

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber:	Association suisse des électriciens
Band:	46 (1955)
Heft:	25
Artikel:	L'électrification de la ligne Bâle-Carlsruhe du chemin de fer fédéral allemand, en courant monophasé à 16 2/3 Hz
Autor:	Degen, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1058182

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: 13.01.2026

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

L'électrification de la ligne Bâle—Carlsruhe du Chemin de fer fédéral allemand, en courant monophasé à 16^{2/3} Hz

Par A. Degen, Bâle

621.331 : 625.1(43)

Die stationären Einrichtungen sowie die energiewirtschaftlichen Verhältnisse werden dargestellt. Es wird gezeigt, was für Gründe zur Aufgabe des Dampfbetriebes auf dieser ausgesprochenen Flachlandlinie geführt haben. Ferner wird auf die besonderen Verhältnisse im Bahnhof Freiburg im Breisgau eingegangen, wo sich zwei Einphasensysteme mit verschiedenen Spannungen und verschiedenen Frequenzen gegenüberstehen. Am Schluss befindet sich noch ein kurzer Hinweis auf die im Mai 1955 zwischen Basel und Freiburg in Betrieb gesetzten elektrischen Triebfahrzeuge.

Description des installations stationnaires et exposé des problèmes d'ordre économique concernant l'alimentation en énergie électrique. Motifs de l'abandon de la traction à vapeur sur cette ligne de plaine. Conditions particulières à la gare de Fribourg-en-Brisgau, avec deux systèmes de courant monophasés à des tensions et fréquences différentes. Brèves remarques au sujet des véhicules de traction électrique mis en service, en mai 1955, entre Bâle et Fribourg.

Historique

La ligne Bâle—Carlsruhe, longue de 200 km, a été aménagée par sections durant les années 1844 à 1855 pour la traction à vapeur. Il s'agit d'une ligne de plaine, qui ne comporte qu'une pente maximum d'à peine 7 %, au nord de Bâle en bordure de l'Isteinerklotz, entre Efringen-Kirchen et Schliengen, où il y a trois tunnels et de nombreuses courbes. Cette ligne fut reliée au réseau ferroviaire suisse par le chemin de fer de raccordement de Bâle, inauguré le 3 novembre 1873 et qui sera électrifié à son tour en 1956. On avait réalisé de la sorte une grande ligne internationale, qui prit une importance considérable à la suite de l'aménagement de la ligne du Saint-Gothard, ouverte à la circulation le 1^{er} juin 1882. De nos jours, la ligne Bâle—Carlsruhe assume un intense trafic de voyageurs et de marchandises et joue un rôle de premier plan pour le transit entre la Scandinavie—Allemagne du Nord et l'Italie.

Motifs de l'électrification

Selon les expériences des Chemins de fer allemands, la transformation de la traction à vapeur en traction électrique se justifie économiquement, pour une ligne de plaine ou à faibles pentes, lorsque les besoins annuels en énergie électrique atteignent au moins 250 000 kWh par kilomètre de voie. Pour la ligne de 200 km entre Bâle et Carlsruhe, la consommation devrait donc atteindre au moins $50 \cdot 10^6$ kWh par an. Or, compte tenu de la charge effective de cette ligne, la consommation sera de l'ordre de 130 à $140 \cdot 10^6$ kWh. En outre, il s'agit d'une ligne pour laquelle le charbon des-

tiné aux locomotives à vapeur doit être transporté depuis le nord du pays, car l'Allemagne du Sud est aussi pauvre en gisements de charbon que la Suisse, tandis qu'elle dispose comme notre pays de forces hydrauliques (Rhin) dont l'aménagement est relativement économique. Enfin, cette électrification devait permettre une amélioration sensible de la capacité de la ligne, ce qui était surtout désirable en raison de la concurrence par d'autres moyens de transport (ligne de chemin de fer sur la rive gauche du Rhin, en Alsace, navigation rhénane pour le trafic des marchandises et transport de voyageurs par véhicules routiers).

Grâce à une contribution de la Suisse d'un montant de 140 millions de francs, les tentatives d'électrification entreprises par le Pays de Bade, dès avant la première guerre mondiale¹⁾, vont enfin pouvoir être réalisées, alors qu'elles avaient dû jusqu'ici être constamment abandonnées, par suite du manque de moyens financiers et des exigences militaires du Troisième Reich. La convention passée avec la Suisse a été conclue en automne 1953. Cette contribution de notre pays était motivée par le fait que la Suisse est grandement intéressée à une liaison Nord—Sud efficace, destinée à faire concurrence aux passages des Alpes situés dans des pays limitrophes. L'électrification permettra aux Chemins de fer allemands de doubler la distance entre dépôts, qui était jusqu'ici d'environ 70 km.

16^{2/3} ou 50 Hz

Les essais en courant alternatif monophasé à 50 Hz commencés, il y a une vingtaine d'années, sur

¹⁾ Voir Bull. ASE t. 46(1955), n° 1, p. 34...40.

la ligne du Höttental¹⁾, et les expériences faites récemment en France, ont montré que des lignes principales peuvent également être exploitées parfaitement avec ce genre de courant. Toutefois, bien que le moteur monophasé à collecteur pour 50 Hz donne d'excellents résultats pour la traction, diverses questions d'ordre pratique doivent encore être mises au point, par exemple l'emploi d'ignitrons et de moteurs de traction à courant continu, au lieu de moteurs directement alimentés par la ligne de contact. D'autre part, les Chemins de fer allemands utilisent depuis longtemps, dans de vastes réseaux, le système monophasé à 16 $\frac{2}{3}$ Hz qui a toujours donné pleine satisfaction, comme en Suisse, même dans les conditions les plus difficiles.

Contrairement à ce qui se passe en Suède, où le système monophasé à 16 $\frac{2}{3}$ Hz est également utilisé, les Chemins de fer allemands disposent maintenant d'un réseau de transport d'énergie à haute tension de 110 kV très étendu, qui s'est avéré extrêmement pratique. Les Chemins de fer allemands ont ainsi la possibilité de transporter, en tout temps, les quantités d'énergie nécessaires aux divers centres de gravité du trafic, dont les emplacements varient selon les circonstances. Ce système est d'une grande utilité, lors de pannes dans des circuits de distribution d'énergie électrique, qui risqueraient de troubler gravement l'exploitation ferroviaire. Les Chemins de fer allemands n'avaient donc pas de raisons de procéder à un changement dans ce domaine et de renoncer à leur autonomie en ce qui concerne le réseau à haute tension. En outre, tout changement aurait été contraire à l'unification existante et aurait rendu impossible le libre emploi des véhicules de traction électrique sur les lignes allemandes.

Les Chemins de fer allemands n'avaient donc aucun motif d'abandonner le système à 16 $\frac{2}{3}$ Hz qui a toujours fait ses preuves. Les résultats acquis par l'expérience de nombreuses années avec les deux systèmes de courant, ainsi que les considérations scientifiques, ont montré que le système à 50 Hz peut effectivement entrer en ligne de compte pour des lignes à faible trafic et des charges limitées, lorsqu'un raccordement au système à 16 $\frac{2}{3}$ Hz est impossible. En revanche, le système à 16 $\frac{2}{3}$ est nettement plus avantageux quand il s'agit de lignes à fort trafic, nécessitant des trains rapides et de lourds convois.

En principe, l'électrification n'est pas un problème d'alimentation en énergie, mais de rendement économique de l'exploitation. Parmi tous les systèmes qui peuvent entrer en considération, il y a lieu d'adopter celui qui garantit le meilleur rendement économique global, tout en assurant le maximum de sécurité d'exploitation. Le système à 16 $\frac{2}{3}$ Hz a donné d'excellents résultats en Europe centrale, au point de vue technique et économique, tandis que le système à 50 Hz avec alimentation directe des moteurs de traction est un peu plus fa-

vorables au point de vue énergétique, du fait que les pertes sont moins élevées.

Sources d'énergie

La principale source d'énergie pour la ligne Bâle—Carlsruhe est la grande usine génératrice thermoélectrique de Mannheim, située très favorablement au centre de gravité du trafic de la ligne du Rhin et de celle en direction de Stuttgart. L'extension de la partie à courant triphasé a permis aux Chemins de fer allemands de mettre rapidement en service un groupe monophasé et de s'assurer ainsi une participation à l'ample puissance de la chaufferie de cette usine génératrice. Cela est important, car dans une usine à vapeur les installations de chaudière sont soumises à des perturbations et à des usures bien plus grandes que ce n'est le cas pour l'ensemble des dispositifs électriques, y compris les turbines à vapeur.

D'autre part, il est également possible d'obtenir de l'énergie électrique fournie par l'usine génératrice thermoélectrique de Carlsruhe, appartenant à la Badenwerk, la plus importante des entreprises électriques du Pays de Bade, qui alimente également en énergie le Chemin de fer du Höttental¹⁾. Un groupe convertisseur avec moteur asynchrone pour 50 Hz entraînera un alternateur monophasé pour 16 $\frac{2}{3}$ Hz. La puissance de ce groupe est de 25 000 kW, avec un rendement maximum d'un peu plus de 93 %, supérieur à celui du poste de transformation de Nuremberg, où des groupes de 7500 kW n'ont qu'un rendement d'environ 90 %. Si cela est nécessaire, on pourra en outre installer un autre convertisseur à Carlsruhe, pour lequel la place nécessaire est déjà prévue.

Une troisième possibilité consiste à rechercher des points d'alimentation dans la partie sud de la nouvelle ligne électrifiée. Là seulement une usine hydroélectrique entre en considération, car la houille blanche existe en quantités suffisantes dans cette région. Il n'y a pas actuellement de puissance aménagée qui soit disponible pour la traction, mais cela sera probablement le cas dans deux ou trois ans, par exemple dans l'usine de Rheinfelden transformée et dans la future usine de Säckingen, qui permettraient de disposer chacune de 8000 kW au minimum et de 15 000 kW au maximum.

L'alimentation encore insuffisante en été 1955 pour la ligne Bâle—Fribourg-en-Brisgau, ont incité les Chemins de fer allemands à conclure un contrat avec les CFF, qui leur permet d'obtenir de l'énergie en courant monophasé de 15 kV par une nouvelle ligne de transport entre la sous-station de Muttenz et la gare badoise, à Bâle, pour l'alimentation de la ligne de contact. L'aménagement d'une ligne est en outre prévu vers la sous-station de Muttenz pour une tension de 66 kV, qui correspond à celle de l'énergie monophasée provenant de Rupperswil. Par ces liaisons, les deux entreprises ferroviaires

peuvent échanger jusqu'à 13 500 kW au maximum. Cela est avantageux, en périodes de sécheresse, pour les CFF, dont l'énergie monophasée est produite essentiellement par des forces hydrauliques, tandis que les Chemins de fer allemands disposent de grandes quantités d'énergie thermo-électrique en courant monophasé. On a ainsi réalisé une liaison désirée depuis une vingtaine d'années entre les chemins de fer suisses et allemands, envisagée à cette époque pour l'alimentation des lignes du Wiesental et du Wehratal, mais sous une forme plus vaste et concernant un échange d'énergie monophasée.

La production d'énergie monophasée

Il existe pratiquement deux possibilités de produire de l'énergie monophasée. D'une part, la production directe d'énergie monophasée à basse fréquence, d'autre part une transformation de courant triphasé à 50 Hz du réseau de distribution général par des convertisseurs rotatifs ou statiques, en courant monophasé à $16\frac{2}{3}$ Hz.

D'après la position des usines génératrices prévues par les Chemins de fer allemands pour l'alimentation de la ligne Bâle—Carlsruhe, on reconnaît nettement la tendance à produire l'énergie monophasée directement aux centres de gravité de la consommation. On a constaté que la puissance d'un alternateur monophasé doit être d'environ 15 000 kW pour permettre une exploitation économique et disposer d'une réserve suffisante en cas de perturbation. Cette puissance est analogue à celle des alternateurs monophasés à $16\frac{2}{3}$ Hz, qui ont pu être jusqu'ici facilement livrés par l'industrie allemande aux usines thermoélectriques. Il en est de même pour les réducteurs de vitesse au rapport de 1 : 3, nécessaires pour abaisser la vitesse de l'alternateur à 1000 t./min. Les turbines à vapeur exclusivement réservées à la traction à $16\frac{2}{3}$ Hz exigeant une plus grande quantité de vapeur par kWh que les unités plus puissantes des usines thermoélectriques, on a recherché par deux moyens différents à rendre plus économique la production d'énergie monophasée.

Le premier moyen a été préconisé par M. Marguerre, de la grande usine thermoélectrique de Mannheim. La turbine à vapeur d'une puissance de 50 000 kW est directement accouplée à un alternateur triphasé à 50 Hz, d'une puissance de 35 000 kW. En outre, un alternateur monophasé à $16\frac{2}{3}$ Hz, d'une puissance de 15 000 kW, est entraîné par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse et d'un accouplement élastique. Le principe d'un groupe de ce genre est représenté sur la fig. 1, où sont également indiquées les différentes excitatrices. L'excitatrice 6 peut servir de moteur de lancement, lorsque le groupe doit fonctionner en convertisseur, la turbine à vapeur étant désaccouplée.

Cette proposition a été réalisée dans l'usine thermoélectrique de Mannheim pour l'alimentation de la ligne Bâle—Carlsruhe. Un groupe de ce genre

y est maintenant installé, mais avec un certain retard sur le programme des constructions. Selon les expériences faites jusqu'ici, ce système donne pleine satisfaction. Un second groupe sera installé ultérieurement pour une puissance monophasée de 18 000 kW, dont la partie triphasée est déjà en service. On a prévu des emplacements pour d'autres unités, de manière à pouvoir porter finalement la puissance monophasée à 25 000 kW.

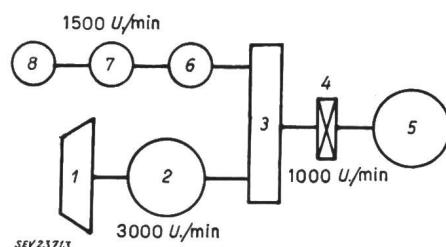


Fig. 1

Principe de la disposition d'un alternateur monophasé et d'un alternateur triphasé dans une usine génératrice thermoélectrique, selon Marguerre

1 Turbine à vapeur; 2 Alternateur triphasé; 3 Transmission à engrenages; 4 Accouplement élastique; 5 Alternateur monophasé; 6 Excitatrice de l'alternateur monophasé; 7 Excitatrice de l'alternateur triphasé; 8 Excitatrice auxiliaire.

Ces groupes monophasé-triphasé ont de très nombreuses applications, car ils permettent de produire simultanément les deux genres de courants. L'accouplement hydraulique, système Voith-Marguerre, pour les alternateurs monophasé et triphasé, offre l'avantage que les fréquences des deux réseaux sont indépendantes. Elles ne doivent pas être constamment au rapport de 1 : 3 des vitesses de ces machines, ce qui est très avantageux lors de perturbations dans l'un des deux réseaux et de variations de fréquence qui en résultent. Il est également possible d'utiliser directement le groupe comme convertisseur pour produire de l'énergie monophasée à $16\frac{2}{3}$ Hz à l'aide du réseau à 50 Hz de distribution générale, après avoir désaccouplé la turbine à vapeur. Le groupe installé à Mannheim et qui comporte une turbine à condensation, est la première unité de ce genre, où la même turbine à vapeur entraîne un alternateur monophasé et un alternateur triphasé. Grâce à la grande réserve de vapeur disponible et à la possibilité de fonctionnement en convertisseur en cas de panne de la turbine, l'alimentation du réseau de traction est ainsi grandement assurée. Les besoins en énergie électrique nécessités par la poursuite de l'électrification des chemins de fer seront donc largement couverts par la grande usine thermoélectrique de Mannheim, avec laquelle les chemins de fer allemands ont passé un contrat.

Le second moyen consiste à augmenter à 25 000 kW la puissance de 15 000 kW des alternateurs monophasés actuellement en service dans des usines thermoélectriques. Autrefois, il était très difficile de construire des alternateurs monophasés

d'une aussi grande puissance, à 1000 t./min, avec réducteur de vitesse au rapport de 1 : 3, mais cela est maintenant possible. La combinaison de deux alternateurs de 15 000 et 25 000 kW permet l'exploitation rationnelle d'une usine thermoélectrique fournissant de l'énergie à un réseau de traction, où les charges journalières varient fortement.

La production d'énergie monophasée à l'aide du groupe de machines représenté sur la fig. 1 est avantageuse à plusieurs points de vue. Le prix de l'accouplement élastique, y compris les accessoires, n'atteint que le 5 à 6 % de celui de l'alternateur monophasé. Par rapport à l'ensemble du groupe, y compris la turbine à vapeur et l'alternateur triphasé, il s'agit donc d'un montant très modeste, qui n'a guère d'importance. En outre, grâce à cet accouplement élastique, la durée de vie du réducteur de vitesse est prolongée, car les pulsations du côté monophasé n'atteignent plus celui-ci. D'autre part, la consommation de vapeur de la grande turbine à vapeur, qui supporte aisément des variations de charge, est de 7 à 8 % plus faible que celle d'une turbine de moindre puissance, réservée exclusivement à un alternateur monophasé à $16\frac{2}{3}$ Hz. De même, les frais de construction sont moins élevés pour une telle combinaison que pour deux groupes séparés. Un montage selon la fig. 1 représente donc un réel progrès, car l'installation de turbogroupes monophasés individuels pour $16\frac{2}{3}$ Hz, qui occupent plus de place, influencerait défavorablement toute la disposition des autres parties à 50 Hz. Avec le groupe de machines représenté en principe sur la fig. 1, on obtient pour l'exploitation ferroviaire une turbine à vapeur ayant un rendement élevé, qui permet en outre un service en tandem du réseau monophasé avec le réseau triphasé.

Le courant monophasé peut également être produit par transformation de courant triphasé à l'aide d'un convertisseur de fréquence. A ce propos, il y a lieu de mentionner que les Chemins de fer allemands avaient déjà remplacé, en 1934, dans la sous-station de Bâle, un ancien groupe convertisseur avec batterie tampon par un convertisseur de fréquence pour une puissance de 3600 kVA en régime continu. Ce convertisseur est alimenté en courant triphasé de 45 kV, 50 Hz, par l'usine de Rheinfelden et fournit du courant monophasé de 15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz. Les expériences faites avec ce convertisseur ont toutefois montré qu'une telle installation est compliquée et relativement délicate. Malgré un rendement élevé, aussi bien à pleine charge qu'à des charges partielles, le service est coûteux et convient moins bien que celui d'un groupe convertisseur pour les rudes conditions de la traction. Le convertisseur de fréquence de Bâle sera donc mis de côté au cours des travaux d'électrification, après la mise en service de la sous-station de Haltingen près Bâle. En revanche, les groupes convertisseurs rotatifs, qui sont également utilisés en Suisse, ont toujours donné satisfaction. Bien que leur rendement annuel moyen d'environ 87 % en cas de forte utilisation soit un peu inférieur à celui d'un convertisseur de fréquence chargé de la même façon,

ils ont le grand avantage de pouvoir être très rapidement mis en service.

Les frais de production d'énergie monophasée

Le rendement global d'une locomotive à vapeur normale, rapporté à la chaleur intrinsèque du combustible utilisé, est de l'ordre de 8 %, tandis que celui d'une usine thermoélectrique moderne atteint environ 28 %. Le passage à la traction électrique permet donc de réduire à environ un tiers la consommation de combustible. Il va de soi que les systèmes de courant et le mode de production de l'énergie monophasée jouent un certain rôle, comme le montre le tableau I. Les rendements globaux indiqués dans ce tableau sont basés sur l'estimation que la chaleur des combustibles utilisés à l'entrée de la chaudière à vapeur d'une usine thermoélectrique est de 100 %. Une comparaison des chiffres indiqués montre en outre que l'emploi de machines doubles selon la fig. 1 dans la grande usine

Rendements globaux de différents modes de production d'énergie monophasée pour la traction

Tableau I

N°	Fréquence du courant monophasé dans la ligne de contact Hz	Mode de la production d'énergie dans une usine thermoélectrique	Rendement global %
1	$16\frac{2}{3}$	Turbine à vapeur à 3000 t./min. Alternateur monophasé à 1000 t./min. Réducteur de vitesse. Transport aux sous-stations sous 110 kV. Double transformation. Tension de 15 kV à la ligne de contact.	≈ 27
2	$16\frac{2}{3}$	Entraînement de l'alternateur monophasé selon fig. 1. Transport aux sous-stations sous 110 kV. Double transformation. Tension de 15 kV à la ligne de contact.	≈ 30
3	$16\frac{2}{3}$	Production de courant triphasé à 50 Hz dans un turboalternateur directement entraîné. Transport à la sous-station de conversion sous 110 kV (triphasé, 50 Hz) avec double transformation. Groupe convertisseur avec alternateur monophasé $16\frac{2}{3}$ Hz. Transport aux sous-stations sous 110 kV avec double transformation. Tension de 15 kV à la ligne de contact.	≈ 29
4	50	Production de courant triphasé à 50 Hz dans un turboalternateur directement entraîné. Transport aux sous-stations sous 110 kV. Double transformation. Tension de 20 à 25 kV à la ligne de contact.	≈ 33

thermoélectrique de Mannheim est avantageux pour les Chemins de fer allemands, car le rendement est d'environ 3 % supérieur à celui d'une production exclusive d'énergie monophasée à $16\frac{2}{3}$ Hz ce qui permet d'économiser annuellement plus de 2000 t de houille de première qualité sur la ligne Bâle—Carlsruhe. Les Chemins de fer allemands peuvent donc tabler sur une dépense de 0,43 kg

charbon/kWh seulement (consommation de chaleur correspondante 3000 kcal/kWh), ce qui peut être considéré comme favorable pour de l'énergie monophasée à $16\frac{2}{3}$ Hz.

L'application de la traction électrique entre Bâle et Carlsruhe conduit donc à une forte diminution des besoins en charbon, ce qui représente pour les Chemins de fer allemands un grand allégement, en leur évitant d'avoir à transporter du charbon depuis la Ruhr, par exemple. Pour la ligne Bâle—Carlsruhe de 200 km, l'économie effective est de l'ordre de 250 000 t de charbon par an, ce qui équivaut à 20 millions de marks, à raison de 80 marks par tonne.

La répartition entre les sous-stations à 110 kV

La fourniture aux sous-stations qui alimentent les différentes sections de la ligne de contact s'opère sous 110 kV. Cette tension qui était déjà utilisée par les Chemins de fer allemands permet un transport économique de l'énergie monophasée à $16\frac{2}{3}$ Hz à de grandes distances vers les centres de gravité du trafic. Etant donné que l'aménagement de ces lignes de transport ne représente que le 4 à 5 % de l'ensemble de l'électrification, cette dépense se justifie par les nombreux avantages qui en résultent pour l'exploitation ferroviaire.

Le manque passager de sources d'énergie pour l'exploitation de la ligne Bâle—Carlsruhe, dans la partie sud, c'est-à-dire jusqu'au moment de l'entrée en service de l'énergie hydroélectrique, a naturellement une répercussion sur la construction des lignes de transport à 110 kV. C'est ainsi que l'on a dû établir à Carlsruhe une liaison avec le réseau à 110 kV de l'Allemagne du sud (distance de 35 km jusqu'à Mühlacker) à l'aide de deux boucles (4 conducteurs câblés aluminium-acier de 240/40 mm² et un câble de terre en acier de 50 mm²), tandis que le tronçon fortement chargé Carlsruhe—Mannheim (distance de 70 km) comporte quatre conducteurs câblés aluminium-acier de 300/50 mm² et un câble de terre en acier de 70 mm². Vers le sud, le réseau de transport d'énergie est étendu jusqu'à Haltingen près Bâle, comme l'indique le tableau II.

*Sections des lignes de transport d'énergie à 110 kV
Carlsruhe-Fribourg-en-Brisgau*

Tableau II

Tronçon	Sections
Carlsruhe—Offenbourg	4 conducteurs câblés aluminium-acier 240/40 mm ² + 1 câble de terre en acier de 50 mm ²
Offenbourg—Fribourg	4 conducteurs câblés aluminium-acier 185/32 mm ² + 1 câble de terre en acier de 50 mm ²

Ces lignes de transport d'énergie établissent la liaison avec le réseau existant d'Allemagne du Sud, qui transporte aux sous-stations prévues l'énergie monophasée produite dans diverses usines thermoelectriques et hydroélectriques. Lorsque l'électrification de toute la ligne Bâle—Carlsruhe sera ache-

vée en 1957, la fourniture en énergie électrique sera ainsi pleinement assurée.

Sous-stations

Pour l'alimentation de la ligne Bâle—Carlsruhe, on a prévu quatre sous-stations, à Haltingen, Fribourg, Offenbourg et Carlsruhe. Chacune de ces sous-stations, à l'exception de celle de Carlsruhe, comporte deux transformateurs d'une puissance unitaire de 7000 à 10 000 kVA. A Carlsruhe, il y aura quatre transformateurs. La plus petite des deux valeurs indiquées est valable pour refroidissement naturel, tandis que la puissance maximum s'obtient par la mise en route d'un ventilateur spécial. Ces puissances des transformateurs ont été déterminées selon la charge des différents tronçons. Dans toutes les sous-stations, on a en outre prévu la place nécessaire pour le montage d'un transformateur supplémentaire.

L'aménagement des sous-stations est conforme aux exécutions habituelles pour courant monophasé à $16\frac{2}{3}$ Hz, avec barres omnibus pour 110 et 15 kV, interrupteurs d'accouplement des barres et installation pour les services auxiliaires. Ces sous-stations devront être achevées en même temps que les tronçons de la ligne qu'elles doivent alimenter, à savoir:

1^o Sous-station de Fribourg en mai 1955, lors de l'inauguration de la traction électrique entre Bâle et Fribourg-en-Brisgau.

2^o Sous-station de Haltingen en 1956, lors du début de l'exploitation complètement électrique entre Bâle et Fribourg, respectivement Offenbourg.

3^o Sous-stations d'Offenbourg en 1956, lors de l'inauguration de la traction électrique entre Fribourg et Offenbourg.

4^o Sous-station de Carlsruhe en 1957, lorsque la dernière étape Offenbourg—Carlsruhe sera achevée. La partie à 110 kV a toutefois été prête à fonctionner au printemps de cette année, de manière à transmettre en transit de l'énergie à la sous-station de Fribourg-en-Brisgau.

Lors de la mise en service de la sous-station de Haltingen près Bâle, le convertisseur de fréquence installé en 1934 pour l'alimentation de la ligne du Wiesental devra être mis de côté pour des motifs d'économie et dans le but de simplifier l'exploitation. Le point le plus méridional alimenté par la sous-station de Haltingen en énergie monophasée à $16\frac{2}{3}$ Hz se trouvera alors à Säckingen-sur le Rhin.

Les lignes de contact

Avant de pouvoir procéder au montage des lignes de contact, il a fallu tout d'abord entreprendre divers travaux de construction, afin d'adapter le gabarit des passages aux exigences de la traction électrique. C'est ainsi que le radier des trois tunnels d'Istein a été abaissé de 40 cm et que de nombreux ponts et passerelles surmontant les voies ont dû être rehaussés pour obtenir les écartements prescrits avec les parties sous tension de l'installation. Il y a lieu de remarquer qu'en principe

l'ampleur de ces transformations est moindre pour le système à $16\frac{2}{3}$ Hz que pour celui à 50 Hz, qui exige des écartements plus grands à cause de la tension plus élevée de la ligne de contact (20 ou 25 kV, contre 15 kV pour le système à $16\frac{2}{3}$ Hz).

En Allemagne, depuis l'introduction de la traction électrique sur des grandes lignes, il y a plus de 40 ans, on a essayé un grand nombre de systèmes de lignes de contact, pour aboutir finalement au système normalisé de 1950, qui est actuellement d'un emploi général. Les vitesses des trains tirés par les locomotives à vapeur, et surtout par les locomotives électriques, devenant de plus en plus élevées, il a fallu considérer très attentivement la relation entre le fil de contact et les pantographes, en mettant à profit les expériences faites jusqu'ici. Le système normalisé de 1950 se distingue par plusieurs caractéristiques. L'installation de la ligne de contact est simple et peu coûteuse. Cette ligne offre une grande sécurité de service, de sorte que son entretien n'exige que peu de personnel. Elle convient pour des vitesses jusqu'à 160 km/h.

Le fil de contact est monté en zigzag, avec des écarts de 400 mm de part et d'autre de l'axe de la voie, de manière que les frotteurs des pantographes s'usent uniformément. La ligne de la vallée du Rhin pourra être parcourue à une vitesse maximum de 160 km/h, sans nécessiter d'importantes modifications du tracé. La ligne de contact est déjà prévue pour de telles vitesses. Une limitation n'est nécessaire que dans des cas spéciaux, notamment dans la région d'Istein, où il y a de nombreuses courbes. La longueur totale des voies équipées de lignes de contact est d'environ 850 km pour la ligne à double voie Bâle—Carlsruhe.

Dans la gare badoise, à Bâle, des locomotives des CFF circuleront également, selon entente, lorsque la traction électrique aura commencé. Cela exige une construction spéciale des lignes de contact dans la zone de cette gare, avec des écarts maximum de 200 mm seulement, de part et d'autre de l'axe de la voie, car les pantographes des véhicules de traction des CFF sont plus étroits que ceux des Chemins de fer allemands.

Conditions spéciales de la gare de Fribourg-en-Brisgau

A la gare de Fribourg-en-Brisgau, les Chemins de fer allemands ont pour la première fois à ré-soudre le problème de l'exploitation, dans une même gare, de deux réseaux de lignes de contact

à des tensions et fréquences différentes, car c'est de cette gare que part le chemin de fer du Höllental, dont la tension de la ligne de contact est de 20 kV, 50 Hz. Cela obligera à apporter certaines modifications aux lignes de contact et aux voies. Les véhicules de traction des deux systèmes à $16\frac{2}{3}$ et 50 Hz verront leur liberté de mouvement quelque peu limitée dans les installations de cette gare, ce qui compliquera l'exploitation. De ce fait, la séparation en deux groupes de lignes de contact ne sera que provisoire et on cherchera ultérieurement à n'utiliser qu'une seule fréquence, celle de $16\frac{2}{3}$ Hz. Dans ce but, les Chemins de fer allemands se proposent de transformer deux locomotives de la ligne du Höllental en véhicules de traction à deux fréquences, afin de pouvoir les utiliser également sur la ligne de la vallée du Rhin²⁾.

Les véhicules de traction

Selon l'horaire d'été de 1955, seuls les trains omnibus entre Bâle et Fribourg, ainsi que les trains de banlieue pour Efringen-Kirchen, sont à traction électrique. Les trains express et les trains de marchandises continuent à être à traction à vapeur, car un changement de locomotives à Fribourg ne se justifie pas après un parcours de 60 km et l'on ne dispose pas encore d'un nombre suffisant de locomotives électriques. Pour le trafic de banlieue entre Bâle et Efringen-Kirchen, on utilise également des automotrices à accumulateurs, comme cela fut déjà le cas autrefois, avant l'inauguration de la traction électrique en 1952.

Pour l'exploitation entre Bâle et Fribourg, il s'agit principalement de locomotives électriques d'anciens modèles, provenant d'autres lignes.

Les automotrices sont en partie alimentées directement par la ligne de contact (15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz) et en partie par des accumulateurs, qui les rendent indépendantes de la ligne de contact. Les automotrices pour $16\frac{2}{3}$ Hz circulent également en partie sur les lignes du Wiesental et du Wehratal, où elles avaient été mises en service régulier il y a une vingtaine d'années. Quant aux automotrices à accumulateurs, qui circulent sans remorque, leur nombre de places est réduit. Outre les véhicules d'anciens modèles, il existe également des véhicules modernes.

Adresse de l'auteur:

A. Degen, ingénieur diplômé EPF, 85, Colmarerstrasse, Bâle.

²⁾ Voir Bull. ASE t. 46(1955), n° 14, p. 648...650.

Aufbau und Wirkungsweise der Fernmesseinrichtungen des Lastverteilers der Atel, Olten¹⁾

Von A. de Quervain, Baden (AG)

621.3.083.7

Sowohl die Fernmesseinrichtungen des Lastverteilers wie auch die Regelkanäle der verschiedenen nach dem Prinzip der Frequenz-Leistungsregelung arbeitenden Kraftwerke verwenden das Fre-

quenz-Variationsprinzip. Sie sind mit grundsätzlich denselben Geber- und Empfangseinrichtungen ausgerüstet.

Während im Regelnetz pro Messkanal nur 1 Messwert übertragen wird, sind die Fernmesskanäle des Lastverteilers zyklisch mehrfach aus-

¹⁾ siehe Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 14, S. 657...659 und Nr. 16, S. 742...744.