

TRACTION ÉLECTRIQUE

L'ÉLECTRIFICATION DES CHEMINS DE FER

Rapport de M. DE VALBREUZE à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. — Mars et mai 1911.

—(Suite)—

Locomotives du Pennsylvania R^d (voies d'études). — Pendant plusieurs années, la Compagnie du Pennsylvania R^d a effectué des expériences avec divers types de locomotives à courant continu ou à courant monophasé.

Les locomotives à courant continu (1905) avaient quatre essieux moteurs formant deux bogies ; chacun d'eux était entraîné directement par un moteur électrique de 320 chevaux. Le poids total, entièrement adhérent, était de 88,5 tonnes ; l'effort de traction atteignait 17 000 kilogrammes ; la vitesse en charge était de 75 kilomètres à l'heure ; les roues motrices avaient 1^m42 de diamètre.

Les locomotives Westinghouse à courant monophasé sont établies pour une tension d'alimentation de 11 000 volts. Elles sont formées de deux moitiés accouplées comprenant chacune deux essieux moteurs et un bogie porteur ; chaque essieu moteur est entraîné directement par un moteur de 460 chevaux. Le poids total est de 138 tonnes, dont 100 tonnes de poids adhérent. L'effort de traction atteint 12 000 kilogrammes au démarrage ; la vitesse normale est de 96 kilomètres à l'heure en charge et de 120 kilomètres à vide ; les roues motrices ont 1^m82 de diamètre. L'appareillage électrique est double, ces machines devant pouvoir fonctionner aussi sur courant continu.

Locomotives du Grand Trunk R^d. — La portion électrifiée du Grand Trunk R^d a 19 kilomètres de longueur et comprend le tunnel Saint-Clair, de 1,8 kilomètre de longueur, percé sous le Détroit, entre Sarnia et Port-Huron. La ligne présente des rampes de 20 p. 1 000. On a adopté le système monophasé à 3 300 volts et 25 périodes.

La remorque des trains de voyageurs et de marchandises est assurée par des locomotives à trois essieux, accouplées par deux quand le poids dépasse 500 tonnes. Chaque essieu est entraîné par un moteur de 225 chevaux à engrenages. Une locomotive pèse 65 tonnes : deux machines accouplées, remorquant un train de 900 tonnes sur les rampes d'accès, développent ensemble un effort de traction de 23 000 kilogrammes à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure. Pour les trains de voyageurs, la vitesse atteint 56 kilomètres à l'heure au palier. Le diamètre des roues motrices est de 1^m29.

Locomotives du Great Northern R^d (1909). — La section électrifiée a une longueur d'environ 6 km. 500, dont les deux tiers en tunnel à voie unique avec fortes rampes (tunnel de la Cascade, dans les Montagnes Rocheuses). On a adopté le système triphasé avec une tension de service de 6 000 volts, que des transformateurs placés sur les locomotives abaissent à 500 volts pour l'alimentation des moteurs.

Les locomotives ont quatre essieux formant deux bogies : chaque essieu est entraîné par un moteur à engrenages. La puissance individuelle des moteurs, bobinés à 8 pôles, est de 475 chevaux avec ventilation forcée. Il n'y a qu'une vitesse dans le circuit des moteurs ; les manœuvres de réglage sont effectuées par des contacteurs.

Une locomotive pèse 105 tonnes entièrement utilisées pour

l'adhérence : elle peut fournir, au démarrage, un effort de traction de 26 000 kilogrammes : la vitesse de marche est de 24 kilomètres à l'heure ; les roues ont 1^m52 de diamètre. Normalement, on accouple entre elles trois machines pour remorquer un train de 2 000 tonnes, comprenant une locomotive compound système Mallet et des wagons de marchandises.

Avant l'électrification de la ligne, la remorque de chaque train dans le tunnel était effectuée par deux locomotives Mallet, placées en tête et en queue du convoi : la vitesse ne dépassait pas 12 kilomètres à l'heure ; la fumée et l'humidité rendaient la traversée difficile et dangereuse.

Locomotives du Détroit River Tunnel. — La portion des lignes du N. Y. C. passant en tunnel sous le Détroit est exploitée électriquement : la zone électrifiée a 10 kilomètres de longueur ; les voies y présentent des rampes de 20 p. 1 000. On a adopté le système à courant continu à 625 volts.

Les locomotives qui assurent la remorque des trains de voyageurs ou de marchandises ont quatre essieux formant deux bogies. Chaque essieu est entraîné par un moteur à pôles de commutation de 300 chevaux avec ventilation forcée : les engrenages sont doubles, l'arbre de l'induit portant une roue dentée à chacune de ses extrémités. Une locomotive pèse 90 tonnes et développe un effort de traction de 20 000 kilogrammes au démarrage : normalement deux locomotives accouplées remorquent un convoi de 1 620 tonnes à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure sur les rampes d'accès. Les circuits et les résistances de réglage ont été calculés de façon que le démarrage soit bien progressif ; on a reconnu, en effet, qu'il était indispensable d'imprimer aux trains de fort tonnage une accélération très graduée pour éviter les ruptures d'attelage dues aux secousses. La vitesse de marche en palier est de 56 kilomètres à l'heure ; les roues ont 1^m20 de diamètre.

Locomotives du Pennsylvania R^d (lignes terminus). — La ligne qui aboutit à la gare de New-York a une longueur d'environ 26,5 kilomètres et traverse environ 17 kilomètres de souterrains et de tunnels percés sous l'Hudson, l'East River et la ville de New-York. Les voies présentent de longues rampes de 15 et 20 p. 1 000. On a adopté le système à courant continu : le troisième rail, du type protégé à contact supérieur, est alimenté par trois sous-stations où des courants triphasés à haute tension sont convertis en courant continu à 650 volts.

Les locomotives, construites par la Compagnie Westinghouse, consistent chacune en deux moitiés invariablement accouplées. Chaque moitié de cette locomotive repose sur deux essieux moteurs et un bogie porteur : un moteur de 1 250 HP, placé au-dessus du châssis dans la cabine du mécanicien, actionne par bielles et manivelles un faux arbre, qui transmet, également par bielles et manivelles, le mouvement aux roues motrices couplées ensemble. Pour éviter les dégâts que pourrait produire, sur les parties mécaniques, l'effet d'un court-circuit ou d'une avarie accidentelle d'un moteur, on a interposé entre chaque induit et son arbre un embrayage à friction établi pour glisser sous un couple déterminé, supérieur au plus grand couple normal. Les moteurs sont munis de pôles de commutation, ce qui a permis d'employer avec succès la méthode de réglage de la vitesse par shuntage des inducteurs, c'est-à-dire par variation du flux.

Une locomotive double pèse 149 tonnes, dont 102 de poids adhérent. L'effort de traction au démarrage atteint 25 000

kilogrammes ; le diamètre des roues motrices est de 1^m65 ; la vitesse maxima en charge est de 96 kilomètres à l'heure.

Locomotives de la ligne du Lœtschberg. — La ligne qui va relier Berne au Simplon en passant par le tunnel du Lœtschberg sera exploitée électriquement au moyen de courant monophasé à 15 000 volts et 15 périodes. La première portion de cette ligne, de Spiez à Fruttingen, sera prochainement ouverte à l'exploitation.

La locomotive de l'A. E. G. est formée de deux moitiés identiques invariablement accouplées entre elles. Chacune d'elles a deux essieux moteurs et un essieu porteur, formant avec l'essieu moteur voisin un truck du système Krauss. Les deux essieux moteurs d'une moitié sont entraînés par un moteur de 800 chevaux : la commande est assurée par un double jeu de bielles et de manivelles et un faux arbre intermédiaire. Le moteur est disposé au-dessus du châssis, dans une cabine où sont placés, en outre, le compresseur d'air et les appareils accessoires ; cette cabine est séparée de la cabine du mécanicien. Une autre cabine, accolée à la précédente, contient les contacteurs qu'on s'est efforcé d'isoler autant que possible des autres appareils. Enfin les transformateurs, avec leurs accessoires, sont disposés dans une caisse métallique extérieure, située au-dessus de l'essieu porteur, c'est-à-dire à l'avant ou à l'arrière de la locomotive totale. Le poids d'une locomotive complète est de 93 tonnes, dont 68 sont utilisées pour l'adhérence. L'effort de traction au démarrage atteint environ 13 000 kilogrammes ; la vitesse maxima en charge est de 75 kilomètres à l'heure ; les roues motrices ont 1^m27 de diamètre.

La locomotive construite par les ateliers d'Oerlikon a deux bogies à trois essieux moteurs. Chaque bogie porte un moteur de 1 000 chevaux qui attaque par engrenages à doubles chevrons (rapport 100/325) un faux arbre intermédiaire. Celui-ci entraîne à son tour les trois essieux moteurs par l'intermédiaire de bielles et de manivelles. La machine pèse 86 tonnes, entièrement utilisées pour l'adhérence ; la vitesse maxima est de 70 kilomètres à l'heure ; les roues motrices ont 1^m35 de diamètre. L'effort de traction au démarrage est d'environ 14 000 kilogrammes.

Locomotives en construction. — Plusieurs lignes ou portions de lignes électriques, équipées avec le système monophasé, seront ouvertes à l'exploitation dans un avenir relativement rapproché, et différentes locomotives, qui leur sont destinées, sont actuellement en construction.

1° La Compagnie des chemins de fer du Midi de la France, comptant adopter plus tard la traction électrique sur certaines voies ferrées situées dans la région des Pyrénées, a décidé de commencer l'électrification de la ligne de Montréjeau à Pau et de ses embranchements. Au préalable, des expériences vont être faites avec des locomotives et des automotrices de différentes provenances (1) sur une section d'une quinzaine de kilomètres, comprise entre Marquixanes (Perpignan) et Villefranche. La voie d'essais présente un profil très dur, avec rampe presque continue de 17 p. 1 000 en moyenne et de 22 p. 1 000 au maximum. Les locomotives doivent pouvoir remorquer sur cette rampe des trains de 280 tonnes à la vitesse minima de 40 kilomètres à l'heure et des trains de 100 tonnes à la vitesse minima de 60 kilomètres à l'heure. A la descente, les moteurs électriques doivent permettre la récupération d'énergie.

(1) Chacune des firmes suivantes construit actuellement une locomotive : A. C. N. E. (Jeumont) ; A. E. G. ; Alioth ; Brown-Boveri ; Lahmeyer ; Thomson-Houston ; Westinghouse.

On a choisi le système monophasé à 12 000 volts et 16 2/3 périodes. Le fil de travail sera alimenté par des postes de transformateurs qui recevront l'énergie électrique sous une tension de 60 000 volts.

Les locomotives ont trois essieux moteurs et deux trucks Bissel. L'essieu central peut prendre un certain déplacement latéral ; les deux essieux porteurs sont rappelés à leur position normale par de forts ressorts à lames. Le jeu des différents essieux permet aux machines de passer sans difficulté dans des courbes de 160 mètres de rayon. Le poids total sera de 80 tonnes environ, et le poids adhérent de 54 tonnes. L'effort de traction à la jante au démarrage atteindra 12 500 kilogrammes.

La locomotive construite par les Ateliers Electriques de Jeumont a trois moteurs de 500 chevaux. Chacun d'eux est fixé au châssis et placé directement au-dessus d'un des essieux : il entraîne, par l'intermédiaire d'engrenages, un arbre creux accouplé aux roues par un joint universel élastique. L'essieu moteur peut se déplacer verticalement à l'intérieur de cet arbre, dont la position est invariable par rapport au châssis. Le rapport des engrenages est de 1/2,72. Les roues motrices ont 1^m40 de diamètre. Pour la récupération en pente, on fait travailler les moteurs comme générateurs en les excitant au moyen d'un courant auxiliaire convenable que produisent des enroulements spéciaux disposés sur les moteurs des compresseurs d'air : ces moteurs sont, en conséquence, construits d'une façon spéciale et constituent de véritables excitatrices d'un genre particulier.

La locomotive construite par la Compagnie Westinghouse est munie de deux moteurs de 750 chevaux qui entraînent par engrenages deux faux arbres à manivelles : ceux-ci sont reliés entre eux à chacune de leurs extrémités par une barre d'accouplement semblable à celles des machines de la Val-de-Line. L'entraînement des roues motrices est assuré par des bielles articulées et des manivelles. Le rapport des engrenages est de 47/74. Les roues motrices ont 1^m20 de diamètre. Pour la récupération en pente, on excite séparément l'un des moteurs par le transformateur de réglage, et on utilise le courant qu'il produit pour exciter le second moteur, lequel fonctionne alors comme générateur.

La locomotive construite par l'A. E. G. a deux moteurs de 800 chevaux placés dans la cabine du mécanicien. Ceux-ci entraînent les roues par un double jeu de bielles et de manivelles, avec deux faux arbres intermédiaires, d'après la disposition habituelle. Les roues motrices ont 1^m31 de diamètre.

Les autres locomotives sont également établies avec deux moteurs qui commandent les roues par l'intermédiaire d'un double système de bielles et de manivelles.

2° L'administration des chemins de fer de l'Etat prussien a décidé aussi de poursuivre des essais de traction monophasée sur la ligne de Dessau à Bitterfeld, avec une tension d'alimentation de 10 000 volts et une fréquence de 15 périodes par seconde.

Deux types de locomotives seront expérimentés, l'un destiné aux trains de voyageurs, et l'autre aux trains de marchandises.

La locomotive des trains de voyageurs a deux essieux moteurs, un bogie porteur à l'avant, et un essieu porteur à l'arrière. Les deux essieux couplés sont commandés par un moteur unique de 1 000 chevaux placé dans la cabine du mécanicien au-dessus du milieu de l'intervalle existant entre eux ; l'entraînement est assuré par un double jeu de bielles et manivelles, avec faux arbre intermédiaire disposé entre les deux essieux. La locomotive pèsera 60 tonnes dont 28 tonnes

de poids adhérent ; l'effort de traction maximum à la jante des roues sera de 5 000 kilogrammes ; la vitesse maxima atteindra 130 kilomètres à l'heure ; les roues motrices ont 1^m60 de diamètre.

La locomotive de trains de marchandises est établie avec quatre essieux couplés qu'entraîne un faux arbre situé au milieu de la machine. Deux bielles inclinées relient ce faux arbre à un moteur de 600 ou 800 chevaux disposé sur le châssis à 1^m40 en arrière du milieu : cette disposition a été choisie en vue d'obtenir une répartition favorable du poids des différentes parties de l'équipement électrique. La locomotive pèsera environ 56 tonnes ; l'effort de traction maximum à la jante atteindra 9 000 kilog. ; la vitesse maxima sera d'environ 60 kilomètres à l'heure ; les roues motrices ont 1^m05 de diamètre.

D'autres projets de locomotives électriques ont été établis pour les chemins de fer de l'Etat prussien : l'un d'eux prévoit l'emploi d'un seul moteur de 1 800 chevaux ; l'autre, l'emploi de deux moteurs de 1 200 chevaux. Le réglage de la vitesse serait obtenu par décalage des balais, ce qui simplifierait l'équipement électrique.

3° Sur les chemins de fer badois, la ligne de la Wiesenthal, qui relie Bâle à Schopfheim, Säckingen et Zell (50 kilomètres) sera prochainement exploitée avec des locomotives électriques de différentes provenances. On a adopté le système monophasé à 10 000 volts.

Les machines construites par la Société Siemens-Schuckert ont trois essieux moteurs et deux essieux porteurs, qui peuvent effectuer un déplacement latéral de 40 millimètres de part et d'autre de leur position moyenne. Deux moteurs de 475 chevaux sont placés aux extrémités du châssis, surbaissés à cet effet : ils entraînent, par deux paires de bielles obliques, deux faux arbres à manivelles, accouplés aux trois essieux moteurs. La locomotive pèse environ 69 tonnes, dont 42 tonnes de poids adhérent ; l'effort de traction maximum à la jante est de 8 000 kilogrammes ; la vitesse maxima en charge est de 74 kilomètres à l'heure ; les roues ont un diamètre de 1^m20.

4° Les chemins de fer suédois, après les diverses expériences faites de 1905 à 1908, ont décidé l'électrification d'un certain nombre de lignes.

La première qui sera livrée à l'exploitation est la ligne de Nottoden à Tinoset (46 kilomètres) : elle fonctionnera avec du courant monophasé à 10 000 volts et 15 périodes. Les locomotives A. E. G. auront deux bogies à deux essieux ; chaque essieu sera entraîné par un moteur de 125 chevaux à engrenages. On accouplera deux locomotives pour la remorque des trains lourds.

La deuxième ligne, dont l'électrification est décidée, traverse la Laponie.

La troisième relie Kiruna à Riksgränsen et présente une longueur de 129 kilomètres. Elle sert au transport du minerai de fer, et le trafic y est particulièrement important ; les conditions d'exploitation sont rendues difficiles par la présence d'un tunnel assez long où la voie présente une rampe de 10 p. 1 000 avec des courbes de 500 mètres de rayon. Actuellement, le service est assuré par des convois de 28 wagons remorqués chacun par deux puissantes locomotives à vapeur ; la vitesse maxima ne dépasse pas 40 kilomètres à l'heure en palier et 12 kilomètres à l'heure sur la rampe. Avec la traction électrique, chaque convoi comprendra 40 wagons de minerai et pèsera 2 050 tonnes : la propulsion sera assurée par deux locomotives électriques capables de développer ensemble un effort de traction de 32 000 kilogrammes. La vitesse

ne devra pas être inférieure à 50 kilomètres à l'heure en palier et 30 kilomètres à l'heure en rampe.

On a choisi le système monophasé à 15 000 volts et 15 périodes. L'énergie électrique sera engendrée par une usine hydroélectrique située à 120 kilomètres au sud de Kiruna ; elle sera transmise, sous une tension de 80 000 V., à quatre postes de transformateurs qui alimenteront la ligne de travail.

Les locomotives Siemens-Schuckert seront de deux types. Pour la remorque des trains de marchandises, elles seront formées de deux moitiés invariablement accouplées ensemble : chaque moitié aura trois essieux moteurs entraînés, par bielles et manivelles, par un moteur de 1 000 à 1 200 chevaux placé dans la cabine : une machine complète pèsera 100 tonnes, entièrement utilisées pour l'adhérence (six essieux). Pour le service des voyageurs (200 tonnes), les locomotives auront deux essieux moteurs et deux bogies porteurs ; un seul moteur de 1 000 à 1 200 chevaux entraînera les deux essieux par bielles et manivelles : une machine pèsera 70 tonnes et aura une vitesse maxima de 100 kilomètres à l'heure.

Le gouvernement suédois a projeté également d'établir une nouvelle ligne électrique de Gellivare à Porjus (54 kilomètres) : Gellivare est une station de la ligne Lulea-Kiruna-Riksgränsen.

(A suivre)

ACADÉMIE DES SCIENCES

PHYSIQUE

Modifications que subissent les aciers au nickel par l'effet de chauffés prolongées ou sous l'action du temps.
Note de M. CH. ED. GUILLAUME.

L'étude des modifications que subissent les aciers au nickel par l'effet prolongé de températures diverses est intéressante tant pour aider à connaître les transformations qui confèrent à ces alliages leurs singulières propriétés, que pour servir de guide à leur emploi rationnel dans un grand nombre d'opérations de la métrologie pratique.

Les recherches que l'auteur a poursuivies ont porté à la fois sur les dimensions de barres de diverses teneurs en nickel et sur les formules de dilatation après des chauffés systématiques ou des repos prolongés.

Changements de dimensions. — Les aciers au nickel éprouvent, dans le cours du temps, des variations de volume d'allure exponentielle, positives pour des teneurs comprises entre 28 et 42 % Ni environ, négatives au-delà, jusqu'à une teneur de 70 %, où elles deviennent inappréciables.

Les changements qu'on observe sont dus probablement à la superposition de deux variations de sens contraire, dont l'une ou l'autre est prépondérante suivant la teneur ; vers 42 pour 100, ces variations annulent réciproquement leurs effets.

La chauffe accélère les transformations mises en évidence par les changements de dimensions des barres, et réduit l'amplitude des modifications subséquentes. Le diagramme ci-contre, donné à titre d'exemple, représente, par la courbe supérieure, les variations constatées pendant une durée totale de 4 500 jours sur une barre d'invar (alliage à 35-36 pour 100 Ni) simplement refroidie à l'air à partir du forgeage au rouge, et maintenue ensuite presque constamment au-dessous de 20° ; et par la courbe inférieure, les changements constatés dans une barre semblable, préalablement réchauffée à 150°, et refroidie en 50 jours jusqu'à 40°. D'autres expériences ont montré qu'une barre du même alliage, maintenue en outre pendant quelques semaines à 25°, s'allonge ultérieurement suivant la même courbe, mais en partant du point dont les coordonnées sont 100 jours 3 μ .

Une courbe à très peu près identique a été retrouvée pour des barres trempées ou étirées, et même pour des fils conservés à la