

CENTENAIRE DE L'ASSOCIATION
DES INGÉNIEURS SORTIS DE L'ÉCOLE DE LIÈGE (A. I. Lg)



CONGRÈS 1947
SECTION ÉLECTRICITÉ

L'Électrification des Chemins de fer : Les problèmes généraux

par

J. MUSYCK

Ingénieur en chef à la Société Nationale des Chemins de fer belges

ÉDITEUR : A. I. Lg.
QUAI PAUL VAN HOEGAERDEN, 12
LIÈGE

L'ÉLECTRIFICATION DES CHEMINS DE FER : LES PROBLÈMES GÉNÉRAUX

Le choix du système de traction. L'alimentation en énergie des réseaux électrifiés.

Considérations d'ordre social et économique

par J. MUSYCK,

Ing. A. I. Lg. et A. I. M., Ingénieur en chef à la Société Nationale des Chemins de fer Belges

I. Le choix du système de traction

La diversité des systèmes actuellement encore en usage, alors que la traction électrique a derrière elle un passé d'un demi-siècle, ne laisse pas de déconcerter le profane.

On sait que se trouvent en compétition :

- Le système à courants triphasés;
- Le système à courant monophasé;
- Le système à courant continu.

Il suffit de replacer ces divers systèmes à la date de leur apparition pour voir défiler en raccourci tout le développement de l'électrotechnique et pour reconnaître que ce sont, en définitive, les progrès de la science électrique qui ont déterminé l'évolution des systèmes.

On a débuté par du courant continu à 600 volts. Ce système ne pouvait avoir aucun avenir, la tension de 600 volts n'étant pas en rapport avec les puissances électriques à transporter en grande traction.

Ensuite est venu le système à courants triphasés, à basse fréquence, à une tension de l'ordre de 3.000 à 4.000 volts.

Ce système a trouvé des applications assez importantes dans le Nord de l'Italie où il est encore en usage. Il ne s'est pas développé parce que l'obligation de tendre deux fils de contact au-dessus de chaque voie constitue un inconvénient majeur. En outre, le moteur d'induction triphasé ne se prête pas au réglage commode de la vitesse.

Dès la mise au point d'un moteur monophasé, un nouveau système apparaît; il utilise des tensions au fil de contact beaucoup plus élevées : 15.000 à 20.000 volts. Ceci constitue un avantage de premier ordre, car il devient ainsi possible d'alimenter en ligne des locomotives de grande puissance.

Les sous-stations se réduisent à de simples postes de transformation et peuvent être écartées les unes des autres de 50 à 80 kilomètres. D'autre part, les sections de cuivre des lignes de contact sont réduites au minimum.

Mais le système monophasé est entaché d'un très grave handicap : il exige une fréquence anormale (16 2/3 ou 25 p/s) tout à fait impropre aux usages industriels.

Les réseaux qui ont adopté le système monophasé au début du siècle ont dû créer des installations de production et de transport à leur usage exclusif. Ils s'y sont résignés d'autant plus facilement qu'à l'époque, les distributions publiques d'électricité n'étaient nullement de taille à faire face aux besoins de la grande traction.

Le système monophasé ainsi conçu (fig. 1) s'est implanté en Allemagne, en Suisse et en Autriche. Il s'y est largement développé et a reçu des perfectionnements remarquables, mais le grave inconvénient des basses fréquences demeure.

De multiples essais ont été tentés en vue d'effectuer au moyen de mutateurs la conversion des

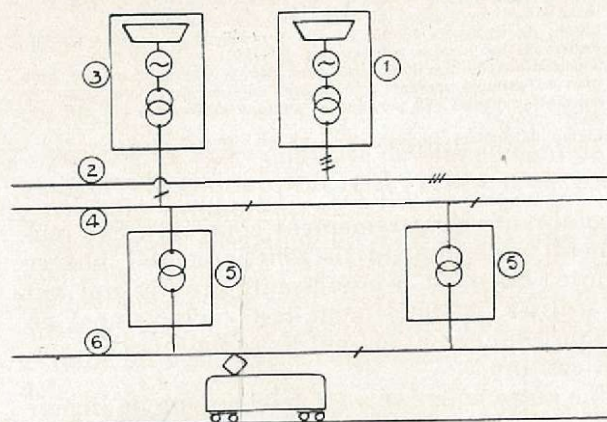


FIG. 1. — Système de traction à courant monophasé. Production autonome monophasée.

- (1) Centrale électrique triphasée (50 p/ser), desservant les besoins généraux du pays.
- (2) Lignes de transport triphasées (50 p/ser), à très haute tension, desservant les besoins généraux du pays.
- (3) Centrale électrique monophasée (16 2/3 p/ser) desservant les installations de traction.
- (4) Ligne de transport monophasée (16 2/3 p/ser) à très haute tension, desservant les sous-stations de traction.
- (5) Sous-stations de traction, réduites à des postes de transformation.
- (6) Ligne de contact à 15 kV (16 2/3 p/ser).

courants triphasés 50 périodes en courant monophasé, 16 $\frac{2}{3}$ périodes.

Jusqu'à présent, aucune réussite n'a encore été enregistrée en cette matière. La seule solution qui soit entrée dans le domaine de la pratique pour convertir le triphasé en monophasé est celle des groupes moteurs-générateurs.

Les Chemins de fer suédois, dont l'électrification est, en Europe, une des plus poussées, ont adopté le système monophasé. A l'instar des pratiques allemande et suisse, les premières lignes suédoises ont été alimentées par des centrales propres à basse fréquence. Mais, ultérieurement, les Suédois ont tenu à raccorder leurs installations ferroviaires au réseau commun. Ils ont, à cet effet, adopté un type de sous-station à convertisseurs rotatifs (fig. 2). Ces derniers engins sont lourds,

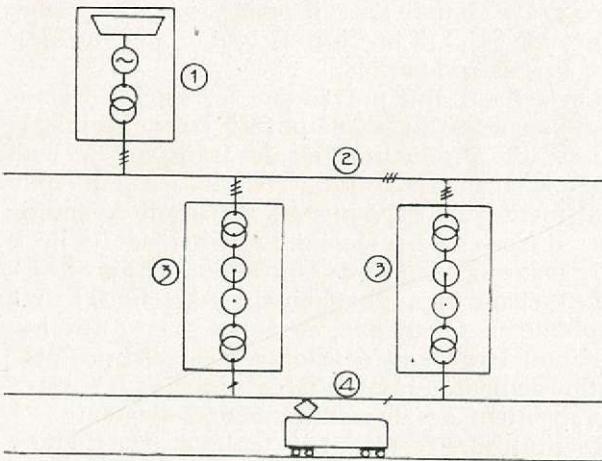


FIG. 2. — Système de traction à courant monophasé. Raccordement au réseau triphasé commun.

- (1) Centrale électrique triphasée (50 p/Sec), desservant à la fois les installations de traction et les besoins généraux du pays.
- (2) Lignes de transport triphasées (50 p/Sec), à très haute tension, desservant les besoins généraux du pays.
- (3) Sous-stations de traction, alimentées par le réseau commun, équipées de groupes moteurs générateurs en vue de la conversion de courants triphasés (50 p/Sec) en courant monophasé (16 $\frac{2}{3}$ p/Sec).
- (4) Lignes de contact monophasées à 15 kV (16 $\frac{2}{3}$ p/Sec).

encombrants et extrêmement coûteux. Leur rendement tombe quand ils fonctionnent à charge réduite. En dépit d'intéressants progrès qui ont été réalisés, ce rendement reste notablement en deçà de celui que procurent les redresseurs en courant continu.

Une autre tentative a été faite en vue de libérer la traction monophasée du handicap des basses fréquences.

Dès avant la guerre, les Allemands ont mis à l'essai dans la Forêt-Noire un système de traction par courant monophasé à fréquence normale. Quatre locomotives conçues suivant des systèmes différents ont été mises en ligne. L'une d'elles — celle qui offre le plus d'intérêt — possède des moteurs monophasés alimentés directement à

50 périodes. Pour assurer à ces moteurs une commutation acceptable, il a fallu leur donner des dimensions excessives. Or, l'espace disponible sur une locomotive pour les moteurs est strictement limité; dans le cas présent, cela se traduit par une réduction considérable de la puissance applicable par essieu.

La traction monophasée sous fréquence normale ne paraît pas avoir répondu à l'attente de ses promoteurs; néanmoins, les Français qui ont trouvé les installations de la Forêt-Noire dans leur zone d'occupation, en ont repris l'étude.

En résumé, qu'il soit conçu à la manière des Suisses ou à la manière des Suédois, le système de traction par courant monophasé est, dans l'ensemble, plus coûteux d'installations que les systèmes à courant continu. Il est aussi moins économique en exploitation.

Au début de la période d'entre deux guerres, les centrales électriques étaient devenues suffisamment puissantes pour qu'on pût songer à leur endosser des charges de traction. Un grand réseau américain avait déjà montré la voie. D'autre part, pour la transformation des courants triphasés en courant continu, les commutatrices avaient fait brillamment leurs preuves dans les exploitations de tramways. Toutes les conditions se trouvaient réunies pour l'avènement du système à courant continu. Vers 1920, la France opta pour ce système à la tension de 1.500 volts, et les Hollandais qui étaient timidement entrés dans la voie du monophasé, se rallièrent aussi à cette formule. Le même système s'implanta également en Angleterre, au Danemark et dans divers pays d'outre-mer.

L'évolution n'était cependant pas terminée. La tension de 1.500 volts se révélait à son tour trop faible, mais pour franchir un nouveau pas dans la voie des tensions croissantes, il eût fallu abandonner les commutatrices et recourir aux groupes moteurs-générateurs dont nous avons déjà signalé les inconvénients.

Vers 1930, les redresseurs à vapeur de mercure font leur apparition. Ils sont providentiellement doués pour la traction. Ils réunissent au plus haut degré toutes les qualités requises pour un tel service. Supérieurs aux commutatrices à la fois sous le rapport du rendement, de la capacité de surcharge, de la simplicité des manœuvres et de la facilité de la conduite, ils sont, par surcroît, moins coûteux d'achat et d'installation. D'emblée ils ont détrôné les commutatrices. Par-dessus tout, les redresseurs ont rendu, à la cause de l'électrification, le grand service d'ouvrir le chemin au système de 3.000 volts (fig. 3).

En quoi ce système est-il supérieur à celui de 1.500 volts?

Élévation de la tension signifie simplification des installations fixes. A sections de cuivre égales, en lignes caténaïres, le 3.000 volts permet de doubler la distance entre sous-stations. Cette distance

devient 30 kilomètres en 3.000 volts, contre 15 kilomètres en 1.500 volts.

L'économie sur le coût des installations fixes est très importante, elle est de l'ordre de 30 %.

Quand le système à courant continu à 3.000 volts se trouvait à ses débuts, le matériel roulant pour cette tension était plus coûteux que celui à 1.500 volts. Mais cette différence de prix a pratiquement disparu et il n'y a maintenant plus de contre-partie aux avantages du 3.000 volts. Aussi, ce système a-t-il été adopté dans maintes électrifications nouvelles. Il est appliqué en Belgique, en Italie, en Pologne, en Russie, en Espagne, au Maroc, en Algérie, aux Etats-Unis, au Mexique, au Brésil, etc.

Il ne faut pas remonter bien loin dans le passé

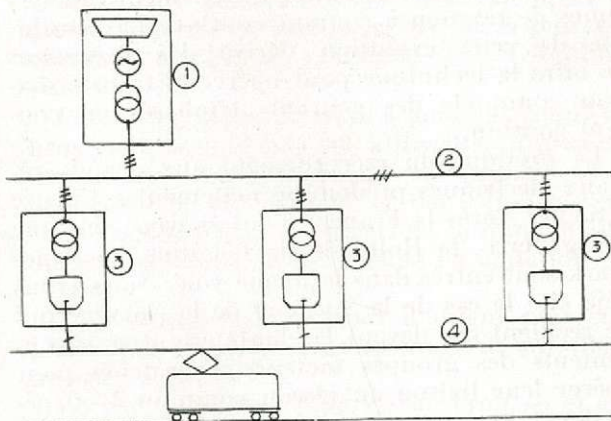


FIG. 3. — Système de traction à courant continu. Raccordement au réseau triphasé commun.

- (1) Centrale électrique triphasée (50 pér/sec), desservant les besoins généraux du pays.
- (2) Lignes de transport triphasées (50 pér/sec), à très haute tension, desservant les besoins généraux du pays.
- (3) Sous-stations de traction, alimentées par le réseau commun, équipées de groupes transformateurs-redresseurs en vue de la conversion de courants triphasés à 50 pér/sec en courant continu 3.000 v.

pour retrouver l'époque où les techniciens se livraient à d'ardentes polémiques sur les mérites et les inconvénients des divers systèmes. Avec le recul du temps, ces disputes nous paraissent vaines. Dans chaque cas, l'électrotechnique a su trouver des solutions adéquates à tous les problèmes d'exploitation.

Les réseaux restent fidèles au système qu'ils ont choisi, ils le développent et le perfectionnent. Car, eu égard à l'importance des capitaux investis, un changement de système est pratiquement exclu.

C'est dire qu'aujourd'hui tous les systèmes conviennent. Mais ceux qui, comme la Belgique, furent à peu près les derniers venus en traction électrique, ont eu l'avantage d'un choix plus large.

A l'actif du système à courant continu 3.000 volts adopté en Belgique, disons qu'à côté des avantages qui lui sont universellement recon-

nus, il est particulièrement adapté aux conditions belges.

On sait qu'en Belgique la tension du réseau primaire de transport est de 70.000 volts. Cette tension nécessite de coûteux postes de transformation extérieurs qui interviennent pour une part importante dans le coût des sous-stations. Il est, dès lors, très intéressant de pouvoir réduire de moitié le nombre de sous-stations.

Ensuite, l'écartement normal entre sous-stations d'environ 30 kilomètres correspond fort bien à la configuration de notre réseau ferré qui est fortement maillé, il permet, très heureusement, de localiser les sous-stations aux nœuds. Une répartition étant établie sur cette base, on trouve après coup que chaque sous-station, d'un ensemble assez vaste, dessert non pas 30 kilomètres, mais 45 à 50 kilomètres de ligne.

Enfin le système à courant continu à 3.000 volts, en usage dans les pays nouveaux de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, est celui qui offrira à nos constructeurs les perspectives d'exportation les plus favorables.

Les réseaux français et hollandais ont électrifié sous 1.500 volts à une époque où le courant continu s'imposait déjà, mais où, faute de redresseurs, le 3.000 volts n'était pas encore réalisable. Il n'y a donc pas identité de système entre les installations belges de traction et celles de nos voisins du nord et du sud.

Il ne faut pas exagérer les inconvénients de cette situation. Elle n'empêchera pas d'instaurer des relations électriques entre Bruxelles et Amsterdam. Les deux réseaux intéressés sont dès maintenant d'accord pour utiliser à cette fin un matériel mixte adapté aux deux tensions et pouvant circuler aussi bien en Hollande qu'en Belgique.

*
**

Vu sous un autre angle, le développement de la traction électrique peut être schématisé sommairement comme suit :

La traction électrique est née, il y a une cinquantaine d'années, de problèmes ferroviaires particuliers. Telles sont, par exemple, les difficultés d'exploitation à la vapeur d'une gare souterraine ou d'une ligne comportant de longs tunnels.

Le nouveau mode de traction s'est ensuite imposé de bonne heure par les avantages dans les services de grande banlieue.

Au cours d'une seconde phase, on a assisté dans beaucoup de réseaux à l'électrification de bout en bout de lignes importantes. Cette phase se poursuit encore actuellement en France où l'électrification a porté successivement sur les lignes de Paris à Tours et à Toulouse, de Paris au Mans, de Brives à Montauban. Fidèle à cette politique, la S. N. C. F. se prépare à équiper

Paris-Lyon, la « ligne impériale », qui est une des premières artères du continent européen.

Les mêmes directives sont suivies en Angleterre, en Belgique, en Hollande et dans les pays de l'Est.

A noter — et cette remarque est essentielle — que le choix doit se porter sur les lignes qui se distinguent par l'intensité de leur trafic. Les principaux critères pour leur sélection sont leur consommation annuelle de charbon par kilomètre, ou encore leur consommation d'énergie de traction par kilomètre et par an. Ces critères tiennent compte à la fois de la densité et de la nature du trafic ainsi que du profil de la ligne.

Une consommation linéaire de 250.000 à 300.000 kWh/an est un « indice de maturité » pour l'équipement d'une ligne. Ce chiffre qui a la signification d'une limite de rentabilité n'a rien d'absolu; il varie d'un pays à un autre. On peut d'ailleurs s'attendre à le voir baisser en raison de la cherté croissante du charbon.

Une troisième phase se développe actuellement dans certains pays tels que la Suisse, l'Italie et la Suède où l'on s'achemine vers une électrification intégrale des réseaux.

Ces pays dépourvus de charbon, mais disposant par contre de ressources en énergie hydraulique, pratiquent une politique d'électrification massive, dans le but de réduire les importations de combustibles. En Suisse, la longueur électrifiée atteint 90 % du réseau et le trafic remorqué électriquement est de 97 % du trafic total.

Beaucoup de réseaux élaborent actuellement d'importants programmes d'électrification; c'est le cas des Chemins de fer français, du Southern Railway, des Chemins de fer belges, néerlandais, espagnols, autrichiens et norvégiens.

II. L'alimentation des réseaux en énergie de traction

Quelques réseaux ferroviaires européens sont autoproducteurs et possèdent en propre tant des lignes de transport à très haute tension que des centrales électriques. Se trouvent dans ce cas notamment, la Suisse et l'Allemagne qui sont entrées dans la voie de l'électrification il y a une quarantaine d'années, à une époque où les distributions publiques d'électricité étaient à leurs débuts. Faute d'une puissance suffisante, les centrales existantes ne pouvaient s'accommoder de charges de traction.

Le raccordement des installations de traction aux réseaux communs apparaissait aux techniciens d'alors comme une utopie.

Cette opinion fut battue en brèche par les réalisations qui virent le jour en France au lendemain de la première guerre mondiale et qui elles-mêmes s'inspiraient d'exemples américains.

Les chemins de fer français, lorsque se posa pour eux le problème de l'alimentation de leurs

lignes, se trouvèrent également devant un territoire dont l'équipement électrique général était insuffisant.

Comme en Suisse et en Allemagne, il fallut créer en France des centrales électriques nouvelles, mais ces centrales furent équipées en courant triphasé à 50 périodes et destinées dès l'origine à la desserte générale du pays aussi bien qu'à l'alimentation des lignes électrifiées. L'initiative des chemins de fer français vint ainsi efficacement promouvoir le développement des usages de l'électricité et sa répercussion sur l'économie générale fut des plus favorables.

L'intégration des installations de traction dans le système commun qui dessert les besoins généraux du pays, est le trait caractéristique de l'évolution de la traction électrique; elle marque un tournant qui va déterminer l'avènement des systèmes de traction à courant continu. La possibilité de cette évolution dérive des ressources qu'offre la technique pour opérer la transformation commode des courants triphasés en courant continu.

La pratique du raccordement aux grands réseaux électriques prédomine nettement à l'heure actuelle. Après la France, d'autres pays, tels que l'Angleterre, la Hollande, la Belgique, le Danemark sont entrés dans la même voie. Nous avons déjà cité le cas de la Suède et de la Norvège qui ne reculent pas devant la cherté et autres inconvénients des groupes moteurs-générateurs pour opérer leur liaison au réseau commun à 50 périodes. Quant aux chemins de fer suisses et allemands, ils ont également créé des points de contact avec le réseau général à très haute tension par où s'opèrent des échanges d'énergie. En beaucoup de pays se sont établies des situations mixtes : productions autonomes coexistant avec des fournitures privées.

Le développement incessant des grandes centrales publiques et des réseaux d'interconnexion ne fera qu'accentuer la tendance que nous venons de caractériser.

Le raccordement présente des avantages incontestables au point de vue de la sécurité et de la régularité de la fourniture; il permet, en général, de desservir les sous-stations par de courtes antennes, évite les longs transports et réduit les pertes en ligne.

Grâce à lui — et c'est l'essentiel — disparaît la fâcheuse dualité d'installation qui est inhérente au système monophasé et qui signifie un véritable gaspillage de capitaux. D'autre part, la production dans les centrales communes est la plus économique.

La superposition dans ces centrales, des charges de traction à celles du système commun s'avère, par ailleurs, très avantageuse.

Pour étudier ce point, examinons de plus près les caractéristiques d'une charge de traction.

Un coup d'œil sur le diagramme de l'inten-

sité débitée pour une de nos sous-stations, fait immédiatement apparaître une particularité de toute charge de traction. Ce diagramme se présente comme une succession ininterrompue de variations brusques. Pour nous rendre compte des causes de cette allure, suivons au démarrage une rame électrique de Bruxelles-Anvers. Son poids est de 250 tonnes environ. Si nous désirons lui imprimer une accélération convenable, c'est-à-dire de 50 à 55 cm/sec², un effort de traction de 60 kg par tonne, soit 15.000 kg pour l'ensemble, est nécessaire. Pareil effort étant soutenu jusqu'à une vitesse d'environ 60 km/h exige une puissance d'environ 3.000 kilowatts. Cette puissance est atteinte au bout de quelques secondes; elle ne persiste d'ailleurs que pendant une fraction de minute. Une fois les résistances de démarrage éliminées, le jeu naturel des caractéristiques des moteurs détermine une réduction de la puissance absorbée au fur et à mesure que s'établit la vitesse.

Partant du repos, le train a donc provoqué une brusque demande de 3.000 kilowatts. Si plusieurs trains sont simultanément en marche, leurs demandes se superposent et des compensations vont s'opérer entre les appels de courant, mais le diagramme de la charge restera en agitation perpétuelle.

Les compensations seront d'autant plus complètes que plus de trains se trouvent simultanément en ligne.

Lorsque l'étendue d'un réseau croît — et avec elle, le trafic à remorquer — la puissance moyennée qui traduit l'importance de la charge de traction, croît parallèlement. Mais il n'en est pas de même de l'amplitude des variations instantanées de l'appel de puissance. Comparée à la puissance moyenne, cette amplitude est d'autant moins importante que le réseau est plus vaste.

En outre, dans un complexe étendu de lignes, circulent des trains de marchandises et des trains de voyageurs à longs parcours, lesquels exercent une influence régulatrice.

Pour qu'une centrale électrique puisse s'accommoder d'une charge de traction, il suffit que l'amplitude des variations que cette charge comporte reste faible vis-à-vis de la puissance débitée.

Cette condition est largement réalisée dans un pays tel que le nôtre. Les centres de production y sont nombreux, ont des équipements puissants et s'épaulent mutuellement grâce aux lignes d'interconnexion. L'inconvénient des variations brusques n'y est pas à retenir.

Si nous considérons l'importance des charges de traction, exprimée en millions de kWh par an, nous rencontrons une seconde caractéristique.

Les deux sous-stations de Bruxelles-Anvers consomment annuellement 25 millions de kWh; ce qui ne représente que 2 à 3 % des deux centrales qui les alimentent.

On pourrait électrifier en Belgique la moitié

environ de toutes les lignes à double voie, moyennant une consommation annuelle qui ne serait que de 10 % environ de la production nationale d'avant-guerre.

Des proportions semblables se rencontrent à l'étranger. Quoique importantes en valeurs absolues ⁽¹⁾, les consommations de traction restent faibles en regard des besoins totaux des pays.

Une troisième caractéristique concerne le coefficient d'utilisation annuelle.

Les réseaux qui limitent leur électrification au service des trains de voyageurs — tel est actuellement le cas en Belgique, en Hollande, au Danemark, au Southern Ry, etc. — ont des diagrammes journaliers qui comportent, le soir et le matin, de fortes charges assez accusées.

De telles pointes proviennent surtout des services intensifs de grande banlieue, dont la clientèle est, en majeure partie, formée d'abonnés. Les déplacements de ces voyageurs sont liés aux heures de travail, et durant de courtes périodes, le chemin de fer doit assurer des enlèvements massifs. Les appels de puissance ne sont pas les seuls inconvénients de ce régime de transports qui a aussi sa répercussion sur le matériel roulant à mettre en ligne.

Les zones fortement industrialisées sont celles où cet effort de pointe est le plus marqué. Les charges provenant d'un service exclusif de trains de voyageurs n'ont, en général, que des utilisations de l'ordre de 3.000 à 3.500 heures par an. Mais dès que l'électrification s'étend aux trains de marchandises, le diagramme de la charge s'améliore. La consommation se poursuit durant 24 heures par jour, alors qu'en trafic voyageurs, le service est complètement suspendu pendant la nuit.

Pour autant que l'électrification porte sur un réseau suffisamment vaste, elle conduit à un coefficient d'utilisation de l'ordre de 5.000 heures. Ce chiffre est même dépassé dans de nombreux réseaux étrangers où l'effet de pointe est moins accusé que celui que l'on doit attendre en Belgique.

L'intervention du trafic marchandises corrige efficacement cet effet de pointe dû au service des voyageurs; l'incorporation dans le réseau électrifié de lignes à caractéristiques différentes est également avantageux. Dans le même ordre d'idées, l'expérience a mis en lumière l'effet favorable du développement du réseau électrifié et partant de sa consommation.

Des sous-stations étant prises isolément, on peut établir pour chacune d'elles un « facteur de pointe » exprimant le rapport entre la puissance maximum et la puissance moyenne débitées. Ce rapport peut atteindre des valeurs de l'ordre de 10 dans des sous-stations qui desservent une portion de réseau peu étendue et dont le débit annuel est, par conséquent, faible.

(1) Des centaines de millions de kWh par an.

Les statistiques montrent que ce facteur de pointe diminue rapidement avec un débit croissant. Des courbes traduisant l'amélioration progressive du facteur de pointe ont été publiées; quoique provenant de réseaux distincts, elles accusent une bonne concordance. Elles montrent que, dans les réseaux intéressés, le facteur de pointe tend asymptotiquement vers des valeurs de l'ordre de 1,8, lorsque les consommations atteignent 400 à 500 millions de kWh par an.

Une quatrième caractéristique porte sur la diversité existant entre une charge de traction et celle qui est due aux besoins généraux du pays. Les pointes de traction qui se présentent aux heures de grande affluence, le matin avant 8 heures et le soir après 18 heures, sont nettement décalées par rapport à la demande maximum pour éclairage et force motrice. Les transports massifs d'employés et d'ouvriers se situent, en effet, après la fermeture des bureaux et des usines.

Il y a donc un intérêt technique évident à superposer les deux charges dans les centrales existantes. Les conditions de production s'en trouveront améliorées et il pourra être satisfait aux besoins de la traction par un supplément de puissance inférieur à celui qu'il faudrait installer dans une centrale autonome, abstraction faite des unités de réserve dont celle-ci devrait être dotée.

Il importe de compléter ces données relatives aux charges de traction par une observation d'ordre général. Dans les frais d'exploitation d'un réseau électrifié, les dépenses en énergie de traction interviennent pour une part importante. Une électrification ne peut être rentable qu'à la condition que le chemin de fer puisse se procurer du courant de traction à bas prix. Un exemple typique à citer à cet égard est celui de la Hollande, où l'essor de la traction électrique a longtemps été paralysé par un prix excessif de l'énergie électrique.

La Belgique offre de grandes ressources pour l'alimentation du réseau de traction. Son équipement électrique qui est très poussé sera au cours des premières années considérablement renforcé par l'installation d'une tranche d'unités modernes totalisant plus de 800.000 kilowatts.

L'industrie électrique belge bénéficie d'une organisation très perfectionnée. La coordination des moyens de production et de transport a été généralisée sur tout le territoire. Un organisme de supercontrôle veille sans cesse à l'utilisation maximum des unités les plus économiques et grâce à lui, il peut être paré, sur le champ, à toute défaillance. La récupération des énergies de déchet est complète (1).

Les grandes centrales sont bien réparties sur

(1) Près de 20 % de la production totale provenaient en 1939 des énergies récupérées. (Voir M. E. HOUBART, ingénieur civil A. I. Lg., A. I. M., administrateur-directeur général de l'U. C. B. Linalux, *L'Industrie de la production d'énergie électrique en Belgique, au lendemain de la guerre.*)

toute la superficie du pays et sont efficacement interconnectées. A côté d'elles existent de nombreux nœuds de distribution reliés à plusieurs centres de production par des artères à très haute tension et à grande capacité de transport. Ces conditions sont de nature à faciliter le raccordement des sous-stations de traction.

En résumé, toutes les conditions requises pour une production économique et une fourniture régulière de l'énergie de traction se trouvent réunies. D'autre part, en raison de leur importance et de leurs caractéristiques éminemment favorables, les charges de traction offrent un grand intérêt pour l'industrie électrique belge.

Ainsi se trouve créée une base solide pour une coopération fructueuse entre cette industrie et la Société Nationale des Chemins de fer Belges.

III. Les aspects sociaux et économiques du problème de l'électrification

Un bel avenir est réservé à la traction électrique sur le réseau belge qui comporte un grand nombre de lignes dont le trafic justifie le recours au nouveau mode de traction.

Un exposé des avantages que la traction électrique procure à l'usager des chemins de fer et à l'exploitant n'entrerait pas dans le cadre de la présente étude (1). Nous tenons cependant à esquisser ici quelques aspects sociaux et économiques du problème de l'électrification.

*
**

En premier lieu il convient de mentionner les conséquences de la création de services intensifs de banlieue. Ces services, qui constituent le « domaine d'élection » de la traction électrique, répondent à une tendance qui se manifeste dans tous les grands centres et qui vise à décongestionner les agglomérations trop vastes par un exode des populations vers les périphéries.

De tels services doivent offrir des moyens de transport fréquents, rapides et confortables à la clientèle des banlieues et des campagnes, clientèle formée en majeure partie d'abonnés qui ont leurs occupations en ville. De grandes facilités sont ainsi procurées à ceux dont les déplacements font partie intégrante de la journée de travail. Il est bien connu, au surplus, que cette catégorie de voyageurs jouit de tarifs très favorables.

Mais la clientèle proprement dite des trains n'est pas seule à bénéficier de cet état de choses. Une large part des populations des banlieues et des campagnes voit ses conditions d'existence liées aux moyens de transport et est, en dernière

(1) Voir à ce sujet J. MUSYCK, *La traction électrique sur les grandes lignes de chemins de fer*, étude parue dans la *Revue universelle des Mines*, n° 9 de 1946, et dans le *Bulletin de la Société belge des Electriciens*, n° 4, octobre-décembre 1946.

analyse, redevable au rail des bienfaits de la vie au grand air.

Nous ne ferons que citer en passant l'assainissement des quartiers avoisinant les dépôts de locomotives, grâce à la suppression des fumées et des poussières.

Tournons-nous vers le personnel des réseaux ferroviaires et en premier lieu vers le personnel roulant.

Le conducteur d'un train électrique est commodément installé dans une cabine propre, claire, chauffée en hiver, qui le met complètement à l'abri des intempéries, des fumées et des poussières.

Les opérations de la conduite n'exigent de sa part aucun effort musculaire, ni aucune manœuvre difficile. Qu'elles soient facilitées ou non par des dispositifs automatiques (cas des automotrices), ces opérations sont incomparablement plus aisées qu'en traction à vapeur.

Le conducteur contrôle le fonctionnement de sa machine par un simple regard sur quelques appareils de bord et il peut consacrer toute l'attention voulue à l'observation des signaux. Placé devant une large baie vitrée, son champ de vue est bien dégagé; il jouit d'une visibilité des signaux nettement meilleure qu'en traction à vapeur. La sécurité de la marche des trains s'en trouve accrue.

Les conditions de travail du conducteur d'un train électrique ne sont en rien comparables à celles du machiniste et moins encore à celles du chauffeur dont on sait qu'elles sont très dures et pénibles. Qu'il nous suffise de rappeler que certains trains à vapeur exigent l'enfournement à la pelle de plus de 2.500 kg de charbon à l'heure.

Des considérations semblables valent pour le personnel des remises de locomotives et des ateliers.

Dans les premières, l'électrification entraîne la disparition de travaux tels que le lavage périodique des chaudières à l'eau chaude, le soufflage des tubes, le nettoyage des boîtes à fumée, le décrassage des feux, la manipulation des cendres et des combustibles. Le travail s'effectue partout dans une ambiance claire et propre qui ne laisse rien à désirer sous le rapport de la salubrité et qui contraste vivement avec celle des remises obscures dont l'atmosphère est humide et chargée de fumées.

Dans les ateliers de réparation, l'allègement des besognes résulte principalement de la disparition des travaux de réparation des chaudières, travaux qui sont durs et qui incommode l'ouvrier.

En résumé, qu'il s'agisse du personnel de conduite ou d'agents sédentaires, l'électrification procure à tous une amélioration très nette des conditions de travail due à la disparition des besognes pénibles et salissantes.

Pareille évolution est significative; elle place l'ouvrier à un niveau supérieur et transforme son

existence. Elle constitue un progrès social indéniabla.

*
**

Dans le secteur de l'économie nationale, rappelons, en premier lieu, les avantages d'une coopération entre le réseau ferroviaire et l'industrie de la production et du transport de l'énergie électrique. Nous avons mentionné ci-dessus, les bases sur lesquelles reposerait une telle coopération qui ne peut manquer de servir largement l'intérêt général.

L'exécution d'un vaste programme d'électrification peut alimenter pendant plusieurs années des entreprises importantes qui, à quelques pourcents près, bénéficieront entièrement à l'industrie nationale.

Il importe ici de mentionner une particularité intéressante des travaux d'électrification. Contrairement à une opinion très répandue, la grande construction électrique n'est pas la bénéficiaire principale d'une électrification. Celle-ci s'accompagne toujours d'une large part de travaux de toute nature, et sert, en dernière analyse, à rémunérer une main-d'œuvre très abondante et très diverse.

Dans un autre domaine, la construction d'automotrices et de locomotives électriques fournira aux constructeurs belges l'occasion d'étudier et de mettre au point du matériel roulant susceptible d'être exporté.

Nos constructeurs ont livré à l'étranger beaucoup de locomotives à vapeur et il est opportun de rappeler qu'en matière d'exportation de matériel des tramways, l'industrie belge occupait autrefois une place particulièrement brillante. D'innombrables réseaux étrangers étaient tributaires de nos ateliers et le souvenir de ce passé hante encore le cerveau de nos constructeurs.

Dans le domaine du matériel électrique roulant pour la grande traction, l'industrie étrangère a pris une grande avance sur nous. Les ateliers belges qui n'ont construit jusqu'à présent que les automotrices de la ligne Bruxelles-Anvers n'ont pas eu l'occasion de fournir la preuve de leur savoir-faire.

Cet état de choses a retenu l'attention des dirigeants de notre réseau. A l'initiative de M. Lessinnes, administrateur à la S. N. C. B., il a été créé une Commission de liaison entre les constructeurs belges et la Société Nationale. Le but poursuivi est d'établir une collaboration technique aussi intime que possible entre le chemin de fer et les constructeurs, en vue d'aider ceux-ci à la mise au point d'un matériel de conception belge, parfaitement adapté aux besoins et susceptible d'entrer en compétition avec du matériel étranger.

Notons encore que le choix en Belgique du sys-

tème de traction à courant continu à 3.000 volts est de nature à favoriser l'exportation belge; ce système est, en effet, celui qui a été adopté dans beaucoup de pays neufs d'outre-mer.

Notre exposé des conséquences économiques de l'électrification serait incomplet si mention n'était pas faite ici des importantes économies de combustibles que l'électrification est susceptible de procurer. Ces économies sont de l'ordre de 65 %; nous ne pouvons entrer dans le détail de

leurs causes techniques ⁽¹⁾. Bornons-nous à attirer l'attention sur l'intérêt qu'elles offrent à une époque où la crise du charbon demeure aiguë.

Les considérations sommaires qui précèdent montrent que le problème de l'électrification de nos grandes lignes déborde largement du cadre purement ferroviaire et qu'il revêt par ses conséquences sociales et économiques le caractère d'une grande œuvre d'intérêt national.

(1) Voir l'étude parue dans la *R. U. M.*