Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 34 (1908)

Heft: 7

Artikel: Traction électrique: essais par courant monophasé sur la ligne de Seebach à Wettingen

Autor: Landry, Jean

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-26846

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: 06.08.2025

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

34me Année. 10 avril 1908. N° 7.

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef : P. MANUEL, ingénieur, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Secrétaire de la Rédaction : Dr H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE : *Traction électrique : Essais par courant monophasé sur la ligne de Seebach à Wettingen,* par M. Jean Landry, ingénieur. — **Divers** : Concours pour des bâtiments universitaires à Zurich : Rapport du jury. — *Nécrologie :* Joseph Fischer. — *Sociétés :* Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne : Procès-verbal de l'assemblée générale statutaire du 14 mars 1908. — Chemins de fer fédéraux : Principaux travaux d'extension et de parachèvement à exécuter en 1908 sur le 1er arrondissement.

Traction électrique.

Essais par courant monophasé sur la ligne de Seebach à Wettingen.

Par M. Jean LANDRY, ingénieur.
Professeur à l'Université de Lausanne.

En quelques années, l'application de la traction électrique aux tramways urbains a pris un développement considérable. Le succès des tramways électriques fit tout naturellement songer à étendre ce système de traction qui, jusqu'alors et sauf de très rares exceptions, se réduit au schéma suivant : l'énergie électrique, sous forme de courant continu à la tension de 500 à 600 volts, est fournie à une ligne d'alimentation le plus souvent aérienne et, assez rarement, souterraine ou fractionnée en plots de contact ; elle pénètre par l'intermédiaire d'organes frotteurs dans les voitures motrices équipées de moteurs série et achève son circuit par les rails de roulement convenablement éclissés.

Cette disposition et cette tension suffirent tant que les lignes ne s'étendirent pas au delà de quelques kilomètres de leurs stations centrales et que les puissances à transmettre ne dépassèrent pas quelque 100 HP par convoi. Mais, lorsqu'il fallut prolonger les lignes de tramways dans les banlieues, réunir entre eux des centres importants distants de plus de 10 kilomètres, répondre aux besoins toujours croissants des moyens de transport dans les grandes villes et construire pour cela des réseaux de métropolitains, lorsque, en résumé, voulant profiter des avantages que présente la traction électrique tant au point de vue de l'intensité du trafic qu'elle permet de réaliser qu'aux points de vue du confort, de la propreté, des facilités d'exploitation et de l'économie dans l'entretien du matériel roulant, le problème se posa, non plus d'alimenter deux moteurs de 25 à 50 HP se déplaçant dans un rayon de quelques kilomètres, mais quatre et même six moteurs de 100 à 200 HP avec un rayon d'action de quelques dizaines de kilomètres, la tension de 600 volts se trouva insuffisante dans les conditions ordinaires et il fallut recourir à d'autres moyens.

A ce moment-là, le moteur série à courant continu n'avait pas de concurrent bien sérieux. Il était, ce que d'ailleurs il est encore, le moteur de traction par excellence et il devait, quelques temps encore, jouir d'un quasi-monopole dans ce genre d'applications. Toute l'attention des techniciens se porta donc du côté de l'alimentation. Comme les courants à transmettre atteignaient facilement des intensités de 2000 ampères sous 600 volts au démarrage, l'alimentation aérienne ne put être conservée que pour les lignes de moyenne importance en portant la tension d'alimentation à 750 et 800 volts ; mais, dans les chemins de fer à gros trafic et métropolitains, le conducteur d'amenée du courant fut généralement constitué par un troisième rail situé près du sol et placé parallèlement aux rails de roulement qui servaient de conducteurs de retour.

Dans l'un de ces cas comme dans l'autre, les points d'alimentation furent multipliés de façon à éviter de trop fortes chutes de tension et l'on fut ainsi conduit à adopter le système à courant continu à « moyenne tension », avec sous-stations de transformation. Dans ce système, l'énergie électrique est générée dans une station centrale sous forme de courants alternatifs à haute tension ; elle est transmise à plusieurs sous-stations échelonnées le long des voies à intervalles convenables et y est transformée en énergie électrique, sous forme de courant continu, au moyen de groupes moteurs-générateurs ou au moyen de transformateurs statiques et de commutatrices. Très souvent, suivant la nature du trafic, le matériel des sous-stations est complété par une batterie d'accumulateurs formant volant et aussi réserve et dont l'emploi assure une excellente utilisation des centrale et ligne primaire.

Cette solution avec troisième rail et tensions de 600 et même de 800 volts a été appliquée par le chemin de fer de l'Ouest entre Paris et Versailles, par celui d'Orléans entre Paris et Juvisy, par les chemins de fer métropolitains de Paris, Londres, Berlin et New-York et par un certain nombre de chemins de fer secondaires de moyenne importance comme le Martigny-Châtelard et le Fribourg-Morat dans notre pays. Cette même solution avec conducteur aérien et tension de 750 à 800 volts est appliquée dans beaucoup de chemins de fer d'intérêt local.

Les installations de traction électrique dont il vient d'être question étaient à peine décidées que déjà se posait le problème de l'électrification des grandes voies ferrées. La question est évidemment d'un intérêt primordial pour les

pays tributaires des mines de charbon de l'étranger et qui pourraient s'en affranchir en utilisant la puissance naturelle des chutes d'eau pour la propulsion des trains ; elle est également d'une très grande importance pour certaines industries qui auraient dans la transformation des réseaux de traction un champ de longue et féconde activité. Mais d'aussi profonds changements ne sont pas de ceux qui s'opèrent sans de sérieuses garanties et les multiples questions que soulève l'application de la traction électrique sur une aussi grande échelle demandaient à être examinées de très près. Au point de vue technique, des essais s'imposaient et c'est à partir de l'année 1900 que s'équipèrent, un peu partout, des lignes se prêtant particulierement bien à des expériences de cette nature.

Seul, parmi beaucoup d'autres intéressés moins disposés à favoriser les tentatives nécessaires, le Gouvernement italien entra résolument, en 1900, dans la voie de l'électrification des chemins de fer et, pour commencer, décida d'équiper deux lignes d'environ 100 km. de longueur situées dans le Nord de l'Italie.

L'une d'elles, celle de Porto-Ceresio à Milan fut équipée avec le système à courant continu à 650 volts, avec sous-stations de transformation et troisième rail, système qui présentait toute garantie de bon fonctionnement.

L'autre, dans la Valteline par Lecco, Sondrio et Chiavenna, fut équipée avec le système triphasé qui, quoique déjà appliqué aux tramways de Lugano et au chemin de fer à voie normale de Burgdorf à Thoune, constituait une réelle nouveauté, tant par la tension de 3000 volts entre fils de ligne de contact, que par l'agencement des moteurs au point de vue de la régulation de la vitesse.

Les bons résultats de fonctionnement de cette ligne de la Valteline prouvèrent la possibilité de l'emploi des courants alternatifs à haute tension sur les voies ferrées. Les retentissants essais qu'entreprirent, en 1902 et 1903, l'Allgemeine Elektricitätsgesellschaft et la maison Siemens & Halske de Berlin, sur la ligne militaire de Marienfeld à Zossen permirent de considérer dès lors comme résolu le problème relatif à la transmission de l'énergie à des voitures en marche au moyen de courants alternatifs à très haut potentiel (10 000 volts). Ils prouvèrent, en outre, la possibilité de recueillir au moyen d'archets frottant sur les fils de ligne et à d'énormes vitesses (210 km. à l'heure) des courants dont l'intensité correspond à une puissance apparente d'environ 4000 kilovolt-ampères.

Mais cette solution par courants triphasés présente un certain nombre de défauts.

L'alimentation des véhicules-moteurs exige trois conducteurs dont deux aériens qui, devant conduire des courants distincts, doivent être soigneusement isolés l'un de l'autre, ce qui rend difficiles les aiguillages. Cet inconvénient ne s'est pas montré très grave sur la ligne de la Valteline grâce à la tension relativement peu élevée de 3000 volts, mais ils pourront devenir très sérieux avec les tensions plus élevées que l'on tend à introduire actuellement.

Les moteurs d'induction polyphasés sont de bons moteurs, de construction simple, démarrant sous pleine charge et qui peuvent être construits pour des puissances quelconques. Mais le petit entrefer que l'on doit leur donner pour obtenir un bon facteur de puissance est encore un point faible dont il ne faut cependant pas exagérer l'importance, car les faits sont là pour montrer qu'une fabrication soignée peut rendre plus apparent que réel cet inconvénient. Un bon rendement ne peut cependant être obtenu qu'à la seule condition pour les moteurs de tourner à une vitesse bien déterminée, à moins que l'on n'ait recours à certaines dispositions coûteuses et encombrantes. Les moteurs triphasés ne conviennent donc bien que sur les lignes où les trains peuvent aller à vitesse constante et c'est là une sujétion qui est gênante à bien des égards, mais qui, il faut le reconnaître, peut devenir un avantage du système dans les lignes présentant de fortes pentes dans lesquelles les moteurs, travaillant en générateurs, peuvent freiner en récupérant de l'énergie. Les moteurs d'induction polyphasés possèdent une vitesse bien définie qui dépend de la fréquence des courants d'alimentation et qui, à pleine charge, ne diffère que d'environ 2 pour 100 de la vitesse de synchronisme. Le système triphasé manque donc de souplesse à cet égard-là et l'on ne se sert du procédé onéreux qui consiste à introduire des résistances dans les circuits de l'induit que pour passer à différents échelons de vitesse obtenus par couplage en cascade de moteurs primaires et secondaires ou encore, comme c'est le cas dans les dernières locomotives du Simplon, par modification du nombre de pôles de l'inducteur des moteurs.

Dans les premières locomotives de la ligne de la Valteline construites pour fournir un effort de traction de 6000 kg. à la vitesse de 32 kilomètres à l'heure ou un effort de 3000 kg. à une vitesse de 64 kilomètres à l'heure, les deux vitesses sont obtenues par couplage en cascade d'un moteur primaire et d'un moteur secondaire qui, en réalité, forment un moteur double dans une même carcasse. En grande vitesse, les moteurs primaires travaillent seuls ; en petite vitesse, l'induit du moteur primaire est relié à l'inducteur mobile du moteur secondaire et l'ensemble prend une vitesse commune sensiblement égale à la demi-vitesse du synchronisme.

Dans les dernières locomotives de la Valteline, la grande vitesse est assurée par un seul moteur de 1500 HP à 8 pôles ; une vitesse intermédiaire est obtenue par un second moteur à 12 pôles, de puissance légèrement moindre et une troisième vitesse, de 25 kilomètres à l'heure, peut être obtenue en couplant les deux moteurs en cascade.

La nécessité d'un ou de plusieurs moteurs secondaires présente des inconvénients assez sérieux résultant du poids mort de ces moteurs qui sont inutilisés en grande vitesse. Le couplage en cascade ne peut d'ailleurs donner de bons résultats que si le moteur secondaire a un facteur de puissance suffisamment élevé, à défaut de quoi le couple du moteur primaire peut être notablement diminué.

Cette façon d'obtenir différents échelons de vitesse n'a pas été mise en pratique dans l'installation triphasée de la

ligne du Simplon dont les premières locomotives sont munies de moteurs bobinés pour 16 et pour 8 pôles, ce qui permet d'obtenir deux vitesses dans le rapport de 1 à 2. Les nouvelles locomotives de cette même ligne auront 4 vitesses obtenues par modification du nombre de pôles des inducteurs.

Enfin, un dernier inconvénient qui limite encore le champ d'application de ce système réside dans l'impossibilité de se prêter à l'emploi d'unités multiples, car il suffirait d'une faible inégalité de diamètre des roues des différentes voitures-automotrices pour que certains moteurs travaillent en surcharge, tandis que d'autres travaillent peu ou point.

En résumé, le système triphasé qui a l'avantage de conduire à un coût d'établissement moindre que le système à courant continu avec troisième rail, qui permet dans les moteurs l'utilisation directe de tensions assez élevées pour être économiques pour la ligne, qui est d'une grande robustesse et d'une grande capacité de surcharge, présente l'inconvénient très sérieux de la double ligne de contact et celui d'un manque de souplesse évident.

Il est certain que le *mode de traction électrique idéal consisterait dans l'emploi d'un courant alternatif monophasé de haut voltage avec ligne aérienne unipolaire* et *retour du courant par les rails*. Mais la difficulté était d'établir un bon moteur capable de conserver un bon rendement lorsque la vitesse varie dans de larges limites c'est-à-dire un moteur monophasé ayant toutes les propriétés caractéristiques du moteur série à courant continu tout en présentant sur lui le grand avantage d'un rendement global meilleur pendant le démarrage grâce à l'emploi de transformateurs à rapport de transformation variable.

Malgré certains artifices très ingénieux, il ne pouvait être question de faire usage du moteur d'induction monophasé qui ne démarre pas de lui-même, qui a une caractéristique de moteur shunt et, de plus, un mauvais rendement et un mauvais facteur de puissance. Les avantages du courant monophasé pour la ligne étaient, malgré tout, *tellement évidents* qu'à défaut de moteur approprié, certains constructeurs n'hésitèrent pas à conseiller l'emploi de locomotives dans lesquelles le courant alternatif monophasé à haute tension subissait une transformation statique puis une transformation en courant continu, soit au moyen d'un groupe transformateur moteur-générateur comme dans le système Ward-Leonard, soit au moyen d'un redresseur spécial comme dans le système Auvert et Ferrand.

Ces systèmes qui présentent un certain nombre de réels avantages, mais qui ont de graves inconvénients parce que compliqués, lourds et chers dans le matériel moteur, ne purent pas s'implanter car les années 1903 et 1904 virent apparaître toute une série de moteurs monophasés *à collecteur* semblables, comme dispositions, aux moteurs à courant continu et fonctionnant, grâce à certains dispositifs particuliers, d'une manière satisfaisante.

Ce résultat, qui assure au système monophasé le plus bel avenir en le complétant de la façon la plus heureuse puisque le voilà doté de moteurs ayant toutes les propriétés que doivent avoir de bons moteurs de traction, n'a pas été obtenu du premier coup.

On savait depuis longtemps que le moteur série à courant continu, muni d'une carcasse magnétique feuilletée, pouvait fonctionner sur du courant monophasé; mais la commutation était très mauvaise et le facteur de puissance tout à fait inférieur. Cependant, nombre d'inventeurs s'acharnèrent à l'étude de ces moteurs et c'est en 1897 déjà que M. Lamme, ingénieur en chef de la Compagnie Westinghouse, à Pittsburg, réussit à construire deux moteurs série de 40 HP à 200 volts et 60 périodes, munis d'un dispositif compensateur pour améliorer la commutation. En 1902, il réussissait à créer un moteur de 100 chevaux à 16,6 périodes, puis un moteur de 300 HP à 25 périodes, ce qui, dès 1903, permit à la Compagnie Westinghouse d'adopter un modèle définitif de moteurs série monophasés de 50 à 150 HP, tous établis pour la tension de 250 volts et la fréquence de 25.

En Europe, l'Allgemeine Elektricitätsgesellschaft et la Compagnie française Thomson-Houston parvinrent à construire et à mettre au point un moteur monophasé à collecteur que l'on appelle généralement moteur à *répulsion compensé* (moteur Winter-Eichberg-Latour) et, de leur côté, les ateliers de construction Oerlikon et les Siemens-Schuckert-Werke apportèrent au moteur série toute une série d'intéressants perfectionnements.

Ce serait sortir du cadre que nous nous sommes imposés que d'entrer dans les détails qui caractérisent ces deux types principaux de moteurs monophasés à collecteur. Le but de cet article étant de décrire la très intéressante installation de traction par courant monophasé de Seebach à Wettingen, disons seulement que les moteurs *série* des locomotives construites par les ateliers d'Oerlikon sont des moteurs à pôles saillants, à compensation partielle par un enroulement statorique fermé sur lui-même, à pôles de commutation (pôles auxiliaires dont les axes coïncident avec les axes des balais sur le collecteur) dont les enroulements, shuntés par une résistance non inductive, sont en série avec l'induit et dans lesquels ce dernier porte un enroulement tambour imbriqué sans connexions résistantes entre lames du collecteur. La troisième locomotive de cette installation, équipée par les Siemens-Schuckert-Werke, est munie de moteurs *série* sans pôles apparents, à enroulements principal et compensateur répartis et à induit tambour dont les rainures contiennent, au-dessous de l'enroulement de travail, un enroulement résistant destiné à améliorer la commutation tout en contribuant, dans une certaine mesure, à la production du couple moteur.

L'apparition de ces moteurs à collecteur (n'est-il pas piquant de voir cet organe collecteur, jadis tant décrié, sauver le courant alternatif d'un mauvais pas ? !) permit au système de traction par courant alternatif monophasé de se développer avec une grande rapidité.

En Amérique, les applications de ce système ne se peuvent déjà plus compter. Citons parmi les principales, exécutées par la Compagnie Westinghouse :

1° La ligne d'Indianopolis à Cincinnati dont la longueur atteindra 190 km. et qui est alimentée par une usine centrale produisant des courants triphasés de 33 000 volts à 25 périodes. Des postes de transformateurs, placés tous les 16 à 18 km., sont reliés chacun à une phase et abaissent la tension à 3300 volts qui est la tension de la ligne de contact. L'unique fil de la ligne de contact est à suspension caténaire. Chaque automotrice est équipée de quatre moteurs *série* de 75 HP dont le collecteur est muni de connexions résistantes et l'équipement permet le fonctionnement soit sur du courant monophasé de 3300 volts, soit sur du courant monophasé de 500 volts, soit enfin sur du courant continu de 500 volts. C'est pour cette raison que le réglage de la vitesse se fait par insertion de résistances et non pas par auto-transformateur comme c'est le plus souvent le cas. La commande, comme dans tous les équipements de la Société Westinghouse, est entièrement électro-pneumatique et le circuit des valves électro-pneumatiques est alimenté par deux petites batteries d'accumulateurs de 7 éléments chacune.

2° La ligne d'Atlanta, de 24 kilomètres de longueur, est divisée en trois tronçons alimentés chacun par une des trois phases d'une station génératrice produisant des courants triphasés à 22 000 volts et 25 périodes. La tension est de 2200 volts en rase campagne et de 500 volts dans les villages et chaque automotrice est équipée de 4 moteurs *série* de 50 HP. Le réglage de la vitesse se fait par variation graduelle de la tension des moteurs au moyen d'un auto-transformateur ou d'un régulateur d'induction, c'est-à-dire sans perte d'énergie.

3° Les lignes de *Spokane,* d'une longueur totale de 185 kilomètres pour lesquelles l'énergie, sous forme de courant monophasé à 25 périodes, est obtenue dans une sous-station de transformation dont les groupes moteurs-générateurs transforment des courants triphasés de 4000 volts et 60 périodes en courant monophasé de 2200 volts et 25 périodes. La sous-station est, en outre, munie d'une *batterie d'accumulateurs* travaillant en parallèle avec des machines à courant continu fonctionnant tantôt en moteurs, tantôt en générateurs et qui font partie des groupes transformateurs dont les moteurs asynchrones triphasés travaillent à charge sensiblement constante.

La tension du courant monophasé est élevée à 45 000 volts puis, dans une quinzaine de postes de transformation placés le long de la voie, elle est abaissée à 6600 volts en rase campagne et à 700 volts dans les villages. Les locomotives sont équipées de 4 moteurs *série* de 150 HP. ; les automotrices, de 4 moteurs de 100 HP. Deux moteurs d'un même boggie sont en permanence connectés en série et le réglage de la vitesse se fait par variation de tension aux bornes des moteurs, au moyen de contacteurs à commande électro-pneumatique.

D'autres installations très importantes complètent une liste dont le détail risquerait de nous conduire trop loin, mais qui montre toute la souplesse du système monophasé. Mentionnons une locomotive de 1500 HP. servant au service des ateliers de la Compagnie Westinghouse et qui est équipée de 6 moteurs de 250 HP. chacun. Puis, l'installation de la ligne New-York, New-Hawen et Hartford qui, en dehors de ville, utilise un courant monophasé de 11 000 volts et dont les locomotives sont équipées de 4 moteurs de 150 HP. dont les induits, montés sur arbre creux concentrique à l'essieu, attaquent directement les roues formant manchons à doigts. Ces locomotives peuvent remorquer des trains de 250 tonnes à la vitesse commerciale de 42 km.-heure et fournir une vitesse maximale de 70 km. à l'heure. Enfin, la ligne du tunnel de Sarnia-Port Huron, avec rampe de 20 ‰, dispose de locomotives doubles pouvant remorquer des trains de 500 tonnes. Ces locomotives, formées de deux unités accouplées, sont équipées de 6 moteurs de 250 HP. et peuvent développer un effort de 10 000 kg. aux crochets pour une vitessse de 16 kilomètres à l'heure.

En Europe, le nombre des installations de traction par courant monophasé est déjà imposant. Citons :

La ligne expérimentale de Gross-Lichterfeld avec automotrices équipées de 4 moteurs à *répulsion compensés de 100 HP.* (Winter-Eichberg) et commande électromagnétique. La tension en ligne est de 6000 volts et la fréquence de 25 périodes par seconde ;

Le réseau des chemins de fer vicinaux du Borinage d'une longueur totale de 129 km. avec automotrices équipées de 2 moteurs à répulsion compensés (Winter-Eichberg) à 40 périodes et réglage série-parallèle ;

La ligne de Hambourg à Altona, dont la voie est équipée par les Siemens-Schuckert-Werke et les automotrices fournies par l'Allgemeine Electricitätsgesellschaft. La tension de la ligne de contact est de 6600 volts et la fréquence de 25 périodes par seconde. Les voitures, à deux boggies et un essieu médian, sont équipées de 3 moteurs à répulsion compensés de 115 HP. chacun ;

Les lignes de Murnau à Oberammergau et de Vienne à Baden des Siemens-Schuckert Werke ;

La ligne d'expériences des chemins de fer de l'Etat Suédois dont le matériel d'essais comprend une locomotive Siemens-Schuckert à trois moteurs série de 110 HP., une locomotive Westinghouse à deux moteurs série de 150 HP., et un train à unités multiples comprenant deux automotrices à deux moteurs répulsion de 120 HP. de l'Allgemeine Electricitätsgesellschaft. Cette ligne d'essais est comprise d'une façon particulièrement intéressante en ce sens que la tension en ligne, qui a été fixée à 15 000 volts normalement, peut cependant varier entre 3000 et 25 000 volts ; la fréquence peut varier entre 25 et 15 périodes par seconde, et enfin, la ligne de contact proprement dite est divisée en tronçons avec différents modes de suspension du fil de travail permettant l'essai de différents types d'organes de prise de courant parmi lesquels, l'archet latéral, en forme de verge convexe, des ateliers d'Oerlikon.

Enfin, la ligne d'essais de *Seebach à Wettingen* équipée aux frais des ateliers d'Oerlikon d'abord seuls, puis en collaboration avec les Siemens-Schuckert Werke et qui, en raison de l'intérêt très grand qu'elle présente à tous les points de vue, fera, dans ce qui suit, l'objet d'une description détaillée.

On voit, par ce qui précède, que le système à courant monophasé a déjà, quoique tout récent, fait l'objet d'un grand nombre d'applications.

Son principal avantage qui, à notre point de vue, le place d'emblée au-dessus de tous les autres systèmes, réside dans la *possibilité d'employer des tensions très élevées et un seul fil de travail.*

Les moteurs série monophasés jouissent de propriétés caractéristiques semblables à celles des moteurs série à courant continu et sont ainsi de bons moteurs de traction. Le réglage de la vitesse se fait d'une manière extrêmement simple et avec toute la finesse voulue et le rendement général est bon, grâce à l'emploi des hautes tensions et à la possibilité de démarrer et de régler la vitesse sans qu'il soit nécessaire d'interposer des résistances qui consomment de l'énergie.

Les moteurs sont évidemment plus lourds que les moteurs à courant continu correspondants et il y a pour cela des raisons physiques et de construction. La matière magnétique active ne peut pas être aussi bien utilisée que dans un moteur à courant continu, la tension entre lames du collecteur doit être faible et par conséquent l'enroulement induit très divisé ; les collecteurs doivent être très largement dimensionnés, deviennent très lourds et la tension pour laquelle ils peuvent être construits ne dépassant pas 300 volts, il semble difficile d'arriver à construire des moteurs de très grande puissance. On est cependant arrivé à construire des moteurs de 350 HP. ; en tout cas, ceux de 250 HP. se construisent actuellement avec la plus grande facilité ; leur fonctionnement à tous les régimes, mais particulièrement au moment, toujours difficile, du démarrage, est excellent, ainsi qu'il nous a été donné de le constater dans des courses d'essais sur la ligne de Seebach à Wettingen où les moteurs construits par les Ateliers d'Oerlikon fonctionnent d'un façon réellement satisfaisante.

Dans son ensemble, l'équipement électrique est assez lourd ; cela tient à la présence du transformateur statique nécessaire pour abaisser la tension à la valeur voulue, à l'appareillage qui est relativement lourd et aux moteurs qui, par HP., sont certainement plus lourds que les moteurs à courant continu et les moteurs d'induction polyphasés. Mais ces inconvénients peuvent, tout au moins dans bien des cas, être rachetés par l'économie réalisable sur la ligne.

Le système monophasé nous paraît donc destiné au plus bel avenir, car il réunit, sous sa forme actuelle, un ensemble d'avantages fondamentaux qui paraissent décisifs.

Nous ne voudrions pas terminer cette petite étude introductive sans consacrer quelques mots au système à courant continu à haute tension.

Ce système se présente sous deux formes :

1° Le système à trois conducteurs dont deux aériens et les rails comme conducteur d'équilibre, qui est appliqué depuis longtemps au tramway routier de Grenoble à Chapareillan avec une tension entre extrêmes de 1200 volts et deux moteurs de 600 volts en série ; depuis 1903 sur la ligne de St-Georges-de-Commiers à la Mure, avec une tension entre extrêmes de 2400 volts et quatre moteurs de 600 volts en série avec jonction aux rails entre le deuxième et le troisième moteur, et enfin tout dernièrement dans les expériences faites en vue de l'électrification du Métropolitain de Vienne avec une tension entre extrêmes de 3000 volts et quatre moteurs en série construits pour une tension de 750 à 1000 volts.

2° Le système ordinaire avec ligne unipolaire et retour par les rails, appliqué avec une tension de 1000 volts à la ligne de Bonn à Cologne ; avec une tension de 2000 volts, sur la ligne de Maizières à Sainte-Marie-aux-Chênes ; avec une tension de 1500-1600 volts sur la ligne de Bellinzone à Mesocco. Nous croyons savoir que certaines lignes d'essais, actuellement en constuction ou projetées, prévoient une tension de 3000 volts avec moteurs série réglés par résistances ou moteurs dérivation réglés par survolteur-dévolteur.

Le système à courant continu à haute tension peut être d'un grand intérêt pour certaines lignes de longueur moyenne et relativement peu chargées, car on peut alors profiter des avantages des moteurs à courant continu qui sont légers et on peut aussi recourir à l'emploi de batteries-tampons travaillant directement en parallèle avec les génératrices dans de bonnes conditions de rendement général. Par contre, si l'on voulait étendre ce système à des lignes de grande longueur, il faudrait en revenir à l'emploi de sous-stations de transformation et alors les courants alternatifs reprennent tous leurs droits.

Cette étude, qui n'a d'ailleurs pas la prétention d'épuiser la question, montre, en résumé, que l'on se trouve actuellement en présence de quatre systèmes de traction électrique qui sont dans l'ordre chronologique :

1° Le système à courant continu à moyenne tension avec sous-stations de transformation ;

2° Le système triphasé avec moteurs d'induction ;

3° Le système monophasé avec moteurs alternatifs à collecteurs ;

4° Le système contiuu à haute tension.

Tous quatre peuvent se défendre et méritent, dans beaucoup de cas, d'être soumis à une sérieuse étude comparative. Il faut cependant, pour des raisons qui n'ont pas besoin d'être relevées, tendre à une certaine normalisation et il semble, dans tous les cas, que, pour ce qui concerne la grosse traction, le 1er et le 4me ne peuvent pas lutter contre les deux autres.

Après une expérience de 8 années, le gouvernement italien vient, si nos renseignements sont exacts, de décider une grande extension de la traction électrique dans le Nord de l'Italie dont le réseau électrifié viendra se souder à la ligne du Simplon. C'est là un beau succès pour la traction électrique et de nature, osons l'espérer, à inciter d'autres gouvernements à entrer dans la même voie.

(A suivre).