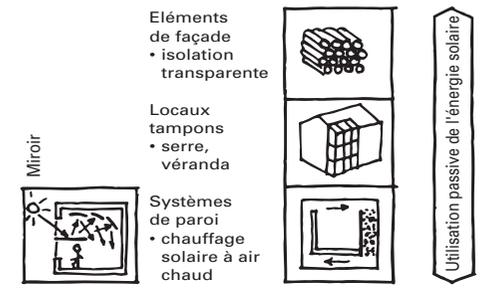
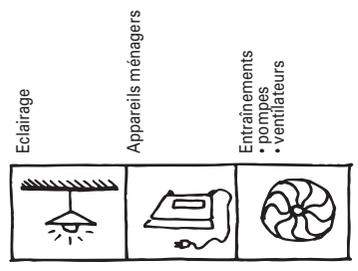
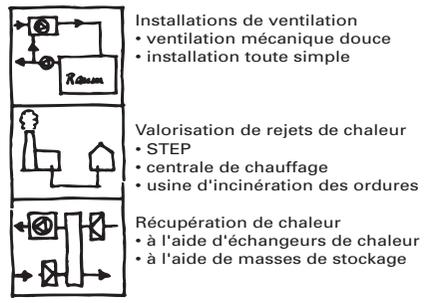
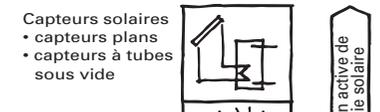
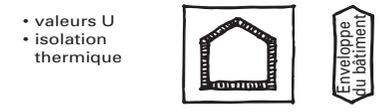
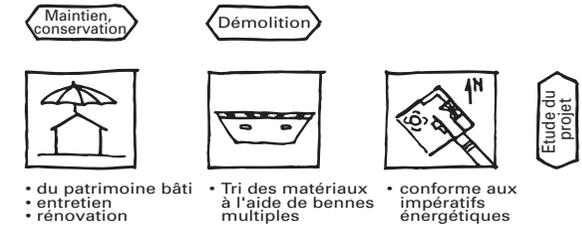
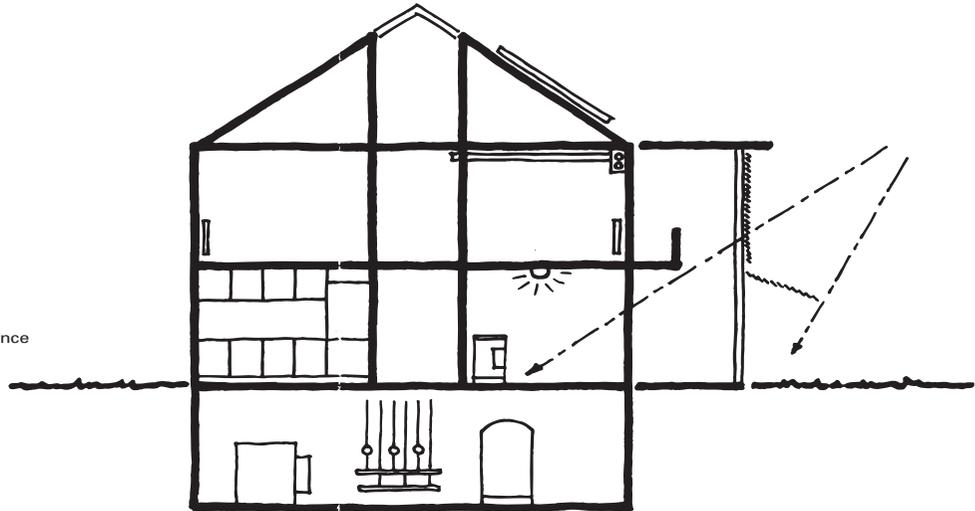
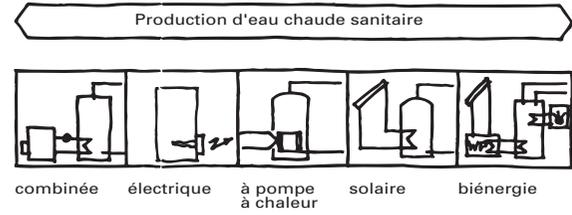
- Au moyen d'un diagramme des flux énergétiques, montrer les possibilités d'action dans le cas d'une maison d'habitation traditionnelle.
- Citer les possibilités d'optimisation des flux d'énergie pouvant conduire aux valeurs limites du standard Minergie.

Energie et bâtiment

Techniques classiques

Techniques efficaces du point de vue énergétique

-  Poêles à mazout
 - avec clapet de fumée
 - avec limitation de l'admission d'air
-  Fourneau à gaz
 - avec raccordement à une cheminée
 - avec raccordement à la paroi extérieure
-  Poêle à bois
 - différents modèles
 - dont pierre ollaire
-  Radiateur électrique
 - à rayonnement
 - chauffage direct
 - chauffage à accumulation
-  Chauffage à air chaud
 - à mazout, à gaz ou à bois
 - à énergie solaire
 - à PAC air-air
-  Chauffage central électrique à résistance
 - à matériau de stockage solide
 - à accumulateur central à eau
-  Chaudière à mazout ou à gaz
-  Chaudière à bois
 - de conception classique
 - à combustion inférieure
-  Energie solaire
 - photovoltaïque
 - capteurs solaires
-  Pompe à chaleur (PAC)
 - air-eau
 - eau-eau
 - "mélange antigel"-eau
-  Couplage chaleur force (CCF)
 - turbine à vapeur et générateur
 - installation CCF modulaire





4 Connaissances de base

4.1 La chaîne énergétique de l'énergie d'exploitation

L'**énergie primaire** est l'ensemble des ressources en énergie mobilisables présentes dans la nature. On fait une distinction entre les **sources d'énergie renouvelables** et celles **non renouvelables**. Par sources d'énergie renouvelables, on entend par exemple l'énergie solaire, la géothermie, le bois et la force hydraulique, tandis que les réserves fossiles de pétrole, de gaz naturel et de charbon sont des sources non renouvelables.

Les évaluations et les comparaisons de l'énergie grise nécessaire à la production de matériaux de construction ou à la construction d'un bâtiment se font au niveau de l'énergie primaire. Toutefois, au point de vue écologique (économies d'énergie), c'est au niveau de l'énergie d'exploitation que se situe la plus grande amélioration potentielle. Pour un bâtiment avec des besoins en chaleur moyens, l'énergie grise ne représente que 25-30% de la consommation d'énergie de la première année d'exploitation. Si la durée de vie d'un bâtiment est aussi prise en compte, la différence entre l'énergie d'exploitation cumulée et l'énergie grise nécessaire à la fabrication des éléments de construction augmente considérablement. Le flux d'énergie grise ne joue donc qu'un rôle secondaire dans le bilan énergétique global des bâtiments ayant une isolation thermique moyenne. Uniquement dans les constructions répondant à un standard d'isolation thermique extrêmement exigeant, l'énergie grise nécessaire peut être pratiquement égale ou du même ordre de grandeur que l'énergie d'exploitation.

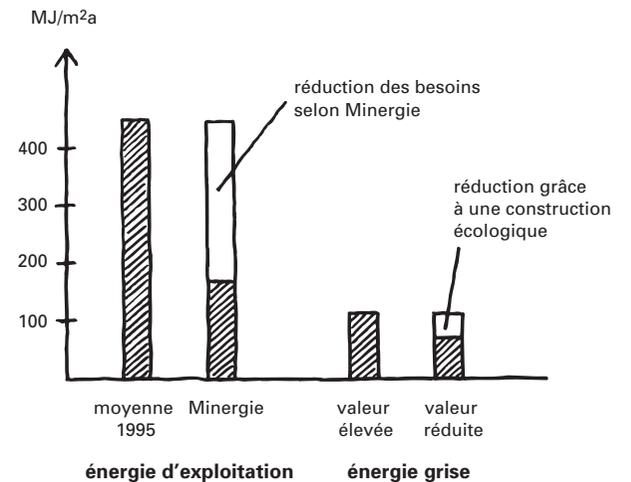


Fig. 2 Energie d'exploitation et énergie grise

Flux d'énergie, de l'énergie primaire à l'énergie utile

Les maillons de la chaîne énergétique à l'exemple du pétrole

- **Energie primaire**
Extraction du pétrole par des tours de forage dans les gisements naturels
- **Transformation**
Raffinage (transformation) du pétrole brut en mazout
- **Energie secondaire**
(on dit aussi énergie dérivée)
Le mazout transformé, dans les citernes, prêt au transport
- **Transport**
Le mazout transporté jusqu'au consommateur par des oléoducs, des pétroliers ou des camions-citernes
- **Energie finale**
Le mazout stocké provisoirement chez le consommateur dans des citernes domestiques, en attente de la transformation suivante
- **Production de chaleur**
Combustion du mazout au moyen d'un brûleur et conversion en énergie thermique; distribution de la chaleur par un caloporteur comme l'eau du circuit de chauffage
- **Energie utile**
Emission de la chaleur amenée au consommateur par le caloporteur, par exemple au moyen d'un chauffage par le sol ou d'un corps de chauffe

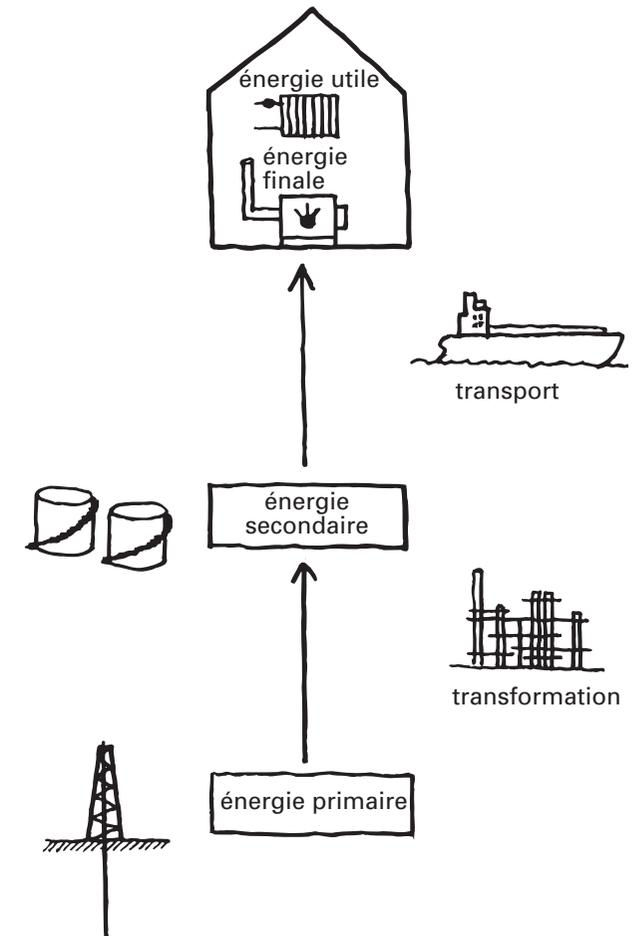


Fig. 3 Flux d'énergie: l'exemple du pétrole

Les maillons de la chaîne énergétique présentés ici sont valables, de manière générale, pour d'autres agents énergétiques comme, par exemple, le gaz naturel et le charbon.

Les maillons de la chaîne énergétique à l'exemple de l'électricité (centrale nucléaire)

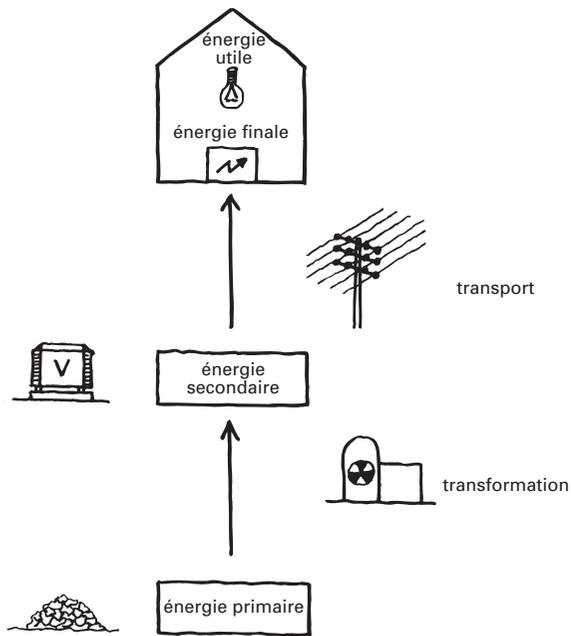


Fig. 4 Flux d'énergie: l'exemple de l'énergie nucléaire

- **Energie primaire**
Extraction du minerai d'uranium naturel dans les mines
Enrichissement de l'uranium et conversion en oxyde d'uranium
- **Transformation**
Production d'énergie thermique sous forme de vapeur dans le réacteur au moyen de la fission nucléaire dans les barres de combustible
Entraînement des turbines et transmission de l'énergie cinétique au générateur
- **Energie secondaire**
Préparation de l'énergie électrique au transport, par élévation de la tension à l'aide de transformateurs
- **Transport**
Transport de l'énergie électrique vers les acheteurs, par des lignes à haute et moyenne tension
- **Energie finale**
Abaissement de la tension dans les sous-stations et alimentation en courant des lignes à basse tension, jusqu'aux consommateurs
- **Production de chaleur**
Production d'énergie thermique par des appareils de chauffage à résistance, distribution de la chaleur à l'aide d'un caloporteur (eau chaude ou air)
- **Energie utile**
Emission de la chaleur amenée par le caloporteur au consommateur, via un accumulateur à matières solides ou un corps de chauffe

La transformation de l'énergie primaire en énergie utile a toujours pour conséquence des pertes d'énergie. La valeur de ces pertes dépend du type d'énergie et des processus de transformation; elle varie beaucoup d'un cas à l'autre. Par exemple, les pertes d'énergie sont d'environ 70% sur toute la chaîne, de l'extraction du minerai d'uranium à la transformation en chaleur utile au moyen d'un chauffage à résistance, par l'intermédiaire de l'électricité produite par une centrale nucléaire. Ce mauvais rendement, lors de la production de chaleur par l'intermédiaire de l'électricité, explique pourquoi l'énergie électrique ne devrait pas être utilisée directement pour la production de chaleur, mais réservée en principe aux procédés industriels et à la production d'énergie mécanique et de lumière.

4.2 Les flux d'énergie dans un bâtiment

Dans la construction et l'exploitation d'un bâtiment, on distingue deux types d'énergie différents: l'énergie grise, c.-à-d. celle utilisée pour la construction de l'édifice à partir des matériaux de construction, et l'énergie d'exploitation, nécessaire au fonctionnement du bâtiment.

Energie grise

L'énergie grise indique la quantité d'énergie primaire contenue dans les matériaux et les éléments de construction utilisés pour la construction d'un bâtiment. Pour évaluer si l'énergie est utilisée en accord avec les impératifs de la protection de l'environnement, on tient compte à la fois de l'énergie primaire nécessaire à la fabrication des éléments de construction (en MJ/m² de l'élément de construction) et du rapport des quantités d'énergie renouvelables et non renouvelables consommées lors de cette fabrication.

Pour porter un jugement sur le contenu énergétique primaire de différentes constructions de bâtiment, on peut utiliser un indice que l'on calculera selon la documentation SIA D 0123 «Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten» (disponible en allemand seulement).

Energie d'exploitation

L'énergie d'exploitation est le flux d'énergie dans le bâtiment, de l'énergie finale à l'énergie utile. Dans une maison d'habitation, on dresse le bilan des pertes et des apports d'énergie et on en déduit l'énergie qu'il faudra acheter (énergie finale) et l'indice

de dépense d'énergie correspondant. La valeur de cet indice permet, par comparaison avec les valeurs exigées et d'autres valeurs de référence, de porter un jugement sur la qualité du bilan thermique de l'exploitation du bâtiment.

On étudie le flux de l'énergie d'exploitation en dressant le bilan énergétique conformément à la norme SIA 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment» (édition 2001).

$$\text{indice de dépense d'énergie} = \frac{\text{consommation d'énergie}}{\text{m}^2 \text{ SRE}}$$

SRE = surface de référence énergétique

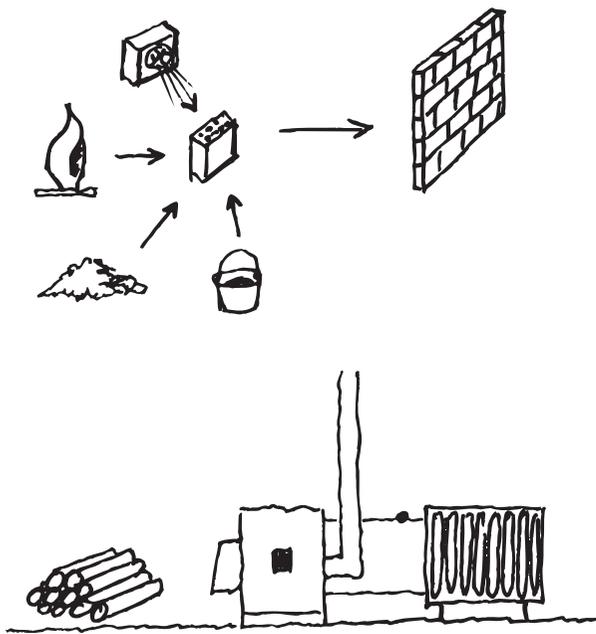


Fig. 5 Comparaison de l'énergie d'exploitation et de l'énergie grise

4.3 Le bilan énergétique d'un bâtiment

Les besoins d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude

Dans le bilan énergétique, les quantités suivantes sont considérées pour le calcul des besoins d'énergie finale E_{hww} :

- les besoins de chaleur Q_{hww} pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- la fraction utile thermique η_{hww} , qui décrit l'efficacité de la production de chaleur
- les déperditions totales de l'enveloppe du bâtiment
- les apports d'énergie

Les déperditions Q_T et Q_V :

- déperditions par transmission Q_T à travers les éléments de construction
- déperditions par renouvellement d'air Q_V
- pertes de chaleur du système Q_L , à la production, au stockage et à la distribution de chaleur

Les apports internes Q_i et solaires Q_s :

- apports solaires Q_s , par le rayonnement qui pénètre par les fenêtres
- apports internes Q_{ip} par les personnes (occupants), qui dégagent de la chaleur
- apports internes Q_{iE} des installations électriques (procédés industriels, lumière, force)

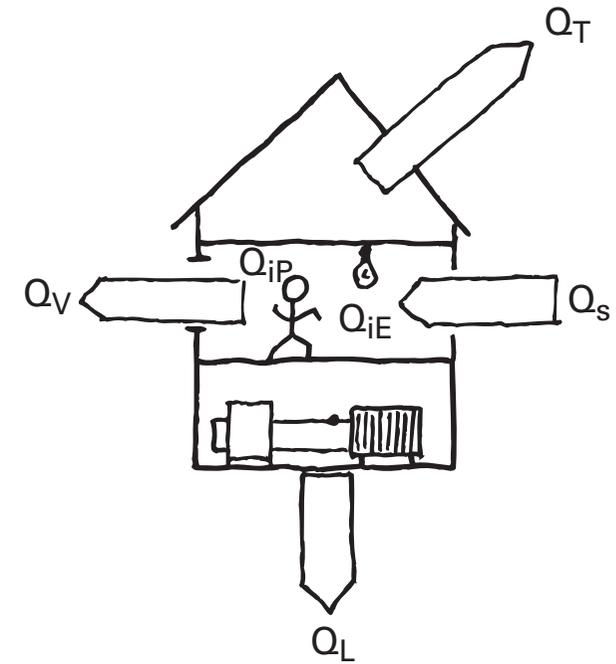


Fig. 6 Déperditions et apports énergétiques

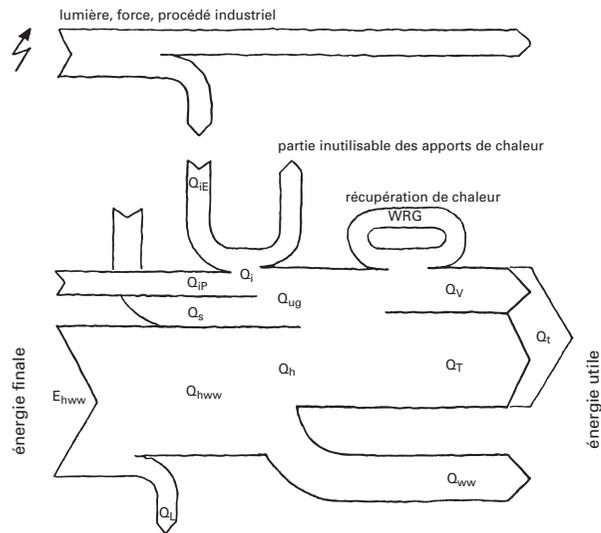


Fig. 7 Éléments du bilan énergétique

Les notions et les formules de calcul les plus importantes:

[unité: kWh/m² a oder MJ/m² a]

Q_T = déperditions par transmission

Q_V = déperditions par renouvellement d'air

Q_t = déperditions totales
(transmission + renouvellement d'air)

Q_s = apports solaires, par les surfaces vitrées

Q_i = apports de chaleur internes

Q_{iP} = apports de chaleur internes dus aux personnes

Q_{iE} = apports de chaleur internes des installations électriques

Q_{ug} = apports de chaleur utiles

Q_{ww} = besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire

Q_L = pertes de chaleur du système, à la production, au stockage et à la distribution de chaleur

η_{hww} = fraction utile thermique
(chauffage et eau chaude)

η_g = taux d'utilisation des apports de chaleur

Besoins de chaleur pour le chauffage

$$Q_h = Q_T + Q_V - Q_{ug}$$

Apports de chaleur utiles

$$Q_{ug} = \eta_g \cdot (Q_s + Q_i)$$

Apports de chaleur internes

$$Q_i = Q_{iP} + Q_{iE}$$

Besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire

$$Q_{hww} = Q_h + Q_{ww}$$

Besoins d'énergie pour le chauffage ou indice de dépense d'énergie pour le chauffage

$$E_h = Q_h + Q_{Lh}$$

Besoins d'énergie pour l'eau chaude sanitaire

$$E_{ww} = Q_{ww} + Q_{Lww}$$

Besoins d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ou indice de dépense d'énergie thermique

$$E_{hww} = Q_{hww} + Q_L$$

Comme les autres grandeurs ci-dessus, l'indice de dépense d'énergie se rapporte à une période annuelle et à 1 m² de la surface de référence énergétique SRE.

La surface de référence énergétique SRE comprend la surface par étage brute des locaux chauffés et de ceux non chauffés, pour autant que ces derniers soient situés à l'intérieur du périmètre de l'isolation thermique et qu'ils fassent partie de ceux qu'il est usuel de chauffer.



Commentaires

$$Q_h = Q_T + Q_V - \eta_g (Q_i + Q_s)$$

Besoins de chaleur pour le chauffage:

Les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h sont la quantité de chaleur nécessaire au maintien de la température de l'air des locaux à la valeur désirée. Elle s'obtient à partir des déperditions par transmission et par renouvellement d'air, dont on soustrait la partie utile des apports de chaleur. Les apports de chaleur proviennent du rayonnement solaire (apports solaires) et des personnes ou des appareils (apports de chaleur internes).

Le taux d'utilisation des apports de chaleur η_g dépend du rapport apports/pertes et de l'inertie thermique du bâtiment. L'effet de la régulation utilisée pour la température de l'air des locaux est considéré comme une perte des installations techniques; on l'englobe donc dans la fraction utile η_h .

La récupération de chaleur installée dans les installations de ventilation est traitée comme une réduction des besoins de chaleur de celles-ci.

$$E_h = Q_h + Q_{Lh}$$

Besoins d'énergie pour le chauffage:

Les besoins d'énergie pour le chauffage E_h sont la quantité d'énergie finale qui doit être fournie au système de chauffage pour couvrir ses besoins de chaleur. Elle se compose des besoins de chaleur pour le chauffage Q_h et des pertes de chaleur Q_{Lh} du système de chauffage (production et distribution de chaleur). Les besoins d'énergie pour le chauffage sont aussi appelés, selon SIA 180/4, indice de dépense d'énergie de chauffage.

$$E_{ww} = Q_{ww} + Q_{Lww}$$

Besoins d'énergie pour l'eau chaude sanitaire:

Les besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire Q_{ww} sont la quantité de chaleur nécessaire au chauffage de la quantité d'eau requise à la température désirée.

Les besoins d'énergie pour l'eau chaude sanitaire E_{ww} sont la quantité d'énergie finale qui doit être fournie à l'installation de production de l'eau chaude pour couvrir les besoins de chaleur pour l'eau chaude. Elle se compose des besoins de chaleur pour l'eau chaude Q_{ww} et des pertes de chaleur Q_{Lww} du système de production et de distribution d'eau chaude sanitaire (y compris le maintien en température des conduites de distribution et le stockage de l'eau chaude); on tient compte également des pertes à l'exploitation qui se produisent lorsqu'un consommateur qui ouvre le robinet attend que l'eau devienne chaude (soutirage préalable). Les besoins d'énergie pour l'eau chaude sont aussi appelés, selon SIA 180/4, indice de dépense d'énergie pour l'eau chaude sanitaire.



$$E_{hww} = E_h + E_{ww}$$

Besoins d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire:

Les besoins d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire E_{hww} sont la quantité d'énergie finale qui doit être fournie à l'installation pour couvrir les besoins de chaleur pour le chauffage et les besoins de chaleur pour l'eau chaude. Elle se compose des besoins de chaleur pour le chauffage Q_h et des besoins de chaleur pour l'eau chaude Q_{ww} , ainsi que des pertes Q_l à la production et au stockage de la chaleur ainsi que lors de sa distribution au chauffage et lors de la distribution de l'eau chaude elle-même. Les besoins d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sont aussi appelés indice de dépense d'énergie thermique.

$$\eta_{hww} = \frac{Q_{hww}}{E_{hww}}$$

Fraction utile thermique

On désigne par le terme de fraction utile thermique le rapport des besoins de chaleur et des besoins d'énergie, en moyenne annuelle.



4.4 Diagramme des flux d'énergie

SIA 380/4 "L'énergie électrique dans le bâtiment" (édition 1995)
 La recommandation SIA 380/4 a pour but un emploi rationnel de l'électricité dans les constructions et les installations. Elle veut contribuer, en tant qu'aide à la conception, à optimiser la consommation d'électricité dans les nouveaux bâtiments et les bâtiments rénovés. Le point central de cette recommandation est la représentation standardisée de la demande d'électricité.

Diagramme des flux d'énergie selon la norme SIA 380/1

La compréhension d'un bilan énergétique pour une maison d'habitation peut être améliorée par la

représentation graphique. Les différents flux d'énergie sont reportés à l'échelle et représentés schématiquement dans un diagramme.

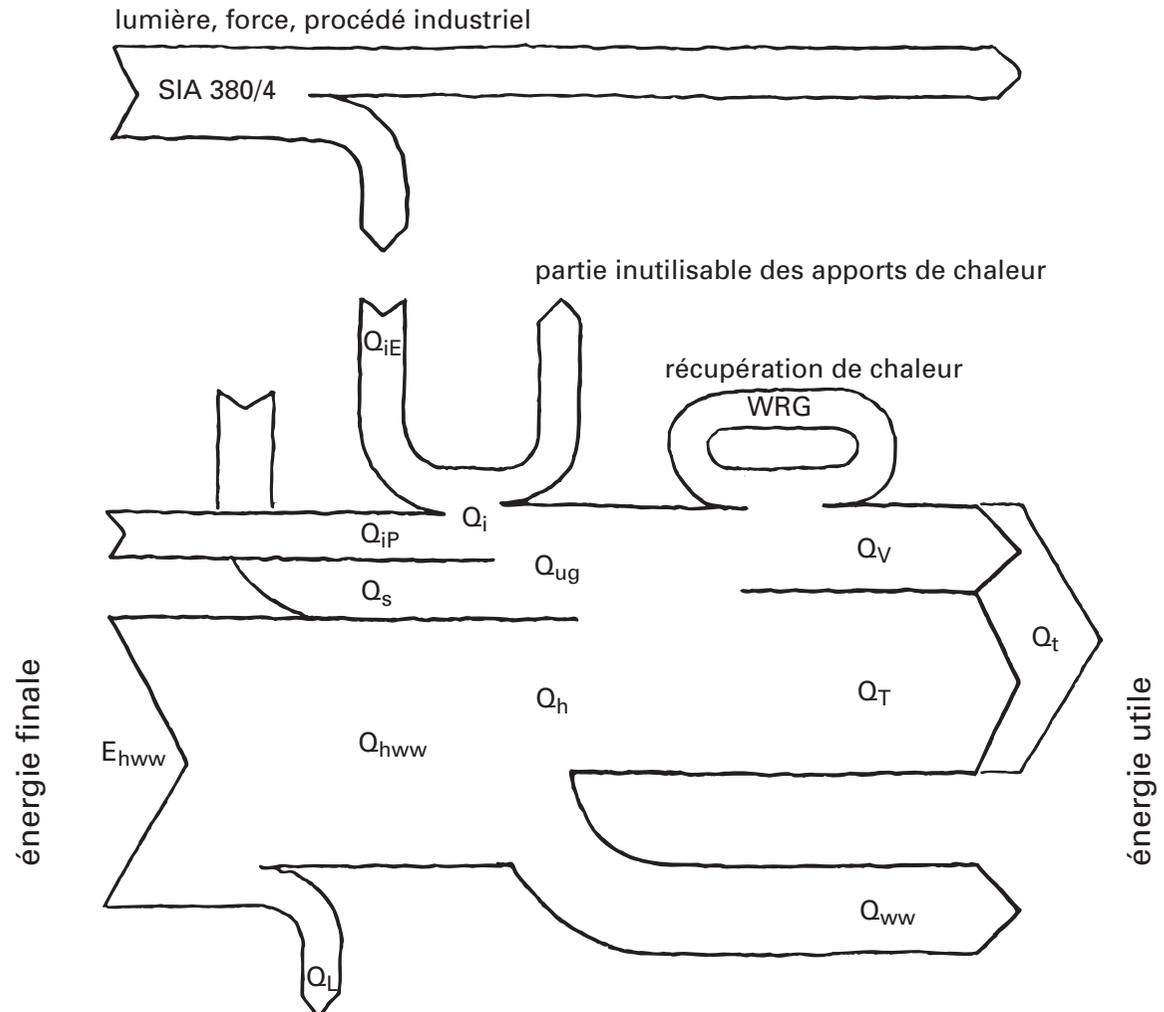


Fig. 8 Diagramme des flux d'énergie selon la norme SIA 380/1



Comment peut-on améliorer le bilan énergétique, dans le sens des économies d'énergie?

- En améliorant l'isolation thermique des éléments de construction (abaissement de la valeur U)
- En posant une installation de renouvellement de l'air (ventilation mécanique douce) avec récupération de chaleur
- En ajoutant sur les côtés du bâtiment des «locaux tampons» vitrés non chauffés
- En utilisant plus intensément l'énergie solaire qui pénètre par les fenêtres
- En installant des équipements de production de chaleur de rendement élevé
- En réduisant les pertes de chaleur au stockage grâce à une excellente isolation des composants impliqués
- En veillant à avoir des conduites de distribution aussi courtes que possible et bien isolées

L'observation des principes suivants permet de réduire considérablement les besoins d'énergie finale E_{hww} dans une maison d'habitation:

Une bonne isolation thermique des éléments de construction et l'élimination aussi complète que possible des ponts thermiques de la construction permettent de maintenir à un bas niveau les déperditions par transmission Q_T . Une enveloppe de bâtiment étanche à l'air et éventuellement le recours à une ventilation mécanique douce avec récupération de chaleur peuvent réduire sensiblement les déperditions par renouvellement d'air Q_V . L'orientation optimale d'un bâtiment sur le terrain et la disposition habile des zones d'affectation des locaux ainsi que la définition des surfaces de fenêtres en fonction de l'orientation peuvent renforcer les apports solaires Q_s . En plaçant des locaux tampons vitrés non chauffés comme sas d'entrée, serre, etc., on peut, d'une part, encore diminuer les déperditions par transmission et par renouvellement d'air et, d'autre part, rendre utilisables des apports solaires.

L'observation de ces principes permet d'abaisser les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h , ouvrant ainsi la voie à l'utilisation de techniques nouvelles pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude, qui soient efficaces du point de vue de l'énergie. Le recours à un système de production de chaleur de rendement élevé, à une distribution et à un stockage de chaleur compacts et pauvres en pertes, conduit à une fraction utile élevée. En fin de compte, la réduction des besoins de chaleur Q_{hww} et la réalisation d'une fraction utile thermique η_{hww} élevée, pour la production, le stockage et la distribution de la chaleur, permettent d'atteindre des indices de dépense d'énergie thermique E_{hww} remarquablement bas.



4.5 Les standards énergétiques applicables aux bâtiments

Standard pour les bâtiments au sens de la loi sur l'énergie et des prescriptions sur l'isolation thermique

Des ordonnances et des prescriptions cantonales limitent les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h admissibles dans les bâtiments. Dans un justificatif, le concepteur doit prouver que ces besoins ne dépassent une valeur limite en rapport avec l'utilisation des locaux. Dans les constructions habituelles, ces besoins de chaleur sont déterminés principalement par la qualité des dispositions prises au niveau de l'isolation thermique, donc par la valeur des déperditions par transmission et celle des apports solaires.

Toujours dans ce type de construction, les besoins annuels de chaleur pour le chauffage de nouveaux bâtiments d'habitation peuvent être évalués à 6 à 10 litres de mazout (ou équivalent) par m^2 de surface de référence énergétique.

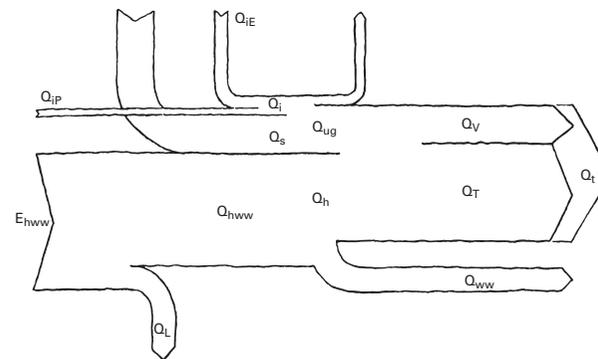


Fig. 9 Diagramme des flux d'énergie dans une maison d'habitation traditionnelle («valeurs limites»)

Maisons à faible consommation d'énergie

Cette désignation ne correspond à aucune définition précise. Dans la pratique, on peut, d'une manière générale, désigner ainsi tous les bâtiments respectant au moins les valeurs limites prescrites.

La terminologie «**standard de la faible consommation d'énergie**» implique toutefois, en plus, le respect des critères suivants:

- un confort d'habitation élevé et une faible consommation d'énergie, simultanément
- un bâtiment compact, orienté idéalement
- une construction et un choix de matériaux qui répondent à des critères écologiques
- une utilisation directe du rayonnement solaire
- une utilisation raisonnable de l'eau et de l'air
- la prise en compte des questions de transport et du contexte dans lequel se construit le bâtiment
- un recours aux installations techniques qui soit modéré et facile à comprendre
- un type de construction en accord avec les impératifs de coûts
- une saine gestion des ressources
- la prise en compte des questions relatives aux déchets, à l'entretien et à la déconstruction

Valeurs limites Minergie applicables aux maisons d'habitation

Chaleur* – constructions nouvelles: 42 kWh/m² a
(150 MJ/m² a)
– bâtiments construits avant 1990: 80 kWh/m² a
(290 MJ/m² a)

* E_{hww} = indice pondéré de dépense d'énergie pour le chauffage, la ventilation et l'eau chaude sanitaire

De plus, pour tous les bâtiments:
– énergie électrique pour le ménage 17 kWh/m² a
(60 MJ/m² a)

Valeurs limites Minergie applicables aux immeubles administratifs et commerciaux

Chaleur* – constructions nouvelles: 40 kWh/m² a
(145 MJ/m² a)
– bâtiments construits avant 1990: 70 kWh/m² a
(250 MJ/m² a)

* E_{hww} = indice pondéré de dépense d'énergie pour le chauffage, la ventilation et l'eau chaude sanitaire

De plus, pour tous les bâtiments:
– électricité pour l'éclairage respect des valeurs cibles
SIA 380/4

Remarques:

– Dans le justificatif Minergie, les besoins d'énergie électrique pour la production de chaleur et la ventilation sont comptés doubles.

– On trouvera d'autres renseignements, notamment d'autres indices applicables aux bâtiments, à l'adresse: www.minergie.ch

Maisons Minergie

La notion de «maison Minergie» désigne un concept d'utilisation rationnelle de l'énergie englobant les énergies renouvelables. Il précise que la qualité de vie des habitants ou des utilisateurs doit s'en trouver améliorée et les atteintes à l'environnement réduites. Contrairement aux maisons à faible consommation d'énergie, la notion de maison Minergie implique l'obligation de respecter certains principes.

Dans ce standard de bâtiment, la valeur limite des besoins d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude E_{hww} est fixée avec précision, sous la forme d'un indice pondéré de dépense d'énergie thermique.

Les trois conditions principales permettant d'atteindre le standard Minergie sont:

- une enveloppe de bâtiment étanche
- une grande épaisseur d'isolation thermique
- un système de ventilation efficace du point de vue énergétique.

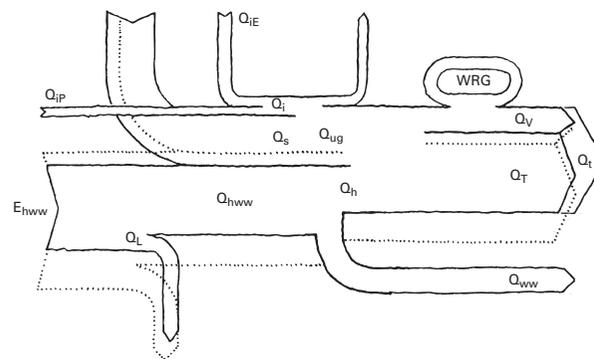


Fig. 10 Diagramme des flux d'énergie dans une maison Minergie

Le confort offert à l'habitant, la rentabilité et l'esthétique sont soumis à de hautes exigences. Ceci concerne notamment les températures de départ pour le chauffage des locaux, la température de l'air et celle des surfaces intérieures (parois, vitrages, etc.), l'humidité de l'air, sa concentration en polluants dans les locaux ainsi que la facilité d'utilisation des installations.

Les besoins annuels de chaleur pour le chauffage de nouveaux bâtiments d'habitation conformes au standard Minergie peuvent être estimés à 5 litres de mazout au plus par m² de surface de référence énergétique.

Maisons passives

En Europe, le standard de la «maison passive» a été défini pour la première fois de façon complète par l'Institut de la maison passive de Darmstadt (Allemagne), fondé en 1996. Cet institut s'occupe de recherche et de développement dans le domaine de l'utilisation très efficace de l'énergie. Les standards de qualité qu'il a définis pour le type de construction dit de la maison passive ont aussi été adoptés en Suisse; actuellement, ils sont considérés par les professionnels de l'énergie comme LA référence valable.

Définition de la maison passive (d'après l'Institut de la maison passive de Darmstadt):

Une maison passive est un bâtiment dans lequel un climat intérieur confortable peut être réalisé sans aucun système actif de chauffage ni de climatisation. Pour y parvenir, il faut que les besoins annuels



de chaleur pour le chauffage ne dépassent pas 15 kWh/m²a. Cette condition doit être remplie sans que d'autres agents énergétiques (p.ex. l'électricité) ne soient appelés à la rescousse. Bien au contraire, les besoins globaux en énergie primaire d'une maison passive européenne, par unité de surface habitable, ne dépasseront pas 120 kWh/m²a (chauffage, eau chaude sanitaire et électricité pour le ménage). C'est la condition préalable à la couverture complète des besoins résiduels en énergie par des sources d'énergie renouvelables.

Ainsi, dans une maison passive, on consomme globalement moins d'énergie qu'en moyenne dans une construction nouvelle en Europe pour l'électricité du ménage et la préparation d'eau chaude sanitaire à elles seules. Globalement toujours, la consommation finale d'énergie d'une maison passive est inférieure d'au moins quatre fois à la consommation moyenne des constructions nouvelles répondant aux dispositions légales de l'endroit. Une maison passive est économique si les coûts totaux (= l'investissement global, avec notamment l'étude du projet et les installations techniques, + les frais d'exploitation pendant 30 ans) ne dépassent pas ceux de la moyenne des constructions nouvelles.

Voici les principes qui forment le fil conducteur de l'étude et de la réalisation d'une maison passive:

- Bonne protection thermique, forme compacte: tous les éléments de construction de l'enveloppe de la maison auront une valeur U inférieure à 0,15 W/(m²K).
- Orientation sud et absence d'ombrage: l'utilisation passive de l'énergie solaire est un élément

essentiel de la maison passive.

- Vitrages et cadres de fenêtres super-isolants: la valeur U des fenêtres (vitrage et cadre ensemble) ne dépassera pas 0,80 W/(m²K), tandis que la valeur g se situera aux alentours de 50%.
- Etanchéité à l'air du bâtiment: les infiltrations incontrôlées par les joints seront d'au plus 0,6 h⁻¹ (volume du bâtiment, par heure).
- Préchauffage passif de l'air frais: l'air frais peut passer d'abord par un puits canadien (échange de chaleur avec le terrain) avant d'être introduit dans la maison. Avec un tel système, l'air est préchauffé au moins à 5 °C, même les jours les plus froids de l'hiver.
- Récupération efficace de la chaleur de l'air extrait, à l'aide d'un échangeur de chaleur à contre-courant: la plus grande partie de la chaleur sensible injectée dans l'air frais est reprise de l'air extrait (récupération de chaleur à plus de 80%).
- Production de l'eau chaude sanitaire en partie à l'aide d'énergie renouvelable: l'énergie nécessaire au chauffage de l'eau chaude est produite par des capteurs ou une pompe à chaleur.
- Appareils électroménagers économes en énergie: dans une maison passive, il est indispensable d'installer uniquement des appareils ménagers (machine à laver, etc.) de très basse consommation électrique.

On trouvera d'autres renseignements sur la maison passive à l'adresse:

www.passiv.de (en allemand).



Maisons à énergie zéro

Les maisons dites à énergie zéro ont été réalisées jusqu'à présent principalement au titre de projets de démonstration ou de projets pilotes. Il s'agissait donc en premier lieu d'expérimenter pratiquement les possibilités techniques en matière de construction ainsi que les conséquences en résultant. En outre, en procédant à des mesures, on allait vérifier les économies d'énergie possibles et le mode de fonctionnement de ces bâtiments. Les maisons à énergie zéro, qu'elles soient déjà construites ou

qu'elles doivent l'être à l'avenir, représentent des objets singuliers, spéciaux et uniques en leur genre, ne pouvant être classés dans aucun des standards énergétiques connus.

L'expression «maison à énergie zéro» s'est implantée, bien qu'en fait, elle ne soit pas tout à fait correcte. Naturellement, ces maisons ont aussi besoin d'énergie, qu'elles se procurent toutefois exclusivement par conversion de l'énergie solaire. «Maisons à énergie zéro» veut dire en fait que ni l'électricité, ni le mazout, le gaz ou le bois ne sont nécessaires à la production de chaleur. Les maisons à énergie zéro de la nouvelle génération fonctionnent toutes selon le même principe: elles disposent d'une excellente isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment ainsi que d'un système de ventilation énergétiquement efficace avec récupération de chaleur. Par l'emploi de systèmes utilisant les énergies renouvelables, elles n'ont besoin finalement que d'un quart de l'énergie nécessaire aux constructions nouvelles de type traditionnel. Certains bâtiments arrivent même à n'utiliser aucune énergie fournie de l'extérieur. L'inconvénient de ce type de construction est que le prix de la réduction de l'énergie d'exploitation est en général une énergie grise considérable. Ceci peut toutefois être compensé, au moins en partie, par une manière écologique de construire.

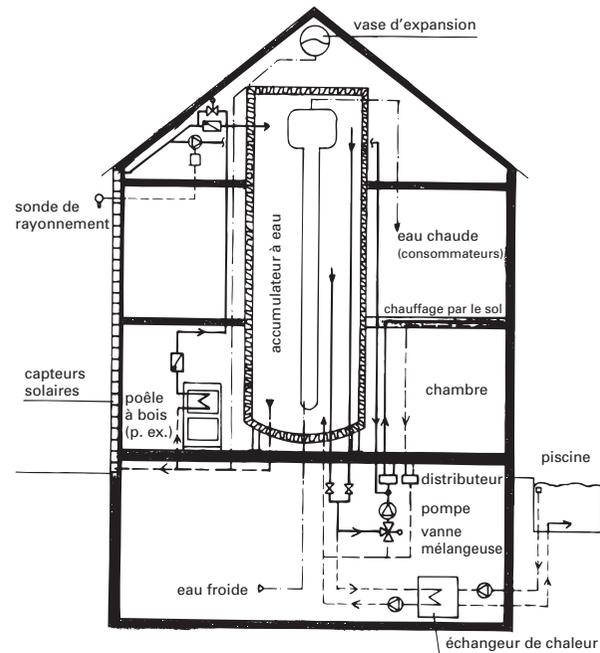


Fig. 11 La maison Heureka «à énergie zéro»

4.6 Le flux énergétique de l'exploitation d'une habitation

Dans une maison d'habitation, le flux énergétique, de l'énergie finale à l'énergie utile, peut aussi être représenté sous la forme du déroulement de l'exploitation. Mais cette forme graphique est surtout employée dans les bâtiments de l'industrie et des arts et métiers où sont appliqués des procédés industriels.

Dans une habitation toute simple, on rencontre p.ex. les étapes d'exploitation suivantes:

- **Mise à disposition de l'énergie finale**
Exemples: mazout, gaz, chaleur ambiante, etc.
- **Transformation de l'énergie**
Exemples: chaudière, pompe à chaleur, etc.
- **Distribution d'énergie**
Exemples: réseau du chauffage central, distribution d'électricité, etc.
- **Consommateurs d'énergie**
Exemples: chauffage, points de soutirage d'eau chaude, éclairage, moteurs, etc.
- **L'énergie utile, un service énergétique**
Exemples: chaleur, lumière, force, etc.
- **Traitement des effluents**
Exemples: gaz de combustion, air extrait, etc.
- **Récupération d'énergie**
Exemples: rejets thermiques, air extrait, etc.

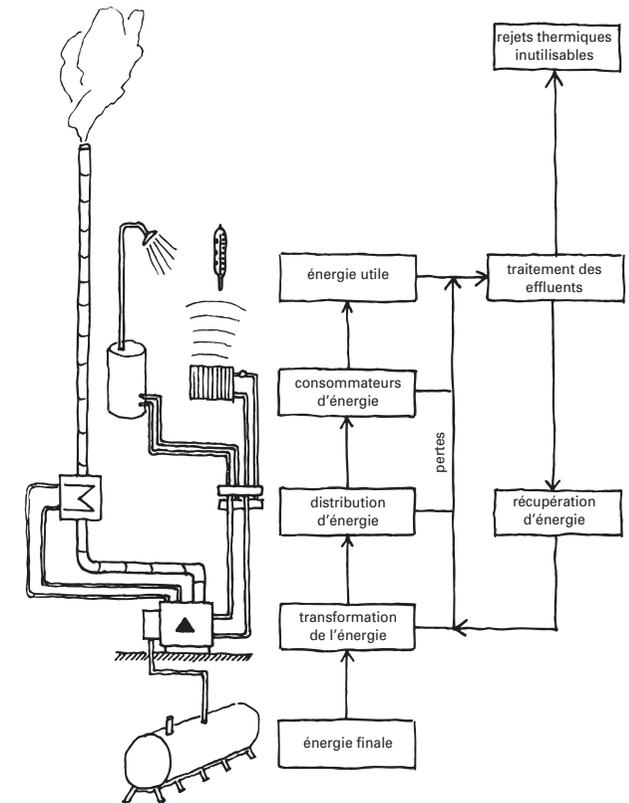


Fig. 12 Flux énergétique de l'exploitation



4.7 Energie et durabilité

L'évaluation d'un objet, selon des critères écologiques, a lieu aujourd'hui sur la base de la durabilité visée et de la durabilité réalisée. L'évaluation de la durabilité d'un projet de construction se base sur les aspects «société», «économie», «environnement» et «espace». En particulier, les questions en rapport avec la qualité de l'emplacement, l'économie, les besoins d'énergie pour le chauffage, les installations techniques et les matériaux doivent être examinées sous l'angle de ces différents aspects. Le dépouillement des critères et des aspects individuels, selon des outils particuliers d'aide à la conception, permet de se faire une idée globale de la durabilité d'un objet.

Si l'on considère le bâtiment uniquement sous l'angle de sa consommation d'énergie, on n'obtient qu'une vision fragmentaire de sa durabilité. Mais une énergie d'exploitation et une énergie grise aussi réduites que possible restent des critères décisifs dans l'évaluation des impacts sur l'environnement; c'est une étape incontournable vers des constructions durables.

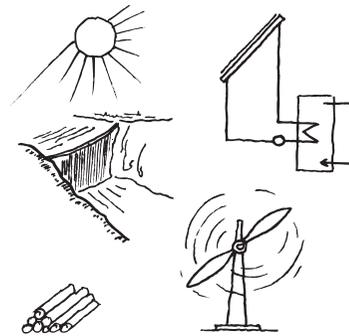
4.8 Glossaire

1930	↘	130'860 TJ	= 100%
1940		128'520 TJ	
1950	↗	168'120 TJ	
1960		295'000 TJ	
1970		586'790 TJ	
1973	↘	673'750 TJ	
1974		623'550 TJ	
1980	↗	683'870 TJ	
1985		724'110 TJ	
1990		786'140 TJ	
1995		811'090 TJ	
1996	↘	829'960 TJ	
1997		824'980 TJ	
1998	↗	847'100 TJ	
1999		861'770 TJ	
2000	↘	855'290 TJ	= 653%

Fig. 13 Evolution de la consommation globale d'énergie finale en Suisse

a) Consommation d'énergie

Ces dernières années, l'énergie est devenue un slogan politico-social. Du point de vue de la physique, l'énergie est une grandeur mesurable qui obéit à un principe de conservation. Cela signifie que l'énergie ne peut être ni produite ni détruite ou éliminée, mais seulement transformée d'une forme dans une autre. Le fait que l'énergie ait acquis une dimension socio-politique a plusieurs origines. Après la deuxième guerre mondiale, le charbon a été peu à peu supplanté par le mazout, plus commode à utiliser. Les exigences en matière de confort et l'énergie consommée augmentèrent vertigineusement. Que de tels chiffres de consommation ne puissent pas durer éternellement est un fait connu, du moins depuis la crise pétrolière en 1973. Les efforts d'économie entrepris par la suite menèrent à une réflexion sur la consommation globale d'énergie et, plus spécialement, à un changement d'attitude quant à l'emploi de sources d'énergie non renouvelables. L'utilisation rationnelle de l'énergie fut érigée en principe.



b) Sources d'énergie

Les **ressources énergétiques** sont l'ensemble de l'énergie existant dans la nature et pouvant en être extraite grâce à des moyens techniques.

Les **réserves d'énergie renouvelables** se renouvellent de manière naturelle, soit continuellement, soit cycliquement. Ces sources d'énergie peuvent être ainsi complètement ou seulement partiellement renouvelables. Pour la Suisse, les sources d'énergie renouvelables les plus importantes sont les suivantes:

- la force hydraulique (énergie potentielle des cours d'eau)
- le rayonnement solaire (énergie solaire)
- la chaleur ambiante (énergie de l'environnement)
- la chaleur du sol (énergie géothermique)
- la biomasse (énergie d'origine organique, notamment l'énergie du bois)
- la force du vent (énergie éolienne)

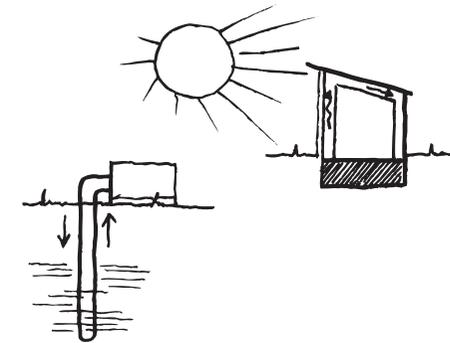


Fig. 14/15 Energies renouvelables

Les ressources énergétiques non renouvelables sont des réserves d'énergie, économiquement utilisables, qui ne se reconstituent pas, ou alors seulement dans un intervalle de temps extrêmement long:

- le pétrole
- le gaz naturel
- le charbon
- l'uranium

Les énergies fossiles sont d'origine organique. Elles se sont formées à des époques remontant au début de l'histoire terrestre. Les agents énergétiques fossiles que sont le pétrole, le gaz naturel et le charbon couvraient, en l'an 2000, environ 72% de la consommation globale finale d'énergie en Suisse.



Fig. 16 Energies non renouvelables

c) Agent énergétique

On désigne par agent énergétique toutes les substances et toutes les formes physiques d'énergie par lesquelles on obtient, directement ou par une ou plusieurs transformations, de l'énergie utile ou des prestations énergétiques; ce sont par exemple:

- le mazout
- le gaz naturel
- l'électricité
- le bois
- la vapeur
- etc.

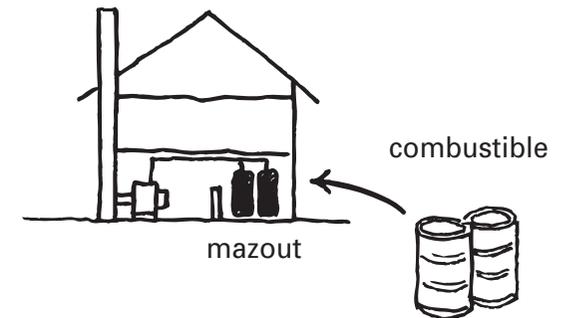


Fig. 17 Agents énergétiques



d) Consommateurs d'énergie dans un bâtiment

On a besoin d'énergie pour la construction et l'exploitation d'un bâtiment.

L'énergie utilisée pour la fabrication des matériaux de construction et des éléments de construction en résultant est appelée énergie grise. L'énergie grise représente un élément d'évaluation qui, à côté de la consommation d'énergie qu'il indique, est aussi significatif pour d'autres impacts sur l'environnement, comme les gaz à effet de serre et autres polluants de l'air.

Dans une maison d'habitation, on rencontre différents consommateurs d'énergie:

- le chauffage
- la ventilation (par ex. installation de ventilation assurant le renouvellement minimum de l'air requis pour des raisons d'hygiène)
- l'eau chaude sanitaire
- l'éclairage
- les appareils ménagers
- les appareils électriques spéciaux (ordinateur, chaîne stéréo, etc.)

On appelle énergie d'exploitation l'énergie que ces consommateurs consomment.

La consommation d'énergie à l'exploitation est une grandeur-clé de première importance pour la qualité du bilan thermique d'un bâtiment

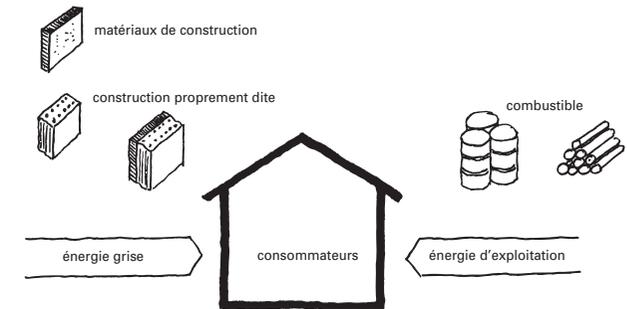


Fig. 18 Energie grise et énergie d'exploitation

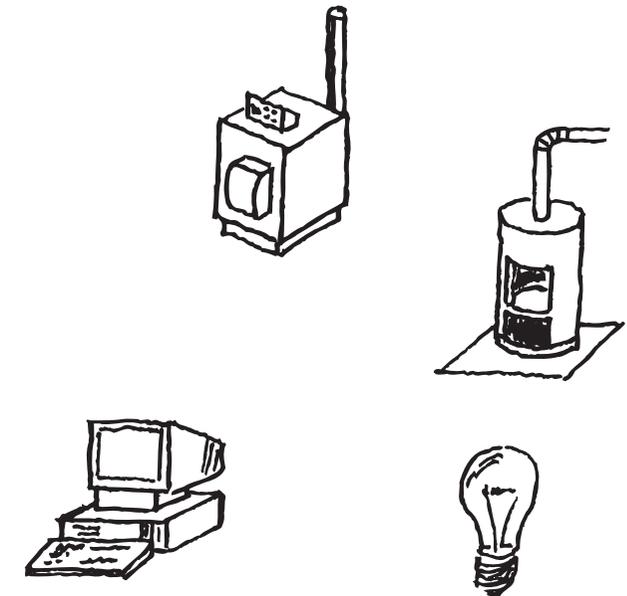


Fig. 19 Consommateurs d'énergie



e) Flux d'énergie

La mise à disposition d'énergie pour la construction et l'exploitation d'un bâtiment a lieu en plusieurs étapes. Le flux d'énergie décrit le processus énergétique dans son ensemble, de la première étape, l'extraction de l'agent énergétique, à la dernière, la livraison des éléments de construction ou l'émission de chaleur dans les locaux chauffés, en passant par la fourniture de l'agent énergétique.

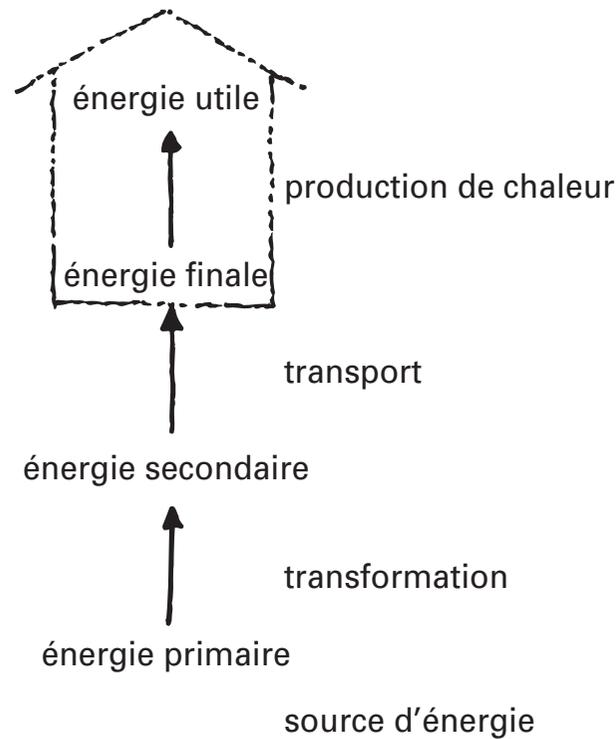


Fig. 20 Maillons de la chaîne énergétique

Flux de l'énergie d'exploitation:

En ce qui concerne la consommation d'énergie, c'est surtout le flux de l'énergie d'exploitation à l'intérieur d'un bâtiment qui est intéressant, de l'énergie finale (p.ex. le mazout dans la citerne de la maison) à l'énergie utile (p.ex. la chaleur émise par les corps de chauffe du chauffage).

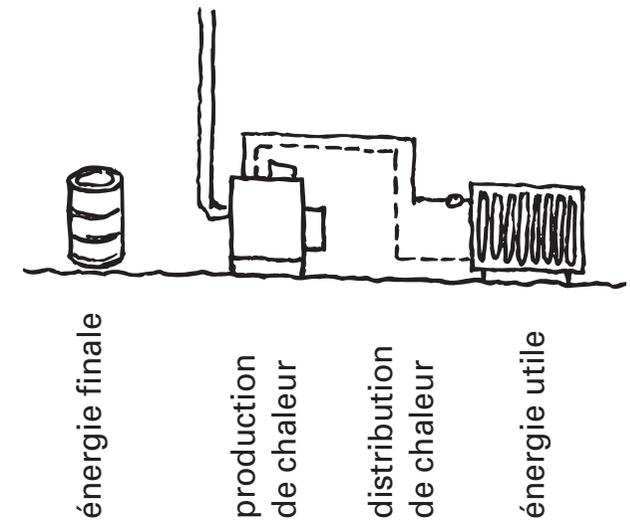
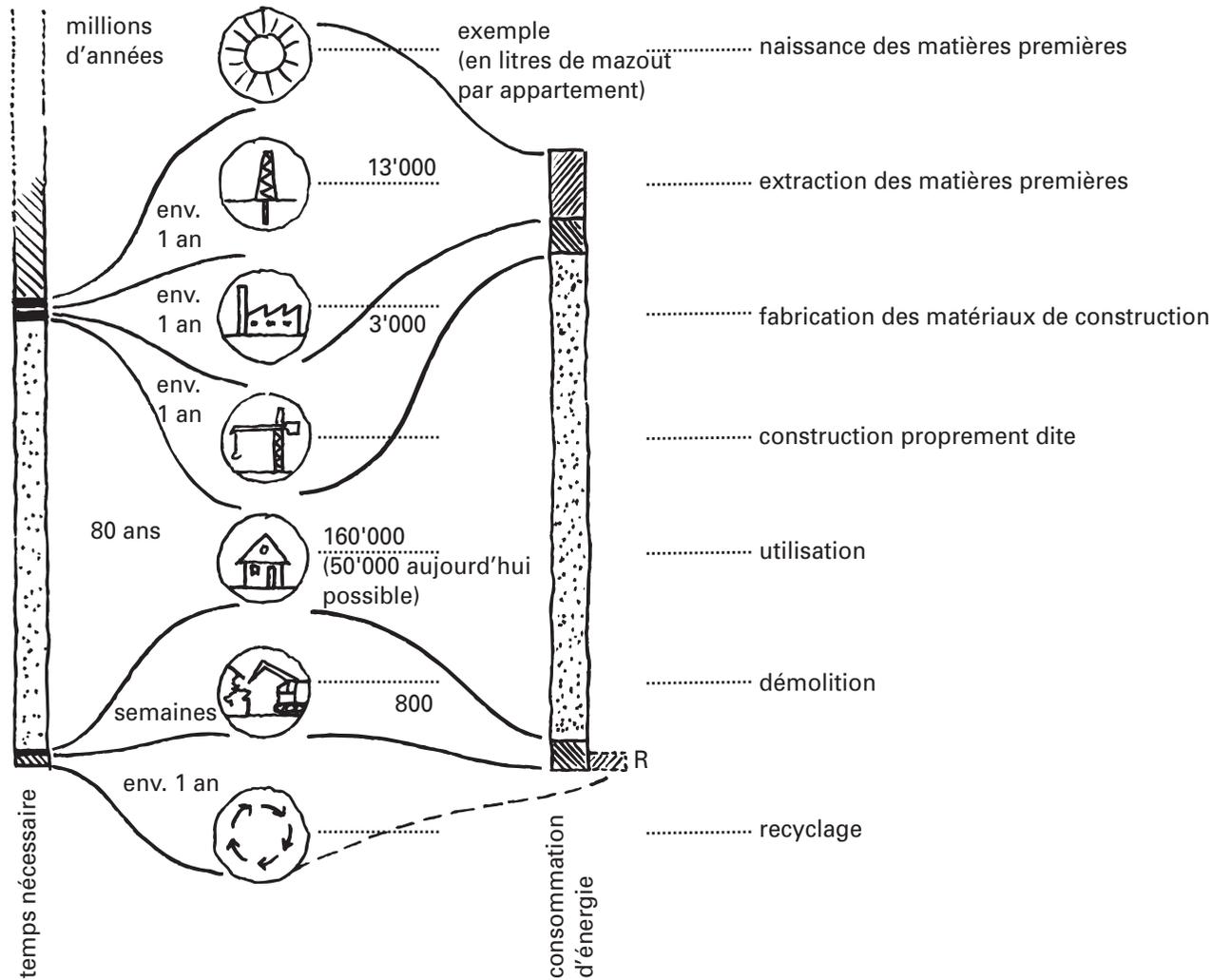


Fig. 21 Energie d'exploitation

Ce sont le choix de l'agent énergétique et les besoins d'énergie thermique d'un bâtiment qui ont le plus grand effet qualitatif et quantitatif sur la gestion des ressources énergétiques dans ce bâtiment.



C'est à ce stade du flux énergétique qu'il est possible de faire les économies d'énergie d'exploitation les plus importantes. Au moyen de bilans énergétiques, on examine parallèlement les pertes et les gains d'énergie et les représente de manière très parlante dans un diagramme des flux d'énergie. Ces bilans et diagrammes permettent de suivre l'effet des corrections apportées à certains composants (p.ex. l'amélioration de l'isolation thermique d'un élément de construction, ou un apport solaire plus important suite à une plus grande surface de fenêtres dans la façade sud du bâtiment).

La base de l'établissement des bilans énergétiques et des diagrammes des flux d'énergie est la norme SIA 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment» (édition 2001).

Flux d'énergie basé sur le cycle de vie des constructions:

A l'exemple d'une maison d'habitation, le graphique met clairement en évidence à quel stade du flux énergétique se situent les économies d'énergie possibles les plus importantes, compte tenu du cycle de vie complet du bâtiment. Vu la durée d'utilisation du bâtiment, les éléments décisifs sont ici cette utilisation et l'énergie d'exploitation qu'elle implique.

Fig. 22 La construction, vue à l'échelle de l'histoire de la Terre



5. Exercices et solutions proposées

Exercices:

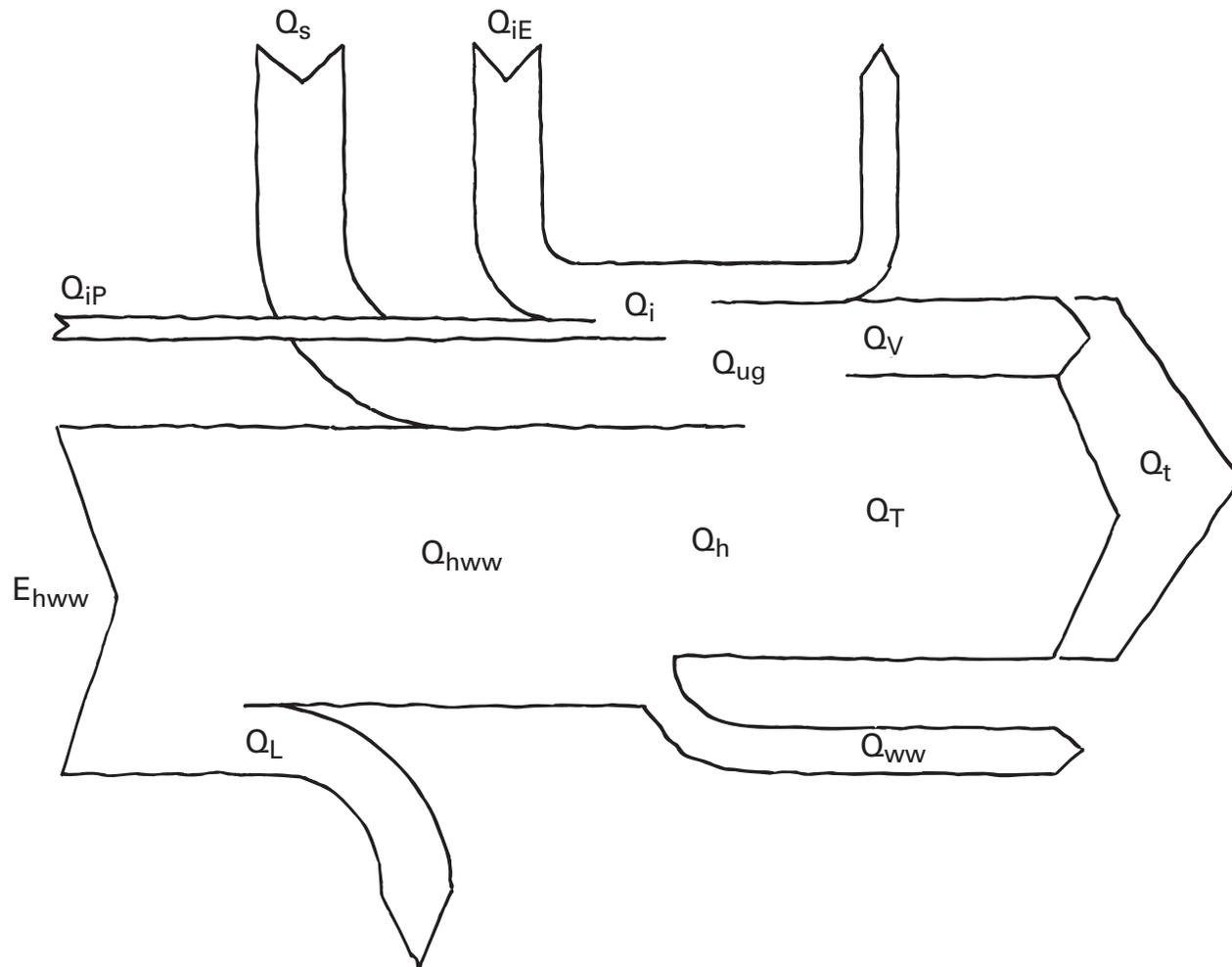
Dessinez, à l'échelle, le diagramme des flux d'énergie du bilan thermique d'une villa construite en 2001, de construction traditionnelle, avec les valeurs suivantes:

$$\begin{aligned}
 SRE &= 338 && \text{m}^2 \\
 Q_T &= 300 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_V &= 80 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_{iE} &= 56 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_{iP} &= 18 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_s &= 103 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 \eta_g &= 0,77 && - \\
 Q_{ww} &= 50 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 \eta_{hww} &= 0,80 && - \text{ (chaudière combinée} \\
 &&& \text{ chauffage/eau chaude,} \\
 &&& \text{ à mazout)}
 \end{aligned}$$

- a) Quels sont les besoins de chaleur Q_{hww} de la villa?
- b) Quel est son indice de dépense d'énergie thermique E_{hww} ?
- c) Que penser de l'indice de dépense d'énergie thermique E_{hww} en regard des directives de la norme SIA 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment» (édition 2001)?
- d) Par quels domaines faudra-t-il commencer, sur la base du bilan énergétique, lors d'une future réhabilitation énergétique si l'on veut atteindre la valeur cible E_{hww} de 240 MJ/m^2 selon la norme SIA 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment» (édition 2001)?
- e) Nous admettrons maintenant qu'il s'agit d'un bâtiment nouveau. Où doit-on prendre des mesures complémentaires afin que le bâtiment puisse correspondre au standard énergétique Minergie et à son indice de dépense d'énergie thermique E_{hww} de $150 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$?



Solutions:



a) $Q_{hww} = Q_T + Q_v - \eta_g \cdot (Q_{iE} + Q_{iP} + Q_s) + Q_{ww}$
 $= 293 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$

b) $E_w = E_{hww} = Q_{hww} / \eta_{hww} = 366 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$

c) Pour les bâtiments construits en 2001 correspondant à la description de la villa, la norme SIA 380/1 (2001) prévoit une valeur limite E_{hww} de $401 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$.
 L'indice de dépense d'énergie obtenu E_{hww} de $366 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ respecte ainsi cette valeur limite. Toutefois, la valeur cible applicable aux bâtiments construits après 2001 est de $240 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$. Comparé à cette valeur cible, le bâtiment a des besoins considérables d'énergie finale.

Indices de dépense d'énergie SIA 380/1 (édition 2001) et Minergie applicables à l'exemple:

- Valeur limite E_{hww} : $401 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$
 exigence minimum pour les constructions nouvelles (100 %)
- Valeur cible E_{hww} : $240 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$
 bonne valeur pour une construction nouvelle (60 %)
- Minergie $*E_{hww}$: $150 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$
 constructions nouvelles à partir de 1990

* E_{hww} = indice pondéré de dépense d'énergie pour le chauffage, la ventilation et l'eau chaude sanitaire. Dans le justificatif Minergie, les besoins d'énergie électrique pour la production de chaleur et la ventilation sont comptés doubles.

Fig. 23 Diagramme de flux d'énergie



d) C'est en réduisant les déperditions par transmission Q_T et en améliorant la fraction utile thermique η_{hww} qu'on peut s'attendre à réaliser les plus grandes économies d'énergie. D'un côté, une réhabilitation thermique d'éléments de construction s'impose; de l'autre, le rendement de la production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude doit être amélioré, par exemple grâce à une nouvelle installation de chauffage plus efficace au plan énergétique (pompe à chaleur «mélange antigel»-eau, chaudière à gaz à condensation, etc.) et à des conduites de distribution bien isolées thermiquement.

e) – Autres améliorations de la protection thermique d'éléments de construction (valeur U plus basse), apportant ainsi une nouvelle réduction des déperditions par transmission Q_T .

- Réduction des déperditions par renouvellement d'air Q_V , par la pose d'une installation de renouvellement de l'air (ventilation mécanique douce) avec récupération de chaleur.
- Augmentation des apports solaires en optimisant la disposition des fenêtres et en agrandissant la surface de celles orientées au sud.
- Utilisation de vitrages ayant un taux de transmission d'énergie globale g élevé et en même temps une bonne valeur U du vitrage isolant.
- Recours à des énergies renouvelables, pour la production de chaleur, comme par exemple l'énergie solaire, la chaleur de l'environnement ou la géothermie.



6 Bibliographie

- Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments, norme SIA 180, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich (1999)
- L'énergie thermique dans le bâtiment, norme SIA 380/1, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich (2001)
- L'énergie électrique dans le bâtiment, recommandation SIA 380/4, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich (1995)
- L'indice de dépense d'énergie, recommandation SIA 180/4, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich (1982)
- Projeter et construire en assurant un développement durable: Catalogue de critères, sia/DIANE. Construction écologique. Documentation SIA – D 0137 f, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich (1996)
- Constructions: critères d'un développement durable. Documentation SIA – D 0164, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich (2000)
- M. Ragonesi: Technique de construction de l'enveloppe – Cours Energie + Bâtiment, OFEN, Berne (1993)
- H. Moor: Bases physiques – Cours Energie + Bâtiment, OFEN, Berne (1993)
- Maja Messmer et al.: L'énergie, facteur-clé de notre temps, Office fédéral des questions conjoncturelles. A commander chez LEP, Loisirs et pédagogie, 1052 Le Mont-sur-Lausanne, tél. 021 651 25 70

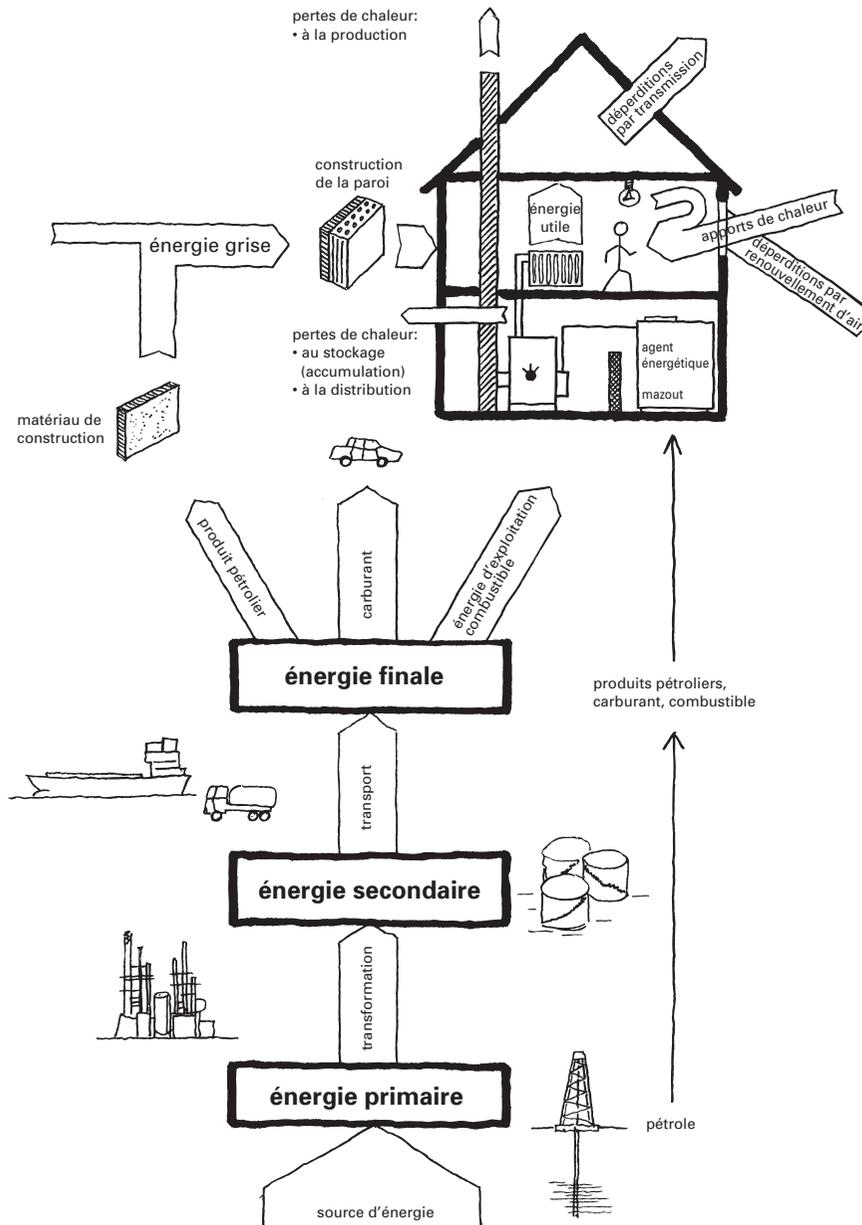


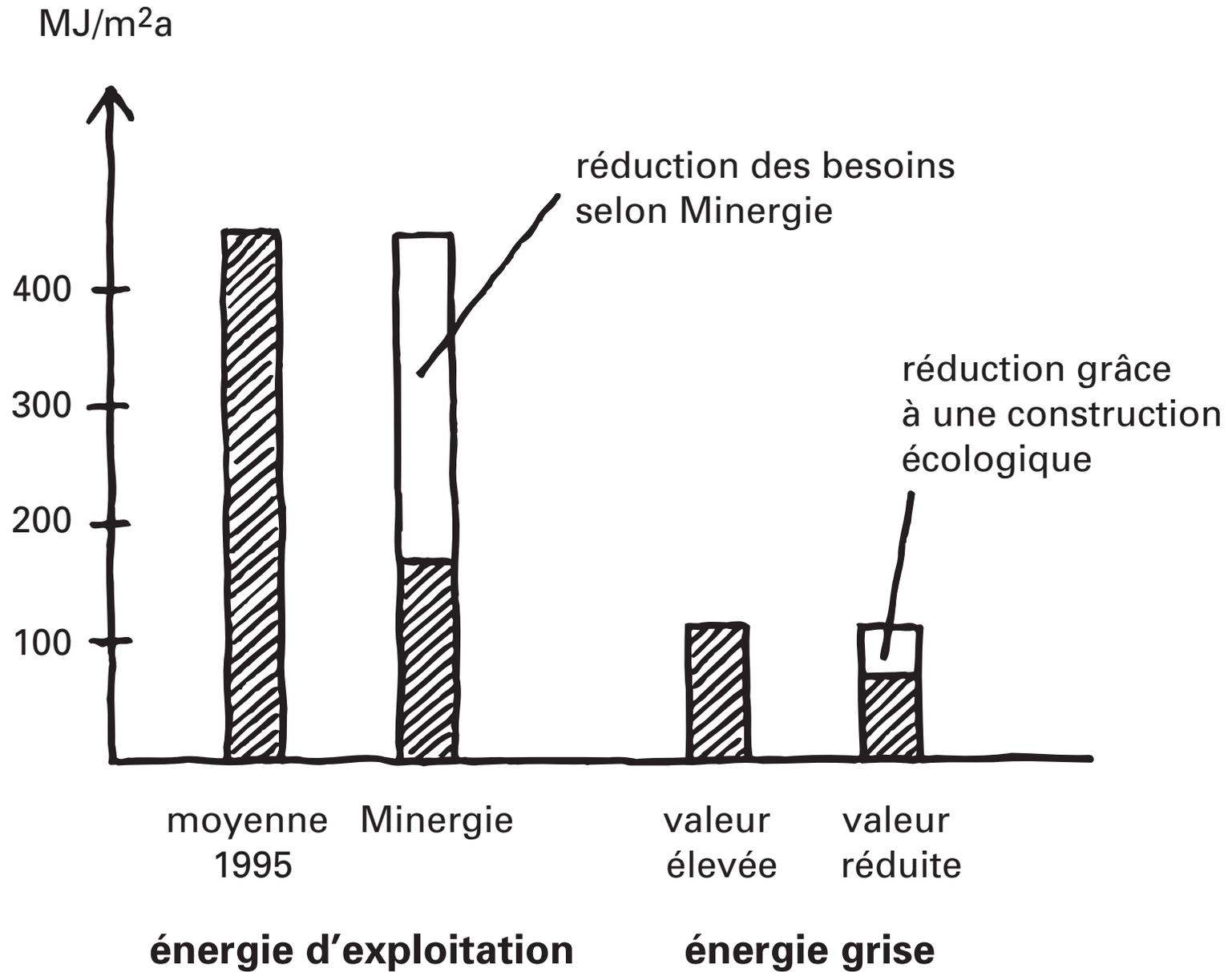
7 Sources

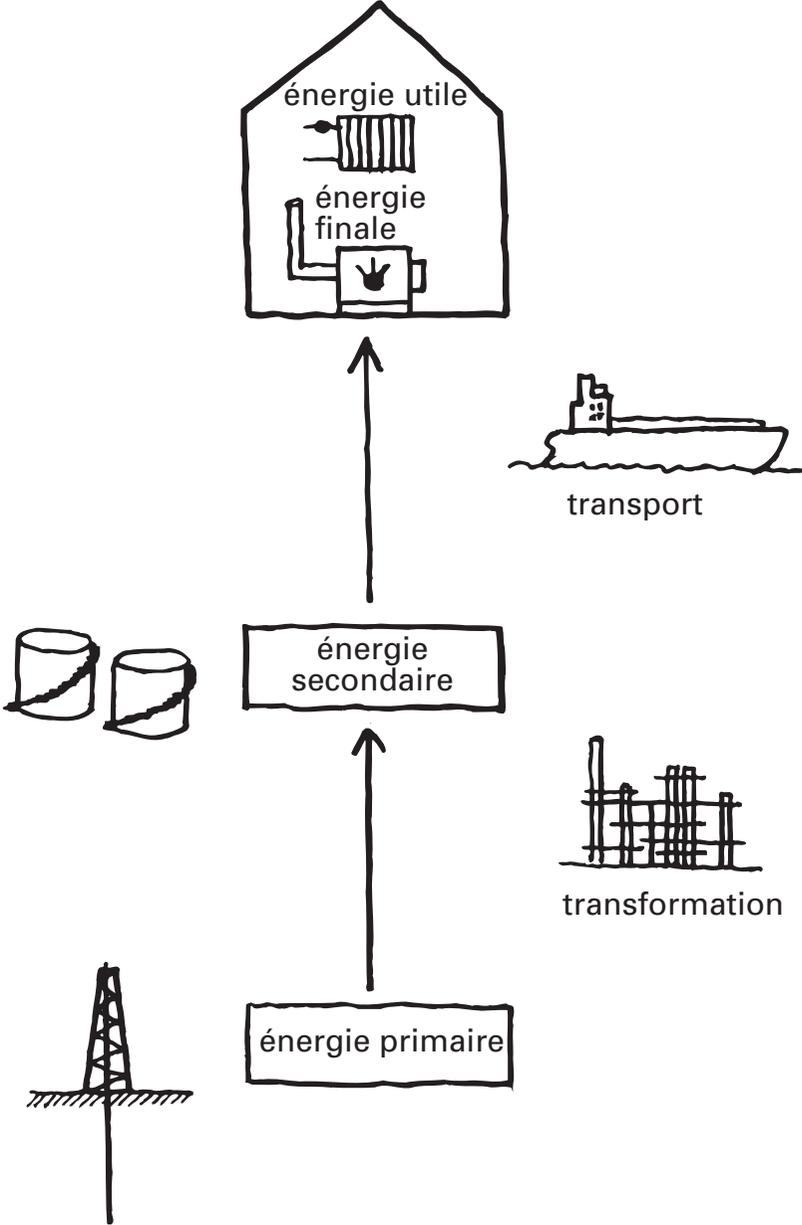
Tous les dessins sauf la figure 11 sont de l'auteur.

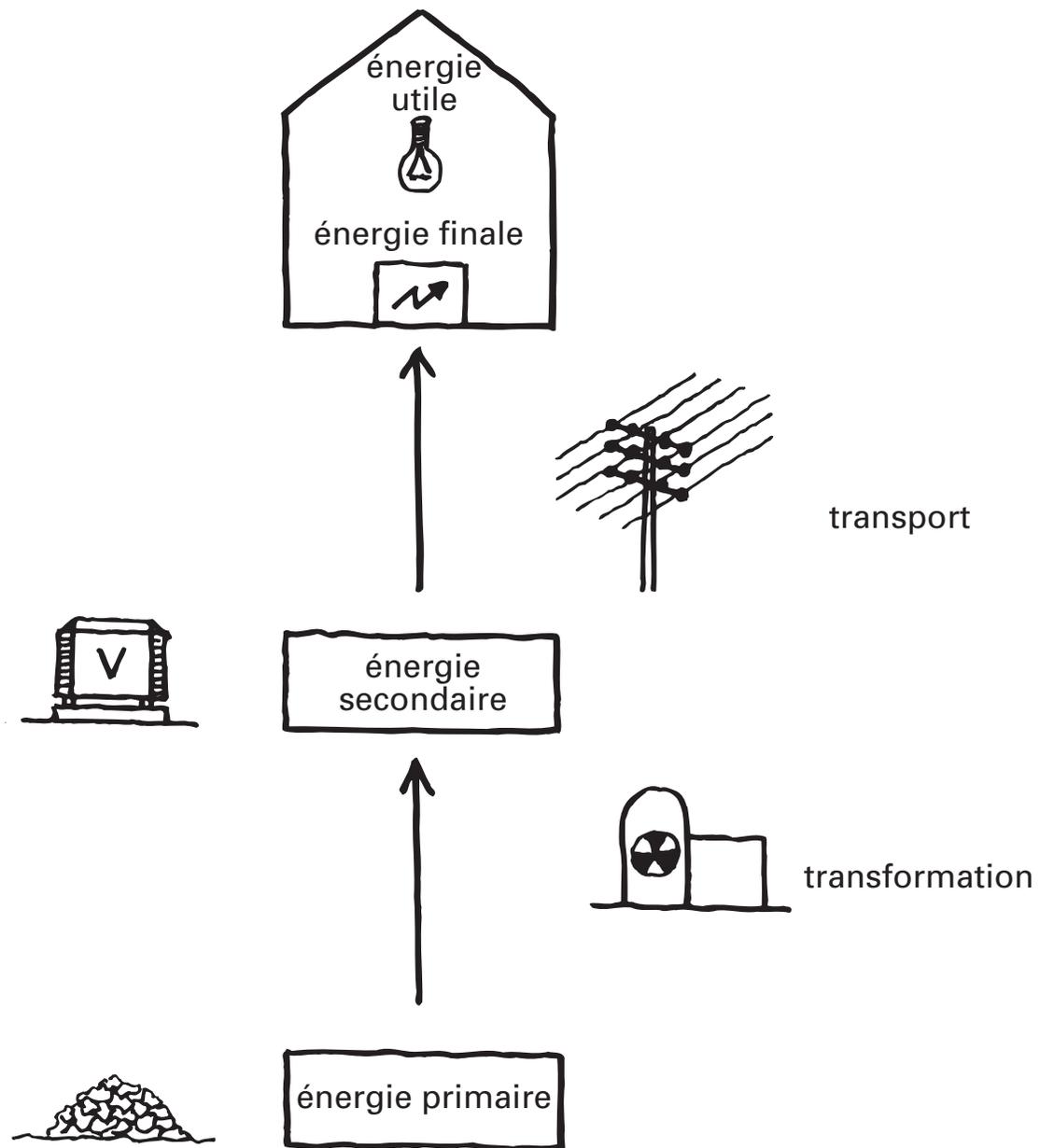
Figure 11:
Schweizer Energiefachbuch, édition 1992

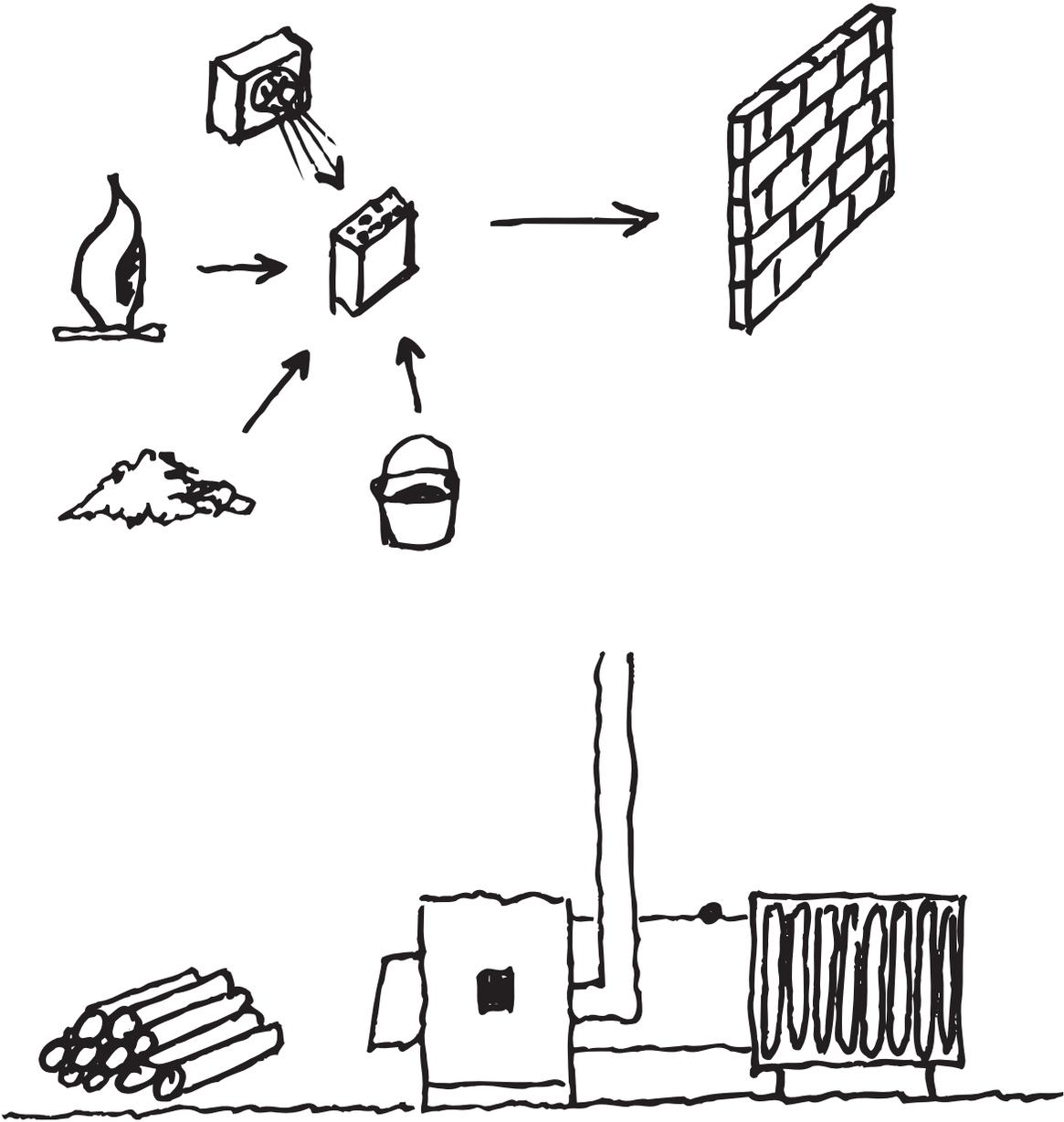
8 Modèles

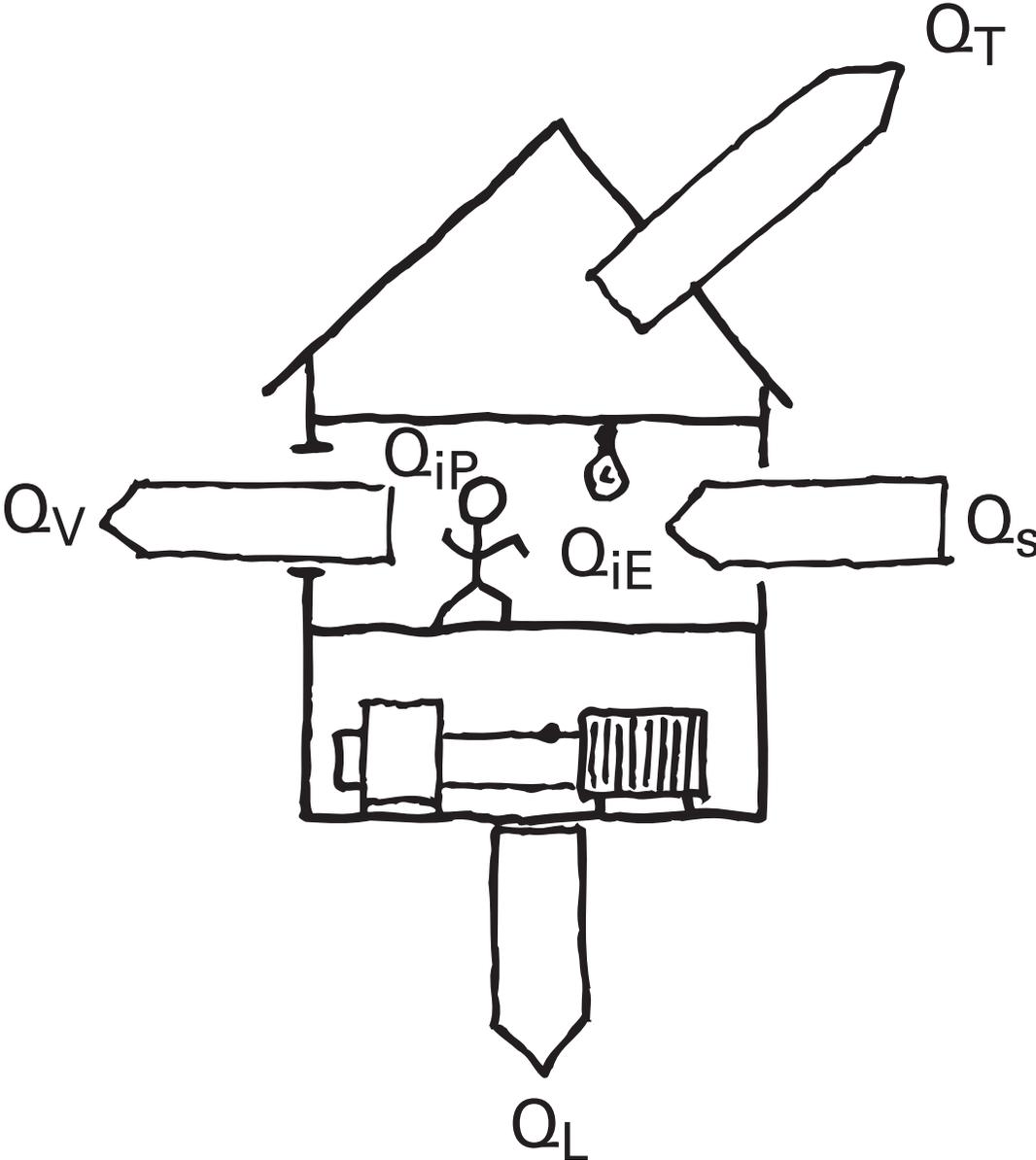




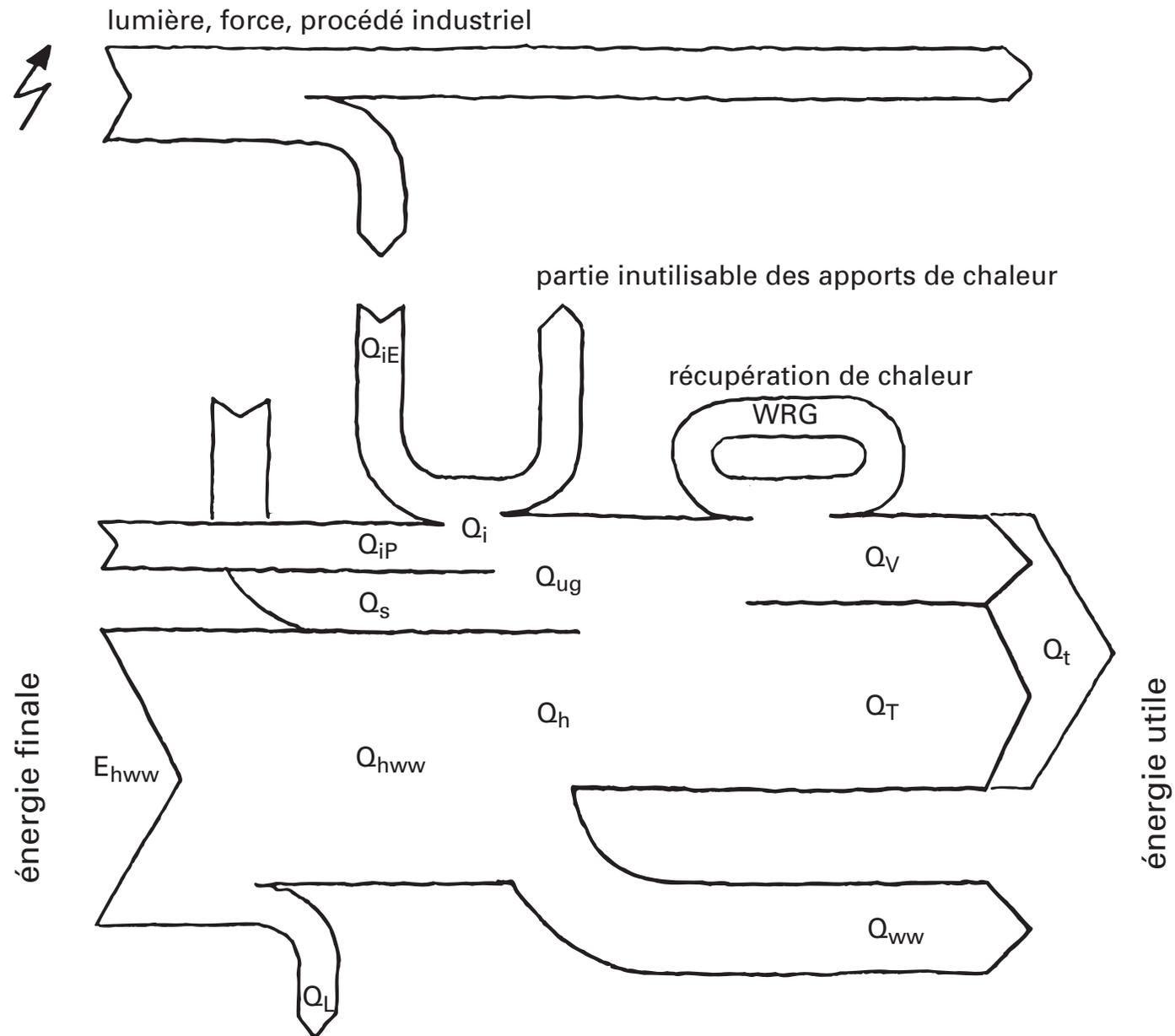






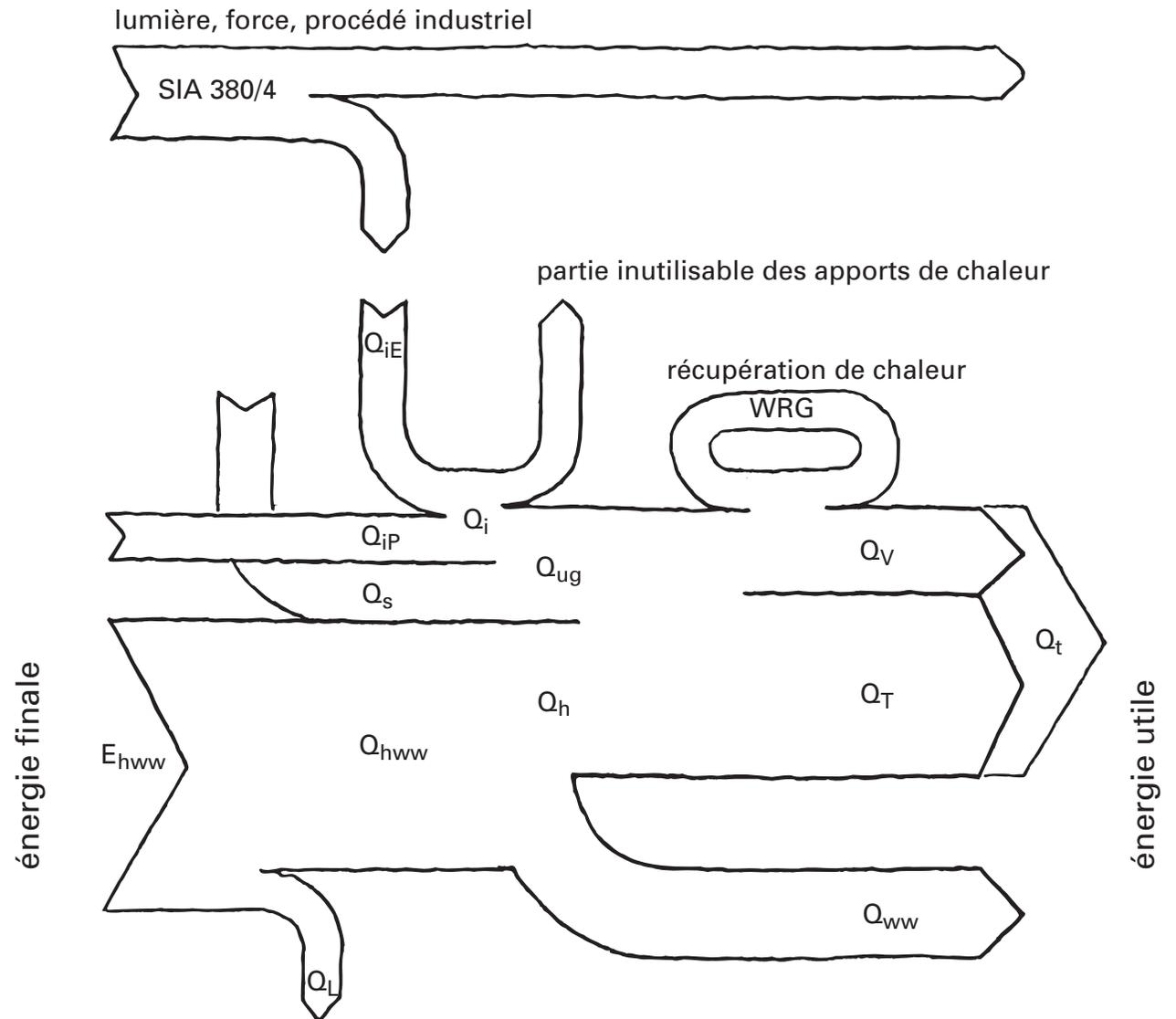


- E_{hww} indice de dépense d'énergie thermique (pour le chauffage et l'eau chaude)
- Q_L pertes de chaleur à la production, au stockage et à la distribution de la chaleur
- Q_{hww} besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- Q_h besoins de chaleur pour le chauffage
- Q_{ww} besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire
- Q_{ug} apports de chaleur utiles
- Q_i apports de chaleur internes
- Q_{iE} apports de chaleur internes des installations électriques
- Q_{iP} apports de chaleur internes dus aux personnes
- Q_s apport solaires, par les surfaces vitrées
- Q_T déperditions par transmission
- Q_V déperditions par renouvellement d'air
- Q_t déperditions totales





- E_{hww} indice de dépense d'énergie thermique (pour le chauffage et l'eau chaude)
- Q_L pertes de chaleur à la production, au stockage et à la distribution de la chaleur
- Q_{hww} besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- Q_h besoins de chaleur pour le chauffage
- Q_{ww} besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire
- Q_{ug} apports de chaleur utiles
- Q_i apports de chaleur internes
- Q_{iE} apports de chaleur internes des installations électriques
- Q_{iP} apports de chaleur internes dus aux personnes
- Q_s apport solaires, par les surfaces vitrées
- Q_T déperditions par transmission
- Q_V déperditions par renouvellement d'air
- Q_t déperditions totales



E_{hww} indice de dépense d'énergie thermique (pour le chauffage et l'eau chaude)

Q_L pertes de chaleur à la production, au stockage et à la distribution de la chaleur

Q_{hww} besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire

Q_h besoins de chaleur pour le chauffage

Q_{ww} besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire

Q_{ug} apports de chaleur utiles

Q_i apports de chaleur internes

Q_{iE} apports de chaleur internes des installations électriques

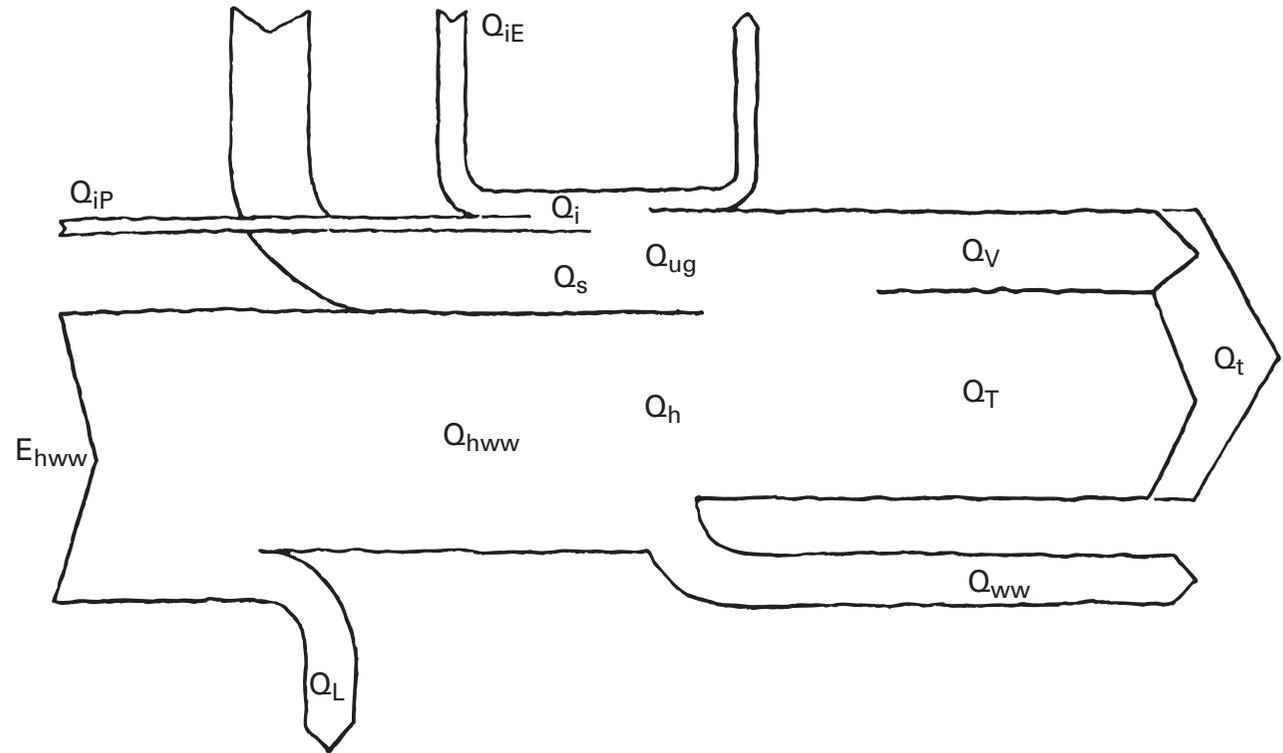
Q_{iP} apports de chaleur internes dus aux personnes

Q_s apport solaires, par les surfaces vitrées

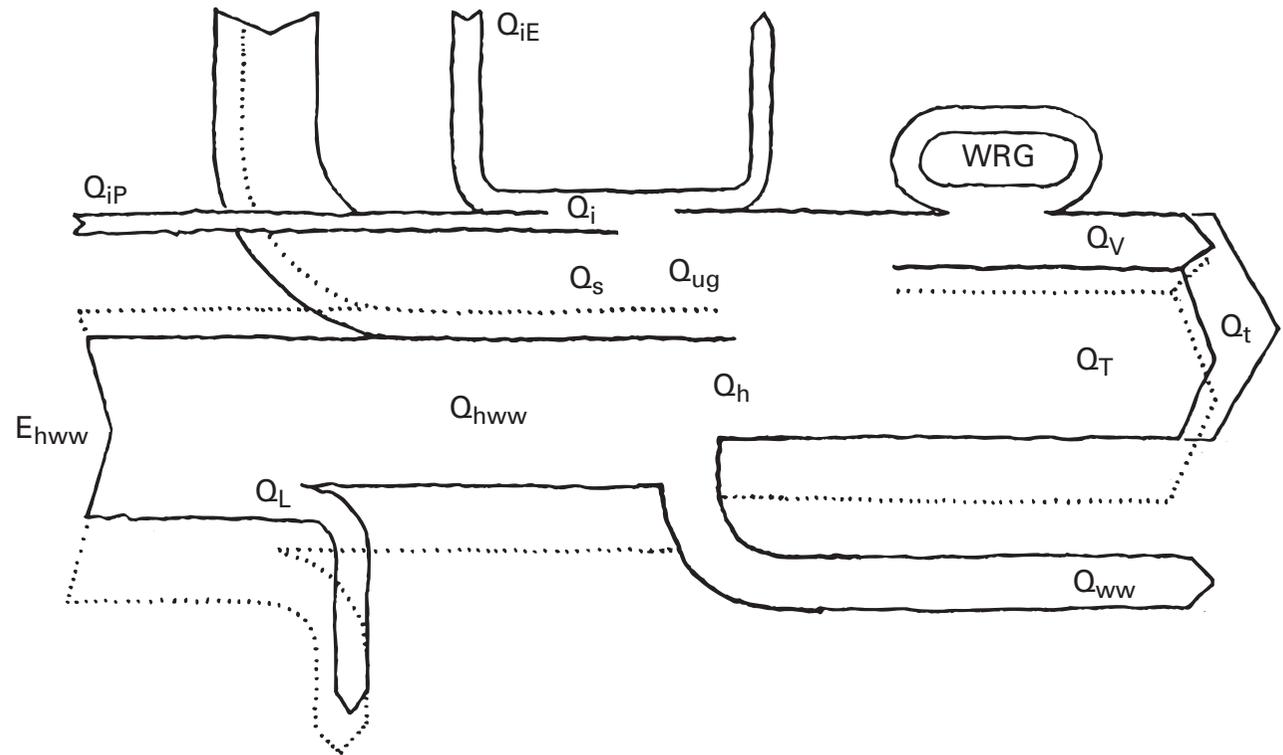
Q_T déperditions par transmission

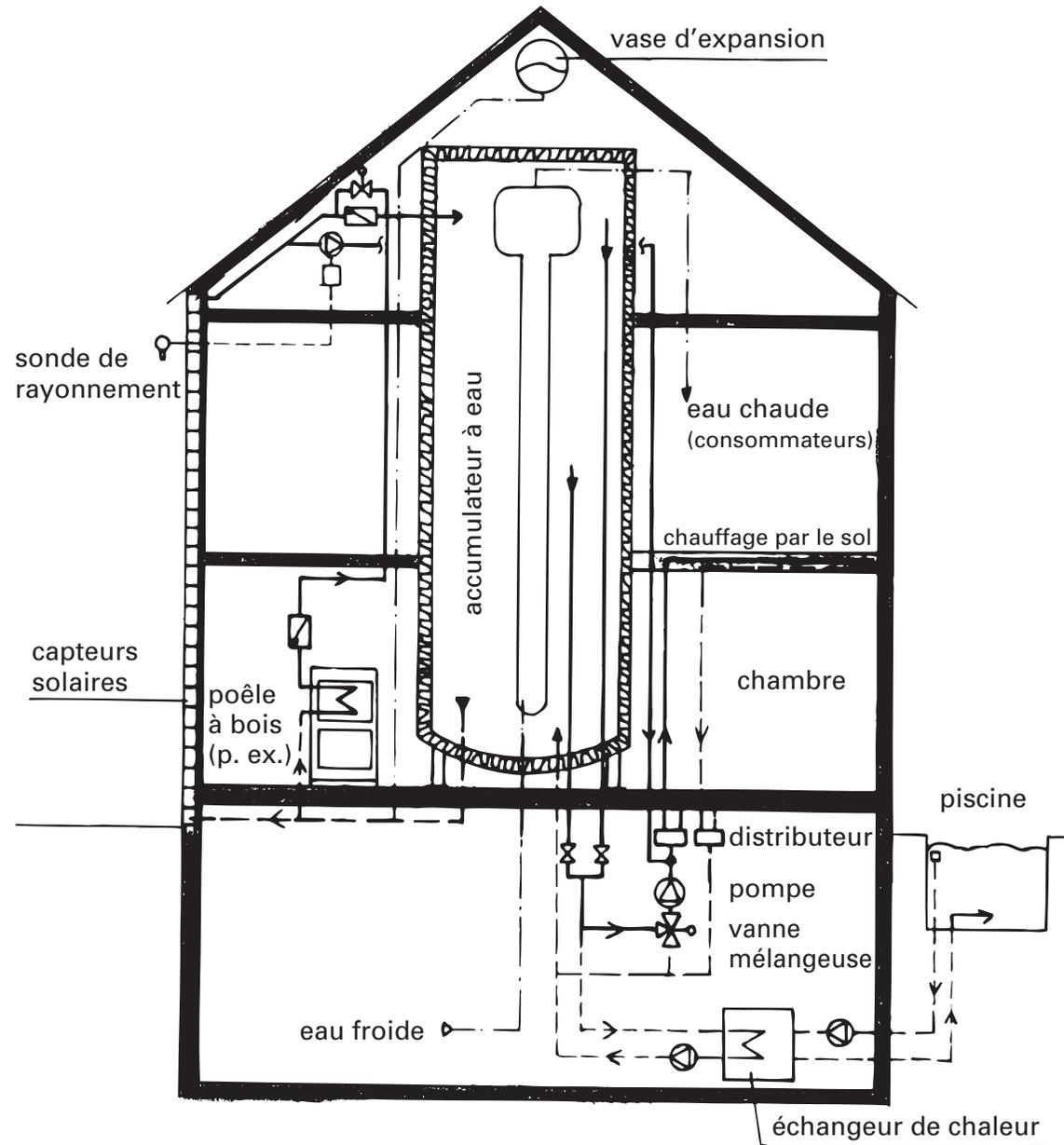
Q_V déperditions par renouvellement d'air

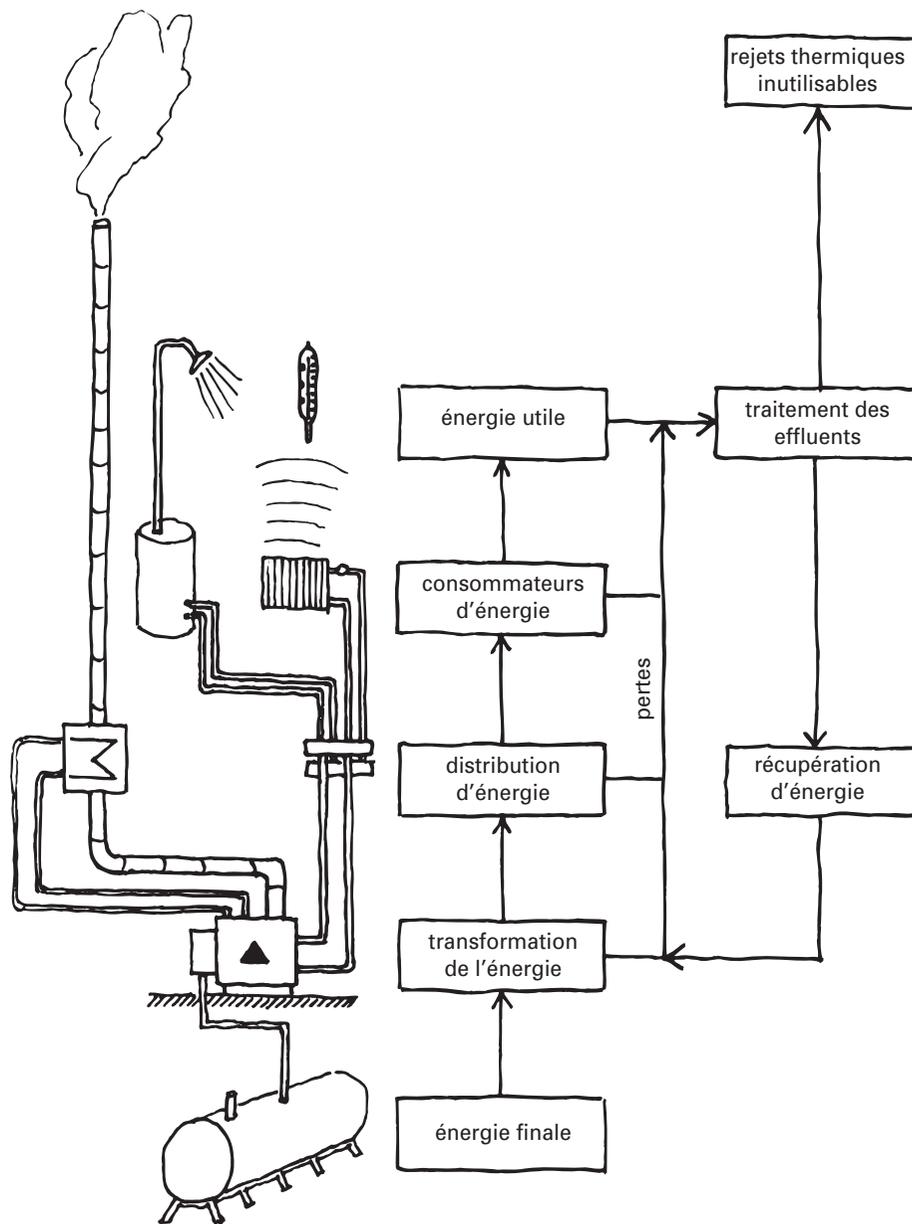
Q_t déperditions totales



- E_{hww} indice de dépense d'énergie thermique (pour le chauffage et l'eau chaude)
- Q_L pertes de chaleur à la production, au stockage et à la distribution de la chaleur
- Q_{hww} besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- Q_h besoins de chaleur pour le chauffage
- Q_{ww} besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire
- Q_{ug} apports de chaleur utiles
- Q_i apports de chaleur internes
- Q_{iE} apports de chaleur internes des installations électriques
- Q_{iP} apports de chaleur internes dus aux personnes
- Q_s apport solaires, par les surfaces vitrées
- Q_T déperditions par transmission
- Q_V déperditions par renouvellement d'air
- Q_t déperditions totales

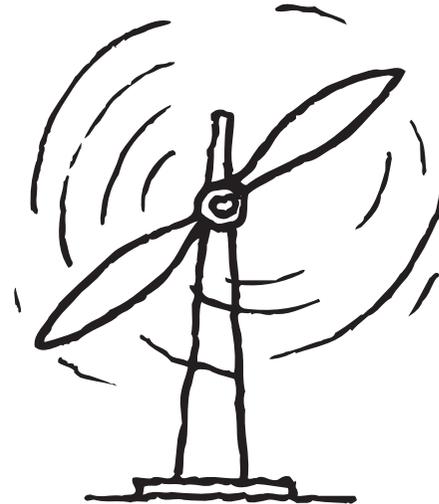
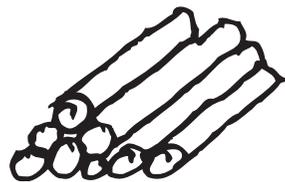
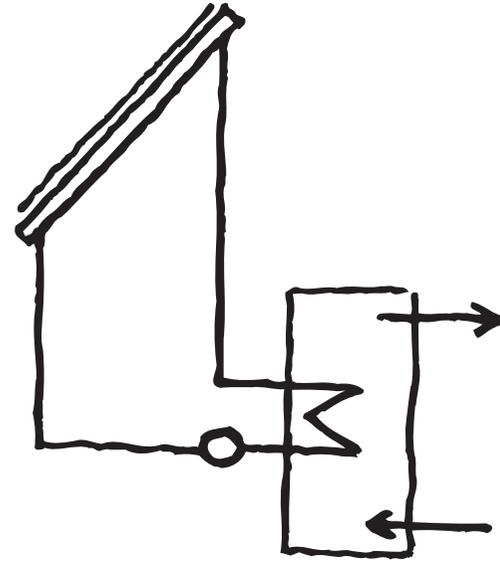
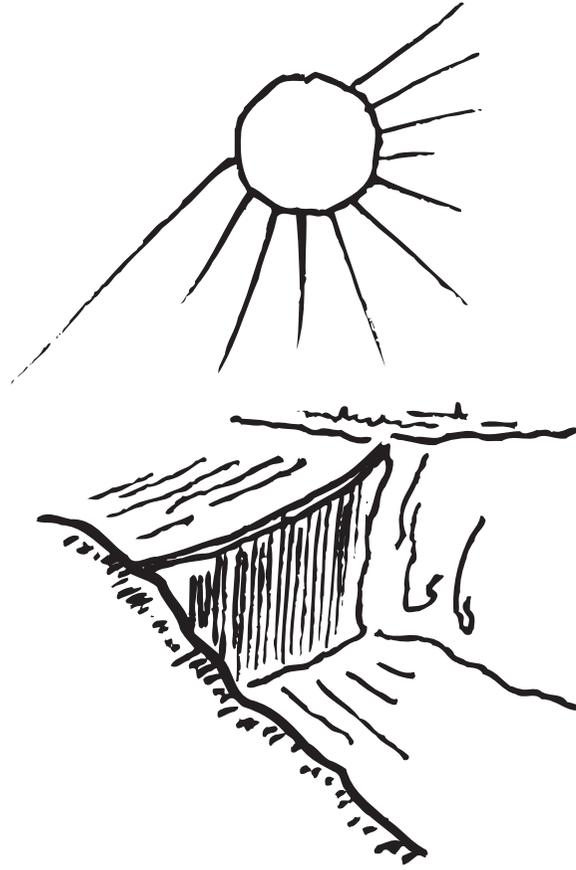


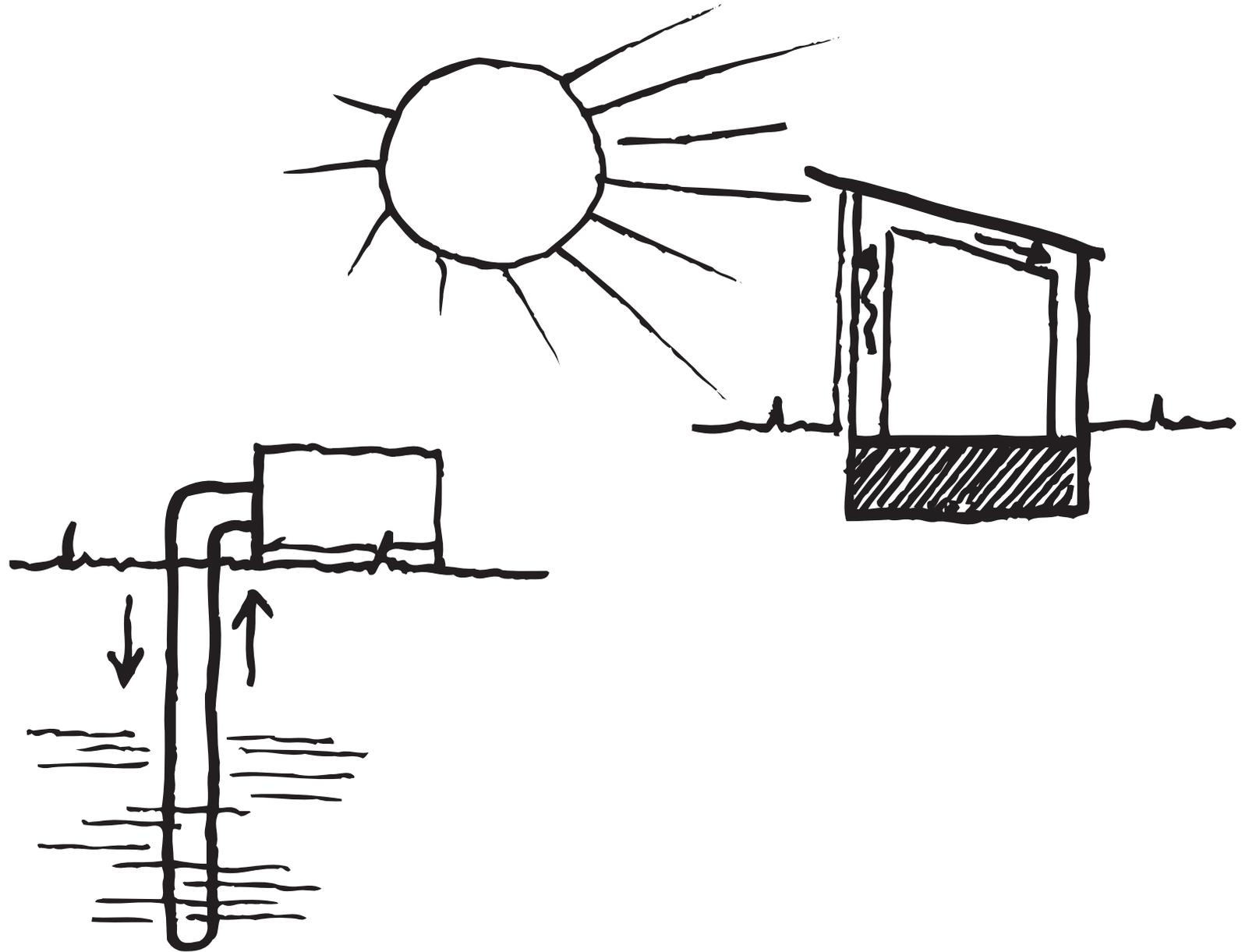


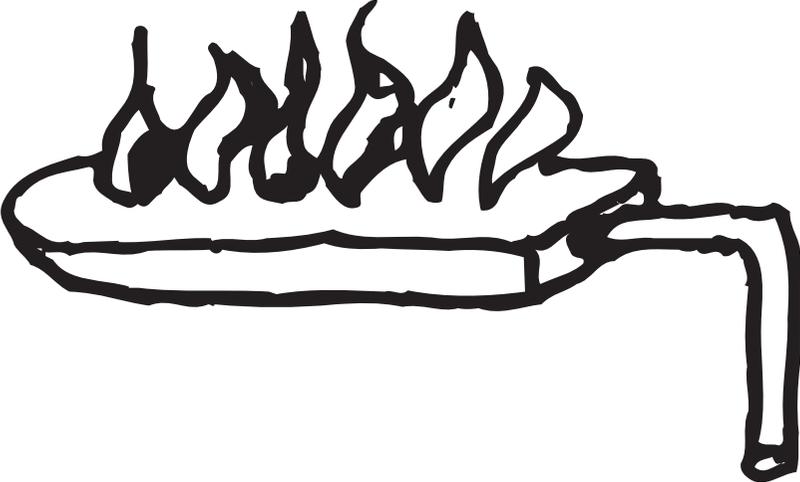
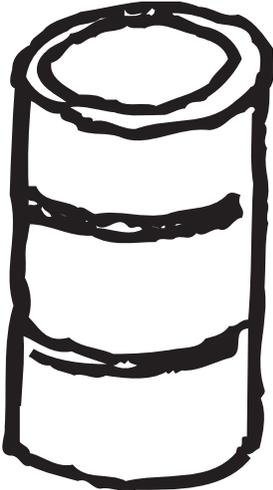


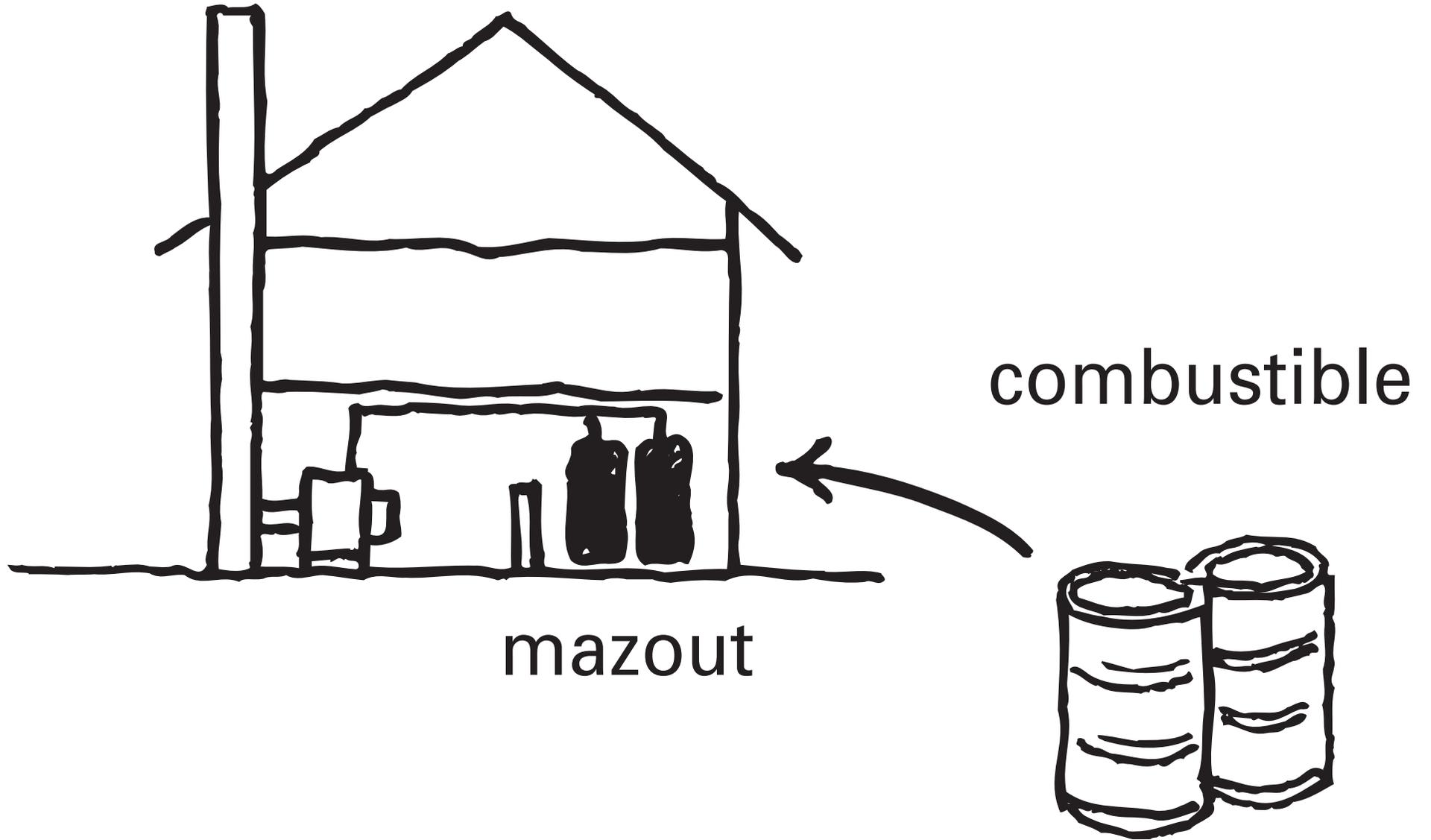


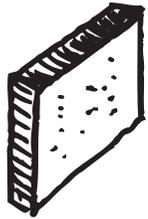
1930	↘	130'860 TJ	= 100%
1940		128'520 TJ	
1950	↗	168'120 TJ	
1960		295'000 TJ	
1970		586'790 TJ	
1973		673'750 TJ	
1974	↘	623'550 TJ	
1980	↗	683'870 TJ	
1985		724'110 TJ	
1990		786'140 TJ	
1995		811'090 TJ	
1996	↘	829'960 TJ	
1997		824'980 TJ	
1998	↗	847'100 TJ	
1999		861'770 TJ	
2000	↘	855'290 TJ	= 653%







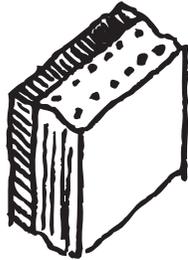




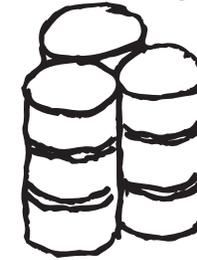
matériaux de construction



construction proprement dite



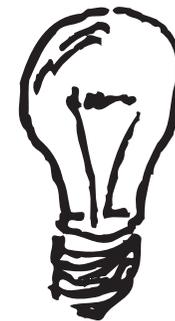
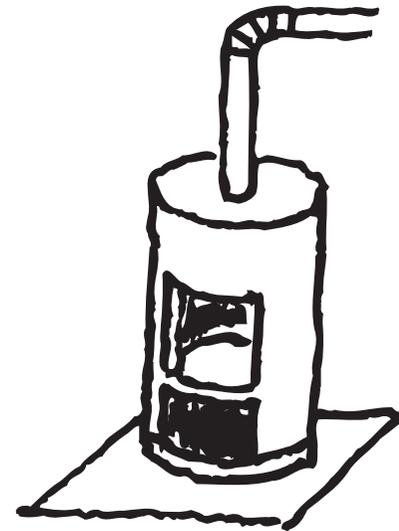
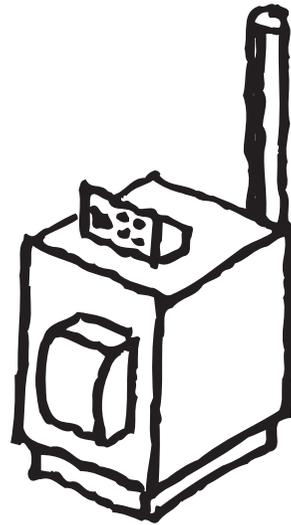
combustible

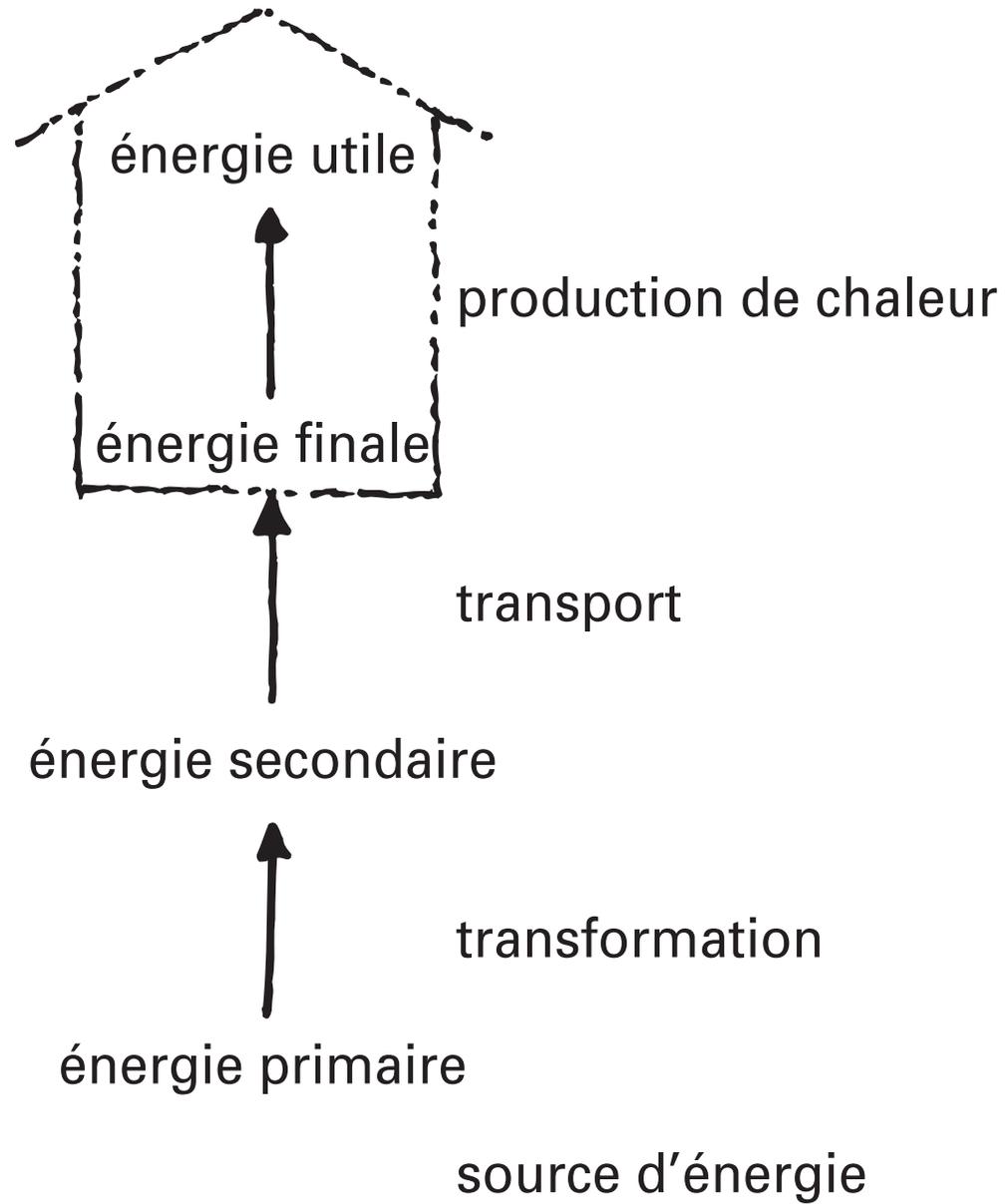


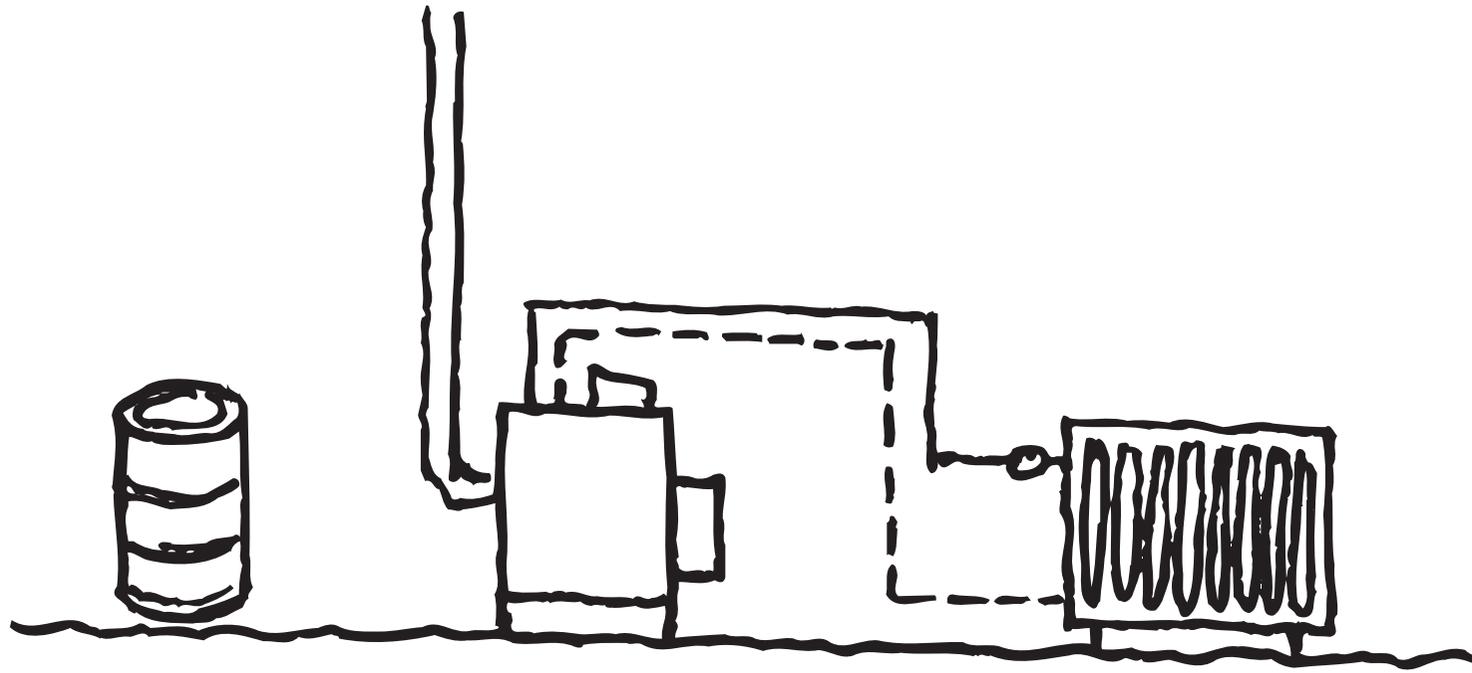
énergie grise

consommateurs

énergie d'exploitation







énergie finale

production
de chaleur

distribution
de chaleur

énergie utile

