

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 29 (1938)
Heft: 20

Artikel: Utilisation des excédents d'énergie électrique pour la production de fonte brute et d'essence
Autor: Lorenz, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059003>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

Utilisation des excédents d'énergie électrique pour la production de fonte brute et d'essence.

Rapport présenté aux Journées de Discussion de l'Association Suisse pour l'Aménagement des Eaux et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, le 3 juin 1933, à Zurich.

Par G. Lorenz, Thisis.

669.187:665.58

Partant des données statistiques publiées par l'Office fédéral de l'économie électrique et l'UCS, l'auteur examine jusqu'à quel point les disponibilités d'énergie suffiraient à couvrir les besoins d'une installation suisse pour le traitement des minerais de fer et la production d'essence synthétique. Il en conclut que, pour le programme de production proposé, les excédents d'énergie disponibles seront toujours suffisants dans le cadre du développement normal de la construction des usines électriques.

Auf Grund der statistischen Erhebungen des Eidg. Amtes für Elektrizitätswirtschaft und des VSE wird untersucht, wie weit die vorhandenen Energieüberschüsse für den Bedarf einer schweizerischen Anlage zur Verhüttung von Eisenerzen und zur synthetischen Benzinerzeugung ausreichen. Es zeigt sich, dass das vorgeschlagene Roheisen- und Benzin-Erzeugungsprogramm im Rahmen einer natürlichen Entwicklung des Kraftwerkbaues stets aus Energieüberschüssen erfüllt werden kann.

Nous admettons d'emblée que les diverses données du sujet que nous nous proposons de traiter sont plus ou moins connues du lecteur. Ce qui est nouveau et n'a pas encore fait l'objet de discussions de ce genre, ce sont les relations qui existent entre les diverses données, et le problème général qui en découle. Il s'agit en quelque sorte d'une coordination d'un certain nombre de buts proposés:

- La meilleure utilisation possible des disponibilités (puissance [kW] et énergie [kWh]) de nos forces hydroélectriques;
- Le traitement des minerais de fer extraits de notre sol;
- La fourniture de carburants pour la Confédération et l'armée suisse;
- La création d'occasions de travail durables et rémunératrices. Une requête commune adressée récemment au Département fédéral de l'économie publique par

la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes, l'Association Suisse pour l'Aménagement des Eaux, l'Union des Centrales Suisses d'électricité et la Société d'Etudes pour l'Utilisation des Minerais suisses,

exprime leur volonté de s'occuper de la chose et renferme des propositions concrètes en vue de l'examen de la question et d'une réalisation éventuelle. Nous ne nous étendrons pas sur cette requête, car sa liquidation est du ressort de l'office fédéral compétent.

Il ne s'agit donc présentement que de nous occuper des bases techniques des divers problèmes, de leur coordination, des effets qu'elles peuvent exercer les unes sur les autres et des possibilités d'une solution technique et économique de l'ensemble du problème, de façon à aboutir à une première solution d'ordre tout à fait général.

En ce qui concerne les gisements suisses de minerais de fer, leur traitement électrique et la synthèse de l'essence, nous disposons déjà d'un certain nombre de rapports émanant de spécialistes bien connus¹⁾. Nous nous reporterons donc à ces travaux et nous bornerons essentiellement à l'étude d'ensemble du problème et à sa solution technique dans le cadre de notre économie hydroélectrique.

¹⁾ Cf. Rapports de MM. H. Fehlmann, Dr. h. c., Berne, et A. Guyer, professeur, Zurich.

La figure 1 montre l'interdépendance des divers problèmes, l'importance technique du programme ainsi que son incidence sur l'utilisation des forces

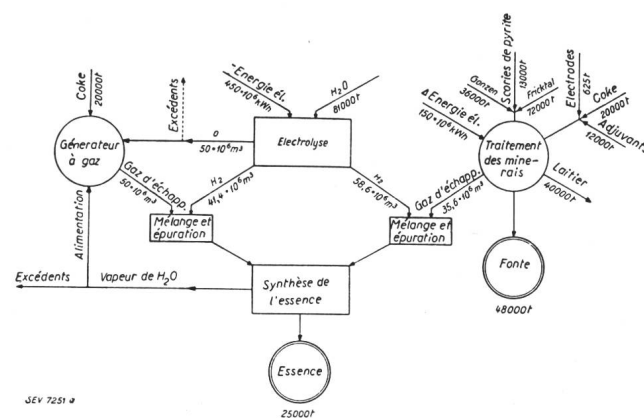


Fig. 1.

Représentation thématique de la production de la fonte et de l'essence, dressée par MM. A. Guyer et G. Lorenz.

hydroélectriques et sur l'économie de l'énergie. Pour le *traitement électrique des minerais* dans des fours électriques spéciaux, nous disposons

- des scories de pyrites provenant des fabriques d'acide sulfurique (Fe env. 60 %),
- des minerais du Gonzen (Fe 52 à 55 %),
- des minerais du Fricktal (Fe 28 à 33 %).

Le traitement d'environ 126 000 t de ces minerais exige environ 140 à 150 · 10⁶ kWh d'énergie électrique pour la production de chaleur et environ 18 000 à 20 000 t de coke, qui peut être remplacé partiellement ou entièrement par du charbon de bois indigène, en cas de nécessité ou pour des usages spéciaux. Les adjuvants et les électrodes ont une importance secondaire.

Ce traitement permet d'obtenir environ 48 000 t de fonte. Il fournit également des gaz d'échappement en quantité importante, constitués essentiellement de CO (env. 76 %), de CO₂ (env. 14 %), de H₂ (env. 4 %), de CH₄ (env. 1 %), de H₂O (env. 3 %) et d'environ 2 % d'azote. Seul l'azote est un gaz inerte; son faible pourcentage en réduit d'ailleurs l'intérêt et ne donne lieu à aucune difficulté. Le CO₂ est réduit en CO et l'on obtient un gaz renfermant 98 % de CO, H₂, CH₄ et H₂O, prédestiné à la synthèse de l'essence.

L'essence n'est pas une combinaison déterminée par une formule chimique absolue, mais un mélange d'hydrocarbures de la série du méthane selon la formule fondamentale $CH_4 + n \cdot CH_2$ et surtout de l'hexane (C_6H_{14}) et de l'heptane (C_7H_{16}). Pour l'élaborer synthétiquement en partant de l'oxyde de carbone (CO), de très grandes quantités d'hydrogène sont donc nécessaires. Pour la synthèse de l'essence, ces deux gaz ($CO + H_2$) sont généralement produits par la méthode du gaz à l'eau (générateur). Le coke nécessaire peut d'ailleurs être remplacé en partie par la production électrolytique de l'hydrogène de l'eau; l'oxygène qui est également libéré peut alors remplacer avantageusement l'air dans le générateur à oxyde de carbone.

D'une façon tout à fait générale et sans tenir compte de la répartition quantitative, c'est-à-dire uniquement à titre de base pour une étude générale, nous avons considéré tout d'abord la combinaison d'un traitement des minerais et d'une synthèse de l'essence, celle-ci pouvant être alimentée d'une part par les gaz d'échappement provenant du traitement des minerais et par de l'hydrogène électrolytique, d'autre part par du gaz à l'eau ou du gaz de coke avec hydrogène électrolytique supplémentaire. Il en résulte un emploi utile et fort désirable de l'oxygène électrolytique pour la production du gaz à l'eau et du gaz de coke, ainsi qu'une grande souplesse d'adaptation des besoins d'énergie aux possibilités de production des forces hydroélectriques, en utilisant alternativement l'installation d'électrolyse et l'installation de générateur à gaz pour la production de l'hydrogène. Quant à la vapeur d'eau nécessaire à la production du gaz à l'eau, elle est fournie par la synthèse de l'essence, qui est exothermique.

Au point de vue technique, le problème est ainsi délimité. Au point de vue économique, il suffira d'indiquer ici qu'il sera possible de fournir aux consommateurs de l'essence au prix mondial augmenté des droits d'entrée et, si la production indigène de l'essence n'est pas grevée de charges fiscales, de fournir de la fonte dans le cadre des prix mondiaux, c'est-à-dire sans que l'on soit obligé d'introduire des droits d'entrée pour la fonte brute. Il serait prématuré de donner de plus amples indications à ce sujet, tant que le Département fédéral de l'économie publique n'a pas encore examiné la requête qui lui a été soumise. On peut cependant constater avec satisfaction que l'entrée en matière a déjà été approuvée.

Nous nous bornerons donc à étudier si les besoins d'énergie du programme esquissé peuvent être couverts, et de quelle façon, par les excédents d'énergie saisonnière de nos forces hydroélectriques, excédents qui se présentent en tous temps dans une plus ou moins grande mesure et qui ne sont pas encore utilisés. Nous nous baserons sur les publications de l'Office fédéral de l'économie électrique, ainsi que sur les communications de M. Lusser, directeur de cet office, que nous remercions vivement de son appui, de ses suggestions intéressantes et de la vérification de ce que nous avançons. Nous remercions également M. le professeur Guyer de sa collaboration efficace qui remonte à plusieurs années déjà, et de ses renseignements sur la synthèse de l'essence, dont l'étude et la mise au point sont indispensables à la détermination du problème général.

Pour l'étude de l'utilisation des excédents d'énergie électrique pour le traitement des minerais et la synthèse de l'essence, on peut tabler sur un fonctionnement de 24 heures

par jour pendant 8 mois par an en moyenne, soient environ 6000 heures de travail. Pour pouvoir déterminer — au moins dans l'ordre de grandeur des conditions réelles — les disponibilités et l'emploi des excédents d'énergie, il faut considérer plus en détail les variations annuelles, mensuelles, hebdomadaires et journalières de ces excédents.

Les grandeurs et les variations des excédents d'énergie disponibles au cours de 15 années sont

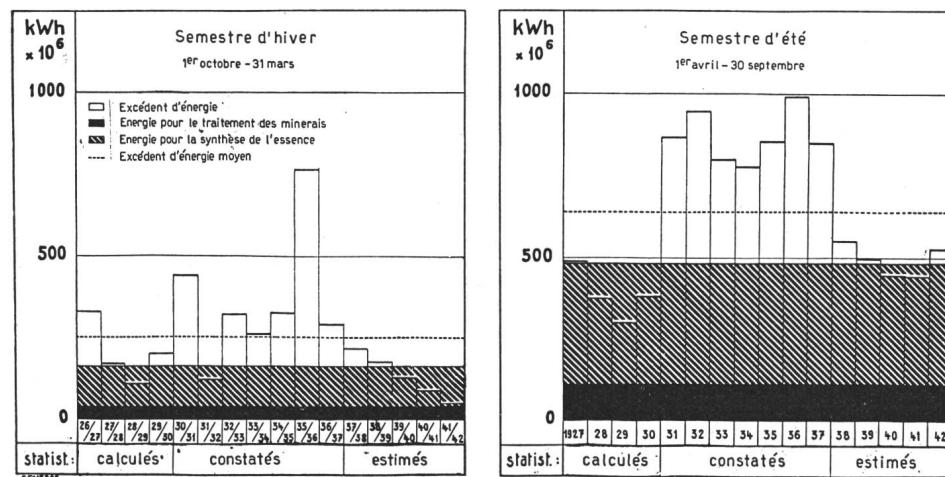


Fig. 2.

Valeurs et variations des excédents d'énergie disponibles, de 1926 à 1942.

25 000 t d'essence par an couvriraient 4 à 5 fois les besoins actuels de la Confédération, y compris les CFF, les services postaux et l'armée; cette quantité n'est donc pas négligeable, d'autant plus qu'en cas d'absolue nécessité cette essence pourrait être produite en utilisant uniquement du bois indigène (charbon de bois ou lignine) et nos forces hydrauliques.

relevées sur la figure 2, pour la période allant de 1927 à 1930 (valeurs calculées d'après les statistiques), celle de 1931 à 1937 (valeurs constatées par les statistiques) et celle de 1938 à 1942 (valeurs estimées d'après les statistiques). Cette estimation est basée sur l'état actuel des usines hydroélectriques en service et en construction. Environ $150 \cdot 10^6$ kWh pour le traitement des minerais et environ $500 \cdot 10^6$

kWh pour la synthèse de l'essence, répartis régulièrement sur 6 mois d'été et 2 mois d'hiver (avril et novembre), correspondent aux surfaces noires et aux surfaces hachurées des deux diagrammes. Ces besoins d'énergie sont couverts comme indiqué, sauf pendant les années 1928/30 et 1940/41. Ceci ne signifie toutefois pas que les besoins puissent être réellement couverts, car cela dépend des variations mensuelles, hebdomadaires et journalières des excédents d'énergie annuels disponibles. Par contre, ces diagrammes montrent qu'il pourrait être possible et avantageux, dans certaines conditions, d'augmenter en quelque sorte le stockage de fonte et d'essence durant les années où les excédents d'énergie sont considérables, et de compenser ainsi les variations décennales de nos forces hydrauliques.

La figure 3 montre les *variations mensuelles des excédents d'énergie disponibles*, pour les années

désirable); la seconde solution peut être prévue en avril, par exemple, comme cela s'est déjà fait pour le service des chaudières électriques. Les bassins d'accumulation ont été créés pour équilibrer les apports irréguliers des cours d'eau; ils remplissent encore mieux leur but si on les utilise également au printemps, en été et en automne.

On constate ainsi que, certains mois, l'énergie disponible est inférieure à l'énergie nécessaire pour le traitement des minerais et la synthèse de l'essence. Par contre, d'autres mois, les excédents d'énergie des usines au fil de l'eau sont considérables, de même que ceux des apports d'eau des usines à accumulation.

Heureusement, le service représenté thématiquement sur la figure 1 se caractérise par une grande souplesse et par d'intéressantes possibilités d'équilibre. Ainsi, le traitement des minerais peut être

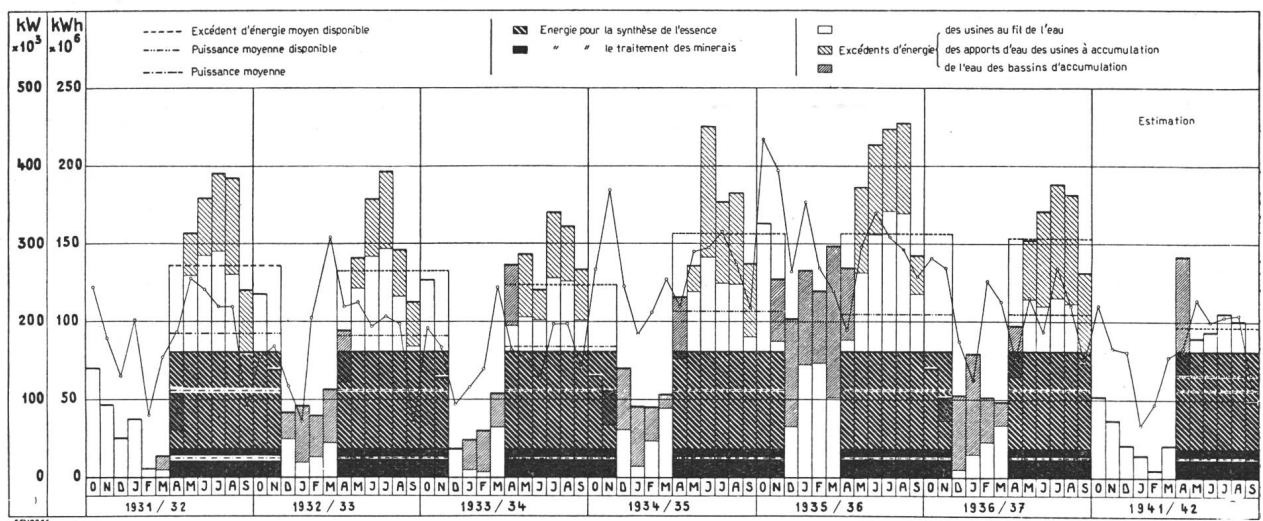


Fig. 3.
Variation des excédents d'énergie mensuels et des puissances utilisables de 1931/32 à 1936/37 et 1941/42.

hydrologiques 1931/32 à 1936/37 (valeurs constatées par les statistiques) et pour l'année 1941/42 (valeurs estimées d'après les statistiques). L'énergie disponible en kWh est en outre subdivisée en excédents d'énergie des usines au fil de l'eau (blanc), excédents d'énergie des appoints d'eau des usines à accumulation (larges hachures), excédents d'énergie de l'eau d'accumulation des usines à accumulation (hachures serrées).

Les besoins pour le traitement des minerais et la synthèse de l'essence ont été inscrits et répartis régulièrement, les premiers en noir et les seconds en très fortes hachures.

On doit constater, ainsi qu'il fallait s'y attendre, que les excédents d'énergie provenant exclusivement des usines au fil de l'eau ne peuvent pas couvrir, pendant certaines années ou certains mois, l'énergie nécessaire régulièrement répartie pour le traitement des minerais et la synthèse de l'essence. Il faudrait parfois utiliser l'énergie des apports d'eau des usines à accumulation ou même l'eau d'accumulation des bassins de retenue de ces usines. Rien ne s'oppose à la première solution lorsque les bassins d'accumulation sont remplis (cette solution est même fort

assuré par les deux fours ou par un seul four, car la charge de ceux-ci peut varier ou être réglée entre 75 % et 125 % de la charge normale, pendant une assez longue durée. Il en est de même pour l'obtention de l'hydrogène, qui peut se faire dans l'électrolyseur et dans le générateur. Pendant les mois où l'eau est abondante et où les excédents d'énergie sont considérables, on pourra fournir une plus grande quantité d'hydrogène électrolytique, tandis que pendant les mois où l'eau est plus rare, ce sera l'hydrogène du générateur qui sera fourni en plus grande quantité. Au besoin, on pourra supprimer presque complètement la production d'hydrogène par le générateur et utiliser presque exclusivement de l'hydrogène électrolytique. Dans le second cas, l'installation de générateur à gaz fournira presque uniquement du CO et peu de H₂, par un fonctionnement très rationnel et continu.

La figure 4 montre l'adaptation de la consommation d'énergie à l'énergie disponible pour l'année 1934 selon les statistiques (année minimum), pour l'année moyenne de la période de 6 années et pour l'année 1942, estimée selon les statistiques. Pour les mois d'octobre à décembre 1942, on a admis les

mêmes variations que pour l'année 1941. On a surtout cherché à utiliser aussi complètement que possible l'énergie disponible des usines au fil de l'eau, tandis que les apports d'eau des usines à accu-

On peut donc certainement admettre que le programme proposé pour la production de la fonte et de l'essence pourra toujours être maintenu par les excédents d'énergie, dans le cadre du développement normal de l'aménagement des forces hydrauliques.

Dans la figure 5, les variations hebdomadaires et journalières des excédents d'énergie disponibles, qui sont déterminantes pour la couverture de l'énergie nécessaire à la production de la fonte et de l'essence, permettent encore de constater d'importantes variations de fourniture d'énergie électrique en Suisse, y compris l'exportation. Pour une puissance hebdomadaire moyenne d'environ 582 000 kW, selon la courbe «B» du mois de juin 1937, la variation de la puissance n'atteint pas moins de 492 500 kWh entre le point le plus bas en fin de semaine et le maximum des jours ouvrables. On constate nettement qu'il est nécessaire d'avoir recours à l'énergie des usines à accumulation, ou plus exactement à celle de leurs apports d'eau et à leur déversement, pour satisfaire aux demandes d'énergie, si l'on veut utiliser complètement l'énergie disponible des usines au fil de l'eau. Il s'ensuit que la couverture des besoins d'énergie pour la production de la fonte et de l'essence, telle qu'elle paraît résulter de la statistique des excédents d'énergie mensuels, n'est pas possible uniquement par les excédents d'énergie des usines au fil de l'eau, si l'on tient compte des conditions réelles de charge. Malgré la souplesse considérable des installations de production de la fonte et de l'essence, dont la puissance

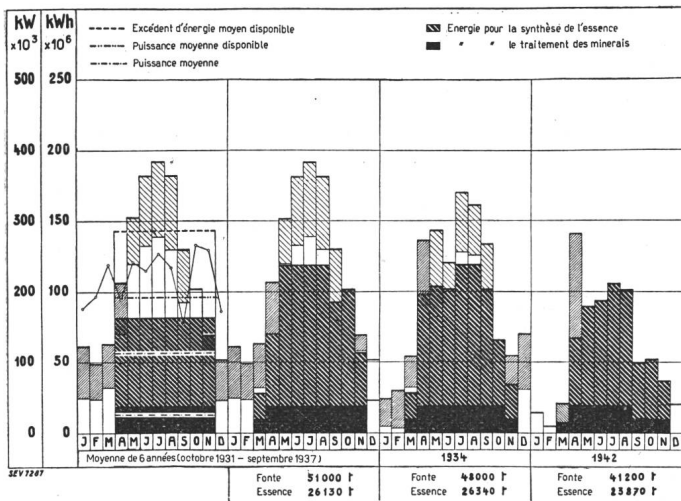


Fig. 4.

Adaptation de la consommation d'énergie à l'énergie disponible. Variation des excédents d'énergie mensuels moyens pendant une période de 6 années (octobre 1931 - septembre 1937), pendant l'année minimum de 1934 et pendant l'année budgétaire de 1942, avec indication de la couverture de l'énergie nécessaire pour le traitement des minerais et la synthèse de l'essence.

mulation et l'énergie accumulée par celles-ci constituent des réserves. Le diagramme des excédents d'énergie mensuels semble permettre l'exécution complète du programme de production de la fonte brute et de l'essence, non seulement pour l'année

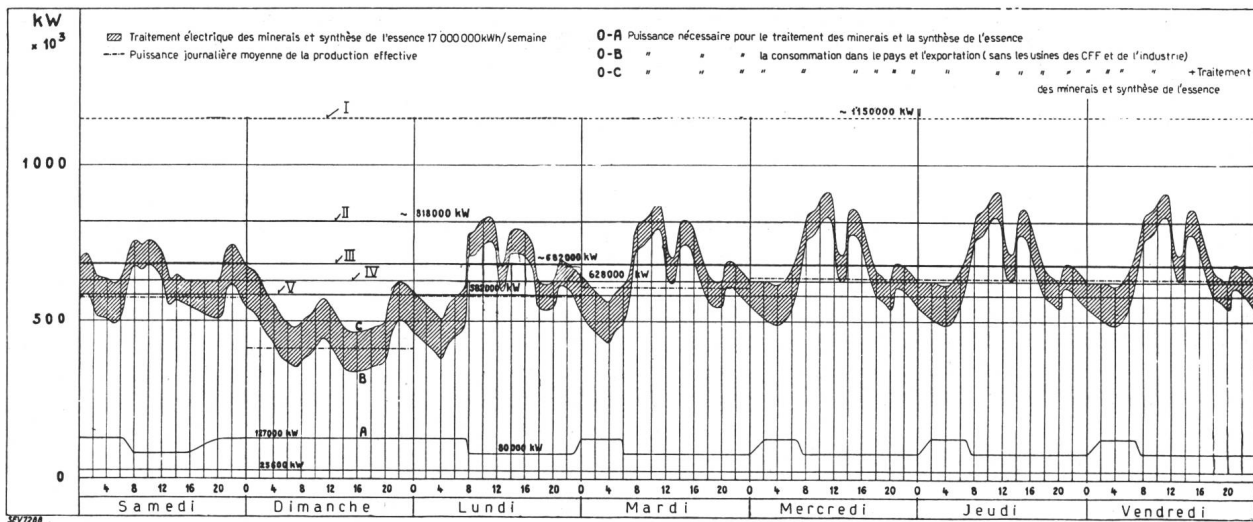


Fig. 5.

Diagramme des puissances de la production suisse d'énergie (sans les usines des CFF et de l'industrie) et diagramme des puissances nécessaires pour le traitement des minerais et la synthèse de l'essence, à mi-juin 1937. I Puissance disponible des usines au fil de l'eau d'après les apports d'eau + capacité des usines saisonnières à accumulation au niveau maximum ~ 1 246 000 kW. II Puissance moyenne de la production disponible ~ 818 000 kW. III Puissance moyenne de la production effective + traitement des minerais et synthèse de l'essence ~ 720 000 kW. IV Puissance moyenne de la production effective ~ 638 000 kW. V Puissance moyenne disponible des usines au fil de l'eau d'après les apports d'eau 570 000 kW.

moyenne, mais également pour l'année minimum 1934. Le budget des excédents d'énergie pour 1942 exigerait dans ce même but une petite réduction (peu importante) de la production de fonte et d'essence. Il y a lieu de mentionner que le diagramme pour 1942 ne tient pas encore compte des excédents d'énergie de l'usine que la ville de Genève a décidé de construire d'ici là sur le Rhône.

peut varier de 80 000 kW à 130 000 kW, l'équilibrage de la charge pendant une semaine ne peut osciller que dans le cadre de cette variation admissible, ce qui ne correspond pas tout à fait au 9 % de la puissance hebdomadaire moyenne, resp. à environ 10 % de la variation hebdomadaire de la charge actuelle.

La courbe «C» de la figure 5, inscrite au-dessus de la courbe de charge «B» pour une semaine du

mois de juin 1937, correspond à la courbe de charge «A» inscrite au bas de cette même figure pour la production de la fonte et de l'essence. La surface hachurée comprise entre les deux diagrammes de charge hebdomadaire indique l'énergie nécessaire pour la production de la fonte et de l'essence, qui atteint environ 17 000 000 kWh par semaine.

La surface de tout le diagramme «C» correspond à un degré d'utilisation de 85 % de la production disponible, c'est-à-dire de la consommation réelle augmentée de l'excédent d'énergie non encore utilisé à ce moment. La variation de puissance entre le point le plus bas (dimanche à 16.00 h) et le point

kW, puisqu'il ne s'agit d'utiliser que des excédents d'énergie. Cette utilisation n'est pas complète, mais elle atteint néanmoins le 88 % environ; un examen plus détaillé permettrait peut-être cependant de réaliser un rendement encore meilleur des apports d'eau des usines à accumulation et par conséquent une production d'hydrogène plus forte pour la synthèse de l'essence. Dans tous les cas, on a admis une marche à plein rendement pour le traitement des minerais en octobre également.

Le diagramme total «C» correspond déjà à une utilisation de 99 % de la production *disponible*, pour une variation maximum de la puissance d'environ

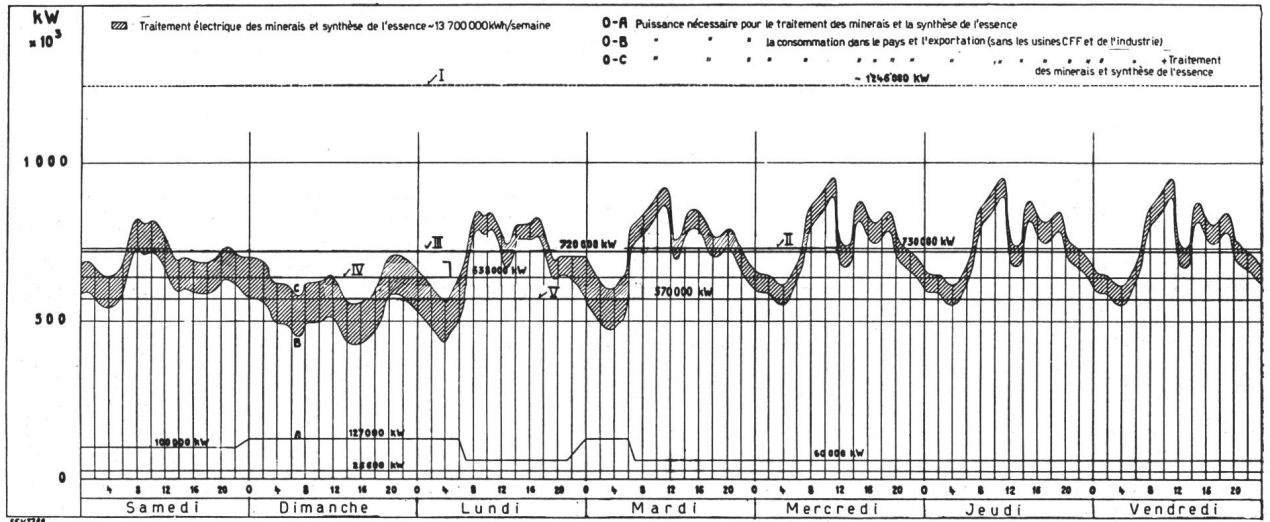


Fig. 6.

Diagramme des puissances de la production suisse d'énergie (sans les usines des CFF et de l'industrie) et diagramme des puissances nécessaires pour le traitement des minerais et la synthèse de l'essence, à mi-octobre 1937.

I Puissance disponible des usines au fil de l'eau d'après les apports d'eau + capacité des usines saisonnières à accumulation au niveau maximum $\sim 1\,150\,000$ kW. *II* Puissance moyenne de la production disponible $\sim 730\,000$ kW. *III* Puissance moyenne de la production effective + traitement des minerais et synthèse de l'essence $\sim 682\,000$ kW. *IV* Puissance moyenne disponible des usines au fil de l'eau d'après les apports d'eau $\sim 628\,000$ kW. *V* Puissance moyenne de la production effective $\sim 582\,000$ kW.

le plus élevé (mercredi à 11.00 h) a été ramenée à 442 500 kW, soit environ 50 000 kW de moins, du fait de la variation de l'énergie nécessaire à la production de la fonte et de l'essence.

La puissance *moyenne* de la production *disponible* n'est atteinte que peu de temps par le diagramme total «C» et elle n'est que faiblement dépassée. La puissance disponible des usines au fil de l'eau, y compris la capacité des usines à accumulation, dépasse encore de 235 000 kW les pointes de charge du diagramme total.

Au printemps et en automne, les conditions sont naturellement quelque peu différentes. Elles sont représentées par le diagramme d'une semaine du mois d'octobre 1937 (figure 6). La puissance *moyenne* de la production *effective* a passé de 582 000 kW (en juin) à 638 000 kW, et est sensiblement plus élevée que la puissance moyenne de l'énergie disponible des usines au fil de l'eau, qui a baissé de 628 000 kW à 570 000 kW. La pleine puissance d'environ 130 000 kW nécessaire pour la production de la fonte et de l'essence ne peut être couverte qu'en fin de semaine et pendant quelques heures de nuit. Pour le reste, il est nécessaire de réduire la puissance de 50 %, soit à environ 60 000

402 500 kW, la puissance *moyenne* n'étant donc plus que légèrement supérieure à la puissance moyenne du total de la production nécessaire d'environ 720 000 kW. Les pointes de puissance de la production nécessaire dépassent d'environ 220 000 kW la puissance disponible moyenne, mais elles restent néanmoins d'environ 290 000 kW inférieures à la puissance de pointe disponible des usines au fil de l'eau et à accumulation, qui est légèrement supérieure à celle du mois de juin.

Nous n'avons pu ici qu'indiquer brièvement des premières suggestions et fournir des explications d'ordre tout à fait général, mais basées sur des conditions réelles. Le programme à suivre est considérable et fort chargé, mais il mérite certainement un examen approfondi, car il ne s'agit nullement d'une autarchie économique à tout prix et à des fins purement militaires, mais uniquement de la mise en valeur de nos richesses et de nos forces naturelles dans le cadre d'une saine économie. Pour la mise au point et la réalisation de ce programme de défense économique et militaire, qui intéresse notre pays tout entier, le concours de tous les appuis moraux et matériels est indispensable.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

L'éclairage au sodium à Neuchâtel.

628.971.7 : 725.862

Le Service de l'Electricité de Neuchâtel vient de mettre en fonction le second tronçon d'éclairage public de la route de St-Blaise, partant du Crêt jusqu'au Bas du Mail, au moyen de nouvelles lampes à vapeur de sodium SO 400.

Le premier tronçon, Bas du Mail-limite du territoire de Neuchâtel, a été mis en service ce printemps.

La longueur de la route ainsi éclairée au moyen de ces nouvelles lampes est d'environ trois kilomètres et le nombre des lampes d'une centaine.

Le flux lumineux est, comme on le sait, quatre fois plus grand qu'avec les anciennes lampes (à incandescence) sans consommer davantage d'énergie. La lumière jaunâtre qu'elles dégagent est très agréable.

Placées à une distance de 25 à 30 mètres sur les poteaux de tramways, elles assurent un éclairage moderne qui est appliqué de plus en plus pour les routes de grande circulation donnant accès aux localités d'une certaine importance.

L. Martenet.

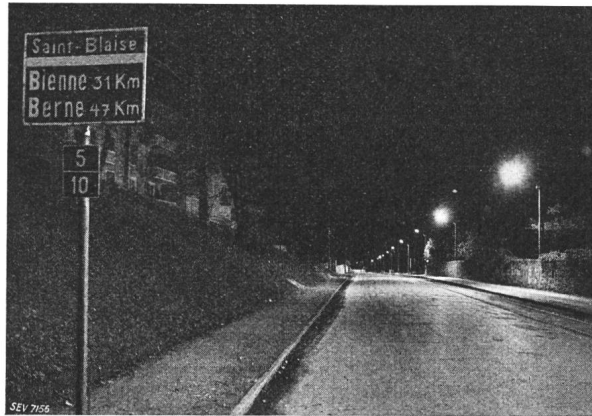


Fig. 2.

Neuchâtel: Eclairage de la route de Saint-Blaise au moyen de lampes au sodium.

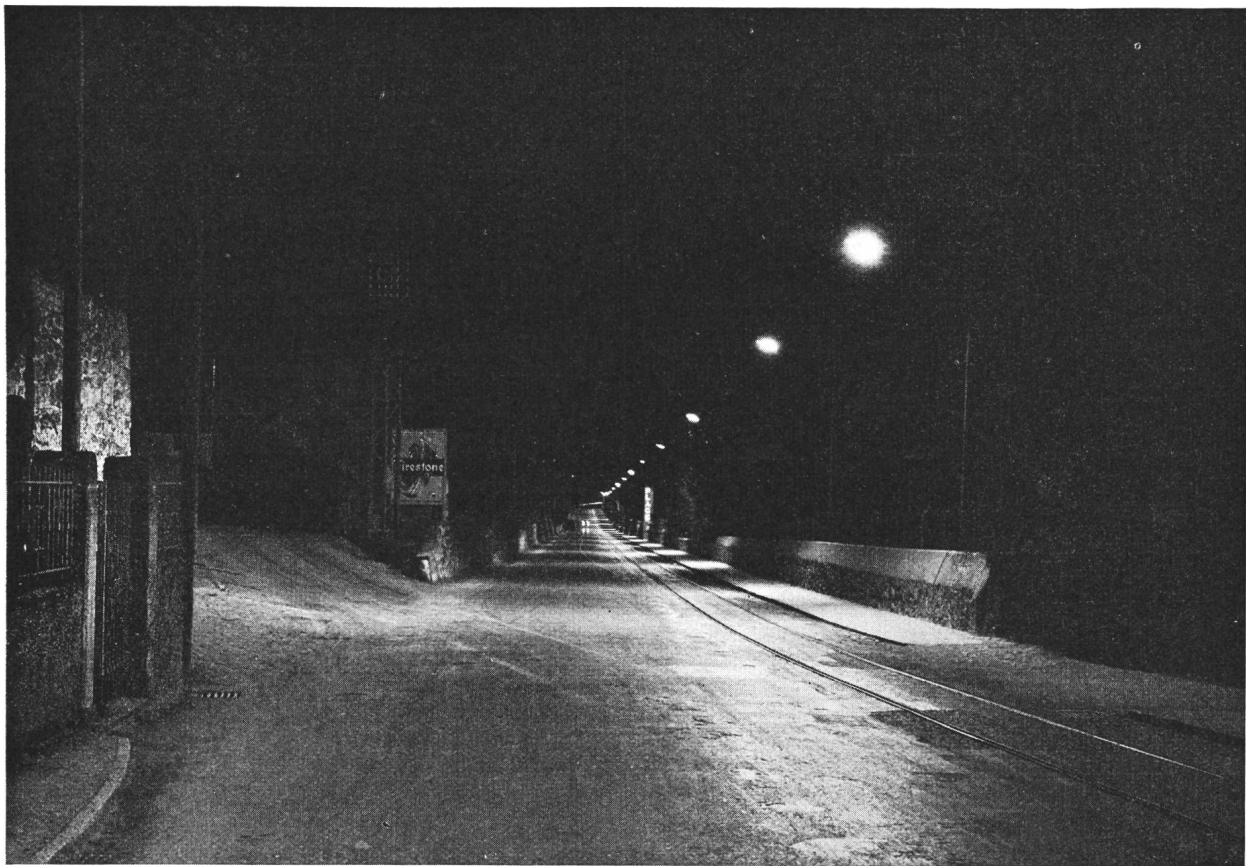


Fig. 1.

Neuchâtel: Eclairage de la route de Saint-Blaise au moyen de lampes au sodium.

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Oscillations de Relaxation.

Par J. J. Muller, Zurich.

538.551.25

1^o Introduction.

De nombreux phénomènes vibratoires ne se justifient que par l'étude d'équations différentielles non linéaires.

C'est par exemple le cas en mécanique pour les mouvements d'un balancier de montre ou d'une bielle de loco-

tive. Dans le domaine des oscillations électriques de haute fréquence les relations non linéaires entre courant et tension expliquent la plupart des phénomènes fondamentaux: limitation de l'amplitude d'une oscillation spontanée, redressement de courants, combinaison de fréquences, synchronisation, oscillations de relaxation. On peut dire que l'oscillation sinusoïdale harmonique issue de systèmes «linéaires» constitue une véritable exception. La tendance générale est aujourd'hui de rassembler sous le nom d'oscillations de rela-