

# Possibilités d'expansion du chauffage électrique et incidences sur la production et la distribution d'énergie

Autor(en): **Grivat, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **67 (1976)**

Heft 5

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915125>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Possibilités d'expansion du chauffage électrique et incidences sur la production et la distribution d'énergie

Par J. Grivat

*Für ein mittelgrosses schweizerisches Elektrizitätswerk werden die möglichen Rückwirkungen der elektrischen Raumheizung auf seine Lastkurve für einen besonders kalten Tag im Jahre 2000 untersucht. Unter der Voraussetzung, dass 50 % der in den Jahren 1975 bis 2000 umgebauten oder neuerstellten Wohnungen elektrisch beheizt werden, ergibt sich, dass die Direktheizung zweckmässiger ist als die Misch- oder Speicherheizung. Grosse Erwartungen können ebenfalls in die Wärmepumpen gesetzt werden.*

*Was die Wirtschaftlichkeit anbetrifft, so muss eine starke Erweiterung der elektrischen Raumheizung in der Schweiz nicht zwangsläufig zu einer unannehmbaren Benützungsdauer der thermischen Kraftwerke führen.*

## 1. Introduction

Le désir de nos autorités de réduire la part prépondérante du pétrole en ce qui concerne la couverture des besoins en énergie, devrait conduire notamment à une utilisation importante de l'électricité pour le chauffage des logements.

La présente note montre quelles pourraient être les répercussions maximales, à la fin de ce siècle, sur la courbe de charge de la Compagnie Vaudoise d'Electricité (CVE), entreprise suisse de taille moyenne, exploitant des réseaux à prédominance rurale et résidentielle.

Le problème plus général de l'incidence sur le plan suisse du chauffage électrique sur la durée d'utilisation des centrales thermiques conventionnelles et nucléaires est également examiné.

## 2. Incidence du chauffage électrique des logements sur la courbe de charge globale de la CVE en 2000

### Hypothèses admises

#### 2.1 Expansion possible du chauffage électrique

Actuellement, la CVE dessert directement quelque 45 000 logements. Si l'on admet un taux annuel de 2 % de 1975 à 2000 pour la construction de nouveaux logements et la rénovation d'anciens, et que l'on utilise l'électricité pour chauffer la moitié de ceux-ci, cela concernerait environ 14 500 logements qui viendraient s'ajouter aux 3000 déjà chauffés de cette façon, soit au total environ 17 500. Cette hypothèse de 50 % ne paraît pas exagérée pour une étude prospective destinée à montrer l'incidence maximale du chauffage électrique sur la production et la distribution d'énergie. A relever qu'en 1974, la part des nouveaux logements chauffés à l'électricité s'est élevée à environ 40 % du total des nouvelles constructions alimentées directement par la CVE.

#### 2.2 Puissance installée par logement pour le chauffage et la production d'eau chaude

- Chauffage direct intégré: 7 kW.
- Chauffage mixte: 9 kW pour accumulation et 1 kW en direct.
- Chauffage à accumulation nocturne pure: 14 kW.
- Chauffage avec pompe à chaleur (sans accumulation): 3,5 kW.
- Eau chaude dans l'hypothèse d'un bouilleur enclenché de nuit: 1,2 kW.

*Une entreprise suisse de taille moyenne examine les répercussions possibles de divers modes de chauffage électrique sur sa courbe de charge pour une journée très froide de l'an 2000. Avec les hypothèses admises – 50 % des logements rénovés ou construits de 1975 à 2000 chauffés électriquement – elle arrive à la conclusion que le chauffage direct est plus rationnel pour elle (et aussi pour ses clients) que le chauffage mixte ou à accumulation. De grands espoirs peuvent également être placés dans le chauffage par pompes à chaleur.*

*D'autre part, une très forte expansion du chauffage électrique en Suisse ne doit pas conduire à une durée d'utilisation des centrales thermiques inacceptable eu égard aux critères de rentabilité.*

### Remarques:

- Il s'agit de valeurs moyennes se référant à des appartements bien isolés, de quatre pièces.
- Le chiffre de 9 kW admis pour les équipements à accumulation des chauffages mixtes est fondé sur une durée de charge totale de 11 h par 24 h, soit 8 h de nuit et 3 h durant le creux de charge de l'après-midi.
- Le chiffre de 14 kW des chauffages à accumulation nocturne est fondé sur une accumulation pendant 8 h pour 24 h d'utilisation.
- Le chiffre de 3,5 kW des pompes à chaleur est basé sur le coefficient de performance (c'est-à-dire le rapport: chaleur utile/chaleur correspondant à l'énergie tirée du réseau électrique) relativement bas obtenu lors des jours les plus froids et une utilisation sans accumulation.

### 2.3 Energie absorbée

Par chauffage direct, mixte ou à accumulation pure	10 000 kWh/an
Par chauffage à pompes à chaleur	3 300 kWh/an
Par bouilleur à accumulation	2 200 kWh/an

### Remarques:

- Le même chiffre de 10 000 kWh/an a été admis pour les chauffages directs, mixtes et à accumulation pure, selon l'exemple donné par la CSE dans son rapport [1]. On pourrait en réalité réduire celui du chauffage direct d'environ 5 à 10 %, compte tenu des possibilités de réglage propre à ce mode de chauffage à faible inertie thermique (utilisation de la «chaleur libre» notamment).
- L'énergie absorbée par chaque pompe à chaleur est calculée à partir d'un coefficient de performance moyen pour la saison égal à 3.

### 2.4 Courbe de charge de base en 2000

Nous admettons que la courbe de charge sans installations de chauffage aurait la forme du diagramme suisse d'hiver actuel et que la croissance de 1975 à 2000 de cette charge de base correspondrait à un taux moyen annuel de 2,3 % (facteur de croissance 1,77 et puissance de pointe:  $155 \times 1,77 = 274$  MW).

Avec la durée d'utilisation d'environ 5600 h du diagramme suisse actuel, l'énergie correspondante atteindrait 1530 GWh.

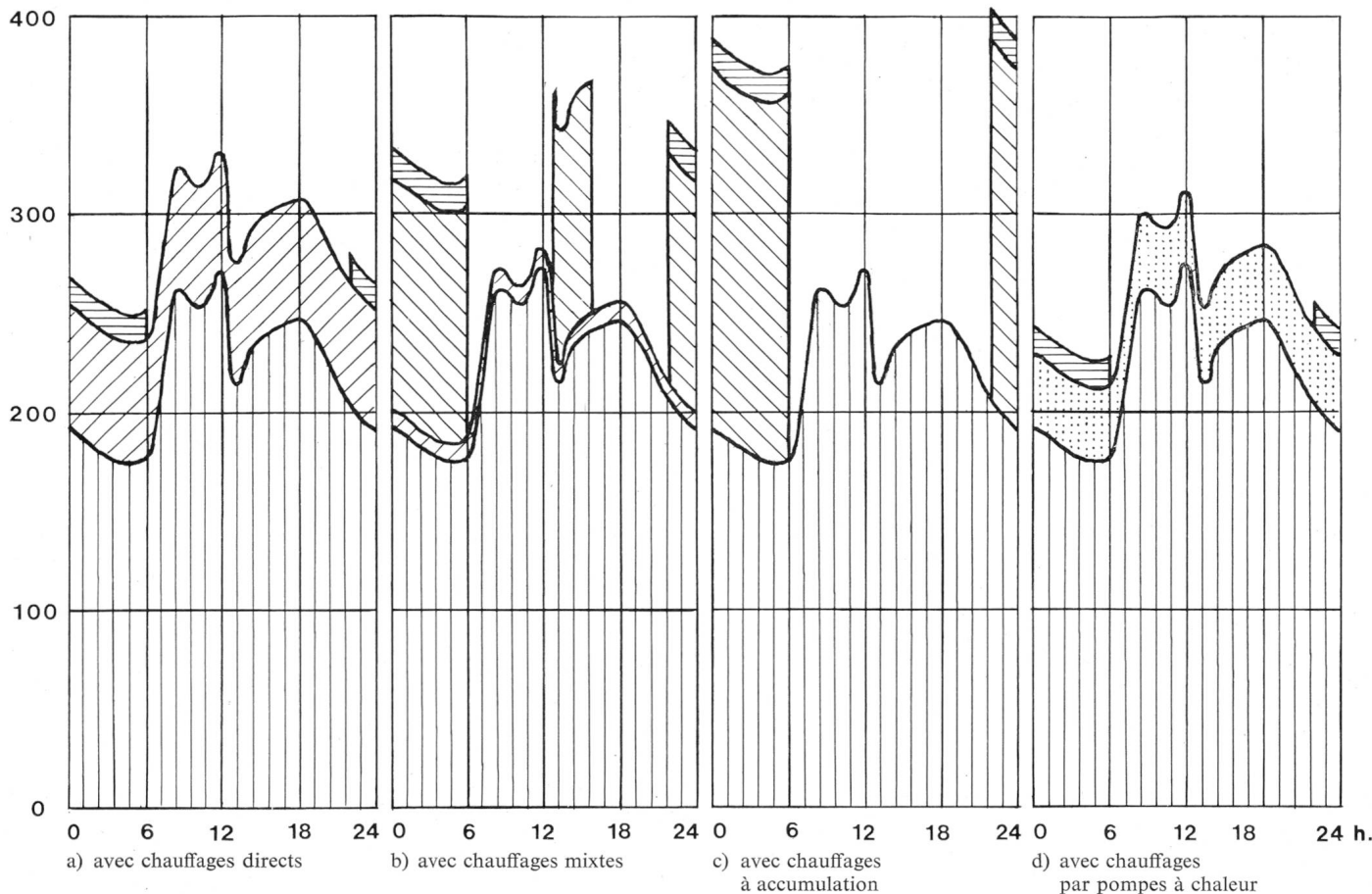


Fig. 1 Diagramme de charge CVE d'un jour très froid de l'an 2000

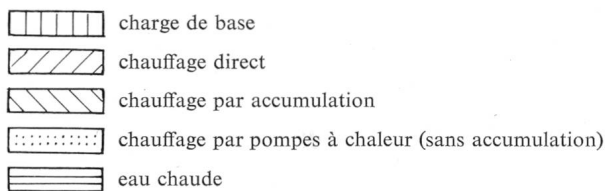
Hypothèses:

diagramme de base analogue à diagramme suisse actuel

puissance de pointe du diagramme de base =  
puissance de pointe actuelle  $\times 1,77$  correspondant à un  
taux d'accroissement moyen annuel de 2,3%

nombre de logements chauffés à l'électricité: 17 500

(actuellement la CVE alimente directement 45 000 logements)



### 2.5 Incidence du chauffage direct sur la courbe de charge et sur la consommation d'énergie

La puissance installée globale des 17 500 logements mentionnés sous 2.1.1 atteindrait en 2000, dans l'hypothèse d'un recours exclusif au chauffage direct:

$$17\,500 \times 7 = 122\,500 \text{ kW}$$

La puissance maximale appelée au niveau de la production et du transport HT serait beaucoup plus faible que ce chiffre, même pendant les jours les plus froids.

Selon les résultats expérimentaux, on peut tabler sur un coefficient de simultanéité de 0,4 à 0,6.

Tant qu'on ne déclenche pas les chauffages pendant la nuit, cette puissance devrait être à peu près constante au cours des 24 h pendant les jours les plus froids. L'utilisateur n'a du reste pas d'intérêt à couper de nuit son chauffage en période froide, car les kilowatt-heures économisés de nuit seront consommés le lendemain pour remonter la température des locaux. L'abaissement de 4 à 5 °C de la consigne de nuit des thermostats des chambres à coucher est d'autre part compensé généralement par une baisse aussi importante de la température extérieure. En tout état de cause, le chauffage direct devrait provoquer à la CVE pendant les jours les plus froids – qui sont déterminants pour le dimensionnement

des réseaux – un appel de puissance à peu près constant de l'ordre de 60 MW, pendant les 24 h d'une journée, probablement un peu plus fort de nuit que de jour, venant s'ajouter au diagramme de base (voir fig 1a). Le maximum global de charge aurait lieu vers midi avec une pointe de 335 MW environ.

Pendant les jours moins froids de l'hiver, la puissance absorbée par le chauffage direct serait par contre plus forte de jour que de nuit mais elle serait néanmoins toujours inférieure à la puissance soutirée pour le même usage aux heures de pointe des jours les plus froids. La charge de base sera également plus faible que lors des jours les plus froids. La fig. 2 montre le diagramme de charge d'un poste de transformation CVE à 40/13 kV d'un jour moyennement froid – à défaut d'un jour très froid – et les parts – déterminées par brefs délestages à l'aide de l'installation de télécommande de réseau – des bouilleurs et des installations de chauffage des logements occupés en permanence (6490 kVA installés, presque totalement sous forme de chauffage direct), et ce en l'absence de tout blocage lors des pointes de la charge de base.

L'énergie absorbée par ces installations de chauffage atteindrait

$17\,500 \times 10\,000 \text{ kWh} = 175 \text{ GWh}$  par an,  
auxquels s'ajouteraient  
 $17\,500 \times 2\,200 \text{ kWh} = 38 \text{ GWh}$   
pour la production d'eau chaude sanitaire

La consommation globale en l'an 2000 s'élèverait à:  
 $1\,530 + 175 + 38 = 1\,743 \text{ GWh}$

La durée d'utilisation globale passerait de 5600 h à:  
 $1\,743 \text{ GWh} : 335 \text{ MW} = 5\,200 \text{ h}$  environ par an

## 2.6 Incidence du chauffage mixte sur la courbe de charge et sur la consommation d'énergie

La puissance installée globale pour le chauffage des 17 500 logements précités atteindrait en 2000, dans l'hypothèse d'un recours exclusif au chauffage mixte tel que défini plus haut:

pour les équipements  
à accumulation:  $17\,500 \times 9 = 157\,500 \text{ kW}$   
pour les équipements directs:  $17\,500 \times 1 = 17\,500 \text{ kW}$   
soit au total:  $175\,000 \text{ kW}$

Pour déterminer la puissance maximale appelée au niveau du transport HT et de la production lors des jours les plus froids de l'hiver, on peut appliquer comme plus haut un facteur de simultanéité de 0,5 pour les équipements directs, commandés librement, pièce par pièce, par des thermostats d'ambiance. Pour les équipements à accumulation, soumis à de longues périodes de blocage journalier, il faut tabler sur un facteur plus élevé, de l'ordre de 0,7 à 0,8.

Ces installations de chauffage mixte provoqueraient un appel de puissance maximal d'environ 127 MW pendant les heures de charge des équipements à accumulation et de 9 MW pendant le reste du temps, en admettant pour les équipements directs un fonctionnement à puissance quasi constante tant de jour que de nuit pendant les jours les plus froids (fig. 1b). Le maximum global de la charge serait atteint lors de la période de recharge de 12 à 15 h avec un maximum d'environ 370 MW. En étalant la période de recharge diurne on pourrait réduire le maximum de jours au niveau du maximum de 22 h, soit à environ 345 MW.

L'énergie absorbée par ces installations de chauffage atteindrait  $17\,500 \times 10\,000 =$  environ 175 GWh par an, auxquels s'ajouteraient 38 GWh pour la production d'eau chaude.

La consommation globale en l'an 2000 s'élèverait comme avec le chauffage direct à 1790 GWh environ.

La durée d'utilisation annuelle globale passerait de 5600 h à:

$1\,743 \text{ GWh} : 370 \text{ MW} = 4\,710 \text{ h}$  environ, éventuellement à  
 $1\,743 \text{ GWh} : 345 \text{ MW} = 5\,050 \text{ h}$  environ, si l'on étale les périodes de recharge diurne de l'accumulation.

## 2.7 Incidence du chauffage à accumulation nocturne pure sur la courbe de charge et sur la consommation d'énergie

La puissance installée globale des 17 500 logements précités atteindrait en 2000, dans l'hypothèse d'un recours exclusif à ce mode de chauffage:

$17\,500 \times 14 = 245\,000 \text{ kW}$

Si l'on fractionne et contrôle judicieusement l'enclenchement de ces installations pendant les périodes de charge, on peut obtenir une puissance appelée au niveau de la production et du transport HT assez constante au cours des nuits les

plus froides. Le coefficient de simultanéité correspondant est malgré tout nettement supérieur (environ 0,7 à 0,8) à celui qu'on peut escompter avec le chauffage direct, comme on l'a déjà dit plus haut. Cette puissance supplémentaire de nuit atteindrait environ 184 MW, compte non tenu des quelque 14 MW nécessaires pour la production d'eau chaude (fig. 1c).

Le maximum global de la charge aurait lieu à 22 h avec une pointe de 400 MW environ.

L'énergie absorbée par ces installations de chauffage, comme précédemment, atteindrait environ 175 GWh par an auxquels s'ajouteraient 38 GWh pour la production d'eau chaude, la consommation globale en l'an 2000 s'élevant alors à 1740 GWh environ.

La durée d'utilisation annuelle globale passerait de 5600 h à:

$1\,743 \text{ GWh} : 400 \text{ MW} = 4\,360 \text{ h}$  environ

## 2.8 Incidence du chauffage par pompes à chaleur sur la courbe de charge et sur la consommation d'énergie

La puissance installée globale des 17 500 logements pris en considération atteindrait en 2000, dans l'hypothèse d'un recours exclusif au chauffage par pompes à chaleur sans accumulation:  $17\,500 \times 3,5 = 61\,250 \text{ kW}$ . Si l'on admet un coefficient de simultanéité de 0,6 – un peu moins bon que celui du chauffage direct intégré, dans l'hypothèse d'un réglage global et non pas pièce par pièce de la température –, la puissance appelée au niveau des réseaux HT et de la production atteindrait lors des jours les plus froids:

$61 \times 0,6 = 37 \text{ MW}$  environ

Cette puissance, comme pour le chauffage direct, serait pratiquement constante pendant les 24 h de ces journées (fig. 1d).

Le maximum de la charge globale avec chauffage serait atteint vers 12 h, comme pour le diagramme de base, avec une pointe de 310 MW environ.

L'énergie absorbée par ces installations de chauffage atteindrait  $17\,500 \times 3\,300 = 58 \text{ GWh}$  environ, auxquels s'ajouteraient 38 GWh pour la production d'eau chaude.

La consommation globale en l'an 2000 s'élèverait à:

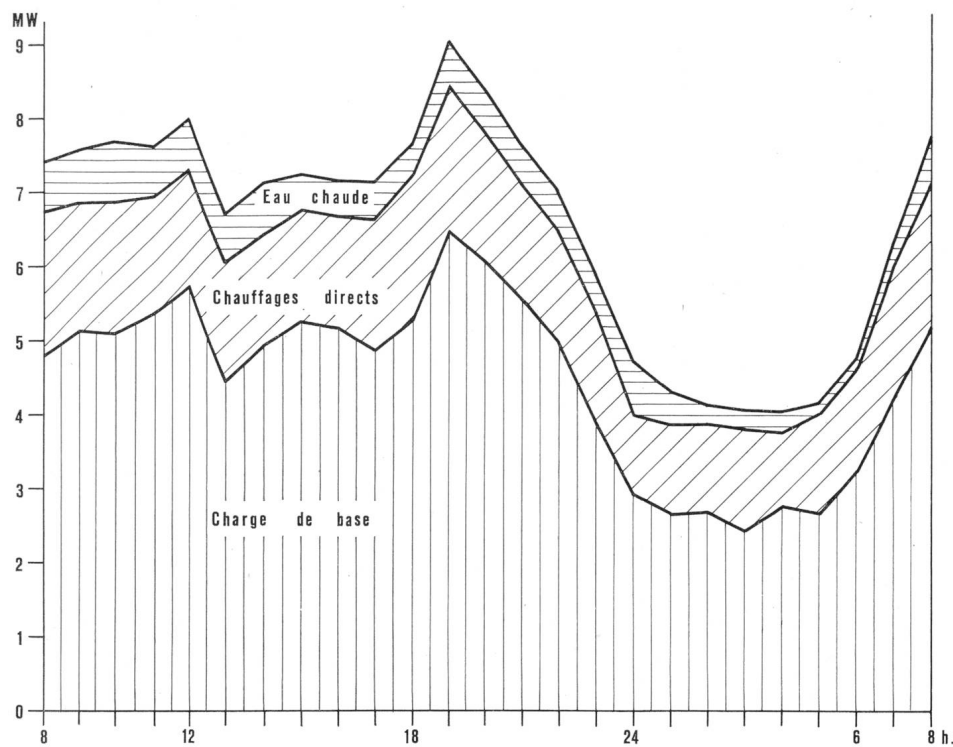
$1\,530 + 58 + 38 = 1\,626 \text{ GWh}$  environ

La durée d'utilisation annuelle globale passerait de 5600 h à  $1\,626 \text{ GWh} : 310 \text{ MW} = 5\,250 \text{ h}$  environ.

## 3. Comparaison des incidences des divers modes de chauffage électrique sur la courbe de charge d'un jour très froid de l'an 2000 et sur la consommation annuelle d'énergie

Dans l'hypothèse où l'on recourrait exclusivement à un seul des quatre modes de chauffages examinés ci-dessus pour chauffer la moitié des logements rénovés ou construits de 1975 à 2000 dans la zone alimentée directement par la CVE, on peut formuler les remarques suivantes:

– Le chauffage avec pompes à chaleur est le plus intéressant du point de vue de la puissance maximale globale pour laquelle devraient être réalisées les installations de production et de transport HT (310 MW). Vient ensuite le chauffage direct (335 MW), puis le chauffage mixte (370 évent. 345 MW) et enfin le chauffage à accumulation pure (400 MW).



**Fig. 2**

**Diagramme de charge d'un poste CVE 40/13 kV**

Données et remarques:

Poste d'Eysins, 18-19 mars 1975

Puissance des transformateurs HT/MT:  
2 × 10 MVA

Puissance installée des équipements de chauffage de locaux occupés en permanence: 6490 kVA (presque totalement sous forme de chauffage direct)

Température extérieure maximale: +1 °C;

Température extérieure minimale: -3 °C

Facteur de simultanéité (kVA chauff. soutirés/kVA chauff. installés): 0,31

Facteur de simultanéité ramené à température extérieure moyenne de -12 °C: 0,47

Blocage des chauffages et des bouilleurs lors de la pointe de charge: supprimé

Détermination de la part «chauffage» et de la part «eau chaude» par brèves coupures de ces consommateurs au moyen de la télécommande centralisée.

– Les durées d'utilisation passeraient des 5600 h du diagramme de base (chiffre actuel valable pour l'ensemble de la consommation suisse) à respectivement 5250, 5200, 4530 (évent. 5050) et 4360 h.

– La consommation annuelle globale d'énergie passerait de 1530 GWh (charge de base) à respectivement 1630 (avec pompes à chaleur) et 1740 GWh (avec chauffages directs, mixtes et à accumulation pure).

– L'utilisation du chauffage à accumulation nocturne pure est irrationnelle dès que les puissances en jeu dépassent les possibilités des creux de nuit, vu la baisse importante de la durée d'utilisation globale.

– Le chauffage mixte dans les hypothèses admises ci-dessus, correspondant aux usages actuels de nombreux distributeurs suisses (8 h de charge nocturne et 3 h de recharge diurne), est plus favorable que le chauffage à accumulation nocturne pure, mais d'autre part moins rationnel que le chauffage direct, en ce qui concerne les pointes de charge, même si la recharge d'après-midi est fractionnée en 2 ou 3 groupes enclenchés successivement.

– On pourrait améliorer la courbe de charge globale du jour le plus froid en combinant par exemple des chauffages directs ou des chauffages par pompes à chaleur avec des chauffages mixtes ou à accumulation. Il serait possible de raccorder par exemple encore quelque 4300 logements chauffés par accumulation sans accroissement des installations de transport à haute tension. La durée d'utilisation globale remonterait alors de 5200 à 5380 h, au prix il est vrai d'un certain nombre de renforcements à effectuer au niveau des réseaux à moyenne et surtout à basse tension.

– Avec l'utilisation des pompes à chaleur, l'économie est plus sensible sur l'énergie annuelle nécessaire que sur la puissance maximale soutirée, étant donné la réduction du coefficient de performance de ces équipements au fur et à mesure que baisse la température de l'air extérieur utilisé comme source de chaleur.

**4. Incidences du chauffage électrique sur la durée d'utilisation des centrales suisses**

Un recours intensif au chauffage électrique des locaux sur le plan suisse aurait des incidences sur la puissance nécessaire en matière de centrales thermiques (conventionnelles et nucléaires) et sur leur durée d'utilisation.

Le graphique ci-contre (fig. 3) montre ce qui se passerait en l'an 2000 dans les hypothèses extrêmes suivantes:

– Logements chauffés à l'électricité (par équipements à accumulation, directs, mixtes, etc.) en Suisse: 860 000 (il y avait au total en Suisse 2 207 000 logements selon le recensement de 1970).

– Puissance maximale tirée des centrales suisses pour le chauffage lors des jours les plus froids: 3150 MW.

– Puissance pour le chauffage proportionnelle à l'écart entre température des locaux et température extérieure moyenne mensuelle, en ruban jour et nuit.

– Consommation annuelle par chauffage: 10 000 kWh/an.

– Production d'eau chaude dans chaque logement chauffé à l'électricité; consommation: 2200 kWh/an soutirés en heures creuses.

– Production des usines à accumulation et au fil de l'eau selon Bull. ASE N° 5/1973 «Perspectives d'approvisionnement ...», variante avec hydraulité faible, [2].

– Diagramme des puissances classées de l'an 2000 extrapolé des diagrammes donnés dans l'article précité.

– Taux annuel moyen de croissance de la consommation de base de 1973 à 2000: 2,3 %.

– Pas pris en considération les exportations d'énergie et les aménagements de pompage-turbinage.

On constate qu'en plus des équipements hydrauliques à accumulation et au fil de l'eau existants, il faudrait une puissance installée d'environ 6400 MW sous forme de centrales thermiques. La durée d'utilisation pour toute la production serait de 5075 h environ et celle de l'ensemble de la production thermique d'environ 6625 h.

Commentaires: La durée d'utilisation des centrales thermiques nécessaires, même dans l'hypothèse optimiste d'un chiffre de 860 000 logements chauffés à l'électricité en Suisse en l'an 2000, serait parfaitement acceptable eu égard aux normes usuelles de rentabilité de ces équipements. Le chiffre de 6625 h (ou 76 %) est supérieur du reste aux 5600 h de l'ensemble de la consommation suisse actuelle. C'est vers cette valeur que tendrait la durée d'utilisation des centrales thermiques sans développement du chauffage électrique, au fur et à mesure de l'accroissement de la charge générale des réseaux et de la construction de nouvelles centrales de ce type, pour autant que le diagramme de base conserve la même forme. Même dans l'hypothèse très invraisemblable d'un nombre double de logements chauffés à l'électricité, à savoir 1 720 000, la durée d'utilisation ne descendrait pas en dessous de 6000 h par an.

## 5. Résumé et conclusions

En cas de recours intensif à l'électricité d'origine nucléaire pour réduire la part du pétrole dans notre approvisionnement en énergie primaire, le chauffage des logements sera particulièrement concerné.

La fig. 1 montre ce que pourrait être le diagramme de charge général d'une entreprise suisse de taille moyenne, exploitant des réseaux à prédominance rurale et résidentielle, pour une journée particulièrement froide de l'année 2000, dans l'hypothèse où la moitié des logements rénovés ou construits de 1975 à 2000 serait chauffée électriquement et où l'on recourrait exclusivement à l'un ou l'autre des modes de chauffage suivants: a) chauffage direct intégré; b) chauffage mixte; c) chauffage à accumulation nocturne pure; d) chauffage par pompes à chaleur.

On constate évidemment que les pompes à chaleur sont particulièrement intéressantes en ce qui concerne le diagramme de charge des jours froids puisque ces équipements ne tirent des réseaux qu'une fraction de la puissance maximale nécessaire avec les autres systèmes.

On voit d'autre part que l'alimentation d'un nombre aussi élevé de chauffages à accumulation nocturne conduirait à des suréquipements très importants des moyens de production, transport et distribution, avec une forte pointe de puissance de nuit.

Le chauffage mixte avec 85 % par accumulation (à raison de 8 h de nuit et 3 h après midi) et 15 % en direct présente encore une partie des inconvénients du chauffage à accumulation pure en ce qui concerne le diagramme général. On pourrait pallier ceux-ci en allongeant la période de recharge diurne ou en augmentant le rapport «direct»/«accumulation», en accroissant alors la part d'énergie à haut tarif consommée.

Le diagramme de charge avec chauffage direct se présente de son côté de façon très favorable, bien qu'un peu moins bon qu'avec le chauffage par pompes à chaleur.

Du point de vue de la consommation d'énergie, la solution avec pompes à chaleur est la plus rationnelle. Les trois autres solutions sont d'autre part à peu de chose près équivalentes. Il faut toutefois tabler sur une consommation légèrement plus élevée des systèmes à accumulation vu leur inertie, mais à un prix en moyenne inférieur dans la mesure où il s'agirait encore d'une véritable énergie d'heures creuses nocturnes.

En ce qui concerne les réseaux de distribution, les charges unitaires et les coefficients de simultanéité favorables des pompes à chaleur et du chauffage direct permettent de réduire les investissements si l'on adopte ces systèmes plutôt que le chauffage mixte et surtout que le chauffage à accumulation nocturne.

En tout état de cause, si le développement du chauffage électrique des logements se poursuit à la CVE au rythme actuel au cours des prochaines décennies, il paraît judicieux de continuer à promouvoir le chauffage direct intégré, puis les pompes à chaleur lorsque ces équipements – fonctionnant alors sans problème jusqu'aux plus basses températures avec un coefficient de performance d'au moins 1,5 à 2 et en utilisant les calories contenues dans l'air atmosphérique, par exemple – seront compétitifs avec les autres modes de chauffage, pour l'utilisateur.

On peut envisager d'améliorer encore la courbe de charge générale en acceptant dans certaines zones des réseaux, notamment au voisinage des stations de distribution, un certain nombre de chauffages mixtes ou à accumulation, jusqu'à environ 20 % du nombre total des installations.

*En conclusion*, on constate que le développement intensif du chauffage à l'électricité au sein de la CVE, tel qu'il s'amorce actuellement, aura des répercussions importantes sur la courbe de charge des jours les plus froids de l'année. Même si l'on n'utilisait que les creux du diagramme de base général, ceux-ci seraient rapidement comblés et il en résulterait de toutes façons des dépenses non négligeables en ce qui concerne les réseaux à moyenne tension et surtout à basse tension.

On voit aussi que le chauffage à accumulation nocturne pure, qui à l'origine aurait permis de vendre de l'énergie de nuit sans provoquer d'investissement nouveau quant à la production et au transport, aurait conduit finalement à des suréquipements inrentables.

Il en est de même, mais dans une mesure plus faible, du chauffage mixte, avec recharge diurne.

Le chauffage direct nécessite lui aussi des investissements en ce qui concerne la production, le transport et la distribution. Mais vu la puissance unitaire plus faible de ces installations, le relativement bon facteur de simultanéité, le fonctionnement pratiquement en ruban lors des jours les plus froids, certaines possibilités de blocage pendant les heures de pointe, ce mode de chauffage est finalement bien plus rationnel pour la CVE que le chauffage à accumulation et le chauffage mixte conventionnel.

Le chauffage avec pompes à chaleur sera probablement le plus rationnel de tous, vu les faibles puissances unitaires nécessaires, lorsque ces équipements seront parfaitement au point et compétitifs avec les autres modes de chauffage. Mais il conduira aussi à des investissements supplémentaires en matière d'équipements de production et de distribution et à une durée d'utilisation propre plus faible que celle du chauffage direct vu la diminution du coefficient de performance des pompes à chaleur avec la baisse de la température extérieure.

En ce qui concerne l'optique des utilisateurs, il sortirait du cadre de cet article de l'examiner en détail. On peut néanmoins relever que les installations de chauffage à accumulation et de chauffage mixte nécessitent des équipements do-

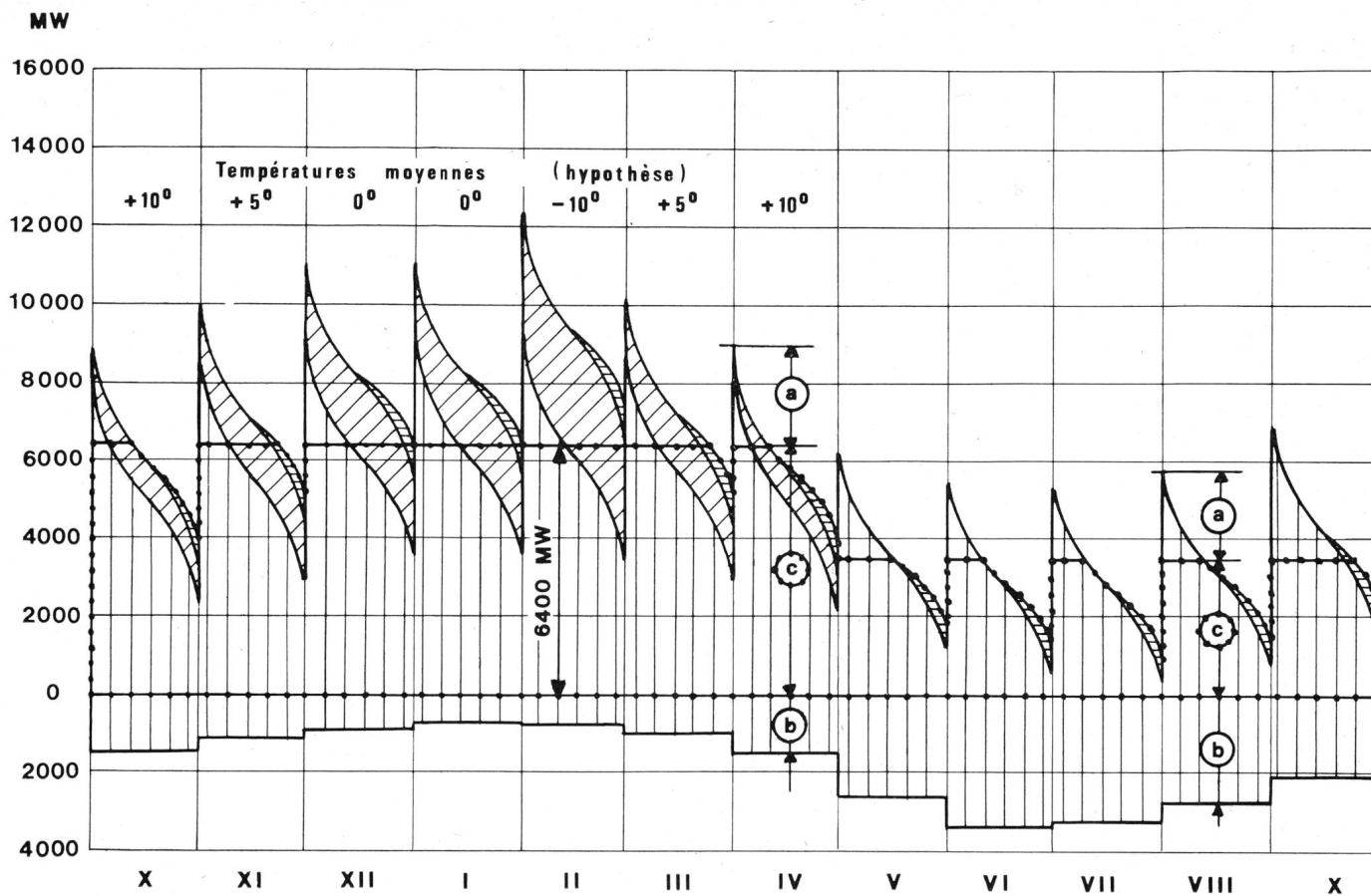


Fig. 3 Puissances classées par mois relatives à la production et à la consommation d'énergie électrique en Suisse en 2000

#### Données et hypothèses

Production des usines hydrauliques selon Bull. ASE N° 5/73 «Perspectives d'approvisionnement...», variante avec hydraulicité faible.

Charge de base extrapolée avec taux d'accroissement moyen annuel de 2,3%.

Nombre de logements chauffés à l'électricité: 860 000 (nombre total des logements en Suisse: 2 207 000 en 1970).

Consommations unitaires chauffages: 10 000 kWh/an et logement  
eau chaude: 2 200 kWh/an et logement

Charge due au chauffage variant avec la température moyenne mensuelle.

Pompages et exportations: pas pris en considération.

#### Bilan production

	hiver	été	année
(a) Centrales à accumulation	7,2	1,8	= 9,0 TWh
(b) Centrales au fil de l'eau	5,7	10,4	= 16,1 TWh
(c) Centrales thermiques	31,5	10,9	= 42,4 TWh
Production totale	44,4	23,1	= 67,5 TWh

#### Bilan consommation

(a) Charge de base	34,6	22,4	= 57,0 TWh
(b) Chauffages électriques	8,6	0	= 8,6 TWh
(c) Eau chaude	1,2	0,7	= 1,9 TWh

#### Durée d'utilisation

prod. therm.	42,4 TWh: 6 400 MW = 6 625 h
totale	67,5 TWh: 13 300 MW = 5 075 h

mestiques coûteux et souvent encombrants, à la charge des propriétaires des immeubles, alors que des tarifs réduits pour l'énergie nécessaire ne se justifient plus, tôt ou tard. Quant aux pompes à chaleur, elles sont rarement compétitives pour l'instant, en ce qui concerne le chauffage des logements. De grands espoirs peuvent être placés dans ce mode de chauffage, mais pour le moment, c'est le chauffage direct intégré qui paraît le plus intéressant, tant pour les abonnés que pour le distributeur et producteur d'énergie.

D'autre part, le fait que tous les modes de chauffage examinés ci-dessus nécessiteront à plus ou moins brève échéance des investissements complémentaires en matière de production et de distribution d'électricité montre que les tarifs de vente de l'énergie pour applications thermiques devront être progressivement augmentés pour permettre la couverture des charges financières y relatives.

Une expansion très forte du chauffage électrique en Suisse ne devrait pas conduire à une durée d'utilisation anor-

male des centrales thermiques, contrairement aux craintes formulées par certains.

Si l'on devait arriver en l'an 2000 au chiffre élevé de 860 000 logements chauffés à l'électricité pour toute la Suisse – qui comptait au total 2,2 millions de logements en 1970 – la durée d'utilisation pour l'ensemble des centrales thermiques conventionnelles et nucléaires en service alors atteindrait environ 6600 h, chiffre parfaitement acceptable eu égard aux critères de rentabilité de tels équipements (voir fig. 3).

#### Références

- [1] Le chauffage électrique des locaux, Commission Suisse d'Electrothermie (CSE), 1974.
- [2] Perspectives d'approvisionnement de la Suisse en électricité 1972-1980. Bulletin ASE, Pages de l'UCS, 20(1973)5.

#### Adresse de l'auteur:

Jean Grivat, sous-directeur, Compagnie Vaudoise d'Electricité, 1, rue Beau-séjour, 1002 Lausanne.