

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 29 (1938)
Heft: 4

Artikel: Amélioration du facteur de puissance du réseau à haute tension de la S. A. des Forces Motrices du Nord-Est Suisse, à Baden
Autor: Hauser, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058961>

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: 25.12.2024

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

ADMINISTRATION:
Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 51.742
Chèques de postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXIX^e Année

N^o 4

Vendredi, 18 Février 1938

Amélioration du facteur de puissance du réseau à haute tension de la S. A. des Forces Motrices du Nord-Est Suisse, à Baden.

Par A. Hauser, Baden.

621.316.727

Le réseau des Forces Motrices du Nord-Est Suisse (NOK), qui alimente les réseaux de 5 entreprises cantonales, était affecté d'une trop forte charge réactive. Ces centrales cantonales décidèrent d'entreprendre un assainissement rationnel, en admettant en particulier dans les tarifs une clause relative au $\cos \varphi$ et en installant un grand nombre de condensateurs statiques, d'une capacité totale de plus de 17 000 kVAr, à laquelle vinrent s'ajouter près de 27 000 kVAr fournis par des machines rotatives. Par la suite, la construction d'importantes lignes à 150 kV contribua à améliorer encore le facteur de puissance. Le régime de la puissance réactive dans le réseau des NOK est maintenant satisfaisant de telle sorte, qu'il n'est plus nécessaire, ni économique, de poursuivre l'amélioration du facteur de puissance.

Das Netz der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.G. (NOK), das die Netze von 5 Kantonswerken speist, litt unter übermässiger Blindleistungsbelastung. Die angeschlossenen Kantonswerke boten Hand zu einer durchgreifenden Sanierung, indem sie sich u. a. einer «cos-φ-Klausel» in den Tarifen unterzogen und in der Folge weitgehend statische Kondensatoren einbauten. Im ganzen wurden mindestens 17 000 kVAr Kapazität in Form von Kondensatoren angeschlossen. Dazu kamen ca. 27 000 kVAr in Form von rotierenden Maschinen; später wirkte der Bau von bedeutenden 150-kV-Leitungen im gleichen Sinn. Heute sind die Blindleistungsverhältnisse im NOK-Netz so gut, dass eine weitere Verbesserung weder wirtschaftlich noch betriebstechnisch nötig und nützlich wäre.

(Traduction.)

Introduction.

Au fur et à mesure qu'augmentait l'importance de l'exploitation des grands réseaux à haute tension alternative, le problème du facteur de puissance, c'est-à-dire le réglage et la fourniture de la puissance réactive nécessaire, devenait de plus en plus impérieux. Du fait de la charge motrique sans cesse accrue dans les réseaux de distribution et de l'augmentation continue de la puissance des transformateurs, la puissance réactive nécessaire dépassait largement celle pour laquelle les installations d'alternateurs avaient été prévues. Le développement de la fourniture d'énergie a donc obligé peu à peu à améliorer le facteur de puissance. Quoique les mesures prises en ce sens remontent déjà à plusieurs années, il paraît néanmoins intéressant d'indiquer brièvement quelles étaient les conditions du réseau des Forces Motrices du Nord-Est Suisse S. A., à Baden (NOK). Les principaux clients des NOK sont les Services de l'électricité des cantons de Zurich, Argovie, Thurgovie, Schaffhouse et la S. A. des Forces Motrices St-Galloises et Appenzelloises. Une amélioration des conditions existantes ne pouvait être menée à chef qu'avec la collaboration de ces entreprises.

A. Etat du réseau avant l'amélioration du facteur de puissance.

1° En 1925/26, le facteur de puissance annuel moyen de l'ensemble du réseau des NOK, calculé à partir des points de production et des points de ré-

ception de l'énergie étrangère, atteignait **0,66**, d'après la formule

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum \text{kWh}}{\sqrt{(\sum \text{kWh})^2 + (\sum \text{kVArh})^2}}$$

A cette même époque, cette valeur moyenne atteignait **0,65** au points de livraison aux réseaux cantonaux.

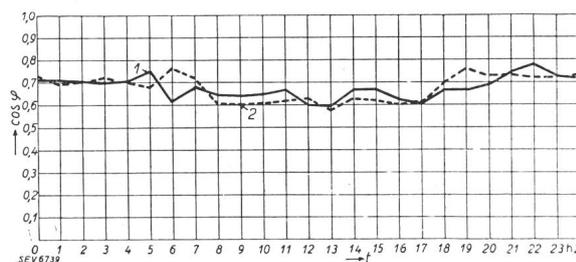


Fig. 1.

Diagramme du $\cos \varphi$ du réseau des NOK en 1926, valeurs mesurées aux points de production et aux points de réception de l'énergie étrangère.

- 1 Durant une journée d'été (4 août 1926).
- 2 Durant une journée d'hiver (17 février 1926).

La fig. 1 montre les variations du facteur de puissance pendant une journée d'été et une journée d'hiver de l'année 1926. On remarquera que, du fait de la forte charge réactive, le facteur de puissance est plus faible au moment de la forte charge industrielle que pendant la nuit, durant laquelle une grande partie de la puissance industrielle est supprimée.

La fig. 2 indique les valeurs du facteur de puissance mensuel moyen pour une entreprise cantonale

du 1^{er} octobre 1925 au 30 septembre 1926, à chaque point d'alimentation, ainsi que la valeur moyenne de tous les points d'alimentation, valeurs rapportées aux heures diurnes. Ces heures diurnes s'entendent de 6 h à 20 h en hiver (octobre-mars) et de 6 h à 18 h en été (avril-septembre). On remarquera que le

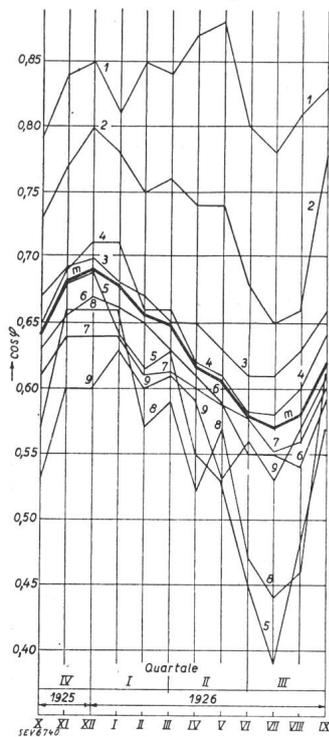


Fig. 2.

Facteurs de puissance journaliers ($\cos \varphi$) de l'entreprise cantonale A, en 9 points de réception différents (1 à 9). La valeur moyenne (m) de tous les endroits de mesure est indiquée en trait plus épais.

Quartale = Trimestres.

de vue de la fourniture de la puissance réactive; lorsque les turbines avaient suffisamment d'eau, le facteur de puissance de ces alternateurs atteignait presque l'unité, de sorte que la puissance réactive nécessaire était soutirée du réseau industriel.

2° Rappelons brièvement quels sont les principaux désavantages d'un facteur de puissance trop faible pour un réseau:

a) Un facteur de puissance trop faible provoque entre l'alternateur et le consommateur de grandes pertes ohmiques supplémentaires affectant la puissance et le travail. Les pertes pour un $\cos \varphi = 0,8$ étant égales à 100 % par exemple, elles augmentent pour un $\cos \varphi = 0,65$ à $100 \cdot \left(\frac{0,80}{0,65}\right)^2 = 152 \%$,

les autres conditions du réseau restant les mêmes.

Des calculs détaillés ont montré que, pour une consommation annuelle d'environ 500 millions de kWh et pour les caractéristiques du réseau des NOK en 1925/26, l'accroissement du facteur de puissance diurne de 0,65 à 0,80 réduit d'environ 16 millions de kWh/an les pertes de travail. Ce chiffre ne tient pas compte des réductions de pertes qui pourraient en résulter dans les transformateurs et les lignes de transmission des entreprises cantonales.

facteur de puissance présente parfois de notables variations selon les points d'alimentation. Ainsi, le facteur de puissance moyen n'atteignait pas même 0,40 en juillet 1926, à vrai dire pour un point d'alimentation de moindre importance.

Ces faibles valeurs du facteur de puissance provenaient en particulier de la forte proportion de la charge motrique, du choix de moteurs et de transformateurs trop largement dimensionnés et par conséquent mal utilisés. Dans le cas d'un réseau industriel, les conditions étaient encore plus mauvaises, du fait qu'un certain nombre de petites centrales étrangères travaillaient en parallèle et étaient également beaucoup trop mal dimensionnées au point

b) Le facteur de puissance exerce une grande influence sur le dimensionnement et l'utilisation des transformateurs et des alternateurs. Quelques-uns des alternateurs de la Centrale du Löntsch sont prévus pour une puissance de 5250 kVA avec $\cos \varphi = 0,80$ et peuvent débiter 4200 kW. Avec un facteur de puissance de 0,65, ces alternateurs ne débitent plus que 3400 kW. Un faible facteur de puissance peut donc conduire directement à une perte de puissance dans les installations de production, s'il n'est pas possible de produire d'une autre façon la puissance réactive. Les conditions de la charge exigeant dans certains cas la pleine puissance active

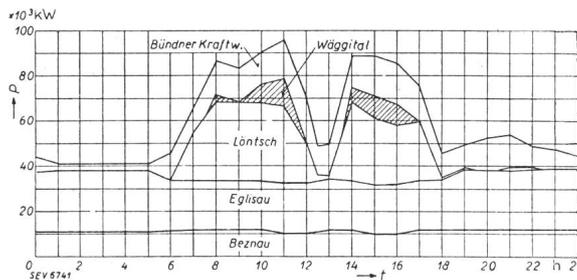


Fig. 3.

Diagramme de la puissance active du réseau des NOK et de sa répartition entre les diverses entreprises cantonales, le mardi 31 juillet 1928.

non seulement des centrales au fil de l'eau, mais également celle de la Centrale du Löntsch, l'installation d'alternateurs de la Centrale du Wäggital devait souvent être sollicitée dans une très grande mesure (surtout en été) pour la fourniture d'énergie réactive. Il arrivait ainsi, dans des cas extrêmes, qu'on était obligé d'utiliser jusqu'à quatre alternateurs totalisant 66 000 kVA, uniquement pour la fourniture de puissance réactive, à l'exclusion de toute puissance active. En hiver, les conditions étaient heureusement plus favorables, parce que le facteur de puissance du réseau était un peu meilleur

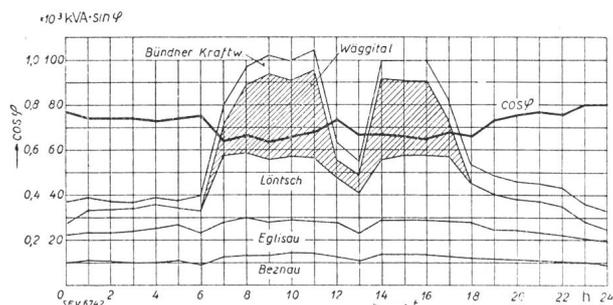


Fig. 4.

Diagramme de la puissance réactive du réseau des NOK et de sa répartition entre les diverses entreprises cantonales, le mardi 31 juillet 1928.

Le trait plus épais indique l'allure du $\cos \varphi$ de la charge du réseau.

leur et que les centrales au fil de l'eau pouvaient fournir une plus grande puissance réactive aux basses eaux, à cause de la puissance active plus réduite.

Les fig. 3 et 4 montrent la répartition de la charge active et réactive pendant une journée d'été de 1928. On remarquera la forte participation de

la Centrale du Wäggitäl à la fourniture de la puissance réactive.

La concentration peu désirable de la production de puissance réactive avait pour conséquence de réduire la stabilité de l'exploitation, état de choses fort désavantageux dans le cas de certaines perturbations.

c) Les chutes de tension dans les transformateurs et les lignes augmentent lorsque le facteur de puissance diminue, selon la formule approchée

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi).$$

On remarquera que, pour une même puissance à transmettre, le courant I est d'autant plus grand que le $\cos \varphi$ est plus faible, fait qui occasionne déjà à lui seul une notable augmentation de la chute de tension. En outre, dans les cas où la résistance inductive X dépasse la résistance ohmique, l'expression entre parenthèses augmente quand le $\cos \varphi$ diminue, d'où nouvelle augmentation de la chute de tension. On comprend aisément que le maintien de la tension est rendu plus difficile quand le facteur de puissance est faible. Lorsque les installations de production ne suffisent pas à fournir toute la puissance réactive nécessaire, la tension doit nécessairement devenir trop faible.

B. Mesures prises en vue d'améliorer le facteur de puissance.

On a cherché depuis longtemps à améliorer le facteur de puissance, dont la trop faible valeur était préjudiciable à l'exploitation. Au début, les tentatives ne donnèrent pas tous les résultats désirés. A la suite d'études approfondies, les solutions suivantes ont été prévues pour résoudre la question du facteur de puissance.

a) Compensation générale par machines à puissance réactive.

Cette solution prévoyait l'installation de machines à puissance réactive de 3000...5000...10 000 kVAR, totalisant 40 000...50 000 kVAR en certains nœuds de distribution principaux du réseau. L'un des avantages de cette solution résidait dans le fait que les mesures à prendre à cet effet auraient pu être confiées essentiellement aux NOK, sans nécessiter d'arrangements avec des tiers, et que les résultats auraient pu être acquis plus rapidement. Cette solution aurait eu cependant le grand désavantage que les installations de distribution des entreprises cantonales auraient continué à être trop fortement sollicitées en courant réactif. Après de longs calculs et d'importantes discussions, on a donc adopté la solution suivante.

b) Compensation de phase individuelle, aux entreprises cantonales et chez leurs abonnés.

Cette solution présentait l'avantage de réduire sensiblement le courant réactif dans les installations de transmission des entreprises cantonales. Au point de vue économique, elle était d'une façon générale la plus avantageuse. Jusqu'alors, la fourniture de l'énergie aux entreprises cantonales était basée sur un tarif binôme à taxe de base et taxe de consommation, sans tenir compte du facteur de puissance. Il va de soi qu'une compensation sous une forme ou

sous une autre devait être accordée aux entreprises cantonales pour les frais résultant de la réalisation de ces mesures. Les entreprises cantonales reçoivent par contrat une certaine indemnité par kVAR supprimé, à partir d'un certain facteur de puissance de base, indemnité qui atteint actuellement près de fr. 500 000.— par an. Les entreprises cantonales s'engagèrent à faire en sorte qu'en 1929/30 le facteur de puissance annuel moyen de leur fourniture normale ne soit pas inférieur à 0,70 pendant les heures de forte charge, de 6 h à 20 h en hiver et de 6 h à 18 h en été (à l'exception des samedis après-midi et des jours fériés). En 1930/31, le facteur de puissance ne devait pas être inférieur à 0,75 et les années suivantes à 0,80. Ces facteurs de puissance moyens devaient être atteints autant que possible à chaque point de livraison. Seule l'une des entreprises cantonales qui entraient alors en ligne de compte n'avait pas cru pouvoir accepter cette obligation, à cause des conditions particulières de son propre réseau. A la suite d'un arrangement, les NOK ont alors installé dans deux des sous-stations de cette entreprise cantonale une machine à puissance réactive de 3000 kVAR.

Le relevé suivant montre nettement de quelle façon l'amélioration du facteur de puissance a été réalisée.

On a installé:

Condensateurs haute et basse tension	17 100 kVAR
Machines rotatives réservées à la production d'énergie réactive (y compris 10 000 kVAR à Beznau)	21 700 kVAR
Machines rotatives prévues pour la fourniture d'énergie réactive et pouvant également fournir une puissance mécanique ou électrique	5 500 kVAR
Total	44 300 kVAR

Ce relevé n'est pas absolument complet, car un certain nombre d'abonnés des entreprises cantonales ont parfois installé des condensateurs statiques, sans en aviser l'entreprise cantonale.

c) Influence du développement des centrales et du réseau à très haute tension.

Par suite du développement et de la transformation des installations de production, ainsi que de

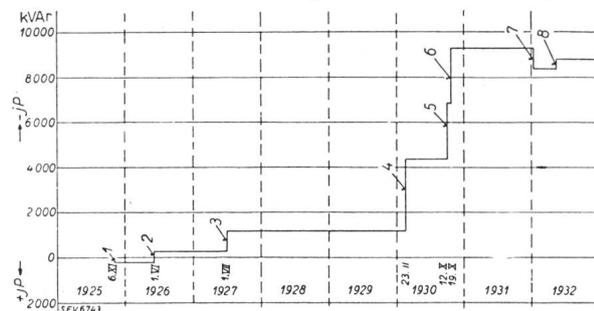


Fig. 5.

Modification de la puissance réactive du réseau des NOK lors de la mise en service des lignes à très haute tension et des transformateurs correspondants, de 1925 à 1933.

- 1 Siebnen - Töss et 2 transformateurs à Töss.
- 2 Beznau - Mülhausen et 1 transformateur à Beznau.
- 3 Töss - Beznau B et 1 transformateur à Beznau.
- 4 Beznau - Mülhausen.
- 5 Zeinigen - Grynau et Töss - Beznau A.
- 6 Netstal - Grynau - Töss B et 1 transformateur au Löntsch.
- 7 Grynau - Winkeln et 2 transformateurs à Winkeln.
- 8 Netstal - Grynau A et 1 transformateur au Löntsch.

l'établissement du réseau à 150 kV, une grande puissance réactive supplémentaire est devenue disponible.

L'installation de nouveaux alternateurs dans la Centrale de Beznau, dimensionnés pour une grande puissance apparente, permet de disposer d'une puissance réactive d'au moins 17 500 kVAr, de sorte que les machines rotatives à puissance réactive installées provisoirement ont pu être mises hors service.

L'établissement du réseau à 150 kV a permis peu à peu de disposer d'une nouvelle puissance réactive de 9000 kVAr, après déduction des composantes inductives de sens contraire pour les transformateurs 50/150 kV. Ce développement est indiqué sur la fig. 5.

C. Amélioration obtenue du facteur de puissance.

L'expérience a montré que le programme prévu pour l'amélioration du facteur de puissance a pu être suivi sans difficulté. Il va de soi qu'il a exigé de nombreux travaux de détail. Chose importante, on a pu obtenir dès le début des condensateurs statiques parfaitement adaptés au service. Néanmoins, ces condensateurs étaient d'un prix relativement élevé; cependant, le prix par kVAr s'abaisse de plus de la moitié en peu d'années, de sorte que les conditions devinrent également plus favorables au point de vue financier, que ne le laissaient entrevoir les prévisions.

La fig. 6 montre l'accroissement du facteur de puissance annuel moyen dans les diverses entreprises cantonales. Durant la période d'amélioration, le facteur de puissance moyen de l'ensemble des entreprises cantonales fut constamment plus élevé que la valeur obligatoire, malgré le fait que l'une des centrales n'était pas obligée de participer à l'amélioration. Le but visé par l'amélioration du facteur de puissance fut atteint à l'entière satisfaction de tous les intéressés. Du point de vue de l'exploitation,

la suppression de tous les désavantages de service mentionnés ci-dessus avait une importance toute particulière. Economiquement et techniquement, une nouvelle amélioration n'est plus désirable. Certains jours fériés, lorsque la charge par moteurs atteint son minimum, les alternateurs des centrales travaillent avec un $\cos \varphi$ qui approche sensiblement de l'unité. Pour pouvoir disposer d'une marge d'excitation suffisante pour la régulation de la tension, sans devoir sous-exciter les alternateurs, il est parfois nécessaire de supprimer de la puissance réactive en avance, en déclenchant des lignes à très haute tension marchant à vide.

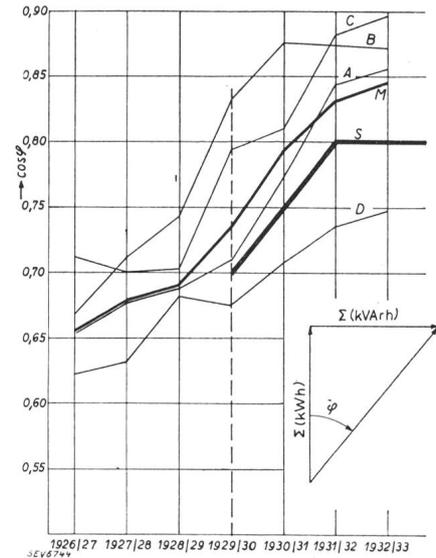


Fig. 6.

Facteurs de puissance journaliers, calculés d'après la formule

$$\cos \varphi_m = \frac{\Sigma (\text{kWh})_{\text{Jahr}}}{\sqrt{(\Sigma \text{kWh})_{\text{Jahr}}^2 + (\Sigma \text{kVArh})_{\text{Jahr}}^2}}$$

pendant les exercices 1926/27 à 1932/33.

A, B, C, D Allure dans les 4 réseaux cantonaux A, B, C et D.
M Valeur moyenne pour toutes les entreprises cantonales.

S Valeur contractuelle du $\cos \varphi_m$.
1929/30: Début du contrat portant la clause du $\cos \varphi$.

Un générateur transportable pour 5000 V courant continu.

Par E. Foretay, Cossonay-Gare.

621.314.671

L'auteur décrit un appareil transportable pour essais de câbles, pouvant donner jusqu'à 5 kV et 100 mA courant continu, construit dans les laboratoires de la Câblerie de Cossonay et destiné à alimenter le pont de mesure à haute tension pour la localisation des défauts.

Der Autor beschreibt einen transportablen Apparat für Kabelprüfungen, der Gleichstrom von 100 mA bis 5000 V gibt. Der Apparat wurde von den Kabelwerken Cossonay gebaut und dient zur Speisung der Hochspannungsmessbrücke, die zur Ortsbestimmung von Kabeldefekten verwendet wird.

But. Données générales.

Lors de la localisation des défauts à la terre sur les câbles à haute tension, on est appelé à faire des mesures au pont à fil calibré à haute tension aux deux extrémités du tronçon défectueux. En général l'une d'elles se trouve dans une usine génératrice ou une station de transformation où il est facile de trouver la place nécessaire à l'installation du pont et du générateur à haute tension. Par contre l'autre extrémité du câble est souvent dans un endroit peu accessible, en pleine rue ou en haut d'un poteau,

départ d'une ligne aérienne. La difficulté d'installer les appareils dans ces conditions nous a conduit à créer un générateur spécial, facile à transporter par deux hommes et donnant les 50 à 100 milliampères sous quelques kilovolts nécessaires à l'alimentation du pont à haute tension. Une autre condition devait également être satisfaite, fournir un courant bien continu. En effet, avec un générateur à un kénotron tel que la station à 30 kV que nous utilisons à Cossonay, le courant en court-circuit, correspondant à la localisation d'un défaut, est un courant intermit-