

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber:	Association suisse des électriciens
Band:	50 (1959)
Heft:	2
Rubrik:	Production et distribution d'énergie : les pages de l'UCS

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: 20.01.2026

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

Production et distribution d'énergie

Les pages de l'UCS

Sur le problème de l'équivalence des différentes formes d'énergie

par P. Ailleret, Paris

620.9 : 389.16

Nous publions ici avec l'aimable autorisation de l'auteur et du secrétariat de l'UNIPEDE un exposé sur le problème de l'équivalence des différentes formes d'énergie, prononcé par M. P. Ailleret, directeur de la section «Etudes et Recherches» de l'Electricité de France, lors du 11^e Congrès de l'UNIPEDE à Lausanne en 1958. Les considérations ci-après ne résolvent pas complètement le problème posé qui fera l'objet d'études plus approfondies au sein de l'UNIPEDE, sur la base de renseignements qui pourront être fournis par les différents pays au sujet de la valeur d'usage de la calorie en fonction de la température, dans les conditions économiques propres à chacun de ces pays.

Un cercle de plus en plus grand d'ingénieurs, d'économistes, d'hommes politiques veulent pénétrer les différents aspects des problèmes énergétiques et ils sont, dès l'abord, très naturellement déroutés par la multiplicité des unités. On parle en kWh, en calories, en thermies, en équivalence tonnes de charbon, etc.

Le Comité de Direction a décidé de mettre à l'étude, non pour la résoudre immédiatement, mais simplement pour la poser d'une manière générale, la question de la commune mesure entre les différentes formes d'énergie et en particulier entre l'énergie thermique et l'énergie mécanique ou électrique.

La technique nucléaire a encore ajouté le mégawattjour. Cette unité a malencontreusement supplanté le kWh dans le langage des réacteurs pour ces seuls motifs accidentels que la relation $W = mc^2$ donne, pour le gramme de matière, 24 millions de kWh, ce qui s'exprime plus aisément par 1000 mégawattjours, et que dans la fission c'est un millième de la masse qui disparaît, de sorte que finalement la fission d'un gramme de matière donne 24 000 kWh, ce qui s'exprime plus aisément par 1 mégawattjour. D'où la tentation de rajouter cette unité supplémentaire. Il serait difficile aux électriques d'en vouloir aux atomistes puisqu'ils ont eux-mêmes commis autrefois la très lourde erreur de compter en kWh au lieu de compter en kilowatt-secondes, c'est-à-dire en kilojoules. Il n'en est pas moins absurde que, dans la même industrie, nous comptons les productions d'énergie à base d'uranium en mégawattjours thermiques par tonne alors que, lorsque l'énergie est produite à base de charbon, nous comptons en kWh électriques par kg.

Mit dem freundlichen Einverständnis des Verfassers und des Sekretariats der UNIPEDE veröffentlichen wir hier ein Exposé über die Frage einer gemeinsamen Maßeinheit für die verschiedenen Energiearten, das der Leiter der Versuchs- und Forschungsabteilungen der Electricité de France, Herr P. Ailleret, am 11. Kongress der UNIPEDE im Jahre 1958 in Lausanne gehalten hat. Die nachstehenden Ausführungen stellen keine endgültige Lösung des Problems dar, das im Schosse der UNIPEDE noch genauer untersucht werden soll, und zwar auf Grund von Auskünften der einzelnen Länder über den Gebrauchswert einer Kalorie in Abhängigkeit von der Temperatur und unter Berücksichtigung der spezifischen wirtschaftlichen Verhältnisse in jedem Lande. Die vorliegende deutsche Fassung wurde uns in verdankenswerter Weise von der Zeitschrift «Atom und Strom»¹⁾ bzw. vom Übersetzer Herrn Sarmann (VDEW) zur Verfügung gestellt.

Tout le monde a remarqué ce désordre des unités du langage vivant. Malheureusement, personne ne fait rien pour y remédier alors qu'il serait peut-être encore temps. Mais ceci n'est pas notre propos d'aujourd'hui. Le problème, plus grave, qui se pose est un problème véritablement de fond, que ce problème des unités a dissimulé à la vue de certains. C'est pourquoi j'ai commencé par parler des unités. Abandonnons-les maintenant et voyons quelles sont les difficultés de fond plus sérieuses qui conduisent quelquefois à des malentendus plus graves. Tous ceux qui abordent les problèmes énergétiques et qui en constatent la complexité, sont tentés très naturellement de chercher une commune mesure à toutes les formes d'énergie, qu'il s'agisse de charbon, de pétrole ou de force hydraulique, qu'il s'agisse de chaleur ou de froid. Il serait bien tentant de faire comme si toutes ces énergies n'avaient qu'une seule dimension et de trouver des équivalences dépendant, bien entendu, des unités, ce qui est un détail, mais qui resteraient immuables d'une année à l'autre et d'un pays à l'autre. Malheureusement, les réalités profondes ne sont pas conformes à un schéma aussi simple.

Au point de vue physique, les aspects de l'énergie ne sont pas réductibles à une seule dimension et, au point de vue économique, les équivalents de substitution entre les formes diverses d'énergie évoluent dans le temps et ne sont pas les mêmes dans tous les pays. Cette malheureuse vérité sur la complication des choses réelles ne doit pas être cachée car en la négligeant, on peut être conduit à des erreurs économiques, et il est possible de citer des cas où cela aboutit à des paradoxes éclatants.

¹⁾ «Atom und Strom», 4. Jahrgang, Folge 10, Oktober 1958.

L'énergie atomique est un exemple simple par lequel tout le monde peut saisir la difficulté. Nos réacteurs ne produisent pas de l'énergie électrique mais de la chaleur qu'il est loisible de compter en mégawattdays thermiques, en joules ou en calories. Chacun voit tout de suite que si une calorie vaut toujours une autre calorie sous l'angle du principe de conservation de l'énergie, par contre, une calorie n'en vaut pas une autre au point de vue de ses possibilités thermodynamiques. Le physicien, bien entendu, écrit toujours la conservation de l'énergie: Chaleur dans la source chaude = Energie mécanique + Chaleur déversée au condenseur. Le bilan est toujours vrai. Mais l'économiste, lui, ne considère pas l'énergie déversée au condenseur qui est économiquement sans valeur; il a donc tendance à écrire: Chaleur dans la source chaude → Energie mécanique. Or, la valeur relative de ces deux grandeurs dépend de la température en raison du principe de Carnot. Si l'on utilisait des machines thermodynamiques parfaites, on pourrait écrire les valeurs de la calorie en fonction de la température.

L'énergie calorifique se présente, en somme, au point de vue physique, avec deux dimensions qui peuvent être le nombre de calories et la température.

Pour une valeur donnée de la température de la source froide qui varie d'ailleurs en pratique très peu, 15 °C par exemple, on peut facilement tracer la courbe qui donne, en fonction de la température de la source chaude, la valeur de la calorie transformable en énergie mécanique par une machine thermodynamique parfaite. C'est la courbe de l'énergie utilisable d'une calorie en fonction de sa température lorsqu'on descend la température du gaz ou du liquide en question jusqu'à la température ambiante, par exemple, par une série de cyclos de Carnot successifs. Ainsi, l'énergie utilisable d'une calorie à 900 °C est double de l'énergie utilisable d'une calorie à 250 °C (fig. 1, courbe k_1).

Mais la difficulté économique ne s'arrête pas là. Nous ne nous servons pas de machines thermodynamiques parfaites, mais de chaudières et de turbines qui sont bien loin d'atteindre la perfection, et qui d'ailleurs ne se proposent pas de l'atteindre, car elles visent un optimum économique dans lequel n'interviennent pas seulement les rendements mais aussi les dépenses d'investissement. Suivant la température à laquelle la calorie se présente, qu'elle vienne d'un réacteur nucléaire ou d'une source naturelle de vapeur sortant du sol, la machine capable d'en tirer de l'énergie mécanique sera plus ou moins encombrante et coûtera plus ou moins cher.

On peut alors établir une deuxième équivalence entre calories suivant leur valeur de transformabilité réelle. Pour chaque température, une calorie donne une certaine quantité d'énergie mécanique dans la machine réelle (et non plus dans une machine thermodynamique parfaite) conçue de manière à être la plus économique pour utiliser une

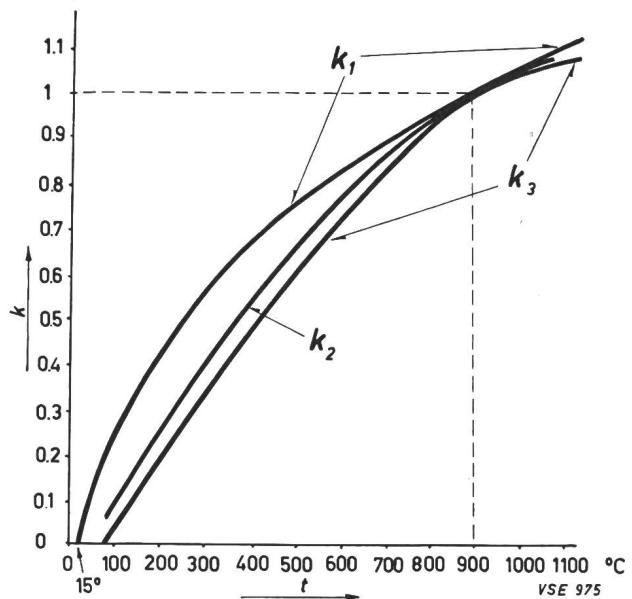


Fig. 1
Rapports de la calorie à t °C (en abscisse) à la valeur de la calorie à 900 °C
(quand ces calories sont utilisées en descendant jusqu'à une source froide à 15 °C)

k rapports relatifs de la calorie à t °C à la valeur de la calorie à 900 °C; k_1 rapport des énergies utilisables dans une machine thermodynamique parfaite; k_2 rapport des énergies productibles dans une machine industrielle; k_3 rapport des valeurs d'usage; t température

source d'énergie à cette température. Dans des machines réelles, une calorie à 250 °C ne donne plus la moitié comme dans le cycle thermodynamique parfait, mais seulement 30% de la calorie à 900 °C (fig. 1, courbe k_2). C'est là une des équivalences de la calorie, celle qui traduit ce qui peut être obtenu par des machines industrielles.

Mais, on peut encore se poser un autre problème économique: Si nous disposons d'une source de calories à une certaine température sous forme, par exemple, d'un gaz chaud, à quelle valeur doit-on acheter ces calories pour avoir la parité de prix de revient de l'énergie obtenue à partir de calories à 900 °C? Je prends ce chiffre de 900 °C parce qu'une première étude a montré qu'une calorie dans un gaz à 900 °C vaut à peu près la même chose qu'une calorie charbon. Par exemple, si une source naturelle de gaz carbonique est utilisée dans une centrale comportant non plus une chaudière avec foyer mais un échangeur utilisant cet acide carbonique, le prix de l'énergie est le même que dans une centrale à charbon à égalité de prix de la calorie sous la condition que la température de l'acide carbonique soit de 900 °C.

Si la température est autre, on peut, en établissant une série de projets de centrales, tracer la courbe qui donne la valeur d'usage réelle de ces calories en fonction de leur température, autrement dit le prix auquel un exploitant serait prêt à les acheter pour avoir la parité avec le fuel oil ou avec le charbon. La courbe part d'une température de l'ordre de 60 ou 70 °C. Vers cette température, il faut

disposer de la chaleur tout à fait gratuitement, car le coût élevé des investissements par kilowatt électrique produit ne laisse aucune marge pour payer la chaleur dont on part. Ainsi une source d'eau chaude à trop basse température n'a aucune valeur économique, quelle que soit l'importance du débit de calories. Au delà de cette température de l'ordre de 70 °C, la valeur d'usage de la calorie croît à peu près linéairement en fonction de la température jusque vers 600 ou 700 °C. Elle s'infléchit alors progressivement. À 250 °C, elle vaut environ le quart de calories. Au delà de cette température de l'ordre de la calorie à 900 °C (fig. 1, courbe k_3). C'est pour cette valeur de 900 °C qu'elle rejoint la valeur de la calorie charbon; pour des températures plus élevées, elle s'infléchit de plus en plus en prenant l'allure d'une courbe de saturation.

Ainsi trois courbes successives: la courbe thermodynamique classique (k_1) de l'énergie utilisable résultant simplement du principe de Carnot, la courbe (k_2) de l'énergie qui peut être produite industriellement à partir d'une calorie en fonction de la température, abstraction faite du coût de la machine; enfin la courbe (k_3) de la valeur à laquelle la calorie peut être achetée en fonction de sa température pour réaliser la parité avec la calorie charbon par exemple, permettent d'éviter les malentendus et les erreurs de raisonnement dans les bilans énergétiques. Au point de vue nucléaire, ces courbes sont intéressantes pour préciser les idées en matière de valeur des calories en fonction de la température, mais il faut en général les adapter pour tenir compte de ce que le circuit étant généralement fermé et non plus ouvert il y a un retour de calories vers le réacteur, ce qui complique le problème.

D'autre part, ces courbes sont l'occasion de mettre en évidence la portée des divers bilans énergétiques que font les économistes. Il n'y a pas, en réalité, un bilan énergétique; il y a autant de bilans énergétiques que de points de vue auxquels on veut se placer. Dans les objectifs purement économiques, ce sont essentiellement les valeurs de substitution qui déterminent la place relative des différentes formes d'énergie.

Ce travail de comparaison des valeurs d'usage n'est d'ailleurs que le prolongement d'un travail qu'a fait l'UNIPEDE récemment sur la valeur des calories des charbons secondaires: l'UNIPEDE a dégagé comment une calorie sortie de ces charbons a une valeur d'usage variant en fonction du pouvoir calorifique du charbon en cause qui conditionne les dimensions des broyeurs, de la chaudière, etc...., les dépenses d'auxiliaires et les frais d'exploitation de la centrale.

Nous prolongerions en somme cette étude sur un cas qui intéresse en particulier l'énergie nucléaire. Ce sera en outre l'occasion de mieux saisir la commune valeur entre l'énergie calorifique et l'énergie mécanique lorsque l'on se propose de faire la trans-

formation dans le sens allant de l'énergie calorifique vers l'énergie mécanique. Et là encore, je crois qu'il faut attirer l'attention sur ce que les équivalences économiques entre énergies dépendent essentiellement des substitutions possibles. Je vais essayer de le montrer par un exemple clair.

J'espère que nos amis Norvégiens ne trouveront pas que je fais une erreur en parlant de leur pays mais si j'en fais une, qu'ils admettent que c'est un pays-mythe et non pas la Norvège. L'énergie hydraulique y est très bon marché et les possibilités naturelles d'aménagements hydroélectriques y sont extrêmement larges, mais il n'y a pas contre pas de mines de charbon ni de puits de pétrole. On est ainsi amené à utiliser l'hydraulique au chauffage systématique des immeubles et d'autre part on ne fait pas de centrales thermiques. Dans ces conditions, l'équivalence, en Norvège, entre l'énergie sous forme thermique et sous forme électrique, entre la calorie et le kWh, est bien celle qui correspond au chauffage, car tout kilogramme de charbon qu'on importe se substitue à des kWh qui auraient fait du chauffage électrique. Cette substitution dans le sens de la dégradation thermodynamique donne un certain rapport entre la valeur de l'énergie thermique et de l'énergie électrique.

En Europe de l'Ouest au contraire, on ne se chauffe pas électriquement et on se sert des combustibles pour faire de l'énergie électrique. La substitution établit donc une équivalence correspondant à un sens de transformation allant de la chaleur vers l'électricité, des calories vers les kWh. C'est la substitution dans ce sens qui commande l'équivalence entre énergie thermique et énergie mécanique, tandis qu'en Norvège, l'équivalence est commandée par la substitution correspondant à la transformation dans l'autre sens. L'écart est considérable. Ceci montre que les communes mesures économiques des différentes formes d'énergie ne sont pas toujours les mêmes dans les différents pays, et dépendent des substitutions marginales. Elles ne sont pas non plus les mêmes dans le temps: parmi les trois courbes esquissées dans la figure 1, la courbe de la machine thermodynamique parfaite seule restera la même, les deux courbes d'équivalence économique évolueront lentement dans le sens qui tend à les rapprocher avec une extrême lenteur de la courbe thermodynamique qu'elles ne rejoindraient que dans l'hypothèse où non seulement les machines seraient parfaites au point de vue de leur rendement, mais où aussi elles deviendraient tout à fait gratuites.

Il n'est pas difficile de se rendre compte que, dans la limite du prévisible, les courbes ne peuvent se déformer que très lentement. Il reste donc possible de tirer parti en particulier de la courbe de valeur d'usage de la calorie en fonction de la température. Et c'est cette question dont le Comité de Direction a pensé qu'elle devait être exposée publiquement au Congrès, de manière que chacun puisse y réfléchir. Il est envisagé que les courbes soient tracées

dans les conditions économiques propres à chaque pays. Elles seront probablement très voisines les unes des autres car les rapports des prix ne varient pas tellement d'un pays à l'autre. Après comparaison des résultats qui auront été obtenus dans les différents bureaux d'études, nous pensons dégager une courbe commune et nous espérons ainsi clarifier un certain nombre de problèmes énergétiques. A une époque où l'opinion publique s'y intéresse de plus en plus, il est très désirable que les choses deviennent très claires et nous pouvons peut-être apporter ainsi une contribution à l'éclaircissement de ces problèmes.

Adresse de l'auteur:

P. Ailleret, directeur, Electricité de France, Paris.

Consommation d'électricité dans les ménages

Dans le rapport de l'UCS sur l'exercice 1957 (Bulletin ASE 1958, «Pages de l'UCS» N° 18, page 873 (191), nous avons dit à propos de l'électricité dans les ménages qu'«avec une consommation moyenne de 2740 kWh par famille et par an, la Suisse vient en tête de l'Europe». Comme nous l'avons appris entre temps, cette affirmation doit être corrigée en ce sens qu'en Norvège la consommation atteint environ 5600 kWh par ménage, dont 2600 kWh servent, il est vrai, au chauffage électrique des locaux. Ceci est dû au fait qu'en Norvège les conditions hydrologiques très différentes des nôtres ne s'opposent pas à une vaste extension du chauffage électrique.

Notre déduction s'appuyait sur un rapport présenté au Congrès de l'UNIPEDE 1958 à Lausanne sous le titre «Le développement des applications domestiques de l'énergie électrique de 1953 à 1956» (N° VII. 1), mais en omettant de remarquer que les indications concernant la Norvège manquaient. Nos lecteurs voudront bien excuser ce lapsus. *Secrétariat UCS*

Communications des organes de l'UCS

85^e examen de maîtrise

Les derniers examens de maîtrise pour installateurs-électri- ciens ont eu lieu du 9 au 12 décembre 1958 à la «Bäcker- und Konditorenfachschule» à Lucerne. Les candidats suivants parmi les 37 qui se sont présentés de la Suisse alémanique et de la Suisse romande, ont subi l'examen avec succès:

Affolter Rudolf, Solothurn
Amman Kurt, Zürich
Bähler Werner, Basel
Büchler Hans, Wald (AR)
Burri Heinz, Langendorf
Charlet Jean-Paul, Vallorbe
Cherbuin Henri, Payerne
Egli Emil, Speicher (AR)
Egli Rupert, Meilen

Frauchiger Hansjörg, Baden
Fürst Jean-Jacques, Prilly
Glauser Rudolf, Seftigen
Gut Karl, St. Gallen
Heeb Robert, Mels
Hofer Guido, Klingnau (AG)
Hofstetter Walter, Attiswil
Kissling Helmut, Rorschach
Knüsli Georg, Wetzikon
Kobelt Kurt, Marbach (SG)
Künzler Rudolf, Widnau (SG)
Kyburz Edwin, Wolhusen
Magnenat André, Nyon
Marti Fritz, Basel
Moser Charles, Mies (VD)
Strahm Hansruedi, Flums-Portels
Commission des examens de maîtrise USIE/UCS

Construction d'usines

Mise en service de la centrale d'Erlenbach des Forces Motrices du Simmental

Le 19 novembre 1958, la centrale d'Erlenbach des Forces Motrices du Simmental a été mise provisoirement en service avec un premier groupe de machines, ce qui marque la première étape de la mise en valeur des forces hydrauliques du Simmental, commencée il y a deux ans et demi. La centrale

d'Erlenbach est alimentée par le bassin de compensation de l'Egelsee. La productivité moyenne annuelle atteint 50 millions de kWh en chiffre rond, dont un tiers en hiver et deux tiers en été. La puissance maximum possible est de 17 000 kW.

Les travaux de la seconde étape, soit l'aménagement de la chute Erlenbach-Simmenfluh, vont être entrepris l'été prochain.

Communications de nature économique

L'évolution du prix de vente de l'électricité et les problèmes financiers d'expansion de l'industrie électrique

(une nouvelle étude de l'OECE)

621.311.003.1

En novembre 1954 l'OECE a publié une étude d'un groupe d'experts, concernant le prix de l'électricité et son influence sur le financement des investissements dans l'industrie de l'électricité¹⁾. Récemment a paru sous le titre «L'évolution du prix de vente de l'électricité et les problèmes financiers d'expansion de l'industrie électrique» un nouveau rapport de l'OECE, qui fait suite au précédent et qui émane du même groupe d'experts²⁾.

¹⁾ OECE, Le prix de l'électricité, Paris 1954 (voir Bull. ASE 1955, n° 2, p. 78).

²⁾ OECE, Paris 1958.

La reprise et l'extension de l'étude de 1954 ont été provoquées par les besoins croissants d'énergie, l'épuisement progressif des forces hydrauliques économiquement exploitables, les difficultés de financement des ouvrages nouveaux et le renchérissement constant des matières premières requises par l'industrie électrique.

Le nouveau rapport se subdivise en 5 chapitres:

- Le développement de l'économie électrique et les moyens propres à assurer son financement.
- L'évolution de la demande.
- Le prix de revient de l'électricité.
- L'influence du prix de l'électricité sur le coût de la vie et le coût des produits industriels.
- Le financement des investissements nouveaux, les sources disponibles et les difficultés actuelles.

La production totale d'électricité dans les Etats-Membres de l'OECE se montait à 43,5 milliards de kWh en 1920, à 268 milliards en 1951 et à 387 milliards de kWh en 1956. Depuis la parution du premier rapport l'accroissement des besoins d'électricité n'a pas ralenti. Dans les pays de l'OECE l'augmentation annuelle était d'environ 7 % en moyenne. Abstraction faite de fluctuations à court terme, on admet que ce coefficient se maintiendra au cours des années prochaines. Il semble en effet que l'on soit encore loin de la saturation sur le marché de l'électricité.

L'extension des installations de production et de transport n'a pas pu marcher partout de pair avec l'accroissement des besoins. C'est ainsi qu'il manque toujours encore des installations de réserve indispensables pour assurer un approvisionnement régulier en électricité. Or, il faut éviter que la couverture intégrale des besoins d'énergie croissants de l'industrie soit mise en question par un rythme trop lent dans la construction de nouvelles usines, car il en résulterait de trop gros inconvénients pour l'économie du pays.

Divers tableaux renseignent sur le coût des installations de production et de transport d'électricité. Ainsi, depuis 1953 on constate pour les installations thermiques une légère tendance régressive des frais, tandis que pour les usines hydrauliques les frais de construction tendent à augmenter, à cause de la nécessité de mettre en valeur des forces hydrauliques de moins en moins économiques. Il est clair que les chiffres présentés ne permettent pas de tirer sans autre des conclusions valables sur l'évolution du coût des ouvrages dans les différents pays, ceci d'autant moins que tous les prix ont été convertis en dollars. Car on sait que l'utilisation des cours officiels pour convertir les monnaies peut conduire à une image déformée de la réalité, parce que ces calculs négligent toute une série de facteurs économiques.

De l'avis des experts, les facteurs suivants peuvent réduire le prix de revient de l'électricité:

- l'amélioration du rendement des installations génératrices;
- l'interconnexion accrue, qui permet dans l'ensemble de réduire les installations de réserve, ainsi qu'une utilisation optimum des usines génératrices;
- la concentration de la production, qui permet d'utiliser des unités plus puissantes et facilite par là une diminution des frais d'exploitation et des charges du capital;
- une politique tarifaire qui tend à obtenir un diagramme de charge équilibré et une meilleure utilisation de l'équipement;
- l'augmentation du débit, qui conduit à une diminution des frais fixes par kWh.

Parmi les facteurs qui pourraient contribuer ces prochaines années à renchérir le prix de revient, les experts mentionnent:

- les lois de la thermodynamique, selon lesquelles le rendement des machines thermiques ne saurait dépasser une certaine limite;
- la tendance à long terme au renchérissement des combustibles solides et liquides, notamment en prévision d'importations accrues;
- l'économie moindre des forces hydrauliques encore exploitable;
- l'amoindrissement du degré d'utilisation des installations par suite de la réduction des heures de travail, à moins que les conséquences de cette mesure ne soient compensées par le service par équipes.

Il est encore prématuré aujourd'hui de juger de la répercussion qu'auront les futures usines atomiques sur l'économie électrique.

Il est important de noter que plusieurs pays ont déjà procédé à des adaptations tarifaires et que les frais de production des diverses industries, ni le coût de la vie n'en ont subi une augmentation appréciable. Mais ces adaptations de

tarifs ont conduit à une amélioration de la situation financière et par conséquent de la rentabilité des entreprises, ce qui a adouci quelque peu les difficultés de celles-ci à se procurer les capitaux nécessaires. Mais dans quelques pays l'équilibre n'a pas encore pu être établi entre la demande et la production d'électricité, parce que le capital requis est difficile, sinon impossible à obtenir. Il convient de vouer la plus grande attention à l'adaptation des tarifs aux frais accrus, lesquels continueront vraisemblablement à augmenter encore, notamment en vue de la construction d'usines atomiques, qui nécessitera des crédits à long terme. Le problème du financement sera d'autant plus facile à résoudre que les entreprises d'électricité seront exploitées, à l'avenir aussi, selon une saine politique commerciale.

En annexe figurent les rapports individuels des différents pays. Celui concernant la Suisse a la teneur suivante:

«L'augmentation régulière de la consommation d'énergie électrique, qui est passée de 10,8 milliards de kWh en 1953...54 (année hydrographique) à 13,0 milliards de kWh en 1956...57 pour les services publics, n'est pas sans causer de graves préoccupations aux entreprises d'électricité.

Les statistiques de 1956, dernière année sur laquelle on dispose de données financières, font apparaître une nouvelle augmentation des dépenses de construction, soit 700 millions de francs suisses, contre 600 millions en 1955 et 570 millions en 1954. Sur le montant total, 510 millions de francs (73 pour cent) ont été dépensés pour les nouvelles usines et 190 millions (27 pour cent) pour les installations de transport et de distribution. La part de l'autofinancement a été de 28 pour cent en 1956. Le volume de construction est presque quadruplé par rapport à la période de construction la plus active de l'avant-guerre.

Les dépenses totales de construction atteignaient 6820 millions de francs à la fin de 1956, dont 5440 millions pour les installations en service; la dette de construction s'élevait à 2425 millions, soit 42 pour cent contre 32 pour cent en 1945. Avec la mise en service des grands aménagements en cours, cette valeur relative de la dette de construction ira en augmentant.

Au passif du bilan, ce qui frappe le plus, c'est l'augmentation du capital-obligations et des autres emprunts à long terme, qui se sont accrus de 2028 à 2470 millions, soit de 22 pour cent par rapport à 1955. Le taux d'intérêt moyen des obligations s'est maintenu à 3,16 pour cent. (Depuis lors, il a sensiblement augmenté, mais on ne peut encore citer des chiffres précis.)³⁾

Exprimées en pourcentage des frais d'établissement des installations en service, les recettes provenant de la vente d'énergie ont atteint 12 pour cent.

On peut évaluer à quelque 11 ou 12 milliards de francs les capitaux nécessaires pour achever l'aménagement des forces hydrauliques, au cours des quinze à vingt prochaines années. Alors que le marché du capital est sollicité de toutes parts, on assiste à une régression de l'épargne. De 1953 à 1956, les dépôts d'épargne ont baissé de 3,6 à 2,2 pour cent du produit national. Depuis une année à peu près, le taux d'émission des emprunts obligations a sensiblement monté (4,5 pour cent pour les dernières émissions), ce qui n'est pas fait pour améliorer la situation³⁾. Les conséquences de cette évolution sont doubles. D'une part, une grave menace pèse sur le programme de construction, dont le calendrier d'exécution risque d'être compromis faute de capitaux; il pourra s'ensuivre un retard de la production par rapport au développement de la consommation et, partant, certaines difficultés à satisfaire la demande. D'autre part, la hausse des prix de revient se fera ressentir de plus en plus fortement, de sorte que l'on ne pourra renvoyer plus longtemps les ajustements de tarifs qui s'imposent dès maintenant de manière

³⁾ Entretemps le marché des capitaux a retrouvé sa liquidité et le taux d'intérêt a de nouveau quelque peu baissé.

tout à fait impérieuse. Il y aura lieu de relever en premier lieu les tarifs pour les applications thermiques de l'électricité, de façon à freiner la consommation dans ce secteur, où les prix n'ont pas suivi la hausse générale des autres agents calorifériques.»

L'annexe contient en outre un certain nombre de tableaux sur l'évolution des grandeurs économiques déterminantes pour l'économie électrique dans les différents pays, ainsi qu'un rapport de la délégation britannique sur les frais comparatifs de la production d'électricité dans les usines atomiques et dans les usines thermiques classiques. Cette étude est reproduite plus loin.

La tâche des experts n'était pas facile. Des comparaisons de ce genre ne vont jamais sans difficultés, étant donné la grande variété de la structure de l'approvisionnement et des conditions économiques dans les divers pays d'Europe. Néanmoins, les experts ont réussi à montrer la portée des questions qui se posent à l'économie électrique dans les pays affiliés à l'OECE, et à soumettre les solutions possibles à un examen critique. Il est certain que les conclusions de cette étude seront d'une grande utilité pour le développement ultérieur de l'économie électrique.

Fl./Bq.

Prix de revient de l'énergie électrique

Comparaison entre les premières centrales nucléaires et les centrales thermiques de type classique

(Renseignements envoyés par la délégation du Royaume-Uni)

Il y a tout lieu de croire qu'à longue échéance l'apparition des centrales nucléaires sur le marché influera profondément sur l'évolution future des coûts de production de l'électricité. Nous ne possédons pas encore de renseignements concrets, valables pour une période de quelque durée, sur les frais d'installation et d'exploitation des centrales nucléaires, encore que la Centrale de Calder Hall de la United Kingdom Atomic Energy Authority fournit de l'électricité au réseau national depuis sa mise en service officielle en octobre 1956. Cette usine n'a pas essentiellement été conçue comme une centrale électrique commerciale, mais en fait elle est mixte, puisqu'elle produit du plutonium pour la défense et de l'électricité pour le réseau. Quatre turbo-alternateurs de 23 MW sont installés dans la première section de la centrale.

On s'est demandé depuis quelque temps ce que pourrait coûter l'électricité produite par les usines nucléaires. La première phase du programme de production de ces usines ayant commencé et le programme prévoyant, pour 1966, 5 à 6000 MW de capacité installée, on a pu évaluer le coût total d'exploitation. La chaleur nécessaire aux premières centrales prévues dans ce programme (dont on peut maintenant connaître les coûts approximatifs) proviendra de réacteurs à modérateur de graphite, refroidis par gaz, qui devraient fonctionner en 1960. On estime que ce type de centrale, dont les caractéristiques de production de vapeur sont relativement modérées, devrait connaître un développement considérable dans l'avenir et on espère qu'une amélioration des plans permettra de réduire les coûts de façon sensible.

Dépenses en capital

Pour les premières centrales nucléaires du Royaume-Uni, les dépenses en capital par kW d'électricité fournie devraient être de l'ordre de 135 livres sterling, chiffre qui peut varier en fonction de l'emplacement ou d'autres considérations techniques. Le chiffre correspondant pour les centrales thermiques de type classique, au Royaume-Uni, serait d'environ 48 livres sterling.

Coût du combustible

Comme dans le cas des centrales au charbon, le coût du combustible d'une centrale nucléaire peut varier au cours de

la durée d'utilisation de la centrale, mais il dépendra aussi, entre autres facteurs, de la composition du combustible et de son enrichissement éventuel. Les prix effectifs seront évidemment sujets à négociation, mais on peut raisonnablement prévoir qu'avant 1970 les centrales nucléaires du Royaume-Uni utiliseront l'uranium naturel comme combustible, au coût brut de 20 000 livres sterling au maximum par tonne, sous réserve des variations normales de prix. Il est impossible de prévoir à longue échéance la valeur du plutonium dans le combustible irradié, mais il est probable que, compte tenu de cette valeur, le prix net effectif du combustible s'établira entre 12 500 et 15 000 livres par tonne, dans l'hypothèse d'un taux moyen d'irradiation de 3000 MW par tonne.

En prenant comme base, pour les premières centrales nucléaires, un rendement thermique de 27 pour cent, on peut évaluer le coût net de remplacement du combustible à un prix variant entre 0,16 et 0,19 penny par unité.

En partant d'un prix de 75 shillings la tonne et d'un rendement thermique de 33 pour cent, le chiffre correspondant pour les centrales au charbon serait de 0,40 penny par unité.

Charge initiale de combustible pour les centrales nucléaires

Etant donné le coût élevé du combustible nucléaire, il convient de considérer le coût de la charge initiale comme un élément du capital passible du paiement d'un intérêt, encore que l'amortissement soit suffisamment faible pour être négligeable. Au fur et à mesure des améliorations obtenues dans le rendement et les débits, il est probable que tout accroissement des coûts initiaux de combustible se trouvera compensé; le coût, par kW fourni au réseau, du combustible initial devrait donc diminuer.

Coûts d'exploitation et frais généraux autres que les dépenses en capital

Les coûts d'exploitation des centrales nucléaires et des centrales classiques ne devraient pas différer beaucoup; ils devraient s'établir aux environs de 0,05 penny par unité.

	Centrales nucléaires	Centrales classiques
Conditions prévues:		
Facteur de charge . . . %	75	75
Durée d'exploitation de la centrale . . . années	20	28
Rendement thermique . . . %	27	33
Taux d'intérêt . . . %	5	5
Coût net du combustible £/t	12 500/15 000	3,75
Coût en capital par kW fourni au réseau . . . £/kW	135	48
Coûts d'exploitation:		
Capital . . .	0,40	0,13
Charge initiale de combustible . . . en pence par kWh	0,05...0,06	néant
Coût du combustible (net) . . . fourni au réseau	0,16...0,19	0,40
Frais d'exploitation et frais généraux . . .	env. 0,05	0,05
Total (approximatif) . . .	0,66...0,70 ²⁾	0,58 ¹⁾ ²⁾

¹⁾ Le coût total de production d'une centrale électrique classique en Grande-Bretagne varie selon le prix du combustible; on prévoit un minimum de 0,55 penny et un maximum de 0,65 penny par kWh.

²⁾ Aujourd'hui, selon le cours officiel 1 £ = fr. 12.08. Les chiffres indiqués, même convertis en francs ou centimes, ne sont pas sans autre valables pour notre pays, ainsi, par exemple, le coût du combustible est certainement plus élevé chez nous qu'en Grande-Bretagne.

Coûts totaux

Compte tenu des facteurs précités et du coefficient d'incertitude que comportent les hypothèses, on peut penser que les

coûts prévus pour l'exploitation des premières centrales nucléaires commerciales seront assez proches des chiffres donnés dans le tableau ci-dessus, dans lequel ces valeurs sont comparées à celles des centrales classiques.

Ce tableau permet de dégager les conclusions suivantes dans les conditions indiquées: alors que les coûts de combustible dans les centrales classiques représentent plus des deux tiers du total des coûts de production moyens et les charges en capital et autres coûts d'exploitation moins d'un tiers, on voit que la structure se trouve inversée pour les centrales nucléaires, dans lesquelles le coût de la tranche complémentaire de combustible représente moins d'un tiers du total.

Statistique des poteaux de bois établie par les PTT

621.315.668.1.0046

L'administration fédérale des téléphones et des télégraphes a publié récemment, dans ses «Communications techniques», des renseignements sur les poteaux de bois remplacés au cours des années 1952 à 1956¹⁾. Entre temps, les résultats de l'année 1957 ont paru également. Ces statistiques contiennent quelques éléments intéressants, que nous allons passer sommairement en revue.

La longévité moyenne des poteaux dont la pourriture a nécessité le remplacement entre 1952 et 1957 fut la suivante:

- poteaux traités au sulfate de cuivre
 - selon le procédé Boucherie 23,4 ans
 - poteaux traités à l'huile de goudron 36,2 ans
 - poteaux de mélèze non traités 29,9 ans
 - poteaux de châtaignier non traités 49,7 ans

La grande longévité des poteaux non traités en bois de mélèze et surtout de châtaignier est due sans doute à la résistance plus élevée de ces essences contre les champignons; elle n'en est pas moins étonnante et semble indiquer que d'autres facteurs encore sont en jeu, entre autres probablement le fait que ces poteaux sont plantés dans des régions où l'été est caractérisé par de longues périodes de sécheresse (arrondissements de Bellinzone, Coire et Sion), ce qui fait que les champignons destructeurs du bois n'ont que très peu de temps pour se développer.

Statistique des poteaux remplacés par les PTT de 1952 à 1957 par suite de pourriture du bois

Tableau I

Direction des téléphones	Total des poteaux remplacés	Longévité moyenne des poteaux remplacés (entre parenthèses nombre correspondant pour la période 1940—1948)
Neuchâtel	2258	30,9 (30,3)
Bienne	7208	27,8 (28,2)
Fribourg	4519	27,6 (24,3)
Berne	3533	27,4 (24,3)
Bâle	2347	26,1 (21,0)
Coire	3689	25,6 (26,6)
Lucerne	5988	24,6 (24,5)
Winterthour	3083	24,1 (19,0)
St-Gall	5566	21,1 (24,8)
Rapperswil	1970	21,1 (19,7)
Thoune	1539	20,9 (27,6)
Sion	2106	20,6 (19,3)
Bellinzone	1875	20,4 (19,8)
Zurich	7541	20,0 (19,1)
Genève	1592	19,5 (14,4)
Oltén	2860	18,9 (19,6)
Lausanne	6679	18,9 (18,8)
Toute la Suisse	64353	23,4 (22,5)

¹⁾ F. Bögli: «Stangenstatistik der Jahre 1952...1956» dans «Communications techniques des PTT» 1958, n° 4.

Quant aux poteaux traités à l'huile de goudron, il s'agit de ceux qui furent imprégnés en son temps par immersion totale. La longévité de 36,2 ans concorde bien avec celle des statistiques étrangères. C'est ainsi que pour le bois de pin traité selon le procédé Rüping (au goudron de houille), on admet une longévité moyenne de 30 ans en Espagne, de 35 ans en Belgique et de 40 ans en Scandinavie. Mais ce procédé n'entre pas en ligne de compte pour la Suisse, parce que l'épicéa, qui prédomine chez nous, se prête mal à l'imprégnation à l'huile de goudron de houille en autoclave. En outre, les poteaux imprégnés d'huile de goudron «transpirent» et déplaisent au personnel pour cette raison.

La durée moyenne des poteaux traités au sulfate de cuivre selon le procédé Boucherie varie considérablement d'une région à l'autre (voir tableau I). La raison en est que les champignons réfractaires au sulfate de cuivre ne sont pas répandus également partout. En outre, la composition du sol, le pH (concentration des ions d'hydrogène), l'humidité et la température jouent aussi un rôle; les essais de la commission de l'UICS pour l'étude des méthodes d'imprégnation des poteaux en bois ont montré, par exemple, qu'un sol légèrement acide avec un pH de 5,5 à 6,5 favorise beaucoup la prolifération des champignons et, par conséquent, la pourriture du bois, tandis qu'un sol alcalin (pH supérieur à 7) freine la croissance; à quoi vient s'ajouter la résistance plus grande du sulfate de cuivre au lessivage en terrain alcalin. Les résultats favorables obtenus dans le domaine des arrondissements de Biel et Neuchâtel sont certainement dus en partie au fait que le sol y est très calcaire et accuse ainsi une réaction alcaline.

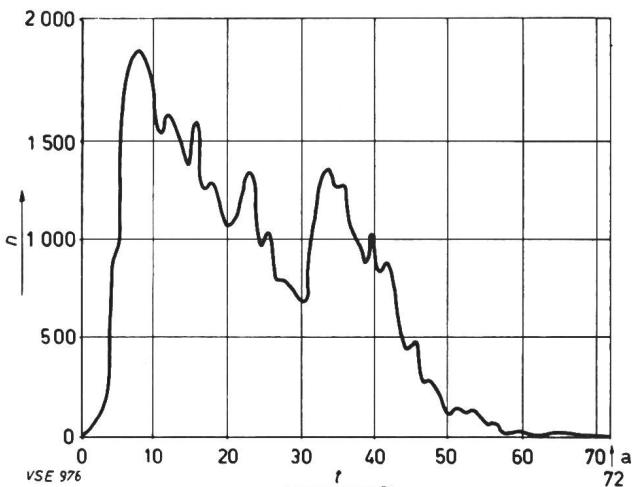


Fig. 1

Distribution des poteaux de bois traités au vitriol bleu, remplacés par les PTT durant les années 1952...1956
n = nombre des poteaux remplacés
t = âge des poteaux remplacés, en années (a)

La fig. 1 montre la distribution des poteaux de bois traités au vitriol bleu, que les PTT ont dû remplacer durant les années 1952 à 1956 à cause de la pourriture. Le nombre de poteaux prématurément détruits est particulièrement élevé; pendant les 10 premières années il atteint environ 15 %. Après un maximum la 8^e année, le pourcentage régresse rapidement, pour remonter de nouveau au bout de 32 ans et atteindre un second maximum 34 ans après l'implantation. Ce phénomène est caractéristique pour le procédé Boucherie et s'explique par le fait que la distribution se compose au fond de deux courbes différentes, dont chacune illustre le comportement d'un groupe déterminé de poteaux. Divers facteurs sont déterminants pour l'appartenance d'un poteau donné à l'un des deux groupes en question, avant tout la provenance et la qualité du bois, mais aussi la qualité de l'imprégnation. Wi./Bq.

Extraits des rapports de gestion des centrales suisses d'électricité

(Ces aperçus sont publiés en groupes de quatre au fur et à mesure de la parution des rapports de gestion et ne sont pas destinés à des comparaisons)

On peut s'abonner à des tirages à part de cette page

	Gesellschaft des Aare- und Emmenkanals Solothurn		Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen Schaffhausen		Wasser- und Elektrizitäts- werk der Gemeinde Buchs Buchs SG		Société des Usines de l'Orbe Orbe	
	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956
1. Production d'énergie . kWh	2 462 190	2 578 150	38 763 350	38 595 900	9 830 000	9 909 000	7 123 000	7 704 000
2. Achat d'énergie . . . kWh	406 356 689	386 663 965	30 314 964	26 533 568	2 767 600	2 240 000	513 000	305 000
3. Energie distribuée . . . kWh	408 818 879	389 242 115	67 729 614¹⁾	63 498 968 ¹⁾	12 596 700	12 150 000	7 636 000	8 009 000
4. Par rapp. à l'ex. préc. . %	+ 5,0	+ 3,0	+ 6,7	+ 8,6	+ 3,7	+ 3	- 4	+ 21
5. Dont énergie à prix de déchet kWh	18 721 400	33 447 627	149 000	159 000	3 096 100	3 660 000	1 924 000	2 389 000
11. Charge maximum . . . kW	75 450	70 337	15 450²⁾	14 220 ²⁾	2 950	2 650	1 100	1 100
12. Puissance installée totale . kW	307 700	281 200	130 196	114 000	21 400	19 100	8 939	8 939
13. Lampes { nombre kW	377 470	360 700	232 329	222 000	28 480	26 860	21 050	20 730
14. Cuisinières { nombre kW	15 077	14 200	9 960	9 200	1 400	1 310	676	663
15. Chauffe-eau { nombre kW	14 822	14 000	3 042	2 750	1 769	1 653	510	470
16. Moteurs industriels { nombre kW	85 304	79 400	21 476	19 440	9 150	8 340	3 420	3 100
21. Nombre d'abonnements . . .	16 762	15 900	4 219	3 864	1 655	1 463	492	457
22. Recette moyenne par kWh cts.	20 155	18 900	7 789	7 099	1 740	1 290	849	779
	24 306	23 000	15 769	14 484	958	853	437	434
	35 058	34 000	42 969	14 809	2 460	2 000	1 093	1 506
Du bilan:	27 363	26 466	—	—	2 430	2 300	1 368	1 350
31. Capital social fr.	3 000 000	3 000 000	—	—	—	—	712 000	712 000
32. Emprunts à terme	2 500 000	2 500 000	—	—	—	—	500 000	525 000
33. Fortune coopérative . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
34. Capital de dotation . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
35. Valeur comptable des inst. .	4 652 450	4 742 228	—	—	1 290 000	1 275 000	1 424 000	1 502 000
36. Portefeuille et participat. .	38 960	27 003	—	—	—	—	46 800	49 995
37. Fonds de renouvellement .	750 000	720 000	—	—	275 000	275 000	—	—
Du compte profits et pertes:								
41. Recettes d'exploitation . fr.	—	—	4 534 419	4 199 643	827 600	760 400	679 100	643 869
42. Revue du portefeuille et des participations	—	—	30 480	41 925	—	—	2 525	2 298
43. Autres recettes	—	—	9 620	10 279	10 500	10 200	292 008	287 980
44. Intérêts débiteurs	82 280	84 842	15 750	15 750	27 800	27 000	30 855	34 238
45. Charges fiscales	356 439	129 231	49 425	48 060	7 200	7 200	9 216	12 048
46. Frais d'administration . . .	—	—	577 233	514 893	4 850	5 200	141 720	131 110
47. Frais d'exploitation . . .	—	—	1 416 796	1 168 968	217 200	197 200	569 128	528 296
48. Achat d'énergie	—	—	1 189 650	1 048 078	140 150	110 480	19 881	17 036
49. Amortissements et réserves . .	990 000	1 050 000	401 313	671 846	429 140	389 950	104 031	114 096
50. Dividende	150 000	150 000	—	—	—	—	42 720	42 720
51. En %	5	5	—	—	—	—	6	6
52. Versements aux caisses publiques	—	—	900 000	800 000	150 000	125 000	48 245³⁾	47 545 ³⁾
Investissements et amortissements:								
61. Investissements jusqu'à fin de l'exercice fr.	—	—	15 833 354	14 994 302	6 773 000	6 544 000	2 212 826	2 212 826
62. Amortissements jusqu'à fin de l'exercice	—	—	15 383 354	14 544 302	5 483 000	5 269 000	788 826	710 826
63. Valeur comptable	4 652 450	4 742 228	450 000	450 000	1 290 000	1 275 000	1 424 000	1 502 000
64. Soit en % des investissements	—	—	2,8	3,0	19	19	64,35	67,88

¹⁾ Les fournitures d'énergie dans le réseau urbain tout entier (y compris les fournitures directes des EKS et NOK) ont atteint 102 321 334 kWh en 1957 et 94 860 318 kWh en 1956.

²⁾ La charge maximum du réseau urbain tout entier fut de 19 700 kW en 1957 et de 17 900 kW en 1956.

³⁾ y compris les droits d'eau.

Rédaction des «Pages de l'UCS»: Secrétariat de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité, Bahnhofplatz 3, Zurich 1;
adresse postale: Case postale Zurich 23: téléphone (051) 27 51 91; compte de chèques postaux VIII 4355;
adresse télégraphique: Electrunion Zurich. Rédacteur: Ch. Morel, ingénieur.

Des tirés à part de ces pages sont en vente au secrétariat de l'UCS, au numéro ou à l'abonnement.