Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 69 (1978)

Heft: 23

Artikel: Comparaison des consommations d'énergie primaire entre les procédés de chauffage à l'électricité et à fuel

Autor: Jolliet, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-914963

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Comparaison des consommations d'énergie primaire entre les procédés de chauffage à l'électricité et à fuel

Par F. Jolliet

Die Substitution eines Teiles des in der Schweiz verwendeten Erdöles setzt voraus, dass – abgesehen von den Sparmassnahmen im Verbrauch und der Entwicklung von Alternativenergien – die Elektrizitätswirtschaft ihren Beitrag zur Raumheizung und zur Warmwasseraufbereitung leistet.

Es ist bekannt, dass jegliche Zunahme der Stromerzeugung durch Kernkraftwerke erzielt wird. Nachdem der thermodynamische Wirkungsgrad dieser Anlagen bekannt ist, kann man sich fragen, wie hoch, im Vergleich zur traditionellen Ölheizung, der zusätzliche Primärenergieverbrauch ist, der bei der Anwendung der Elektroheizung anfällt.

La substitution d'une part du pétrole utilisé en Suisse implique – outre des dispositions pour l'économie à l'utilisation et le développement des énergies «de remplacement» – une contribution de l'économie électrique au chauffage des locaux et à la préparation d'eau chaude sanitaire.

On admet généralement que tout accroissement de production électrique sera réalisé par des centrales thermonucléaires. Connaissant le rendement thermodynamique de celles-ci, on peut se demander quelle est la surconsommation d'énergie primaire à laquelle il faut consentir pour l'application du chauffage électrique, par rapport à celui, traditionnel, à fuel.

1. But recherché – hypothèses

Il s'agit d'établir la proportion existant entre les quantités d'énergie primaire requise par l'une et l'autre chaînes suivantes:

a) Chaîne «Chauffage électrique»

Combustible fissile ⟶ Centrale thermique

↓

Electricité

↓

Immeuble avec chauffage électrique à résistance installé et réglé pièce par pièce avec production d'eau chaude sanitaire par chauffe-eau électrique.

b) Chaîne «Chauffage à fuel»

Fuel ⟶ Raffinerie

↓

Huile de chauffage

↓

Immeuble avec chauffage central à eau chaude, utilisant une chaudière à mazout combinée pour la production d'eau chaude sanitaire.

L'approche est faite sous l'angle des *quantités d'énergie*, elle fait abstraction des notions de coûts financiers et énergétiques des moyens de production, de distribution, des infrastructures nécessaires, des charges d'environnement, de même que de la notion de qualité d'énergie.

Bien qu'utilisable pour certaines applications, la chaleur résiduelle de la centrale thermonucléaire est ici assimilée à une perte.

Dans un but de simplification, nous nous limiterons donc, pour la chaîne électricité, au chauffage électrique direct. En effet, les solutions alliant l'électricité aux pompes à chaleur ou aux applications solaires sont actuellement fort diverses, leurs performances pratiques encore mal connues.

2. Besoins et pertes d'énergie – facteurs d'influence

La *fig. 1* rappelle les différents éléments influençant les besoins de chaleur et les pertes d'énergie de chacune des chaînes étudiées.

3. Rendements au point de fourniture

Les énergies sont prises en considération à partir de:

– la citerne de l'utilisateur, pour la chaîne fuel,

– l'introduction dans la centrale, pour la chaîne électricité

ce qui revient à admettre les «rendements au point de fourniture» suivants:

3.1 Electricité

	Centrale thermique		
	Classique (fuel lourd)	Nucléaire	
		PWR	HTR ou surrégénérateur
Rendement centrale	0,39	0,34	0,39
Rendement transport transformation distribution	0,90	0,90	0,90
«Rendement au point de fourniture» = η_e	0,35	0,31	0,35

C'est le cas de la centrale nucléaire PWR qui sera considéré dans ce qui suit.

3.2 Fuel

Eu égard au domaine de comparaison choisi: $\eta_f = 1$.

4. Rendements des installations de chauffage

4.1 Installations de chauffage électrique

Dans le système choisi (chauffage direct installé et réglé pièce par pièce), l'énergie produite est intégralement transformée en chaleur au lieu-même de son utilisation; on admet cependant que l'inertie des appareils de chauffage et les imprécisions de réglage mènent à une surconsommation se traduisant par un rendement final de 0,97.

Si la production d'eau chaude sanitaire correspond, avec un rendement de 0,90, aux 15% de la consommation totale (chauffage et eau chaude), nous obtenons un rendement global d'installation d'environ 0,96.

4.2 Installations de chauffage fuel

L'approche du rendement de telles installations est beaucoup moins aisée, pour plusieurs raisons.

– Le faible coût du fuel en a fait un agent de chauffage pratiquement hors de toute concurrence, dont la rationalisation

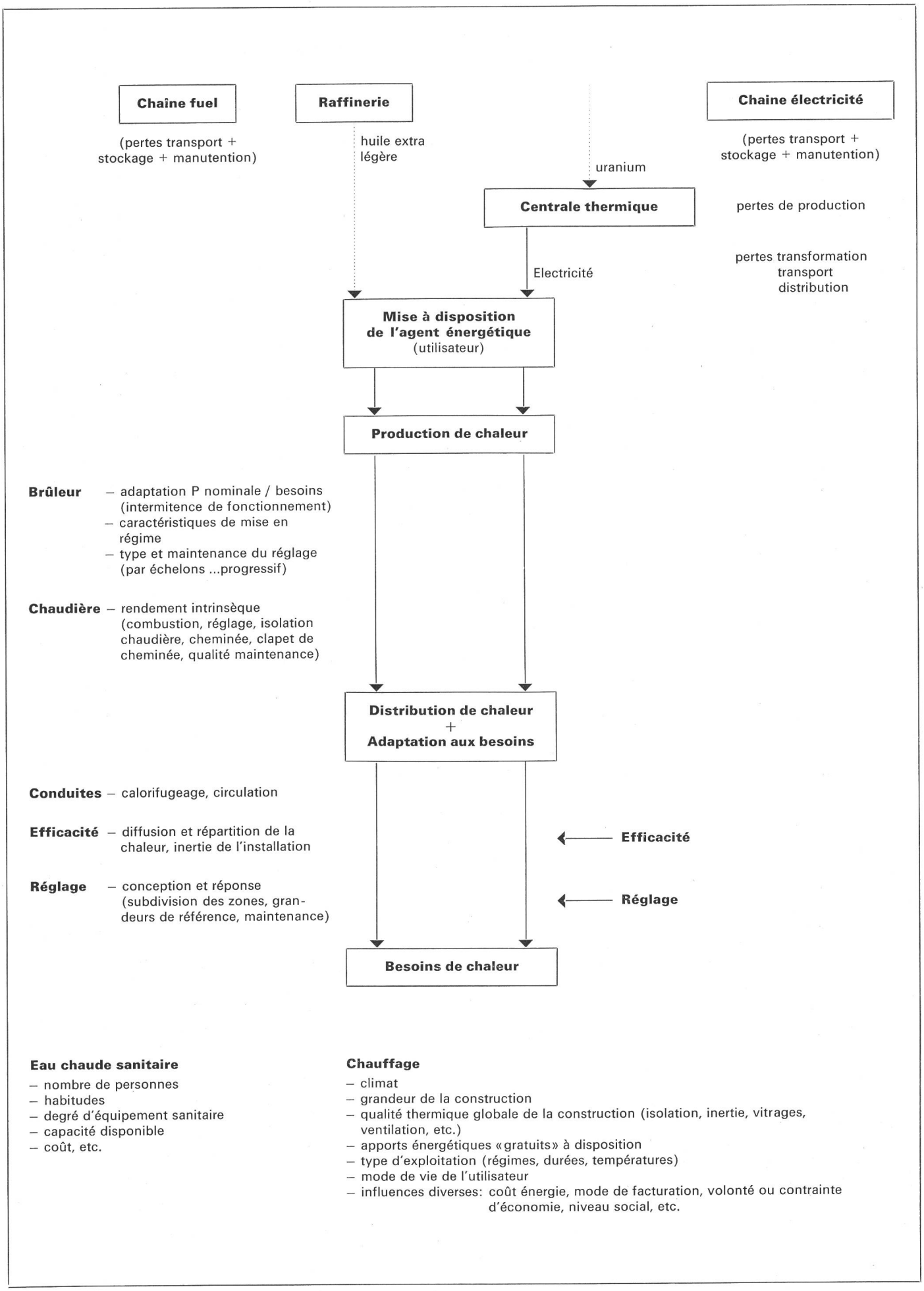

Fig. 1 **Flux énergétique des chaînes étudiées**

de l'emploi n'a pas été poussée. Il n'est donc pas étonnant que la recherche relative aux caractéristiques de consommation des installations de chauffage utilisant le fuel ait été négligée.

– Les mesures sur de telles installations ne sont pas aisées. Du fait de la grande inertie et du manque de souplesse de réglage, les mesures ne peuvent donner l'indication directe de la part *utile* d'énergie émise dans les locaux. L'opération est de surcroît rendue plus complexe par les pertes du réseau de distribution et la combinaison avec la production d'eau chaude sanitaire.

– La conception, le dimensionnement, l'âge et la qualité de maintenance des installations jouent un rôle important sur leur rendement. Une attention accrue semble se manifester actuellement à ce sujet (sensibilisation au gaspillage et à la pollution, contraintes légales).

En quête de renseignements, différentes personnes de la branche fuel ou de milieux officiels ont été consultées. Toutes n'ont pu que déplorer le manque de valeurs expérimentales sûres.

Dans le secteur commercial, les données disponibles sont utilisées et interprétées en fonction des intérêts à défendre.

Les études officielles, comparant un procédé «*nouveau*» à celui classique du chauffage fuel, admettent pour ce dernier des chiffres aussi favorables que possible en vue de créer une marge de sécurité. On la justifie en général par des arguments spéculatifs, comme l'amélioration probable des habitudes de conception, de réalisation et d'entretien des installations.

4.2.1 «Rendement» et «facteur de fonctionnement»

Dans les comparaisons énergétiques entre le chauffage électrique et celui au fuel, il est couramment appliqué des valeurs exagérément élevées de rendement pour les installations fuel. Le développement suivant explique la raison de cette erreur [9].

Les calculs classiques de prévision de consommation *fuel* admettent que la quantité de chaleur requise par un immeuble pendant une période de chauffage est:

$$Wo = \frac{24 \cdot Qh \cdot Dj \cdot f}{\Delta t} \qquad (1)$$

Qh Charge thermique de l'immeuble
Dj Degré jours du lieu considéré, par période de chauffage
f Facteur relatif au mode d'exploitation
Δt Différence de température correspondant à Qh

En plus de la prise en considération des pertes de la distribution, ces calculs admettent un «rendement» (valeur utilisée dans la majorité des cas: 0,75) pour obtenir la quantité de chaleur (énergie) Wc qui sera consommée par l'installation de chauffage.

Pour des installations fuel, on vérifie pratiquement la relation

$$\frac{Wo}{Wc} = 0{,}75 \qquad (2)$$

Cette valeur de 0,75, qui n'est en fait qu'un facteur saisonnier de fonctionnement est très souvent considérée – à tort – comme un rendement. Or, c'est une coïncidence qu'elle corresponde à la valeur ordinairement admise pour le rendement d'une chaudière fonctionnant dans des conditions d'essais (pertes de distribution exclues).

Il faut noter que la quantité de chaleur nécessaire au chauffage (Wo) est composée

– d'une part de chaleur *utile* cédée par l'installation de chauffage,

– d'une part de chaleur «gratuite» ou «libre» provenant de divers effets; tels apports solaires, chaleur dégagée par les occupants, l'éclairage et autres appareils électriques, etc.

Pour le chauffage électrique, qui bénéficie de procédés particulièrement souples, à régulation fine, l'ingénieur met rapidement cet effet de chaleur gratuite en évidence: il remarque que dans ces installations de chauffage, l'application de terme Wo calculé selon (1) entraîne:

$$\frac{Wo}{Wc} \cong 1{,}4$$

Comme il ne peut s'agir d'un rendement supérieur à 1, il faut se rendre à l'évidence, à savoir que, la chaleur effective utile Wu – fournie par l'installation de chauffage – est plus petite que Wo.

Le complément à Wu est la chaleur gratuite, dont les installations traditionnelles à fuel ne profitent que dans une très faible mesure, du fait de leur grande inertie.

Si g est la part de Wo prise par la chaleur gratuite, la chaleur à fournir par l'installation sera:

$$Wu = Wo\,(1 - g) \qquad (3)$$

g dépend du niveau d'isolation, de l'inertie de la construction, et de la nature des sources de chaleur «gratuite».

En admettant un gain moyen en température d'environ 3 K [13] et en le rapportant aux degrés·jours annuels, $g \cong 0{,}3$.

Il en résulte que la quantité d'énergie consommée sera:

$$Wc = \frac{Wo\,(1 - g)}{\eta} \qquad (4)$$

η Rendement saisonnier du système de chauffage

La relation (4) est applicable à n'importe quel combustible, étant entendu que l'énergie gratuite est présente quel que soit le système de chauffage.

Tenant compte des apports de chaleur libre, le rendement saisonnier des installations à fuel est donc donné par l'égalité des expressions (2) et (4):

$$\eta = 0{,}75\,(1 - 0{,}3) = 0{,}525$$

4.2.2 Renseignements disponibles

Il n'existe que peu de documents relatifs au rendement des installations de chauffage à fuel. Pratiquement, il s'agit de:

a) Mesures de laboratoire, au niveau de la combustion [1], débouchant sur des valeurs de rendement des chaudières qui tiennent compte des pertes à la cheminée et du rayonnement des parois.

b) Normes et recommandations destinées aux comparaisons économiques des installations de chauffage [3]. Les différentes influences de la consommation y sont données sous forme de valeurs contractuelles applicables à des installations supposées bien dimensionnées et entretenues [2].

c) Etudes qui, sur la base de consommations mesurées d'immeubles font apparaître un

$$\text{«facteur de fonctionnement»} = \frac{\text{besoins théoriques de chaleur}}{\text{énergie consommée}}$$

qui, du fait des méthodes de calcul utilisées pour la détermination de (1) est supérieur au rendement réel des installations.

d) Comparaisons économiques issues de différents milieux:

- branche du fuel [5]
- branche de l'électricité [6]
- branche chauffage et climatisation [4]
- organismes d'état (aménagement du territoire, recherche du bâtiment, secteur de l'énergie, de l'environnement, etc.) [7, 8]
- organisations de consommateurs

Les rendements globaux ressortant de l'ensemble des documents consultés sont compris entre 0,4 et 0,75.

4.3 Rendement relatif des installations à fuel

Ce qui précède montre la difficulté d'appréhender, pour l'une et l'autre énergie, les valeurs des rendements effectifs. Ceci provient en particulier de la non-connaissance de l'énergie réellement utile.

D'intéressants renseignements sont fournis par des pays à fort développement de chauffage électrique (NL, F, GB, USA, RFA), où des travaux ont été orientés sur la détermination des besoins concernant la chaleur utile, donc ipso facto sur l'étude des apports gratuits d'énergie.

Les théories émises (4.2.1) sont confirmées pratiquement par des expériences comparatives faites sur des immeubles ne se différenciant que par le procédé de chauffage utilisé: fuel ou électricité.

La chaleur utile au chauffage est considérée comme étant égale à celle fournie au chauffage électrique direct.

Etant donné que la chaleur réellement utile au chauffage est la même, pour un immeuble donné, que la source soit du fuel ou de l'électricité, on aura:

$$i = \frac{\eta_{\text{inst. F}}}{\eta_{\text{inst. E}}} = \frac{\text{énergie consommée par installation E}}{\text{énergie consommée par installation F}}$$

i est en fait le rendement relatif de l'installation à fuel par rapport à celui de l'installation de chauffage électrique.

4.3.1 Valeurs pratiques issues de mesures

Il est intéressant de constater la cohérence des résultats de quelques analyses qui sont basées sur la mesure d'un grand nombre de cas.

a) Une communication présentée lors de la Conférence mondiale de l'énergie (Lausanne 1964) compare les énergies consommées sur plusieurs années par des immeubles situés à Oslo [14].

Il s'agit de 493 appartements chauffés à l'électricité et de 1587 appartements chauffés au fuel.

Les résultats sont,

pour les logements équipés de compteurs chaleur $\underline{i = 0{,}38}$
pour les logements sans compteurs de chaleur $\underline{i = 0{,}30}$

b) Les mesures opérées en 1968 par le Centre de recherche pour l'économie d'énergie de Karlsruhe sur des immeubles collectifs conduisent à un rendement relatif moyen de: $\underline{i = 0{,}45}$ [14].

c) L'Institut norvégien de recherche du bâtiment a établi [12] une analyse (1970/71) portant sur

70 immeubles tot. 1698 appartements pour l'électricité,
188 immeubles tot. 4431 appartements pour le fuel,
qui a permis de déterminer le rapport

$$\frac{\text{énergie consommée}}{\text{besoins théoriques de chaleur}}$$

Les valeurs moyennes obtenues sont pour l'électricité 0,97
pour le fuel 1,92

Ceci correspond à un rendement relatif i d'environ 0,5.

d) Lors du congrès de l'UNIPEDE (Göteborg 1972), 3 auteurs (USA, F, GB) confirment, par des voies différentes, la valeur d'un

«Rendement pratique d'utilisation» =

$$\frac{\text{chaleur utile au chauffage}}{\text{énergie consommée}} = 0{,}5$$

(valeurs extrêmes 0,4 et 0,6)

(La chaleur utile au chauffage est considérée comme étant celle consommée par le chauffage électrique direct, la valeur 0,5 correspond au rapport i.)

Pour la suite de la comparaison, la valeur moyenne $i = 0{,}5$ sera retenue.

5. Comparaison des consommations d'énergie primaire entre les chaînes fuel et électricité

5.1 Facteur de comparaison

Dans ce qui suit, la surconsommation d'énergie primaire pour du chauffage électrique sera exprimée par C:

$$C = \frac{\text{consommation d'énergie primaire pour la chaîne «électricité»}}{\text{consommation d'énergie primaire pour la chaîne «fuel»}}$$

$$C = \frac{\eta_{\text{f}}}{\eta_{\text{e}}} \cdot \frac{\eta_{\text{inst. F}}}{\eta_{\text{inst. E}}} = \frac{1}{0{,}31} \cdot i$$

5.2 Grands immeubles résidentiels

Entrent en considération des bâtiments à mêmes caractéristiques thermiques, notamment l'isolation, dont le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont:

- en comptage individuel pour l'électricité
- en comptage collectif pour le fuel

$$C = \frac{1}{0{,}31} \cdot 0{,}5 = \underline{1{,}6}$$

Dans ce cas, le chauffage électrique consommerait donc 60% plus d'énergie primaire que celui à fuel.

5.3 Maisons individuelles

Des valeurs comparées i pour de tels objets ne sont pas disponibles. La valeur $\underline{i = 0{,}5}$ correspondant à de grands immeubles devrait être influencée dans le sens d'une réduction:

- par le fait que les petites unités individuelles de chaufferie à fuel tendent à être surdimensionnées et présentent des rendements plus faibles.
- par le fait que les petites installations sont moins bien contrôlées et entretenues que les grandes.

La valeur $\underline{C = 1{,}6}$ sera néanmoins conservée: l'installation fuel étant à facturation individuelle, l'utilisateur est plus enclin et mieux à même d'exercer une volonté d'économie.

Cependant, l'hypothèse précitée d'une même isolation n'est actuellement pas du tout correcte. On constate que pratiquement, les maisons individuelles chauffées au fuel ne sont qu'extrêmement rarement isolées au niveau requis pour l'électricité (valeurs admises de G).

Il est facile de démontrer que les valeurs pratiques d'isolation pour l'électricité ont pour effet de diminuer d'environ 20 % l'énergie consommée par l'installation de chauffage.

Ceci entraîne:

$$C' = \frac{1}{0{,}31} \cdot 0{,}5\,(1 - 0{,}2 \cdot 0{,}85) = 1{,}34$$

[0,85 = part de la consommation affectée au chauffage]

En fait, pour la maison familiale, le facteur de comparaison aura plutôt tendance à être plus petit.

5.4 Evolution possible

Il est admis que l'installation de chauffage électrique retenue dans cette comparaison a atteint un niveau de performance maximum.

Par contre, le chauffage à fuel est encore perfectible. Par la rationalisation des installations et l'introduction du comptage individuel, une diminution de consommation de l'ordre de 15 % peut être attendue [2, 10, 11, 12].

Actuellement, les isolations mises en œuvre pour du tout électrique *) correspondent à un niveau de qualité thermique optimal, dans lequel l'évolution du prix de l'énergie n'a plus un rôle déterminant. Ce niveau de qualité thermique sera vraisemblablement généralisé lorsque le fuel aura doublé de prix. On peut donc s'attendre à avoir – à terme – une égalité des qualités d'isolation.

*) $G = 0{,}7$ à $1{,}2\ \mathrm{W/m^3 \cdot K}$, selon le type d'immeuble.

Dans ces conditions, la comparaison des énergies primaires devient:

$$C'' = \frac{1}{0{,}31} \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{(1 - 0{,}15)} = \underline{1{,}9}$$

Bibliographie

[1] *U. V. Büttikofer:* Compétitivité des chaudières au mazout combinées pour le chauffage central et la préparation d'eau chaude par rapport aux chauffe-eau électriques à accumulation. Bull. ASE, Pages de l'UCS, 56 (1965).

[2] *Normes VDI 2067,* feuilles 2 et 4: Wirtschaftlichkeitsberechnung von Wärmeverbrauchsanlagen (1974).

[3] *Complément à la recommandation SIA n° 180:* Rentabilité du chauffage et de l'isolation. Bull. «La construction du logement» N° 20 f (1971).

[4] *R. Schwedler:* Vergleich verschiedener Heizsysteme und Energieträger für Zentralheizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen. Bull. «Wärme-, Klima- und Sanitärtechnik», 10 (1969).

[5] *Union Suisse des Négociants en Combustible:* Coût des différents systèmes de chauffage. Lausanne (1976).

[6] *Commission Suisse d'Electrothermie:* Le chauffage électrique des locaux. Electrodiffusion, Zurich (1974).

[7] *M. Trichard, L. Fontanel, P. le Levreur:* Comparaison économique globale des dépenses énergétiques dans les logements selon la source d'énergie utilisée. Comité Français d'Electrothermie (1977), IIc2.

[8] *Office fédéral de l'économie énergétique et Sulzer AG:* Städtefernheizung. EDMZ (1974).

[9] *L. Shepherd:* L'électricité et les autres formes d'énergie du point de vue du consommateur. UNIPEDE (1972), comm. 3.7.

[10] *Fondation suisse pour l'énergie:* Rapport N° 3 (1977).

[11] *Département fédéral des transports, communications et de l'énergie:* Economiser l'énergie, où et comment (1978).

[12] *H. Hagen:* Comparaison économique de divers systèmes de chauffage. UNIPEDE (1972), comm. 3.8.

[13] *R. Wolf:* Chauffage et conditionnement électriques des locaux. Eyrolles (1974).

[14] *H. Moditz:* Elektrische Raumheizung. Springer-Verlag (1975).

Adresse de l'auteur

François Jolliet, Division Energie de la Société Romande d'Electricité, 1815 Clarens.