

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 28 (1937)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Questions économiques relatives au chauffage électrique des locaux habités  
**Autor:** Regard, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059866>

### **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:** 14.01.2026

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

Küche und Heisswasserbereitung abgelesen und in Tabelle II zusammengestellt.

### 2. Kaffeemaschine und Kühlschrank.

Der mittlere monatliche Energieverbrauch beträgt für beide Apparate zusammen 330 kWh im Tagerstarif und 60 kWh im Nachttarif. Um ein Bild über den *Energiekonsum für die Kaffeemaschine* zu erhalten, wurde während 11 Tagen die Leistung und der Energieverbrauch festgestellt. Es wurden 213 Liter Kaffee und 33 Liter Milch zubereitet bei einem Energiekonsum von 102,6 kWh.

Die *Energiekosten* belaufen sich im Mittel auf 47 Rp. pro Tag oder 2,1 Rp. pro Liter.

Es handelt sich um eine dreiteilige Maschine älteren Systems. Das in einem ersten Gefäss erzeugte Gemisch von Wasser und Wasserdampf wird durch ein Rohr in ein zweites Gefäss mit Filter geleitet; der Kaffee sammelt sich in einem dritten Gefäss, in dem er dauernd warm gehalten wird. Die zwei Heizstellen wurden ursprünglich mit Gas betrieben. Die Gasbrenner wurden im Oktober 1934 durch elektrische Kochplatten ersetzt. Dieser Umbau hat sich sehr gut bewährt; die Maschine arbeitet einwandfrei. Sie könnte mit wenig erhöhtem Energieverbrauch auch ein Mehrfaches leisten.

### 3. Kraft.

Am Zähler für motorische Energie sind zwei Motoren mit zusammen 0,56 kW angeschlossen. Der Energieverbrauch betrug im Mittel pro Monat 34,2 kWh.

### 4. Licht.

Am Zähler für Licht sind total 22 Lampen mit 1800 Watt angeschlossen. Der mittlere Energieverbrauch pro Monat betrug 167,0 kWh im Hochtarif und 274,0 kWh im Niedertarif.

### 5. Totaler Energieverbrauch und Energiekosten.

Im folgenden sind die Ergebnisse der Erhebungen im Restaurant Kappelerhof in Zürich zusammengestellt (Tabelle III):

Pro Jahr beträgt der gesamte Energieverbrauch 53 550 kWh; die Kosten betragen Fr. 3716.20. Pro Monat beträgt der gesamte Energieverbrauch im Mittel 4462 kWh; die Kosten betragen im Mittel Fr. 310.—.

### Energieverbrauch und Energiekosten

vom 1. April 1934 bis 31. März 1936, 24 Monate mit 730 Tagen

Tabelle III.

|  | Anschlusswert kW | Energieverbrauch kWh | Fr.     | Mittel Rp./kWh |
|--|------------------|----------------------|---------|----------------|
| Küche . . . . .                        | 71,350           | 54 120               | 2578.10 | 4,8            |
| Heisswasser . . . .                    | 8,300            | 32 080               | 1085.10 | 3,4            |
| Kraft . . . . .                        | 0,555            | 790                  | 134.30  | 17,0           |
| Licht . . . . .                        | 1,800            | 10 508               | 3104.90 | 29,5           |
| Kaffeemaschine und Kühlschrank . . . . | 3,380            | 9 610                | 440.00  | 4,6            |
| Zählergebühr und Grundtaxe . . . .     |                  |                      | 90.00   |                |
| Total                                  | 85,385           | 107 108              | 7432.40 | 6,9            |

Für *Kochen und Heisswasserverbrauch* zeigt Tabelle IV die mittleren Zahlen im Verhältnis zu den Einnahmen aus warmer Küche im Betrage von Fr. 59 388.— während zwei Jahren oder Fr. 2474.— pro Monat (ohne Kaffee und ohne Berücksichtigung des Verbrauches der Familienmitglieder und des Personals).

Tabelle IV.

|                              | Pro 100 Fr. Einnahmen aus warmer Küche im Monat |                   |
|------------------------------|---|-------------------|
|                              | Energiekonsum kWh                               | Energiekosten Fr. |
| Kochen . . . . .             | 91,0  | 4.37              |
| Heisswasserbereitung . . . . | 54,0  | 1.83              |
| Total                        | 145,0   | 6.20 = 6,20%      |

Bei Berücksichtigung des Verbrauches der Familienmitglieder und des Personals beträgt der mittlere Energieverbrauch pro 100 Fr. Einnahmen aus warmer Küche 69,5 kWh für das Kochen und 41,3 kWh für die Heisswasserbereitung. Die Energiekosten betragen dann 4,74 % der Einnahmen aus warmer Küche.

Die totalen Einnahmen des Restaurationsbetriebes betragen in den 24 Monaten Fr. 193 972.— oder Fr. 8082.— pro Monat. An dem Tage mit der grössten Einnahme aus warmer Küche (22. Dez. 1935) wurden Fr. 302.— eingenommen, was einer Monateinnahme von Fr. 9185.— entsprechen würde, während das Mittel Fr. 2474.— beträgt. Diese Zahlen beweisen neuerdings die Leistungsfähigkeit und Elastizität des elektrischen Grossküchen-Betriebes.

## Questions économiques relatives au chauffage électrique des locaux habités.

621.364.3

Le Service d'Exploitation et de Recherches de la Centrale de Chauffage urbain de l'Ecole Polytechnique Fédérale à Zurich, a publié en 1935, sous ce titre, une fort intéressante étude<sup>1)</sup> de son directeur M. B. Bauer, Professeur, et de M. W. Peter, Ingénieur. On se propose, dans ce qui suit, d'exposer les grandes lignes de cette étude et d'en résumer les conclusions.

### 1<sup>o</sup> Généralités.

Le chauffage électrique paraît, de toute évidence, grâce à son rendement élevé et à sa simplicité, représenter la solution idéale vis-à-vis du chauffage par combustible, s'il n'existait pas, en sa défaveur, divers arguments fondamentaux touchant son économie au point de vue de l'énergie, et que l'on est tenté d'oublier ou d'ignorer. La transformation de l'énergie électrique en chaleur de chauffage, dont la valeur intrinsèque est très médiocre, signifie thermodynamiquement un non-sens, du fait que cette énergie se trouve être grevée, dès sa production, de frais de capital infiniment supérieurs à ceux affectant l'unité de chaleur produite par n'importe quel combustible naturel. Le fait que les pertes de transformation en chaleur de l'énergie électrique sont

pour ainsi dire à peu près nulles, vis-à-vis de celles qui interviennent dans l'utilisation du combustible pour le chauffage, ne change rien à cette situation. — L'électricité n'arrivera à concurrencer les combustibles naturels, dans le domaine du chauffage, même si le prix de ceux-ci devait très fortement augmenter, que si l'on parvient à alléger son prix de revient de la majeure part des frais de capital qui l'affectent. Il faudrait pour cela transposer la part fixe de ces frais sur l'énergie de haute qualité absorbée par d'autres catégories de consommateurs, lumière et force motrice, p. ex., mais alors le jeu naturel de la concurrence s'en trouverait déséquilibré, et les combustibles risqueraient de devenir, dans ces domaines-là, des concurrents redoutables de l'électricité. — Si donc, en période de prospérité, la question de l'électrification du chauffage ne se pose même pas, faute de présenter un intérêt économique suffisant, il n'en serait plus de même si l'on devait être amené un jour à restreindre à tout prix nos importations de combustibles, et à utiliser intégralement notre énergie électrique, même à très bas prix, pour la fraction qui couvrirait une partie des besoins de chauffage. C'est dans cette éventualité qu'il convient d'examiner dans quelle mesure la science et la technique seraient susceptibles de contribuer au relèvement de l'économie de cette branche future d'application de l'électricité.

<sup>1)</sup> Energiewirtschaftliche Betrachtungen zum Problem der elektrischen Raumheizung. Schweiz. Wasser- u. Energiewirtschaft 1935, No 7 et 8.

## 2° Les besoins de chauffage.

Au point de vue thermodynamique pur, le chauffage idéal serait celui pour lequel les déperditions de chaleur du local et de ses occupants seraient constamment compensées par l'afflux de chaleur artificielle de l'installation de chauffage. Cette chaleur artificielle n'est pas récupérable dans les systèmes actuels, de sorte qu'elle signifie une perte d'énergie absolue et totale. Pour les conditions modernes actuelles, il y a lieu de compter, pour le chauffage uniquement, de 2500 à 4000 Mcal par tête d'habitant et par an<sup>2)</sup>, contre 200 à 500 à l'époque où l'on se chauffait encore au bois. Pour les années 1931/33, il ressort des statistiques des importations de combustibles que les besoins de chauffage ont atteint 1300 Mcal par habitant et par an, soit 5300 millions de Mcal pour l'ensemble du pays, dont le 78 % a été produit par le charbon fossile.

D'un rapport présenté à la dernière Conférence Mondiale de l'Energie, la consommation spécifique en chaleur de chauffage, en Mcal par habitant et par an, comporte, pour les années 1931/33: 1050 en Suisse, 1530 en France, 2850 en Allemagne et 3050 en Angleterre. Pour ces deux derniers pays, elle documente en-dehors des considérations climatologiques, l'influence du prix très bas des combustibles vis-à-vis de la Suisse, si bien que là-bas la quantité totale de combustible utilisée pour le chauffage surpasse de 4 à 5 fois celle correspondant à la production annuelle totale d'énergie électrique consommée à l'intérieur de ces deux pays.

S'il devait s'agir, en Suisse, de produire toute la chaleur de chauffage par l'électricité, un travail de 6500 millions de kWh, réparti sur les 200 jours annuels seulement que comporte la période moyenne de chauffage serait nécessaire, mesuré chez les consommateurs. — La mise en valeur intégrale de toutes nos forces hydrauliques encore non aménagées, en plus des usines existantes, ne suffirait donc pas à assurer le chauffage électrique en totalité.

## 3° Quantité d'énergie nécessitée pour le chauffage.

Pour un local ou bâtiment déterminé, la quantité de chaleur par unité de temps  $P_{q1}$  nécessaire au chauffage peut être exprimée par une relation de la forme:

$$P_{q1} = \alpha \cdot k \cdot A (t_1 - t_0)$$

et dans laquelle  $t_1$  et  $t_0$  sont les températures intérieures et extérieures,  $A$  la surface totale à travers laquelle s'effectuent les pertes et déperditions de chaleur,  $\alpha$  un coefficient correctif pour tenir compte des variations des pertes dues à l'influence du vent, du soleil, etc., et  $k$  le facteur moyen des pertes spécifiques de chaleur à travers les murs, portes, fenêtres, plafonds, etc. — On admet pour  $t_0$  un minimum de  $-15$  à  $-20^\circ$  C, alors que  $t_1$  varie, selon les cas, entre  $+10$  et  $+20^\circ$  C. Or les relevés de la Station météorologique de Zurich des années 1863 à 1903 font constater que cette moyenne journalière de  $-20^\circ$  C n'a jamais été atteinte, bien que, évidemment, cette température ait pu régner momentanément au cours de certaines journées d'hiver. Pour les années 1933 et 1934, le minimum journalier enregistré n'est jamais non plus descendu au-dessous de  $-10^\circ$  C, et il y a eu des hivers où la température extérieure ne s'est jamais abaissée en-dessous de  $0^\circ$  C. Il en résulte que la durée d'utilisation de la centrale de chauffage urbain, dont la puissance maximum a été calculée pour  $t_0 = -20^\circ$  C est franchement mauvaise. — Il y aurait donc lieu d'examiner si, pour des installations futures de chauffage, il ne serait pas indiqué de tabler sur une température extérieure minimum supérieure à  $-20^\circ$  C, en vue d'en réduire le coût, et d'habituer les bénéficiaires du chauffage à se contenter d'une température intérieure plus basse que celle de  $+20^\circ$  C admise normalement. — Selon les hygiénistes français, il n'y aurait du reste aucun inconvénient pour la santé d'admettre  $+10^\circ$  comme température intérieure, lorsque celle de l'extérieur descend au-dessous de  $0^\circ$  C. — Une réforme dans ces deux sens aurait pour effet de réduire d'une part les frais d'installation, et d'autre part d'améliorer sensiblement la durée d'utilisation des installations de chauffage. Cette durée, rapportée à la puissance calculée pour  $-20^\circ$  C max. est d'en-

viron 900 à 1100 h, pour atteindre 1200 h en hiver rigoureux, ceci pour une température intérieure maintenue entre  $+16$  et  $+19^\circ$  C.

Pour les centrales électriques, les auteurs concluent que, au point de vue de l'exploitation, un raccordement de chauffage électrique ne peut qu'influencer défavorablement le diagramme de charge, puisque le chauffage ne fonctionne que 200 jours env. par an, et que la puissance maximum n'intervient que pendant un nombre très restreint de jours. La charge due au chauffage n'atteindrait en effet que le 50 % de la puissance installée pendant 150 à 175 jours, et le 25 % seulement en avant et arrière-saison. Un appoint d'énergie d'accumulation serait ainsi nécessaire en plein hiver puisque que les usines au fil de l'eau sont le plus souvent à court à cette époque de l'année.

La puissance de chauffage à installer peut être évaluée à 17 à 22 kcal par heure et par  $m^3$  de volume à chauffer, pour la région Nord-Est de la Suisse, ce chiffre n'ayant qu'une valeur informative.

## 4° Prix d'équivalence du kWh de chauffage.

Les auteurs examinent la question du point de vue du consommateur, et cherchent à établir le prix d'équivalence du kWh de chauffage par rapport au combustible, pour le cas d'un chauffage central au coke ou au charbon, mais sans faire intervenir pour le prix du kWh un supplément qui se justifierait pleinement en raison des avantages notoires d'ordre pratique qu'offre le chauffage électrique. — La comparaison est établie pour les 3 cas suivants: *Cas A: Chauffage électrique direct total*, au moyen d'appareils électriques de chauffage répartis dans les divers locaux. Variante A': sans, et Variante A'' avec accumulation de chaleur en utilisant de l'énergie de nuit. *Cas B: Chauffage électrique indirect* à eau chaude ou à vapeur, avec accumulation journalière de chaleur par réservoirs d'eau chaude ou de vapeur alimentés par l'énergie de nuit.

Pour ces deux cas, le prix d'équivalence  $C_e$  du kWh est donné, à la suite de calculs et déductions mathématiques dans le détail desquels nous ne pouvons entrer ici, sous la forme d'une expression binôme  $C_e = A + B$ . Le premier terme  $A$  dépend du prix du combustible, alors que le second terme  $B$  est fonction du capital investi et de la durée d'utilisation annuelle. — Le prix  $C_e$  augmentera (ce qui est évident) avec le prix du combustible, et à mesure que le rendement de la chaudière à combustible deviendra plus mauvais, comme aussi avec la différence entre le coût de l'installation de chauffage électrique et le coût de l'installation à combustible. — En outre,  $C_e$  augmente aussi à mesure que la durée d'utilisation diminue, ce qui signifie que, pour la Centrale, une installation d'une faible durée de fonctionnement annuelle (région de climat doux), est particulièrement intéressante.

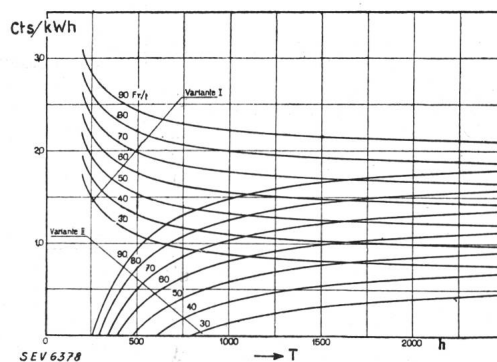


Fig. 1.

Prix d'équivalence (cts./kWh) en fonction de la durée d'utilisation (h) et du prix du coke (fr./t.), pour chauffage électrique direct et total, sans (variante I) et avec (variante II) accumulation de chaleur au moyen de l'énergie de nuit.

Les conditions deviennent inverses si le coût de l'installation électrique surpasse celui de l'installation à combustible. Il faut alors, pour que  $C_e$  augmente, que la durée d'utilisation soit élevée. Appliquée au cas d'une maison à 4 étages comportant 4 appartements de 5 pièces, nécessitant une puis-

<sup>2)</sup> 1 Mcal (Mégacalorie) = 1000 kcal (kilocalories); 1 kWh = 0,86 Mcal.

sance de chauffage de 60 Mcal/h au total, la relation  $C_e = A + B$  peut être, pour le cas A (chauffage électrique direct total) mise graphiquement sous la forme du diagramme fig. 1.

En en ressortant quelques chiffres, on peut établir le tableau I du prix équivalent du kWh, dans le cas d'un chauffage électrique total.

*Prix d'équivalence pour le chauffage électrique total*  
 $P_{q1} = 60$  Mcal/h (solution A).

Tableau I.

| Prix du combustible<br>$C_b$ | Prix de l'énergie électrique |                    |                    |                   |                    |                    |
|------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
|                              | Variante I                   |                    |                    | Variante II       |                    |                    |
|                              | 800 h<br>cts./kWh            | 1000 h<br>cts./kWh | 1200 h<br>cts./kWh | 800 h<br>cts./kWh | 1000 h<br>cts./kWh | 1200 h<br>cts./kWh |
| 40.-                         | 1,16                         | 1,10               | 1,07               | 0,23              | 0,36               | 0,45               |
| 50.-                         | 1,38                         | 1,33               | 1,29               | 0,46              | 0,59               | 0,67               |
| 60.-                         | 1,60                         | 1,55               | 1,52               | 0,68              | 0,81               | 1,10               |
| 70.-                         | 1,82                         | 1,77               | 1,73               | 0,90              | 1,03               | 1,12               |

L'analyse de ce tableau conduit aux constatations suivantes : Pour le cas normal d'une durée d'utilisation de 800 à 1200 h, le facteur «prix du combustible» a une influence plus grande que le facteur «capital investi». — Pour les prix de 40 à 70 fr./t de coke, le prix d'équivalence du kWh devient très bas. L'accumulation de chaleur (Variante II) n'est pas intéressante pour la centrale électrique, si cette dernière fournit de l'énergie par voie hydraulique, mais elle le devient par contre si la centrale électrique produit son énergie par voie thermique.

*Cas C: L'installation de chauffage est mixte*, et comporte une chaudière à combustible pour la période de plein chauffage, et en parallèle une chaudière électrique fonctionnant de préférence en période d'avant- et d'arrière-saison. — L'installation de distribution de chaleur est autrement identique à celle du cas B. L'étude de ce cas conduit à des développements mathématiques beaucoup plus compliqués, et le prix d'équivalence prend la forme  $C_e = A \cdot f + B$ , où  $f$  est un facteur traduisant l'influence de la variation du rendement de la chaudière à combustible par suite de l'exploitation mixte. Le terme  $B$  ne comprend plus que le coût spécifique de l'installation électrique complémentaire. L'analyse de l'équation du cas C est très ardue, et les auteurs doivent convenir que certains de ses termes ne peuvent être évalués qu'arbitrairement, et que chaque cas concret doit faire l'objet d'une étude approfondie. Le rapport de la puissance électrique installée  $P_{e1}$  à la puissance totale de chauffage  $P_{q1}$  de l'installation, joue ici un rôle primordial. Pour le cas d'une puissance de chauffage de 1000 Mcal/h, le prix équivalent optimum du kWh s'établit pour un rapport  $P_{e1}/P_{q1}$  de 35 % env., mais chaque cas doit être ici aussi étudié en détail. En résumé, le tableau II donne le résultat des calculs pour le cas d'une puissance totale de chauffage de 1000 Mcal/h et pour divers rapports  $P_{e1}/P_{q1}$ .

*Prix d'équivalence pour le chauffage électrique d'appoint combiné avec une chaudière à combustible*  
 (solution C).

$P_{q1} = 1000$  Mcal/h  $T = 1200$  h

Tableau II.

| $\frac{P_{e1}}{P_{q1}}$ | $P_{e1}$<br>Mcal/h | $T_e$<br>h | $P_e$<br>kW | A<br>1000 kWh | Prix du combustible $C_b$ en fr./t |                   |                   |                   |
|-------------------------|--------------------|------------|-------------|---------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                         |                    |            |             |               | 40                                 | 50                | 60                | 70                |
|                         |                    |            |             |               | $C_e$<br>cts./kWh                  | $C_e$<br>cts./kWh | $C_e$<br>cts./kWh | $C_e$<br>cts./kWh |
| 0,15                    | 150                | 965        | 180         | 173           | 0,64                               | 0,86              | 1,10              | 1,30              |
| 0,35                    | 350                | 2240       | 415         | 930           | 0,85                               | 1,10              | 1,34              | 1,59              |
| 0,55                    | 550                | 2180       | 650         | 1410          | 0,82                               | 1,04              | 1,28              | 1,50              |
| 0,75                    | 750                | 1650       | 900         | 1480          | 0,78                               | 1,00              | 1,22              | 1,44              |

Les calculs ont enfin été effectués pour l'exemple du cas A, d'une installation de 60 Mcal/h mixte, avec durée d'utilisation de 1220 h. La puissance électrique optimum est ici aussi de 35 % env., et pour un prix du coke de 50 fr./t, le prix d'équivalence s'établit à 0,95 cts./kWh.

La comparaison finale des trois cas étudiés ressort du tableau III.

*Prix d'équivalence pour les trois solutions  $A_I$ ,  $A_{II}$  et C.*  
 Chauffage des locaux  $P_{q1} = 60$  Mcal/h  $T = 1200$  h  
 $C_b = 50$  fr./t.

Tableau III.

| Solution   | $P_{e1}$<br>Mcal/h | $P_e$<br>kW | $T_e$<br>h | A<br>kWh | $C_e$<br>cts./kWh |
|--|--------------------|-------------|------------|----------|-------------------|
| $A_I$ électrique intégral sans accumulation . .            | 60                 | 70          | 1200       | 84 000   | 1,29              |
| $A_{II}$ électrique intégral avec accumulation journalière | 60                 | 70          | 1200       | 84 000   | 0,57              |
| C chauffage combiné électrique et à combustible . .        | 21                 | 25          | 2240       | 56 000   | 0,95              |

On en déduit que le chauffage mixte, pour un choix judicieux de la puissance électrique, ne le cède que de peu au chauffage électrique total direct sans accumulation de chaleur, et qu'il est plus avantageux que ce dernier si l'on utilise l'énergie de nuit pour accumulation. La majeure partie de l'énergie, si ce n'est la totalité, se concentre sur l'automne et le printemps, où les usines au fil de l'eau disposent encore d'un débit suffisant. Enfin, les centrales électriques se trouvent être déchargées de la pointe totale d'énergie de chauffage, puisque le 35 % env. seulement de la puissance max. de chauffage est à produire électriquement. Les raccordements électriques ne sont par suite à installer que pour cette fraction de puissance.

Les considérations qui précèdent ne peuvent malgré tout infirmer le fait déjà relevé que pour les centrales électriques, la généralisation du chauffage électrique sur les bases envisagées, signifierait une fort mauvaise affaire. — Ce résultat ne serait pas fortement amélioré même si le prix des combustibles augmentait de 30 à 50 %. Enfin, une réduction du coût des installations électriques de chauffage n'avantagerait pas les résultats d'une manière appréciable.

Dans ces conditions, le problème ne peut trouver une solution économiquement acceptable qu'en appliquant un principe tout différent, à savoir le «pompage thermique», dans lequel l'énergie électrique n'a plus qu'à jouer le rôle plus intéressant de force motrice.

### 5<sup>e</sup> Le pompage thermique.

Tous les systèmes actuels de chauffage produisent continuellement la chaleur utile par transformation d'agents primaires (combustible, électricité, etc.), pour l'abandonner ensuite, sans récupération quelconque, à l'air qui nous environne. Pourquoi ne serait-il pas possible de puiser cette chaleur aux sources naturelles toujours renouvelées, l'air extérieur, l'eau de nos lacs et de nos fleuves, p. ex.? Selon le théorème de Clausius, il est possible, moyennant appoint de travail mécanique, d'élever une certaine quantité de chaleur jusqu'à un niveau de température supérieur à celui sous lequel elle existe. Le travail dépensé à cet effet se transforme à son tour en chaleur utilisable, qui vient s'ajouter à la chaleur originale dont on cherche à tirer parti. — Tel est, en résumé, le principe du thermo-pompage.

Pour le réaliser, il faut utiliser un agent de transmission entre la chaleur empruntée à l'extérieur et celle que l'on veut utiliser au chauffage, et dont la température doit par expansion être amenée à une valeur suffisamment basse  $T_v$ , pour que cet agent puisse absorber la chaleur extérieure à la température  $T_a$ , et dont d'autre part la température, dans la région de la chaleur utilisée au chauffage, doit être portée par compression à un étage suffisamment élevé  $T_k$ , pour qu'il puisse abandonner sa chaleur à l'air intérieur (à la température  $T_i$ ) qu'il s'agit de chauffer, ou à l'eau de circulation du chauffage central. On aura ainsi constamment:  $T_k > T_i$  et  $T_v < T_a$ .

L'étude mathématique du cycle conduit à la formule:

$$P_{e1} = \frac{P_{q1}}{\eta_m} \cdot \frac{T_k - T_v}{T_k - T_v(1 - \eta_k)}$$

dans laquelle  $P_{e1}$  = puissance électrique à fournir au cycle,  $\eta_m$  = rendement du moteur, et  $\eta_k$  = rendement du cycle



dans son ensemble. Il faut donc, pour que  $P_{e1}$  soit faible, que la différence des températures  $T_k - T_v$ , ou ce qui revient au même,  $T_i - T_a$  soit faible. Une réduction de cette différence peut être obtenue:

1° par des dispositions techniques telles que pour des températures  $T_i$  et  $T_a$  données, l'expression  $T_k - T_v$  soit diminuée. — Ce postulat est très difficile à harmoniser avec la nécessité matérielle d'utiliser des échangeurs de chaleur de dimensions et de coût acceptables. — C'est ici que réside le point capital du problème, qui ouvre aux chercheurs un champ extrêmement vaste.

2° par l'emploi d'un procédé permettant l'utilisation d'une température  $T_a$  aussi élevée que possible. En l'état actuel de la technique, et quel que soit le type d'évaporateur que l'on envisage, on ne peut songer, économiquement, à installer ces appareils à l'air de l'extérieur, en hiver, l'échange de chaleur étant spécifiquement insuffisant. — On pourrait par contre imaginer une puissante installation à proximité d'un lac ou d'un fleuve, comme aussi un évaporateur récupérant l'air chaud évacué par une installation d'aération. — En suivant le fil de cette idée, rien n'empêche de concevoir le chauffage réalisé par réchauffage de l'air frais, selon le procédé de régénération thermique.

3° par des mesures techniques en vue d'abaisser la température  $T_i$ . A ce sujet, le chauffage par rayonnement, fonctionnant à des températures relativement basses, présente un intérêt évident. C'est dans ce même sens qu'agirait le postulat des hygiénistes français, de réduire la température intérieure quand la température extérieure s'abaisse.

Le calcul a été fait pour le cas d'une installation de 1000 Mcal/h, d'une durée d'utilisation de 1220 h, à eau chaude; pour la variante I, on a adopté la température de 80 à 40° C pour l'eau, comme dans les systèmes courants actuels. Pour la variante II, on a adopté celle de 55 à 15° C d'un chauffage par rayonnement, alors que la variante III envisage l'emploi d'eau de rivière à 5° C au lieu de l'air extérieur variable de -20 à +10° C. — Dans tous ces 3 cas, le calcul a envisagé 3 étages distincts de 10, 20 et 30° C pour la différence de température  $T_k - T_i$ , resp.:  $T_a - T_v$  intervenant pour les échangeurs de chaleur (tableau IV).

été pour le rafraîchissement de la température intérieure  $T_i$ . La combinaison de la production de froid en été, ou à demeure, avec le chauffage des locaux serait donc susceptible de conduire à des conditions d'exploitation plus économiques. Ces conclusions ne peuvent ni ne doivent être considérées comme définitives, car l'étude de ce problème est poursuivie méthodiquement.

(Résumé établi par F. Regard, Zollikon.)

L'auteur de ces lignes, qui s'est occupé assez à fond du problème du chauffage électrique, se croit autorisé à présenter les quelques observations générales suivantes:

a) La généralisation d'un problème, qui en lui-même ne pourra pratiquement jamais être généralisé, conduit forcément à des conclusions en partie aléatoires, et capables de présenter, dans l'interprétation des résultats, certains dangers. — M. Bauer relève du reste lui-même à diverses reprises, que chaque cas individuel doit être étudié pour lui-même et très à fond.

b) Pour une étude de cette envergure, il faut partir d'un certain nombre d'hypothèses et de suppositions qui, si elles sont justifiées pour quelques cas pris individuellement, ne sont plus valables a priori pour l'ensemble. C'est ainsi que le rendement des chaudières à combustible a été admis de 55 %, ce qui, pour un service de chauffage saisonnier, ne correspond de loin pas à la réalité. Les travaux des ingénieurs anglais, Barker<sup>3)</sup> et Ackery<sup>4)</sup>, pour ne citer que les plus connus, font ressortir que le rendement global saisonnier d'un chauffage à combustible, en tenant compte raisonnablement de tous les facteurs qui interviennent, intermittence cyclique journalière ou hebdomadaire du chauffage, régle, conduite du feu, rendement organique du système, etc., ne dépasse pas 10 à 30 % pour le coke, pour chauffage continu, et 10 à 20 % pour chauffage intermittent.

c) Depuis la dévaluation du franc suisse de septembre 1936, les prix des combustibles ont augmenté dans une proportion considérable, en même temps que l'on dispose aujourd'hui de chaudières électriques qui ne coûtent plus qu'une fraction du prix admis par M. Bauer pour son étude.

#### Puissances électriques et quantités de chaleur pour le chauffage des locaux par thermo-pompe.

Puissance de chauffage installée  $P_{q1} = 1000$  Mcal/h  $T = 1220$  h  $Q = 1\,220\,000$  Mcal

Tableau IV.

| $(T_k - T_i)$<br>resp.<br>$(T_a - T_v)$<br>° C | Variante I  |               |         |          |            | Variante II   |               |         |          |            | Variante III  |               |         |          |            |
|--|---|---------------|---------|----------|------------|---|---------------|---------|----------|------------|---|---------------|---------|----------|------------|
|  | Circuit interne: eau chaude 80 à 40° C<br>Circuit externe: air libre -20 à +10° C |               |         |          |            | Circuit interne: eau chaude 55 à 15° C<br>Circuit externe: air libre -20 à +10° C |               |         |          |            | Circuit interne: eau chaude 80 à 40° C<br>Circuit externe: eau de rivière +5° C |               |         |          |            |
|  | $P_{e1}$  |               | $Q_e$   |          | $T_e$<br>h | $P_{e1}$  |               | $Q_e$   |          | $T_e$<br>h | $P_{e1}$  |               | $Q_e$   |          | $T_e$<br>h |
|  | Mcal/h  | % de $P_{q1}$ | Mcal    | % de $Q$ |            | Mcal/h  | % de $P_{q1}$ | Mcal    | % de $Q$ |            | Mcal/h  | % de $P_{q1}$ | Mcal    | % de $Q$ |            |
| 10   | 730   | 73,0          | 540 000 | 44,3     | 740        | 590   | 59,0          | 304 000 | 24,9     | 515        | 540   | 54,0          | 439 000 | 36,0     | 810        |
| 20   | 855   | 85,5          | 670 000 | 55,0     | 785        | 670   | 67,0          | 455 000 | 37,3     | 680        | 655   | 65,5          | 570 000 | 46,7     | 870        |
| 30   | 945   | 94,5          | 790 000 | 64,8     | 840        | 770   | 77,0          | 580 000 | 47,5     | 745        | 760   | 76,0          | 720 000 | 59,0     | 950        |

On relève, tant pour l'économie en énergie électrique que pour la puissance installée, l'influence primordiale de la différence de température adoptée pour les échangeurs de chaleur. Cette influence sur le pourcentage que représente la puissance électrique installée par rapport à la puissance totale de chauffage, est particulièrement frappante. — On relève de plus l'effet favorable d'une réduction de  $T_i$ , en laissant  $T_a$  invariable, de même que l'avantage qu'il y aurait à utiliser une température plus élevée  $T_a$  de l'eau de rivière. — A noter que le rendement total du cycle,  $\eta_k$ , avait été calculé comme étant compris entre 40 et 50 %. — Le prix d'équivalence  $C_e$  du kWh s'établirait de la même façon que pour les cas A et B examinés sous 4°, mais ils ne sont malheureusement pas indiqués à l'étude, ce qui est assez regrettable, car pour les centrales électriques, quelques indications, même très approximatives, auraient été les bienvenues, d'autant plus qu'à ce sujet les chiffres les plus contradictoires ont été articulés de divers côtés. Quant aux frais d'installation, ils sont de beaucoup supérieurs à ceux d'une installation normale de chauffage central, et les conditions s'améliorent faiblement si l'installation est utilisée en

d) Les différences très sensibles sur les frais d'entretien et d'exploitation des chauffages à combustibles et de ceux électriques, comme aussi les économies souvent fort élevées dans la construction des bâtiments munis d'un chauffage électrique, jouent un rôle important, dont il n'a peut-être pas été tenu suffisamment compte, semble-t-il, dans l'étude de M. Bauer.

Ces diverses remarques sont toutes à l'avantage du chauffage électrique, et influenceraient sans doute les résultats publiés par M. Bauer dans un sens favorable à l'électricité.

Quoi qu'il en soit, il est certain que tous les résultats donnés en 1935 ne sont plus valables pour 1937, si l'on tient compte des changements économiques et autres intervenus entre temps. Les chiffres applicables aujourd'hui feraient sans exception ressortir la comparaison d'une manière beaucoup plus favorable économiquement, pour le chauffage

<sup>3)</sup> Journal of the Institution of Electrical Engineers, Vol. 72, No. 436, April 1933 «The Relative Fuel Economy of Electricity, Gas, Oil and solid Fuels as Heating Agents» by A. H. Barker.

<sup>4)</sup> «Fuel Economy Review», Vol. XIV 1935; Electric Boilers, by E. M. Ackery.

électrique. — Les chiffres de 1935 font en définitive paraître le chauffage électrique sous un jour trop défavorable pour l'époque de 1937.

Au surplus, les comparaisons de l'étude de M. Bauer ne peuvent évidemment présenter qu'une validité de courte durée, en période d'évolution économique telle que nous la traversons depuis près de 20 ans, et où certains événements entraînent subitement des transformations et des modifications radicales. — D'autre part, il existe et il existera tou-

jours des cas particuliers pour lesquels le chauffage électrique est en mesure de concurrencer avantageusement le chauffage par combustible, et où le prix d'équivalence sera avantageux pour les centrales électriques. La généralisation d'un problème semblable est susceptible de fausser quelque peu certains résultats, et de conduire à des conclusions qui sont loin d'être valables dans tous les cas, et dont la durée de validité est de toute manière très limitée.

F. Regard, Zollikon.

## Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

### Das 220-kV-Netz der Pariser Region.

621 311.1(44)

#### 1. Allgemeines und Netzplan.

Das Gebiet von Paris ist wegen seines grossen Energiekonsums und seiner geographischen Lage ein Knotenpunkt des französischen Leitungsnetzes. In den Jahren 1930 bis 1932 wurde in Paris ein Netz von insgesamt 1400 km einpoliger 60-kV-Kabel verlegt, welches seither alle Erwartungen erfüllt und gleichzeitig der Energieverteilung wie auch der Verbindung der verschiedenen Werke unter sich dient.

Der stets steigende Energieverbrauch und die zunehmende Verwendung elektrischer Energie hydraulischen Ursprungs führten dazu, dass seit dem Jahre 1932 Vorstudien für ein neues Netz grosser Leistungsfähigkeit in Angriff genommen wurden. Dieses neue Netz soll ausschliesslich dem Energie-transport und der Verbindung der Netzgruppen der verschiedenen Landesteile Frankreichs dienen. Für die Planung und Erstellung dieses Netzes gründeten die führenden Elektrizitätsgesellschaften von Paris eine neue Gesellschaft, die «Société parisienne d'Interconnexions électriques», kurz «Inter-Paris» genannt.

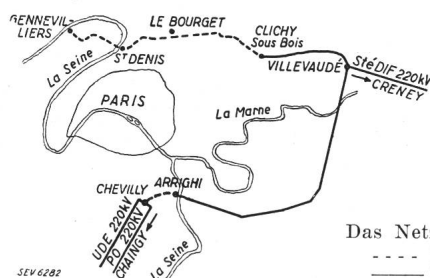


Fig. 1.

Das Netz der «Inter-Paris».  
--- Kabel.  
— Freileitung.

Die Studien führten zu dem seit 1936 im Betriebe stehenden, aus Kabel und Freileitung zusammengesetzten 220-kV-Netz gemäss Fig. 1. Das Netz weist folgende neuerstellte Hauptteile auf:

- Unterwerke von 220 kV in Saint-Denis und Villevaudé. Am Uebergang zwischen Freileitung und Kabel in Clichy sind nur einfache Trenner und Erdungstrenner für die Kabel vorhanden.
- Zwei parallele Freileitungen von 220 kV zwischen den Stationen Clichy-sous-Bois, Villevaudé und Arrighi (ca. 40 km).
- Hochspannungskabel von 220 kV für eine maximale Leistungsfähigkeit von 200 000 kVA zwischen Chevilly und Arrighi (3,5 km) und zwischen Clichy-sous-Bois und dem Unterwerk Saint-Denis (18,6 km). Ferner wurde das Kraftwerk Genevilliers durch ein Kabel mit Saint-Denis verbunden.

Die Verbindung der Unterwerke Clichy und Saint-Denis war in gerader Linie nicht möglich, weil jenes Gebiet bereits ziemlich bebaut ist und der Flughafen Le Bourget in der Nähe liegt. Die Verbindung dieser beiden Stationen durch eine Freileitung hätte deshalb grosse Umwege und lange Stiehleitungen zu den in Stadtnähe gelegenen thermischen Werken bedingt. Die gewählte Lösung mit 220-kV-Kabeln bietet folgende Vorteile:

- Direkte Verbindung der beiden Unterwerke,
- Grössere Betriebssicherheit,
- Keine Behinderung des Flugverkehrs,
- Verwendung der Kabelkapazität zur  $\cos \varphi$ -Verbesserung.

#### 2. Die Kabel für 220 kV.

Während eines Jahres wurden Versuche mit ölgefüllten Hochspannungskabeln von 220 kV, System Pirelli, vorgenommen. Das Versuchsmaterial wurde von den vier französischen Kabelwerken, welche nachher die Aufträge erhielten, nach Lizenz Pirelli hergestellt.

**Wichtigste Versuchsergebnisse.** Der Wirkwiderstand des Kabels erhöht sich um 50 %, wenn doppelter Bleimantel verwendet wird. Mit Rücksicht auf absolute Oeldichtigkeit wurde bei den ausgeführten Kabeln der zweite Bleimantel beibehalten. Bei einer zulässigen Kabeltemperatur von 80° C konnten 180 MVA übertragen werden bei einer Bodentemperatur von +20° C und 200 MVA bei einer Bodentemperatur von +10° C. Die Druckänderungen des ölgefüllten Kabels bei starken Laständerungen werden ohne Schaden ausgehalten. Das Kabel wird im Dauerbetrieb 160 000 kW mit genügender Sicherheitsmarge übertragen. Mit diesen Versuchen wurde der Beweis erbracht, dass es mit den normalen Fabrikationsmethoden der Kabelwerke möglich sei, solche 220-kV-Kabel betriebssicher herzustellen.

##### a) Aufbau des Hochspannungskabels (von innen nach aussen, Fig. 2):

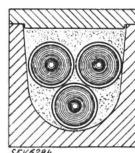
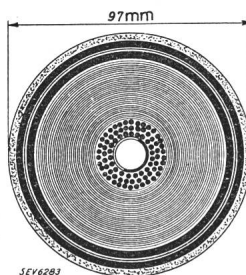
|   |                     |
|---|---------------------|
| Durchmesser des Oelkanals in Kabelmitte . . . . . | 15 mm               |
| Dicke der Eisenspirale . . . . .                  | 0,6 mm              |
| Gesamter Kupferleiterquerschnitt . . . . .        | 350 mm <sup>2</sup> |
| Zahl der Leiter von 2,3 mm Durchmesser . . . . .  | 83                  |
| Dicke der imprägnierten Papierisolation . . . . . | 24 mm               |
| Dicke der Papierstreifen 0,08 bis 0,15 mm         |                     |
| Kabeldurchmesser ohne Bleimantel . . . . .        | 76 mm               |
| Dicke des ersten Bleimantels . . . . .            | 3,2 mm              |
| Dicke der Messingbandage . . . . .                | 0,8 mm              |
| Dicke des zweiten Bleimantels . . . . .           | 2,5 mm              |
| Dicke der Juteschutzschicht ca. . . . .           | 3,8 mm              |
| Aussendurchmesser des fertigen Kabels . . . . .   | 97 mm               |
| Gewicht pro Meter . . . . .                       | 27,3 kg             |

Fig. 2 (links).

Schnitt durch das 220-kV-Oelkabel.

Fig. 3 (unten).

Anordnung der drei Einleiterkabel im Betonkanal.



##### Elektrische Daten:

|  |           |
|--|-----------|
| Nennspannung . . . . .                       | 220 kV    |
| Nennstrom bei 160 MVA . . . . .              | 420 A     |
| Verluste bei Nennstrom und Nennspannung      |           |
| im Kupfer . . . . .                          | 10 kW/km  |
| im Dielektrikum . . . . .                    | 3,4 kW/km |
| im Bleimantel . . . . .                      | 5 kW/km   |
| Kapazitiver Strom bei Nennspannung . . . . . | 8 A/km    |

Fabriziert wurde das Kabel in mittleren Längen von 210 m. Das Kabel wurde durchgehend in Strassenzügen verlegt, in Tiefen von 1,3 bis 4 Meter, je nach den bereits vorhandenen andern Leitungen. Der tiefste Punkt des Kabels