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: 71 (1980)

Heft: 22

Artikel: Fondements de la tarification et de la fourniture d'énergie aux ménages tout-électrique : recommandations de la commission de l'UCS pour les tarifs d'énergie électrique

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905313

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: 11.12.2025

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

Fondements de la tarification et de la fourniture d'énergie aux ménages tout-électrique

Recommandations de la commission de l'UCS pour les tarifs d'énergie électrique

1. Situation initiale et objectifs

En préconisant le raccordement d'installations de chauffage électrique, on peut contribuer favorablement l'optimisation de l'exploitation des puissances disponibles durant les périodes creuses de nuit, de l'après-midi et de fin de semaine. La production d'eau chaude est préservée et de nouvelles perspectives lui sont offertes. Dans ce contexte, la mise en service des centrales thermiques pour couvrir tout l'éventail des températures extérieures se traduit par une optimisation de la charge des réseaux de distribution et par la possibilité de prendre en considération un nombre aussi élevé que possible de consommateurs.

La capacité concurrentielle du chauffage électrique des locaux est favorisée par le rapport existant entre les tarifs d'heures pleines et d'heures creuses se situant entre 2:1 et 3:1 et résultant de la structure tarifaire généralement appliquée aux ménages. Pour le consommateur, cela se traduit par le transfert, par le biais d'une accumulation nocturne d'une part aussi élevée que possible de la demande énergétique sur les périodes de tarif en heures creuses octroyées par l'entreprise électrique. De tels transferts sont néanmoins considérés comme inopportuns à longue échéance pour des raisons techniques et économiques.

La fig. 1 représente le taux de charge quotidien en pour-cent de la puissance maximale, sans tenir compte des chauffages électriques et de la production d'eau chaude. Un examen plus approfondi démontre, dans l'optique d'une optimisation de l'exploitation du réseau, que la fourniture d'énergie pour le chauffage peut toujours être assurée, sauf pendant la période de pointe de midi. En fait, ce modèle montre que la marge de puissance disponible pour le chauffage électrique et la production d'eau chaude représente environ un tiers de la puissance maximale (partie hachurée) pendant certaines heures creuses du jour et plus particulièrement pendant les heures creuses de nuit. Les fins de semaines offrent, par ailleurs, des débouchés supplémentaires appréciables. On tiendra compte des données suivantes régissant le raccordement de chauffages directs ou à accumulation:

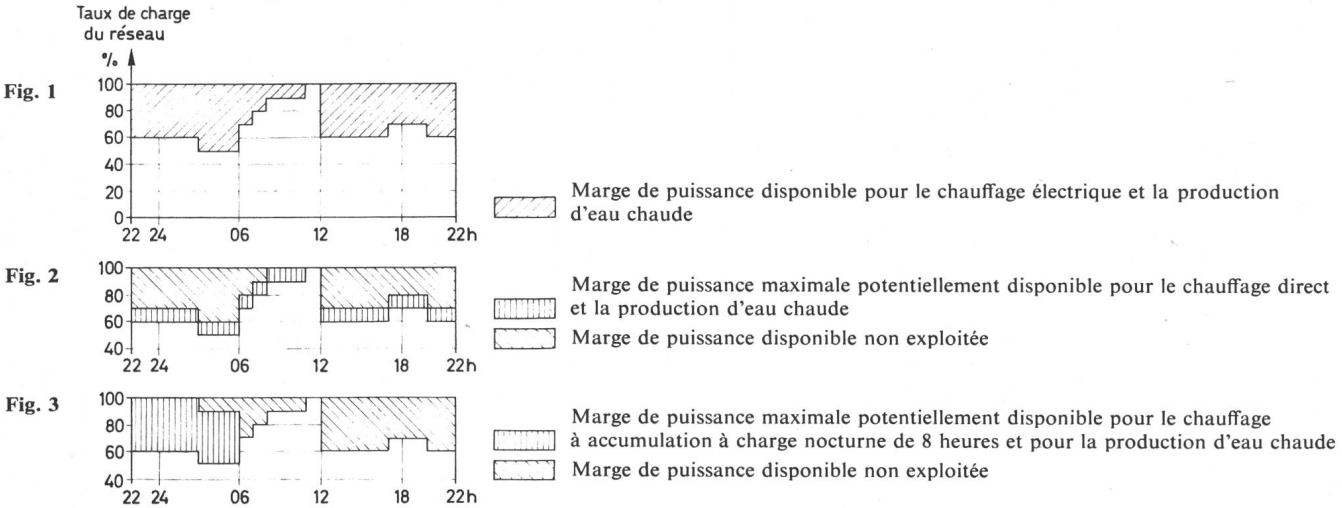
– En partant de l'hypothèse d'un blocage des chauffages directs, par exemple pendant une heure au maximum pendant la période de pointe de midi, on ne dispose que d'une marge de puissance relativement faible pour ce système de chauffage (comme l'indique la fig. 2). La marge de puissance disponible n'est réellement exploitée qu'à concurrence de 30 % pendant le jour le plus froid de l'année.

– Dans les mêmes conditions, le recours exclusif au chauffage à accumulation, avec période de charge nocturne de 8 heures, permet d'exploiter jusqu'à 40 % de la marge de puissance disponible (comme illustré à la fig. 3).

On pourrait obtenir une sensible amélioration du taux de charge en livrant de l'énergie, pendant les périodes marquées par des hachures (fig. 1), pour le chauffage électrique et la production d'eau chaude. On peut d'ailleurs encore améliorer ce taux de charge par des mesures appropriées dont certaines – déjà éprouvées et en service – seront décrites ci-après avec leur mode de tarification.

Différentes entreprises électriques, tant en Suisse qu'à l'étranger, procèdent actuellement à des enquêtes et travaux pratiques dans le but d'exploiter au maximum les marges de puissance disponibles jusqu'au taux de charge de la pointe journalière. La partie technique de la présente étude n'abordera pas cet aspect par suite de l'absence de résultats concluants en Suisse. La Commission Suisse d'Electrothermie (CSE) traite de ce problème dans son rapport sur le chauffage des locaux. La rédaction de ce rapport est en cours.

La présente étude n'examinera que les installations de chauffage par résistance, faute d'expériences suffisantes quant aux techniques de commande propres à intégrer des pompe thermiques faisant appel aux puissances disponibles. Le lecteur se référera au chapitre 6 des «Recommandations de l'UCS de juin 1977 sur la tarification de l'énergie de complé-



Chauffages par résistance les plus courants Tableau I

Systèmes de production de chaleur		Mode de construction des appareils	Combinaisons techniques des appareils
dans le local	**direct**	**Convecteurs** **Panneaux radiants** **Plinthes chauffantes** **Trames chauffantes**	*Chauffage mixte* Combinaison accumulateur statique + chauffage direct d'appoint *Formes d'exécution* – dans le même appareil: Chauffage mixte et accumulateur combiné – dans le même local: plancher chauffant + chauffage direct
	accumulateur	**Accumulateurs dynamiques** **Accumulateurs statiques** **Planchers chauffants** **Accumulateurs mixtes** **Accumulateurs combinés**	*Chauffage combiné* Combinaison accumulateur + chauffage direct dans la même unité d'habitation, mais pas dans le même local *Formes d'exécution* – chauffage combiné à accumulateur dynamique – chauffage combiné à accumulateur mixte ou combiné
centralisé	**direct**	**Aérotherme instantané** **Réchauffeur d'air**	Aucune définition spécifique ne peut être donnée par suite des possibilités de combinaison illimitées entre chauffage direct et chauffage à accumulation
	à accumulation	**à voie humide eau** **à voie sèche masse réfractaire**	

ment et la mise à disposition de marges de puissance de réserve» pour le raccordement et la tarification des pompes à chaleur. Finalement, l'UCS publie dans ce Bulletin des recommandations sur le raccordement et la tarification d'installations de chauffage bivalentes qui traitent notamment des problèmes d'intégration des pompes thermiques.

2. Le chauffage électrique par résistance

2.1 Systèmes de chauffage

Une comparaison préalable des différents systèmes de chauffage s'impose pour obtenir un meilleur aperçu de l'impact provoqué par le prélèvement d'énergie de chauffage sur le réseau de distribution. Conformément à la terminologie élaborée par la CSE, on fait la distinction entre les différents systèmes de chauffage et modes de construction des appareils récapitulés au tableau I.

Cette récapitulation fait ressortir la différence entre le chauffage direct et le chauffage à accumulation et le grand nombre de variantes techniques que l'on peut obtenir de la combinaison de ces modes de chauffage. Les entreprises électriques exercent une influence décisive sur la diffusion de certains systèmes de chauffage et de leurs combinaisons, selon leur politique tarifaire, leur finance d'équipement et leurs périodes de fourniture. La description des modes de fonctionnement des différents systèmes de chauffage ci-après permettra de mieux analyser ce problème.

2.1.1 Chauffage direct

Le soutirage d'énergie suit immédiatement la demande de chaleur. Un bref blocage pendant les périodes de pointe, n'excédant pas 60 minutes, est en règle générale possible sans incidence notable sur le confort. Comme l'entreprise électrique ne peut exercer aucun rôle sur les prélèvements d'énergie destinés à couvrir la demande, en dehors des périodes de blocage évoquées, il en sera tenu compte dans la tarification.

2.1.2 Chauffage à accumulation

Grâce à l'accumulateur de chaleur, la consommation d'énergie intervient avec un décalage dans le temps par rapport à la demande de chaleur. La puissance installée d'un chauffage à accumulation fonctionnant uniquement pendant les 8 heures creuses du tarif est à peu près le double de celle d'un chauffage direct. Par contre, cette même puissance installée peut être abaissée au niveau de celle du chauffage direct, si l'entreprise électrique octroie, pendant les jours les plus froids, des périodes de recharge diurne. La réduction de puissance installée est fonction de la durée de ladite période de recharge.

2.2 Combinaisons techniques d'appareils

Comme le démontre la récapitulation du tableau I, les combinaisons de systèmes de chauffage direct et à accumulation sont d'usage courant et leurs désignations sont connues depuis longtemps.

– Le *chauffage mixte* désigne les combinaisons groupant un accumulateur statique et un chauffage direct dans le même local. Pour la partie accumulation, on a le choix entre un radiateur à accumulation statique ou un plancher chauffant dont le rôle est de couvrir la charge de base de la demande de chaleur. Dans cette combinaison, le chauffage direct porte la désignation de «chauffage d'appoint». Il peut se présenter sous la forme d'un appareil séparé ou être incorporé dans le plancher, ou encore dans le radiateur à accumulation (accumulateurs à chauffage mixte ou combiné). Le chauffage direct sert au réglage fin de la température ambiante et à couvrir la demande en période de pointe de froid.

Périodes de charge usuelles des radiateurs à accumulation statique: 8 heures nocturnes.

Périodes de charge usuelles des planchers chauffants: 8 heures nocturnes + 2 à 3 heures en début d'après-midi.

Périodes de fourniture des chauffages d'appoint: toute la journée, avec blocage en périodes de pointe.

Ratios: $P_A = 1/3$ à $1/2\ P_S$

où

P_S = puissance installée accumulateur statique

P_A = puissance installée chauffage d'appoint

– Le *chauffage combiné* désigne les combinaisons groupant des appareils à accumulation et à chauffage direct dans le même habitat, mais non dans le même local.

En principe, toute combinaison groupant un système à accumulation avec des appareils séparés est un chauffage combiné.

On fait la distinction entre les formes d'exécution suivantes:

- chauffage combiné à accumulation dynamique
- chauffage combiné à accumulation mixte ou combinée
- chauffage combiné à planchers chauffants

Les données suivantes sont indispensables:

- indication de la durée de la charge des systèmes à accumulation
- quote-part des locaux chauffés par des appareils à chauffage direct (chdir), Q_h représentant la puissance thermique à apporter. Ainsi, par exemple, l'expression Q_h chdir [1]) = 25 % signifie que les locaux chauffés par chauffage direct exigent 25 % de la puissance thermique totale Q_h nécessaire pour chauffer l'intégralité du logement (de l'objet ou du circuit propre à un compteur). On ne fera pas de comparaisons de surfaces chauffées. Nous aurons par exemple:
  - chauffage combiné avec accumulation dynamique 8 + 7 h et Q_h chdir = 25 %
  - chauffage combiné avec accumulation combinée $P_A = 1/2\ P_S$ – 8 h et Q_h chdir = 20 %

[1]) chdir = chauffage direct.

2.3 Diffusion simultanée d'installations de chauffage combiné et de chauffage direct pur dans un réseau de distribution donné

On parviendra certainement à l'avenir à un meilleur étalement des charges d'un réseau de distribution en généralisant la diffusion simultanée d'installations de chauffage combiné et de chauffage direct, contrairement à ce qui a été pratiqué jusqu'à ce jour, avec une politique de promotion variant selon les régions et préconisant tel ou tel système de chauffage ou leurs combinaisons. Selon les conditions du réseau, on poussera plus ou moins la mise en œuvre de systèmes directs ou de systèmes à accumulation, ce qui permet d'exercer une influence sur l'évolution constante du ratio de puissance des systèmes directs et à accumulation.

En Suisse, on peut à l'heure actuelle subdiviser les systèmes de chauffage en deux groupes dont les caractéristiques figurent au tableau II.

Diffusion des systèmes de chauffage des locaux en Suisse (situation début 1979) — Tableau II

	Groupe 1: chauffage combiné prédominant		Groupe 2: chauffage direct prédominant	
a) *Régions*	Suisse alémanique essentiellement		Suisse romande et Tessin essentiellement	
b) *Situation initiale* – marges de puissance disponibles	– de nuit, l'après-midi, le soir		– toute la journée, sauf période de pointe de midi	
c) *Mesures pour l'étalement de la charge*	Déblocage dirigé de la durée de recharge diurne par quartier. Rapport entre tarif heures pleines/heures creuses supérieur à 2:1, pas de bas tarif en fin de semaine		Combinaison dirigée de chauffages directs purs et de chauffages combinés par quartier. Rapport entre tarif HP/HC inférieur à 2:1; éventuellement BT de fin de semaine	
d) *Conceptions* générales	– Accent sur accumulateurs à longue recharge diurne – Chauffages combinés avec Q_h chdir = 10–20 % – Peu de chauffages directs		– Accent sur appareils de chauffage individuels – Chauffages combinés avec Q_h chdir = 20–30 % – Nombreux chauffages directs	
particulières		*Proportions*		*Proportions*
Accumulation centralisée	avec longue recharge diurne	40–50 %	avec longue recharge diurne	10–20 %
Chauffages directs	cas spéciaux uniquement, avec isolation thermique et/ou limitation d'usage	2–10 %	accent sur construction à isolation thermique intégrale	30–50 %
Chauffages combinés	– Q_h chdir = 10–20 % – Accus dynamiques avec longue recharge diurne – Accumulateurs mixtes ou accus combinés avec $P_A = 1/3\ P_S$ ou $P_A = 1/2\ P_S$ suivant la marge de puissance disponible	50–40 %	– Q_h chdir = 20–30 % – Accus dynamiques avec recharge diurne de 3 h max. – Accumulateurs mixtes ou accus combinés avec $P_A = 1/2\ P_S$	60–40 %

Le rapport sur le chauffage des locaux 1981 de la CSE [1]), déjà évoqué, fournit des données chiffrées sur les deux conceptions traitées. Comme aucun système de chauffage (direct – accumulation) n'est en mesure à lui seul d'assurer une optimisation de l'étalement de la charge du réseau, un contrôle du ratio entre ces deux systèmes ou leurs combinaisons potentielles joue un rôle absolument déterminant.

3. Optimisation de l'exploitation des marges de puissance disponibles sur le plan exploitation

3.1 Influence sur la puissance soutirée par le chauffage direct

Abstraction faite des brèves périodes de blocage prévues pendant les périodes de pointe, les limitations d'approvisionnement énergétique sont incompatibles avec le chauffage direct. Il est donc pratiquement impossible de jouer sur l'allure de la charge avec ce mode de chauffage.

3.2 Influence du chauffage à accumulation par le biais de la recharge diurne

Dans un rapport publié en 1972 dans le Bulletin No 4 de l'ASE, l'UCS préconisait une charge diurne de 3 heures en complément de la charge nocturne de 8–9 heures. A cet égard, il convient de réduire au minimum la quote-part d'énergie diurne à l'aide d'une régulation appropriée, ceci dans l'intérêt du consommateur. On constate, à la suite des expériences recueillies, que les mesures préconisées ont généralement fait leurs preuves. Certaines entreprises électriques ont, par la suite, prolongé la période de recharge diurne en vue de réduire la puissance installée et d'accroître ainsi les possibilités de raccordement pour de nouveaux abonnés au chauffage électrique.

On trouve ci-après, subdivisées en 4 cas, une description des conséquences pour les entreprises électriques de différentes périodes de charge.

- le niveau de charge en fonction de l'heure pour un système à accumulation à décharge dynamique
- le dimensionnement de la capacité d'accumulation
- le nombre de raccordements d'abonnés
- la rentabilité

3.2.1 Cas de charge et recharge [2])

Une annexe au présent rapport traite des appareils nécessaires à la régulation de ces cas de charge et recharge.

Cas de charge et recharge — Tableau III

Cas	Charge nocturne en h		Recharge diurne à 100% de la puissance installée en h.	Heures de charge max. par journée de 24 h
	Accumulateurs individuels	Accumulation centralisée		
3.2.2	8 HC	8 HC + 1 HP ou HC	–	8– 9
3.2.3	8 HC	8 HC + 1 HP ou HC	jusqu'à 3 HP	11–12
3.2.4	8 HC	8 HC + 1 HP ou HC	jusqu'à 7 HP	15–16
3.2.5	8 HC	8 HC + 1 HP ou HC	jusqu'à 12 HP	20

[1]) paraîtra au début 1981.

[2]) Il est d'usage d'appliquer aux abonnés tout-électrique les tarifs heures creuses (HC) et heures pleines (HP) et non pas BT et HT qui sont des tarifs tous usages.

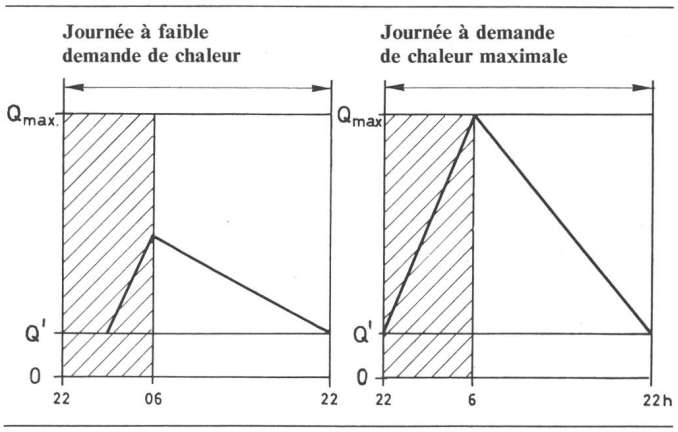


Fig. 4 Courbe de charge sans recharge diurne

Période de fourniture réservée à la charge

Q_{max} Charge maximale de l'accumulateur
Q' Charge résiduelle

3.2.2 8 heures de charge nocturne, sans recharge diurne

Malgré la charge uniquement nocturne, une quote-part de courant heures pleines de l'ordre de 1–2% est nécessaire pour assurer le fonctionnement des auxiliaires (commande, ventilation mécanique, circulateur). La puissance raccordée d'un chauffage à accumulation est approximativement deux fois plus importante que celle d'un chauffage direct.

Si l'on se réfère au diagramme de la fig. 3, qui donne le taux de charge quotidien, on peut exploiter environ 40% de la marge de puissance disponible pendant les heures creuses pour une journée à forte demande de chaleur. Répartie sur un semestre d'hiver complet, cette quote-part tombe à 20% en fonction de l'évolution des températures extérieures.

Sur la base des expériences recueillies, on peut, dans ce cas, chauffer à l'électricité environ 3 à 4% des logements des zones résidentielles.

L'entreprise dispose d'une certaine marge de manœuvre sur le plan de la rentabilité, pour autant – qu'elle ne soit pas obligée de renforcer le réseau existant pour raccorder les installations de chauffage – que les réserves de capacité destinées à couvrir les futurs raccordements d'immeubles entrant dans les plans d'aménagement soient conservées.

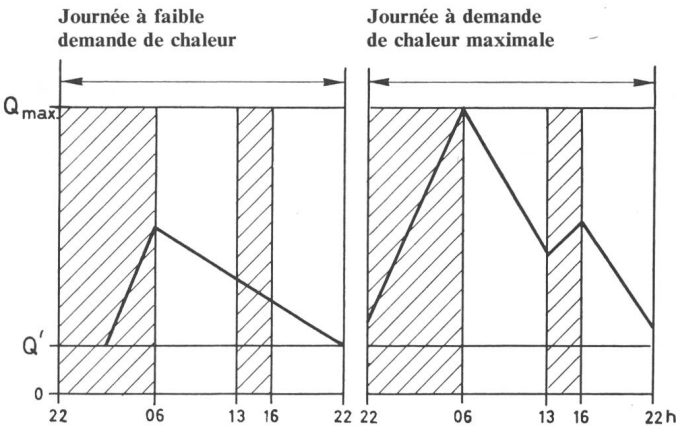


Fig. 5 Courbe de charge avec recharge diurne de 3 heures

Périodes de fourniture réservées à la charge

Q_{max} Charge maximale de l'accumulateur
Q' Charge résiduelle

3.2.3 Jusqu'à 3 heures de recharge diurne

La quote-part d'énergie heures pleines s'élève à 4–6 % de la demande totale d'énergie. Sur la base des expériences recueillies, la puissance installée d'un système à recharge diurne de 3 heures est de 25 à 30 % inférieure à celle d'un système à accumulation pure de 8 heures et ne représente que 1,5 fois celle d'un chauffage direct. Selon les capacités des réseaux, on peut de ce fait augmenter le nombre des raccordements et porter la quote-part des abonnés tout-électrique à 6–8 %, tout en augmentant simultanément les rentes. La marge de puissance disponible peut être exploitée jusqu'à concurrence de 50 % pour une journée à forte demande de chaleur.

3.2.4 Jusqu'à 7 heures de recharge diurne

La quote-part d'énergie en heures pleines se situe entre 10–15 % de la demande d'énergie totale. La puissance installée d'un système à accumulation à recharge diurne de 7 heures se situe à peu près au même niveau que celle d'un chauffage direct.

Comparée à celle du cas 3.2.2, à savoir la charge nocturne pure de 8 heures, la quote-part des logements tout-électrique peut être multipliée par 2,5 pour s'élever à 10 % de l'effectif des zones résidentielles, sans que l'appel d'énergie implique un dépassement des pointes quotidiennes.

Sur la base des taux de charge de la fig. 1, on pourra exploiter, au cours d'une journée à forte demande de chaleur, jusqu'à 75 % de la marge de puissance disponible pendant les heures creuses. Etalée sur un semestre d'hiver complet, cette quote-part tombera à environ 37 % suivant l'évolution des températures extérieures.

Tant que le réseau de distribution dispose de marges de puissance disponibles en dehors des périodes de pointe, l'octroi de périodes de charge diurne au tarif d'heures pleines entraîne une amélioration des recettes.

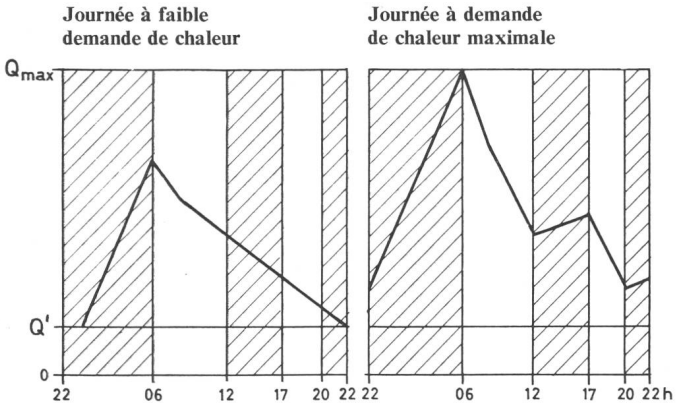


Fig. 6 Courbe de charge pour une recharge diurne de 7 heures

Périodes de fourniture réservées à la charge

Q_{max} Charge maximale de l'accumulateur

Q' Charge résiduelle

3.2.5 Jusqu'à 12 heures de recharge diurne

Ce cas qui implique une prolongation considérable de la recharge diurne, au-delà de 7 heures, entraîne des problèmes de réglage difficilement solubles et nécessairement des prélèvements d'énergie pendant les heures matinales. Or, il ressort des taux de charge de la fig. 1 que les marges de puissance disponibles pendant cette période de la journée sont extrêmement limitées. Une réduction supplémentaire de la puissance installée n'est donc guère envisageable. Par contre, on peut s'attendre à une amélioration du coefficient de simultanéité (kW chauffage soutiré/kW chauffage installé). Les résultats procurés par de tels raccordements sont similaires à ceux du chauffage direct.

3.2.6 Récapitulation critique de la recharge diurne

3.2.6.1 Points de vue de l'entreprise électrique

Les cas précédents 3.2.2 à 3.2.5 décrivent les conséquences provoquées par différentes durées de recharge diurne sur la charge d'un réseau. Les calculs apparaissant au tableau IV sont basés sur une courbe de charge sans chauffage électrique ni chauffe-eau à accumulation telle qu'illustrée à la fig. 1.

D'une façon générale, la prolongation de la durée de recharge diurne au tarif d'heures pleines se traduit par une réduction de la puissance installée moyenne, par un meilleur étalement de la charge du réseau, par une augmentation des abonnés et finalement, par extension, par une amélioration des résultats financiers de l'entreprise.

Mais, comme les marges de puissance disponibles finissent par être totalement exploitées par suite de l'augmentation croissante des abonnés tout-électrique, un renforcement du réseau deviendra inéluctable. Cette situation peut entraîner une chute de la rentabilité si, pour le financement des travaux d'extension, on ne dispose pas, par exemple, de réserves constituées par les finances d'équipement des raccordements n'ayant pas impliqué de renforcement du réseau.

Dans ce contexte, il convient de veiller au point suivant. Tant que les réseaux de distribution disposent d'une marge de puissance disponible en dehors des périodes de pointe et que le préfinancement des investissements est assuré, l'admission de nouveaux abonnés tout-électrique est rentable pour les entreprises électriques.

Selon l'évolution de la conjoncture, la courbe de charge (fig. 1) qui est à la base de ces considérations peut changer d'allure, plus ou moins rapidement, avec le temps. On peut s'attendre à une poussée de la pointe de charge quotidienne et, selon le programme de charge retenu, envisager le raccordement d'un nombre plus ou moins grand de systèmes à accumulation supplémentaires pour assurer un étalement équilibré des charges.

3.2.6.2 Point de vue des consommateurs

Lors de l'appréciation des cas de recharge diurne décrits, il convient d'examiner non seulement les conséquences pour le fournisseur d'électricité, mais également pour le consommateur, notamment en ce qui concerne les coûts de chauffage. Ces derniers doivent être maintenus à un niveau compatible avec les intérêts des entreprises électriques.

On tiendra compte dans le calcul des coûts annuels, à la charge du consommateur, des taux d'intérêt et d'amortissement valables non seulement pour les installations de chauffage, mais également pour tout l'équipement annexe, sans oublier la taxe d'équipement. Les frais d'entretien et de réparation représentent 0,5 à 1 % des frais d'investissement concernés. Pour le calcul des coûts de l'énergie, dans le tableau comparatif qui suit, on part de l'hypothèse que le rapport entre les tarifs d'heures pleines et d'heures creuses se situe à 2,5:1, soit 14:5,5 ct/kWh (cf. chapitre 4.2).

Il ressort du tableau III que les cas avec recharge diurne de 3 et 7 heures au tarif en heures pleines sont les plus intéressants

économiquement parlant. Les coûts annuels avec une recharge diurne de 7 h ne sont que très légèrement inférieurs à ceux d'une recharge de 3 heures. Les coûts annuels des cas de chauffage direct et des cas à accumulation pure, sans recharge diurne, sont 10 à 11 % plus élevés.

Grâce à la prolongation de la durée de recharge qui permet de réduire la puissance soutirée par l'installation, l'entreprise électrique est en mesure d'augmenter le nombre des abonnés tout-électrique dans les cas d'une recharge diurne de 3 et 7 heures. Cela se traduit par un meilleur étalement des charges du réseau et par une augmentation des recettes. Le consommateur pour sa part profite d'une réduction de ces coûts d'exploitation annuels. Le point d'intersection de la courbe décroissante des frais d'investissement et de la courbe croissante des coûts d'énergie marque un seuil. Selon l'expérience, ce seuil correspond à une consommation d'énergie en heures pleines représentant 10 à 12 % de la consommation totale.

En pratiquant une recharge diurne de 12 heures au tarif d'heures pleines, on dépasse ce seuil. En d'autres termes, les coûts de l'énergie n'ont plus aucun rapport avec les frais d'investissement qui ne sont pas compressibles à l'infini. Une simple comparaison, avec le cas de 7 heures de recharge, fait ressortir une augmentation des frais globaux qui rebute le consommateur.

3.3 Enclenchement des chauffages à accumulation et des chauffe-eau à accumulation

3.3.1 Enclenchement échelonné des chauffages à accumulation

L'enclenchement des installations de chauffage, par le truchement de la commande centralisée, n'est pas simultané pour ne pas perturber la stabilité de la tension du réseau. Les enclenchements sont échelonnés, dans le temps, sur plusieurs minutes. A partir d'une certaine puissance installée, de l'ordre de 10 kW, on enclenche progressivement par paliers de puissance jusqu'à la puissance maximale.

Pour optimiser l'étalement de la courbe de charge, en fonction des conditions atmosphériques, on transfère la période de charge des systèmes à accumulation d'une certaine puissance

Comparaison des coûts d'exploitation annuels du chauffage d'une maison unifamiliale avec différentes durées de recharge Tableau IV

Objet	Maison unifamiliale de 6 pièces	Tarif sans rabais fin de semaine	Heures pleines: 14 ct/kWh (16 h/jour) Heures creuses: 5,5 ct/kWh (8 h/jour)
Surface chauffée	165 m²		
Puissance calorifique	Q_h = 16000 kcal/h = 18600 W		
Type d'installation	Chauffage combiné à accumulation dynamique et chauffage direct	Finance d'équipement	Fr. 120.–/kW
Nombre d'accumulateurs	11	Amortissement des frais de premier établissement en 20 ans, taux d'intérêt 5 %, taux d'amortissement	8 %
Nombre d'appareils de chauffage direct	3		
Besoins énergétiques annuels	25500 kWh pour cas 3.2.2/5; 25000 kWh pour cas 3.1		

Nombre heures de charge quotidienne	8 + 0 = 8	8 + 3 = 11	8 + 7 = 15	8 + 12 = 20	23	h
Cas et chapitre	3.2.2	3.2.3	3.2.4	3.2.5	3.1 [1])	
Quote-part tarif d'heures pleines	2	4	11	26	70	%
Quote-part tarif d'heures creuses	98	96	89	74	30	%
Puissance installée						
Accumulateur	37,6	26,6	19,1	14,6	–	kW
Chauffage direct	2,4	2,4	2,4	2,4	20	kW
Total	40,0	29,0	21,5	17,0	20	kW
Consommation en heures pleines	510	1 020	2 800	6 630	17 500	kWh
Consommation en heures creuses	24 990	24 480	22 700	18 870	7 500	kWh
Consommation totale	25 500	25 500	25 500	25 500	25 000 [2])	kWh
Frais de premier établissement, y compris montage	23 000	19 500	18 500	17 000	8 500	Fr.
Finance d'équipement	4 800	3 480	2 580	2 040	2 400	Fr.
Total frais de premier établissement	27 800	22 980	21 080	19 040	10 900	Fr.
Amortissement	2 224	1 838	1 686	1 523	872	Fr.
Entretien et réparations	115	100	95	85	42	Fr.
Frais d'énergie en heures pleines	71	143	392	928	2 450	Fr.
Frais d'énergie en heures creuses	1 374	1 346	1 248	1 038	412	Fr.
Total frais d'énergie	1 445	1 489	1 640	1 966	2 862	Fr.
Total frais d'exploitation annuels	3 784	3 427	3 421	3 574	3 776	Fr.
Indice des coûts cas 3.2.4 = 100	110,6	100,2	100,0	104,5	110,4	%

[1]) Chauffage direct.

[2]) Pertes thermiques plus faibles que celles du système combiné.

(p.ex.: 6 kW et plus) vers la fin de la nuit par le biais d'une commande automatique. Malgré ces précautions, il faut s'attendre à une forte augmentation de la puissance appelée en quelques minutes, notamment lors des fortes demandes de chaleur. Si le réseau comprend un grand nombre de chauffages à accumulation à charge nocturne normale de 8 heures, les enclenchements seront échelonnés en fonction de la courbe de charge. Cette solution n'est praticable que si les heures creuses s'étendent sur une période de 9 à 10 heures.

3.3.2 Enclenchement des chauffe-eau à accumulation

Dans le cas de longues périodes de recharge diurne (par exemple cas 3.2.4), la sonde thermostatique captant la chaleur résiduelle n'entre en action que par temps doux. Par contre, les systèmes à accumulation normaux s'enclenchent en moyenne 40 à 60 jours par an au début de la période d'heures creuses par temps froid. En vue d'étaler la courbe de charge, à ce moment critique, tous les chauffe-eau à accumulation indépendants, c'est-à-dire non couplés à un système de chauffage à accumulation et dont la période de charge est inférieure à 8 heures, seront enclenchés en fin de nuit.

4. Tarification de l'énergie consacrée au chauffage

4.1 Politique tarifaire et compétitivité du chauffage électrique des locaux

L'expansion du chauffage électrique des locaux est fonction d'un système tarifaire fondé sur les coûts réels découlant d'une optimisation de l'exploitation des marges de puissance disponibles et de la capacité du réseau. Comme la structure des coûts de production et de distribution de l'énergie est fortement conditionnée par les frais fixes, de fortes différences entre le prix de revient et les coûts marginaux sont inéluctables. En dehors des périodes de pointe dues à la consommation normale, on peut augmenter les fournitures d'énergie par le biais d'une meilleure exploitation des installations existantes à un coût marginal relativement bas.

Un tarif fondé sur les coûts réels doit impérativement être du type binôme et comprendre: – d'une part un poste redevance fixe ou prime de puissance – et, d'autre part, un poste couvrant les frais d'énergie, facturés à des tarifs différents, suivant les heures ou même éventuellement les saisons. On sait que la structure des coûts du téléphone, de l'entreprise des PTT, est essentiellement axée sur les frais fixes. De même, les entreprises électriques sont également obligées de couvrir, par le biais d'un poste tarifaire indépendant de la durée de consommation, une quote-part raisonnable des frais fixes impliqués par la mise à disposition permanente de la puissance et aussi par les nombreuses exigences de la clientèle. Cependant, de nombreux distributeurs, pour des raisons politiques, ont maintenu les redevances fixes et les primes de puissance à un niveau incompatible avec la situation réelle des coûts. Il en résulte le transfert relativement important du poste frais fixes sur le poste coût de l'énergie.

4.2 Bases tarifaires (situation début 1979)

Comme base du prix du kWh destiné au chauffage électrique des locaux, on prend généralement le prix du tarif ménage à compteur unique, la plupart du temps valable toute l'année. Sans tenir compte de la redevance fixe, le prix moyen du kWh pour l'usage normal, facturé par la plupart des entreprises électriques d'importance régionale, s'établit comme suit:

	Prix moyen (début 1979)
Tarif d'heures pleines	14 ct./kWh
Tarif d'heures creuses	5,5 ct./kWh

Le tarif d'heures creuses est octroyé généralement pendant une période de 8 à 9 heures se situant entre 21 heures et 7 heures.

Les grandes entreprises électriques urbaines octroient généralement des tarifs plus bas, soit environ 10 ct./kWh en heures pleines et environ 5 ct./kWh en heures creuses.

Certaines entreprises électriques octroient, pour leur part, des tarifs spéciaux pour les ménages tout-électrique avec un rabais sur le prix de l'énergie allant jusqu'à 2 ct./kWh en heures pleines et jusqu'à 0,5 ct./kWh en heures creuses par rapport au tarif ménage à compteur unique évoqué plus haut. L'importance de ce rabais est fonction d'une part du prix de revient et de la charge du réseau de l'entreprise et, d'autre part, du coût du fuel de chauffage.

Certaines entreprises romandes ne font pas de distinction entre les tarifs en heures creuses et en heures pleines et appliquent un tarif unique jour et nuit de l'ordre de 9–10 ct./kWh.

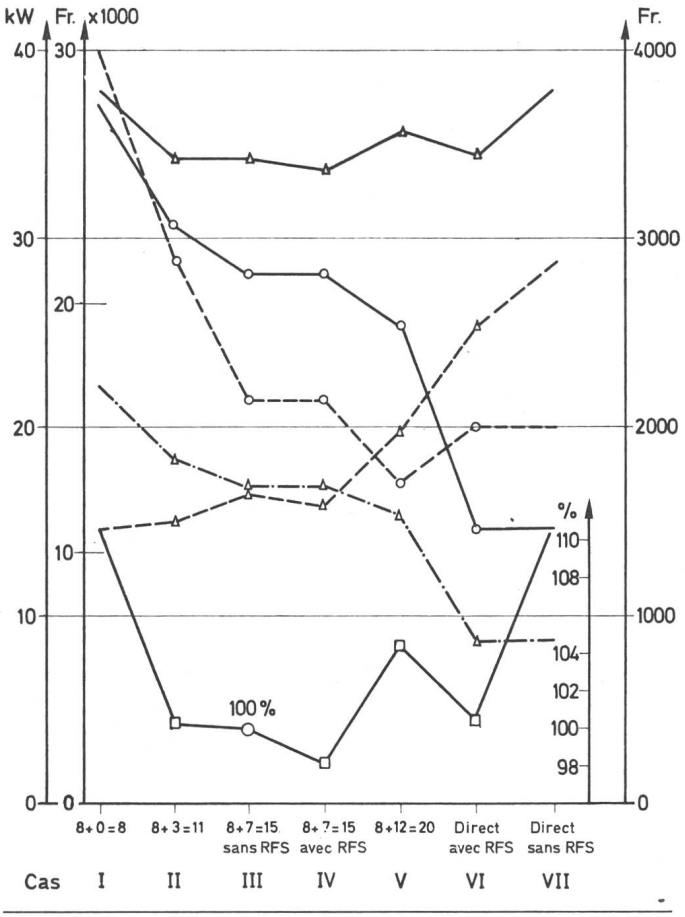


Fig. 7 Comparaison des frais d'exploitation annuels du chauffage électrique d'une maison unifamiliale avec différentes périodes de recharge d'après les tableaux III et IV

- o——o Frais de premier établissement
- o- - - -o Puissance installée
- Δ——Δ Total des frais d'exploitation annuels
- Δ- - - -Δ Frais d'énergie
- Δ-·-·-Δ Amortissement des frais de premier établissement
- □——□ Frais annuels en % du cas III
- RFS Rabais fin de semaine

4.3 Influence des mesures tarifaires sur le choix d'un système de chauffage

Outre la finance contractuelle d'équipement, l'entreprise électrique dispose, en jouant sur la structure tarifaire, d'un second moyen efficace pour influencer l'usager dans son choix d'un système de chauffage. En observant une politique tarifaire conséquente, c'est-à-dire en jouant sur le rapport tarifs en heures pleines et en heures creuses, sur la durée des périodes de fourniture de courant destiné au chauffage et en octroyant des tarifs d'heures creuses pendant les fins de semaines, l'entreprise sera en mesure d'orienter les raccordements dans le sens escompté. A titre d'exemple, l'octroi d'un tarif unique jour et nuit favorise considérablement le chauffage direct, économiquement parlant, par rapport au chauffage à accumulation pur ou à semi-accumulation. Par contre, un double tarif avec un prix en heures creuses particulièrement avantageux, c'est-à-dire inférieur à la moitié du prix en heures pleines, contribuera à la diffusion du chauffage à accumulation.

En accordant un tarif d'heures creuses permanent en fin de semaine, on favorise la compétitivité tant de la production électrique de l'eau chaude que le chauffage électrique des locaux.

Comme le démontrent les chiffres du tableau V relatifs au chauffage électrique d'une maison unifamiliale décrite au tableau IV, le bilan économique des deux cas 3.2.4 chauffage combiné et 3.1 chauffage direct devient plus intéressant et leurs coûts d'exploitation annuels sont très sensiblement comparables (cf. également fig. 7) avec l'octroi d'un rabais fin de semaine.

Les rabais de fin de semaine favorisent les deux variantes. Les coûts d'exploitation du chauffage combiné à forte composante en accumulation sont réduits de 1,9 % tandis que ceux du chauffage direct sont abaissés de 7,9 %. Si l'on prend pour base indiciaire le cas 3.2.4 = 100 %, on obtient les indices suivants: chauffage combiné 98,1, chauffage direct 101,7. Comparées aux coûts globaux, ces différences sont pratiquement négligeables pour le consommateur.

Il est vrai qu'en poussant le raccordement d'installations à chauffage direct, on crée une demande pour de l'énergie chère qui est évidemment facturée à haut tarif. En partant de l'exemple ci-dessus, l'entreprise électrique augmente ses rentrées d'environ 63 % avec le chauffage direct par rapport au chauffage combiné. Ces chiffres ne représentent bien entendu que des ordres de grandeur et il n'en résulte pas moins une certaine égalité entre chauffages direct et à accumulation si l'on tient compte des coûts globaux annuels, dans certaines conditions. L'entreprise pourra donc, le cas échéant, préconiser une proportion plus ou moins grande de chauffages directs sans

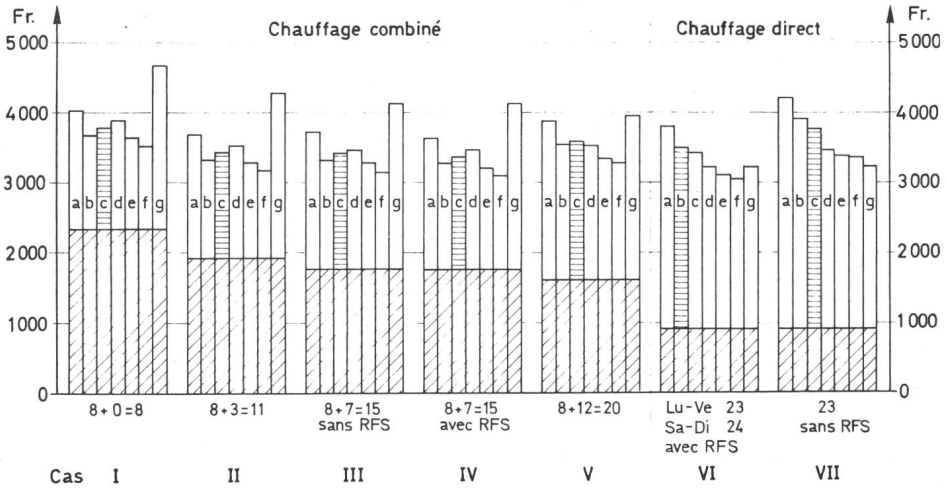
Comparaison des coûts d'exploitation annuels d'un chauffage direct et d'un chauffage à accumulation avec rabais fin de semaine Tableau V

Objet	Maison unifamiliale de 6 pièces avec puissance calorifique suivant tableau III	Période heures pleines	86,5 h/semaine (Lu–Ve 6–22 h, Sa 6–12.30 h)
Tarif avec rabais fin de semaine	Heures pleines 14 ct./kWh, heures creuses 5,5 ct./kWh	Période heures creuses	18,5 h/semaine (Lu–Sa 22–6 h, Sa 12.30–Lu 6 h)
Finance d'équipement	Fr. 120.–/kW	Périodes de blocage:	
Amortissement frais de premier établissement en 20 ans, taux d'intérêt 5 %	8 %	du chauffage direct	du lundi au vendredi entre 11 et 12 h
		du chauffage à accumulation	du lundi au vendredi 8 h de nuit et 7 h au maximum de jour, en fin de semaine libre pendant les heures creuses

Mode de chauffage	Chauffage combiné	Chauffage direct	
Quote-part tarif en heures pleines	8	54	%
Quote-part tarif en heures creuses	92	46 [1])	%
Puissance installée	21,5	20	kW
Consommation en heures pleines	2 040	13 500	kWh
Consommation en heures creuses	23 460	11 500	kWh
Consommation totale	25 500	25 000	kWh
Frais de premier établissement y compris montage	18 500	8 500	Fr.
Finance d'équipement	2 580	2 400	Fr.
Total des frais de premier établissement	21 080	10 900	Fr.
Amortissement	1 686	872	Fr.
Entretien et réparation	95	42	Fr.
Frais d'énergie en heures pleines	286	1 890	Fr.
Frais d'énergie en heures creuses	1 290	632	Fr.
Total des frais d'énergie	1 576	2 522	Fr.
Total des frais d'exploitation annuels	3 357	3 436	Fr.
Indice des coûts 8 + 7 heures sans RFS = 100 [2])	98,1 %	100,4 %	%

[1]) La quote-part des heures creuses varie en fonction de la consigne marche réduite de nuit sélectionnée.
[2]) RFS = rabais fin de semaine, indice basé sur cas 3.2.4 du tableau IV.

Fig. 8
Influence de la structure tarifaire sur les frais annuels d'exploitation de différents cas de chauffage



Frais d'énergie

Exemple de référence c

Amortissement, entretien, réparations

Variantes de tarif en centimes/kWh

a	HP 16,0	HC 6,5	e	HP 12,0	HC 5,0
b	HP 15,0	HC 5,0	f	HP 12,0	HC 4,5
c	HP 14,0	HC 5,5	g	Jour/nuit	9,2
d	HP 12,0	HC 6,0			

risque de léser les intérêts des consommateurs. Dans ce contexte, les rabais de fin semaine ont donc un effet positif.

On a calculé au tableau VI les frais d'exploitation annuels de sept variantes de tarif pour l'exemple de référence étudié ci-dessus et représenté graphiquement les résultats à la fig. 8. On se rend ainsi mieux compte des possibilités de promotion de certains systèmes de chauffage par le biais d'une tarification appropriée. Les variantes de tarif a) et f) sont considérées comme les valeurs limites supérieures et inférieures du marché suisse, ce qui n'exclut pas des exceptions au niveau encore plus élevé ou plus bas. Les variantes b) et d) sont appliquées par deux entreprises électriques régionales de grande taille. La variante c), qui correspond à la moyenne suisse, a servi pour l'exemple de référence. La variante e) est un tarif spécial accordant un rabais de 2 ct. pendant les heures pleines et de 0,5 ct. pendant les heures creuses sur le tarif moyen de l'exemple de référence. La variante g), qui est accordée par une entreprise électrique régionale de taille moyenne de Suisse romande, tend à promouvoir très nettement le chauffage direct.

En classant les résultats par modes de chauffage, on voit tout de suite l'influence exercée par une variante de tarif sur les frais d'exploitation annuels globaux pour chaque système étu-

Influence de la structure tarifaire sur les frais d'exploitation annuels de différents cas de chauffage
Frais d'exploitation annuels (Indice de référence = 100% pour cas et période de recharge III)

Tableau VI

	Chauffage combiné					Chauffage direct	
Cas de chauffage et période de recharge	I 8 + 0 = 8	II 8 + 3 = 11	III 8 + 7 = 15 sans RFS	IV 8 + 7 = 15 avec RFS	V 8 + 12 = 20	VI Lu–Ve 23 Sa–Di 24 avec RFS	VII 23 sans RFS
Variante de tarif a) HP 16,0 HC 6,5 ct/kWh Fr.	4045	3692	3704	3632	3896	3821	4201
en % du cas III	109,2	99,7	100,0	98,1	105,2	103,2	113,4
Variante de tarif b) HP 15,0 HC 5,0 ct/kWh Fr.	3664	3315	3336	3260	3545	3514	3914
en % du cas III	109,8	99,4	100,0	97,7	106,3	105,3	117,3
Variante de tarif c) HP 14,0 HC 5,5 ct/kWh Fr.	3784	3427	3421	3357	3574	3436	3776
en % du cas III	110,6	100,2	100,0	98,1	104,5	100,4	110,4
Variante de tarif d) HP 12,0 HC 6,0 ct/kWh Fr.	3899	3529	3479	3434	3536	3224	3464
en % du cas III	112,1	101,4	100,0	98,7	101,6	92,7	99,6
Variante de tarif e) HP 12,0 HC 5,0 ct/kWh Fr.	3649	3284	3252	3199	3347	3109	3389
en % du cas III	112,2	101,0	100,0	98,4	102,9	95,6	104,2
Variante de tarif f) HP 12,0 HC 4,5 ct/kWh Fr.	3525	3162	3139	3082	3253	3051	3351
en % du cas III	112,3	100,7	100,0	98,2	103,6	97,2	106,8
Variante de tarif g) Jour/nuit 9,2 ct/kWh Fr.	4685	4284	4127	4127	3954	3214	3214
en % du cas III	113,5	103,8	100,0	100,0	95,8	77,9	77,9

dié. Sur la base de ces résultats et en fonction de leur politique tarifaire, les entreprises électriques pourront tirer leurs propres conclusions quant à leur ligne de conduite vis-à-vis du chauffage électrique des locaux.

5. Conclusions et recommandations

Les problèmes d'approvisionnement en combustibles liquides pour le chauffage des locaux vont s'accentuer dans le proche avenir, avec pour conséquence une tendance très marquée vers la substitution par d'autres agents énergétiques. Actuellement, seuls le gaz naturel et l'électricité distribués par des réseaux offrent une solution de rechange valable, d'autant plus que leur compétitivité s'améliore en fonction de l'augmentation des prix du pétrole.

La substitution par l'électricité soulève avant tout des problèmes de production et de distribution car la demande de chaleur, pendant les grands froids, se manifeste malheureusement pendant les périodes de pointe de charge du système de production et distribution helvétiques.

Néanmoins un examen plus poussé des conditions de production et de distribution démontre qu'il est possible d'approvisionner un nombre relativement important de systèmes de chauffage électrique des locaux, en particulier pendant les heures creuses nocturnes ainsi que pendant certaines heures creuses diurnes.

De même, l'examen des réseaux de distribution régionaux fait ressortir d'importantes marges de puissance disponibles dont l'exploitation, dûment planifiée, pourrait permettre l'électrification tout-électrique de plus de 10% des logements existants, sans impliquer de notables travaux de renforcement.

On a examiné dans le présent rapport les conditions d'un modèle déterminé de charge de moyenne importance. Il en résulte qu'un réseau sans chauffage électrique n'est exploité qu'à concurrence des deux tiers de sa capacité. Par le biais du blocage, durant la période de pointe de midi, on ne peut, techniquement parlant, exploiter avec le chauffage direct que 30% environ des marges de puissance disponibles, chiffre qui peut être porté à 40% avec le chauffage à accumulation pure à charge nocturne de 8 heures.

La combinaison des deux systèmes dans une installation, sous forme de systèmes dits combinés (p.ex. accumulation pour les pièces principales et chauffage direct pour les pièces annexes) ainsi que le raccordement simultané des deux systèmes sur un même secteur du réseau entraînent une sensible amélioration de l'exploitation des réseaux.

L'objectif, à la fois technique et économique, est une meilleure exploitation des installations par les entreprises électriques. Il doit tenir compte des marges de puissance disponibles et porter sur le raccordement du plus grand nombre d'abonnés à des conditions aussi favorables que possible.

D'une façon générale, on constate que pour des prix d'énergie moyens (tarif HP/HC) et des finances d'équipement moyennes, le chauffage direct pur entraîne des coûts de premier établissement inférieurs pour des coûts d'énergie supérieurs si on le compare au chauffage à accumulation pure. Avec une charge de 8 heures, ce dernier entraîne, par suite des frais de premier établissement et des finances d'équipement relativement élevés, des coûts d'exploitation annuels, en règle générale, légèrement supérieurs.

En vue d'améliorer cette structure des coûts, tout en améliorant simultanément l'exploitation des marges de puissance disponibles, on s'efforcera d'abaisser au maximum la puissance soutirée par les chauffages combinés en prolongeant la période de charge dans les périodes en heures pleines. Grâce aux systèmes de régulation développés au cours des dernières années, des périodes de recharge allant jusqu'à 7 heures ne soulèvent actuellement aucun problème.

Des enquêtes exhaustives réalisées auprès de différentes entreprises électriques, de façon analogue à l'exemple du présent rapport (récapitulation en annexe) ont démontré que les durées de recharge diurne de 3 à 7 heures pour une durée de charge totale de 11 à 15 heures, sont économiquement intéressantes, tant pour le consommateur que pour le fournisseur. Elles sont de ce fait préconisées. Lorsque les conditions sont favorables, les puissances installées des chauffages combinés se rapprochent de celles du chauffage direct. Les périodes de charge supérieures à 15 heures ne sont pas avantageuses pour l'exploitation optimale des marges de puissance disponibles, et elles ne sont pas rentables. De plus, elles soulèvent encore des problèmes de technique de commande.

On peut améliorer sensiblement la rentabilité d'un chauffage combiné par rapport à un chauffage direct en jouant soigneusement sur le rapport existant entre le tarif d'heures creuses/le tarif d'heures pleines qui se situera dans la plage de 1:2 à 1:3 et en prévoyant une recharge diurne raisonnable facturée au tarif d'heures pleines. D'une façon générale, on veillera à ce que la quote-part de consommation en heures pleines ne dépasse pas 10 à 12% de la consommation d'énergie totale tant pour les chauffages à accumulation que pour les chauffages combinés.

En outre, la rentabilité du chauffage combiné se situera à peu près au niveau du chauffage direct si l'on débloque entièrement la fourniture au tarif d'heures creuses pendant les fins de semaines en vue de promouvoir le chauffage électrique des locaux. Cette observation est également valable pour les logements anciens à faible isolation et à chauffage par accumulation centralisée avec programme de préaccumulation.

Toutes ces considérations, très résumées, sont détaillées dans le présent rapport qui formule les recommandations suivantes:

Tarifs ménage à compteur unique

Le chauffage électrique des locaux est actuellement rentable s'il est tarifé conformément aux tarifs ménage à compteur unique usuels. Les redevances fixes et les primes de puissance usuelles ainsi que les prix de l'énergie en heures pleines et en heures creuses sont d'une conception simple tout en présentant l'avantage de traiter tous les groupes de consommateurs sur le même pied. Selon la politique que l'entreprise entend suivre pour influencer le raccordement de chauffages électriques, celle-ci respectera les principes de tarification de même que les périodes de fourniture et de recharge jusqu'à 7 heures décrites au chapitre 3.

Par le biais de doubles tarifs, avec fourniture en heures creuses de nuit particulièrement avantageuse, l'entreprise électrique donnera une certaine impulsion au raccordement de chauffages combinés et à accumulation.

Rabais de fin de semaine

L'introduction du tarif d'heures creuses pendant la fin de semaine est compatible avec la charge du réseau. Si elle favorise le chauffage direct, elle apporte toutefois des avantages

aux usagers de chauffages combinés et à accumulation. En partant d'une structure tarifaire bien équilibrée et couvrant les frais (HP:HC environ 2:1), les frais d'exploitation annuels d'un chauffage direct ne dépasseront pas ceux d'un chauffage à accumulation, compte tenu des directives exprimées au paragraphe 4.2. L'entreprise électrique sera en mesure de promouvoir le chauffage soit direct, soit à accumulation, ou encore combiné, en fonction des charges locales, sans pour autant léser les intérêts des consommateurs.

Finance d'équipement (contribution aux frais de construction)

Afin de ne pas empêcher le raccordement d'installations de chauffage dans les parties du réseau disposant de faibles marges de réserve en exigeant une contribution aux frais de construction trop élevée, le prélèvement d'une finance d'équipement uniforme est recommandé. Cette pratique est déjà introduite par un grand nombre d'entreprises électriques.

Prescriptions concernant l'isolation thermique

Il est recommandé de n'autoriser l'installation du chauffage électrique que pour les bâtiments présentant une bonne isolation thermique. Le coefficient moyen de transmission thermique K ne devrait pas dépasser 0,6 à 0,8 W/m² K pour un bâtiment avec chauffage tout-électrique (au lieu du coefficient de transmission thermique K on peut aussi utiliser le coefficient volumique de déperditions). L'isolation thermique doit correspondre aux normes SIA[1]). Il est recommandé d'introduire cette disposition dans le règlement concernant la fourniture d'énergie électrique ou dans les conditions de raccordement pour installations de chauffage électrique.

[1]) Notamment la recommandation SIA 180/1 concernant la protection thermique des bâtiments en hiver.

Annexe

Régulation de la charge des systèmes de chauffage

1. Généralités

En principe, les systèmes de chauffage et leurs systèmes de régulation de charge seront conçus de façon à assurer la priorité à la charge nocturne en cas de baisse de la température extérieure.

Toutes les températures sont des températures journalières moyennes. Les considérations qui suivent s'appliquent à des systèmes exploités normalement toute la journée.

Les périodes de charge s'effectuent toujours à 100% de la puissance installée de nuit.

La température limite d'accumulation ϑ_{AS} désigne la température extérieure extrême pour laquelle la charge nocturne complète couvre très exactement la demande de chaleur.

2. Pas de recharge ou recharge diurne jusqu'à 3 heures

2.1 Construction des systèmes

Pour les systèmes à accumulateur statique ou accumulateur centralisé, les réalisations du type «charge nocturne 8 heures» ont largement fait leurs preuves quant à leur capacité d'accumulation et à leurs surfaces internes échangeuses de chaleur. Ils entrent donc dans la présente rubrique.

2.2 Système usuel de régulation de la charge

La fig. 9 représente le mode de fonctionnement du système de régulation de la charge d'usage courant depuis des années et convenant aux courtes recharges. La fig. 10 montre comment on détermine la température limite d'accumulation ϑ_{AS}. Pour une durée de charge nocturne et diurne totale $T_d = 8 + 3 = 11$ heures, on obtient une température limite d'accumulation ϑ_{AS} de -3 °C. On ajustera la pente de la caractéristique de charge nocturne de telle façon qu'une charge à 100% de la masse réfractaire de l'accumulateur soit atteinte pour une température extérieure de -3 °C. Bien entendu, si la température extérieure devait tomber au-dessous de -3 °C, on maintient la charge nocturne de 8 heures. Au cours de la journée, les caractéristiques de charge sont horizontales et partent du niveau de la valeur de charge finale nocturne (hypothèse: pas d'enclenchement différé, programme indépendant du temps). On se trouve dans la partie A de la fig. 9. Si maintenant W^{-3} représente la quantité de chaleur accumulée pour une température extérieure de -3 °C, on remarque immédiatement que la recharge diurne serait enclenchée même pour des températures extérieures plus élevées. C'est pourquoi on a prévu dans le système de régulation un potentiomètre de consigne, dit potentiomètre de jour, avec lequel on peut effectuer une translation de la caractéristique de jour, comme représenté dans la partie B de l'exemple de la fig. 9. Si cette translation est correctement effectuée, la recharge diurne n'est mise à contribution qu'en cas de réelle nécessité.

Deux faits ressortent clairement de la fig. 9:

– L'ampleur de la translation dépend non seulement de la durée de la recharge diurne, et par extension de la température limite d'accumulation, mais encore de l'instant de déblocage de la fourniture d'énergie pour la recharge.

– La recharge diurne ne peut pas être indéfiniment prolongée en fonction de la chute de la température extérieure. En effet, au-delà

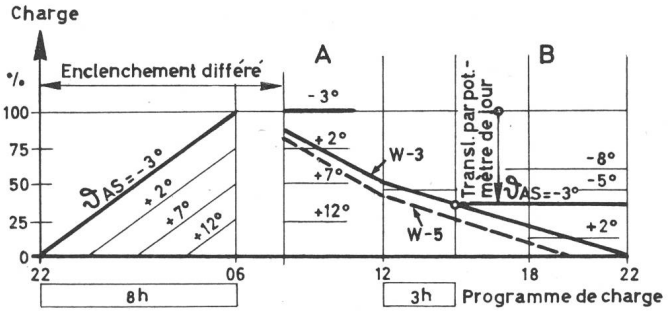


Fig. 9 Système de régulation pour recharge diurne de 3 h au maximum

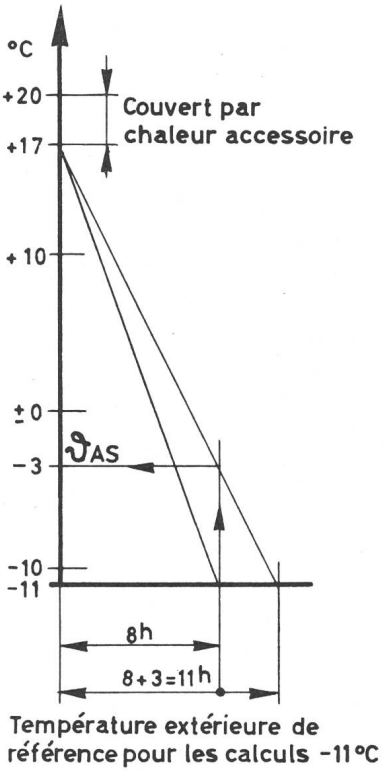


Fig. 10 Détermination de la température limite d'accumulation ϑ_{AS}

de − 7 °C, la recharge diurne sera déjà assurée en permanence, bien que cela ne soit en fait pas nécessaire. Mais, comme ces basses températures sont relativement peu fréquentes, l'impact sur la consommation heures pleines sera pratiquement négligeable.

3. Recharge diurne portée à 7 heures

3.1 Construction des systèmes

3.1.1 Systèmes à accumulation dynamique

Les réalisations du type «8 heures de charge», très courantes, ne sont pas en mesure de restituer au local la chaleur résultant d'une recharge diurne prolongée avant le début de la charge nocturne subséquente. Il existe deux solutions potentielles au point de vue construction:

– Réalisation nouvelle à surfaces internes échangeuses de chaleur surdimensionnées et puissance de ventilation calculée en conséquence.

– Mise en œuvre de systèmes «8 heures de charge» avec un seuil de chaleur résiduelle plus élevé, avec par extension une réduction de la puissance installée de l'ordre de 20–30 %. Les surfaces internes échangeuses de chaleur devront être en mesure de restituer la puissance thermique requise.

On peut combiner les deux solutions avec un chauffage d'appoint.

Comparée à celle de la variante «8 heures de charge», on relève que *la capacité d'accumulation requise* pour une recharge diurne prolongée,

– augmente par rapport à la puissance installée, si l'on veut exploiter entièrement le tarif d'heures creuses de nuit,

– diminue par rapport à la demande de chaleur,

– est conditionnée par la durée des périodes de blocage pendant lesquelles on doit faire la soudure pour ne pas affecter le confort.

3.1.2 Systèmes à accumulateur centralisé

– Dans le cas des chaudières électriques du type à accumulation, il n'y a pas de problème de surfaces échangeuses de chaleur, mais bien plutôt celui du soutirage d'eau dans le circuit de chauffage et de la marche simultanée de la pompe d'alimentation pendant la recharge diurne dont le flux traverse l'accumulateur en sens inverse. Nombre de fabricants ont résolu ce problème.

– Dans le cas des accumulateurs à masse réfractaire, les surfaces échangeuses de chaleur sont suffisantes.

– Dans les deux cas, on peut prévoir une combinaison avec un système d'appoint, en l'occurrence un corps de chauffe rapide ou un chauffage instantané

– Techniquement, les systèmes à accumulateur centralisé se prêtent actuellement aux longues périodes de recharge diurne.

3.2 Systèmes de régulation de la charge pour longues recharges diurnes

Les systèmes usuels de régulation de la charge répondant aux caractéristiques de la fig. 9 ne conviennent pas à la régulation des longues périodes de charge diurnes.

– La pente de la courbe caractéristique de nuit ne peut être augmentée.

– L'allure de la courbe caractéristique de jour n'offre pas de régulation capable de contrôler la recharge diurne pour les températures extérieures inférieures à la température limite d'accumulation.

– Un déclenchement manuel de la recharge diurne est indispensable en cas de réchauffement de la température extérieure.

Les caractéristiques marquantes d'un système de régulation approprié aux longues périodes de recharge diurne se présentent comme suit (fig. 11):

Caractéristique nocturne (enclenchement différé):

On règlera la pente de telle façon que la masse réfractaire soit chargée à 100 % (donc en 8 heures) pour une température extérieure égale à la température limite d'accumulation ϑ_{AS}. Lorsque le programme de déblocage prévoit une charge du type 8 + 12 = 20 heures la température ϑ_{AS} peut s'élever jusqu'à + 6 °C.

Caractéristique diurne

L'origine du faisceau des caractéristiques se situe à la température limite d'accumulation ϑ_{AS} à savoir entre 0 % et au maximum

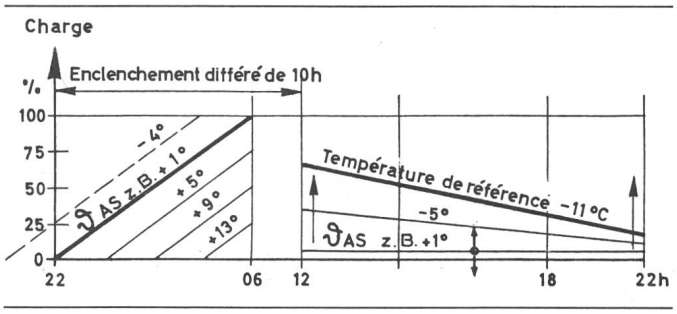


Fig. 11 Système de régulation pour longue période de recharge

5 % de la charge. Une recharge diurne est ainsi rendue impossible pour des températures extérieures supérieures à la température limite d'accumulation. L'usager doit pouvoir ajuster à son gré le faisceau des caractéristiques diurnes par le truchement de deux potentiomètres de consigne «matin» et «soir».

3.3 Programme de recharge

Dans le cas des périodes de recharge comprises entre 4 et 7 heures, les périodes de déblocage ne sont pas ininterrompues. Elles sont séparées par des solutions de continuité et se présentent sous forme de blocs de déblocage correspondant aux périodes d'heures creuses de la courbe de charge du réseau (fig. 12). L'accumulateur doit par conséquent:

– faire la soudure de la période *A* avec la charge nocturne. Il sera donc enclenché d'autant plus tôt que la période de charge totale T_d est plus longue

– contenir en permanence une quantité de chaleur suffisante pour assurer la soudure des périodes de blocage *B* du programme de recharge

– être déchargé au début de la période de charge nocturne pour être en mesure de stocker l'intégralité de la charge nocturne.

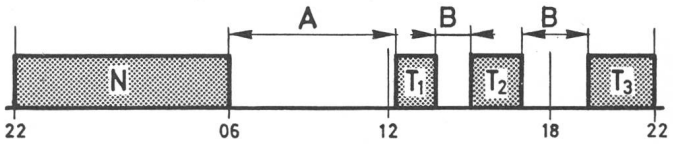


Fig. 12 Blocs de déblocage d'un programme de charge T_d = 8 + 6 = 14 h
N = Nuit

Les conditions ci-dessus conduisent à un faisceau des caractéristiques diurnes du système de régulation de la charge à caractère dégressif.

Selon les consignes de réglage adoptées, la simultanéité se produira:

– soit au cours du bloc du soir T_3

– soit au cours du bloc de l'après-midi T_2

– soit encore pendant les deux blocs T_2 et T_3

Aucune simultanéité n'interviendra au cours du bloc de recharge T_1 par suite de la longue période de blocage *A*.

Le réglage correct du faisceau des caractéristiques diurnes ne dépend pas seulement de la durée des périodes de charge, mais encore, pour une part essentielle, de l'horaire des blocs de déblocage diurne et des longueurs des périodes de blocage *B*.

4. Recharge diurne portée à 12 heures

Les exigences auxquelles doivent répondre les systèmes de chauffage et leurs systèmes de régulation de la charge sont celles exposées aux chapitres 3.1 et 3.2.

Des périodes de recharge diurne d'une telle ampleur conduisent au programme de recharge simplifié sans solutions de continuité de la fig. 13.

Pour une charge T_d = 8 + 10 = 18 heures, la valeur de *c* s'établit théoriquement à 0,95. Ce qui se traduit en effet par une puissance installée plus réduite que celle d'un chauffage direct, mais néanmoins toujours supérieure à la charge thermique requise entre

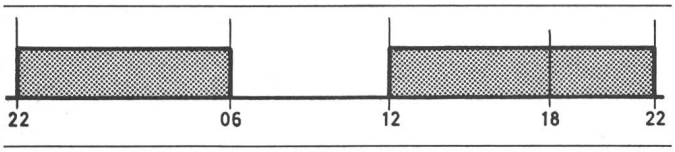


Fig. 13 Période de déblocage d'un programme de charge $T_d = 8 + 10 = 18$ h

12 et 22 h (cf. courbe de charge thermique du rapport de la CSE). De ce fait, une exploitation en chauffage direct est possible à partir de 12 h. La priorité est ainsi accordée à la recharge de nuit lorsque l'accumulateur est déchargé en début d'après-midi.

La période de déblocage T_d n'est plus déterminante pour le calcul de la valeur de c, mais bien plutôt la période de soudure du matin. Avec une valeur de $c = 1$, on peut assurer une soudure maximale de l'ordre de 5 à 6 heures dans un programme de chauffage standard. Avec une valeur de $c = 0{,}90$, la couverture de la période de soudure sera au maximum de l'ordre de 4 à 5 heures.

La caractéristique diurne pour la température extérieure de référence pourra être très basse et se situer vers 10 à 25 % de la capacité de l'accumulateur. Suivant l'instant auquel l'entreprise électrique désire la simultanéité, instant qui peut être modifié par le biais de l'accumulateur, on règlera la caractéristique — 11 °C approximativement selon le tableau VII.

Schéma de régulation Tableau VII

	Valeur vers 12 h	Valeur vers 22 h	
Simultanéité régulière entre 12 et 22 h	10 %	10 %	horizontale
Simultanéité en début d'après-midi	5 %	10 %	faiblement ascendante
Simultanéité le soir	10 %	5 %	faiblement descendante

On ne pourra pas combler, selon les objectifs, les périodes creuses de la courbe de charge avec un tel programme de déblocage.

Lieferung von elektrischer Energie für bivalente Raumheizanlagen

Empfehlungen der VSE-Kommission für Elektrizitätstarife

1. Einleitung

Die schon jahrzehntealte Idee, Raumheizanlagen für den Betrieb mit verschiedenartigen Brennstoffen auszulegen, ist trotz des Vormarsches der reinen Ölfeuerung nie ganz in Vergessenheit geraten. So sind sogenannte Zweistoffeuerungen, in welchen neben der Verwendung von Heizöl auch die Verbrennung von Feststoffen, wie Holz oder Kohle, möglich ist, keine Seltenheit. Allerdings wurde bis zum rasanten Anstieg der Ölpreise – nicht zuletzt aus mancherlei technischen Gründen – von dieser Wahlmöglichkeit in der Praxis wenig Gebrauch gemacht. Seit dem Durchbruch des Erdgases auf dem schweizerischen Energiemarkt gewinnt der kombinierte Einsatz Gas/Öl, namentlich für grössere Heizanlagen, zunehmende Bedeutung.

Demgegenüber ist die Elektrizität in Kombination mit einer anderen Heizenergie bisher wenig in Erscheinung getreten. Zum einen war sie aufgrund der in der Regel zugunsten des Heizöls lautenden Preisrelationen nur für Vollheizungen, und auch da nur unter bestimmten Voraussetzungen, konkurrenzfähig. Zum andern lehnten die Werke im allgemeinen den Anschluss von solchen Heizanlagen ab, die sich vom Benützer wahlweise mit Elektrizität oder mit einer anderen Energieform betreiben lassen (vgl. [2]).

Mit der Verschiebung in der Preisrelation Heizöl/Elektrizität zugunsten der letzteren erlangt nun aber eine latent immer vorhanden gewesene Wahlfreiheit des Bezügers vermehrt Aktualität. Es ist dies die in jedem an das allgemeine Verteilnetz angeschlossenen Gebäude gegebene Möglichkeit, im kleineren oder grösseren Ausmass die Raumwärme durch Einsatz von an jeder Steckdose anschliessbaren Elektroöfen anstelle des Betriebes der eingebauten Brennstoffheizung zu erzeugen. Es hält ausserordentlich schwer, werkseits auf diese «wilde» Heizölsubstitutionen Einfluss zu gewinnen.

Trotz dieser spezifisch elektrizitätswirtschaftlichen Probleme handelt es sich bei den Bestrebungen, die einseitige Abhängigkeit vom Erdöl abzubauen, um ein energiepolitisches Postulat erster Ordnung. Dabei kommt der unabhängig vom Angebot an fossilen Brennstoffen erzeugbaren Elektrizität – neben der nuklearen Fernwärme und dem Erdgas – in unserem Lande grosse Bedeutung zu. Der VSE-Bericht [1] zeigt Mittel und Wege auf, wie durch bessere Ausnützung von freien Netzkapazitäten das Ziel vermehrter Heizölsubstitution selbst bei minimalen Aussentemperaturen erreicht werden kann. Die sinnvolle Anwendung der vollelektrischen Raumheizung findet mithin dort ihre Grenzen, wo am sogenannten kältesten Tag ein theoretisch vollständiger Ausgleich des Netzbelastungsverlaufs über 24 Stunden erreicht ist. Bekanntlich treten nun aber die für die Auslegung einer Heizung massgebenden Minimaltemperaturen im Laufe der Jahre selten auf. Das hat zur Folge, dass die zur Verfügung zu stellenden Leistungen nur ausnahmsweise während der vollen täglichen Freigabezeiten zur Ausnützung gelangen, was zu entsprechend tiefen, virtuellen Jahresbenutzungsdauern [1]) führt.

Die ausserhalb der Kältespitzenzeiten in wechselndem Ausmass freien Netzkapazitäten lassen sich durch den Anschluss von bivalenten Heizsystemen nutzbar machen. Darunter werden Systeme verstanden, die den Heizenergiebedarf eines Gebäudes durch den Einsatz von zwei voneinander unabhängigen Gebrauchsenergieformen decken. Das wesentliche Merkmal besteht darin, dass ein leitungsgebundener Energieträger in Kombination mit einem lagerfähigen in der Weise zum Einsatz gelangt, dass die Wärme-Grundlast durch den leitungsgebundenen und der Spitzenwärmebedarf durch den lagerfähigen gedeckt wird.

Die vielschichtigen Probleme, die sich mit der Verwendung der Elektrizität als Heizenergie in Kombination mit einer anderen Energieform stellen, erheischen ein sorgfältiges Ab-

[1]) Quotient aus Jahresenergieverbrauch und Anschlusswert.