

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 81 (1955)
Heft: 19-20: École polytechnique fédérale Zurich: centenaire 1855-1955, fasc. no 1

Artikel: L'énergie de pointe et l'exportation
Autor: Koechlin, André
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61361>

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: 28.01.2026

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

dommageables ont été examinés et confrontés. Adversaires et partisans ont été invités en parfaite égalité à faire valoir leur point de vue. Les aspects pris en considération s'étendant au domaine technique, financier et économique sont si divers et si complexes qu'il n'est pas possible, en quelques lignes, d'en donner un résumé présentant une vue d'ensemble exacte. Voici cependant l'une ou l'autre des conclusions essentielles.

Le montant total des frais de construction du canal transhelvétique Léman-Rhin s'élève (en se basant sur l'indice actuel des prix de construction) à 334 millions de francs, dont 200 millions pour le canal d'Entreroches seulement. Ce dernier canal ne servant qu'à la navigation et non à la production d'énergie, son prix de revient est nettement plus élevé que pour le secteur de l'Aar.

Le coût de la voie navigable par km est de 1 182 000 fr. environ entre Nidau et Koblenz et de 5 300 000 fr. au canal d'Entreroches.

Selon les évaluations des experts le transhelvétique aurait à supporter un trafic d'environ 2 200 000 tonnes par an dont 1 875 000 pour les importations et 200 000 pour le trafic interne.

L'aménagement de la voie navigable Léman-Rhin peut être conçu par étapes, dont la première, à réaliser d'ailleurs progressivement, porterait sur le secteur Koblenz-Yverdon, le moins coûteux et le plus rentable. Ce secteur présente des conditions économiques qui peuvent être rapprochées de celles qui ont été déterminées pour la navigation sur le Rhin supérieur entre Bâle et le lac de Constance.

L'ÉNERGIE DE POINTE ET L'EXPORTATION

par ANDRÉ KOEHLIN, ingénieur E.P.F., Genève

Introduction

Nous pouvons poser la question — et elle s'est fréquemment posée dans le passé, tant pour les spécialistes que pour l'homme de la rue : « Faut-il exporter notre énergie ? »

En effet, longtemps les avis ont été partagés sur ce sujet et, au moment où nous arrivons bientôt à l'aménagement complet de nos forces hydrauliques, la question doit se poser à nouveau. S'il est relativement facile d'y répondre pour les toutes prochaines années, il est évidemment beaucoup plus difficile de prévoir comment le problème se présentera dans un avenir plus lointain. Il est cependant du devoir de l'ingénieur de se poser de telles questions, car ce qu'il construit ne répond pas seulement à une nécessité du moment mais bien souvent, et particulièrement dans le domaine des aménagements hydro-électriques, les constructions qu'il entreprend sont faites pour les besoins de plusieurs décennies.

1. L'exportation dans le passé

Tandis que, entre les deux guerres mondiales, plusieurs économies nationales, de tendance autarcique, s'efforçaient de se libérer des échanges commerciaux internationaux, aujourd'hui tous les pays en reconnaissent la nécessité. On peut même dire que la vie d'une nation est conditionnée par ses importations et exportations. Les échanges nécessaires dépassent d'ailleurs l'activité commerciale d'une nation et doivent même comprendre les échanges intellectuels et ceux d'ordre spirituel.

Si nous passons de ces considérations générales au domaine particulier de l'électricité, nous noterons que, dans le passé, l'énergie exportée avait pour notre pays un effet régulateur ; elle écoulait les excédents des étés à fortes précipitations tandis qu'elle était restreinte pendant l'hiver ainsi que pendant les étés très secs.

La figure 1 donne, pour la dernière année d'avant-guerre — octobre 1938 à septembre 1939 — le débit

moyen du Rhin et les exportations mensuelles ; ces dernières suivent dans une forte mesure les disponibilités du moment tandis que la courbe de la consommation pour usages domestiques et artisanaux varie en sens inverse : elle est plus forte en hiver, au moment des faibles débits de nos cours d'eau, qu'en été, époque à laquelle nous avons des disponibilités plus larges.

Les exportations avaient un autre effet régulateur : elles s'adaptaient aux disponibilités lors de la mise en route de nouvelles centrales qui jetaient subitement sur

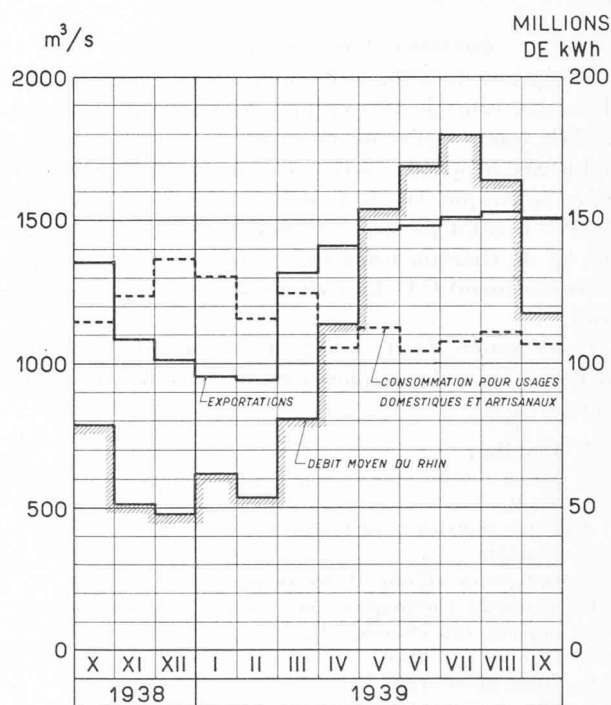


Fig. 1. — Effet régulateur de l'exportation d'énergie.

En hiver, le débit du Rhin est faible, mais la consommation est forte, l'exportation est réduite.

En été, le débit du Rhin est élevé, mais la consommation baisse, l'exportation est augmentée.

le marché des quantités importantes d'énergie que la consommation interne du pays ne pouvait pas immédiatement absorber.

Enfin, les exportations que nous effectuions en temps normal constituaient une réserve importante pour les périodes difficiles. C'est ainsi que pendant la dernière guerre la production de plusieurs centrales exportatrices a été livrée d'une façon inespérée à l'économie suisse.

2. Les exportations futures

Dans le passé, les exportations étaient des ventes pures et simples. Cependant, l'accroissement constant de la consommation a réduit peu à peu ces exportations à très peu de chose. En effet, la consommation interne qui, en 1938, était inférieure à 6 milliards de kWh, a atteint en 1954 13 milliards de kWh. L'accroissement annuel varie entre 3 et 5 % si bien que, dans un délai qu'on peut évaluer à douze ans au minimum et à vingt ans au maximum, la consommation interne du pays pourra tout juste être couverte par l'énergie de nos cours d'eau. Encore faudra-t-il qu'ils soient entre temps complètement aménagés, avec une production globale estimée à environ 25 milliards de kWh. Il semble que la construction des nouvelles centrales pourra suivre ce rythme des besoins de la consommation, mais elle demandera à tout le pays un effort considérable.

Faut-il donc penser que d'ici une ou deux décennies les exportations d'énergie électrique auront complètement disparu ?

Cette déduction ne tiendrait pas compte d'autres facteurs qui rendent le problème plus complexe. Pour les saisir, il nous faut procéder au classement des applications de l'électricité selon la possibilité de la remplacer par une autre forme d'énergie.

Equivalence de l'énergie électrique

Rappelons tout d'abord qu'un kg de charbon brûlé dans une centrale thermique moderne fournit environ 2 kWh, tandis que ce même kg utilisé pour le chauffage industriel remplace 7 kWh consommés dans une chaudière électrique. On peut aussi dire grosso modo que 1 kWh produit par une centrale hydraulique remplace 0,5 kg de charbon brûlé dans une centrale thermique, mais seulement 0,14 kg utilisé pour le chauffage industriel.

Cette notion, jointe à celle de commodité, nous permet de classer les applications de l'électricité comme suit :

1. Lumière.
2. Force motrice pour usages domestiques et de l'artisanat.
3. Force motrice pour l'industrie.
4. Traction.
5. Industries utilisant l'électrolyse.
6. Appareils thermiques pour usages domestiques : cuisinières, eau chaude, etc.
7. Pompes à chaleur.
8. Fours électriques.
9. Chaudières et chauffage d'habitations.

Cette classification peut être poussée beaucoup plus loin ; c'est ce qui avait été fait en Italie sous le régime autarcique.

En face de cette classification, il est opportun de rappeler quelle a été en 1953/1954 la consommation des principaux usagers de l'électricité.

| | 10 ⁶ kWh | % |
|---|---------------------|-----|
| Ménage et artisanat | 4 801 | 37 |
| Industrie en général | 2 075 | 16 |
| Traction | 1 175 | 9 |
| Electrochimie | 2 485 | 19 |
| Chaudières électriques | 599 | 5 |
| Pertes dans les réseaux et énergie de pompage | 1 818 | 14 |
| Total | 12 953 | 100 |

Ce classement donne une nouvelle orientation à l'exportation. En effet, même avant d'avoir atteint le plafond de la production hydraulique, nous serons amenés — et le sommes déjà aujourd'hui — à importer des tranches d'énergie à des moments de faible hydraulité. Dès à présent, certaines de ces importations d'hiver se font en échange de tranches d'énergie de moindre valeur, produite en été dans nos centrales. Cela veut dire qu'au lieu de chercher pour nos excédents d'énergie d'été des utilisateurs classés au bas de l'échelle, nous exportons ces excédents, ce qui nous permet, par le jeu de l'échange, de satisfaire en hiver des consommateurs du haut de l'échelle.

Diagrammes d'énergie

Aux variations saisonnières de la consommation se superposent des variations journalières. Nous avons toutefois, grâce à une tarification appropriée et grâce à l'installation de chaudières électriques, pu compenser, dans une très forte mesure, les variations dans le cours d'une journée. Cependant, il faut remarquer que cette action, justifiée à un certain moment, n'est pas la plus rationnelle au point de vue de l'économie générale. Elle demanderait à être réadaptée au bout d'un certain laps de temps, mais cela est difficile car le distributeur doit suivre une ligne de conduite vis-à-vis de ses consommateurs qui doivent avoir le temps d'amortir leurs installations.

Hinterland de la production hydraulique

L'augmentation constante de la consommation et les disponibilités limitées de la houille blanche font que, dans l'avenir, l'hydraulique alimentera une clientèle toujours plus proche des lieux de production.

Dans notre pays dont l'étendue est faible, ce phénomène s'est encore peu fait sentir tandis qu'en France et en Italie notamment, on voit dès à présent la production hydraulique alimenter les régions voisines des Alpes, tandis que les régions éloignées sont de plus en plus alimentées par la thermique. Toutefois, ce phénomène est aussi perceptible chez nous puisque déjà l'exportation vers les pays étrangers s'est restreinte et, plus récemment encore, les importations d'hiver et en général les importations en période de faible hydraulité ont augmenté. Ces importations se font, bien entendu, par transposition d'énergie, les pays voisins nous transmettant l'énergie produite par les centrales les plus proches de notre frontière, mais ces importations doivent être couvertes, dans les pays voisins, par la thermique. Il est donc juste de dire que l'hinterland de l'hydraulique s'amenuise de plus en plus et que l'énergie de nos cours d'eau alimente des régions qui se rétrécissent comme la peau de chagrin.

3. Energie de pointe

Il faut cependant rectifier la notion de l'hinterland hydraulique en introduisant celles des énergies de pointe et de réglage. En effet, pour couvrir la demande de la clientèle en énergie de pointe, et plus encore lorsqu'il s'agit de suivre les variations instantanées de la charge, l'hydraulique conserve toute sa primauté sur la thermique.

La statistique permet de connaître assez exactement le développement des diagrammes journaliers, c'est-à-dire de savoir à quel moment de la journée se produira la pointe, à quelle allure se fera la montée de charge et l'amplitude qu'elle atteindra. Toutefois, la demande réelle sera toujours quelque peu différente des prévisions. Il peut y avoir des décalages dans le temps, des montées plus rapides, des amplitudes plus grandes.

Les centrales à accumulation sont particulièrement aptes à remplir cette double tâche (production d'énergie de pointe et de réglage), car le démarrage de leurs groupes s'effectue en une ou deux minutes, la prise de charge est presque instantanée et la puissance n'est limitée que par la puissance installée.

Dans les centrales thermiques, au contraire, la conduite de la chaufferie doit être modifiée assez longtemps avant une variation de charge importante et la mise en service de nouveaux groupes doit être prévue plusieurs dizaines de minutes à l'avance, quand ce n'est pas plusieurs heures.

Il faut d'ailleurs remarquer que ces mêmes avantages de l'hydraulique sur la thermique se retrouvent lors de la baisse de charge.

Pour ces raisons, de grands réseaux alimentés par des centrales thermiques ont installé des centrales hydro-électriques d'accumulation par pompage pour la couverture de leurs pointes. Cette pratique, qui date de plus de trente ans, s'est développée et continue à se développer, ce qui est une confirmation de l'intérêt tout particulier que les centrales hydrauliques à accumulation présentent pour la couverture des pointes de charge.

Il est intéressant de noter qu'en Italie du Nord, où l'équipement des cours d'eau touche à sa fin et où de grandes centrales thermiques ont été construites récemment, la tendance se fait jour d'équiper les centrales hydrauliques pour des durées d'utilisation toujours plus courtes, ce qui veut dire qu'on les destine à couvrir des pointes toujours plus aiguës.

L'apparition de centrales atomiques accentuera encore ce développement car, plus encore que les centrales thermiques, elles seront destinées à couvrir la base des diagrammes et à fournir une charge constante.

Nous demanderons de plus en plus à nos centrales hydrauliques à accumulation de couvrir la partie variable des diagrammes de charge et, en particulier, les pointes. Certains de nos voisins nous demanderont sans doute de leur fournir de l'énergie de pointe en échange d'énergie de base.

Il se produira donc un mouvement contraire à celui que nous constatons aujourd'hui et qui restreint l'hinterland de la production hydraulique, et nous assisterons à une reconquête du terrain perdu.

Cette progression aura évidemment une limite, car le

transport arrêtera petit à petit ce mouvement de reconquête. Sans construire de nouvelles lignes, celles qui existent seront sans doute suffisantes et pourront servir à exporter de l'énergie de pointe à certains moments de la journée et à importer de l'énergie de base à d'autres. Ce sont donc surtout les pertes de transport qui limiteront l'expansion de l'exportation de l'énergie de pointe. La frontière sera le lieu où le prix de l'énergie de pointe, compte tenu des pertes, sera encore supportable.

4. Prix de l'énergie de pointe

La figure 2 donne le prix de l'énergie en fonction des heures annuelles d'utilisation. Les deux courbes qui sont reportées sur cette figure concernent : l'une des centrales construites entre les deux guerres mondiales, l'autre des centrales construites après la dernière guerre. Le rapport des prix de ces deux courbes est d'environ 1 : 1,75 et correspond bien à l'augmentation générale du coût de la construction.

On remarque que ces deux courbes ont l'allure d'hyperboles pour lesquelles le produit du prix par les heures d'utilisation est une constante. Cette formule se vérifie avec assez d'exactitude pour la portion utilisée de la courbe. Cela signifie que pour une faible utilisation les prix deviennent extrêmement élevés. En effet, si nous voulons descendre jusqu'à 1000 heures d'utilisation, il nous faudra consentir des prix quatre fois plus élevés que ceux que nous donne l'installation fournissant de l'énergie sous 4000 heures.

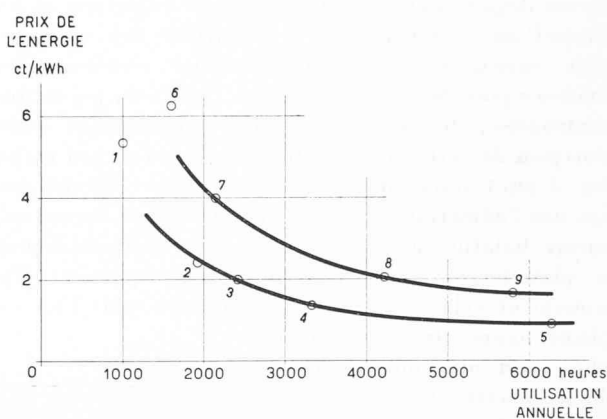


Fig. 2. — Prix de l'énergie en fonction des heures d'utilisation.

Les prix sont conventionnels ; ils ont été établis en appliquant des charges uniformes de 7,5 % au coût des aménagements.

Légende

Courbe inférieure : centrales construites entre les deux guerres mondiales.

- 1 Wäggitäl.
- 2 Etzel, Lungernsee-Kaiserstuhl, Sernf.
- 3 Klosters, EOS.
- 4 Broc, Handeck I - Innertkirchen, Brusio, Küblis.
- 5 Mühleberg, Peuffeyre, Albula, Eglisau, Klingnau, Chancy-Pougny, Sembrancher, Verbois, Wynau II, Piottino, Reckingen, Ryburg-Schwörstadt, Niederenbach, Diëtikon, Wettingen.

Courbe supérieure : centrales construites après la dernière guerre.

- 6 Lucendro.
- 7 Handeck II, Miéville.
- 8 Rossens.
- 9 Fätschbach, Plessur III, Rabiusta-Realta, Wassen, Julia, Lavey, Rapperswil-Auenstein.

Ces constatations ouvrent des perspectives pour l'exportation de l'énergie de pointe car, plus le prix est élevé, plus loin l'énergie de pointe pourra être transportée.

5. Conclusion

Pour que notre pays puisse continuer à faire des échanges avec l'étranger dans le domaine de la produc-

tion électrique, il est nécessaire d'équiper toujours plus nos centrales pour la production de pointe. Or, l'énergie de pointe doit être considérée comme l'énergie de qualité la plus poussée et, aménager nos installations pour livrer cette qualité d'énergie, revient à nous équiper pour améliorer toujours plus la qualité de notre production. C'est le but vers lequel toute industrie doit tendre.

ÉVOLUTION DES TRANSPORTS URBAINS EN 50 ANS EN SUISSE ROMANDE

par MARC CHATELAIN, ingénieur E.P.F., Genève

En 1905, le tramway était le moyen de transport urbain normal. Il faut même préciser que le tramway électrique résolvait tous les problèmes. Il avait dépassé le stade des inventions et même le stade des grandes adaptations paraissait franchi. Depuis 1888, date à laquelle fut créé le service à traction électrique du Vevey-Montreux-Chillon, dix-sept ans d'expériences avaient abouti à des constructions déjà éprouvées. Les questions qui se posaient étaient avant tout économiques et pratiques. La figure 1 représente une voiture dont la silhouette est commune à toutes nos villes de Suisse romande au début du siècle. Les plates-formes étaient encore dégagées et c'est en 1905 que l'Angleterre et les Etats-Unis commencèrent à construire des « convertibles cars », voitures transformables recevant des « vitres » pour la mauvaise saison. Ce fut un point très controversé. Je me souviens des conversations entre wattmen de cette époque : tous étaient d'accord qu'en été il était impossible d'avoir une vitre devant soi. Les uns l'admettaient pour le gros de l'hiver, les autres, encore habitués à tenir les rênes des chevaux depuis la plate-forme, s'y opposaient catégoriquement. Ils trouvaient cela dangereux, car, n'ayant plus l'air en pleine figure, ils ne pouvaient plus avoir une notion exacte de la vitesse. Des « vitrages de plates-formes » furent cependant montés dès 1906. L'habitude se prit de les admettre. Toutefois, les nouvelles constructions prévoyaient des plates-formes fermées avec glaces coulissantes vers le bas.

Le travail du wattman a d'ailleurs évolué. Son attention est en grande partie réservée aux difficultés du trafic. En 1905, il lui était surtout demandé de conduire en faisant le plus possible d'économie de courant : très faible vitesse dans les courbes ; accélérer la vitesse non pas au maximum,

mais de façon à laisser « courir » la voiture sans courant le plus longtemps possible. Il ne faut pas croire que c'était par un sentiment d'avarice de nos ancêtres. La dépense d'électricité était considérable par rapport aux autres dépenses. En 1905, sur le réseau genevois, pour 4 millions de km voiture environ, la dépense de courant dépassait 400 000 fr. et représentait le 55 % des frais de personnel. Actuellement pour le tram et 5 millions de km voiture, la dépense d'énergie est de 565 000 fr. et ne représente plus que le 9,3 % des frais de personnel. La différence est même sensationnelle si l'on considère que des voitures comme celles de la figure 1 avaient deux moteurs de 20 CV alors que les motrices analogues à deux essieux ont aujourd'hui deux moteurs de 75 CV. Donc, une puissance presque quatre fois supérieure.

Pourtant les vitesses commerciales de 1905 étaient déjà convenables. Certains tronçons urbains qui étaient parcourus à 8 km/h ne le sont aujourd'hui par trolleybus qu'à 11 km/h. Evidemment sur des parcours sortant un peu de ville la différence est plus sensible. C'est ainsi que les 7 km séparant Carouge de Chêne étaient franchis à la vitesse commerciale de 10 km/h et aujourd'hui par les tramways normalisés à 16 km/h.

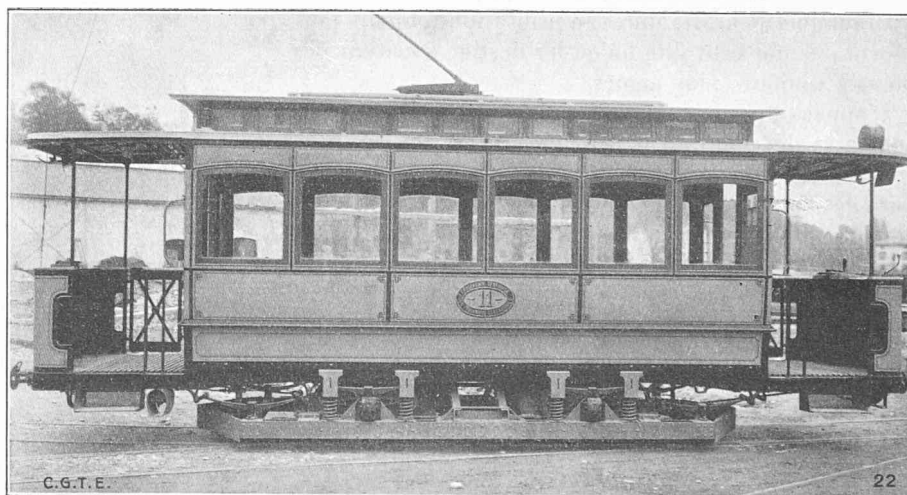


Fig. 1. — Tramway du début du siècle.