

Titre : La Traction électrique aux États-Unis de 1920 à 1926

Auteur : Japiot, Marcel

Mots-clés : Locomotives électriques\*Etats-Unis\*1900-1945 ; Chemins de fer\*Électrification

Description : 1 vol. (224 p. : ill. en noir et blanc ; 2 dépl.) ; 23 cm

Adresse : Paris : Dunod, 1927

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 8 Le 570

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8LE570>

LA  
TRACTION ÉLECTRIQUE  
AUX ÉTATS-UNIS  
**DE 1920 A 1926**

TOURS. — IMPRIMERIE RENÉ ET PAUL DESLIS

8°-Le 570

LA  
**TRACTION ÉLECTRIQUE**  
AUX ÉTATS-UNIS  
**DE 1920 A 1926**

PAR

**Mr. Marcel JAPIOT,**  
Ancien Ingénieur au Corps des Mines,  
Ingénieur en Chef adjoint du Matériel  
et de la Traction des Chemins de fer P.-L.-M.

(Extrait des ANNALES DES MINES, livraisons de Juillet, Août  
et Septembre 1927.)



PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

1927



LA

**TRACTION ÉLECTRIQUE**

**AUX ÉTATS-UNIS**

**DE 1920 A 1926**

---

Dans le mémoire que nous avons présenté en 1920-1921, en collaboration avec M. Ferrand (\*), nous avons décrit les principales installations de traction électrique existant à cette époque aux États-Unis, d'après les renseignements recueillis soit au cours de notre voyage de 1919, soit ultérieurement, en 1920 et 1921, auprès des ingénieurs américains avec lesquels nous sommes restés en relations.

Un nouveau voyage, effectué en 1926, nous a permis de nous documenter sur les installations exécutées depuis lors, et sur les modifications ou additions apportées aux installations antérieures. Nous nous proposons donc de faire connaître, dans le présent mémoire, *les progrès réalisés aux États-Unis, de 1920 à 1926, en matière de traction électrique sur les grandes lignes de chemins de fer.*

L'électrification la plus importante qui ait été exécutée durant cette période est sans contredit celle du *Virginian Railway*, où l'on a adopté le *système mono-*

---

(\*) *La traction électrique aux États-Unis*, par MM. Marcel JAPIOT et A. FERRAND, Dunod, éditeur, Paris 1921. — (Extrait des *Annales des Mines*, livraisons d'octobre 1920 à mars 1921).

*triphase*, en profitant de l'expérience acquise sur la ligne du *Norfolk and Western Railway*, desservant les mêmes régions (\*). Ces deux réseaux ont d'ailleurs des intérêts communs, que l'on aurait voulu sanctionner par une fusion complète, en vue d'aboutir à une exploitation plus rationnelle et plus économique de l'ensemble, mais cette tentative n'a pu aboutir jusqu'à présent. Quoi qu'il en soit, et en dehors de ce désir d'unification, le système monotriphasé a été adopté sur le *Virginian Railway* pour les mêmes motifs que sur le *Norfolk and Western*: nécessité d'une tension très élevée sur la ligne de contact en raison du poids formidable des trains, les plus lourds d'Amérique (d'où l'utilisation d'une ligne aérienne monophasée), et, par contre, désir d'employer des moteurs plus robustes que les moteurs monophasés, et se prêtant plus facilement au freinage électrique par récupération sur les longues pentes (d'où le choix des moteurs triphasés).

C'est également dans le but de conserver la ligne de contact à tension très élevée du système monophasé, tout en utilisant des moteurs particulièrement robustes, que l'on a adopté récemment, sur divers réseaux des États-Unis, une autre variante, que l'on pourrait appeler le *système monophasé-continu*. Dans ce système, le courant monophasé recueilli sur la ligne de prise de courant est transformé, sur la locomotive même, non plus en courant triphasé comme dans le système précédent, mais en courant continu utilisé dans des moteurs de traction du type série ordinaire, à basse tension. Ce système a d'abord été expérimenté sur la ligne du *Detroit, Toledo and Ironton*, acquise par Mr. Ford, le célèbre constructeur d'automobiles. Ce même système a

---

(\*) Sur l'installation monotriphasée du *Norfolk and Western Railway*, voir notre mémoire antérieur, p. 174 à 234.

ensuite été adopté pour quelques locomotives mises en service sur les lignes monophasées du *New-York, New-Haven and Hartford Railroad*. Il vient enfin d'être employé pour les locomotives destinées à l'extension de l'électrification du *Great Northern Railway*, à la traversée de la Cascade Range.

Par contre, le *Pennsylvania Railroad*, qui avait construit une locomotive monotriphasée à titre d'essai (\*), paraît vouloir s'en tenir au *système monophasé* pour ses projets d'électrification de la grande ligne de New-York à Washington.

Pour en terminer avec le système monophasé, nous ajouterons que le *Pennsylvania* a étendu son électrification au moyen d'automotrices monophasées dans la banlieue de Philadelphie. Le *New-York, New-Haven and Hartford* a également électrifé en monophasé un nouvel embranchement relié à sa ligne principale de New-York à New-Haven; il a, d'autre part, augmenté le parc des locomotives monophasées de sa grande ligne avant de faire l'essai de locomotives du système monophasé continu.

Parmi les nouvelles installations de traction électrique réalisées depuis 1920, la plus importante après celle du *Virginian Railway* est l'électrification exécutée par l'*Illinois Central* au départ de Chicago; bien que la traction électrique ne soit utilisée pour l'instant que pour les trains de banlieue, constitués par des automotrices et des remorques, les installations n'en ont pas moins été conçues en vue de supprimer graduellement la traction à vapeur pour tous les trains (trains express et trains de marchandises), dans une zone assez étendue, au sud de Chicago. L'électrification actuelle n'est donc que l'amorce d'une exploitation électrique très importante, devant

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 235 à 255.

comporter l'emploi de locomotives puissantes, soit pour les trains à grande vitesse, soit pour les trains lourds de marchandises. Le choix s'est ici porté sur le *courant continu à haute tension*, et cette tension a été fixée, comme en France, à 1.500 volts ; en écartant l'emploi de tensions plus élevées, on a tenu compte, notamment, de l'importance considérable du parc d'automotrices à prévoir pour le service de la banlieue de Chicago.

C'est d'ailleurs la seule électrification qui ait été réalisée aux États-Unis, depuis 1920, en courant continu à haute tension : le Chicago, Milwaukee and St-Paul Railway, ayant traversé depuis lors de graves difficultés financières, n'a pu étendre, comme il l'avait projeté, son électrification à 3.000 volts, qui est restée telle que nous l'avons décrite dans notre mémoire antérieur (\*). L'installation primitive à 2.400 volts du Butte, Anaconda and Pacific Railway n'a pas non plus subi de modifications (\*\*). On sait, par contre, que le courant continu à 3.000 et à 1.500 volts a été utilisé, depuis lors, pour de nombreuses installations de traction électrique en dehors des États-Unis.

Le *courant continu à basse tension*, avec prise de courant sur troisième rail, a été adopté pour plusieurs électrifications de lignes de banlieue : l'installation la plus importante de ce genre réalisée depuis 1920 est celle des lignes de *Staten Island*, près de New-York, exploitées par le Baltimore and Ohio.

En résumé, il ne faut pas chercher aux États-Unis, pas plus actuellement qu'en 1920, *la moindre tendance à l'unification* en matière de traction électrique : chaque électrification est étudiée en elle-même, et envisagée

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 284 à 330.

(\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 256 à 284.

comme un *cas d'espèce*. On ne doit donc pas s'étonner de la *diversité des solutions adoptées*, puisque cette diversité découle fatalement de la grande variété des problèmes à résoudre. L'unification ne pourrait résulter que d'un *compromis*, dont la nécessité ne s'est pas imposée jusqu'ici : chacun a voulu choisir la solution qui apparaît *la meilleure* dans son propre domaine, sans sacrifier aucun de ses avantages aux convenances éventuelles de ses voisins, dans un but d'unification dont personne n'a encore éprouvé le besoin. Il est vraisemblable qu'il continuera à en être ainsi, tant que les lignes électrifiées resteront isolées les unes des autres (\*), c'est-à-dire tant que l'électrification n'aura pas pris une extension beaucoup plus considérable ; car, malgré l'importance des lignes américaines électrifiées, elles ne représentent encore qu'une bien petite portion de l'immense réseau ferré des États-Unis.

Nous avons signalé, dans notre mémoire antérieur, le grand développement pris aux États-Unis par les *sous-stations automatiques* pour l'électrification des lignes urbaines ou suburbaines à courant continu (\*\*). Mais, à cette époque, ce type de sous-station n'avait pas encore fait son apparition sur les grandes lignes de chemins de fer. Il n'en est plus de même aujourd'hui : dès 1923, le *New-York Central* a installé une première sous-station du type semi-automatique ; cet essai a bientôt été étendu

---

(\*) Les seules liaisons existant actuellement entre lignes importantes électrifiées suivant des systèmes différents sont celles du réseau monophasé du New-York, New-Haven and Hartford, avec les lignes à courant continu à basse tension (troisième rail) du New-York Central et du Pennsylvania aux abords de New-York. On sait que, grâce à des complications qui sont bien loin d'être négligeables, les locomotives monophasées du New-York, New-Haven and Hartford peuvent fonctionner en courant continu sur les lignes des réseaux voisins, équipées avec le troisième rail.

(\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 14.

à deux autres sous-stations, et les études se poursuivaient en 1926 pour une nouvelle extension de ce système. En outre, des sous-stations entièrement automatiques, avec contrôle à distance, ont été installées en 1925 pour l'électrification des lignes de *Staten Island*.

Après avoir ainsi donné un aperçu général des questions qui feront l'objet du présent mémoire, il nous reste à indiquer l'ordre que nous adopterons pour les exposer en détail.

Pour les installations à *courant continu*, nous étudierons d'abord les modifications introduites dans l'électrification du *New-York Central* : sous-stations semi-automatiques, et nouveaux types de locomotives. A ce chapitre se reliera tout naturellement la description des sous-stations automatiques installées sur les lignes de *Staten Island*. Puis nous passerons à l'électrification de l'*Illinois Central* en courant continu à 1.500 volts.

Nous examinerons ensuite les changements survenus dans les installations du *Pennsylvania Railroad*, soit à courant continu (zone de New-York), soit surtout à *courant monophasé* (zone de Philadelphie).

En ce qui concerne le *système monotriphasé*, nous commencerons par indiquer les progrès réalisés sur la première installation de ce genre, celle du *Norfolk and Western Railway*, puis nous décrirons l'électrification du *Virginian Railway*.

Nous terminerons par les applications du *système monophasé-continu*, qui a fait son apparition le dernier, d'abord sur le *Detroit, Toledo and Ironton*, puis sur le *New-York, New-Haven and Hartford Railroad*, et enfin sur le *Great Northern Railway*.

## PREMIÈRE PARTIE.

### NEW-YORK CENTRAL RAILROAD.

Aucune extension n'a été apportée, depuis 1920, à l'électrification du New-York Central, telle que nous l'avons décrite dans notre mémoire antérieur (\*); mais cette extension sera réalisée à bref délai, en vue de la suppression de toute traction à vapeur dans la partie de la ville de New-York comprise dans l'île de Manhattan.

Jusqu'ici, cette suppression n'a été réalisée, en ce qui concerne le New-York Central, que pour les *trains de voyageurs* pénétrant jusqu'au terminus de Grand Central Station par le tunnel de Park Avenue. Mais la traction à vapeur a été conservée sur la ligne dite « West Side » (voir *fig. 1*), qui se détache de la ligne principale (Hudson Division) à Spuyten Duyvil, sur la Harlem River, pour longer la rive de l'Hudson, dont elle dessert les quais jusqu'à Canal Street. Cette ligne est d'ailleurs empruntée exclusivement par les *trains de marchandises*, dont la formation est remaniée dans une gare située à la 72<sup>e</sup> rue, pour constituer des rames à destination des quais ou des embranchements industriels; dans la partie sud, les voies du New-York Central sont posées sur les chaussées des rues, où la circulation simultanée des trains et des camions devient de plus en plus difficile à mesure qu'augmente le trafic du port de New-York. Aussi a-t-on mis à l'étude, depuis longtemps déjà, l'installation des

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 16 et suivantes.

On a toutefois électrifié, en 1926, une section de 11 kilomètres sur la division de Putnam, pour le service des trains automoteurs de banlieue entre Sedgwick Avenue (New-York) et Yonkers.

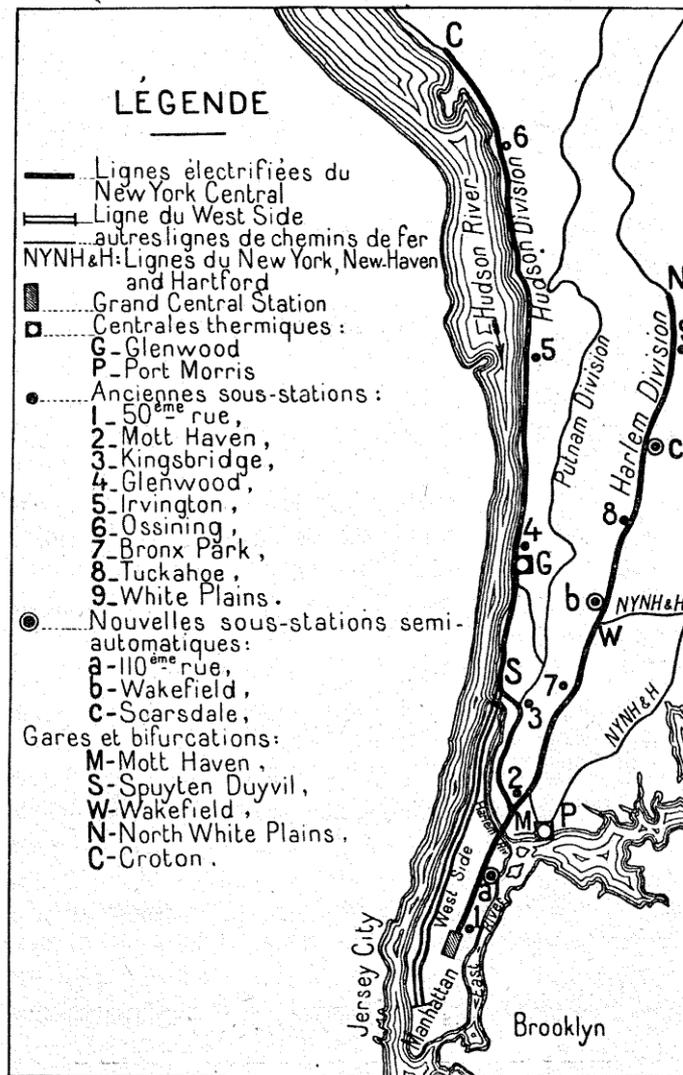


FIG. 1. — New-York Central Railroad : carte des lignes électrifiées.

voies ferrées sur une plate-forme indépendante : des projets ont été présentés, soit avec voies sur viaduc, soit avec voies en tunnel, mais aucune décision n'est encore intervenue à ce sujet.

Afin de pouvoir supprimer néanmoins la traction à vapeur sur le « West Side », dans l'état actuel des voies, on a arrêté le programme suivant : dans une première étape, qui serait entreprise prochainement, on électrifierait la ligne depuis la bifurcation de Spuyten Duyvil jusqu'à la gare de la 72<sup>e</sup> rue, section sur laquelle les voies ferrées sont installées sur une plate-forme indépendante des chaussées des rues. Au delà, et notamment sur la partie où les voies empruntent les chaussées, la traction des rames serait assurée au moyen de *locomotives Diesel-électriques*, dont quelques unités ont déjà été construites à titre d'essai : l'électrification de cette dernière portion ne serait entreprise qu'au moment où les voies seraient réinstallées soit sur viaduc, soit en souterrain, suivant la décision qui interviendra.

En dehors de l'électrification du West Side, le New-York Central a mis à l'étude un autre projet concernant la *région de Cleveland*, où les remaniements projetés pour les gares et les voies entraîneraient l'adoption de la traction électrique. Dans un premier projet, on a prévu une électrification strictement limitée au minimum, c'est-à-dire à la traversée de la ville et à quelques kilomètres de part et d'autre. Dans un second projet, on a examiné l'opportunité de profiter de cette occasion pour étendre l'électrification à une division entière, avec utilisation du courant continu à 1.500 volts. Aucune décision n'avait encore été prise lors de notre dernier passage à New-York : nous croyons par suite inutile de nous étendre davantage sur ces projets.

Nous nous bornerons donc, dans ce qui va suivre, à étudier les mesures prises pour faire face au *développe-*

*ment du trafic* dans la zone antérieurement électrifiée : on a été conduit, dans ce but, à renforcer les installations pour l'alimentation du réseau et la distribution du courant, et d'autre part à augmenter le parc des locomotives électriques.

Au point de vue de la *production d'énergie*, on s'est contenté de substituer, dans la centrale de Port-Morris, un second groupe turbo-alternateur de 20.000 kilowatts à axe horizontal à l'un des anciens groupes verticaux de 5.000 kilowatts.

Pour l'amélioration de la *distribution*, on a installé trois nouvelles *sous-stations*, pour lesquelles on a choisi le type *semi-automatique* : cette application étant la première de ce genre pour la traction électrique sur un grand réseau de chemin de fer, nous la décrirons avec quelques détails.

Nous signalerons ensuite les particularités que présentent les nouvelles *locomotives électriques à grande vitesse* mises en construction pour renforcer le parc antérieur.

On sait, en effet, que la traction électrique n'était employée jusqu'ici que pour les *trains de voyageurs* (automotrices pour les trains de banlieue, et locomotives à grande vitesse pour les trains de grand parcours), mais que le service des marchandises et celui des manœuvres de gare continuaient à être assurés par des locomotives à vapeur dans la partie de la zone électrifiée située au nord de la Harlem River, c'est-à-dire en dehors des limites de Manhattan.

En raison de l'électrification prochaine de la ligne à marchandises du West Side, on a décidé d'étendre progressivement la traction électrique aux *trains de marchandises* et au *service des manœuvres* dans la zone antérieurement électrifiée : les premières locomotives électriques construites dans ce but ont été mises en

service en 1926, et c'est par leur description que nous terminerons notre exposé concernant le New-York Central.

#### **Sous-stations semi-automatiques.**

Jusqu'en 1922, la section comprise entre le terminus de Grand Central Station et la bifurcation de Mott Haven n'était desservie que par les deux sous-stations n<sup>os</sup> 1 et 2 (voir *fig. 4*), situées respectivement aux points kilométriques 0,6 et 8,9, la première à hauteur de la 50<sup>e</sup> rue, à la sortie de la gare terminus, et l'autre à la bifurcation de Mott Haven. Ce tronç commun à quatre voies reçoit simultanément les trains du New-York Central venant de Croton (Hudson Division) et de North White Plains (Harlem Division), ainsi que ceux du New-York, New-Haven and Hartford pénétrant sur la Harlem Division à la bifurcation de Wakefield. Aux heures d'affluence, le service sur cette section était tellement dense que *la tension sur le troisième rail, normalement fixée à 666 volts, tombait parfois jusqu'à 400 volts* vers le milieu de l'intervalle de 8<sup>km</sup>,3 séparant les deux sous-stations : une pareille chute de tension réduisait notablement la vitesse des trains, au moment où il était au contraire le plus intéressant de maintenir à la ligne son débit maximum.

Comme la puissance des sous-stations n<sup>os</sup> 1 et 2 restait néanmoins suffisante pour faire face au trafic le plus intense, on aurait pu parer à cette chute de tension en installant de nouveaux feeders pour alimenter le troisième rail dans l'intervalle séparant ces deux sous-stations : l'amélioration que l'on aurait ainsi réalisée, même au prix d'une dépense considérable, n'a pas semblé suffisante, et il fut décidé d'installer une *sous-station intermédiaire, destinée à maintenir la tension sur le troisième rail à*

*son taux normal vers le milieu de la section considérée.*

Étant donné le rôle ainsi assigné à cette nouvelle sous-station, on avait songé tout naturellement à la construire sur le type entièrement automatique. On a estimé toutefois que *son intervention pourrait être limitée aux heures de pointes*, connues à l'avance, et que, pour les autres périodes de la journée, le service serait assuré dans des conditions acceptables avec les seules sous-stations antérieures. Dans ces conditions, l'automatisme de la mise en route (ou hors service) de la nouvelle sous-station perdait tout intérêt, et il devenait possible de faire exécuter ces opérations à distance, à des heures déterminées, depuis l'une des sous-stations voisines : c'est ainsi qu'on en est arrivé à la conception de la *sous-station semi-automatique, commandée à distance*.

La nouvelle sous-station est placée à hauteur de la 110<sup>e</sup> rue, à 4<sup>km</sup>,9 de la sous-station n° 1, et à 3<sup>km</sup>,4 de la sous-station n° 2, près du point où les voies émergent du tunnel de Park Avenue pour passer en viaduc ; elle a été installée sous le viaduc même.

En raison de l'importance considérable des écarts de tension auxquels il s'agissait de parer, on ne pouvait songer à utiliser dans ce but de simples commutatrices, et l'on a dû recourir à des *groupes moteurs-générateurs*, avec génératrices à excitation shunt, comportant une marge de réglage bien supérieure à celle des commutatrices. L'adoption de groupes moteurs-générateurs a d'ailleurs permis de supprimer les transformateurs qui eussent été nécessaires pour des commutatrices, les moteurs synchrones pouvant être branchés directement sur le réseau alternatif à 11.000 volts (\*).

---

(\*) Il existe toutefois dans cette sous-station, comme nous le verrons plus loin, un autotransformateur fournissant du courant à 4.400 volts pendant la période du démarrage des groupes.

La sous-station, installée en 1923 avec un seul groupe, comporte maintenant deux groupes moteurs-générateurs de 2.000 kilowatts, pouvant supporter une surcharge de 50 p. 100 pendant deux heures, et de 100 p. 100 pour des pointes momentanées. La *mise en route* se fait simplement en fermant un interrupteur dans la sous-station de Mott Haven (n° 2), située à 3<sup>km</sup>,4 de distance. Cette manœuvre ferme le circuit d'un petit moteur situé dans la sous-station de la 110<sup>e</sup> rue, lequel actionne un *commutateur à tambour*, donnant successivement toutes les connexions voulues, dans les circuits de contrôle locaux, pour effectuer la *mise en route automatique des groupes* :

— branchement du moteur principal I (voir *fig. 2*) sur les barres omnibus de démarrage (par la fermeture de l'interrupteur à huile C) ;

— alimentation de ces barres à la tension réduite de 4.400 volts par un autotransformateur D (fermeture de l'interrupteur à huile B), jusqu'à ce que le moteur I atteigne une vitesse voisine du synchronisme ;

— branchement direct du moteur I sur les barres omnibus à 11.000 volts (fermeture de l'interrupteur à huile F), avec mise hors circuit de l'autotransformateur de démarrage (ouverture des interrupteurs à huile B et C), et fermeture du circuit d'excitation du moteur I par l'excitatrice M placée en bout d'arbre (fermeture de l'interrupteur K, sous la dépendance du relais de synchronisme J).

Pendant ce temps, la tension aux bornes de la génératrice shunt (*m*) a, augmenté progressivement avec la vitesse. Dès que cette tension dépasse légèrement celle de la barre omnibus positive à courant continu (reliée au troisième rail), un relais de tension, dit relais d'équilibre, branche la génératrice sur la barre omnibus (fermeture du contacteur *d*) : ceci n'a lieu qu'autant que la polarité

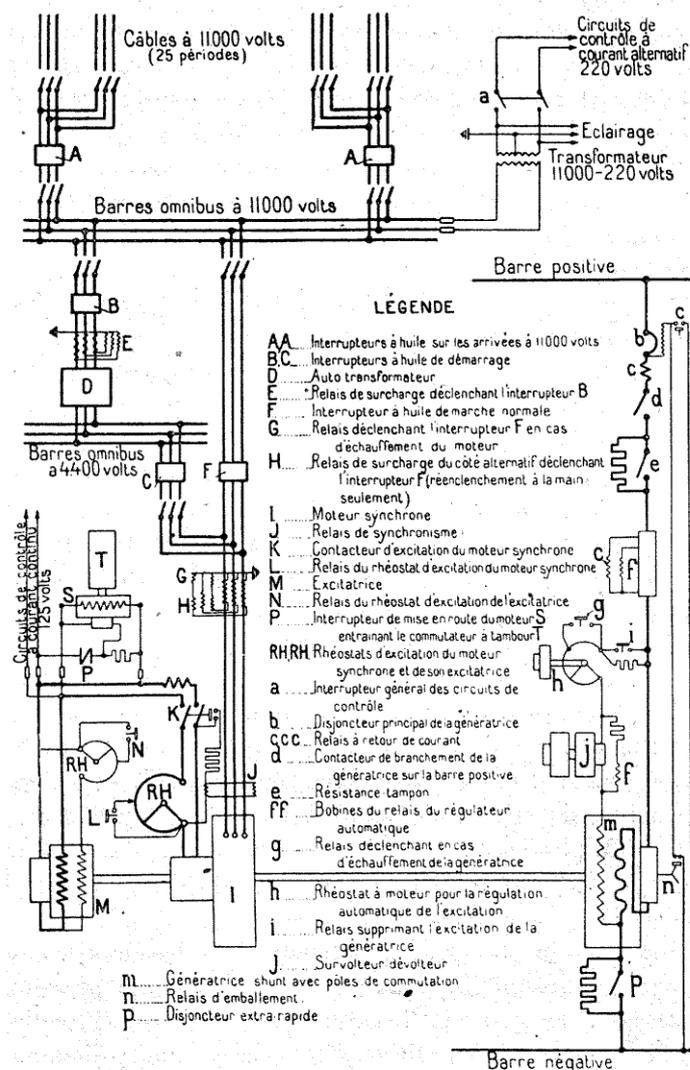


FIG. 2. — New-York Central Railroad : sous-station semi-automatique de la 110<sup>e</sup> rue.

de la génératrice est convenable, condition contrôlée par un relais polarisé inséré dans le circuit (\*).

A ce moment, le commutateur de mise en route a terminé son rôle, et son petit moteur s'arrête ; dès lors, un *régulateur automatique* est inséré dans le circuit d'excitation de la génératrice *m*. Ce régulateur est constitué par un groupe survolteur-dévolteur (*j*) de 5 kilowatts, et par un rhéostat entraîné par un petit moteur (*h*). Cet ensemble est commandé par de multiples relais, qui ont pour but de réaliser les conditions suivantes. Tout d'abord, ce régulateur maintient automatiquement la tension aux bornes de la génératrice à la valeur constante de 700 volts, depuis la marche à vide jusqu'à 150 p. 100 de la charge normale. Dès que la surcharge dépasse 50 p. 100, le régulateur intervient pour abaisser la tension de façon à ramener la charge à 150 p. 100 de la normale. Comme nous l'avons dit plus haut, les génératrices peuvent supporter sans inconvénients cette surcharge de 50 p. 100 pendant deux heures ; si la surcharge se prolonge, et que l'échauffement de la machine dépasse la limite préalablement fixée, un relais thermique (dont l'élément actif est placé dans une bobine des pôles de commutation de la génératrice) actionne le régulateur, qui abaisse la tension jusqu'à ce que la charge soit ramenée au taux normal. Si l'échauffement subsiste néanmoins, un autre relais thermique met la génératrice hors-circuit.

Chaque génératrice est protégée contre les surcharges exceptionnelles (par exemple en cas de court-circuit sur le troisième rail) par un disjoncteur extra-rapide (*p*) installé sur le côté négatif. En cas de court-circuit, ce disjoncteur, réglé pour 5.000 ampères, s'ouvre instantané-

---

(\*) Afin de ne pas surcharger la *fig. 2*, les circuits du relais d'équilibre et du relais polarisé actionnant le contacteur *d* n'ont pas été représentés.

ment, en intercalant dans le circuit de la machine une forte résistance qui limite immédiatement son débit; puis un disjoncteur ordinaire (*b*), placé du côté positif, s'ouvre à son tour pour mettre la machine hors-circuit.

Un relais spécial provoque également la mise hors-circuit de la génératrice en cas d'inversion du courant. En pareil cas, le système disjoncteur est refermé automatiquement après un certain délai, à condition toutefois que la tension aux bornes de la génératrice soit alors supérieure à celle de la barre omnibus.

D'autres relais mettent les groupes hors service, soit en cas d'emballement, soit en cas de chauffage des paliers, soit en cas de défaut d'équilibre prolongé et important entre les phases du moteur, soit en cas d'échauffement exagéré des enroulements du moteur; dans ce dernier cas, le groupe repart automatiquement dès que l'échauffement a disparu.

En cas de surcharge prolongée sur le côté triphasé des machines, les groupes sont définitivement mis hors circuit par un relais à action différée, et ne peuvent alors repartir automatiquement; il est nécessaire qu'un électricien vienne à la sous-station pour refermer à la main les circuits, si rien ne s'y oppose.

C'est le seul cas où cette intervention sur place soit nécessaire pour rétablir le fonctionnement automatique à la suite d'un incident; pour le surplus, la marche de la sous-station de la 110<sup>e</sup> rue est simplement surveillée par l'électricien de service à Mott Haven (sous-station n° 2), d'après les indications d'un ampèremètre à cadran et d'un ampèremètre enregistreur, qui lui permettent de connaître à chaque instant le courant débité par les génératrices de la sous-station automatique. Si cet électricien constate, d'après ces ampèremètres, une anomalie de fonctionnement, il peut manœuvrer son interrupteur pour mettre la sous-station hors-circuit, ainsi qu'il le fait

normalement lorsque le concours de cette sous-station devient inutile ; la manœuvre de l'interrupteur à Mott Haven provoque, dans la sous-station automatique, l'ouverture de tous les circuits dans un ordre déterminé, et le retour en arrière du commutateur de démarrage (\*).

La sous-station de la 110<sup>e</sup> rue fonctionne en principe de 6<sup>h</sup>,30 à 10<sup>h</sup>,30 du matin, et de 4<sup>h</sup>,30 à 6<sup>h</sup>,30 du soir, c'est-à-dire seulement pendant les heures de trafic intense ; elle permet de parer dans d'excellentes conditions aux surcharges les plus importantes, puisque, grâce à elle, la tension sur le troisième rail au droit de ladite sous-station ne tombe jamais au-dessous de 600 volts aux moments où le service est le plus chargé, alors qu'elle s'abaissait auparavant jusque vers 400 volts, comme nous l'avons dit plus haut.

Aussi le succès de cette installation a-t-il conduit le New-York Central à étendre l'application de ce système : *deux nouvelles sous-stations semi-automatiques, commandées à distance*, ont été installées en 1925 sur la section de Mott Haven à North White Plains (Harlem Division), et l'on compte réaliser en 1927 la même amélioration sur la section de Mott Haven à Croton (Hudson Division).

L'une des nouvelles sous-stations de la Harlem Division est installée à Wakefield, entre les sous-stations nos 7 et 8, près de la bifurcation du New-York, New-Haven and Hartford (voir *fig. 1*). En ce point, à cause de la réunion du trafic de ces deux lignes, les conditions étaient analogues à celles qui existaient entre les sous-

---

(\*) Nous arrêtons là notre description de la sous-station de la 110<sup>e</sup> rue afin de ne pas surcharger notre exposé ; pour de plus amples détails sur les appareils, le schéma des circuits, etc..., on pourra se reporter au mémoire paru dans l'*Electric Railway Journal* du 26 mai 1923, en observant toutefois qu'à cette époque la sous-station ne comportait qu'un seul groupe.

stations n<sup>os</sup> 1 et 2, avec des baisses de tension cependant moins considérables. On a donc adopté la même solution qu'à la 110<sup>e</sup> rue, en se bornant toutefois à installer un seul groupe moteur-générateur de 2.000 kilowatts.

L'autre sous-station semi-automatique se trouve à Scarsdale, entre les sous-stations n<sup>os</sup> 8 et 9. Le problème était ici assez différent : les écarts de tension étaient moindres, tandis que la puissance des sous-stations encastrantes, inférieure à celle des sous-stations précédemment considérées, devenait insuffisante pour faire face au trafic. Cette double considération a conduit à installer à Scarsdale, non plus des groupes moteurs-générateurs comme à la 110<sup>e</sup> rue et à Wakefield, mais des *commutatrices*. La régulation se fait alors au moyen de trois échelons de résistances, insérées automatiquement dans le circuit des machines par des relais de surcharge à action différée. La sous-station de Scarsdale a été prévue pour deux commutatrices de 2.500 kilowatts : pour débiter, on n'a installé que l'une de ces machines.

La même solution a été adoptée pour trois nouvelles sous-stations automatiques en cours d'installation sur la Division de l'Hudson, à Hastings (entre les sous-stations n<sup>os</sup> 4 et 5), Philipse Manor (entre les sous-stations n<sup>os</sup> 5 et 6), et Harmon (au delà de la sous-station n<sup>o</sup> 6, vers l'extrémité de la zone électrifiée) ; chacune d'elles doit comporter en principe deux commutatrices de 2.500 kilowatts, mais à Hastings et à Philipse Manor on n'installera au début qu'une seule machine, comme à Scarsdale.

L'exécution de toutes ces sous-stations a été confiée à la General Electric C<sup>o</sup>.

#### **Locomotives électriques.**

**Locomotives à grande vitesse, série T-3.** — Les locomotives à grande vitesse de la série T-3, au nombre de 10,

mis en service dans les derniers mois de 1926, sont du même type que les locomotives des séries T-1 et T-2, à

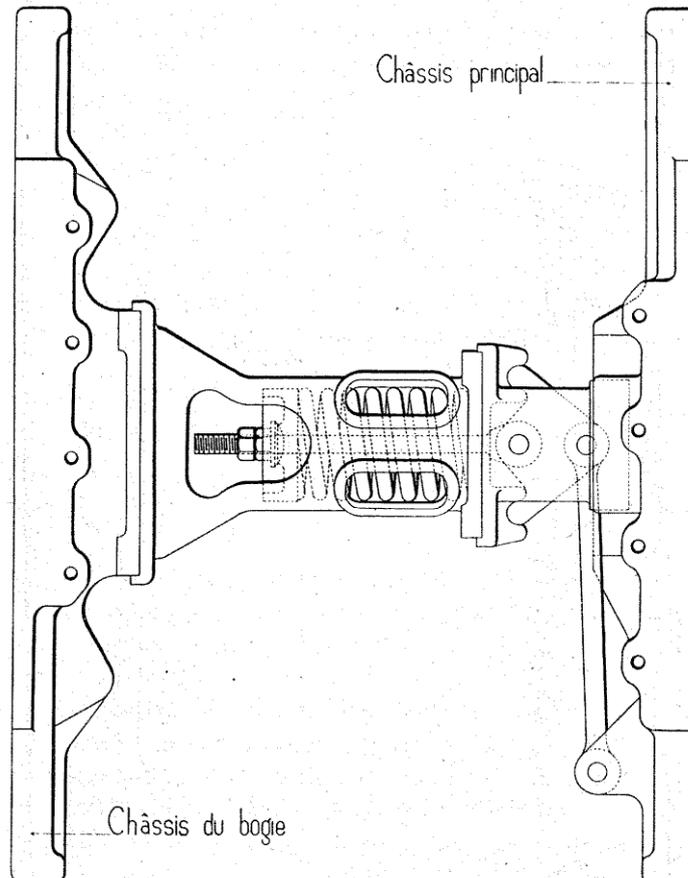


FIG. 3. — New-York Central Railroad : dispositif de rappel des bogies des locomotives à grande vitesse (rappel par ressort en hélice).

moteurs bipolaires *gearless* et à adhérence totale, construites de 1913 à 1917 (\*).

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 28 à 32, et *fig.* 5 et 6.

Elles en diffèrent toutefois, au point de vue électrique,

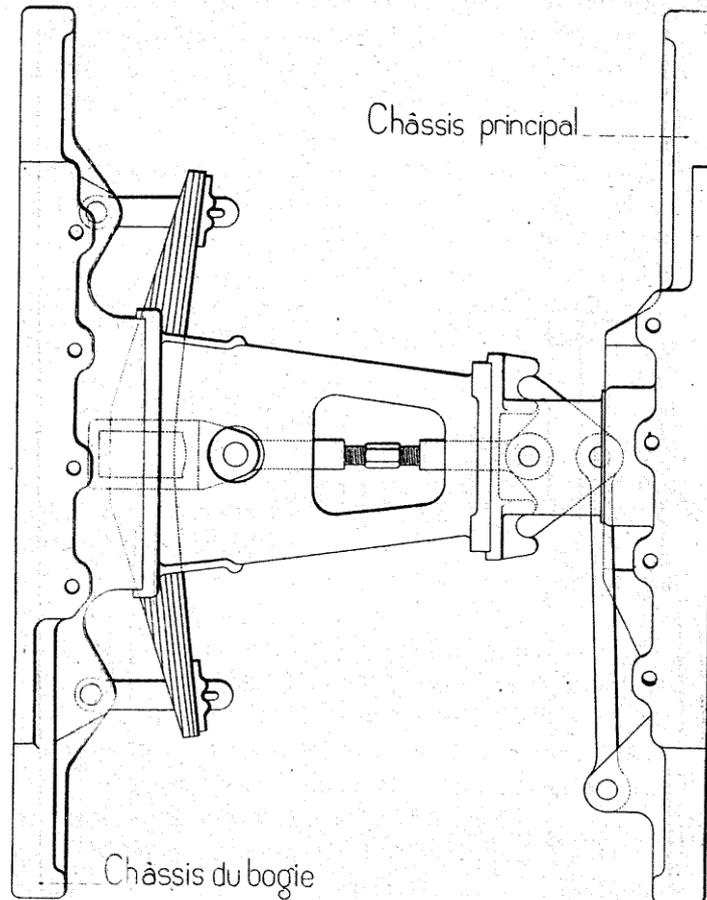


FIG. 4. — New-York Central Railroad : dispositif de rappel des bogies des locomotives à grande vitesse (rappel par ressort à lames).

par la disposition de l'appareillage, et par l'installation d'un disjoncteur extra-rapide.

Au point de vue mécanique, on a modifié le *dispositif*

*de rappel* des bogies extrêmes, qui avait été appliqué aux locomotives de la série T-2. Le rappel s'exerce, comme sur ces dernières locomotives, sur un appendice fixé à l'arrière du bogie, et dont l'extrémité pénètre dans des glissières horizontales, portées par une traverse du châssis principal. Une bielle transversale (voir *fig. 3* et *4*) relie l'une des extrémités de cette traverse à l'un des sommets d'une grosse *came triangulaire*, dont les deux autres sommets viennent se loger dans des encoches ménagées dans l'appendice du bogie. Au milieu de la base joignant ces deux derniers sommets est articulée une bielle axiale attelée à un ressort de rappel.

Dès que le bogie pivote pour la circulation dans une courbe, l'extrémité de l'appendice s'écarte vers l'extérieur, et la bielle transversale fait pivoter la *came triangulaire* autour du sommet situé vers l'intérieur (le sommet situé vers l'extérieur abandonnant son encoche). La bielle axiale comprime alors le ressort, qui tend ainsi à ramener l'appendice dans sa position médiane.

Ce dispositif de rappel comporte deux variantes, l'une avec rappel par ressort en hélice (voir *fig. 3*), et l'autre avec rappel par ressort à lames (voir *fig. 4*).

**Locomotives à marchandises, série R.** — Comme nous l'avons dit précédemment, le New-York Central compte profiter de l'électrification prochaine de la ligne à marchandises du « West Side » pour étendre également l'emploi de la traction électrique aux trains de marchandises sur les lignes électrifiées antérieurement, où ils continuaient jusqu'ici à être remorqués à la vapeur.

Il a fait construire dans ce but, en 1926, par la General Electric C<sup>o</sup> et l'American Locomotive C<sup>o</sup>, deux locomotives qui, en attendant l'électrification de la ligne du West Side, sont utilisées à la remorque des trains de marchandises de la Division de l'Hudson, entre le triage

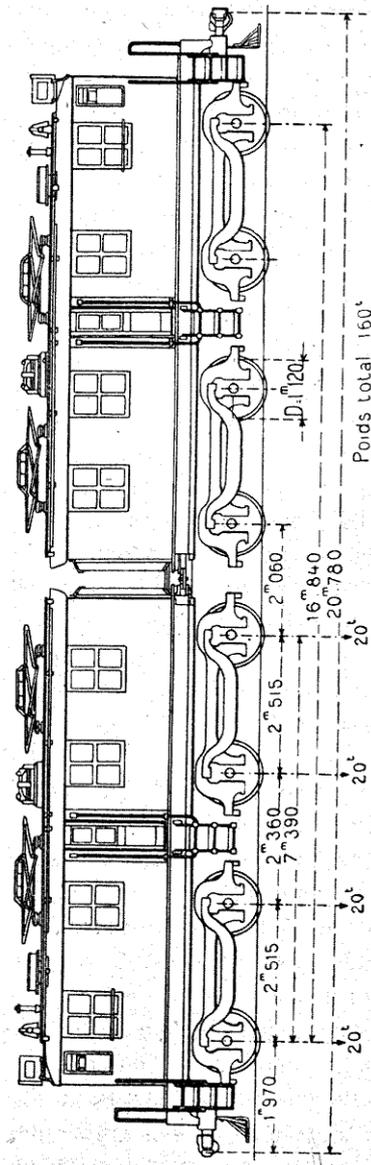


Fig. 5. — New-York Central Railroad : locomotive à marchandises.

de Croton, à l'extrémité de la zone électrifiée, et les gares de triage de New-York situées au nord de la Harlem River.

Ces locomotives sont destinées à remorquer, sur profil facile, des trains de 2.700 tonnes (\*), à la vitesse de 51,5 kilomètres à l'heure.

Elles sont constituées par deux unités à peu près identiques et accouplées entre elles de façon permanente (voir fig. 5). Chaque unité est montée sur deux bogies complètement indépendants l'un de l'autre : c'est donc le châssis de la caisse qui supporte les efforts de choc et de

(\*) Il s'agit ici, comme dans tout le cours de ce mémoire, de tonnes métriques de 1.000 kilogrammes, et non de tonnes américaines de 907 kilogrammes, ou de tonnes anglaises de 1.016 kilogrammes.

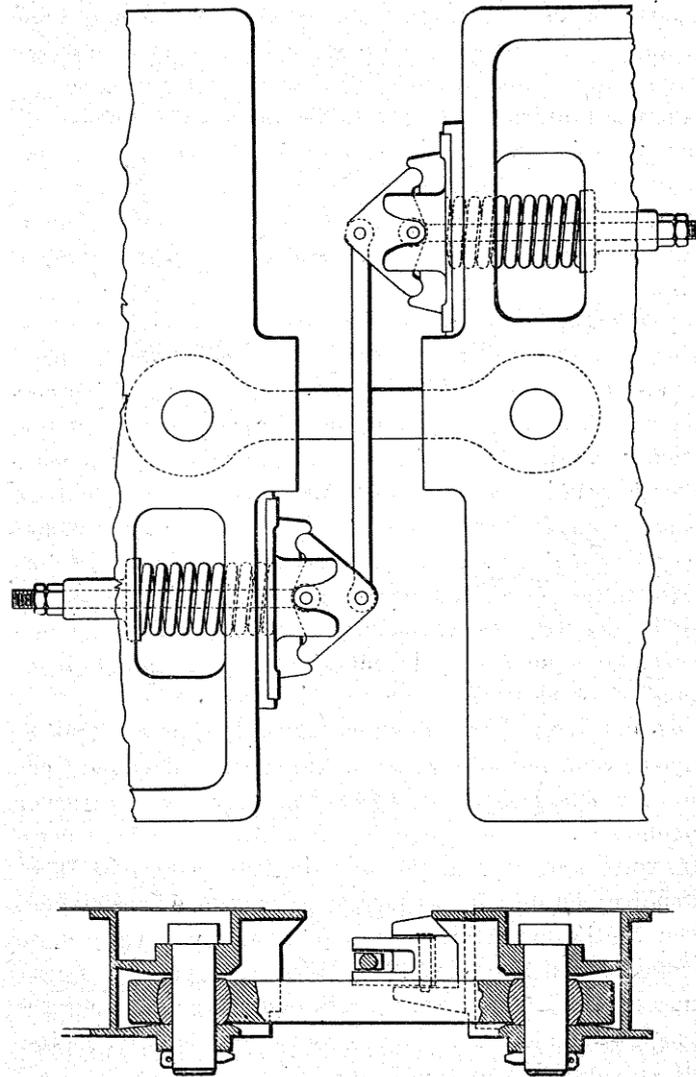


FIG. 6. — New-York Central Railroad : locomotives à marchandises, attelage entre les deux unités.

traction; aussi a-t-on adopté pour ce châssis une construction particulièrement robuste, en acier moulé d'une seule pièce. Dans l'intérieur de ce châssis a été ménagé le conduit de ventilation des moteurs, la jonction se faisant par l'intérieur des pivots des bogies. Le châssis de chaque bogie est également en acier moulé d'une seule pièce; il repose de chaque côté sur un ressort à lames placé entre deux balanciers, dont les extrémités s'appuient sur les boîtes à huile par l'intermédiaire de ressorts en hélice.

L'*attelage* entre les deux unités (voir *fig. 6*) est constitué par une forte bielle, articulée sur deux rotules sphériques. Le *rappel des deux châssis* dans leur position médiane est effectué par un dispositif analogue à celui que nous avons décrit plus haut pour les bogies des locomotives à grande vitesse: une bielle transversale relie deux cames triangulaires, appliquées par des ressorts en hélice dans des encoches portées par les traverses des deux unités. Quant au *rappel des bogies*, il est assuré par la gravité; les crapaudines portent chacune quatre alvéoles coniques, dans lesquelles roulent des galets tronconiques de plus faibles rayons (voir *fig. 7*).

Chaque bogie porte deux moteurs du type GE-286-A, à suspension par le nez, avec engrenage élastique; ces moteurs sont isolés pour 1.500 volts en vue de réserver l'avenir. Leur puissance unihoraire est de 415 chevaux à 600 volts pour un échauffement de 120° mesuré au thermomètre, ou de 140° mesuré par variation de résistance, avec ventilation artificielle; la puissance unihoraire de la locomotive est donc de 3.320 chevaux. Sa puissance continue est de 2.660 chevaux. Les engrenages comportent des pignons à 20 dents et des roues dentées à 69 dents, soit un rapport d'engrenage de 3,45.

Les quatre moteurs de chaque unité peuvent être couplés soit en série, soit en série-parallèle par deux, soit

en parallèle (ce dernier couplage serait supprimé dans le cas où la tension d'alimentation serait ultérieurement portée à 1.500 volts) ; à chaque couplage, on dispose en outre de deux crans de shuntage donnant ainsi neuf com-

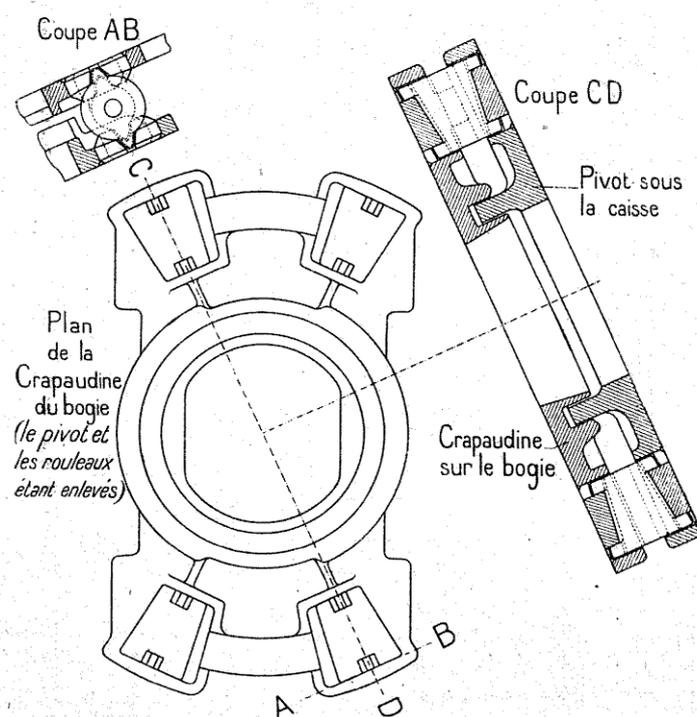


FIG. 7. — New-York Central Railroad : locomotives à marchandises, dispositif de rappel des bogies.

binaisons de marche sans résistances. Le contrôleur est muni de trois manettes, l'une pour l'inversion du sens de marche, la seconde pour l'élimination des résistances et les changements de couplage, et la troisième pour le shuntage.

Le *contrôle* est du type électro-pneumatique ordinaire,

avec contacteurs individuels pour les résistances et le

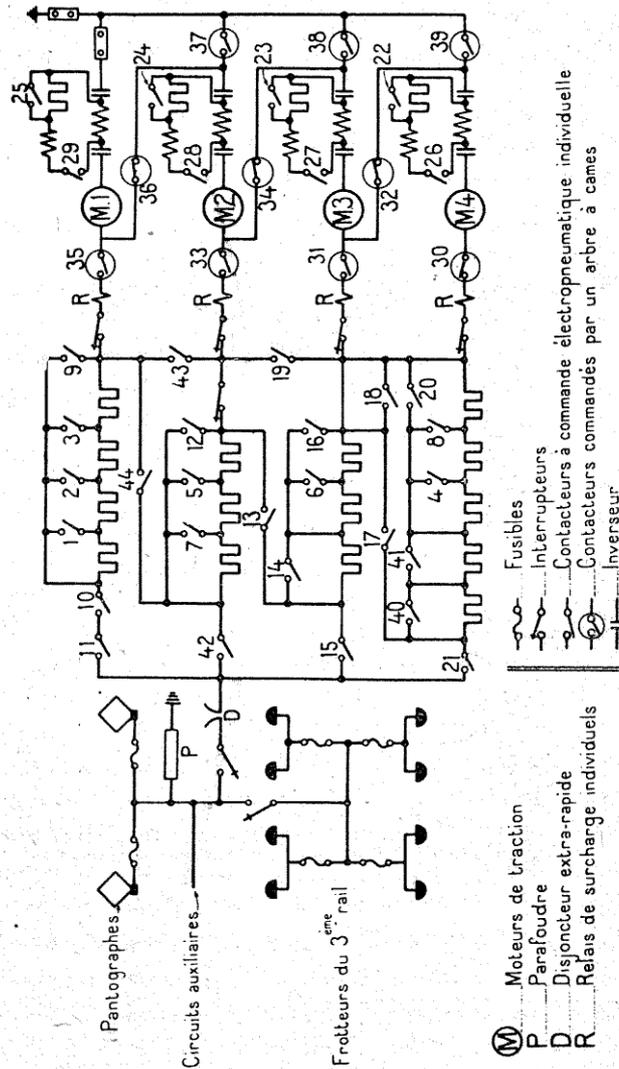


Fig. 8. — New-York Central Railroad : locomotives à marchandises, schéma du circuit principal d'une unité.

shuntage, et groupes de contacteurs à cames pour les

couplages (voir *fig. 8 et 9*). Le courant de contrôle à 32 volts est fourni par une batterie de 150 ampères-heure, placée en série (côté terre) avec les moteurs des

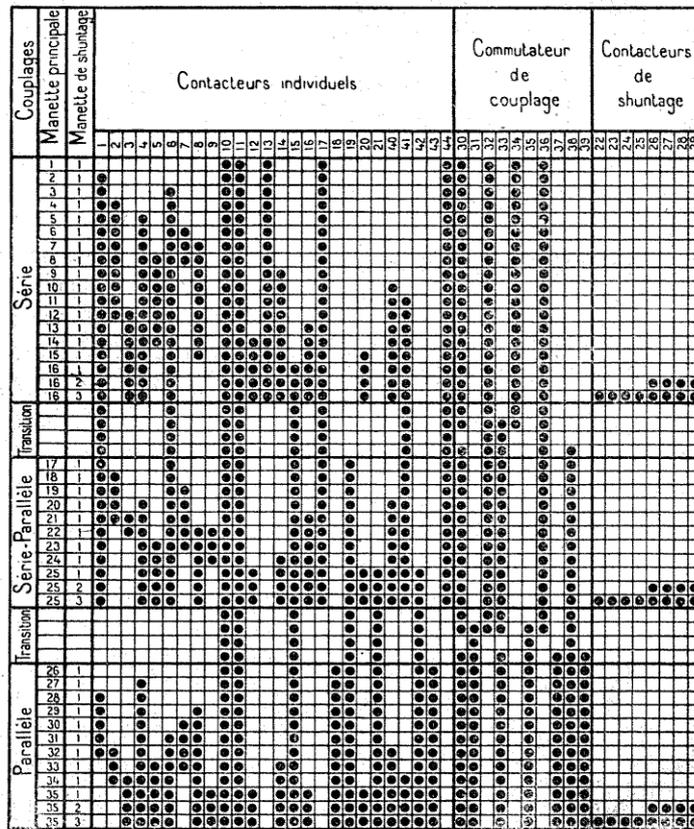


FIG. 9. — New-York Central Railroad : locomotives à marchandises, diagramme du contrôleur.

ventilateurs. Le circuit des moteurs est protégé par un disjoncteur extra-rapide déclenché soit en cas de surcharge générale ou de court-circuit, soit en cas de sur-

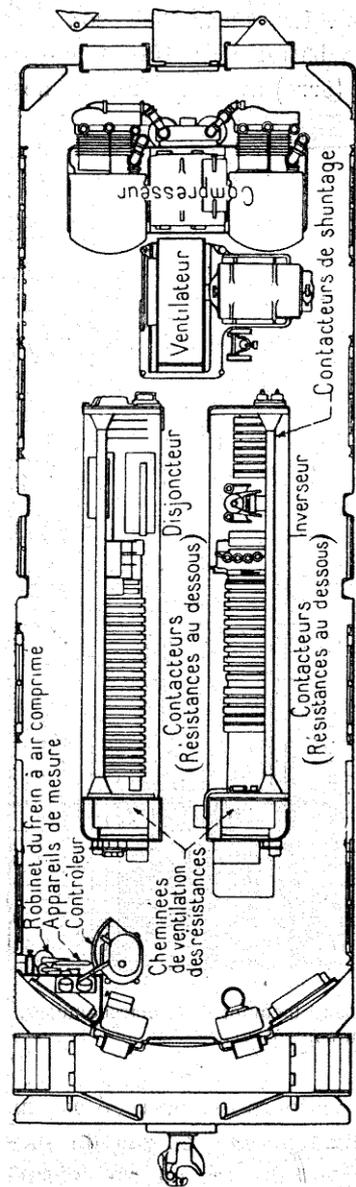


FIG. 10. — New-York Central Railroad : disposition de l'appareillage des locomotives à marchandises (plan d'une unité)

charge individuelle d'un moteur (relais de surcharge sur chaque circuit de moteur).

Les circuits principaux des deux unités sont complètement indépendants, de sorte qu'il n'existe entre les deux caisses que des connexions pour les circuits de contrôle.

Chaque unité possède huit frotteurs de prise de courant sur troisième rail (2 de chaque côté sur chaque bogie, soit 16 par locomotive), et deux pantographes (4 par locomotive) pouvant prendre le courant soit sur un conducteur rigide situé à 4<sup>m</sup>,65 de hauteur (dans certaines parties des gares de la zone antérieurement électrifiée, où la complexité des appareils de voie n'a pas permis la pose du troisième rail), soit sur le fil de contact que l'on se propose d'installer à 5<sup>m</sup>,30 de hauteur sur la ligne du West Side.

La caisse de chaque unité est divisée en deux parties : une cabine de commande et un compartiment pour l'appareillage (voir *fig.* 10). A l'arrière de ce dernier se trouvent le ventilateur des moteurs de traction, et les compresseurs. A l'avant, les appareils de contrôle sont disposés en deux files laissant disponibles des passages latéraux et un passage central ; sur chaque file, les résistances sont placées au bas, et les contacteurs au-dessus. Grâce à cette disposition, les contacteurs sont accessibles sur leurs deux faces, mais la caisse est très encombrée, et les passages très étroits.

Les caractéristiques de ces machines sont groupées dans le tableau ci-après :

Longueur de chaque caisse.....	8 <sup>m</sup> ,860
Largeur de la caisse.....	3 <sup>m</sup> ,000
Hauteur de la caisse.....	2 <sup>m</sup> ,210
Empattement d'un bogie.....	2 <sup>m</sup> ,515
D'axe en axe des bogies d'une unité.....	4 <sup>m</sup> ,875
Empattement d'une unité.....	7 <sup>m</sup> ,390
Empattement total.....	16 <sup>m</sup> ,840
Longueur totale entre coupleurs.....	20 <sup>m</sup> ,780
Hauteur { Plate-forme.....	1 <sup>m</sup> ,630
au-dessus { Toiture.....	3 <sup>m</sup> ,840
du rail { Pantographe abaissé.....	4 <sup>m</sup> ,440
Type des moteurs.....	GE-286-A
Rapport d'engrenage.....	69 : 20
Diamètre des roues.....	1 <sup>m</sup> ,120
Charge par essieu.....	20 <sup>t</sup>
Poids total (adhérent).....	160 <sup>t</sup>
Puissance unihoraire.....	3.320 CV
Puissance continue.....	2.660 CV

Les essais effectués en septembre 1926 sur ces locomotives ont montré qu'elles répondaient largement au programme envisagé (\*) : on compte donc en commander

(\*) Pour plus de détails, voir le mémoire de Mr. E. B. KATTE, ingénieur en chef de la traction électrique du New-York Central, dans le *Railway Age* du 30 octobre 1926 et l'*Electric Railway Journal* de la même date.

une trentaine du même type pour l'électrification du West Side. S'il devenait ultérieurement nécessaire de remorquer des trains beaucoup plus lourds, on aurait recours à des locomotives analogues, mais constituées par trois unités au lieu de deux.

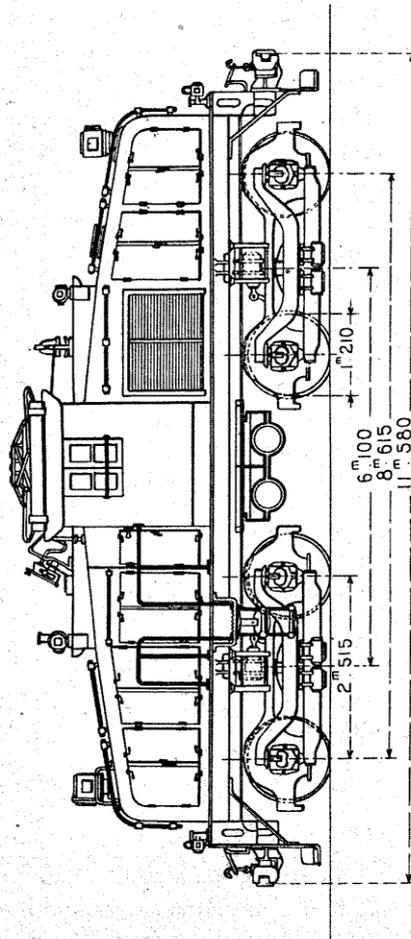


FIG. 11. — New-York Central Railroad : locomotive de manœuvres.

Locomotives de manœuvres, série Q. — Le New-York Central a mis en service, dans le courant de 1926, un lot de

sept locomotives de manœuvres construites par la General Electric C<sup>o</sup> et l'American Locomotive C<sup>o</sup>.

A part la disposition générale de la caisse, comportant une cabine de commande centrale et deux coffrages pour l'appareillage (voir *fig. 11*), ces machines ont été construites en utilisant autant que possible les pièces entrant dans la constitution des deux locomotives à marchandises décrites précédemment (\*).

En particulier, *les bogies sont identiques à ceux des machines à marchandises*, aux engrenages près : on a utilisé ici des pignons à 17 dents et des roues dentées à 72 dents, donnant un rapport d'engrenage de 4,235, convenant mieux aux vitesses réduites utilisées dans les manœuvres de gare. Mais *les moteurs sont les mêmes que ceux des locomotives à marchandises* : les mêmes moteurs sont d'ailleurs également utilisés sur les locomotives Diesel-électriques destinées aux manœuvres sur le West Side.

Les principales caractéristiques de ces machines sont résumées ci-dessous :

Empattement d'un bogie.....	2 <sup>m</sup> ,515	
D'axe en axe des bogies.....	6 <sup>m</sup> ,100	
Empattement total.....	8 <sup>m</sup> ,615	
Longueur entre coupleurs.....	11 <sup>m</sup> ,580	
Hauteur	{ Plate-forme..... 1 <sup>m</sup> ,610 au-dessus { Toiture..... 3 <sup>m</sup> ,925 du rail { Pantographe abaissé..... 4 <sup>m</sup> ,440	
Type des moteurs.....		GE-286-A
Rapport d'engrenage.....		72 : 17
Diamètre des roues.....	1 <sup>m</sup> ,120	
Charge par essieu.....	22 <sup>t</sup> ,5	
Poids total (adhérent).....	90 <sup>t</sup>	
Puissance unihoraire.....	1.660 CV	
Puissance continue.....	1.330 CV	

(\*) Voir *Railway Age et Electric Railway Journal*, 17 janvier 1925.

Ces locomotives doivent pouvoir remorquer des trains de 1.350 tonnes à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure. Les essais exécutés en avril 1926 sur une de ces machines pourvue de dispositifs de mesure ont montré que les prévisions étaient largement dépassées, car dans les conditions de service envisagées, l'échauffement des moteurs est resté bien inférieur aux limites admises (\*).

Lorsque l'électrification de la ligne du West Side sera entreprise, on doit commander encore une quarantaine de machines de ce type.

---

(\*) Voir *Electric Railway Journal*, 19 juin 1926.

## DEUXIÈME PARTIE.

### STATEN ISLAND.

La *Staten Island Rapid Transit Railway Company*, filiale du Baltimore and Ohio Railroad, exploite un ensemble de lignes situées dans la grande île de Staten Island, au sud de la baie supérieure de New-York (voir *fig. 12*).

Ces lignes ont leur origine à Saint-George, où aboutissent les bacs (ferries) du service municipal de New-York, partant de l'extrémité sud de Manhattan.

Une première ligne (East Shore Division), longue de 6<sup>km</sup>,4, relie Saint-George à South Beach, le long du détroit (Narrows) séparant les deux baies de New-York (baie supérieure à l'embouchure de l'Hudson et de l'East River, et baie inférieure s'ouvrant sur l'Atlantique); une seconde ligne (Perth Amboy Division), longue de 20<sup>km</sup>,3, se détache de la première à Clifton, pour desservir la côte sud de l'île jusqu'à Tottenville, d'où un bac conduit à Perth Amboy; enfin une troisième ligne (North Shore Division), longue de 8<sup>km</sup>,2, règne le long de la côte nord, de Saint-George à Arlington, pour se relier au Baltimore and Ohio Railroad.

En dehors du trafic des marchandises, relativement peu important, ces trois lignes comportent un *service de banlieue très développé*: le nombre des mouvements des trains de banlieue dans la gare de Saint-George dépasse 450 par jour, et le nombre des voyageurs transportés atteint 1.000.000 à 1.500.000 par mois. Il était donc indiqué de recourir à la traction électrique pour les trains de

banlieue, en laissant provisoirement de côté les trains de marchandises.

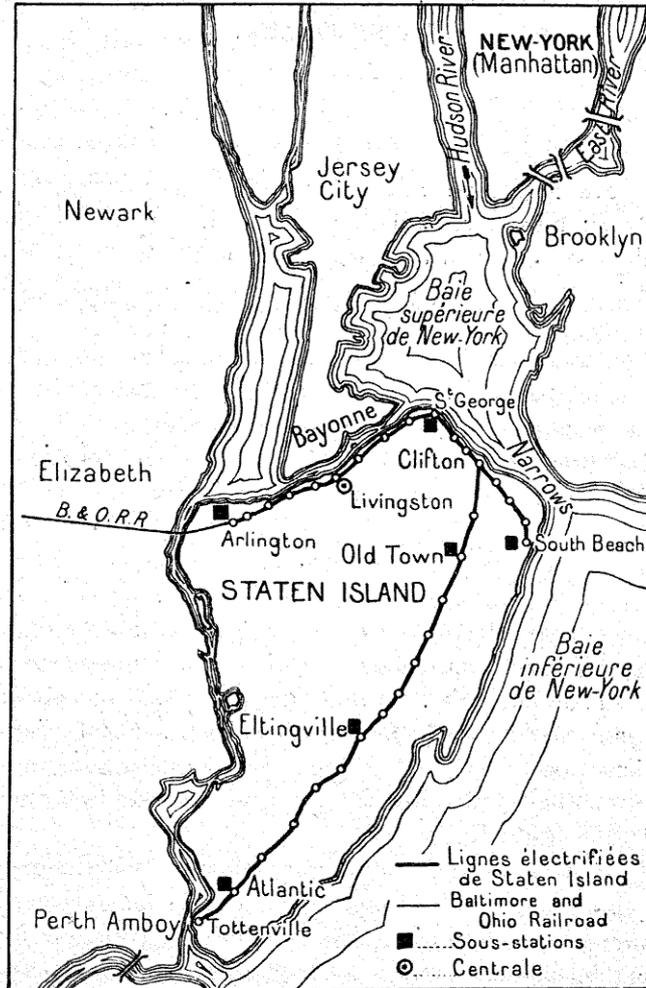


FIG. 12. — Lignes de Staten Island.

Dans une première étape, achevée le 1<sup>er</sup> juillet 1925, on

a électrifié les lignes de Saint-George à South Beach et à Tottenville (26<sup>km</sup>,7 de lignes à double voie) ; en 1926, on a étendu cette électrification à la ligne de Saint-George à Arlington (8<sup>km</sup>,2).

L'exploitation se fait exclusivement par *trains automoteurs* (\*) : malgré la fréquence des arrêts, on a pu réduire les temps de parcours de cinq minutes entre Saint-George et South Beach, et de dix minutes entre Saint-George et Tottenville, par rapport à la traction à vapeur.

Les *voitures automotrices*, au nombre de 90, sont du même type que celles des dernières lignes métropolitaines de New-York, avec portes coulissantes au centre et aux extrémités. La caisse a 21<sup>m</sup>,60 de longueur sur 3<sup>m</sup>,05 de largeur : le nombre des places assises est de 71, mais les couloirs et la plate-forme centrale peuvent recevoir des voyageurs debout en nombre notablement plus élevé. Chaque bogie comporte un essieu moteur (moteur de 200 chevaux de la General Electric Company), et un essieu porteur.

La prise de courant se fait sur un troisième rail du type ordinaire, à la tension de 600 volts (\*\*).

La particularité la plus intéressante de cette électrification consiste dans l'adoption de *sous-stations automatiques* avec *contrôle à distance*. Le courant triphasé fourni à 33.000 volts (60 périodes) par la centrale de la Staten Island Edison Company (à Livingston) est trans-

---

(\*) Comme nous l'avons dit, la traction électrique est limitée pour l'instant aux trains de banlieue ; on a toutefois fait l'acquisition de deux locomotives électriques destinées au service des marchandises.

(\*\*) Pour de plus amples détails sur les voitures automotrices, le troisième rail, et la signalisation par circuits de voie à courant alternatif, voir notamment : *Electric Railway Journal*, 4 juillet 1925 ; *Railway Electrical Engineer*, juillet 1925 ; *Railway Age*, 4 juillet 1925 et 21 novembre 1925 ; *General Electric Review*, février et mars 1926.

formé en courant continu à 600 volts dans six sous-stations situées à Saint-George, South Beach, Old Town, Eltingville, Atlantic et Arlington (voir *fig. 13*). Seule la sous-station de Saint-George est gardée en permanence, et du type semi-automatique ; les cinq autres, entièrement automatiques, ne font l'objet que d'inspections périodiques. Toutes ces sous-stations ont été exécutées par la Compagnie Westinghouse ; les appareils à haute tension sont installés à l'extérieur, tandis qu'un bâtiment abrite les commutatrices et l'appareillage automatique.

Les sous-stations de South Beach, Old Town, Eltingville et Arlington comprennent chacune deux commutatrices shunt de 1.000 kilowatts, pouvant supporter une surcharge de 50 p. 100 pendant deux heures, et de 200 p. 100 pour des pointes momentanées.

La première commutatrice démarre automatiquement en cas de baisse de tension sur le troisième rail ; à cet effet, un relais de tension, branché entre le troisième rail et les rails de la voie, met en route un petit moteur entraînant un commutateur qui effectue successivement toutes les connexions voulues dans les circuits de commande, suivant les dispositions adoptées pour les sous-stations automatiques du type ordinaire de la Compagnie Westinghouse. Cette première commutatrice suffit pour assurer le service normal, en dehors des heures d'affluence, où le fonctionnement de la deuxième commutatrice devient nécessaire. Celle-ci démarre soit sous l'influence d'un relais thermique en cas d'échauffement de la première commutatrice, soit lorsque, sous l'effet d'une surcharge prolongée de la première commutatrice, une résistance est automatiquement insérée dans son circuit pour la décharger. Bien entendu, tous les relais qui commandent ces opérations sont à action différée, afin d'éviter des manœuvres trop fréquentes en cas de surcharges de courte durée. Dès que la charge redevient normale,

la deuxième commutatrice est mise automatiquement hors circuit, et la première est elle-même déconnectée

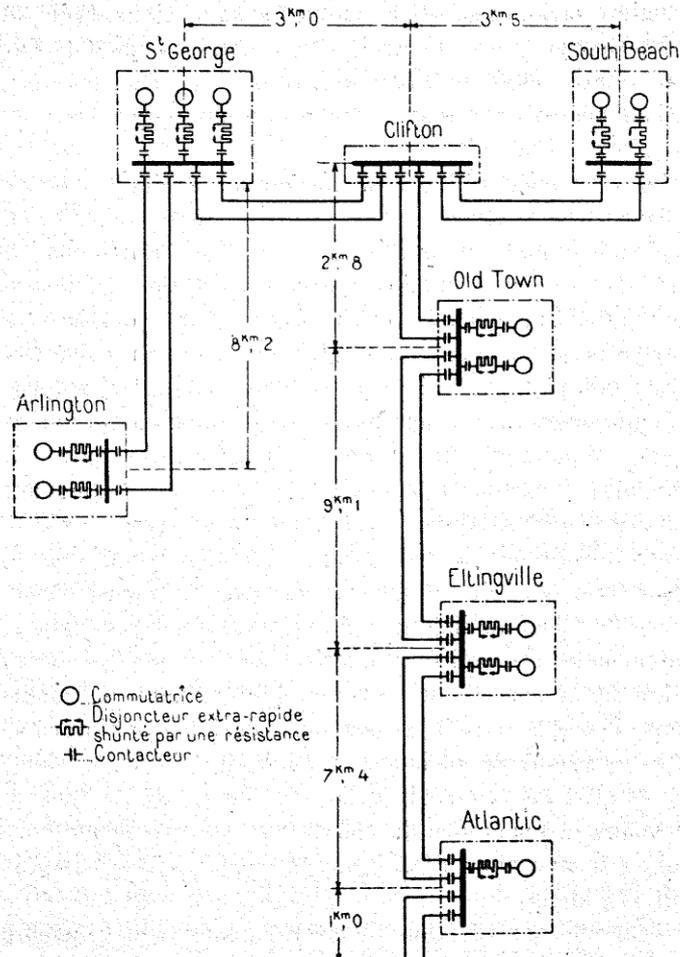


FIG. 13. — Électrification des lignes de Staten Island : schéma des sous-stations.

lorsqu'elle n'est plus utile pour maintenir la tension voulue sur le troisième rail.

La sous-station d'Atlantic ne comporte qu'une seule commutatrice, commandée automatiquement comme la première commutatrice des autres sous-stations. Celle de Saint-George renferme trois commutatrices, dont le démarrage est effectué à la main : pour le surplus, les opérations nécessaires sont exécutées automatiquement.

Le troisième rail est *sectionné* au droit des sous-stations intermédiaires, d'où partent quatre feeders (un de chaque côté et pour chacune des voies). Entre chaque feeder et la barre omnibus de la sous-station est inséré un contacteur, tandis qu'entre la barre omnibus à 600 volts et chaque commutatrice se trouve un disjoncteur extra-rapide réglé pour 3.000 ampères. S'il se produit un court-circuit sur les voies, le disjoncteur extra-rapide fonctionne le premier, pour insérer entre la commutatrice et la barre omnibus une résistance ramenant instantanément le débit à une valeur convenable. Puis le contacteur du feeder intéressé par le court-circuit s'ouvre à son tour : le circuit avarié étant ainsi séparé de la barre omnibus, le disjoncteur extra-rapide se referme, et le service est rétabli sur toutes les sections non avariées.

Lorsqu'un contacteur de feeder s'ouvre dans ces conditions, il met le circuit avarié sous tension par l'intermédiaire d'une forte résistance et d'un relais de tension ; dès que le court-circuit a disparu, ce relais de tension provoque la fermeture du contacteur, et le service normal se trouve alors rétabli sur la section où s'était produit l'incident.

La même organisation de sectionnement du troisième rail, avec contacteurs automatiques de feeders, a été réalisée à la bifurcation de Clifton, suivant une disposition identique à celle adoptée dans les sous-stations, sauf le nombre des feeders qui est de 6 (un feeder pour chaque voie dans chaque direction).

En dehors de cette protection contre les courts-circuits, les sous-stations comportent également les dispositifs suivants : d'une part, en cas d'échauffement exagéré des transformateurs ou des commutatrices, des relais thermiques les mettent hors circuit jusqu'à ce que l'échauffement ait disparu ; il en est de même en cas de chauffage des paliers des commutatrices, d'emballement de ces machines, de baisse de tension exagérée sur le troisième rail, d'inversion du courant. Des relais mettent aussi les machines hors circuit lorsqu'il se produit un défaut d'équilibre important entre les trois phases du réseau alternatif ; si le défaut d'équilibre ne provient pas d'un incident dans la sous-station elle-même, les machines repartent automatiquement lorsque l'équilibre des phases se rétablit.

Enfin, tout le fonctionnement des sous-stations est *contrôlé à distance* (supervisory control) depuis le bureau du régulateur du trafic (traffic operator), installé à la sous-station de Saint-George. A ce bureau aboutissent, venant de chaque sous-station, quatre fils constituant deux paires d'un câble téléphonique spécial, à isolement renforcé : en vue de parer notamment aux incidents pouvant résulter des phénomènes d'induction dus à la présence des lignes à haute tension le long de la voie ferrée, l'isolement de ce câble a été exécuté pour la tension de 1.500 volts entre conducteurs, et de 3.500 volts par rapport à la terre.

Dans chaque sous-station, ces fils sont reliés, par des batteries de relais sélecteurs synchrones, aux circuits de commande des principaux appareils ; ils aboutissent, à Saint-George, à une batterie de relais sélecteurs du même type, les reliant à un pupitre placé dans le bureau du régulateur du trafic, et comportant des clés de manœuvre et des lampes de signalisation pour chacun des appareils

correspondants. L'aspect du pupitre permet donc à l'opérateur de constater, à chaque instant, la position ou le fonctionnement des principaux appareils dans toutes les sous-stations ; outre les allumages et extinctions de lampes, chaque modification est annoncée par un signal acoustique pour appeler l'attention du régulateur du trafic. Celui-ci doit alors, en cas de besoin, prendre les mesures que nécessite la situation, et notamment ouvrir ou fermer à distance, par la manœuvre de ses clés, les circuits convenables, soit sur la haute tension, en amont des transformateurs, soit sur les feeders alimentant le troisième rail au départ des sous-stations. Il peut ainsi corriger immédiatement tout défaut de fonctionnement des appareils automatiques, en attendant qu'un ouvrier aille exécuter sur place les manœuvres ou les réparations nécessaires (\*).

Dans une exploitation de cette nature, tout incident de quelque importance survenant dans les sous-stations aurait de graves conséquences pour le service, en raison de l'intensité du trafic, surtout aux heures d'affluence ; on comprend donc aisément que l'on ait pu éprouver quelque appréhension à supprimer tout personnel dans les sous-stations pour s'en remettre exclusivement à des appareils automatiques, dont le nombre et la complexité peuvent paraître inquiétants au premier abord. L'adjonction du contrôle à distance semble de nature à écarter ces craintes, en permettant de parer rapidement à tout défaut de fonctionnement de ces appareils.

---

(\*) Sur l'appareillage des sous-stations, voir notamment : *Electric Railway Journal*, 11 juillet 1925 ; *Railway Electrical Engineer*, juillet 1925 ; *Railway Age*, 4 juillet 1925 ; *Electric Journal*, octobre 1926. Pour la description détaillée du système de contrôle à distance, voir *Electric Journal*, juin 1926.

## TROISIÈME PARTIE.

### ILLINOIS CENTRAL RAILROAD.

#### **Programme d'électrification.**

Le réseau de l'Illinois Central dessert la région comprise entre Chicago, Saint-Louis et la Nouvelle-Orléans ; en outre de cet ensemble de lignes dirigées du nord au sud, il exploite également une grande ligne s'étendant à l'ouest de Chicago jusqu'à Omaha, sur le Missouri, et qui constitue une partie d'une des artères les plus importantes entre Chicago et San-Francisco, par les réseaux de l'Union Pacific et du Southern Pacific.

La ligne principale de l'Illinois Central aborde Chicago par le sud, et vient rejoindre la rive du lac Michigan à hauteur de la 51<sup>e</sup> rue : elle règne ensuite entre la ville et le lac jusqu'à l'embouchure de la Chicago River (voir *fig. 14*). La ligne d'Omaha aborde au contraire la ville par l'ouest, pour rejoindre le cours de la Chicago River, et se réunir à la ligne principale avant d'arriver à la 42<sup>e</sup> rue, appelée maintenant Roosevelt Road. C'est en ce point qu'est située la gare principale pour les trains de grand parcours, tandis que les trains de banlieue continuent le long du lac pour desservir les gares de Van Buren Street et de Randolph Street, en bordure de Michigan Avenue ; les trains de marchandises empruntent également ce même parcours pour atteindre la gare de South Water Street, desservant les quais à marchandises.

En dehors de ses propres trains, l'Illinois Central amène en outre à Chicago, par la ligne du sud, ceux du

Cleveland, Cincinnati, Chicago and Saint-Louis Railroad, ainsi qu'un certain nombre de trains du Chicago, Lake Shore and South Bend. De plus, les trains du Michigan Central accèdent à Chicago en empruntant également la même ligne de l'Illinois Central.

Il en résulte au total, sur la dernière section de cette ligne, dans les limites de la ville de Chicago, un *trafic extrêmement intense*, d'autant plus que le service de banlieue est particulièrement développé. Comme les quartiers bordant le lac, et notamment Michigan Avenue, comptent parmi les plus riches de Chicago, la gêne causée par la fumée de tous ces trains, formant un rideau entre Chicago et le lac, avait soulevé depuis longtemps les plus vives protestations des riverains, qui réclamaient l'électrification du réseau à l'intérieur de la ville.

Cependant, c'était la ville elle-même qui avait assigné cet emplacement au chemin de fer par une ordonnance du 14 juin 1852, dont elle escomptait un avantage important : la défense de Michigan Avenue contre les tempêtes du lac était alors pour la ville la source de dépenses considérables, et en autorisant le chemin de fer à occuper la rive du lac, l'ordonnance de 1852 lui imposait de prendre désormais à sa charge ces dépenses de protection.

Malgré les avantages que la ville de Chicago en avait retirés, il apparut bientôt que la présence du chemin de fer en bordure du lac gênait le développement de la ville. Il lui parut indispensable de reprendre possession de la rive, tant pour l'aménagement de parcs et de vastes terrains pour les sports en face de Michigan Avenue, que pour l'extension du port par la création de nouveaux bassins pris sur le lac.

D'autre part, en même temps que l'électrification des lignes à l'intérieur de Chicago s'imposait pour supprimer les fumées gênantes, il devenait nécessaire de remanier les voies pour faire disparaître tous les croisements à

niveau soit avec les artères de la ville, soit avec les

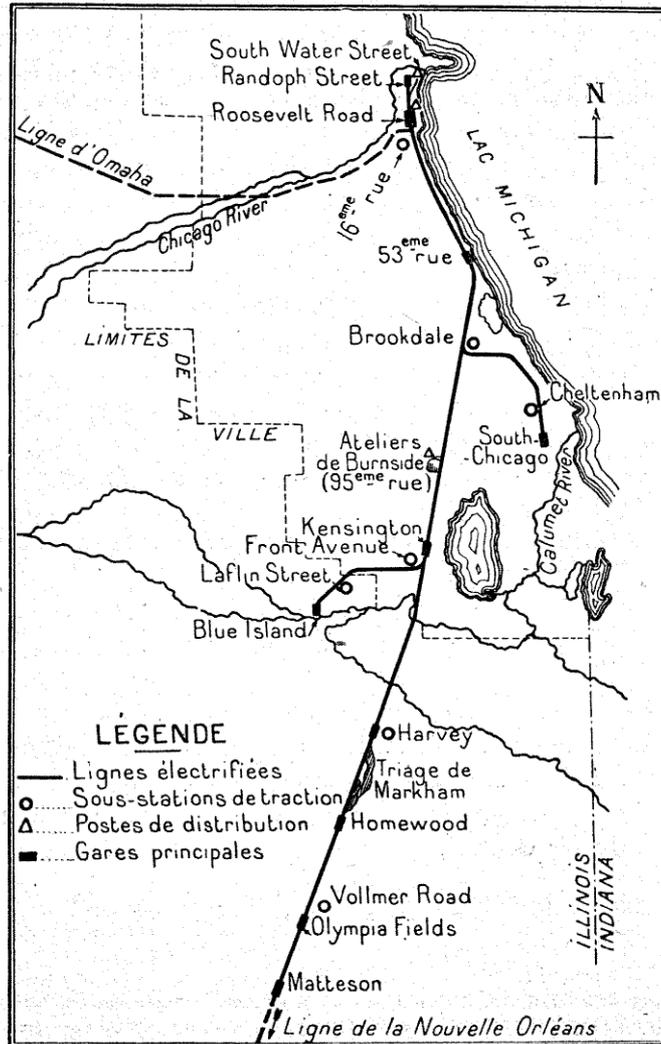


FIG. 14. — Lignes de l'Illinois Central Railroad aux abords de Chicago. autres voies ferrées, — de déplacer certaines parties de

la ligne, — d'installer de nouvelles voies pour desservir les futurs bassins, — d'agrandir toutes les gares devenues insuffisantes pour faire face au développement du trafic, — etc...

En raison de la multiplicité des questions soulevées, les pourparlers entre la ville et l'Illinois Central furent laborieux. Ils aboutirent finalement à un accord complet, consacré par l'ordonnance du 21 juillet 1919, qui forme la nouvelle charte de l'Illinois Central Railroad à l'intérieur de Chicago.

En dehors des vastes travaux d'aménagement dont nous n'avons donné qu'un rapide aperçu (\*), cette ordonnance précisait le *programme d'électrification* de l'Illinois Central de la façon suivante : la date limite pour la suppression de la traction à vapeur était fixée

— au 20 février 1927 pour la totalité des services de banlieue;

— au 20 février 1930 pour le service des marchandises au nord d'East Roosevelt Road ;

— au 20 février 1935 pour le service des marchandises au sud d'East Roosevelt Road, jusqu'aux limites de la ville ;

— à 1940 pour le service des trains de voyageurs de grand parcours, à condition que la traction électrique fût adoptée d'ici là dans une certaine proportion pour les trains des autres réseaux pénétrant à Chicago par la ligne de l'Illinois Central.

En vue de l'exécution de la première étape, comportant

---

(\*) Ce programme d'ensemble a été exposé en détails dans le mémoire présenté le 10 mars 1925 par Mr. D. J. Brumley, ingénieur en chef de l'Illinois Central Railroad, à la Western Society of Engineers (des extraits de ce mémoire ont paru dans le *Railway Age* du 14 mars 1925).

On trouvera également d'intéressants renseignements sur ces divers travaux dans une série d'articles publiés par les ingénieurs de l'Illinois Central dans la *Railway Review* du 6 mars 1926.

l'électrification des services de banlieue pour le début de 1927, le Président de l'Illinois Central nomma en décembre 1920 une commission spéciale, chargée de recueillir les renseignements utiles pour permettre de déterminer le type de courant à adopter, et de préparer l'organisation des travaux. Cette commission comprenait, sous la présidence de Mr. A. S. Baldwin, alors vice-président de l'Illinois Central, — Mr. D. J. Brumley, ingénieur en chef de la Compagnie pour la région de Chicago, — Mr. Hugh Pattison, ingénieur-conseil, qui s'était occupé auparavant de l'électrification du Norfolk and Western, et a dirigé depuis celle du Virginian Railway, — Mr. Bion J. Arnold, de Chicago, — Mr. George Gibbs et Mr. Cary T. Hutchinson, ingénieurs-conseils à New-York; Mr. W. M. Vandersluis, ingénieur de l'Illinois Central, remplissait les fonctions de secrétaire de cette commission.

Mr. Baldwin et Mr. Pattison visitèrent l'Italie, la Suisse, la France et l'Angleterre, pour étudier les différentes électrifications réalisées ou projetées dans ces pays. Mais la mort de Mr. Baldwin, peu de temps après son retour d'Europe, vint priver la commission de sa précieuse expérience, et c'est sous la présidence de Mr. Brumley que la commission préconisa finalement, pour les raisons que nous indiquerons plus loin, l'*adoption du courant continu à la tension de 1.500 volts*.

Le travail préparatoire de la commission étant ainsi terminé, une nouvelle organisation fut adoptée pour l'exécution des travaux. Dans ce but, un département spécial fut créé pour l'ensemble des travaux de toute nature à exécuter dans la zone terminus (Chicago Terminal Improvements), ayant à sa tête Mr. F. L. Thompson, vice-président de la Compagnie, avec Mr. D. J. Brumley comme ingénieur en chef, et Mr. W. M. Vandersluis comme ingénieur des services électriques.

Sous leur énergique impulsion, les travaux ont progressé

rapidement, et le premier train électrique de banlieue put circuler le 21 juillet 1926. L'inauguration officielle du service électrique eut lieu le 7 août 1926, avec une mise en scène sensationnelle, quatre trains d'automotrices circulant de front sur des voies parallèles (\*). L'électrification des services de banlieue fut donc réalisée plus de six mois avant l'expiration du délai fixé par l'ordonnance de 1919.

Le programme d'électrification n'a été arrêté jusqu'ici que pour les lignes du sud, en laissant de côté la ligne d'Omaha (\*\*).

Dans la *première étape*, on n'a électrifié, comme nous l'avons dit, que les voies affectées au *service de banlieue*, savoir :

— deux voies de Randolph Street à East Roosevelt Road, sur une longueur de 2 kilomètres environ;

— six voies d'East Roosevelt Road à la 51<sup>e</sup> rue, sur 8 kilomètres environ (deux voies sont spécialisées aux trains omnibus, dits « local trains », deux voies aux trains qualifiés « express », et deux voies aux trains dits « spéciaux »);

— quatre voies de la 51<sup>e</sup> rue à Kensington, sur 13 kilomètres environ (deux voies réservées aux trains « spéciaux », et les deux autres aux trains omnibus et aux trains qualifiés « express »);

— deux voies de Kensington jusqu'au parc de remisage situé immédiatement au Sud de la gare de Matteson, où se terminent les trains de banlieue, soit sur 22 kilomètres environ, donnant une distance totale de 45 kilo-

---

(\*) Voir *Railway Age*, 14 août 1926.

(\*\*) Le trafic de banlieue ne s'est pas développé sur la ligne d'Omaha (huit trains par jour seulement) parce que la région traversée est déjà desservie par d'autres lignes dans des conditions beaucoup plus avantageuses au point de vue de l'accès au centre de Chicago.

mètres depuis Randolph Street jusqu'au remisage de Matteson ;

— l'embranchement à double voie de South Chicago, qui se détache de la ligne principale après la station de la 67<sup>e</sup> rue (longueur 7 kilomètres environ) ;

— l'embranchement à voie unique de Blue Island (également 7 kilomètres environ), qui prend naissance à la gare de Kensington.

En y comprenant les voies pour le dégagement des rames entre Randolph Street et East Roosevelt Road, cela représente un total de 171 kilomètres de voies électrifiées, en s'en tenant aux voies de circulation.

Mais il faudrait y ajouter les voies des *parcs de remisage* pour le matériel de banlieue. En dehors des garages prévus en divers points de ces lignes, et comportant des places pour 56 voitures à bogies à Van Buren Street, 50 à Matteson, 38 à Blue Island, 24 à South Chicago, 56 à la 83<sup>e</sup> rue (embranchement de South Chicago), et 50 près de Kensington (à la bifurcation de la ligne de Blue Island), on a installé un vaste parc de remisage, avec atelier pour la visite des automotrices, à hauteur de la 18<sup>e</sup> rue ; pour débiter, la capacité de ce parc a été limitée à 110 voitures. On dispose ainsi, au total, de garages pour 384 voitures à bogies. La longueur des voies électrifiées dans ces parcs est d'environ 26 kilomètres.

La longueur totale des voies électrifiées en première étape pour le service de banlieue s'élève donc au total à 197 kilomètres.

La *seconde étape* portera, comme nous l'avons dit, sur le *service des marchandises* entre East Roosevelt Road et la grande gare terminus de South Water Street : cette courte liaison est assurée au moyen de trois voies principales, mais le développement des voies de service et des voies de desserte des quais dans la gare de South Water Street est considérable (plus de 60 kilomètres de voies).

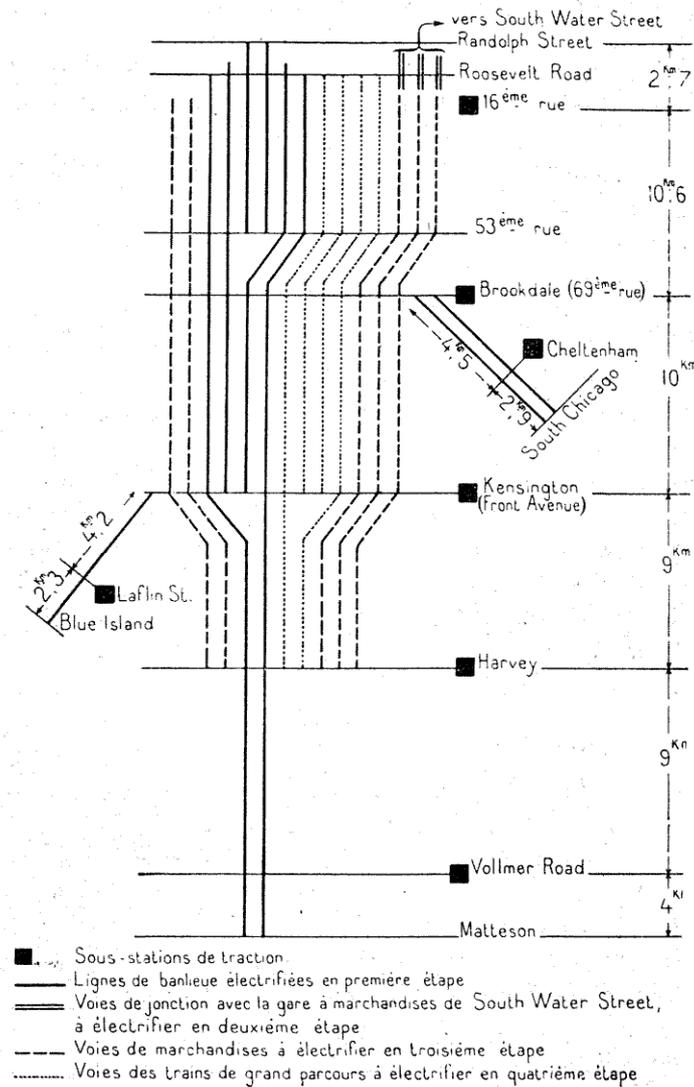


FIG. 15. — Illinois Central Railroad :  
diagramme des lignes à électrifier, et des sous-stations.

Dans la *troisième étape*, on électrifiera les cinq voies spécialisées pour les *trains de marchandises* entre les gares d'East Roosevelt Road et de la 18<sup>e</sup> rue d'une part, et Harvey d'autre part, soit sur une longueur de 30 kilomètres environ (voir *fig. 15*) : c'est immédiatement au sud de cette dernière gare que se trouve l'immense *triaiage de Markham*, mis en service récemment ; il était donc naturel de prévoir que l'échange des machines électriques et des machines à vapeur se ferait en ce point.

C'est également Harvey qui a été choisi comme terminus de l'électrification des *trains de grand parcours* à réaliser en *dernière étape* : le nombre des voies spécialisées à ce service est de quatre entre East Roosevelt Road et Kensington (environ 21 kilomètres), et de deux au delà (sur 9 kilomètres environ).

Ces quelques données permettent de saisir toute l'importance du programme d'électrification abordé par l'Illinois Central.

Avant d'examiner comment la première étape de ce programme a été réalisée, nous croyons intéressant d'indiquer la consistance du *service de banlieue* assuré désormais au moyen des automotrices électriques.

Le nombre des trains de banlieue dans la zone électrifiée atteint 475 par jour ouvrable, et celui des voyageurs transportés (voyageurs de banlieue seulement, à l'exclusion de ceux des trains de grand parcours) dépasse 26 millions par an.

Entre 7<sup>h</sup>,30 et 9<sup>h</sup>,30 du matin, la gare de Randolph Street expédie ou reçoit 83 trains ; ce nombre s'élève à 73 entre 4<sup>h</sup>,30 et 6<sup>h</sup>,15 du soir. Pendant ces périodes, les trains de banlieue se suivent fréquemment à deux minutes d'écart seulement.

En dehors de ces périodes à service particulièrement

intense, il est prévu en principe, au départ de Randolph Street :

- un train omnibus toutes les vingt minutes à destination de Hyde Park (53<sup>e</sup> rue) ;
- un train express toutes les quinze minutes à destination de la 67<sup>e</sup> rue ;
- un train express toutes les trente minutes à destination de Kensington ;
- un train express toutes les trente minutes à destination de South Chicago ;
- un train spécial toutes les quarante minutes à destination de Matteson ;
- un train spécial toutes les quarante minutes à destination de Blue Island.

Il y a en outre quelques trains spéciaux à destination de South Chicago.

Les trains omnibus desservent toutes les stations depuis Randolph Street jusqu'à la 53<sup>e</sup> rue. Les trains qualifiés « express » n'ont aucun arrêt entre East Roosevelt Road et la 53<sup>e</sup> rue, et deviennent ensuite omnibus sur le reste de leur parcours. Les trains dits « spéciaux » vont directement d'East Roosevelt Road jusqu'à la 63<sup>e</sup> rue : ceux de l'embranchement de South Chicago sont omnibus à partir de ce point, tandis que ceux de la ligne principale et de l'embranchement de Blue Island vont ensuite directement jusqu'à Kensington, pour devenir omnibus au delà.

Les horaires de tous ces trains sont d'ailleurs combinés pour mettre les omnibus en correspondance avec les express à la gare de la 53<sup>e</sup> rue, et ceux-ci en correspondance avec les trains « spéciaux » à la 63<sup>e</sup> rue.

En dehors de ces trains « spéciaux », qui sont en réalité de véritables express réguliers, on a prévu d'autres trains encore plus rapides (« fast special trains » ou « golf trains »), mis en marche pour desservir notam-



ment les terrains de golf qui s'échelonnent le long de la ligne principale, entre Harvey et Matteson : ces trains ne mettent que 46 minutes de Randolph Street à Matteson (45 kilomètres avec sept ou huit arrêts intermédiaires), au lieu de 53 minutes pour les trains dits « spéciaux » (treize arrêts intermédiaires).

En résumé, la multiplicité des trains et la variété des combinaisons adoptées pour leur tracé et pour leurs correspondances font du service de banlieue de l'Illinois Central l'un des mieux organisés que l'on puisse concevoir.

#### **Adoption du courant continu à 1.500 volts.**

La commission nommée en décembre 1920 par le Président de l'Illinois Central, Mr. C. H. Markham, pour déterminer le type de courant à adopter, ne s'est pas bornée à examiner les installations de traction électrique déjà réalisées en Amérique. Le Président de cette commission, Mr. Baldwin, alors vice-président de la Compagnie, avait tenu, comme nous l'avons dit, à se renseigner lui-même de façon complète sur les installations européennes, et à prendre l'avis de tous les ingénieurs qui, tant en Suisse et en Italie qu'en France et en Angleterre, pouvaient émettre une opinion intéressante sur la question qui le préoccupait.

Les conclusions de la commission furent présentées en septembre 1922, après la mort de Mr. Baldwin, dont elles reflétaient cependant les opinions personnelles, telles qu'il nous les avait lui-même énoncées peu de temps auparavant (\*).

(\*) On trouvera des extraits du rapport de la commission dans le *Railway Age* des 7 et 10 octobre 1922. Les conclusions en sont rappelées dans le mémoire déjà cité de Mr. Brumley, lequel avait pris, comme nous l'avons dit, la présidence de la commission après le décès de Mr. Baldwin.

## 5) TRACTION ÉLECTRIQUE AUX ÉTATS-UNIS 1920-1926

La commission avait envisagé les différentes solutions suivantes :

- emploi de locomotives Diesel-électriques, ou d'un type analogue, répondant aux prescriptions de l'ordonnance de 1919 sur la suppression des fumées, ou gaz gênants, et du bruit exagéré des locomotives à vapeur ;
- emploi de locomotives électriques à accumulateurs ;
- électrification en courant triphasé avec double ligne aérienne ;
- électrification en courant continu à 750 volts, avec troisième rail ;
- électrification en courant continu à 1.500 volts, avec ligne aérienne ;
- électrification en courant continu à 3.000 volts, avec ligne aérienne ;
- électrification en courant monophasé à 11.000 volts, avec ligne aérienne.

Les *locomotives Diesel-électriques* (ou analogues) n'avaient pas encore pris, à cette époque, un développement suffisant pour que la commission crût prudent de préconiser cette solution (\*).

L'emploi des *locomotives électriques à accumulateurs* fut également écarté comme devant entraîner des dépenses d'exploitation prohibitives.

Le système à *courant triphasé* fut écarté à son tour à cause de la complication de la double ligne de contact, jugée également prohibitive pour l'électrification des gares présentant un développement de voies considérable, comme la gare à marchandises de South Water Street notamment, sans parler de certaines autres gares importantes.

---

(\*) On sait que, depuis lors, de nombreuses locomotives Diesel-électriques ou pétro-électriques ont été construites aux États-Unis, mais il n'en était pas ainsi en 1922.

Des évaluations comparatives furent faites pour les quatre derniers systèmes d'électrification, tant au point de vue des frais de premier établissement qu'à celui des dépenses d'exploitation.

Bien que cette comparaison n'ait pas fait apparaître, à ce double point de vue, un prix plus élevé pour le *système à courant continu à 750 volts* que pour les autres (ce qui s'explique aisément par l'importance du nombre d'automotrices à acquérir), ce système fut néanmoins écarté en raison de la difficulté d'installer le troisième rail dans des gares aussi compliquées. De plus, la présence du troisième rail dans la grande gare de débords de South Water Street paraissait « indésirable ». Enfin, on craignait de ne pas pouvoir lutter efficacement contre les difficultés pouvant provenir des neiges, particulièrement abondantes dans la région de Chicago.

Quant au *système à courant continu à 3.000 volts*, il n'avait pas encore été adopté pour un service d'automotrices aussi important que celui qu'on devait envisager. Son prix de revient paraissait d'ailleurs nettement supérieur à celui du système à 1.500 volts, en raison d'une part du prix plus élevé des nombreuses automotrices à prévoir, et d'autre part de l'emploi de groupes moteurs-générateurs dans les sous-stations, au lieu des commutrices dont on pouvait se contenter avec la tension de 1.500 volts. Pour cette dernière raison également, les frais d'exploitation eussent été plus élevés, par suite du moindre rendement des machines à installer dans les sous-stations.

*Il ne restait donc finalement en présence que le système monophasé à 11.000 volts et le système à courant continu à 1.500 volts.* La commission estima qu'au point de vue des garanties de bon fonctionnement, les deux systèmes semblaient devoir donner satisfaction, mais son

*choix s'est porté sur le courant continu à 4.500 volts pour les raisons suivantes :*

1° Les sous-stations à courant continu pouvaient être alimentées par un *réseau triphasé quelconque*, aussi bien à la fréquence de 60 périodes qu'à celle de 25 (fréquences normales des réseaux américains, celle de 60 étant d'ailleurs la plus usuelle), et avec un *facteur de puissance voisin de l'unité*, tandis que les sous-stations monophasées exigeaient des *lignes d'alimentation spéciales*, obligatoirement à basse fréquence (maximum 25 en pratique), et n'avaient forcément qu'un *facteur de puissance peu élevé*. Cette considération parut d'autant plus importante à la commission que, dès ce moment, on envisageait la possibilité de brancher les sous-stations de traction sur l'un des réseaux triphasés de Chicago, plutôt que de recourir à la construction d'une centrale spécialisée au service de traction électrique de l'Illinois Central.

L'avantage ainsi marqué en faveur de la traction à courant continu semblait devoir compenser largement l'inconvénient d'avoir à installer dans les sous-stations des machines rotatives au lieu des simples transformateurs statiques du système monophasé.

2° Au point de vue des troubles causés par la traction électrique dans les installations voisines, la commission a mis en parallèle les *perturbations engendrées par induction* dans les lignes téléphoniques par la traction monophasée, et les *dangers d'électrolyse* par courants vagabonds dans le cas de la traction à courant continu ; tout en reconnaissant que l'on avait trouvé des moyens efficaces pour remédier aux perturbations inductives dues au courant de traction monophasé, la majorité de la commission a été d'avis qu'il en résulterait des frais supplémentaires et des complications nullement négligeables pour l'installation de traction monophasée, et qu'en tous cas la lutte contre les dangers d'électrolyse avec le

courant continu serait certainement plus facile et moins coûteuse.

3° Le système monophasé possède, sur le système à courant continu, l'avantage d'une *tension beaucoup plus élevée* sur la ligne de prise de courant, d'où une certaine économie dans les frais d'installation de la ligne pour une puissance donnée des tracteurs, et la possibilité d'espacer davantage les sous-stations.

Par contre, les *automotrices* proposées par les constructeurs étaient sensiblement moins lourdes et moins coûteuses dans le cas du courant continu, considération d'autant plus importante qu'il s'agissait de commander, dès la première étape, un nombre considérable d'automotrices.

Pour mettre en balance ces avantages respectifs des deux systèmes, la commission a fait observer que les étapes d'électrification qui suivraient la première seraient exécutées dans la même zone, d'étendue assez restreinte, et que l'on n'envisageait nullement, pour l'instant, une extension de cette électrification sur des divisions entières de la grande ligne. Dans ce dernier cas, le bilan aurait pu devenir favorable au système monophasé; mais avec le programme d'électrification envisagé l'*avantage financier* restait nettement au système à courant continu, d'autant plus que dans l'avenir, après exécution des étapes prévues, le développement inévitable du trafic dans la zone électrifiée conduirait forcément à commander de nouveaux tracteurs plutôt qu'à augmenter la longueur des voies électrifiées.

En résumé, sur les trois points considérés, la traction à courant continu l'emportait sur la traction monophasée. Aussi la commission émit-elle l'avis que le courant continu à 1.500 volts, avec prise de courant sur ligne aérienne, était le système qui convenait le mieux pour le

cas particulier de l'électrification envisagée par l'Illinois Central. La compagnie adopta l'avis formulé aussi nettement par la commission, et les travaux d'électrification furent dès lors organisés en conséquence.

#### **Fourniture d'énergie.**

**Solutions envisagées.** — Trois solutions pouvaient être envisagées pour l'alimentation des lignes à électrifier : installation par le chemin de fer d'une *usine électrique spécialisée* à ce service, — *achat de courant triphasé à haute tension* produit dans les centrales de la région, et transformé en courant continu à 1.500 volts dans des sous-stations installées et exploitées par le chemin de fer, — enfin *achat direct à l'extérieur du courant continu à 1.500 volts* à fournir en un nombre suffisant de points pour alimenter convenablement les lignes de prise de courant.

C'est finalement cette dernière solution qui a prévalu, pour les raisons que nous allons exposer.

L'Illinois Central, possédant ses propres mines de charbon, était particulièrement bien placé pour produire lui-même l'énergie nécessaire à son électrification. Il pouvait d'ailleurs disposer, près de Riverdale, sur la Calumet River, d'un emplacement très favorable pour la construction d'une centrale. Cette solution fut donc examinée de près.

Mais on dut reconnaître qu'une telle usine n'aurait pu produire le courant aussi économiquement que les grosses centrales modernes, dans lesquelles peuvent être installés des groupes turbo-alternateurs de *très grande puissance*. Elle aurait dû en outre disposer de *groupes de réserve* en proportion telle que les frais d'établissement eussent entraîné des charges financières excessives.

Elle n'aurait pu d'autre part bénéficier de la *diversité de clientèle* qui procure aux grosses centrales un facteur d'utilisation élevé pour la puissance installée. Pour toutes ces raisons, le *prix de revient* de l'énergie produite dans une usine spéciale eût été bien supérieur au prix que l'on pouvait obtenir en s'adressant aux grosses centrales de la région.

Par ailleurs, même avec une réserve importante, la centrale spéciale n'eût pas présenté, au point de vue des *garanties de continuité* dans la fourniture de l'énergie, la même sécurité que l'alimentation par un *vaste réseau de distribution générale*, relié à plusieurs usines.

On en conclut qu'il y avait intérêt, au double point de vue économique et technique, à s'adresser, pour la fourniture d'énergie, à la *Commonwealth Edison C°*. Cette compagnie exploite un ensemble d'usines fort importantes à Chicago, et aux environs, et elle distribue elle-même le courant dans les limites de la ville de Chicago; en dehors de ces limites, l'énergie produite dans les usines de la *Commonwealth Edison C°* est distribuée par l'intermédiaire de la *Public Service Company of Northern Illinois*. On pouvait ainsi assurer l'alimentation des sous-stations de traction de l'Illinois Central aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la ville en s'adressant à un seul fournisseur.

A ne considérer que les centrales de la *Commonwealth Edison C°* susceptibles d'intervenir pour l'alimentation de l'Illinois Central, on pouvait envisager, pour la région nord, la centrale de 285.000 kilowatts de Fisk Street, ou celle de 240.000 kilowatts de Crawford Avenue, et pour la région sud la centrale de 187.000 kilowatts de Calumet, reliée en outre, par une ligne à 132.000 volts, à la centrale de la *Public Service Company* à Joliet. On voit aisément quelles *garanties de sécurité* donnaient ces

*énormes centrales*, si l'on rapproche leur puissance de celle qui paraissait nécessaire pour l'électrification de l'Illinois Central, évaluée seulement à 30.000 kilowatts pour le service de banlieue et les usages divers (force motrice et éclairage dans les gares et ateliers) (\*).

L'Illinois Central demanda donc à la Commonwealth Edison C<sup>o</sup> de lui adresser des propositions pour l'alimentation de ses sous-stations de traction en courant triphasé à haute tension, en laissant d'ailleurs la porte ouverte à toute autre proposition intéressante.

La Commonwealth Edison C<sup>o</sup>, profitant de cette faculté, proposa à son tour de *se charger elle-même de la construction et de l'exploitation des sous-stations nécessaires*, pour livrer directement à l'Illinois Central, soit le courant continu à 1.500 volts pour la traction, soit le courant triphasé à 4.000/2.300 volts pour usages divers. C'était d'ailleurs la combinaison déjà adoptée par cette compagnie pour l'alimentation des chemins de fer aériens (« Elevated ») et des tramways de Chicago.

A la séance du 9 mars 1926 de la Western Society of Engineers, Mr. E. J. Fowler, de la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>, a expliqué dans les termes suivants les raisons pour lesquelles sa Compagnie avait pu offrir à l'Illinois Central des *conditions plus avantageuses* pour du courant continu à 1.500 volts que pour du courant alternatif à 12.000 volts, ce qui semblait paradoxal au premier abord à cause des frais de conversion dans les sous-stations.

Les chemins de fer aériens de Chicago sont alimentés par 30 sous-stations, les tramways par 32 sous-stations, et les réseaux de force et lumière de la Commonwealth

---

(\*) On a fait observer, depuis lors, que l'un des deux nouveaux groupes de 75.000 kilowatts installés en 1926 et 1927 dans la centrale de Crawford Avenue correspondait à lui seul à plus du double de la puissance nécessaire pour l'Illinois Central.

Edison C<sup>o</sup> par 77 sous-stations. Il eût donc fallu au total 139 sous-stations différentes s'il s'était agi d'installations indépendantes, réalisées séparément par les chemins de fer aériens, par les tramways, et par la Commonwealth Edison C<sup>o</sup> pour le réseau de force et lumière. En concentrant toutes ces sous-stations entre les mains de cette dernière compagnie, *on a pu se contenter au total de 107 sous-stations au lieu de 139*, parce qu'un grand nombre d'entre elles alimentent deux installations, ou même les trois. En dehors de l'économie réalisée sur les sous-stations elles-mêmes, d'autres bénéfices fort importants sont obtenus par la *simplification des réseaux d'alimentation* et par une *meilleure utilisation des lignes*. La Commonwealth Edison C<sup>o</sup> estime donc qu'il est avantageux pour elle aussi bien que pour sa clientèle de continuer à installer et à exploiter elle-même toutes les sous-stations qui peuvent être nécessaires dans la région qu'elle dessert. Sa politique vis-à-vis de l'Illinois Central s'est d'ailleurs trouvée rapidement justifiée par l'expérience, puisqu'elle a depuis lors passé un nouveau contrat pour alimenter une autre ligne de traction en courant continu à 1.500 volts au moyen de certaines des sous-stations installées pour l'Illinois Central.

En ce qui concerne ce dernier réseau, la combinaison intervenue lui a procuré, outre les avantages déjà signalés au point de vue de la *réduction du prix de revient* de l'énergie et des *garanties de sécurité*, celui d'*alléger de 5 à 6 millions de dollars* le total des dépenses à engager pour réaliser sa première étape d'électrification.

**Contrat avec la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>.** — Le contrat avait été passé pour une *période de dix ans* devant commencer en principe le 1<sup>er</sup> janvier 1927, en réservant toutefois à l'Illinois Central la faculté de substituer à cette date celle du début effectif du fonctionnement normal de

la traction électrique, moyennant préavis d'un an. Cette date a finalement été fixée au 1<sup>er</sup> juillet 1926, et c'est à ce moment qu'a commencé à courir la période de validité de dix ans.

L'Illinois Central s'est en outre réservé le droit, moyennant chaque fois un préavis d'un an, de *proroger le contrat* pour une à quatre périodes de cinq années chacune; le contrat peut donc durer jusqu'à trente ans, sous réserve qu'il n'intervienne dans l'intervalle aucune modification capitale dans les actes de concession régissant l'exploitation de la Commonwealth Edison Company. Si cette éventualité se produisait, le contrat expirerait automatiquement le 31 mai 1947, date à laquelle vient à expiration la concession accordée actuellement par la ville de Chicago.

La Commonwealth Edison C<sup>o</sup> est tenue de construire sept sous-stations de traction en des points fixés par l'Illinois Central, et d'y fournir, en dehors du courant continu à 1.500 volts pour la traction, du courant triphasé à 4.000/2.300 volts, 60 périodes (distribution à quatre fils), pour éclairage et force motrice, et du courant monophasé à 2.300 volts, 60 périodes, pour la signalisation. Elle est en outre tenue de fournir du courant triphasé pour usages divers en trois autres points: la gare à marchandises de South Water Street, la nouvelle gare centrale d'East Roosevelt Road, et les ateliers de Burnside (95<sup>e</sup> rue). La Commonwealth Edison C<sup>o</sup> aura le droit d'utiliser ces sous-stations ou postes de transformation pour alimenter d'autres clients.

L'Illinois Central s'est engagé à fournir autant que possible les *terrains nécessaires* à la construction des sous-stations ou postes de transformation, en ne réclamant à la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>, pour la location de ces terrains, qu'une redevance d'ordre, tant que la fraction de l'énergie cédée par elle à d'autres clients que

Illinois Central ne dépassera pas 20 p. 100 du débit total de chaque sous-station ou poste. Dès qu'il n'en sera plus ainsi, le loyer sera fixé à 5 p. 100 de la fraction de la valeur de ces terrains correspondant à la proportion d'énergie livrée aux autres clients.

Les autres compagnies de chemins de fer, dont les trains empruntent les voies de l'Illinois Central, auront le droit de profiter du contrat dans les mêmes conditions que celui-ci, l'énergie qu'ils absorberaient pour la traction, ou pour usages divers, à l'occasion de leur service sur les voies de l'Illinois Central, étant considérée comme absorbée par ce dernier, sans que le fournisseur ait à intervenir dans le règlement entre réseaux. Le contrat vise explicitement le cas du Michigan Central, qui emprunte les voies de l'Illinois Central, et se trouve visé comme lui par l'ordonnance municipale de 1919 sur l'électrification des chemins de fer dans les limites de la ville.

Les sous-stations et postes de transformation étant la propriété de la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>, le contrat précise dans quelles conditions cette compagnie devrait être dédommagée, au cas où le traité prendrait fin avant que les installations faites spécialement en vue d'alimenter l'Illinois Central aient été *complètement amorties*. Dans ce cas, le chemin de fer sera tenu de *racheter* tout l'équipement installé pour la traction électrique, à moins que la Commonwealth Edison C<sup>o</sup> ne préfère le conserver pour d'autres usages. La durée d'amortissement de ce matériel est fixée à quinze ans. Le prix de rachat sera établi à l'amiable, ou à défaut soumis à un arbitrage : il sera déterminé d'après le coût de remplacement et l'état du matériel à l'époque du rachat, plutôt que d'après le prix initial d'acquisition. Le rachat s'étendra aux bâtiments des sous-stations construites dans les emprises du chemin de fer.

La Commonwealth Edison C<sup>o</sup> est tenue d'alimenter chaque

sous-station au moyen de lignes dont le nombre et la capacité de transport soient telles que l'interruption de l'une quelconque d'entre elles n'empêche pas la sous-station de fonctionner à pleine puissance. Ceci revient en fait à exiger une *double alimentation* pour chaque sous-station. Toutes les lignes d'alimentation doivent être souterraines dans les limites de la ville ; en dehors de ces limites, la compagnie est libre d'installer des lignes d'alimentation aériennes ou souterraines. Le chemin de fer autorise la compagnie à installer gratuitement dans ses emprises les lignes souterraines destinées principalement à son alimentation : il l'autorise en outre à poser gratuitement, dans ses emprises, les lignes souterraines partant des sous-stations pour alimenter d'autres clients, sous réserve que ces lignes devraient être enlevées à première demande, si cette suppression était rendue nécessaire par des travaux à entreprendre sur les voies ferrées.

La *puissance des machines à installer* dans les sous-stations est déterminée d'accord entre les parties. La Commonwealth Edison C<sup>o</sup> s'engage d'ailleurs à maintenir constamment ses installations en état de faire face aux *augmentations du trafic* sur la voie ferrée. Elle doit de plus installer dès le début des *unités de réserve*, de façon que la mise hors service d'une machine ou d'un appareil quelconque dans chaque sous-station n'apporte aucune réduction à la fourniture d'énergie nécessaire pour la traction.

Le chemin de fer est tenu de prévenir par écrit la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>, au moins un an à l'avance, de toute extension de service ou de tout accroissement de trafic de nature à entraîner l'installation de *nouvelles machines* dans les sous-stations existantes. Il peut en outre, moyennant le même préavis, exiger l'installation de *nouvelles sous-stations*, si la puissance supplémentaire

à prévoir est d'au moins 3.000 kilowatts, et si elle ne peut pas être fournie dans des conditions économiques par les sous-stations existantes.

Le courant de traction doit être *livré dans les emprises* du chemin de fer : lorsque les sous-stations ne peuvent pas être installées dans ces emprises ou sur un terrain contigu, les feeders de jonction doivent être établis par le fournisseur. De toute façon, celui-ci doit installer autant de départs qu'il y a de voies à alimenter séparément.

La *tension* doit être en principe de 1.500 volts ; elle doit rester comprise entre 1.550 volts et 1.400 volts tant que le service reste normal. Pour le courant alternatif, il est prévu des variations de 5 p. 100 en plus ou en moins sur la tension et sur la fréquence, avec possibilité d'exiger en certains points l'installation de régulateurs automatiques de tension. Le contrat spécifie toutefois que la Commonwealth Edison C<sup>o</sup> pourra continuer à suivre sa pratique habituelle consistant à relever la tension dans les centrales aux heures de pointes, pour compenser la chute de tension plus élevée dans les lignes de transmission.

Bien que l'exploitation des sous-stations soit confiée à la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>, l'Illinois Central peut intervenir, par l'organe d'un agent désigné sous le nom de « *répartiteur d'énergie* » (power director), pour *donner des ordres* aux agents des sous-stations au sujet de l'alimentation des différents feeders. En outre, l'Illinois Central se réserve de faire manœuvrer à distance, par les agents des sous-stations, les appareils des postes de sectionnement à installer dans l'intervalle des sous-stations. Il aura également le droit de se faire représenter par un agent dans le bureau du « *régulateur de charge* » (load dispatcher) de la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>.

L'énergie est facturée en bloc, sans distinction entre le courant continu à 1.500 volts et le courant alternatif à 4.000/2.300 volts. Les factures mensuelles sont établies uniquement au moyen des relevés des *compteurs installés sur les départs* à 1.500 volts (courant continu) et à 4.000/2.300 volts (courant alternatif) des sous-stations et postes de transformation.

Pour la période préliminaire s'étendant jusqu'à la date fixée pour la mise en vigueur du contrat, et comportant aussi bien la fourniture du courant continu à 1.500 volts pour les essais de traction, que la fourniture du courant alternatif à 4.000/2.300 volts pour usages divers, on s'est borné à appliquer une taxe uniforme de 1,6 cent par kilowatt heure.

A partir de la mise en vigueur définitive du traité, on a prévu l'application d'un *tarif binôme*, avec un premier élément *par kilowatt de puissance « demandée »*, et un second *par kilowatt heure consommé*.

La *puissance « demandée »* (maximum demand) est calculée de la façon suivante : pour chaque mois, on choisit les trois heures (portant obligatoirement sur trois jours différents) durant lesquelles la consommation *totale* relevée aux compteurs de l'ensemble des sous stations et postes est *la plus élevée*. La moyenne de ces trois chiffres est considérée comme représentant la puissance « demandée » par le chemin de fer pour le mois considéré (\*).

On doit toutefois faire abstraction, pour ce calcul, des périodes dites de « *demande anormale* », correspondant à un trafic tout à fait exceptionnel, à des températures

---

(\*) Grâce à cette définition, on évite d'avoir à installer dans les sous-stations, pour le calcul du premier élément du tarif binôme, fonction de la puissance, des wattmètres dont il eût fallu ensuite totaliser les indications, soit par des procédés sujets à des contestations, soit par des appareils coûteux et délicats.

exceptionnellement basses, ou à d'autres conditions météorologiques sortant nettement de l'ordinaire. Si une telle période anormale dure plus de dix jours consécutifs dans le même mois, on calcule néanmoins la puissance « demandée » en tenant compte de cette période, mais on ne fait pas usage du chiffre ainsi trouvé pour la détermination du premier élément du tarif binôme applicable au mois considéré : on se borne à prendre comme base la puissance « demandée » du mois précédent. Il en résulte que la période anormale n'entre effectivement en ligne de compte pour le jeu du tarif que si le fait se reproduit le mois suivant.

Cette exclusion des périodes anormales pour l'établissement des factures est basée sur le principe que la mise en route des machines installées *à titre de réserve* dans les sous-stations doit suffire à faire face à ces besoins exceptionnels. S'il n'en est pas ainsi, la Commonwealth Edison C<sup>o</sup> a le droit d'exiger de l'Illinois Central qu'il réduise sa demande de puissance au taux voulu jusqu'à ce que le fournisseur soit en mesure d'y parer, ce qu'il est d'ailleurs tenu de faire dans le moindre délai possible.

Le *premier élément* de la facture mensuelle s'obtient en appliquant à la puissance « demandée » ainsi déterminée le tarif suivant :

1,85 dollar par kilowatt pour les 5.000 premiers,  
1,70 dollar par kilowatt pour les 5.000 suivants,  
1,60 dollar par kilowatt pour les 5.000 suivants,  
1,50 dollar par kilowatt à partir de 15.000.

Quant au *deuxième élément* de la facture, il est déterminé en appliquant à la consommation du mois les *tarifs de base* ci-après par kilowatt heure :

0,65 cent pour la 1<sup>re</sup> tranche de 5.000.000 de kilowatt heures,  
0,645 cent pour la 2<sup>e</sup> tranche de 2.500.000 kilowatt heures,  
0,64 cent au delà de 7.500 000 kilowatt heures.

Ces tarifs de base sont valables pour un charbon dont le pouvoir calorifique est de 10.000 b.t.u. (\*) par livre (453<sup>gr</sup>,6), et dont le prix est de 4 dollars par « short ton » américaine (de 2.000 livres, soit 907<sup>kg</sup>,2); ces conditions étaient celles qui prévalaient dans les centrales du fournisseur lors de la conclusion du contrat.

Ce tarif au kilowatt heure est sujet à *correction en fonction du prix du charbon et de son pouvoir calorifique* : on néglige toutefois les variations de ce pouvoir calorifique entre 10.000 et 11.000 b.t.u. (5.550 et 6.100 calories par kilogramme), et on prend pour base la moyenne de 10.500 b.t.u. (5.830 calories environ par kilogramme). Dans ces conditions, si P est le prix en dollars de la tonne de charbon (tonne américaine de 907<sup>kg</sup>,2), et si C est le pouvoir calorifique d'une livre (453<sup>gr</sup>,6) de ce charbon exprimé en b.t.u., le tarif réel au kilowatt heure sera donné par les formules suivantes (en cents) :

$$\frac{P}{10} \times \frac{10.500}{C} + 0,25$$

pour la première tranche de 5.000.000 de kilowatt heures,

$$\frac{P}{10} \times \frac{10.500}{C} + 0,245$$

pour une seconde tranche de 2.500.000 kilowatt heures,

$$\frac{P}{10} \times \frac{10.500}{C} + 0,24$$

au delà de 7.500.000 kilowatt heures.

Le premier terme de la formule, variable en fonction

---

(\*) 1.000 b. t. u. (british thermal units) valent 252 grandes calories, et pour passer du pouvoir calorifique en b. t. u. par livre au pouvoir calorifique en calories par kilogramme, il suffit de multiplier le premier par 5/9. Le charbon dont il est question n'aurait donc qu'un pouvoir calorifique peu élevé, environ 5.550 calories par kilogramme.

du prix du charbon et de sa valeur calorifique, mais indépendant de la consommation mensuelle du client, est censé correspondre au *prix du charbon brûlé pour produire un kilowatt heure*. On a donc compté qu'il fallait brûler à la centrale 2 livres de charbon à 10.500 b.t.u. (soit 0<sup>kg</sup>, 907 de charbon à 5.830 calories seulement par kilogramme), pour fournir un kilowatt heure *à la sortie des sous-stations* (\*) : c'est en effet ce qui ressortait des statistiques du fournisseur pour ses centrales les plus récentes, de sorte que *toute amélioration nouvelle du rendement de ses installations lui resterait intégralement acquise*.

Le second terme de la formule, indépendant du prix et de la nature du charbon, mais décroissant lorsque la consommation du client augmente, est considéré comme devant rémunérer les charges fixes de l'exploitation, la main-d'œuvre, l'entretien, les frais généraux, et laisser en outre un léger bénéfice.

Le traité prévoit de plus une *garantie de consommation minima*, basée sur une utilisation d'au moins 30 p. 100 de la puissance « demandée ». Cette garantie doit tomber s'il se produit dans le mois une seule interruption dans la fourniture d'énergie ; elle serait suspendue pour les journées où il se produirait une interruption de trafic sur la voie ferrée par force majeure. On présumait d'ailleurs que cette garantie de consommation minima n'aurait à jouer qu'entre la date fixée pour la mise en vigueur du contrat et celle du début effectif du ser-

---

(\*) Si l'on veut rapprocher ces chiffres de ceux que l'on obtient ailleurs, il ne faut pas perdre de vue, d'une part, le *faible pouvoir calorifique* du charbon employé, et tenir compte, d'autre part, qu'il s'agit du kilowatt heure livré *à la sortie des sous-stations*, c'est-à-dire après une *double transformation* s'il s'agit de courant alternatif, suivie d'une *conversion* s'il s'agit de courant continu.

vice normal de traction électrique. On estimait en effet que, dès la première année de service normal, la consommation atteindrait environ 55 millions de kilowatt heures (dont 80 p. 100 pour la traction, et 20 p. 100 pour usages divers), alors que la puissance « demandée » semblait devoir osciller autour de 20.000 kilowatts ; de ces évaluations, on pouvait conclure que, dès le début du service normal, la consommation mensuelle serait nettement supérieure au minimum garanti.

En cas d'*interruption dans la fourniture*, le premier élément de la facture en fonction de la puissance « demandée » subit une réduction correspondant à la durée de l'interruption, — la garantie de consommation minima est supprimée pour le mois entier, — et le second terme dégressif du prix du kilowatt heure ne doit pas dépasser la valeur moyenne correspondant au mois précédent.

Si cette interruption est due à des causes échappant à l'action du fournisseur, sa responsabilité n'est pas engagée davantage.

Au cas où les interruptions deviendraient d'une fréquence ou d'une durée telles qu'elles gêneraient l'exploitation du chemin de fer, ou s'il se produit des défauts dans l'alimentation, le chemin de fer a le droit d'exiger que le fournisseur prenne les mesures nécessaires pour y remédier. Si l'amélioration nécessaire n'est pas réalisée dans les quatre-vingt dix jours qui suivent cette injonction, le chemin de fer peut annuler le contrat par simple préavis de trente jours, en fixant la date de cette expiration. Jusqu'à cette date, et même jusqu'à ce que le chemin de fer ait pu se faire alimenter par ailleurs, le contrat reste néanmoins en vigueur. Si de nouvelles interruptions ou défauts se produisent dans cette période, le chemin de fer a le droit, sans attendre la date d'expiration, de s'alimenter à une autre

source d'énergie aux frais de la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>.

Chaque partie garantit l'autre partie contre tout dommage résultant de déficiences dans ses propres appareils ou de fautes commises dans sa propre exploitation. Le fournisseur garantit en outre l'Illinois Central contre tous dommages pouvant résulter d'une erreur dans la manœuvre des interrupteurs de départ alimentant le chemin de fer.

Enfin l'arbitrage est prévu pour toutes les contestations pouvant s'élever entre les parties à l'occasion du contrat (\*).

#### Sous-stations.

Les *sous-stations de traction* sont au nombre de 7 (voir *fig. 15* et planche I) : celles de la 16<sup>e</sup> rue, de Brookdale (69<sup>e</sup> rue), de Front Avenue (Kensington), de Cheltenham (79<sup>e</sup> rue, sur l'embranchement de South Chicago), et de Laffin Street (sur l'embranchement de Blue Island), sont alimentées par les câbles souterrains à 12.000 volts de la Commonwealth Edison C<sup>o</sup>, tandis que celles de Harvey et de Vollmer Road (près d'Olympia Fields), situées en dehors des limites de la ville (voir *fig. 14*), sont alimentées par les lignes aériennes à 33 000 volts de la Public Service Company of Northern Illinois.

Pour l'équipement de ces sous-stations, il fut décidé de recourir en principe à des *commutatrices* ; toutefois, en raison du développement de plus en plus rapide des *redresseurs à vapeur de mercure*, on décida également d'installer un certain nombre de ces appareils à titre

---

(\*) Pour de plus amples détails, voir notamment *Electric Railway Journal*, 10 janvier 1925 et 22 août 1925, et *Railway Review*, 6 mars 1926, p. 425.

d'essai. La consistance des machines installées en définitive dans les sous-stations est la suivante :

SOUS-STATIONS	TYPE des machines	NOMBRE de groupes	PUISSANCE de chaque groupe	PUISSANCES totales
			kw	kw
16 <sup>e</sup> rue .....	commutatrices .....	3	3.000	9.000
Brookdale .....	commutatrices .....	2	3.000	
	redresseurs .....	1	3.000	6.000
Front Avenue .....	commutatrices .....	2	3.000	
	redresseurs .....	1	3.000	6.000
Harvey .....	commutatrices .....	1	3.000	
	redresseurs .....	1	3.000	4.500
Vollmer Road .....	commutatrices .....	1	1.500	
	redresseurs .....	1	3.000	6.000
Cheltenham .....	commutatrices .....	2	3.000	
	redresseurs .....	1	1.500	1.500
Lafin Street .....	redresseurs .....	1	1.500	
				42.000

La puissance des groupes de commutatrices a été déterminée de façon que ces groupes puissent assurer le service à eux seuls en cas d'insuccès des redresseurs, la puissance de ces derniers ne correspondant au maximum qu'à la puissance à tenir en réserve d'après les stipulations du traité. Mais il a été entendu, par contre, que si les redresseurs fonctionnaient convenablement, la Commonwealth Edison C<sup>o</sup> aurait le droit de les utiliser *en permanence* à la place d'un certain nombre de groupes de commutatrices, maintenus en réserve, afin de pouvoir bénéficier des économies provenant du *meilleur rendement des redresseurs*. Ce rendement doit s'élever, en effet, à 96 p. 100 à pleine charge, au lieu de 93,8 p. 100 pour les commutatrices; la différence est moindre en surcharge (95 p. 100 contre 94,2 p. 100 pour une surcharge de 50 p. 100), mais elle est par contre supérieure à faible charge (95,6 p. 100 contre 91,1 p. 100 à demi-charge): cette dernière considération est particulièrement importante pour des sous-stations de trac-

tion, sur les parties de lignes où le service est moins intense (cas de l'embranchement de Blue Island notamment).

Tous les *groupes de commutatrices* ont été fournis par la General Electric C°. Chaque groupe est constitué par deux commutatrices de 1.500 kilowatts (750 volts, 600 tours par minute pour 60 périodes par seconde) connectées en série de façon permanente. La charge peut s'élever à 150 p. 100 de la normale pendant deux heures, et à 300 p. 100 pour une minute.

Le *démarrage* des commutatrices a lieu par le côté alternatif; le couplage des transformateurs qui les alimentent étant normalement « triangle-triangle », on adopte pour le démarrage le couplage « étoile-triangle », afin d'alimenter les commutatrices à une tension égale à environ 60 p. 100 de la tension normale.

En raison des stipulations du traité, le *réglage de la tension* du côté continu des commutatrices devait être particulièrement soigné, pour pouvoir maintenir la tension d'alimentation des feeders entre le maximum de 1.550 volts et le minimum de 1.400 volts. Afin d'avoir une certaine marge, on s'est proposé d'obtenir, aux bornes des groupes de commutatrices, une tension maxima de 1.525 volts à vide, et une tension minima de 1.425 volts à 300 p. 100 de charge. D'où l'adoption de *commutatrices à excitation séparée*, avec un dispositif régulateur d'autant plus compliqué qu'on désirait lui donner toute la souplesse voulue pour permettre la marche en parallèle avec les groupes de redresseurs à vapeur de mercure, dont la caractéristique de tension est assez différente.

Le *dispositif régulateur* adopté est dit « à force contre-électromotrice » (C. E. M. F. system). Les inducteurs des commutatrices de chaque groupe sont alimentés par une excitatrice spéciale, placée en bout d'arbre de l'une des machines du groupe. Cette excitatrice est à

son tour munie d'une excitation compound, dont l'enroulement shunt est pourvu d'un simple rhéostat de réglage à la main, tandis que l'enroulement série est relié à la génératrice d'un petit groupe moteur-générateur, dit *groupe à force contre-électromotrice*. Entre cette génératrice et les circuits la reliant aux enroulements inducteurs série des différentes excitatrices des groupes de commutatrices, est intercalé un rhéostat automatique, entraîné par un petit moteur. Ce moteur est lui-même commandé par un régulateur Tirrill branché sur les barres omnibus à 1.500 volts. Il existe en outre, comme d'usage, un rhéostat individuel sur le circuit d'excitation de chaque groupe de commutatrices. Sans méconnaître la grande complication de ce système, les ingénieurs intéressés se déclarent très satisfaits de son fonctionnement, et notamment des résultats remarquables obtenus au point de vue de la *précision* et de la *souplesse* de ce réglage.

Les *redresseurs à vapeur de mercure* sont de deux types. Les groupes de 3.000 kilowatts installés à Brookdale et à Harvey ont été fournis par la Compagnie Brown-Boveri. Chaque groupe comprend deux redresseurs dodécaphasés de 1.500 kilowatts, travaillant en parallèle, et alimentés séparément par deux transformateurs. Ils peuvent supporter une charge égale à 150 p. 100 de la charge normale pendant vingt minutes, et à 300 p. 100 pour une minute. La tension est de 1.500 volts à charge normale, et s'élève à 1.550 volts à faible charge (5 p. 100 de la normale); elle s'abaisse à 1.360 volts pour une charge de 300 p. 100. Cette caractéristique peut toutefois être améliorée en modifiant les prises sur les primaires des transformateurs: cette opération doit se faire à la main, pour relever la tension du côté continu pendant les heures de pointe, afin de compenser la trop grande chute de tension dans les lignes de transmission;

elle peut également être effectuée aux heures où le service est particulièrement intense. Pour la sous-station de Brookdale, alimentée à 12.000 volts, l'opération peut se faire pendant que les redresseurs débitent. Mais à Harvey, où la tension d'alimentation est de 33.000 volts, on ne peut l'exécuter qu'en déconnectant le groupe au préalable.

Quant aux groupes de 1.500 kilowatts installés à Laffin Street et à Vollmer Road, ils ont été fournis par la General Electric Company. Chaque groupe comprend deux redresseurs hexaphasés de 750 kilowatts, travaillant en parallèle, et alimentés par un seul transformateur. La charge peut s'élever à 150 p. 100 de la charge normale pendant vingt minutes, à 200 p. 100 pendant cinq minutes et à 300 p. 100 pour de courtes pointes. La tension est de 1.550 volts à faible charge, et de 1.340 volts pour la charge de 300 p. 100. Les groupes comportent des dispositifs permettant de régler la tension pour suivre pratiquement la caractéristique des commutatrices ; les transformateurs possèdent en outre des prises variables.

La protection des machines des sous-stations est assurée au moyen de *disjoncteurs extra-rapides* du type usuel de la General Electric Company. Il y a un disjoncteur entre chaque groupe de commutatrices et la barre omnibus positive à 1.500 volts, et un autre disjoncteur entre chaque groupe et la barre omnibus négative reliée aux rails de la voie. Le premier déclenche seul en cas d'inversion du courant, et sépare le groupe de la barre omnibus. Le second (côté négatif) déclenche par surcharge, pour insérer dans le circuit une résistance dérivée à ses bornes : en cas de court-circuit, cette opération ne demande qu'un centième de seconde. Le disjoncteur négatif est en outre muni d'un dispositif de fermeture automatique, dans le cas où le défaut qui a provoqué son déclenchement disparaît dans un délai déterminé.

Des disjoncteurs du même type, déclenchant par surcharge, mais sans insertion de résistance, sont installés sur *chaque départ de feeder* à 1.500 volts pour l'alimentation des lignes de contact aériennes : un shunt inductif est monté en parallèle avec l'enroulement série de déclenchement du disjoncteur, de façon que le délai de fonctionnement soit d'autant plus réduit que l'accroissement de courant qui le provoque est plus rapide.

Tous les disjoncteurs montés sur les départs sont munis du système de *contrôle à distance* (supervisory control) de la General Electric Company, par relais sélecteurs synchrones. De la sorte, le « répartiteur d'énergie » peut, de son bureau, contrôler la position de tous les disjoncteurs de feeders des sous-stations, et les ouvrir lui-même, ou empêcher les agents des sous-stations de les refermer.

Les sous-stations ont été installées de façon à occuper un emplacement aussi réduit que possible (\*). Dans ce but, les transformateurs sont montés entre les deux commutatrices qu'ils alimentent, ce qui permet de réduire la longueur des connexions au minimum : ce sont des transformateurs sans cuve, à refroidissement par ventilateur. Quant aux transformateurs alimentant les redresseurs, ils sont également placés dans la même salle, à proximité immédiate de ceux-ci (voir *fig. 16*). Le long de l'un des murs de la salle des machines se trouvent les barres omnibus à 12.000 volts, et les interrupteurs à haute tension : ce sont des interrupteurs à huile, montés, avec tout leur panneau de commande, sur des chariots individuels ; ces chariots constituent les cellules du tableau à

---

(\*) Les détails qui suivent s'appliquent aux sous-stations installées dans les limites de la ville, et alimentées à 12.000 volts : les sous-stations situées à l'extérieur, et alimentées à 33.000 volts, présentent des dispositions légèrement différentes.

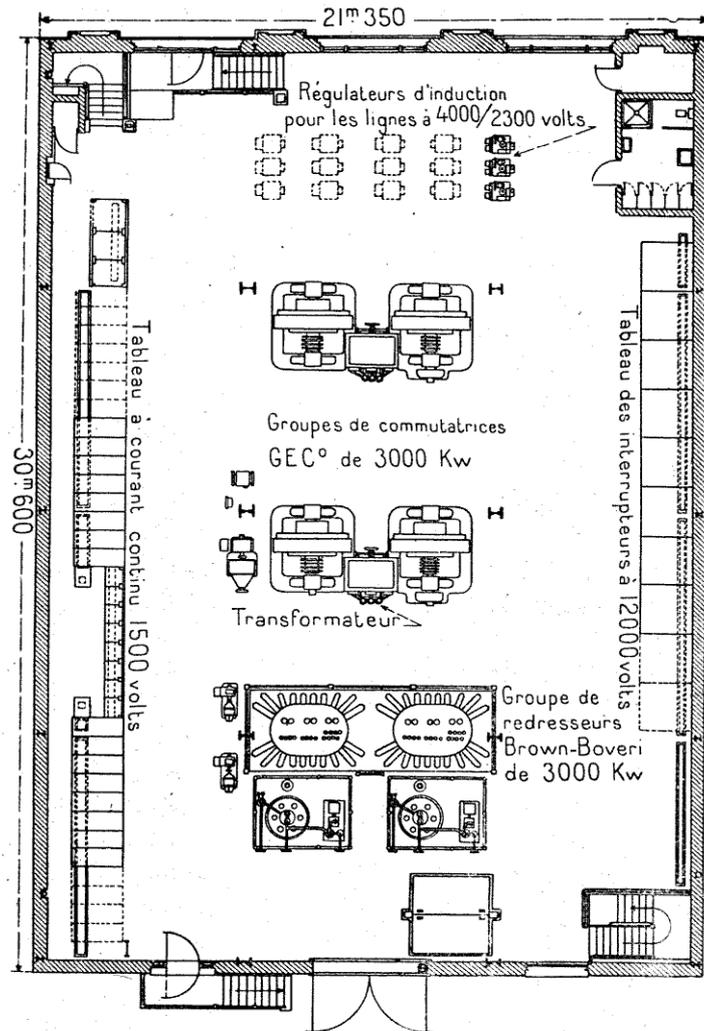


FIG. 16. — Illinois Central Railroad : sous-station de Brookdale,  
plan de la salle des machines.

haute tension. Sur le mur opposé se trouve le tableau à 1.500 volts : les disjoncteurs extra-rapides sur le côté positif des groupes, ainsi que les disjoncteurs des feeders, sont également montés, avec tout leur panneau de commande, sur des chariots individuels constituant une partie des cellules du tableau à 1.500 volts.

Dans le sous-sol se trouvent les arrivées des câbles à haute tension, les disjoncteurs négatifs des groupes, certains appareils auxiliaires, et les transformateurs pour l'alimentation des circuits alternatifs à 4.000/2.300 volts. Ces transformateurs ont une puissance totale de 1.500 kilovoltampères à la 16<sup>e</sup> rue et à Brookdale, de 300 kilovoltampères à Front Avenue, de 150 kilovoltampères à Cheltenham, et de 75 kilovoltampères seulement à Laflin Street. Quant aux sous-stations de Harvey et de Vollmer Road, elles renferment des transformateurs dont la puissance est déterminée par les besoins des autres clients à desservir, l'Illinois Central pouvant prendre toutefois 300 kilovoltampères dans chacune de ces deux sous-stations.

Pour le réglage de la tension sur les circuits à 4.000/2.300 volts, on s'est borné jusqu'ici à installer, dans la salle des machines de chaque sous-station, des *régulateurs d'induction* de la Compagnie Westinghouse, reliés aux barres omnibus à 2.300 volts, mais on a réservé la place nécessaire pour installer des régulateurs du même type sur chacun des départs à courant alternatif (\*).

---

(\*) Pour de plus amples détails sur les sous-stations, voir notamment *Railway Review*, 6 mars 1926, pp. 472 et 476, *Electric Railway Journal*, 22 août 1925, *Railway Age*, 24 juillet 1926, *General Electric Review*, avril 1927, p. 178.

**Lignes aériennes.**

**Caténaires.** — Les lignes de prise de courant installées au-dessus des voies principales sont des caténaires du type dit *compound*, à double fil de contact et porteur auxiliaire.

Le *câble porteur principal* est d'un type uniforme sur toute la longueur des voies électrifiées. Ce câble, fabriqué par la Copperweld Steel Company, comporte une âme formée de sept fils d'aciers recouverts chacun d'une couche de cuivre (copper clad); cette âme est entourée de douze fils de cuivre. Le diamètre du câble ainsi constitué est de 20<sup>mm</sup>,6 et la section de cuivre équivalente au point de vue de la conductibilité électrique est de 187 millimètres carrés. Il est posé avec une tension normale de 3.500 kilogrammes, alors que sa résistance à la rupture est d'environ 16.000 kilogrammes.

Le *câble porteur auxiliaire* est formé de 19 fils de cuivre. Au Nord de la 69<sup>e</sup> rue, la section de cuivre est de 101 millimètres carrés; au Sud de la 69<sup>e</sup> rue et sur les embranchements, la section du câble porteur auxiliaire n'est que de 53 millimètres carrés. La tension de pose est de 540 kilogrammes pour le câble de 101 millimètres carrés et de 360 kilogrammes pour le câble de 53 millimètres carrés.

Les  *fils de contact*, au nombre de deux pour chaque voie, comme nous l'avons dit, sont également de deux types différents. Au Nord de la 69<sup>e</sup> rue, ce sont des fils rainurés en bronze au cadmium, de 85 millimètres carrés, avec une conductibilité égale à 80 p. 100 de celle du cuivre. Au Sud de la 69<sup>e</sup> rue, et sur les embranchements, ce sont des fils de cuivre rainurés, de 107 millimètres

---

(\*\*) Voir *Railway Review*, 6 mars 1926, p. 473.

carrés. La tension de pose est de 900 kilogrammes dans les deux cas.

Les différents fils et câbles correspondant à une voie principale ont donc une *conductibilité totale* équivalente à celle de 424 millimètres carrés de cuivre au Nord de la 69<sup>e</sup> rue, et à 454 millimètres carrés de cuivre au Sud de la 69<sup>e</sup> rue et sur les embranchements. De la sorte, grâce à la *mise en parallèle* des caténaires de toutes les voies principales en service normal, *on a pu se dispenser de tout feeder*, sans que la chute de tension moyenne en ligne dépasse 12 p. 100 pendant les heures de service intensif: en considérant la moyenne pour une journée entière, la perte en ligne ne serait que de 3 p. 100. En mettant ainsi dans les caténaires elles-mêmes, et non dans des feéders, tout le cuivre qui était nécessaire pour obtenir la conductibilité voulue, on a l'avantage d'en profiter pour adopter un type de ligne de contact aussi *souple* que possible, moyennant évidemment un certain supplément dans les frais d'installation.

A cause de la proximité du lac Michigan, *on a écarté complètement l'emploi des matériaux ferreux* dans la construction de la ligne. Les agrafes entre fils de contact et porteur auxiliaire sont en bronze; les pendules entre porteur principal et porteur auxiliaire sont constitués par des tiges de cuivre de 8 millimètres de diamètre fixées sur des agrafes en bronze (\*). Au Nord de la 69<sup>e</sup> rue, les pendules supportant le porteur auxiliaire sont espacés de 6 mètres, et les agrafes reliant alternativement ce dernier à chacun des fils de contact en bronze sont espacées de 3 mètres sur le porteur auxiliaire et de 6 mètres sur chaque fil de contact. Au Sud de la 69<sup>e</sup> rue et sur les embranchements, l'espacement des pendules

(\*) Pour les détails de ces pièces, voir *Railway Review*, 6 mars 1926, p. 455.

et des agrafes est réduit à 4<sup>m</sup>,500 et à 2<sup>m</sup>,250 (4<sup>m</sup>,500 sur chaque fil de contact en cuivre).

La *portée* moyenne de la caténaire entre deux supports consécutifs est de 90 mètres, et la flèche correspondante pour le câble porteur principal est de 1<sup>m</sup>,450.

La *hauteur normale* du fil de contact au-dessus du plan de la voie a été fixée à 6<sup>m</sup>,700 à partir de la 43<sup>e</sup> rue ; dans la partie Nord, à cause du grand nombre des passages supérieurs, la hauteur normale du fil de contact a été ramenée à 5<sup>m</sup>,650 ; elle ne s'abaisse jamais au-dessous de 5<sup>m</sup>,020 au droit des obstacles, avec raccordements à l'inclinaison maxima de 1 p. 100. En raison du petit nombre des courbes, on n'a pas jugé utile de recourir à la caténaire couchée, ce qui a permis de simplifier l'installation, en adoptant un écart maximum de 0<sup>m</sup>,305 entre le fil de contact et l'axe des pantographes.

Le câble porteur principal est *suspendu sous les supports* par une chaîne isolante comprenant deux isolateurs de 178 millimètres de diamètre, avec une tension de contournement à sec de 60.000 volts. L'installation de la caténaire sous les supports exige évidemment pour ceux-ci une hauteur plus grande que si le câble porteur principal passait par-dessus les supports, mais elle donne de grandes facilités pour la pose ; elle a paru surtout indispensable au point de vue de *l'entretien*, parce que les supports de la caténaire servent également pour les lignes de distribution du courant alternatif, et notamment pour les lignes de signalisation, sur lesquelles il est nécessaire de pouvoir travailler sans risquer de venir en contact avec les câbles des caténaires sous tension.

La griffe de fixation du câble porteur sous les isolateurs est en bronze, et son serrage est réglé pour permettre au câble de glisser dans la griffe sous un effort de 450 kilogrammes environ.

Les antibalançants sont fixés sur le câble auxiliaire

seulement, tandis que les organes de rappel de la caténaire en courbe sont également reliés aux deux fils de contact.

Sur les *voies de service*, la caténaire est naturellement beaucoup plus simple : elle comporte un câble porteur en bronze de 9<sup>mm</sup>,5 de diamètre, supportant directement (sans câble porteur auxiliaire) un seul fil de contact en cuivre rainuré de 107 millimètres carrés, par l'intermédiaire de pendules constitués par une tige de cuivre de 6<sup>mm</sup>,5 de diamètre avec agrafe en bronze.

Les caténaires sont reliées aux départs des sous-stations par des câbles en cuivre de 500 ou 750 millimètres carrés de section suivant les cas, avec isolement au papier de 4<sup>mm</sup>,8 d'épaisseur, et gaine de plomb de 3<sup>mm</sup>,2.

**Dispositif de sectionnement.** — Les lignes de contact sont sectionnées au droit de chaque sous-station : celles-ci ont d'ailleurs été implantées autant que possible à proximité des postes enclenchés pour la manœuvre des aiguilles, afin de faciliter les sectionnements et l'alimentation des voies de service, dont les lignes de contact sont isolées de celles des voies principales. Ces dernières, complètement indépendantes pour chaque voie, sont normalement mises en parallèle dans chaque sous-station.

Dans le but de réduire les chutes de tension dans les caténaires, on a prévu, dans l'intervalle des sous-stations, un certain nombre de *postes de mise en parallèle*, qui constituent en même temps des *postes de sectionnement* pour limiter les conséquences d'un incident. Ces postes sont installés à Monroe Street (à la sortie de la gare terminus de Randolph Street), à la 11<sup>e</sup> rue (à l'entrée de la gare principale d'East Roosevelt Road), à la 51<sup>e</sup> rue (fin de la section à 6 voies), à Homewood (entre les sous-stations de Harvey et de Vollmer Road), et en-

fin aux extrémités des lignes à double voie, à Matteson et à South Chicago (voir Pl. I).

Les disjoncteurs installés dans ces postes de sectionnement sont des *disjoncteurs extra-rapides* de la General Electric Company, identiques à ceux installés dans les sous-stations sur les départs à 1.500 volts. Ils sont *commandés et contrôlés à distance* par les agents des sous-stations, et leur fonctionnement est également contrôlé à distance depuis le bureau du « répartiteur d'énergie », comme pour les disjoncteurs placés sur les départs des sous-stations. Les disjoncteurs des postes de sectionnement sont en outre munis d'un dispositif qui les referme automatiquement, sans intervention des agents des sous-stations, dès que le défaut qui a provoqué leur déclenchement vient à disparaître (\*).

Le sectionnement sur les lignes caténaïres des voies principales est réalisé au moyen de la disposition habituelle, dite « à lame d'air » (air gap); sur les voies de service, on emploie simplement des sectionneurs en bois imprégné.

**Supports des caténaïres.** — Comme nous l'avons dit, les supports des caténaïres sont normalement espacés de 90 mètres.

Bien que les voies de banlieue aient seules été électrifiées en première étape, les supports des caténaïres n'en ont pas moins été étudiés en vue de permettre leur utilisation ou leur extension pour les étapes futures concernant les voies des trains de marchandises et des trains de voyageurs de grand parcours. Les emprises du chemin de fer ont une largeur minima de 60 mètres, et la largeur totale occupée par les voies principales à électrifier en définitive atteint parfois 75 à 90 mètres.

---

(\*) Au sujet des postes de sectionnement, et du dispositif de contrôle à distance, voir *General Electric Review*, avril 1927, p. 183.

En principe, les portiques sont divisés en travées de 18 à 21 mètres, s'étendant chacune sur quatre ou cinq voies, et conduisant à envisager, pour la dernière étape, des portiques de quatre et cinq travées. Mais en certains points on a dû prévoir l'installation de portiques en une seule travée de 60 mètres, sans pylônes intermédiaires.

Tous ceux de ces portiques qui, outre les caténaires, supportent également des signaux, ont été posés d'emblée avec la longueur totale correspondant aux étapes futures du programme d'électrification.

Les pylônes et les portiques afférents aux voies principales au Nord de Kensington sont entièrement construits en *treillis*, et d'un aspect très satisfaisant (\*).

Au sud de Kensington, et sur les embranchements, on s'est contenté de supporter les caténaires au moyen de consoles fixées sur des poteaux en *profilés H de Bethlehem* : sur les sections à double voie, les poteaux sont normalement placés entre les deux voies électrifiées, dont l'entraxe est de 4<sup>m</sup>,880 à 5<sup>m</sup>,200 (l'entraxe normal de 3<sup>m</sup>,965 ne permet pas d'y implanter ces poteaux : cet entraxe a été également porté à 5<sup>m</sup>,200 dans la zone Nord, aux endroits où l'on a dû implanter les pylônes intermédiaires des portiques à plusieurs travées). Lorsque l'électrification sera étendue ultérieurement à d'autres voies entre Kensington et Harvey, on installera, pour les caténaires de ces voies, de nouveaux supports analogues, dont les consoles seront réunies à celles des supports actuels pour former des portiques. Cette disposition de portiques en poutrelles H a d'ailleurs été adoptée

---

(\*) On trouvera des photographies de ces portiques, ainsi que des indications sur leurs fondations, dans le mémoire présenté à Chicago le 6 mars 1926 par Mr. W. M. Vandersluis, ingénieur des services électriques de l'Illinois Central, devant la Western Society of Engineers.

Voir également *Electric Railway Journal*, 5 septembre 1925, *Railway Age*, 13 février 1926, et *General Electric Review*, avril 1927, p. 204.

pour l'électrification des voies de service de certaines gares.

En dehors des profilés H dont il vient d'être question, tous les fers entrant dans la constitution des supports des caténaires ou des signaux sont *constitués par de l'acier à 0,25 p. 100 de cuivre*, qui s'est révélé particulièrement réfractaire à la rouille dans la construction des voitures métalliques. On a estimé, en effet, qu'en raison de la proximité du lac Michigan, le léger supplément de dépense qu'entraînait l'emploi de ce métal pour les supports des caténaires était amplement justifié.

Les supports ont été *calculés* pour répondre à deux séries de conditions différentes. On a envisagé d'une part le cas où toutes les pièces des caténaires seraient recouvertes d'une couche de glace de 12<sup>m</sup>,7 d'épaisseur, et soumises à un vent de 116 kilomètres à l'heure, donnant une pression de 39 kilogrammes par mètre carré de surface projetée (glace comprise); on a admis que, dans ces conditions, la pression du vent sur les supports serait de 58<sup>kg</sup>,5 par mètre carré de surface exposée, sans couche de glace. On a considéré, d'autre part, le cas d'un vent extrêmement violent, de 187 kilomètres à l'heure, avec lequel il n'y aurait pas de dépôt de glace sur la caténaire; dans ce cas la pression a été prise égale à 97<sup>kg</sup>,5 par mètre carré de surface projetée pour la caténaire, et à 146 kilogrammes par mètre carré de surface exposée pour les supports. La température minima est fixée à — 29° C. par temps calme, et à — 18° C. pour le cas de surcharge de glace. On a supposé enfin que la rupture d'un câble porteur principal pourrait provoquer sur un portique un effort supplémentaire de 450 kilogrammes dans le sens de la voie, cet effort devant être limité, comme nous l'avons vu, par le glissement du câble porteur dans la griffe de l'isolateur à partir de ce taux.

Avant d'arrêter définitivement les dessins des por-

tiques, des *essais de laboratoire* ont été exécutés sur des modèles à échelle réduite, d'après la méthode du professeur Begg (\*).

**Circuits secondaires.** — Sur les mêmes supports que les caténaires de traction sont installées les lignes triphasées (distribution à quatre fils, 4.000/2.300 volts, 60 périodes) pour *usages divers* (force motrice et éclairage), et les lignes monophasées (2.300 volts, 60 périodes) pour l'alimentation des *signaux* du block automatique.

Les *circuits triphasés* sont installés en double de Randolph Street à la sous-station de Brookdale (69<sup>e</sup> rue) : au delà, comme sur les embranchements, on n'a posé qu'un seul circuit. Les lignes triphasées sont constituées par des fils de cuivre de 7<sup>mm</sup>, 1/3 de diamètre, recouverts d'une triple couche de tresse isolante pour répondre aux prescriptions de la ville de Chicago. L'écartement horizontal entre fils est de 0<sup>m</sup>,535. Les fils sont tendus à raison de 370 kilogrammes pour la température usuelle, ce qui correspond à une flèche de 1<sup>m</sup>,800 pour la portée normale de 90 mètres. Les lignes triphasées sont normalement alimentées dans les deux directions au départ de chaque sous-station, et sectionnées à mi-distance entre sous-stations : en cas d'incident, ces sectionneurs peuvent être fermés pour alimenter les lignes par une seule extrémité dans l'intervalle compris entre deux sous-stations.

Les *circuits de signalisation* sont constitués par des lignes monophasées à 2.300 volts, *installées en double* dans toute la zone électrifiée. Les fils employés sont du même type que ceux des circuits triphasés, mais le *mode d'alimentation* est différent : chacune des deux lignes est

---

(\*) Au sujet de ces essais, voir notamment *Railway Review*, 6 mars 1926, p. 434, et *General Electric Review*, avril 1927, p. 206.

alimentée normalement par chaque sous-station d'un seul côté, et dans des sens opposés jusqu'à la sous-station suivante ; de la sorte, *chaque section de voie comprise entre deux sous-stations possède deux alimentations distinctes sur toute sa longueur, l'une des lignes étant alimentée par la sous-station amont et l'autre par la sous-station aval*. Si le service est interrompu dans une sous-station, les lignes de signalisation y sont connectées de façon que chacune d'elles soit alimentée en sens opposé par l'une des sous-stations encadrantes. A chaque emplacement de signaux sont installés deux transformateurs 2.300/110 volts, branchés chacun sur une ligne d'alimentation distincte : l'un de ces transformateurs alimente normalement les circuits des signaux, tandis que l'autre est tenu en réserve, et un *relais de transfert*, placé sur la basse tension (\*), connecte automatiquement les circuits des signaux au second transformateur si l'alimentation du premier vient à manquer. Cette disposition présente des garanties précieuses pour la *sécurité* de la circulation, en assurant la permanence de l'alimentation des signaux en cas d'avarie de l'une des lignes monophasées : ces deux lignes sont d'ailleurs suffisamment écartées l'une de l'autre pour éviter le risque d'avaries simultanées.

Avant l'électrification, on employait déjà, dans cette zone, des *signaux lumineux colorés* (c'est-à-dire donnant les mêmes indications, de jour comme de nuit, au moyen de lampes électriques placées derrière des verres rouges, jaunes ou verts), alimentés normalement par des distributions locales à courant alternatif : à chaque emplacement de signal, des batteries d'accumulateurs, chargées par des redresseurs, alimentaient les circuits de

---

(\*) C'est pour pouvoir placer ce relais sur la basse tension, et non sur la haute tension, qu'on a été conduit à prévoir deux transformateurs.

voie à courant continu du block automatique, et servaient en même temps d'alimentation de secours pour les lampes des signaux en cas d'interruption dans la fourniture du courant alternatif.

Lors de l'électrification, on a dû remplacer les circuits de voie à courant continu par des *circuits à courant alternatif* en raison de l'utilisation des rails de roulement comme circuit de retour pour le courant continu de traction. Il n'y a donc plus d'autre alimentation des signaux lumineux colorés et des circuits de voie que par le double transformateur 2.300/110 volts dont nous avons parlé. Le courant à 110 volts qui en provient est utilisé directement pour le fonctionnement des relais du block automatique, et alimente d'autre part des transformateurs à prises réglables donnant les courants à très basse tension employés pour l'éclairage des lampes des signaux (8 volts le jour et 5 volts la nuit), et pour les circuits de voie (7 à 8 volts) (\*).

Au nord de la 80<sup>e</sup> rue, les circuits de contrôle des signaux, comme les circuits de communication, sont constitués par des câbles placés en caniveau. Au delà de la 80<sup>e</sup> rue, et sur l'embranchement de South Chicago, les circuits de contrôle des signaux sont réunis en un câble isolé au caoutchouc, suspendu tous les 45 centimètres à un fil d'acier de 9 à 13 millimètres de diamètre; ce fil passe lui-même sur des isolateurs fixés sur les pylônes des supports de la caténaire. L'ensemble est réglé de façon à donner, dans une portée normale de 90 mètres, la même flèche de 1<sup>m</sup>,800 que sur les lignes de distribution triphasées et monophasées.

---

(\*) Au sujet du block automatique à signaux lumineux colorés de l'Illinois Central, voir notamment *Railway Review*, 6 mars 1926, p. 480, et *General Electric Review*, avril 1927, p. 226.

**Circuit de retour.** — Les voies sont en rails de 45 kilogrammes par mètre. L'*éclissage électrique* est réalisé au moyen de connexions constituées par des câbles de cuivre à 127 torons, dont la section totale est de 107 millimètres carrés : il n'y a qu'une seule connexion par joint. Ce câble est terminé par deux blocs de cuivre que l'on soude à l'extérieur du champignon du rail au moyen du chalumeau oxyacétylénique. Avant la mise en place, la connexion a une longueur totale de 340 millimètres, dont 215 millimètres entre les blocs des extrémités : après pose, ces blocs sont espacés de 175 à 180 millimètres seulement, pour laisser la connexion détendue lorsque le joint est ouvert au maximum (\*).

Dans les aiguillages et croisements, on emploie des connexions en câbles à 127 torons de 150 millimètres carrés de section.

En dehors des voies électrifiées, on a installé l'éclissage électrique sur certaines voies non électrifiées entre la 16<sup>e</sup> rue et la 69<sup>e</sup> rue, afin d'augmenter la conductibilité totale du circuit de retour : l'éclissage électrique a ainsi porté au total sur 212 kilomètres de voies.

Les connexions équipotentielles entre rails d'une même voie sont naturellement des *connexions inductives* (impédance bonds) en raison de la présence des circuits de voie du block automatique, de façon à laisser passer le courant continu de traction d'un rail au suivant, malgré le joint isolé du circuit de block, et à s'opposer par contre au passage du courant alternatif du circuit de voie. Elles sont constituées par quelques tours d'un gros conducteur en cuivre autour d'un noyau magnétique avec entrefer : le tout est monté dans une boîte étanche installée sur les traverses, entre les deux rails. Ces connexions sont calculées pour livrer passage à un courant de 500 ampères

(\*) Voir *General Electric Review*, avril 1927, p. 189.

en permanence, de 900 ampères pendant trente minutes, et de 1.500 ampères pendant cinq minutes, étant entendu que le déséquilibre entre les courants de retour des deux rails ne dépasse pas 150 ampères. Elles ne présentent pour le courant continu de retour qu'une résistance de 0,0014 ohm, tandis qu'elles opposent au courant alternatif à 60 périodes du circuit de block une impédance de 0,062 ohm. Elles sont reliées aux rails voisins par des câbles en cuivre de 150 millimètres carrés, avec têtes soudées aux rails. Ces connexions sont placées au droit de chaque portique de signaux : dans ces conditions, leur espacement varie de 600 à 900 mètres dans la partie Nord, et s'élève à 1.500 mètres vers l'extrémité Sud de la zone électrifiée.

Quant aux connexions équipotentielles entre voies parallèles, elles sont effectuées au moyen de câbles de 150 millimètres carrés, isolés au caoutchouc, et reliant les points neutres des connexions inductives des voies considérées. L'intervalle entre connexions successives de voie à voie est toutefois le double de l'intervalle entre connexions inductives d'une même voie.

Les rails sont reliés aux barres négatives des sous-stations au moyen de câbles isolés au caoutchouc, de 250 à 500 millimètres carrés de section, fixés également aux points neutres des connexions inductives situées au droit de chaque sous-station.

Les pylônes supportant les caténaires sont mis à la terre en les reliant à une file de rails au moyen d'un câble de cuivre à 37 torons, de 7<sup>mm</sup>, 1/3 de diamètre, isolé au caoutchouc, et fixé par soudure oxyacétylénique sur le pylône et sur le champignon du rail. En raison des circuits de voie du block automatique, cette mise à la terre ne peut pas toujours être faite sur le rail le plus proche du pylône, et l'on a dû choisir dans chaque cas les files de rails à utiliser comme prise de terre. Aux emplacements

des signaux, cette prise de terre s'effectue sur les points neutres des connexions inductives. Le fil de terre placé au-dessus des lignes à courants alternatifs possède une prise de terre indépendante à chaque portique. Quant au fil supportant le câble des circuits de contrôle, qui est placé comme nous l'avons dit, sur des isolateurs fixés aux pylônes des caténaires, il est mis à la terre à chaque connexion équipotentielle entre voies parallèles.

**Pose des lignes aériennes.** — La pose des lignes aériennes a été confiée à la Pierce Electric Company de Chicago.

Le matériel utilisé pour constituer les *trains de travaux* comprenait une grue automotrice à vapeur et dix-sept wagons à bogies, dont huit wagons plats équipés avec échafaudages, trois wagons pour les tourets des câbles et fils des caténaires, deux pour les tourets des fils des distributions triphasées et monophasées, et quatre wagons couverts pour l'outillage (\*). Les tourets comportaient chacun 1.600 mètres de câbles ou fils.

Pour la pose des *lignes de distribution* triphasées et monophasées, deux procédés distincts ont été employés. Dans la partie Sud, où il n'y a que deux voies électrifiées, avec poteaux de support dans l'entre-voie, on a pu poser ces lignes avec la grue circulant sur une voie adjacente. Les isolateurs supportant les lignes de distribution sont placés sur deux rangées horizontales : sur le bras de la rangée supérieure, on attachait, au moyen d'un cadre en fers à U, un arbre horizontal portant neuf rouleaux espacés de 15 centimètres. Des rouleaux analogues étaient disposés à l'extrémité de la flèche de la grue, et sur le toit du wagon couvert servant d'atelier : devant ce wagon se

---

(\*) Au sujet de ce matériel, voir notamment le mémoire de Mr. W. M. Vandersluis, déjà cité, ainsi que *Railway Age*, 13 février 1926 et 24 juillet 1926, et *General Electric Review*, avril 1927, p. 208.

trouvaient deux wagons plats comportant chacun six tourets, tandis qu'à l'arrière de la grue était placé un wagon à échafaudage. Les fils étaient déposés au passage dans les rouleaux fixés aux supports de la caténaire. Avec ce dispositif, on pouvait placer d'un seul coup jusqu'à huit fils sur les supports, et effectuer deux manœuvres par jour, correspondant ainsi à un total de 25 à 26 kilomètres de fils par jour. Une seconde équipe suivait pour donner aux fils leur tension exacte et les reporter des rouleaux sur les isolateurs.

Dans la partie Nord, où les portiques des caténaires ne permettaient pas d'effectuer cette opération à la grue, on procédait différemment : un wagon à six tourets était amarré, et les six fils étaient attachés à un palonnier, avec un écartement correspondant à celui des rouleaux placés au-dessus des supports des isolateurs. Au moyen d'une grosse corde passée sur le rouleau central, on tirait l'ensemble soit avec une locomotive, soit à bras d'hommes. Par ce procédé, on arrivait à poser chaque jour les fils correspondant à un wagon de tourets, soit une avance moyenne de 1.600 mètres par jour, correspondant à 9<sup>km</sup>,6 de fils au total.

La pose des *caténaires* était effectuée au moyen d'un train de travaux analogue à celui employé pour la pose des lignes de transmission au moyen de la grue à vapeur, mais ne comprenant qu'un seul wagon de tourets; sur ce wagon étaient installés cinq tourets munis de freins. Avant de poser le câble porteur principal, qui pèse environ 2<sup>ks</sup>,250 par mètre, on commençait par installer au-dessous de chaque chaîne d'isolateurs un rouleau muni de paliers à billes, sous lequel on attachait provisoirement la griffe de fixation du câble porteur. Le câble était déposé sur les rouleaux à l'aide de la grue, puis la tension exacte était donnée à l'aide d'un treuil à bras, et mesurée avec un dynamomètre à ressort, d'après un

barème indiquant la tension nécessaire en fonction de la température ambiante. La vitesse d'avancement était en moyenne de 3<sup>km</sup>,5 par jour, avec une équipe de huit hommes.

Une seconde équipe fixait le porteur principal dans ses agrafes, et attachait en même temps sur ce câble des plaques de repère pour l'installation des pendules. Une troisième équipe fixait les pendules sur le porteur principal.

L'opération suivante consistait à placer d'un seul coup le porteur auxiliaire et les deux fils de contact au moyen de la grue à vapeur; le train de travaux était constitué comme les précédents : sur le wagon à échafaudage placé à l'arrière se trouvaient des hommes qui attachaient aux pendules (un pendule sur deux seulement) des poulies à trois gorges où ils déposaient le porteur auxiliaire et les deux fils de contact passant sur les rouleaux situés à l'extrémité de la flèche de la grue. Cette opération s'exécutait à raison de 3 kilomètres en moyenne par jour.

Enfin un train composé de cinq ou six wagons à échafaudages, avec une équipe de quatorze à seize hommes, terminait l'installation en fixant le porteur auxiliaire sur les pendules et en plaçant les agrafes entre les fils de contact et le porteur auxiliaire, à raison de 2<sup>km</sup>,5 environ par jour.

#### **Automotrices.**

**Description générale.** — Les trains sont constitués par un à cinq « *couplages* » comprenant chacun *une automotrice et une remorque* attelées entre elles en permanence, avec un poste de manœuvre à chaque extrémité du couplage.

Les *caisses* des automotrices et des remorques sont semblables, sauf les différences tenant au fait que le

châssis de l'automotrice doit recevoir l'équipement électrique afférent au couplage, et que son toit supporte deux pantographes. Le châssis est en acier, le revêtement intérieur en tôle d'aluminium, le toit et le revêtement extérieur au-dessous des baies en alliages d'aluminium; le reste de la charpente est en acier à 0,25 p. 100 de cuivre. Les portes sont également en aluminium. Grâce à cet *emploi étendu de l'aluminium*, on a pu alléger sensiblement les voitures. Tandis que les vingt premières remorques, constituées par des voitures métalliques commandées en 1920, pesaient 43 tonnes, l'emploi de l'aluminium sur les vingt-cinq voitures suivantes, commandées en 1922, a permis de réduire ce poids à 39',6; les quatre-vingt cinq dernières remorques, commandées en 1925, ne pèsent même que 38',5 (\*). Quant aux automotrices, au nombre de cent trente, elles pèsent 64 tonnes. On dispose ainsi, pour assurer le service, de deux cent soixante voitures entièrement métalliques, constituant cent trente couplages.

Les voitures sont munies de l'intercirculation par soufflets; elles n'ont de portes d'accès qu'aux deux extrémités (voir *fig. 17*). Ces portes coulissantes donnent accès à deux plates-formes que d'autres portes intérieures séparent du reste de la voiture. Comme les stations de banlieue sont toutes pourvues de *quais hauts*, les plates-formes des automotrices ne comportent pas de trappes découvrant des marches d'accès, suivant la pratique américaine ordinaire; ces trappes et ces marches d'accès, qui existaient sur toutes les plates-formes des quarante-cinq premières remorques, provenant des voitures métalliques commandées en 1920 et 1922, n'ont été conservées, sur

---

(\*) Les quarante-cinq premières voitures ont été commandées dès 1920 et 1922 afin de faire face au développement du service de banlieue à vapeur, mais avec l'idée qu'elles serviraient ensuite comme remorques lorsque les lignes de banlieue seraient électrifiées.

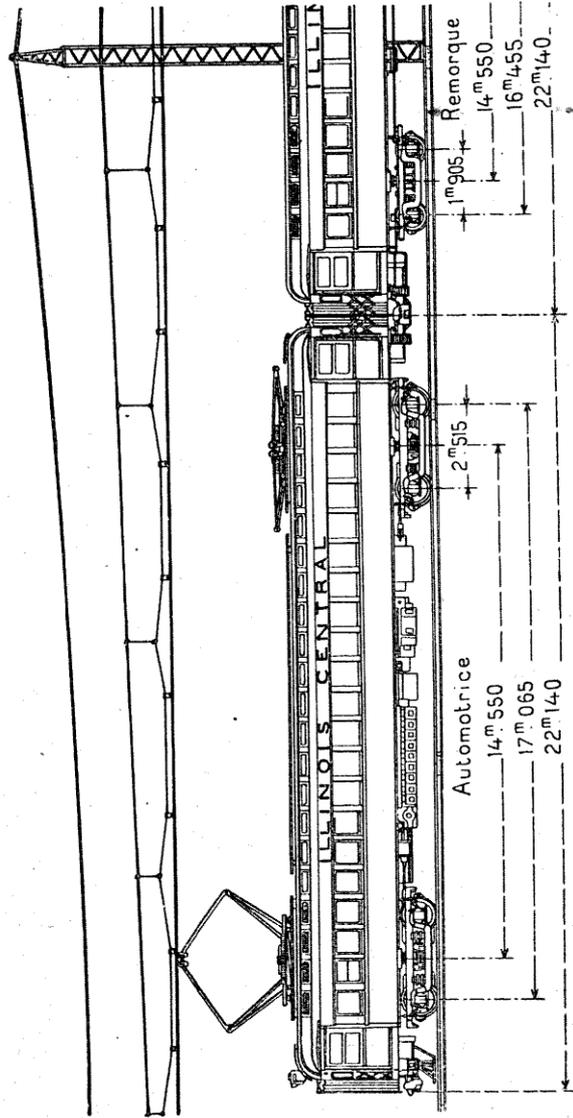


FIG. 17. — Automotrice de l'illinois Central Railroad.

les quatre-vingt cinq dernières remorques, que pour la plate-forme voisine de l'automotrice : on dispose ainsi, sur chaque couplage, d'un moyen d'évacuation des voitures en cas d'arrêt intempestif hors des stations.

Chaque voiture comporte deux banquettes longitudinales à quatre places, à chaque extrémité, et trente-quatre banquettes transversales à deux places, disposées de chaque côté d'un passage central : le nombre total des places assises est donc de quatre-vingt quatre. L'espacement des banquettes transversales est de 0<sup>m</sup>,930.

Les châssis des bogies sont en acier moulé d'une seule pièce, de la Commonwealth Steel Company.

Suivant la disposition usitée sur les chemins de fer métropolitains d'Amérique, les parois latérales des voitures sont reliées par des barrières métalliques extensibles pour éviter la chute des voyageurs entre les voitures en cas d'affluence.

Les principales dimensions des voitures sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Longueur hors tampons.....	22 <sup>m</sup> ,140
Longueur entre plates-formes.....	18 <sup>m</sup> ,450
Largeur extérieure des caisses.....	3 <sup>m</sup> ,035
Hauteur des plates-formes au-dessus du rail..	1 <sup>m</sup> ,310
Largeur des portes latérales.....	1 <sup>m</sup> ,220
Largeur des portes intérieures.....	0 <sup>m</sup> ,660
Largeur des portes d'intercirculation.....	1 <sup>m</sup> ,220
D'axe en axe des bogies.....	14 <sup>m</sup> ,550
Empattement { Automotrices.....	2 <sup>m</sup> ,515
d'un bogie { Remorques.....	1 <sup>m</sup> ,905
Diamètre { Automotrices.....	0 <sup>m</sup> ,915
des roues { Remorques.....	0 <sup>m</sup> ,840

**Équipement électrique.** — Chaque automotrice est munie de quatre moteurs, ayant chacun une puissance unihoraire de 250 chevaux ; les deux moteurs d'un même bogie sont connectés en série de façon permanente. Ces moteurs ont

été commandés pour moitié à la General Electric C<sup>o</sup> et pour moitié à la Compagnie Westinghouse, avec cette réserve qu'ils devaient être complètement interchangeables, et se répartir convenablement la charge lorsque des moteurs de construction différente se trouveraient dans un même train (\*).

Les *pantographes* sont placés au droit des bogies de chaque automotrice; ils sont relevés par des ressorts et abaissés à l'air comprimé. Tous les pantographes d'un train peuvent être manœuvrés de l'un quelconque des postes de commande situés dans les divers couplages qui constituent le train. Ils peuvent travailler entre 4<sup>m</sup>,900 et 7<sup>m</sup>,300 de hauteur au-dessus du rail. Chaque pantographe peut être isolé au moyen d'un sectionneur disposé dans le poste de commande le plus voisin, de façon à n'utiliser normalement qu'un seul pantographe par automotrice.

Le *poste de commande* est placé dans un angle de la plate-forme, derrière une porte qui, développée, constitue une cabine pour le mécanicien tout en laissant libre le passage pour l'intercirculation; en repliant au contraire cette porte, on isole les appareils du reste de la plate-forme qui est alors entièrement libre.

Le *contrôle* est du type PC électro-pneumatique de la General Electric C<sup>o</sup> (\*\*); le système disjoncteur est formé par deux contacteurs électro-pneumatiques en série, tandis que les contacteurs de démarrage et de couplage sont actionnés par un arbre à cames. Le système fonctionne normalement à *accélération automatique* par relais d'intensité, avec faculté de manœuvrer également cran par cran si cela est nécessaire. Il y a sept crans de marche en série (les quatre moteurs de l'automotrice étant alors tous en série), cinq crans de marche en parallèle (les deux

---

(\*) Voir *General Electric Review*, avril 1927, p. 193.

(\*\*) Voir *General Electric Review*, avril 1927, p. 202.

moteurs d'un même bogie restant en série, et les circuits des deux bogies étant en parallèle), et un cran de shuntage. Mais le contrôleur ne comporte que quatre positions de marche normale : une position pour les manœuvres (moteurs en série avec toutes les résistances en circuit), une position de marche à vitesse modérée (couplage en série à plein champ), une position intermédiaire pour effectuer la manœuvre cran par cran, et une position de marche à pleine vitesse (couplage en parallèle avec shuntage). Si le mécanicien abandonne la poignée du contrôleur, alors que la manette d'inversion n'est pas à la position neutre, le système disjoncteur fonctionne aussitôt, et *les freins se serrent* à fond automatiquement comme pour un serrage d'urgence. D'autre part, le contrôleur de chaque poste de commande est enclenché avec les appareils du frein à air, de telle façon qu'il ne peut être manœuvré si les freins ne sont pas effectivement placés sous la dépendance du robinet de manœuvre installé dans le poste considéré.

Le courant de contrôle à 32 volts est fourni par un *groupe moteur-générateur* de 3,5 kilowatts (\*), installé sous le châssis de l'automotrice, et fonctionnant en parallèle avec une batterie Edison de 300 ampères-heure (\*\*). Le groupe et la batterie alimentent également les circuits d'éclairage, ainsi que les petits moteurs assurant la fermeture des portes latérales des voitures. Près de chaque porte latérale se trouvent deux interrupteurs, dont l'un commande la fermeture simultanée des quatre portes du couplage situées du côté considéré, tandis que le second n'actionne que la porte la plus proche.

Le *chauffage* est assuré au moyen de radiateurs placés

---

(\*) Le moteur à 1.500 volts possède deux collecteurs.

(\*\*) Cette batterie est placée sous le châssis de la remorque, tandis que tout le reste de l'appareillage est placé sous le châssis de l'automotrice.

sous les sièges, et répartis sur cinq circuits différents (il y a en outre un sixième circuit pour le chauffage du poste de commande). Chaque radiateur est de 750 watts, et il y a au total 29 kilowatts de radiateurs par voiture (il ne faut pas oublier que les hivers sont particulièrement rigoureux à Chicago). Les radiateurs sont alimentés à 1.500 volts, et comportent deux éléments, l'un pour le chauffage normal, l'autre pour renforcer ce chauffage si la température extérieure est très basse. Ces éléments sont mis automatiquement en service au moyen de deux *thermostats* ayant des réglages différents; ces réglages peuvent d'ailleurs être modifiés par les agents accompagnant le train, afin de réduire le chauffage aux heures d'affluence et pour les petits parcours.

Les *freins* sont du système *électro-pneumatique* de la New-York Air Brake Company. L'air comprimé est fourni, sur chaque automotrice, par un compresseur entraîné par un moteur à 1.500 volts. La pression normale est de 6<sup>kg</sup>,4, et les régulateurs automatiques qui commandent les compresseurs sont réglés pour mettre leurs moteurs hors circuit lorsque la pression s'élève entre 7 et 8 kilogrammes. Mais tous les compresseurs du train démarrent dès qu'un seul des régulateurs passe à la position de marche, grâce à un circuit de contrôle synchroniseur régnant sur toute la longueur de la rame (\*).

**Coupleurs automatiques.** — Les coupleurs automatiques placés aux extrémités de chaque couplage sont du système *Tomlinson*, assez différent du type américain ordinaire (\*\*).

---

(\*) Au sujet des automotrices, voir le mémoire, déjà cité, de Mr. W. M. VANDERSLUIS (des extraits de la partie de ce mémoire concernant les automotrices ont paru dans le *Railway Electrical Engineer* d'avril 1926, et dans le *Railway Age*, 13 mars 1926).

Voir également *Railway Review*, 6 mars 1926, p. 439, et *Railway Age*, 24 juillet 1926.

(\*\*) Voir *Railway Review*, 6 mars 1926, p. 478.

La tête du coupleur est plane, et de forme rectangulaire ; elle porte à l'intérieur un crochet pivotant sur un axe vertical : le désaccouplement s'obtient au moyen d'une came actionnée par un piston à air comprimé.

Contrairement à ce qui se produit avec les coupleurs américains ordinaires, constituant un système articulé, il n'y a aucun mouvement possible entre deux coupleurs Tomlinson en prise, ce qui est nécessaire pour réaliser l'étanchéité de l'accouplement automatique des deux *conduites d'air comprimé* aboutissant aux têtes des coupleurs (conduite générale du frein, et conduite égalisatrice entre les réservoirs principaux des différents couplages constituant le train).

La tige du coupleur comporte un appareil de choc et traction du type Harvey, à friction, construit pour un effort de 67<sup>t</sup>,5. La barre du coupleur vient s'articuler sur une rotule sphérique de 0<sup>m</sup>,230 de diamètre, fixée sous la plate-forme de la voiture. Cette barre est supportée, sous la traverse de tête de la voiture, par une traverse auxiliaire reliée à la précédente par des ressorts verticaux : d'autres ressorts horizontaux, placés dans la traverse auxiliaire, assurent le rappel du coupleur dans la position centrale.

Au-dessous de la tête du coupleur mécanique se trouve le *coupleur électrique*, avec tête en matière isolante, comportant trente-neuf bornes pour circuits à basse tension. Ce coupleur électrique est relié par des câbles souples à deux *interrupteurs multiples* à commande électro-pneumatique. Les électro-valves de ces interrupteurs peuvent être actionnées à distance depuis l'un quelconque des postes de commande ; mais la commande pneumatique de ces interrupteurs est *enclenchée* avec le cylindre à air comprimé pour le désengagement du coupleur mécanique, de façon que les circuits électriques soient *forcément coupés* entre deux voitures avant de les désaccoupler.

D'autre part, les robinets d'arrêt des deux conduites d'air du train sont placés aux extrémités de l'arbre de commande des interrupteurs multiples, et disposés de façon à être ouverts lorsque les interrupteurs sont fermés, et inversement : on est ainsi assuré que les circuits de contrôle ne peuvent être établis (ce qui empêche le démarrage) tant que les freins ne sont pas mis en service sur tout le train.

Les coupleurs entre automotrice et remorque d'un même couplage sont analogues aux précédents, mais ils possèdent en outre des connexions à 1.500 volts pour les circuits de chauffage de la remorque. Comme les deux voitures d'un couplage ne doivent être séparées l'une de l'autre qu'aux ateliers, la manœuvre de désengagement de ces coupleurs ne peut se faire qu'à la main, en passant sous les voitures, tandis que le désengagement des coupleurs entre deux couplages successifs au moyen de l'air comprimé peut être exécuté à distance depuis l'un ou l'autre des postes de commande voisins des coupleurs à désengager.

**Entretien.** — En outre des visites du matériel effectuées dans les différentes gares terminus de la zone électrifiée, pour l'exécution des menues réparations urgentes, on a prévu que tout le matériel recevrait une *inspection sommaire* tous les 2.400 kilomètres environ. Comme le parcours individuel des voitures est en moyenne de 160 kilomètres par jour, chaque voiture recevra donc deux inspections sommaires par mois.

On a cherché à établir le *chantier d'inspection sommaire* le plus près possible de la gare terminus de Randolph Street, afin de profiter des heures creuses de la journée pour y faire passer un nombre suffisant de couplages : de la sorte, on a pu se dispenser de prévoir des couplages supplémentaires pour faire face à ces immobi-

isations, qui ne gênent pas le service, puisque le matériel à inspecter est remis à la disposition de la gare aux heures de service intensif. Le chantier a été placé vers la 18<sup>e</sup> rue, et comporte un hangar de 146 mètres de long sur 23 mètres de large, abritant quatre voies; chaque voie peut recevoir trois couplages (six voitures) sur fosses de visite en béton (\*).

Le chantier est pourvu d'un compresseur produisant l'air comprimé nécessaire pour souffler l'appareillage électrique, — de passerelles pour la visite et l'essai des pantographes, — d'un transformateur portatif pour les essais à haute tension, — de palans électriques, vérins et autres engins de manutention, — d'un atelier d'outillage et de petites réparations, — et d'un magasin.

L'*inspection détaillée* des voitures doit avoir lieu tous les 9.600 kilomètres, c'est-à-dire environ tous les deux mois : elle nécessite une immobilisation de seize à vingt-quatre heures pour chaque couplage. Elle comporte la visite complète de tous les appareils, leur nettoyage, leur graissage, leur soufflage à l'air comprimé, et l'exécution de toutes les réparations dont cette visite peut révéler la nécessité.

On prévoit enfin le passage de toutes les voitures en *revision générale* une fois par an, soit au bout de 55.000 à 65.000 kilomètres de parcours. A cette occasion, les voitures seront immobilisées pendant environ trois semaines, pour réparation générale des équipements, des bogies et des caisses, et pour peinture ou vernissage de ces dernières, le cas échéant.

Les opérations d'inspection détaillée et de revision générale seront exécutées aux *ateliers de Burnside*, près de la 95<sup>e</sup> rue. On a construit dans ce but, à côté des ateliers existants, un nouvel atelier en deux travées. La

---

(\*) Voir *General Electric Review*, avril 1927, p. 222.

première travée, de 103 mètres de long sur 28 mètres de large, abrite quatre voies sur fosses de visite en béton, chaque voie pouvant recevoir deux couplages (quatre voitures); cette travée est desservie par deux ponts roulants électriques de 23 tonnes pour le levage des caisses, le démontage des bogies, etc... L'équipement électrique retiré des voitures est envoyé dans la travée voisine, de 103 mètres de long et 23 mètres de large, desservie par un pont roulant de 10 tonnes, et renfermant les machines-outils nécessaires pour la réparation des moteurs électriques, compresseurs, et autres appareils, ainsi qu'un poste de charge pour les accumulateurs, et une plateforme d'essais. Quant aux caisses des voitures et aux bogies démunis de leurs moteurs, on les envoie aux ateliers de voitures situés à proximité immédiate du nouvel atelier. Ce dernier a d'ailleurs été étudié en vue de son extension ultérieure pour le démontage des locomotives électriques qui seront nécessaires pour les futures étapes d'électrification : comme pour les voitures, la réparation de la partie mécanique des locomotives sera faite dans les ateliers voisins, servant actuellement à l'entretien des locomotives à vapeur.

## QUATRIÈME PARTIE.

### PENNSYLVANIA RAILROAD.

---

#### **Nouveaux travaux d'électrification.**

Le Pennsylvania Railroad, qui avait électrifié en 1910, en *courant continu* à 650 volts (troisième rail), les voies d'accès de sa grande gare à voyageurs de New-York, a adopté ensuite le *courant monophasé* à 11.000 volts pour les lignes de la banlieue de Philadelphie.

Aucune extension n'a été apportée à l'électrification en courant continu dans la *zone de New-York*, en ce qui concerne la ligne du Pennsylvania proprement dite, de Manhattan Transfer à Sunnyside Yard (\*); on s'est contenté de compléter le parc de locomotives électriques pour trains de voyageurs par l'adjonction de quelques machines d'un type complètement différent des précédentes.

Par contre, le *Long Island Railroad*, filiale du Pennsylvania, qui exploite les lignes de banlieue à l'Est de New-York, a continué à étendre son électrification en courant continu à 650 volts avec troisième rail. Les services de banlieue du Long Island Railroad sont exclusivement assurés au moyen d'automotrices et de remorques, dont le parc continue à croître rapidement : 60 nouvelles automotrices et 30 remorques ont encore été commandées pour ces lignes en 1926.

En dehors de ces lignes de banlieue, qui ont leur origine à la grande gare centrale du Pennsylvania, le ré-

---

(\*) Voir notre précédent mémoire, pages 39 à 63.

seau du Long Island Railroad comprend notamment une ligne donnant passage à un trafic de marchandises très important, dite *Bay Ridge Division*. Cette ligne reçoit tout le trafic de marchandises provenant du réseau du New-York, New-Haven and Hartford, par l'intermédiaire d'une ligne de ceinture, le *New-York Connecting Railroad*, dont la ligne de Bay Ridge forme le prolongement (\*). La ligne du New-York Connecting Railroad étant exploitée en *courant monophasé* à 11.000 volts par le New-York, New-Haven and Hartford, le Long Island Railroad a été naturellement amené à adopter ce même type de courant pour l'électrification de la Bay Ridge Division, malgré l'inconvénient d'avoir sur son réseau *deux systèmes de traction électrique différents*, pour des lignes distinctes, il est vrai, mais situées dans la même zone. Les locomotives destinées à ce service de marchandises ont été étudiées par le Pennsylvania lui-même, avec l'idée qu'elles serviraient plus tard de prototype pour les machines à affecter, sur ses propres lignes monophasées, aux manœuvres de gare et à la desserte des embranchements industriels.

A part ce développement de l'électrification sur sa filiale du Long Island Railroad, le Pennsylvania a concentré tous ses efforts sur la *région de Philadelphie*, en vue d'y supprimer progressivement toute traction à vapeur pour les trains de banlieue proprement dits.

Après l'électrification de la ligne de Philadelphie à *Paoli*, en 1915, et de celle de *Chestnut Hill* en 1918 (\*\*), on a tout d'abord étendu la traction électrique, en 1924, à l'embranchement de *Fort Washington*.

(\*) Au sujet du New-York Connecting Railroad, voir notre précédent mémoire, pp. 41 et 68.

(\*\*) Sur l'électrification des lignes de Paoli et de Chestnut Hill en courant monophasé à 11.000 volts, voir notre précédent mémoire, p. 137 à 174.

Cette ligne, à voie unique, se détache de celle de Chestnut Hill à la gare d'Allen Lane, et règne sur 10 kilomètres de longueur jusqu'à White Marsh (voir *fig. 18*).

L'électrification en a été réalisée de façon *très économique*. On s'est contenté, pour supporter la caténaire, de simples poteaux en cèdre, et la pose de la ligne (à l'exception des poteaux eux-mêmes) a pu être faite par les équipes chargées de l'entretien des caténaires sur les lignes de Paoli et de Chestnut Hill, dans l'intervalle de leurs opérations normales. De plus, l'alimentation est assurée par la sous-station d'Allen Lane, construite antérieurement pour la ligne de Chestnut Hill. Enfin, en combinant convenablement les roulements de matériel, on a pu se dispenser de commander de nouvelles automotrices pour exploiter cette ligne. Son électrification n'a donc entraîné au total que des dépenses très réduites.

Une *nouvelle étape*, beaucoup plus importante, a été entreprise en 1926, et son achèvement est prévu pour le début de 1928. Elle comprend d'une part la section de Philadelphie à *Wilmington* (Delaware), formant une partie de la ligne principale de New-York à Washington par Philadelphie et Baltimore, et d'autre part la section de Philadelphie à *West Chester*, sur la ligne dite « Octoraro branch » (voir *fig. 18*).

Sur la première ligne, l'électrification englobe quatre voies parallèles sur une longueur de 43<sup>km</sup>,7, tandis que la ligne de West Chester, d'abord à double voie, puis à voie unique, est longue de 41<sup>km</sup>,1 : au total, la longueur des voies à électrifier dans cette étape est d'environ 240 kilomètres ; après son achèvement, le Pennsylvania Railroad possèdera 145 kilomètres de lignes à traction électrique monophasée dans la banlieue de Philadelphie, représentant au total 427 kilomètres de voies électrifiées.

En vue de l'exploitation de ces lignes, le Pennsylvania a commandé, en 1926, 156 nouvelles automotrices, dont 121 à la Compagnie Westinghouse, 30 à la General Electric Company, et 5 à l'American Brown Boveri Electric Corporation (filiale de la Société suisse bien

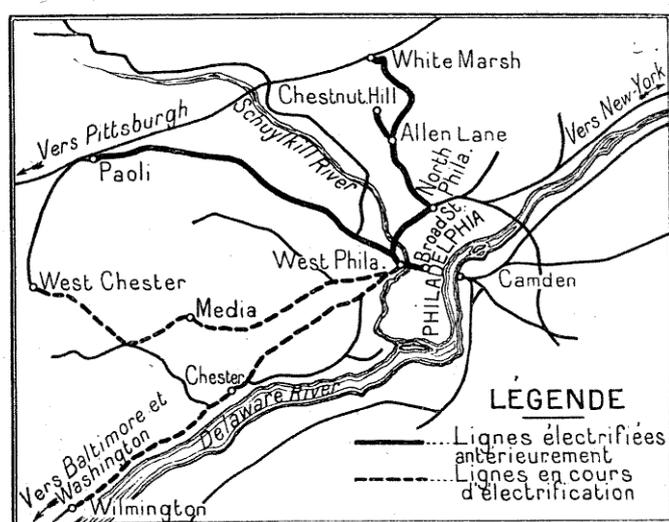


FIG. 18. — Lignes du Pennsylvania Railroad aux abords de Philadelphie.

connue, qui a installé récemment des ateliers de construction à Camden, près de Philadelphie). Ces automotrices seront analogues aux anciennes automotrices des lignes de Paoli et de Chestnut Hill, dont le nombre a été porté à 130 en 1923 : le Pennsylvania disposera ainsi en 1928, pour les trains de la banlieue de Philadelphie, de 286 automotrices électriques, sans compter les remorques.

Pour faire disparaître complètement la traction à vapeur dans la banlieue de Philadelphie, il ne restera plus qu'à électrifier, dans une étape ultérieure, les services de

banlieue sur les divisions de Schuylkill et de New-York.

*Cette électrification intégrale des services de banlieue est nécessaire pour permettre au Pennsylvania Railroad de réaliser un remaniement complet de ses lignes d'accès à Philadelphie.*

Les différentes lignes du Pennsylvania Railroad aboutissent toutes à la gare de *West-Philadelphia*, située sur la rive ouest de la Schuylkill River (voir *fig. 48*) : un tronç commun d'environ 2 kilomètres relie cette gare à la *gare terminus de Broad Street*, placée au centre de la ville, à côté du City Hall.

Cette dernière gare sert de terminus à tous les trains de banlieue ; en outre, presque tous les trains de grand parcours viennent y rebrousser : *le nombre des passages sur le tronç commun de West-Philadelphia à Broad Street Station atteint actuellement 510 par jour ouvrable.*

L'électrification des lignes de Paoli et de Chestnut Hill avait apporté un certain soulagement sur cette section si encombrée, mais on a dû néanmoins se décider à envisager une solution beaucoup plus radicale, comportant la *suppression du rebroussement des trains de grand parcours*, en reportant leur service de l'autre côté de la Schuylkill River, dans une nouvelle gare à construire sur l'emplacement actuel de celle de West-Philadelphia.

On en profitera pour améliorer les artères reliant cette nouvelle gare au centre de la ville, et pour transformer complètement l'aspect de ce quartier, en démolissant le viaduc qui supporte les voies du Pennsylvania Railroad entre la Schuylkill River et Broad Street. Ce viaduc, qui sépare Market Street et Filbert Street, est généralement désigné sous le sobriquet peu avantageux de « muraille de Chine » (*Chinese Wall*), et sa suppression est réclamée depuis longtemps. Avec lui disparaîtrait la vieille gare

de Broad Street, dont il ne resterait que les bâtiments abritant l'administration centrale du Pennsylvania Railroad (\*). Les voies de banlieue (4 voies) seraient *mises en souterrain* sous Filbert Street, que l'on élargirait à 27 mètres pour constituer une grande artère, appelée *Pennsylvania Boulevard*, partant de la place du City Hall, et aboutissant dans l'axe de la nouvelle gare monumentale de West-Philadelphia. Une *gare de banlieue souterraine*, à dix voies, serait établie à hauteur de la 15<sup>e</sup> rue, à proximité de la place du City Hall. L'emplacement libéré par la démolition de l'ancien viaduc, et dont une très faible partie seulement serait prise par le nouveau boulevard, serait transformé en terrains à bâtir, ce qui paierait au moins en partie, sinon en totalité, les frais de cette grande opération.

*La nouvelle gare de West-Philadelphia serait établie avec trois étages* : les accès, salles d'attente, guichets pour les voyageurs, et les installations pour les bagages seraient à l'étage intermédiaire, au niveau du sol; les voies des trains de grand parcours, au nombre de 16, seraient à 5<sup>m</sup>,40 au-dessous, parallèlement à la Schuylkill River; à l'étage supérieur, situé à 6 mètres au-dessus du sol, se trouveraient, perpendiculairement aux voies inférieures, et de chaque côté du bâtiment central de la gare, d'une part six voies pour trains de banlieue, et d'autre part les voies du chemin de fer métropolitain de Market Street (Philadelphia Rapid Transit Company). A l'une des extrémités de la gare inférieure serait établie une *vaste boucle* permettant aux trains de grand parcours de continuer dans toutes les directions sans avoir jamais à rebrousser (\*\*).

Sur ce projet gigantesque, la municipalité de Phila-

(\*) C'est pour cette raison que l'on n'a pas reconstruit le grand hall de Broad Street Station, détruit par un incendie le 11 juin 1923.

(\*\*) Pour plus de détails sur ce projet, voir *Railway Age*, 5 février 1927.

delphie a l'intention de greffer un autre projet non moins grandiose pour l'*embellissement de la ville*, par l'établissement, sur la rive ouest de la Schuylkill River, d'une large avenue (West River Drive) reliant la nouvelle gare aux voies d'accès au Fairmount Park. Ce projet ne serait d'ailleurs qu'une partie d'un vaste plan d'ensemble pour l'aménagement des rives de la Schuylkill River « à l'instar des rives de la Seine », disent ses promoteurs, qui n'hésitent pas à mettre en regard de leur esquisse d'avenir une photographie prise en avion, et représentant la Seine entre les Tuileries et la Cité. Pour qui connaît les rives actuelles de la Schuylkill dans cette zone, encombrée d'usines, de voies ferrées et de dépôts, le rapprochement peut sembler audacieux; mais si l'on observe les transformations considérables qu'a subies depuis vingt ans ce quartier de Philadelphie, tant par le percement de la grande avenue (Parkway) reliant la place du City Hall au Fairmount Park, que par la construction, déjà fort avancée, du nouveau musée des Beaux-Arts, on peut avoir l'assurance que ce grand plan d'embellissement sera mené à bonne fin.

Pour en revenir aux projets d'électrification du Pennsylvania Railroad, nous ajouterons que, sans attendre l'achèvement des travaux entrepris autour de Philadelphie, ce réseau a déjà mis à l'étude un autre projet d'envergure considérable, qui viserait l'électrification complète de la *grande ligne à quatre voies de New-York à Washington*, par Philadelphie et Baltimore (367 kilomètres).

Cette électrification, portant aussi bien sur le service des marchandises que sur celui des trains de voyageurs de grand parcours, serait exécutée en *courant monophasé* à 11.000 volts.

On a par contre abandonné, au moins pour le moment,

le projet étudié précédemment pour l'électrification de la traversée des Alleghanys, entre Altoona et Johnstown, sur la ligne principale de Philadelphie à Pittsburgh (\*) : la mise en service, sur les rampes de 20 millimètres par mètre de la fameuse Horse Shoe Curve, de nouvelles locomotives à vapeur des types Mountain et Decapod, sensiblement plus puissantes que celles employées auparavant, a permis de décongestionner cette section, et d'en ajourner par suite l'électrification

#### Locomotives électriques.

**Locomotives de la série L-5.** — En vue de mettre au point un type de locomotive susceptible de faire face à tous les besoins de ses futures électrifications, le Pennsylvania Railroad a étudié, en 1923, une locomotive électrique d'un type entièrement différent de celles qu'il employait auparavant. L'étude de la partie mécanique a été conduite de façon que le nouveau type pût être *adapté aussi bien au service des trains express qu'à la remorque des lourds trains de marchandises*, par une simple modification des engrenages. Enfin l'étude de la partie électrique, confiée à la Westinghouse Electric and Manufacturing Company, devait être dirigée de telle façon que les locomotives à utiliser dans la zone de New-York, à courant continu à 650 volts avec troisième rail, pussent être *transformées sans difficulté*, et avec le moins de frais possible, en locomotives monophasées à 11.000 volts pour le service ultérieur sur la ligne de New-York à Washington.

Trois locomotives d'essai furent construites sur ces bases en 1924, l'équipement électrique seul étant fabriqué par la Compagnie Westinghouse, tandis que la partie mécanique était exécutée par le Pennsylvania Railroad

(\*) Voir notre précédent mémoire, p. 235.

lui-même, dans ses immenses ateliers de locomotives de Juniata, près d'Altoona (Pa).

La première de ces trois locomotives, devant être essayée au service des *marchandises* sur la ligne de Philadelphie à Paoli, a été équipée pour fonctionner en courant *monophasé* à 11.000 volts, tandis que les deux autres ont été construites pour le service des trains de *voyageurs* en courant *continu* à 650 volts dans la zone de New-York. Les trois locomotives n'en sont pas moins *identiques au point de vue mécanique*, aux engrenages près; au point de vue électrique, elles possèdent les *mêmes moteurs*, et ne diffèrent que par l'appareillage, disposé d'ailleurs de façon à pouvoir *transformer facilement*, comme nous l'avons dit, une locomotive à courant continu en locomotive monophasée, ou inversement.

Ces machines possèdent quatre essieux moteurs, accouplés deux par deux, et deux bissels (voir *fig. 19*). A chaque extrémité du châssis se trouvent deux moteurs attaquant par engrenages un *faux essieu* relié par une bielle horizontale à l'essieu moteur le plus voisin. Les roues dentées calées sur les faux essieux comportent une jante séparée, la liaison entre la jante dentée et le centre de roue se faisant au moyen de ressorts à lames agissant dans les deux sens : dans chaque groupe de deux pignons moteurs engrenant avec une même roue dentée, l'un des pignons est massif, tandis que l'autre possède une jante séparée, reliée au centre du pignon par huit ressorts à lames analogues à ceux de la roue dentée (voir *fig. 20*).

Les moteurs, du type 418 de la Compagnie Westinghouse, sont construits pour fonctionner sous une tension maxima de 350 volts en courant monophasé, et de 325 volts (deux moteurs en série sous 650 volts) en courant continu. Leur puissance continue, avec ventilation forcée, est de 765 chevaux en monophasé, et de 930 chevaux en courant continu.

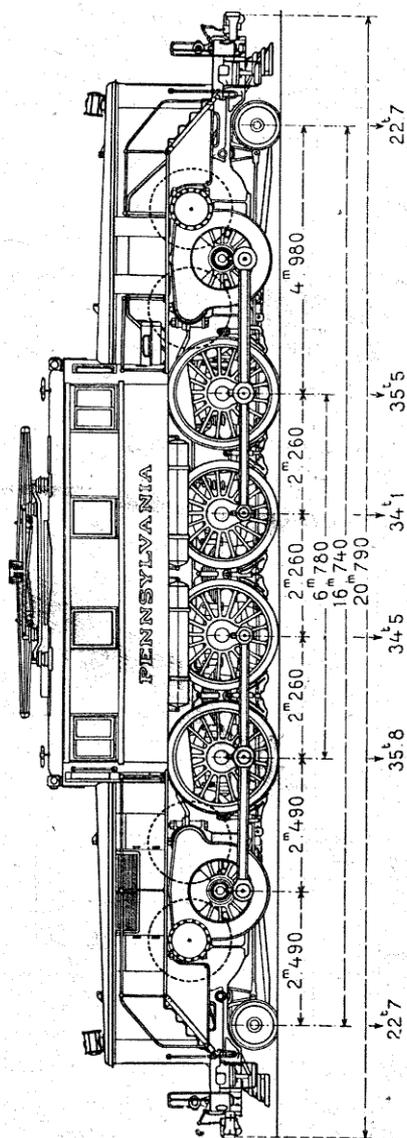
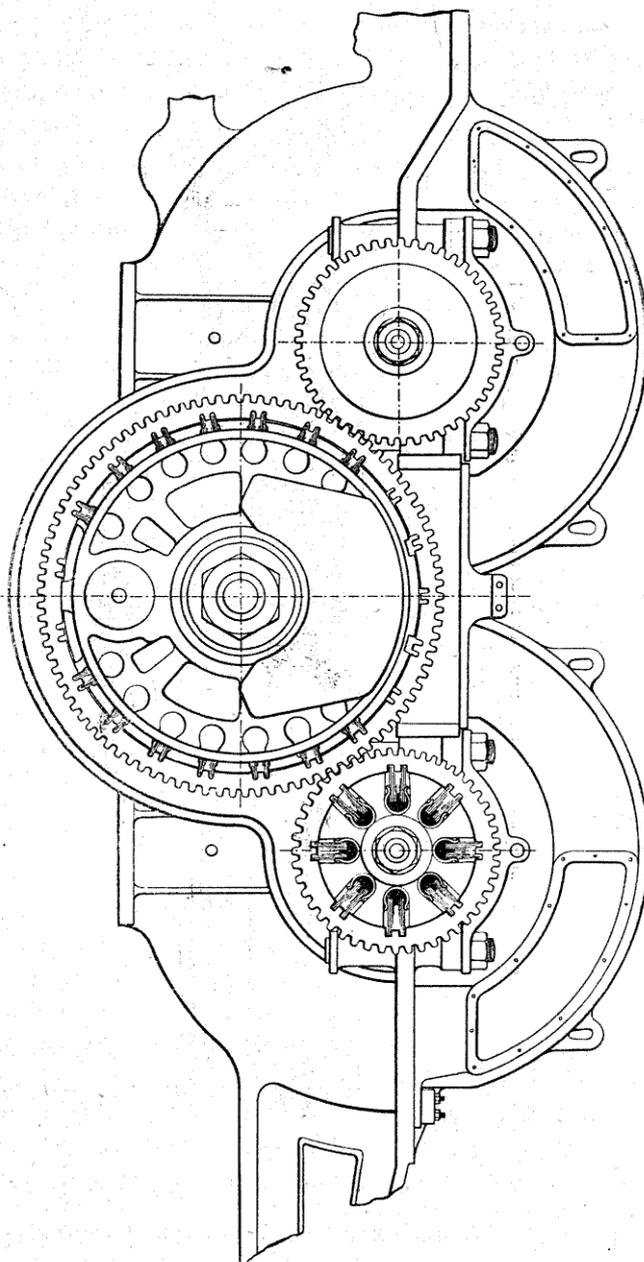


FIG. 19. — Pennsylvania Railroad : locomotive électrique de la série L-5.

Fig. 20. — Pennsylvania Railroad : moteurs des locomotives de la série I-3.



La partie centrale de la caisse de la locomotive monophasée abrite le transformateur et les contacteurs. Le transformateur est à refroidissement par circulation d'huile ; un petit moteur auxiliaire entraîne d'une part une pompe faisant circuler l'huile dans un radiateur, et d'autre part un ventilateur pour le refroidissement de ce radiateur. Deux autres moteurs auxiliaires, identiques au précédent, actionnent les ventilateurs pour les moteurs de traction : ces ventilateurs sont placés sur le côté des capots extrêmes abritant les moteurs. Le courant de contrôle à 32 volts est fourni par un petit groupe moteur-générateur avec batterie d'accumulateurs.

Sur les locomotives à courant continu, la partie centrale de la caisse est occupée par les résistances et les contacteurs électropneumatiques, au nombre de 23 (\*).

Les principales dimensions de ces locomotives sont indiquées dans le tableau ci-après :

NATURE DU SERVICE	MARCHANDISES	VOYAGEURS
Type du courant.....	monophasé	continu
Puissance continue.....	3.060 CV	3.720 CV
Effort correspondant.....	22,7	16,8
Vitesse correspondante.....	37 km	61 km
Vitesse limite.....	56 km	113 km
Rapport d'engrenage.....	30-118	50-98
Effort maximum au démarrage.....	45,4	37,4
Coefficient d'adhérence correspondant.....	3,08	3,74
Diamètre des roues motrices.....	2 <sup>m</sup> ,032	
des roues porteuses.....	0 <sup>m</sup> ,838	
Empattement rigide.....	6 <sup>m</sup> ,780	
Empattement total.....	16 <sup>m</sup> ,740	
Longueur entre coupleurs.....	20 <sup>m</sup> ,790	
Poids de la partie mécanique.....	94,6	
Poids de la partie électrique.....	90,7	
Poids total.....	185,3	
Poids adhérent.....	139,9	
Poids sur l'essieu le plus chargé.....	35,8	

Les essais effectués sur ces trois premières machines

(\*) Voir *Railway Age*, 26 janvier 1924, et *Electric Railway Journal* de la même date.

ayant donné d'excellents résultats, le Pennsylvania en a commandé 21 autres en 1926. Pour dix-sept d'entre elles, la partie mécanique est construite, comme pour les trois machines d'essai, par le réseau lui-même dans ses ateliers de Juniata, et pour les quatre autres par les ateliers Baldwin; quant à la partie électrique, elle est fabriquée par la Westinghouse Electric and Manufacturing Company pour dix machines, par la General Electric Company pour sept autres, et par l'American Brown Boveri Electric Corporation pour les quatre dernières.

Toutes ces machines sont équipées pour fonctionner en courant continu dans la zone de New-York, et seront éventuellement transformées en locomotives monophasées lors de l'électrification de la grande ligne de New-York à Washington.

**Locomotives de la série BB-1.** — Le Pennsylvania a fait construire en 1926, pour sa filiale du *Long Island Railroad*, une série de sept locomotives *monophasées* destinées au service des trains de marchandises à faible vitesse sur la ligne de *Bay Ridge*, comme nous l'avons indiqué précédemment.

Chaque machine est composée de deux unités identiques (voir *fig. 21*), devant fonctionner normalement « en unités multiples » pour la remorque des *trains de marchandises*, mais susceptibles d'être utilisées séparément pour le *service des manœuvres*.

Le châssis de chaque unité est constitué par une pièce unique en acier moulé, reposant sur trois essieux moteurs; ceux-ci sont entraînés individuellement par des moteurs électriques de 330 chevaux, avec transmission par engrenages du type tramway.

Les principales caractéristiques de ces machines sont les suivantes :

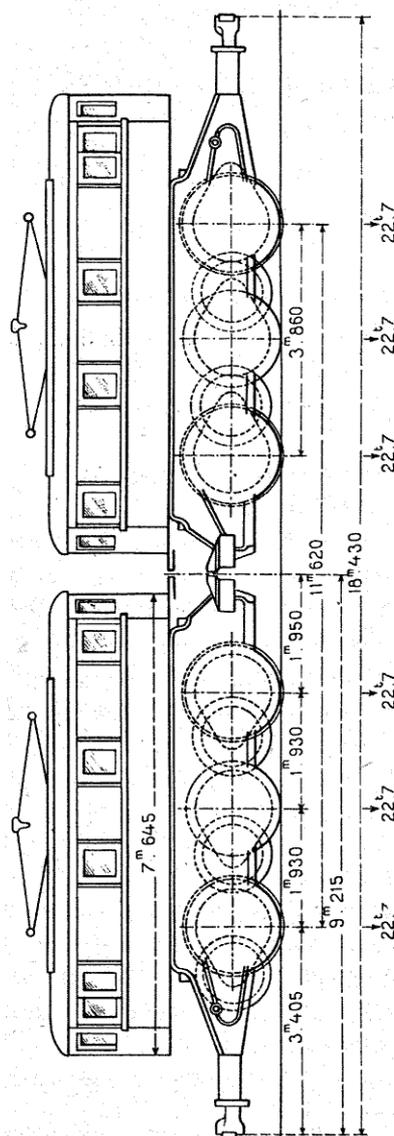


FIG. 21. — Pennsylvania Railroad : locomotive électrique de la série BB-1, pour le Long Island Railroad (Bay Ridge Division).

20 TRACTION ÉLECTRIQUE AUX ÉTATS-UNIS 1920-1926

	UNITÉ séparée	LOCOMOTIVE complète
Puissance continue.....	1.000 CV	2.000 CV
Effort au démarrage.....	20 t.	40 t.
Vitesse normale.....	20 km	
Vitesse limite.....	40 km	
Rapport d'engrenage.....	16-87	
Diamètre des roues.....	1 <sup>m</sup> ,575	
Empalment.....	3 <sup>m</sup> ,860	11 <sup>m</sup> ,620
Longueur entre coupleurs.....	9 <sup>m</sup> ,315	18 <sup>m</sup> ,430
Longueur de la caisse.....	7 <sup>m</sup> ,645	"
Charge par essieu.....	22 <sup>t</sup> ,7	
Poids total (adhérent).....	68 <sup>t</sup> ,1	136 <sup>t</sup> ,2

Ces machines ont été construites dans les ateliers du Pennsylvania à Juniata, pour la partie mécanique, et la partie électrique a été fournie par la Compagnie Westinghouse.

C'est d'après les résultats obtenus avec ces machines sur le Long Island Railroad que le Pennsylvania arrêtera définitivement le type des locomotives à construire pour le service des manœuvres et la desserte des embranchements industriels, lors de l'électrification de sa grande ligne de New-York à Washington; on compte employer dans ce but des locomotives identiques à celles du Long Island, sous réserve des modifications que suggérerait l'expérience, en utilisant soit des locomotives complètes, à deux unités, soit des unités séparées, suivant le poids des rames à manœuvrer.

## CINQUIÈME PARTIE.

### NORFOLK AND WESTERN RAILWAY.

#### Extension de l'électrification.

En décrivant, dans notre précédent mémoire, l'électrification de la ligne principale du Norfolk and Western Railway entre Bluefield et Vivian (\*), nous indiquions que ce réseau se proposait d'étendre progressivement cette électrification vers l'ouest jusqu'à Williamson.

Nous ajoutions que, lors de notre voyage de 1919, ces travaux d'extension étaient déjà en cours sur la ligne principale entre Vivian et Farm (18 kilomètres), ainsi que sur l'embranchement de Wilcoe (8 kilomètres) : dès que ces travaux furent achevés, en 1923, une nouvelle étape fut entreprise entre Farm et Iaeger (35 kilomètres). Enfin la dernière étape, de Iaeger à Williamson (79 kilomètres), est actuellement en voie d'exécution. La ligne principale du Norfolk and Western Railway sera donc à bref délai électrifiée sur près de 180 kilomètres de longueur.

On a conservé, pour ces extensions, le système *monotriphasé*, en profitant, comme nous le verrons plus loin à propos des locomotives, de l'expérience acquise sur la première section. Sans méconnaître l'importance anormale des frais entraînés par les erreurs de conception commises dans la construction des premières locomotives, le Président du Norfolk and Western, Mr. N. D. Maher, déclarait en 1923 que l'électrification était *un succès au point de vue de l'exploitation de la ligne* (\*\*): nous avons indiqué,

(\*) Voir notre précédent mémoire, p. 174 à 179.

(\*\*) Voir *Electric Railway Journal*, 14 juillet 1923.

en effet, dans notre précédent mémoire, comment la traction électrique avait permis d'*augmenter considérablement la capacité de cette ligne*, à service particulièrement difficile (\*), et l'on peut dire qu'à cet égard le résultat obtenu justifiait pleinement l'extension de l'électrification à de nouvelles sections de la même ligne.

D'ailleurs, depuis que les anciennes machines ont subi les *transformations radicales* dont nous avons parlé dans notre mémoire antérieur (\*\*), le fonctionnement de la traction électrique s'est trouvé *bien amélioré*, et le nombre des incidents a été constamment en diminuant : c'est ainsi que le nombre des avaries de moteurs de traction est passé de 368 en 1920 à 107 en 1921, et 91 en 1922; de même le nombre des avaries de convertisseurs de phases, qui s'était élevé à 21 en 1920, et à 17 en 1921, n'était plus que de 11 en 1922 (\*\*\*).

De son côté, la *ligne aérienne* de prise de courant a donné satisfaction. A part quelques courts-circuits et quelques coups de foudre, les incidents ont été rares. La présence des locomotives à vapeur en tête de certains trains a toutefois causé quelques avaries aux isolateurs et à la caténaire. D'autre part, le nombre des avaries de pantographes par suite de défauts survenues sur la caténaire reste encore assez élevé (\*\*\*\*).

On a néanmoins conservé, pour les nouvelles extensions, le type de *caténaire* étudié par MMrs. Gibbs et Hill pour la première section (\*\*\*\*\*), sous réserve des modifications suivantes.

Tout d'abord, on a adopté pour les nouveaux portiques

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 228 à 223; au sujet des résultats de l'électrification, voir également *Electric Railway Journal*, 2 avril 1921.

(\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 217 à 223.

(\*\*\*) Voir *Electric Railway Journal*, 18 août 1923.

(\*\*\*\*) Voir *Electric Railway Journal*, 17 novembre 1923.

(\*\*\*\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 189 à 195.

des poteaux en profilés **H** au lieu des poteaux tubulaires des anciens portiques.

On s'est en outre préoccupé, pour les nouvelles extensions, d'éviter l'inconvénient constaté sur la première section par suite de l'*exhaussement progressif de la voie* : en raison de l'incorporation au ballast du poussier de charbon qui tombe des wagons, on est conduit à relever le niveau de la voie de 25 millimètres en moyenne par an. Il en est résulté qu'au bout de dix ans de traction électrique il a fallu *relever la caténaire* en certains points ; comme rien n'avait été prévu à cet égard, on a été conduit parfois à remonter les portiques eux-mêmes ; dans ce but, on a coupé les poteaux tubulaires des portiques au chalumeau oxyacétylénique près de leur base, et l'on a installé sur la fondation une nouvelle fourrure permettant d'augmenter la hauteur du poteau. Sur les sections récemment électrifiées, on a posé des portiques plus hauts qu'il n'eût été nécessaire, de façon à pouvoir disposer de pendules assez longs pour qu'il soit ultérieurement possible de les raccourcir, lorsque l'exhaussement de la voie nécessiterait le relèvement de la caténaire (\*).

On a également renforcé la caténaire sur les nouvelles sections pour tenir compte des constatations faites sur la section primitive : on avait observé en effet que, sur les parties en forte rampe, le fil de contact et le porteur auxiliaire s'échauffaient de façon exagérée, et l'on avait été conduit à doubler en certains points le porteur auxiliaire par un deuxième fil identique.

Différentes modifications ont enfin été apportées aux pièces de détail de la caténaire, en éliminant notamment tout emploi de métaux ferreux dans les tunnels.

Pour les nouvelles sous-stations, on a adopté, comme

---

(\*) Voir *Electric Railway Journal*, 11 août 1923.

on l'avait déjà fait pour celle de Vivian (transportée depuis à Kimball), le type d'installation en plein air.

Pour les premières extensions, on s'est contenté de prolonger les lignes à 44.000 volts venant de la centrale de Bluestone. Mais pour la dernière étape on installe de nouvelles lignes à 88.000 volts, qui doivent également permettre des échanges d'énergie avec la centrale du Virginian Railway.

#### Locomotives électriques.

Les nouvelles locomotives mono-triphasées commandées en 1922 par le Norfolk and Western sont sensiblement plus puissantes que les douze premières, datant de 1915, et constituées par deux unités à quatre moteurs chacune. En 1917, ce réseau avait demandé à M<sup>rs</sup>. Gibbs et Hill, ses ingénieurs-conseils, d'étudier une locomotive à quatre unités (toujours à quatre moteurs chacune), dont la puissance totale eût été le double de celle des locomotives primitives (\*); puis on avait abandonné cette idée en 1919, pour revenir à l'étude de machines à deux unités (encore à quatre moteurs chacune) dont la puissance eût dépassé de moitié celle des premières (\*\*). Finalement, on s'est arrêté à un type à deux unités, mais dont *chaque unité ne comporte plus que deux moteurs*, et dont *la puissance totale est néanmoins supérieure de 30 p. 100 à celle des locomotives du début*.

Chaque unité possède quatre essieux moteurs accouplés deux par deux, et encadrés par deux bissels (voir *fig.* 22 et 23). Entre le bissel et l'essieu moteur le plus voisin se trouve un faux essieu, relié à l'essieu moteur suivant par une *longue bielle* très légèrement inclinée sur l'horizon-

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 224 et planche V.

(\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 227.

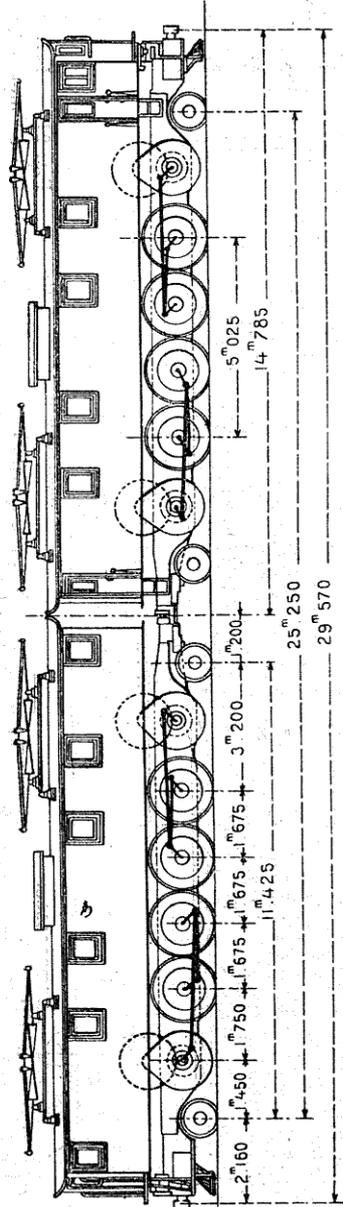


Fig. 22. — Locomotive monotriphasée du Norfolk and Western Railway.

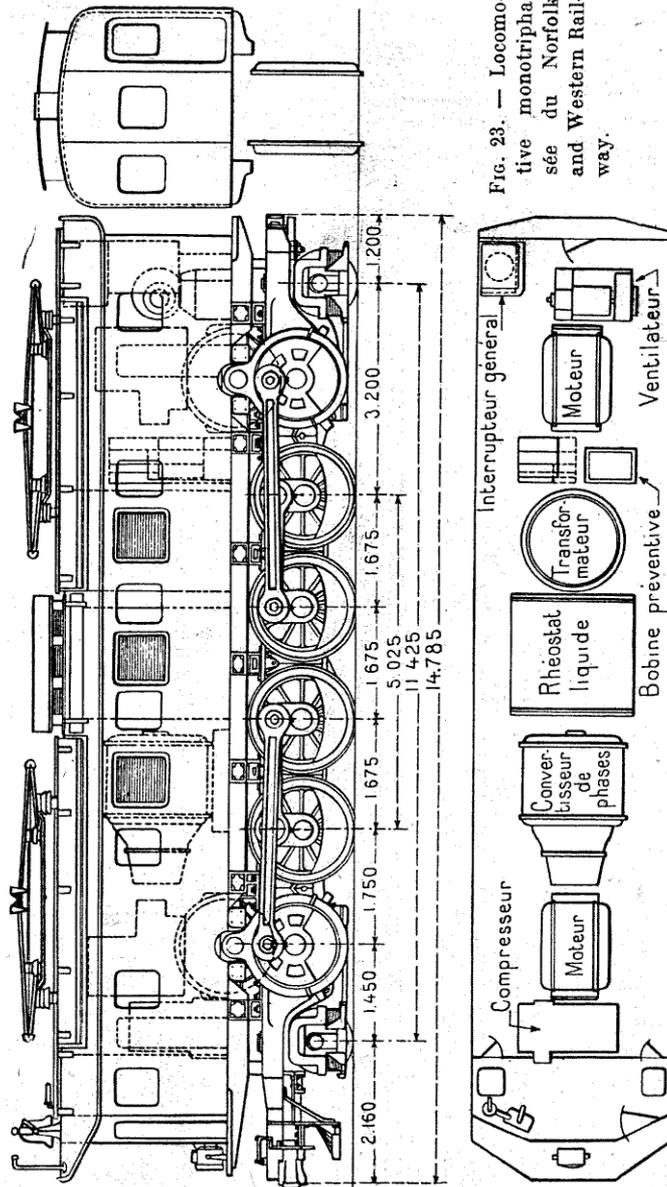


Fig. 23. — Locomotive monotriphasée du Norfolk and Western Railway.

tales. Ces dispositions sont en somme celles que l'on avait décidé d'adopter dès les premières études de 1917, pour éviter les inconvénients qui s'étaient manifestés sur les machines primitives.

Chaque faux essieu est entraîné par un seul moteur triphasé placé directement au-dessus, et attaquant au moyen de deux pignons (un de chaque côté), des roues dentées à jante séparée, dont les centres, calés sur le faux essieu, sont reliés aux jantes dentées par de multiples ressorts à lames disposés radialement. Ces moteurs, d'une puissance unihoraire de 1.000 chevaux, peuvent fonctionner avec huit ou quatre pôles, pour obtenir, comme sur les anciennes machines, deux vitesses de régime (22,5 et 45 kilomètres à l'heure).

En raison de l'augmentation de puissance, on n'a pu adopter, comme sur les anciennes machines, des transformateurs à refroidissement par l'air, et l'on a dû installer, sur les nouvelles locomotives, des transformateurs à circulation d'huile.

Quant au *convertisseur de phases*, il est du type synchrone, et son mode de fonctionnement est identique à celui du convertisseur installé sur la locomotive monophasée construite à titre d'essai en 1917 par le Pennsylvania Railroad (\*); nous ne reviendrons donc pas sur ce sujet.

On a conservé, pour ces machines, le même mode de commande que sur les anciennes, avec accélération par insertion d'un rhéostat liquide dans le rotor des moteurs (\*\*). Toutefois, pour remédier aux inconvénients constatés sur les premières locomotives, les rhéostats des deux moteurs de chaque unité sont groupés dans une cuve commune, recevant également la tour de refroidissement de l'élec-

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, pp. 247 et 248.

(\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 200 à 207.

trolyte, suivant la disposition déjà adoptée pour la locomotive d'essai du Pennsylvania (\*).

Nous donnons ci-après les principales caractéristiques de ces machines :

Puissance continue.....	3.330 CV
Effort correspondant (à 22 <sup>km</sup> ,5).....	40 <sup>t</sup> ,8
Puissance unihoraire.....	4.000 CV
Effort correspondant (à 22 <sup>km</sup> ,5).....	49 t.
Effort au démarrage.....	76 t.
Diamètre des roues motrices.....	1 <sup>m</sup> ,575
Rapport d'engrenage.....	21-100
Empattement rigide.....	5 <sup>m</sup> ,025
Empattement total d'une unité.....	11 <sup>m</sup> ,425
— — d'une locomotive...	25 <sup>m</sup> ,250
Longueur d'une unité.....	14 <sup>m</sup> ,785
— — d'une locomotive.....	29 <sup>m</sup> ,570
Charge par essieu moteur.....	32 t.
Poids adhérent.....	256 t.
Poids total.....	350 t.

Ces locomotives ont été construites par l'American Locomotive Company à Schenectady (N.Y.) pour la partie mécanique, et l'équipement électrique a été fourni par la Westinghouse Electric and Manufacturing Company.

(\*) Pour les détails de construction et l'appareillage des nouvelles locomotives du Norfolk and Western, voir notamment : *Electric Railway Journal*, 30 décembre 1922; — *Railway Age*, 11 avril 1923; — *Electric Journal*, avril 1924.

## SIXIÈME PARTIE.

### VIRGINIAN RAILWAY.

---

Le Virginian Railway, de même que le Norfolk and Western Railway, a été construit dans le but exclusif de *transporter jusqu'au port de Norfolk, sur l'Atlantique, les charbons extraits des mines de la Virginie Occidentale.*

Cette ligne a été entreprise, il y a une vingtaine d'années, par Mr. H. H. Rogers, de la Standard Oil Company, pour assurer aux mines de houille qu'il possédait dans les districts de New River et de Pocahontas (W. Va.) un *débouché complètement indépendant jusqu'à la mer.* Une première section d'une centaine de kilomètres avait été construite, sous le nom de Deepwater Railway, pour relier ces mines au réseau du Chesapeake and Ohio Railroad à Deepwater (W. Va). Puis le Tidewater Railway fut entrepris à partir de Norfolk pour remonter progressivement jusqu'aux mines. Finalement, le Virginian Railway, succédant au Tidewater and Deepwater Railway, dispose d'une ligne de 710 kilomètres de longueur entre Deepwater (W. Va.) et le port de Sewalls Point à Norfolk (voir *fig. 24*).

Ce désir d'obtenir des débouchés complètement indépendants peut seul expliquer la *coexistence des deux tracés du Norfolk and Western et du Virginian Railway sur un parcours de 550 kilomètres environ*, où les deux lignes sont parfois juxtaposées dans les mêmes vallées : ce n'est que dans la partie ouest que les deux lignes divergent pour desservir des régions minières différentes,

le Virginian Railway s'écartant vers le Nord (voir *fig. 27*). Il est bien évident que si les intérêts en présence n'avaient pas été opposés l'un à l'autre à cette époque, les deux parties auraient trouvé tout avantage à s'entendre pour éviter le parallélisme des deux lignes sur une pareille longueur. Au lieu de construire une ligne indépendante jusqu'à Norfolk, le Virginian Railway aurait pu se borner à prolonger vers le Sud jusqu'au Norfolk and Western, soit sur 60 à 70 kilomètres seulement, la ligne du Deepwater Railway, qui donnait déjà aux mines intéressées un débouché vers le Nord. Pour le surplus, il eût été certainement bien préférable, au point de vue de l'intérêt général, que les deux parties s'entendissent pour augmenter la capacité de la ligne existante du Norfolk and Western jusqu'à l'Atlantique, plutôt que d'entreprendre de la doubler, sur plus de 500 kilomètres, par une nouvelle ligne à voie unique.

A l'opposition du début a succédé depuis lors un heureux esprit d'entente entre ces deux réseaux, et l'on en est arrivé progressivement jusqu'à l'idée d'une fusion complète pour obtenir une utilisation plus rationnelle et plus économique de leurs moyens d'action; mais des difficultés d'ordre administratif s'y sont opposées jusqu'à présent.

Les mines desservies par le Virginian Railway sont situées soit sur la ligne principale allant à Deepwater, soit sur un court embranchement, dit Winding Gulf Branch, sur lequel les trains chargés n'ont qu'à descendre des pentes pour rejoindre la ligne principale à *Mullens*. En ce point commence la grande gare de réception dite *Elmore Yard*, où toutes les rames provenant des mines sont rassemblées pour constituer des trains complets vers l'Est.

A la sortie d'Elmore Yard commence la *traversée des Alleghany's*: cette section, longue de 215 kilomètres

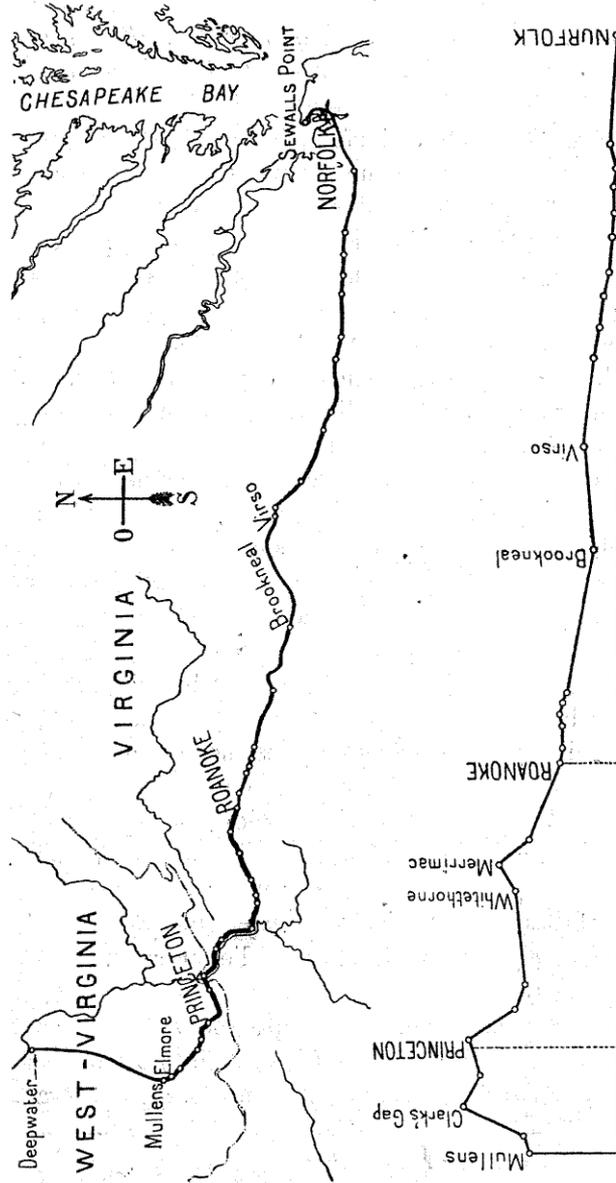


FIG. 24. — Ligne du Virginian Railway.

entre Mullens et Roanoke, est de beaucoup la plus difficile de la ligne, avec des *rampes de 20 millimètres par mètre* et de nombreuses courbes dont *le rayon descend jusqu'à 145 mètres seulement* (voir fig. 25). Au contraire, de Roanoke à Norfolk, la ligne descend presque constamment, sauf sur une courte section où les rampes opposées au sens des trains chargés ne dépassent d'ailleurs pas 2 millimètres par mètre; les courbes y sont en outre beaucoup moins prononcées que dans la région des Alleghanys.

C'est donc la *section de Mullens à Roanoke* qui constitue le « goulot » (bottle-neck) déterminant le débit de la ligne tout entière. Elle comporte notamment, au départ d'Elmore Yard jusqu'à *Clark's Gap*, une rampe continue de 19<sup>mm</sup>,8 par mètre en moyenne (maximum 21<sup>mm</sup>,1), longue de 16 kilomètres. Bien que la ligne ait été mise à double voie en 1921 sur ce parcours (\*), alors qu'elle est restée à voie unique partout ailleurs, la rampe de Clark's Gap n'en réduit pas moins la capacité de la ligne.

Pour faire face au trafic considérable qui lui incombe, malgré les difficultés de cette partie de la ligne, le Virginian Railway a dû employer des moyens que l'on peut qualifier d'exceptionnels, même en Amérique, où *ce réseau a battu tous les records* précédemment établis, et notamment ceux du Norfolk and Western Railway. Il n'est donc pas étonnant de trouver sur le Virginian Railway *les locomotives les plus puissantes du monde* (the largest in the world, suivant l'expression chère aux Américains).

Dès 1909, ce réseau avait mis en service des *locomotives Mallet* du type 2-6-6-0 (deux trains de trois essieux couplés et un bissel à l'avant) ayant un effort de traction

---

(\*) Voir *Railway Age*, 10 septembre 1921.

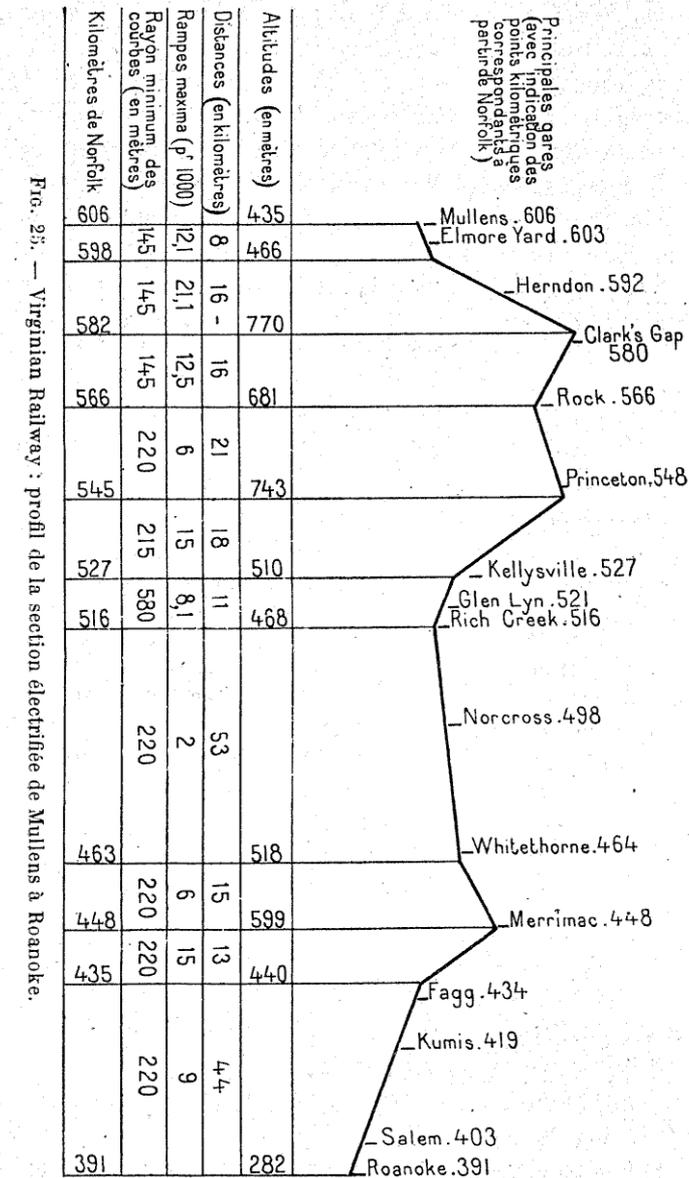


Fig. 25. — Virginian Railway : profil de la section électrifiée de Mullens à Roanoke.

134 TRACTION ÉLECTRIQUE AUX ÉTATS-UNIS 1920-1926

de 32 tonnes, puis d'autres du même type où l'effort de traction était porté à 41,5. A ces locomotives avaient succédé, en 1912, des machines du type 2-8-8-2 (deux trains de quatre essieux couplés, encadrés entre deux bissels), puis, en 1919, des locomotives du type 2-10-10-2 (deux trains de cinq essieux couplés, encadrés entre deux bissels), dont nous donnons ci-après les principales caractéristiques :

Type.....	2-8-8-2	2-10-10-2
Date de mise en service.....	1912	1919
Diamètre des cylindres HP.....	0 <sup>m</sup> ,711	0 <sup>m</sup> ,762
Diamètre des cylindres BP.....	1 <sup>m</sup> ,118	1 <sup>m</sup> ,219
Course des pistons.....	0 <sup>m</sup> ,813	0 <sup>m</sup> ,813
Diamètre des roues motrices.....	1 <sup>m</sup> ,420	1 <sup>m</sup> ,420
Empattement total, machine seule.....	17 <sup>m</sup> ,500	19 <sup>m</sup> ,600
Longueur de la machine seule.....	20 <sup>m</sup> ,100	22 <sup>m</sup> ,300
Empattement total, machine et tender..	24 <sup>m</sup> ,900	29 <sup>m</sup> ,500
Surface de grille.....	9 <sup>m</sup> ²,30	10 <sup>m</sup> ²,15
Surface de chauffe totale.....	640 m².	810 m².
Surface du surchauffeur.....	125 m².	200 m².
Timbre de la chaudière.....	14 kg.	15 kg.
Effort de traction maximum en compound.	52 t.	67 t.
Effort au démarrage à simple expansion.	62 <sup>t</sup> ,5	80 t.
Poids adhérent.....	217 t.	280 t.
Poids total, machine seule.....	245 t.	310 t.
Poids total, machine et tender.....	340 t.	407 t.

Notons en passant qu'en dehors du record de puissance pour les locomotives à vapeur le Virginian Railway détenait en même temps le record de la capacité pour les wagons houillers : les derniers mis en service, reposant sur deux bogies à trois essieux, peuvent recevoir de 105 à 110 tonnes de charbon; avec la tare de 36 tonnes, *le poids total du wagon chargé dépasse donc 140 tonnes.*

Avec de pareils moyens d'action, il est naturel que le Virginian Railway ait pu *battre également tous les records au point de vue de la charge des trains.* Sur la

rampe de 20 millimètres d'Elmore Yard à Clark's Gap, la charge des trains était passée de 3.000 tonnes en 1909 à 4.000 tonnes en 1912, et à 5.000 tonnes en 1919.

Pour remorquer les trains de 5.000 tonnes sur cette rampe, on employait, depuis 1919, une locomotive 2-8-8-2 comme machine titulaire en tête, et deux locomotives 2-10-10-2 comme machines de renfort en queue : *le poids total du train atteignait ainsi 6.150 tonnes dont 1.150 tonnes de locomotives*. La vitesse moyenne réalisée sur la rampe n'était d'ailleurs que de 41 à 42 kilomètres à l'heure.

Les machines de renfort abandonnaient le train à Clark's Gap, et la locomotive titulaire 2-8-8-2 suffisait pour amener le train de 5.000 tonnes jusqu'à *Princeton* (voir *fig. 25*). En ce point, on procédait au pesage des wagons, puis *on formait des trains de 7.700 tonnes à destination directe de Norfolk*, à 548 kilomètres de là. Sur ce parcours, une locomotive 2-8-8-2 suffisait pour remorquer le train de 7.700 tonnes, en raison du profil avantageux de la ligne (voir *fig. 24*), sauf à donner le renfort en queue avec une autre locomotive du même type sur une section de 15 kilomètres (entre Whitethorne et Merrimac) comportant des rampes de 6 millimètres par mètre (voir *fig. 25*). En outre, il fallait généralement aider la locomotive 2-8-8-2 à démarrer son train de 7.700 tonnes dans le triage de Princeton, en le faisant pousser par des locomotives de manœuvres.

En dépit du succès prodigieux de cette exploitation par trains de 5.000 et 7.700 tonnes, on arriva rapidement à la conclusion que les puissants moyens mis en jeu pour faire face au développement du trafic deviendraient bientôt insuffisants. En 1922, on transportait déjà *entre 6 et 7 millions de tonnes de charbon par an*, et cela ne représentait guère que la moitié des possibilités

d'extraction des mines existantes, sans compter la mise en exploitation progressive des nouveaux gisements que la ligne aurait à desservir à bref délai (\*). On estima qu'il était nécessaire d'outiller la ligne pour *un trafic d'environ 11.500.000 tonnes de charbon par an*, réparti d'ailleurs assez inégalement pour qu'on fût conduit à envisager des pointes journalières supérieures de 60 p. 100 à la moyenne.

Malgré le doublement tout récent de la ligne sur la rampe d'Elmore à Clark's Gap, il ne paraissait pas possible de mettre la section de Mullens à Princeton en mesure de livrer passage à un pareil trafic. La puissance des locomotives employées semblait, en effet, avoir atteint le maximum que l'on pût réaliser avec la traction à vapeur, de sorte que toute possibilité d'augmenter le débit par un accroissement du poids ou de la vitesse des trains paraissait écartée. D'un autre côté, il ne fallait pas songer à prolonger le doublement de la voie jusqu'à Princeton, parce que le coût des travaux eût été excessif en raison de la nature accidentée du terrain et de l'importance des tunnels. Il ne restait donc qu'une solution à envisager, celle de l'*électrification*, en profitant de toutes les facilités qu'elle pouvait donner *pour augmenter encore le poids des trains et surtout pour relever notablement leur vitesse*.

Le *système monotriphasé* ayant déjà fait ses preuves, à ce double point de vue, sur la ligne voisine du Norfolk and Western Railway, on fut naturellement amené à l'adopter, et pour tirer de l'électrification le meilleur parti possible, on décida de l'étendre d'emblée à toute la *section de Mullens à Roanoke* (215 kilomètres). Les études furent confiées, comme pour le Norfolk and Western, à

---

(\*) Actuellement, ce sont surtout les mines du district de New River qui alimentent le Virginian Railway, mais celles du district de Pocahontas tendent à prendre un développement considérable.

MMrs. George Gibbs et E. R. Hill, ingénieurs-conseils à New-York, et la commande globale pour toute l'installation, depuis la centrale jusqu'aux locomotives, fut passée en mai 1923 à la Westinghouse Electric and Manufacturing Company (\*).

La traction électrique fut mise en service dès le mois de septembre 1925 sur la rampe de Mullens à Clark's Gap, et étendue peu de temps après jusqu'au triage de Princeton. L'électrification complète, jusqu'à Roanoke, a été terminée en septembre 1926 (\*\*); nous indiquerons plus loin les *résultats remarquables* qu'elle a permis d'obtenir, *en battant de loin tous les records antérieurs*.

#### Alimentation du réseau.

L'alimentation de la ligne électrique du Virginian Railway est assurée par une *centrale thermique* spécialement construite dans ce but à Narrows (Va.), sur la New River; cet emplacement est situé à proximité du centre géométrique de consommation de la section électrifiée, et il a été choisi d'autre part de façon que l'on puisse disposer d'eau de condensation en quantité suffisante pour les condenseurs des turbines.

Pour déterminer les pointes de puissance à fournir par la centrale, on a estimé qu'avec les charges formidables envisagées (voir plus loin), il faudrait jusqu'à 14.000 kilowatts pour la mise en vitesse d'un seul train en double traction sur la rampe de Clark's Gap, et 11.000 kilowatts sur la rampe de Merrimac. Avec le service prévu, on a été conduit à évaluer à 43.000 kilowatts la valeur des

---

(\*) Sur l'électrification du Virginian Railway, voir notamment *Electric Journal*, juin 1924, *Railway Age*, 5 mai 1923, 16 juin 1923, 7 juin 1924, et *Railway Electrical Engineer*, juillet 1923.

(\*\*) Voir *Railway Age*, 25 septembre 1926 et 6 janvier 1927.

pointes d'une durée de cinq minutes à fournir par la centrale, pour une production totale d'environ 120 millions de kilowattheures par an, soit une puissance moyenne de 13.000 à 14.000 kilowatts ne représentant *pas même le tiers de la valeur des pointes* (\*).

Dans ces conditions, on a décidé d'installer la centrale pour 40.000 kilowatts au début (puissance normale, susceptible d'être dépassée notablement pour les pointes comme nous le verrons plus loin), en se réservant la possibilité de porter ultérieurement sa puissance jusqu'à 70.000 kilowatts suivant les besoins croissants du trafic.

Le bâtiment de la centrale est divisé en deux travées, l'une abritant les chaudières, et l'autre les machines; à côté du bâtiment est installé le poste de transformation en plein air.

Le bâtiment des chaudières a 66 mètres de longueur sur 19 mètres de largeur et 28 mètres de hauteur. Il peut recevoir six chaudières, dont cinq seulement ont été installées, et un allongement est prévu pour trois autres chaudières (soit neuf au total). Les chaudières sont disposées sur un seul rang, et *chauffées au combustible pulvérisé*. Chaque chaudière possède dix brûleurs aboutissant verticalement au sommet de la chambre de combustion, dont le volume atteint 400 mètres cubes. La surface de chauffe d'une chaudière est de 1.450 mètres carrés, et celle du surchauffeur de 165 mètres carrés; la vapeur est produite à la pression de 23 kilogrammes par centimètre carré.

On a prévu que la centrale consommerait normalement

---

(\*) On retrouve donc ici, malgré l'importance du trafic, le phénomène bien connu de la médiocre utilisation de la puissance dans les centrales spécialisées à la traction électrique sur une seule ligne : cela tient à la valeur exceptionnellement élevée du poids unitaire des trains (voir plus loin), qui conduit à un écoulement très discontinu du trafic, en dépit de son importance.

par jour 350 tonnes de « bone coal » (charbon « barré », à très forte teneur en cendres), mais qu'en cas de pénurie de ce type de charbon, on pourrait y substituer 250 tonnes de bonne houille « bitumineuse », ou 290 tonnes d'un mélange par moitié des deux types de combustible. Le parc de stockage, installé à côté de la centrale, est outillé pour manutentionner 80 tonnes de houille à l'heure. Le charbon est d'abord concassé avant son envoi dans une première série de trémies ; il passe ensuite aux broyeurs, puis dans une seconde série de trémies pour combustible pulvérisé, alimentant directement les brûleurs (voir *fig. 26*).

La salle des machines abrite quatre groupes turbo-alternateurs de 10.000 kilowatts, tournant à 1.500 tours (avec extension possible pour recevoir trois nouveaux groupes). Les alternateurs produisent du courant triphasé à 11.000 volts, 25 périodes ; ils ont une puissance continue de 12.500 kilovoltampères (10.000 kilowatts pour un facteur de puissance de 0,8), avec surcharge possible (succédant à la marche continue à pleine puissance) à 15.000 kilovoltampères pendant une heure, puis à 18.750 kilovoltampères pendant cinq minutes. Chaque alternateur porte en bout d'arbre sa propre excitatrice de 125 kilowatts (250 volts).

Il y a en outre un groupe auxiliaire comportant une turbine de 300 kilowatts, qui entraîne par engrenages un alternateur triphasé à 440 volts servant de secours pour l'alimentation des services auxiliaires de la centrale, — une dynamo de 100 kilowatts (250 volts) pouvant servir d'excitatrice de secours pour les alternateurs principaux, — et une petite excitatrice pour l'alternateur auxiliaire.

Les alternateurs principaux sont branchés par des interrupteurs à huile sur des barres omnibus triphasées à 11.000 volts servant d'une part à les synchroniser, et

d'autre part à alimenter les transformateurs des services auxiliaires. Ceux-ci, au nombre de trois (dont un de ré-

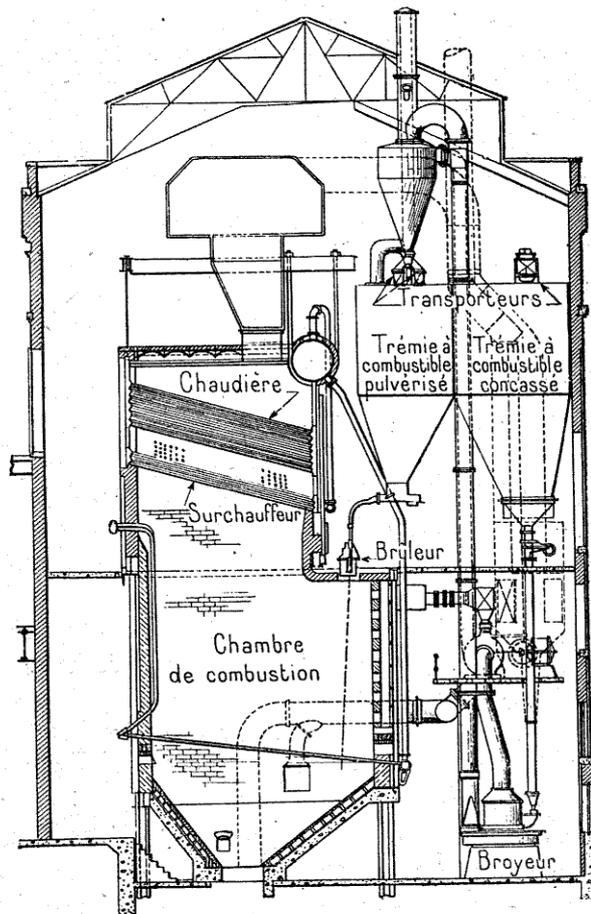


FIG. 26. — Virginian Railway : centrale thermique de Narrows, coupe transversale du bâtiment des chaudières.

serve), ont une puissance de 1.200 kilovoltampères chacun, et alimentent des barres triphasées à 440 volts, aux-

quelles sont reliés les différents moteurs des services auxiliaires, et notamment ceux des pompes pour les condenseurs. En cas de besoin, ces barres à 440 volts peuvent également être alimentées directement par l'alternateur du groupe auxiliaire dont nous avons parlé plus haut. Les transformateurs 11.000/440 volts sont munis de huit bornes de réglage, permettant de maintenir la tension au secondaire à 440 volts, lorsque la tension aux bornes des alternateurs principaux varie par échelons de 2,5 p. 100 au-dessous ou au-dessus de 11.000 volts.

L'une des phases de chacun des alternateurs principaux est reliée à un transformateur-élévateur monophasé de 10.000 kilovoltampères, 9.800/88.000 volts, à refroidissement par circulation d'eau, avec borne supplémentaire pour 9.310/88.000 volts. Ces transformateurs-élévateurs peuvent supporter pendant cinq minutes une pointe de puissance double de leur charge normale, après avoir fonctionné pendant une heure avec une surcharge de 50 p. 100 (succédant elle-même au régime de marche à la puissance normale). Ils sont de plus construits de façon à pouvoir supporter un court-circuit franc de courte durée sur le secondaire, avec la tension normale appliquée au primaire. Des interrupteurs à huile relient ces transformateurs à deux jeux distincts de barres omnibus à 88.000 volts, chaque jeu étant relié à deux transformateurs seulement, et alimentant une ligne de transmission. Les points neutres des transformateurs sont en outre connectés à une barre omnibus, reliée elle-même à la terre par l'intermédiaire d'une résistance de 220 ohms, qui limite le courant à 200 ampères en cas de terre accidentelle sur la ligne de transmission correspondante.

Le régulateur de tension de chaque alternateur est commandé par un transformateur de potentiel branché sur la phase de cet alternateur qui alimente le transformateur-élévateur correspondant. Ces régulateurs sont

étudiés pour produire une caractéristique de tension descendante quand la composante réactive du courant débité augmente, et ascendante quand la composante active croit : la première condition assure la marche des alternateurs en parallèle, tandis que la seconde permet de compenser la chute de tension dans le transformateur, et une partie de celle de la ligne de transmission.

Pour la marche en récupération, on a prévu un rhéostat d'absorption, constitué par des électrodes immergées dans la rivière ; mais en pratique l'énergie récupérée par les trains à la descente des pentes ne revient pas jusqu'à la centrale, parce qu'elle est absorbée, et au delà, par les trains remontant les rampes. On a calculé que l'emploi de la récupération n'en permettrait pas moins d'économiser environ 15 millions de kilowattheures par an.

La protection contre des défauts survenant à l'intérieur des alternateurs ou des transformateurs est assurée par des transformateurs d'intensité à montage différentiel, et par des relais de surintensité. Un défaut interne dans les alternateurs ou dans les transformateurs-élévateurs provoque l'ouverture simultanée de l'interrupteur à 11.000 volts de l'alternateur, de son interrupteur d'excitation, et de l'interrupteur à 88.000 volts du transformateur. Si le défaut se produit dans l'un des transformateurs auxiliaires 11.000/440 volts, il provoque l'ouverture des interrupteurs encadrant ce transformateur. Les interrupteurs à huile des départs à 88.000 volts sont déclenchés par des relais soit en cas de court-circuit sur la ligne correspondante, soit en cas de mise à la terre de cette ligne (\*).

---

(\*) Au sujet de la centrale de Narrows, voir *Electric Railway Journal*, 4 septembre 1926, et *Railway Electrical Engineer*, septembre 1926.

**Distribution du courant.**

De la centrale de Narrows partent *deux lignes doubles* à 88.000 volts, l'une vers l'Est, l'autre vers l'Ouest, desservant *sept sous-stations* installées en plein air à Elmore, Algonquin (Clark's Gap), Princeton, Narrows (à côté du poste élévateur de la centrale), Eggleston, Merrimac, et Seers (voir *fig. 27*).

Le schéma général de l'alimentation de la caténaire à partir de ces lignes a été établi de façon analogue à celui qui a été adopté, après coup, sur le New-York, New-Haven and Hartford Railroad pour *réduire le plus possible les effets d'induction* sur les lignes à courants faibles (\*). Il comporte donc, comme sur ce réseau, l'emploi d'un *feeder de compensation*, régnant parallèlement à la caténaire, et d'*auto-transformateurs* entre les sous-stations. Mais la réalisation est légèrement différente sur le Virginian Railway, d'abord du fait de l'emploi d'une ligne de transmission à très haute tension (alors que sur le New-York, New-Haven and Hartford le courant est transmis à la tension même du système feeder-caténaire), et aussi parce qu'on a voulu se réserver la *possibilité de porter ultérieurement de 11.000 à 22.000 volts la tension sur le fil de contact*.

Les transformateurs-abaisseurs situés dans les sous-stations, et alimentés par les lignes à 88.000 volts, ont un enroulement secondaire divisé en deux sections : l'une donne 22.000 volts entre le feeder de compensation et le rail, et l'autre 11.000 volts (et plus tard 22.000 volts lorsque ce sera nécessaire) entre la caténaire et le rail (voir *fig. 28*).

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 69 à 75.

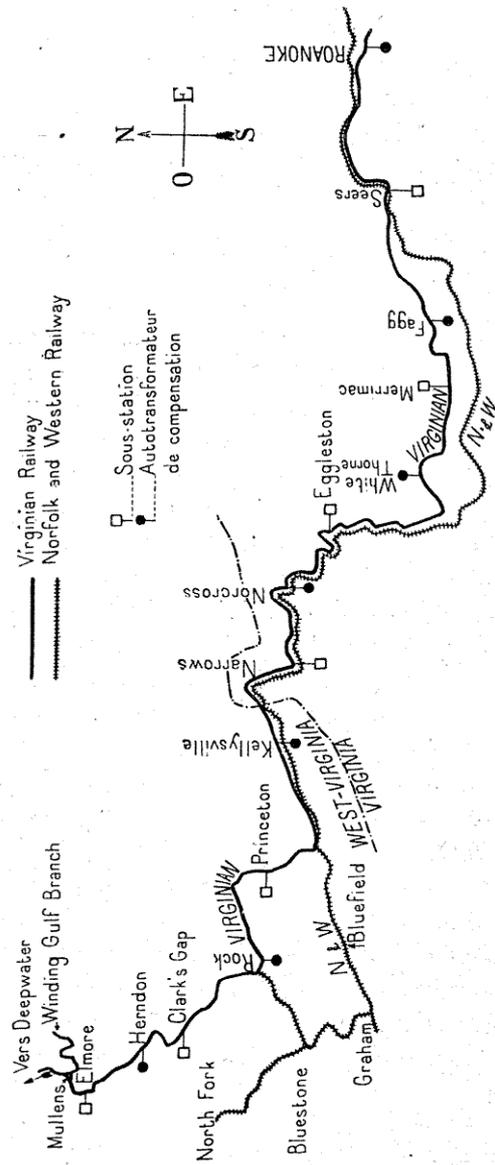


Fig. 27. — Virginian Railway : implantation des sous-stations et des auto-transformateurs de compensation.

Dans l'intervalle des sous-stations sont installés des *autotransformateurs de compensation*, dont l'enroulement est relié au feeder, aux rails de la voie et à la caté-

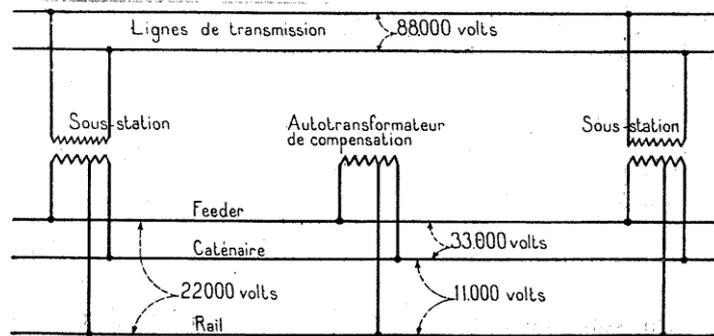


FIG. 28. — Virginian Railway :  
mode d'alimentation de la ligne de contact.

naire, de la même façon que l'enroulement secondaire des transformateurs-abaisseurs des sous-stations (voir *fig. 28*) ; comme pour ces derniers, on s'est ménagé la possibilité de modifier les connexions pour le cas où l'on déciderait de porter la tension à 22.000 volts sur le fil de contact.

Les emplacements des sous-stations et des autotransformateurs de compensation sont indiqués dans le tableau ci-après (le kilométrage a pour origine Norfolk) :

	POINTS KILOMÉTRIQUES	
	Sous-stations	Autotransformateurs de compensation
Elmore.....	603	
Herndon.....		592
Algonquin (Clark's Gap).....	580	
Hock.....		564
Princeton.....	546	
Kellysville.....		527
Narrows.....	510	
Norcross.....		496
Eggleston.....	480	
Whitethorne.....		464
Merrimac.....	448	
Fagg.....		434
Seers.....	414	
Roanoke.....		391

On voit que l'espacement des sous-stations varie en général entre 30 et 36 kilomètres, sauf sur la rampe d'Elmore à Clark's Gap où les deux sous-stations d'Elmore et d'Algonquin ne sont distantes que de 23 kilomètres. Quant aux autotransformateurs, leur distance aux sous-stations voisines est généralement d'environ 16 kilomètres (de 11 kilomètres au minimum à 23 kilomètres au maximum).

En étudiant convenablement les transformateurs-abaisseurs des sous-stations et les autotransformateurs de compensation, pour tenir compte des caractéristiques respectives des circuits feeder-caténaire, feeder-rail et caténaire-rail, on a pu arriver à réduire au minimum l'importance des courants circulant dans les rails, et à éliminer presque complètement les effets d'induction perturbateurs dans les circuits voisins (\*).

#### Ligne de contact.

La ligne de prise de courant est du type à *caténaire couchée* dans les courbes, précédemment étudié par

(\*) Voir *Electric Journal*, juin 1924.

MMrs. Gibbs et Hill pour le Pennsylvania et le Norfolk and Western, avec câble porteur principal, porteur auxiliaire et fil de contact unique.

On a décidé toutefois, afin d'éviter tout danger de corrosion, de *supprimer tout emploi de métaux ferreux* dans la caténaire (\*).

Le câble porteur principal est formé de 19 torons, dont 7 en fils de bronze à l'intérieur, et 12 en fils de cuivre à l'extérieur. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Nombre de fils	en bronze.....	7
	en cuivre.....	12
Diamètre des fils.....		3 <sup>mm</sup> ,7
Tension de rupture du câble.....		11.300 kg.
Diamètre du câble.....		18 <sup>mm</sup> ,4
Section de cuivre équivalente.....		137 mm <sup>2</sup> .
Poids par mètre courant.....		1 <sup>kg</sup> ,835

Le câble porteur auxiliaire est en cuivre, et le fil de contact en bronze « Phono-Electric » ainsi que les pendules et agrafes.

Le feeder de compensation est placé sur les supports de la caténaire, tandis que les lignes à 88.000 volts sont généralement établies sur pylônes indépendants. Toutefois, sur la section à double voie d'Elmore à Clark's Gap, les lignes à 88.000 volts sont également placées sur les supports de la caténaire. Ceux-ci sont constitués soit par des portiques en profilés, soit par des pylônes haubannés, supportant la caténaire au moyen de câbles transversaux (voir *fig. 29*).

La caténaire a été étudiée, comme nous l'avons dit, pour que la tension sur le fil de contact puisse être ultérieurement portée à 22.000 volts lorsque le besoin s'en ferait sentir ; mais cette éventualité ne semble pas prochaine, car les sections des câbles et fils ont été calculées

(\*) Voir *Railway Age*, 4 octobre 1924.

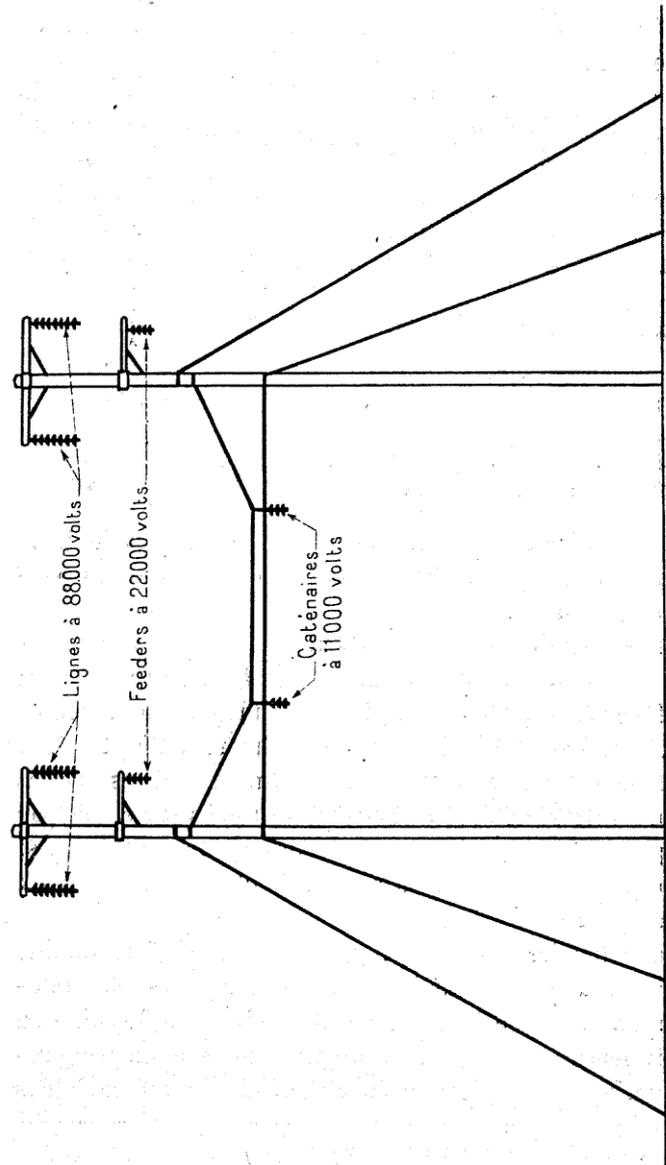


FIG. 29. — Virginian Railway : schéma de l'installation des lignes aériennes sur la section à double voie.

de telle façon que la tension actuelle de 11.000 volts puisse suffire même lorsque le trafic aura atteint le chiffre maximum fixé comme base pour les études (11.500.000 tonnes de charbon à transporter par an, avec pointe journalière pouvant dépasser la moyenne de 60 p. 100).

#### **Locomotives électriques.**

Les locomotives électriques monotriphasées du Virginian Railway, construites en 1925 et 1926 par la Compagnie Westinghouse, sont constituées par *trois unités* presque identiques à celles que cette compagnie avait construites en 1922 pour les locomotives à deux unités du Norfolk and Western Railway, et dont nous avons donné précédemment la description (voir *fig. 22 et 23*). A part la majoration de puissance de 50 p. 100 provenant de l'augmentation du nombre des unités porté de 2 à 3 par locomotive, ces machines ne diffèrent de celles du Norfolk and Western Railway que par un petit nombre de particularités que nous nous bornerons à signaler sommairement.

Le transformateur, à refroidissement par circulation d'huile, possède un *primaire à deux enroulements*; ces enroulements fonctionnent actuellement en parallèle sous la tension de 11.000 volts, et pourraient être connectés plus tard en série, si l'on décidait de porter la tension sur la caténaire à 22.000 volts.

L'interrupteur général (dans l'huile) est disposé pour fonctionner en deux temps, avec insertion d'une résistance au premier temps: les relais de surcharge qui le font déclencher sont à action différée (réglage à 2 secondes environ), de façon qu'en cas de court-circuit franc l'interrupteur général de la locomotive ne s'ouvre qu'après celui de la sous-station voisine.

Les postes de commande placés aux extrémités de la lo-

comotive seulement (et non aux extrémités de chaque unité) sont disposés pour pouvoir assurer la commande de quatre unités, afin de réserver l'avenir : si l'on décidait par la suite d'augmenter encore les charges, il suffirait d'ajouter une nouvelle unité intermédiaire, sans qu'on ait à modifier les unités extrêmes de la locomotive.

A part cette différence entre les unités extrêmes et l'unité centrale démunie d'appareils de commande, l'appareillage dont elles sont pourvues est identique. L'attelage entre unités d'une même locomotive est assuré par de simples barres de traction articulées, et il n'existe de coupleurs du type M. C. B. habituel qu'aux deux extrémités de la locomotive complète (\*).

Les principales caractéristiques de ces machines sont les suivantes (\*\*):

---

(\*) Sur les locomotives du Virginian Railway, voir notamment: *Railway Age*, 23 mai 1925, *Electric Railway Journal*, 30 mai 1925, *Railway Electrical Engineer*, juin 1925.

Pour les détails de l'appareillage, voir *Electric Railway Journal*, 18 septembre 1926, et *Railway Electrical Engineer*, janvier 1927.

(\*\*) Le châssis des unités extrêmes est plus court du côté de l'unité centrale qu'à l'extrémité munie du coupleur normal, et le châssis de l'unité centrale est raccourci des deux côtés, ce qui explique la plus faible longueur de cette unité centrale indiquée dans le tableau ci-contre. Cette réduction de longueur du châssis, jointe à la suppression des appareils de commande, rend l'unité centrale un peu moins lourde que les unités extrêmes, d'où les différences de poids ressortant de ce tableau.

		UNITÉ isolée	LOCOMOTIVE complète
Régimes à faible vitesse.....	puissance continue.....	1.705 CV	5.115 CV
	vitesse correspondante.....	22 <sup>km</sup> ,6	22 <sup>km</sup> ,6
	effort correspondant.....	20 <sup>t</sup> ,4	61 <sup>t</sup> ,2
	puissance unihoraire.....	2.070 CV	6.210 CV
Régimes à pleine vitesse.....	vitesse correspondante.....	22 <sup>km</sup> ,8	22 <sup>km</sup> ,8
	effort correspondant.....	24 <sup>t</sup> ,5	73 <sup>t</sup> ,5
	puissance continue.....	2.000 CV	6.000 CV
	vitesse correspondante.....	45 <sup>km</sup> ,5	45 <sup>km</sup> ,5
Efforts au démar- rage.....	effort correspondant.....	11 <sup>t</sup> ,9	35 <sup>t</sup> ,7
	puissance unihoraire.....	2.370 CV	7.050 CV
	vitesse correspondante.....	45 <sup>km</sup> ,8	45 <sup>km</sup> ,8
	effort correspondant.....	13 <sup>t</sup> ,8	41 <sup>t</sup> ,4
Diamètre des roues.....	à 25 p. 100 d'adhérence.....	35 t.	105 t.
	à 30 p. 100 d'adhérence.....	42 t.	126 t.
Rapport d'engrenage.....		4 <sup>m</sup> ,575	
Empattement rigide.....		0 <sup>m</sup> ,838	
Empattement total.....		21-160	
Longueur totale.....		5 <sup>m</sup> ,025	
Charge par essieu moteur.....	un té extrême.....	11 <sup>m</sup> ,425	39 <sup>m</sup> ,155
	unité centrale.....	14 <sup>m</sup> ,805	43 <sup>m</sup> ,475
Poids adhérent.....		13 <sup>m</sup> ,865	
Poids total.....		140 t.	35 t.
Poids adhérent.....	unité extrême.....	194 <sup>t</sup> ,7	420 t.
	unité centrale.....	193 <sup>t</sup> ,3	585 <sup>t</sup> ,7

Il a été construit au total, en 1925 et 1926, douze locomotives à trois unités (\*); toutefois, comme il suffit de dix locomotives de ce type pour assurer le service actuel, les six dernières unités ont toutes été munies de postes de commande, de façon à pouvoir les utiliser isolément au service des manœuvres dans les gares de triage de la zone électrifiée.

Le *démarrage des trains remorqués en double traction* (tête et queue) présente certaines difficultés, du fait de la grande longueur des trains, qui atteint parfois jusqu'à 1.500 mètres. A cause des courbes et des tunnels, il est rare que l'un des mécaniciens puisse apercevoir l'autre machine. En outre, et pour les mêmes raisons (longueur des trains, présence des courbes et des tunnels), il est

(\*) La partie mécanique de ces locomotives a été construite par l'American Locomotive Company, la partie électrique ayant été exécutée, comme tout le reste des installations électriques du Virginian Railway, par la Westinghouse Electric and Manufacturing Company.

difficile aux deux mécaniciens de se renseigner mutuellement au moyen de coups de sifflet suivant le code américain habituel, d'autant plus que les sifflets à air comprimé des locomotives électriques ont une portée moindre que les sifflets des locomotives à vapeur. On a donc essayé d'opérer, pour le démarrage, comme sur le réseau du Norfolk and Western (\*), en donnant le signal de départ au mécanicien de queue par une compression des attelages effectuée par la machine de tête. Mais il en est parfois résulté des incidents, lorsque le mécanicien de tête reprend son démarrage trop tardivement, la machine de queue exerçant alors des efforts excessifs.

Pour y remédier, on a essayé d'assurer une *communication entre les deux machines de tête et de queue au moyen d'ondes dirigées* (wired wireless). A cet effet, la Compagnie Westinghouse a monté sur deux locomotives, à titre d'essai, un poste complet pour l'émission et la réception d'ondes circulant dans le fil de contact. Ce poste, installé dans la caisse de l'unité centrale de chacune de ces deux locomotives, est relié à une antenne placée sur la toiture parallèlement au fil de contact, et constituée par un tube de bronze de 12<sup>m</sup>,7 de diamètre et de 7<sup>m</sup>,315 de longueur, porté par huit isolateurs.

Le poste émetteur comprend trois lampes de 50 watts chacune, la première servant d'oscillateur à la fréquence de 500 périodes, et commandant deux amplificateurs en parallèle, qui produisent des ondes dont la longueur peut être réglée entre 110 et 140 mètres. Deux cadrans de réglage permettent, d'une part, de déterminer la longueur d'onde et, d'autre part, d'accorder le circuit de l'antenne.

Le poste récepteur est analogue à celui que l'on utilise fréquemment en Amérique sous le nom d'Aeriola Senior à trois radiotrons.

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 208.

Le chauffage des filaments des lampes émettrices est assuré par la batterie à 32 volts utilisée pour les circuits de contrôle de la locomotive ; pour les filaments des lampes réceptrices, on a installé une batterie spéciale à 6 volts. Quant au courant continu à haute tension pour les plaques des lampes émettrices, il est produit par un petit groupe moteur-générateur ; le moteur (de 250 watts) est alimenté sous 32 volts, comme les circuits de contrôle de la locomotive ; il entraîne directement une génératrice à deux collecteurs, l'un à 80 volts pour l'excitation de cette génératrice, et l'autre à 1.000 volts pour fournir la tension sur les plaques des lampes.

Les communications entre locomotive de tête et locomotive de queue peuvent s'échanger soit par le téléphone, soit au moyen d'une sirène (howler) : un commutateur, placé près du poste d'émission et de réception, permet de passer d'un mode de communication à l'autre. Le poste téléphonique est installé dans l'unité centrale, tandis que la sirène est actionnée depuis le poste de commande occupé par le mécanicien, au moyen d'un interrupteur manœuvré à l'aide d'une corde, afin que le mécanicien n'ait qu'à effectuer les mêmes gestes que s'il utilisait son sifflet ordinaire. En tirant légèrement sur la corde, on ferme une première série de contacts, provoquant l'allumage des filaments des lampes émettrices et la mise en route du groupe moteur-générateur ; en tirant davantage, on ferme un autre contact qui envoie un train d'ondes dans l'antenne, et fait par suite fonctionner la sirène de l'autre locomotive par l'intermédiaire de son poste récepteur. Les mécaniciens peuvent ainsi échanger des signaux correspondant exactement aux coups de sifflet du code américain (\*).

---

(\*) Pour plus de détails sur l'organisation de ces postes émetteurs et récepteurs, voir *Railway Age*, 26 septembre 1923, *Electric Railway Journal*, 3 octobre 1923, *Railway Electrical Engineer*, novembre 1923.

Les communications téléphoniques sont faciles tant que le train est arrêté, mais deviennent impossibles en raison du bruit dès que les locomotives démarrent. Par contre, les communications par signaux à la sirène restent satisfaisantes pendant la marche.

#### Résultats obtenus.

L'électrification a permis de *relever notablement la vitesse des trains, tout en augmentant sensiblement leur composition.*

Nous avons indiqué précédemment qu'avec la traction à vapeur on remorquait des trains de 5.000 tonnes sur la rampe d'Elmore Yard à Clark's Gap (environ 20 millimètres) avec trois locomotives Mallet à la vitesse de 11 ou 12 kilomètres à l'heure. Aujourd'hui, deux locomotives électriques (une en tête et une en queue) remontent sur cette rampe des *trains de 5.400 tonnes à la vitesse de 22<sup>km</sup>,5 à l'heure*, soit une vitesse sensiblement double de celle réalisée précédemment. Comme le démarrage se fait avec une accélération notablement plus forte, on peut effectuer ainsi ce parcours en une heure au lieu de deux heures à deux heures et demie avec la traction à vapeur, tout en remorquant une charge légèrement supérieure. Le poids des deux locomotives électriques est d'ailleurs à peu près le même que celui des trois locomotives à vapeur employées auparavant. La puissance totale appliquée au train sur la rampe est d'environ 12.000 chevaux en pleine marche; elle atteint jusqu'à 20.000 chevaux pendant la période de mise en vitesse.

La locomotive de renfort abandonne le train à Clark's Gap, comme précédemment; mais au lieu de faire continuer le train avec sa charge initiale jusqu'à Princeton, ainsi qu'on le faisait avec la traction à vapeur, *on complète la charge à 8.100 tonnes à Clark's Gap*, et la loco-

motive électrique de tête suffit pour remorquer cette charge formidable jusqu'à Roanoke, malgré les rampes de 6 millimètres par mètre qui règnent sur 21 kilomètres entre Rock et Princeton et sur 15 kilomètres entre Whitethorne et Merrimac (voir *fig. 25*) : sur ces rampes, la vitesse est de 22<sup>km</sup>,5 à l'heure. Les sections en pente de 12,5 à 15 millimètres de Clark's Gap à Rock, de Princeton à Kellysville, et de Merrimac à Fagg, sont parcourues en *recupération* à la vitesse de 24 kilomètres à l'heure. Sur les sections à profil facile de Kellysville à Whitethorne, et de Fagg à Roanoke, la vitesse est de 45 kilomètres à l'heure. Le parcours total d'Elmore Yard à Roanoke (212 kilomètres) est effectué en moins de dix heures.

Le relèvement de la vitesse, combiné avec l'augmentation des charges, a procuré, en définitive, un *accroissement considérable de la capacité de la ligne*, permettant de renoncer définitivement à l'idée de prolonger le doublement de la voie au delà de Clark's Gap. Les résultats obtenus au point de vue du développement possible du trafic justifient donc amplement l'adoption de la traction électrique, ainsi qu'on avait déjà pu le constater antérieurement, sur une moindre échelle, pour le Norfolk and Western Railway.

Au demeurant, le mode d'exploitation adopté est *loin d'épuiser les possibilités de l'électrification*, car tout a été prévu pour qu'il soit possible de *porter la charge des trains de 8.100 à 10.800 tonnes entre Clark's Gap et Roanoke*, le jour où le développement du trafic imposerait ce nouveau record (\*); il suffirait pour cela d'employer des locomotives constituées par quatre unités au lieu de trois, et de relever au besoin la tension sur le fil de contact

---

(\*) L'augmentation de la charge est moins intéressante sur la rampe d'Elmore Yard à Clark's Gap, parce que cette section avait déjà été mise à double voie, comme nous l'avons dit, du temps de la traction à vapeur.

de 11.000 à 22.000 volts, éventualités qui ont été réservées aussi bien dans la construction des locomotives que dans la réalisation des installations fixes (centrale, sous-stations et lignes aériennes).

En dehors de l'avantage capital de l'électrification au point de vue de l'augmentation du débit de la ligne, on a pu constater également une *amélioration notable de l'utilisation des machines et du personnel* par rapport à la traction à vapeur. Avant l'électrification, la section des Alleghanys comprenait deux districts de traction, l'un de Mullens à Princeton et l'autre de Princeton à Roanoke, avec dépôt principal et ateliers à Princeton. En dehors des machines affectées aux services de renfort en queue sur les rampes de Clark's Gap et de Merrimac, toutes les locomotives de la section des Alleghanys étaient cantonnées au dépôt de Princeton, et effectuaient par journée de travail, comme machines titulaires, soit des parcours aller et retour sur Elmore Yard (distance 55 kilomètres, soit 110 kilomètres au total), soit des parcours simples sur Roanoke (156 kilomètres). Il n'y a plus maintenant qu'un seul district de traction électrique, de Mullens à Roanoke, et une machine effectue en une seule journée le parcours d'Elmore Yard à Roanoke ou *vice-versa* (212 kilomètres).

On a calculé que pour faire face au trafic maximum envisagé lors des études (transport de 11.500.000 tonnes de charbon par an depuis les mines jusqu'à la mer), il suffirait, sur la section de Mullens à Roanoke, de 16 locomotives électriques à trois unités chacune, alors qu'il faudrait 44 locomotives Mallet du type 2-8-8-2 et 20 du type 2-10-10-2 (en faisant abstraction de la capacité possible de la ligne) : le poids total de ces locomotives à vapeur atteindrait plus de deux fois et demie celui des 16 locomotives électriques. Au point de vue du prix, il est vrai que les locomotives électriques sont individuellement beaucoup plus coûteuses que les locomotives à vapeur ; au surplus,

on disposait déjà d'un lot important de ces dernières, de sorte qu'il n'y aurait eu à envisager que la dépense correspondant à l'acquisition des locomotives supplémentaires pour atteindre les effectifs indiqués plus haut ; finalement, on a conclu que le prix total des seize locomotives nécessaires pour le trafic de 11.500.000 tonnes envisagé pour l'avenir ne dépasserait que de 20 p. 100 celui des nouvelles locomotives à vapeur qu'il aurait fallu commander pour y faire face.

Le rapprochement de ces divers chiffres permet de se faire une idée des *avantages indirects* que le Virginian Railway peut escompter de son électrification, mais on doit les considérer comme *essentiellement secondaires par rapport à l'intérêt primordial que ce réseau attachait à la question de l'augmentation immédiate et considérable de la capacité de sa ligne* ; à cet égard, l'électrification de la section des Alleghanys a résolu le problème de façon remarquable, avec de très larges possibilités pour l'avenir. C'est un succès incontestable pour ses promoteurs, MMrs. Gibbs et Hill, aussi bien que pour la C<sup>ie</sup> Westinghouse.

## SEPTIÈME PARTIE.

### DETROIT, TOLEDO AND IRONTON.

---

Mr. Henry Ford a voulu entreprendre d'appliquer à l'exploitation d'un réseau de chemins de fer les méthodes industrielles qui lui avaient valu sa réputation mondiale comme constructeur d'automobiles.

Il a fait choix, dans ce but, du *Detroit, Toledo and Ironton Railroad*, réseau d'ailleurs peu prospère, mais dont les lignes passaient à proximité des immenses usines de la *Ford Motor Company* dans l'État de Michigan (\*). La ligne principale, orientée du Nord au Sud, relie les villes de Detroit et de Toledo, sur les grands lacs, à celle d'Ironton sur l'Ohio, point de jonction avec le Chesapeake and Ohio Railway ; avec les embranchements, la longueur totale du réseau est de 736 kilomètres.

Mr. Ford en fit l'acquisition en juillet 1920, mais n'en prit la direction effective qu'en mars 1921. Les premiers résultats qu'il obtint furent *âprement discutés* dans la presse américaine, les uns tenant absolument à y voir un « miracle », tandis que les autres, tout en reconnaissant l'opportunité de certaines réformes accomplies par la nouvelle direction, attribuaient surtout ses succès au fait que tout le trafic de la Ford Motor Company était désormais confié au Detroit, Toledo and Ironton, qui était ainsi devenu *le transporteur attiré d'un client exceptionnellement avantageux* ; la prospérité subite donnée par Mr. Ford à ce réseau déficitaire s'expliquait

---

(\*) Voir *Railway Age*, 23 juillet 1920.

donc principalement par un phénomène très simple, dont il était d'ailleurs facile de citer des précédents, par exemple la grande prospérité financière des réseaux du Duluth and Iron Range et du Duluth, Missabe and Northern, appartenant à l'United States Steel Corporation (Steel Trust), et jouissant par suite d'un monopole pour les transports concernant les vastes mines de fer de la région du Lac Supérieur (\*).

Parmi les progrès techniques qu'il avait en vue, Mr. Ford a naturellement placé l'*électrification* progressive de son réseau. Comme première étape, on a électrifié en 1925 l'embranchement à double voie du *Detroit and Ironton Railroad*, de 22 kilomètres de longueur, construit par Mr. Ford en 1923, pour améliorer la liaison entre les usines de la Ford Motor Company, situées à Fordson (Mich.), et la ligne principale du Detroit, Toledo and Ironton Railroad (\*\*).

En y comprenant la partie de voie électrifiée sur la ligne principale pour amener les trains de l'embranchement jusqu'à la gare de Flat Rock (Mich.), l'électrification actuelle porte sur 27 kilomètres de lignes à double voie.

L'énergie nécessaire est fournie par la *centrale thermique de River Rouge*, construite par Mr. Ford pour les besoins de ses usines, et dont l'équipement a été complété pour faire face à ceux de la traction électrique. Aux deux groupes turbo-générateurs de 12.500 kilowatts installés antérieurement, sont venus s'adjoindre en 1923

---

(\*) Sur ces controverses passionnées, voir notamment une série d'articles parus en 1921 dans le *Railway Age* (27 août, 10 septembre, 12, 19 et 26 novembre, 10 et 24 décembre).

(\*\*) Dans la pensée de Mr. Ford, cet embranchement devait être incorporé au réseau du Detroit, Toledo and Ironton Railroad, mais l'autorisation administrative nécessaire pour cette incorporation n'ayant pas été accordée, l'embranchement est exploité séparément sous le nom de Detroit and Ironton Railroad.

deux groupes de 30.000 kilowatts, dont les turbines ont d'ailleurs été construites dans les ateliers de la Ford Motor Co ; les plans d'extension de l'usine ont été établis de façon à pouvoir installer jusqu'à huit groupes de ce type. On a de plus réservé, en vue de l'électrification éventuelle de la ligne principale du Detroit, Toledo and Ironton, la place nécessaire pour un poste de transformateurs-élevateurs à 150.000 volts, qui alimenteraient les lignes de transmission d'énergie pour les sous-stations de traction (\*). Pour l'instant, la section électrifiée est alimentée directement par la centrale.

#### **Adoption du système monophasé-continu.**

En vue de réaliser une exploitation aussi économique que possible, Mr. Ford désirait naturellement employer des trains très lourds, et par suite des locomotives très puissantes. Dans le même but d'économie, ces locomotives devaient être pourvues de moteurs très robustes, et se prêter facilement à la marche en récupération sur les pentes.

Le problème se posait donc de façon tout à fait analogue à celui qui avait été résolu, sur le Norfolk and Western, par l'emploi du *système monotriphasé*, adopté depuis lors, dans les mêmes conditions, et pour les mêmes raisons, par le Virginian Railway, comme nous l'avons exposé précédemment.

Mais les ingénieurs de la Ford Motor Co ont estimé que, tout en conservant le principe de la *ligne monophasée*, pour permettre d'utiliser une tension d'alimentation aussi élevée que possible sur la ligne de contact, il ne convenait pas d'employer des moteurs triphasés, dont la carac-

---

(\*) Voir *Railway Age*, 21 juillet 1923.

téristique s'adapte mal aux besoins d'un service de traction sur profil varié. La vitesse obtenue avec ces moteurs reste, en effet, sensiblement constante pour des variations considérables de l'effort à exercer ; par suite, pour obtenir plusieurs régimes de marche, il faut recourir soit au changement du nombre des pôles, soit au montage en cascade. Pour éviter une trop grande complication de l'appareillage, on s'est contenté de deux régimes seulement sur les machines monotriphasées américaines (\*).

L'idéal serait, au contraire, de pouvoir *faire varier progressivement la vitesse en fonction inverse de l'effort, pour utiliser constamment la puissance maxima de la machine*. Les ingénieurs de la Ford Motor Co ont pensé que le moyen le plus pratique d'arriver à ce résultat, avec une ligne d'alimentation monophasée, serait de substituer au convertisseur de phases des machines monotriphasées un *groupe moteur-générateur alimentant sous tension variable des moteurs série à courant continu*.

Ces moteurs étant toujours couplés en parallèle sur un circuit relié directement à la génératrice, l'appareillage auxiliaire de la locomotive se trouve *considérablement simplifié*, puisque le réglage de la vitesse se fait simplement en agissant sur l'excitation de la génératrice pour faire varier la tension appliquée aux moteurs. Un pareil réglage peut comporter sans difficultés un grand nombre de crans de marche, et par suite une *gamme de vitesses très progressive*. On peut ainsi, dans les conditions les plus variées de charge et de profil, utiliser cons-

---

(\*) Ces deux régimes sont obtenus, comme nous l'avons vu, par changement du nombre de pôles sur les machines du Norfolk and Western Railway et du Virginian Railway, tandis qu'on a utilisé le couplage en cascade sur la machine d'essai monotriphasée du Pennsylvania Railroad (voir notre mémoire antérieur, pp. 235 et suivantes).

On sait que, sur les machines triphasées italiennes, on obtient un plus grand nombre de régimes en combinant ces deux procédés.

tamment la puissance maxima pour laquelle est construite la machine.

Si l'on y ajoute l'appareillage nécessaire pour permettre aux moteurs de traction de fonctionner *soit à excitation série, soit à excitation séparée*, on obtient d'une part une nouvelle gamme de vitesses plus élevées en traction (\*), et l'on réalise d'autre part, sans nouvelle complication, la marche en *récupération* à vitesses variables.

Par ailleurs, on peut se contenter d'adopter pour la tension maxima d'alimentation des moteurs un *taux modéré*, analogue à celui qu'on emploie couramment sur les lignes métropolitaines et les tramways, ce qui permet de réaliser, à égalité de poids, des *moteurs plus puissants* qu'avec une tension élevée; on est en outre assuré d'avoir des *moteurs extrêmement robustes*, dont les frais d'entretien seront peu élevés.

Bien entendu, le moteur qui entraîne la génératrice est un moteur synchrone, permettant d'obtenir un *excellent facteur de puissance* pour l'alimentation monophasée.

Les ingénieurs de la Ford Motor Company font également ressortir à l'avantage du système monophasé-continu la *suppression des pertes rhéostatiques*: par rapport au système monotriphasé, l'avantage est certain; mais si l'on voulait comparer le système monophasé-continu au système à courant continu habituel, avec démarrage sur résistances, il faudrait tenir compte du rendement du groupe moteur-générateur, qui introduit une *perte constante* vraisemblablement bien supérieure, en service normal, à la somme des pertes *momentanées* dans les

---

(\*) Cette nouvelle gamme de vitesses correspond à celle que l'on obtient habituellement, sur les machines à moteurs série à courant continu, en shuntant les inducteurs de ces moteurs; mais elle peut comporter aisément un nombre de crans de marche bien supérieur.

résistances de démarrage sur les locomotives ordinaires à courant continu.

Ces ingénieurs ajoutent que les *pointes de puissance* au démarrage sont sensiblement réduites avec le système monophasé-continu : tout dépend, à cet égard, du taux que l'on veut adopter pour l'accélération, surtout vers la fin de la période de mise en vitesse.

Enfin, les promoteurs de ce système insistent sur le fait que, grâce au couplage permanent des moteurs en parallèle, on évite à peu près complètement *toute tendance au patinage* lors des démarrages : dès qu'un essieu commence à patiner, le couple du moteur correspondant, alimenté sous tension constante, diminue brusquement, ce qui fait cesser immédiatement le patinage. Au contraire, sur les locomotives ordinaires à courant continu, démarrant avec les moteurs couplés en série, le couple appliqué à l'essieu qui patine est beaucoup moins réduit, parce que la tension s'élève aux bornes du moteur correspondant.

Tels sont les principaux motifs pour lesquels les ingénieurs de la Ford Motor Company ont préconisé le *système monophasé-continu* pour l'électrification du Detroit, Toledo and Ironton Railroad (\*). L'idée n'avait en elle-même rien d'entièrement nouveau, mais il faut reconnaître avec eux que c'était la première fois qu'on se proposait de la réaliser sur des locomotives électriques de très grande puissance. Leur exemple a d'ailleurs été suivi, puisque la même solution a été adoptée, peu de temps après, sur le New-York, New-Haven and Hartford Railroad, et sur le Great Northern Railway.

---

(\*) Voir *Railway Age*, 18 octobre 1924; *Electric Railway Journal*, 18 octobre 1924; *Railway Electrical Engineer*, décembre 1924.

**Locomotive d'essai.**

Avant d'entreprendre la construction de la première locomotive, on décida de faire tout d'abord un *essai préliminaire du système monophasé-continu*, en utilisant une locomotive monophasée du New-York, New-Haven and Hartford Railroad, agencée pour fonctionner également en courant continu à 600 volts dans la zone de New-York. La C<sup>o</sup> Westinghouse construisit pour ces essais, en 1923-1924, un transformateur et un groupe moteur-générateur conformes aux spécifications établies par les ingénieurs de la Ford Motor C<sup>o</sup> pour la locomotive d'essai du Detroit, Toledo and Ironton. Ce transformateur et ce groupe moteur-générateur, ainsi que l'appareillage de contrôle, furent montés sur un wagon plat attelé à la locomotive du New-York, New-Haven and Hartford. Le courant monophasé, capté par le pantographe de cette locomotive sur la ligne d'essai établie par la C<sup>o</sup> Westinghouse près de ses ateliers d'East-Pittsburgh (Pa.), était envoyé dans le transformateur monté sur le wagon, pour alimenter le groupe moteur-générateur. Enfin le courant continu produit par ce groupe retournait aux moteurs de la locomotive (\*). On put ainsi mettre l'appareillage au point, et dès que les résultats furent entièrement satisfaisants, on entreprit la construction définitive de la locomotive d'essai, qui fut mise en service en 1925 sur la ligne du Detroit and Ironton Railroad.

La partie mécanique de cette locomotive a été entièrement *étudiée et construite dans les ateliers de la Ford Motor C<sup>o</sup>* ; la partie électrique a été également étudiée par les ingénieurs de la Ford Motor C<sup>o</sup>, en collaboration toutefois avec ceux de la Westinghouse Electric and

---

(\*) Voir *Railway Electrical Engineer*, avril 1924.

Manufacturing C<sup>o</sup>, à laquelle a été confiée la fabrication du matériel électrique.

La locomotive d'essai comprend *deux unités identiques*, pouvant fonctionner isolément, mais travaillant normalement en unités multiples : on a d'ailleurs prévu que les locomotives futures pourraient être constituées au besoin avec trois unités de ce type. Chaque unité est composée de *deux trucks* qui doivent toujours rester accouplés ensemble, l'un portant le transformateur, et l'autre le groupe moteur-générateur. Chaque truck repose sur quatre essieux à moteurs individuels, soit au total huit essieux moteurs par unité (voir *fig. 30*), et seize pour la locomotive d'essai complète. Les châssis des deux trucks d'une même unité sont réunis par une articulation à rotule, tandis que l'accouplement entre les deux unités est du type américain ordinaire. Chaque

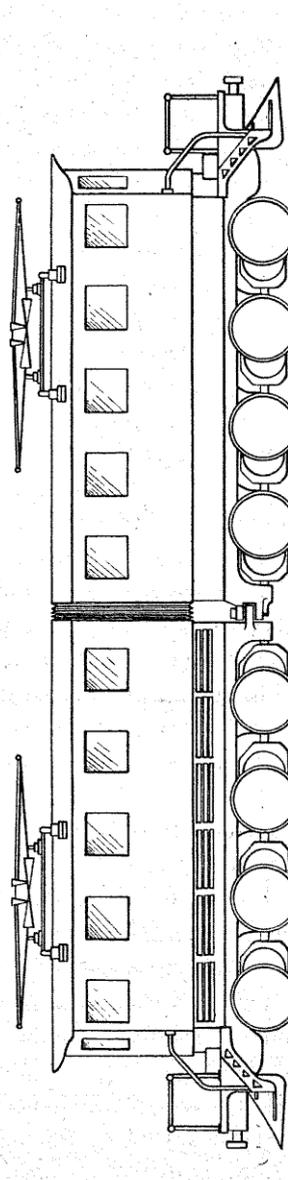


Fig. 30. — Detroit, Toledo and Ironton Railroad : diagramme d'une des unités de la locomotive d'essai.

truck possède une caisse indépendante, et les deux caisses d'une même unité sont réunies par un soufflet ayant la même section que les caisses.

Le *châssis* de chaque truck est formé de trois pièces en acier moulé : un longeron central et deux longerons latéraux. Le *longeron central* est évidé, pour constituer d'une part le réservoir principal à air comprimé, et d'autre part le conduit de ventilation pour les moteurs de traction : les conduits de ventilation des deux trucks d'une même unité sont réunis par une manche élastique placée au-dessus de la rotule d'articulation. C'est sur ce longeron central que sont fixées directement les pièces lourdes, transformateur pour l'un des trucks, groupe moteur-générateur pour l'autre, ainsi que des groupes auxiliaires et la plus grande partie de l'appareillage. Les *longerons latéraux* sont formés par des pièces en U, ouvertes vers l'extérieur, et boulonnées sur des pattes d'attache portées par le longeron central ; ces pièces sont fermées vers l'extérieur par des tôles légères, pour constituer des coffres abritant notamment la batterie d'accumulateurs et une partie du petit appareillage.

C'est sur ces longerons latéraux qu'est fixée l'ossature de la *caisse* ; celle-ci est constituée par des tôles de 6 millimètres  $\frac{1}{3}$  pour les parois extérieures, et de 4 millimètres  $\frac{3}{4}$  pour les cloisons intérieures. Dans les parois latérales de la caisse sont logées les sablières, au nombre de quatre pour chaque truck, avec orifices de remplissage sur la toiture. Les machines et l'appareillage, groupés comme nous l'avons dit au-dessus du longeron central, laissent disponible un passage de circulation contre chaque paroi de la caisse.

En partant de l'une des extrémités de la locomotive, on trouve successivement, dans la caisse du premier truck, et derrière la cabine de commande, le disjoncteur à haute tension, le transformateur, un groupe d'appareillage, le

compresseur d'air, et le ventilateur pour les moteurs de traction. Sur le second truck, on rencontre d'abord le groupe moteur-générateur, puis de l'appareillage, et enfin la seconde cabine de commande.

Le *transformateur*, d'une puissance de 2.000 kilovolt-ampères, est immergé dans l'huile. Il comporte un primaire à deux enroulements, pouvant être connectés soit en série pour l'alimentation à 22.000 volts, soit en parallèle pour 11.000 volts ; la tension au secondaire est de 1.240 volts. La cuve du transformateur est constituée au moyen de tôles pour chaudières, de 19 millimètres d'épaisseur, entièrement assemblées par soudure autogène. La cuve du *disjoncteur* à huile fait corps avec le couvercle du transformateur, dans l'intérieur duquel se trouve la connexion de sortie du disjoncteur, tandis que sa borne d'entrée traverse la toiture. La résistance de protection du disjoncteur, à rupture en deux temps, est à l'intérieur de sa cuve, et les transformateurs d'intensité et de potentiel, nécessaires pour les appareils de mesure et les relais, se trouvent à l'intérieur de la cuve du transformateur. Les sectionneurs pour le couplage en série ou en parallèle des enroulements primaires sont également placés dans cette cuve, et accessibles par un autoclave du couvercle. Grâce à ces diverses précautions, on a la certitude de ne pas venir fortuitement en contact avec une pièce quelconque à haute tension lorsqu'on se déplace à l'intérieur de la caisse.

La circulation d'huile du transformateur est assurée par une petite pompe centrifuge placée en bout d'arbre du ventilateur dont il a été question plus haut ; le refroidissement de l'huile s'effectue dans un radiateur installé au-dessus de ce ventilateur (\*).

(\*) Le ventilateur des moteurs de traction est muni d'un rotor en aluminium, et marche normalement à 1.650 tours par minute ; mais sa vitesse est réduite automatiquement de moitié dès que la manette principale pour le réglage de la vitesse de la locomotive est ramenée au zéro.

Le *groupe moteur-générateur* constitue la pièce la plus lourde de l'équipement : il mesure 4<sup>m</sup>,580 de longueur sur 1<sup>m</sup>,980 de diamètre, et ne pèse pas moins de 29 tonnes. Il comprend, dans un même bâti, le moteur et sa génératrice, séparés par un ventilateur commun : l'ensemble ne repose que sur deux paliers, et le bâti est fixé en trois points sur le longeron central du truck.

Le moteur, du type monophasé synchrone, à 4 pôles, et d'une puissance de 1.675 kilowatts (1.240 volts, 25 périodes), marche à 750 tours par minute.

La génératrice, de 1.500 kilowatts, peut fournir 2.500 ampères sous 600 volts : outre son excitation séparée, qui est prépondérante, elle possède une faible excitation série antagoniste, des pôles de commutation et des enroulements de compensation.

En bout d'arbre, du côté du moteur, est montée l'*excitatrice principale*, de 75 kilowatts, à excitation shunt, fournissant du courant continu à 125 volts pour les différents circuits énumérés ci-après :

- excitation du moteur synchrone,
- excitation séparée de la génératrice,
- excitation séparée de l'excitatrice auxiliaire (voir plus loin),
- alimentation des moteurs auxiliaires (deux moteurs de 25 chevaux, l'un pour le compresseur d'air, et l'autre pour le ventilateur des moteurs de traction),
- alimentation des circuits de contrôle.

A l'autre extrémité du groupe, du côté de la génératrice, se trouve également placée en bout d'arbre une *excitatrice auxiliaire* de 25 kilowatts, fournissant du courant à 40 volts seulement pour l'excitation séparée des moteurs de traction, soit aux vitesses les plus élevées pour la marche en traction, soit pour la marche en récupération à toutes les vitesses ; cette excitatrice est elle-même pourvue d'une excitation séparée, réglable par

rhéostat, et alimentée, comme nous l'avons dit, par l'excitatrice principale.

Une *batterie d'accumulateurs* de 60 éléments (320 ampères-heure) travaille sur les différents circuits à 125 volts, en parallèle avec l'excitatrice principale. Cette batterie alimente les circuits de contrôle lorsque le groupe moteur-générateur est arrêté, et permet, dans les mêmes conditions, la mise en route du compresseur. Une fraction de la batterie peut alimenter d'autre part les circuits d'éclairage à 32 volts, qui peuvent également être alimentés en courant alternatif.

Cette batterie est utilisée enfin pour le *démarrage du groupe moteur-générateur* par le côté continu. Le courant de cette batterie, envoyé dans la génératrice fonctionnant alors comme moteur à courant continu à 125 volts, permet d'amener le groupe à une vitesse voisine de la moitié de sa vitesse normale : on branche ensuite le moteur monophasé sur le transformateur pour accélérer le groupe jusqu'au synchronisme.

Les *moteurs de traction*, en nombre égal à celui des essieux de la locomotive, ont une puissance de 225 à 250 chevaux sous 600 volts. Au point de vue mécanique, les moteurs présentent des *dispositions fort originales*, imaginées par les ingénieurs de la Ford Motor Company (\*). Chaque moteur constitue avec ses engrenages et l'essieu monté correspondant un ensemble interchangeable. L'essieu ne comporte que deux fusées intérieures de 230 millimètres de diamètre sur 350 millimètres de longueur, tournant dans des coussinets cylindriques en bronze fixés dans la carcasse du moteur : *il n'y a donc pas de boîtes à huile* du type habituel, et la liaison horizontale de l'essieu avec le châssis du truck, au lieu de se faire comme à l'ordinaire par les boîtes à huile coulis-

(\*) Voir *Railway Age*, 29 août 1923, *Electric Railway Journal*, 5 septembre 1923, et *Railway Electrical Engineer*, septembre 1925.

sant dans les cages du châssis, se fait exclusivement par l'intermédiaire de la carcasse du moteur, comme nous l'expliquerons plus loin. Il en est de même pour la liaison verticale par ressorts reportant le poids du châssis et de la caisse sur les essieux.

L'arbre du moteur, sur lequel est calée l'armature, est creux, et repose dans la carcasse par des coussinets de type normal. A l'intérieur de cet arbre creux, et claveté sur lui vers le milieu de la longueur, se trouve un arbre de transmission *flexible* (voir *fig. 31*); cet arbre flexible entraîne à son tour, par chacune de ses extrémités, un pignon à 22 dents engrenant avec une roue dentée à 98 dents, qui est fixée directement sur le centre de la roue motrice correspondante. Chaque pignon est muni d'un appendice tubulaire, pénétrant à frottement doux à l'intérieur de l'arbre creux du moteur. Grâce à la flexibilité de l'arbre de transmission central, les pignons peuvent tourner légèrement l'un par rapport à l'autre, aussi bien d'ailleurs que par rapport à l'arbre creux du moteur; ces légers déplacements sont suffisants pour assurer un engrenement correct des deux côtés (et par suite une répartition convenable des efforts entre les deux systèmes d'engrenages), ainsi que pour éviter toute répercussion, sur les armatures des moteurs, des chocs ou vibrations produits sur les roues motrices par les dénivellations de la voie. Ce mécanisme ingénieux a été soumis en usine à des essais équivalant à un service de deux ans sur la ligne (à l'exception toutefois des chocs sur les roues), avec des résultats entièrement satisfaisants.

La carcasse du moteur est fixée au longeron central du châssis par une *articulation à rotule* transmettant l'effort de traction. Quant aux ressorts de suspension du châssis, ils prennent appui sur des balanciers, dont les axes de rotation sont fixés sur les carcasses des moteurs.

Enfin, pour maintenir l'ensemble constitué par un moteur et son essieu dans l'alignement voulu par rapport au châssis, la carcasse du moteur porte, à l'opposé de l'articulation à rotule, un appendice guidé par des glissières fixées au longeron central (voir *fig. 31*). Sur les trois

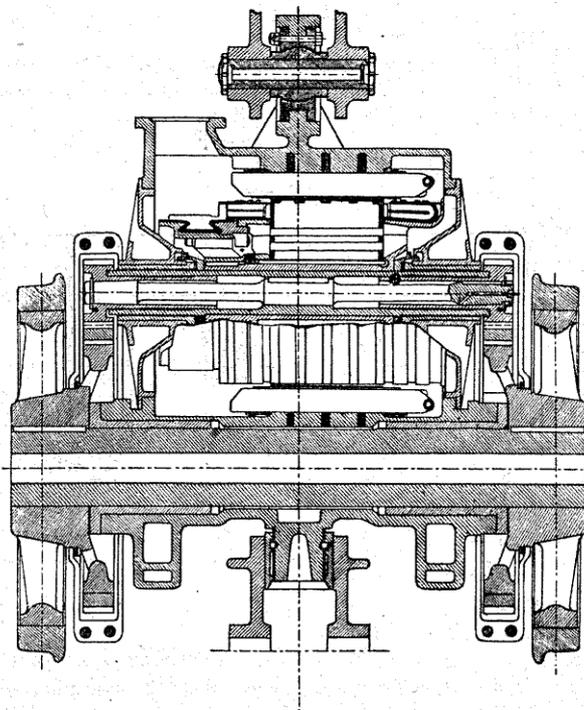
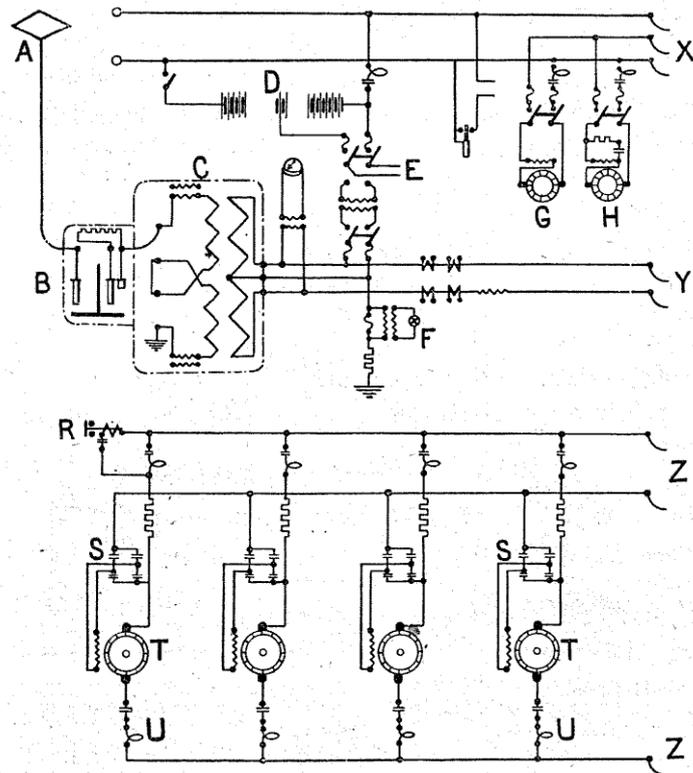


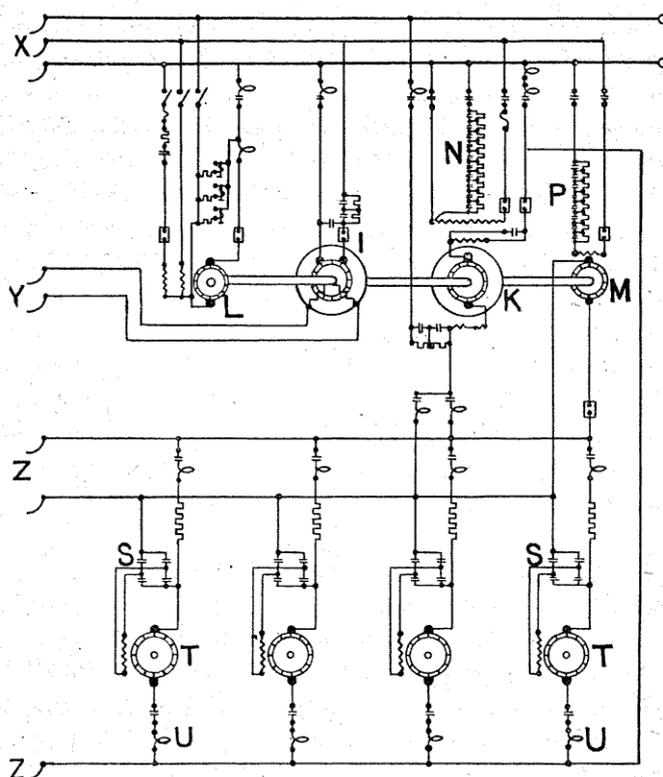
FIG. 31. — Detroit, Toledo and Ironton Railroad :  
coupe horizontale d'un moteur de la locomotive d'essai.

essieux arrière de chaque truck, ce mode de guidage ne comporte aucun jeu latéral; au contraire, pour les essieux extrêmes de chaque unité, les glissières en question sont montées entre deux tampons à ressorts, permettant un déplacement latéral de l'essieu par rap-



- A: Pantographe
- B: Disjoncteur dans l'huile
- C: Transformateur de 2000 Kw, 22 000 (ou 11 000) / 240 volts
- D: Batterie d'accumulateurs de 60 éléments (320 ampères-heure, 25 volts)
- E: Circuit d'éclairage (32 volts)
- F: Indicateur de terre
- G: Moteur du compresseur (25 c.v)
- H: Moteur du ventilateur des moteurs de traction (25 c.v)
- R: Relais d'équilibre
- S: Inverseurs
- T: Moteurs de traction
- U: Relais de surcharge

FIG. 32. — Detroit, Toledo and Ironton Railroad : schéma des circuits de la locomotive d'essai (truck du transformateur).



- I: Moteur synchrone de 1675 Kw (1240 volts, 25 périodes)  
 K: Génératrice à tension variable  
 L: Excitatrice principale de 75 Kw (125 volts)  
 M: Excitatrice auxiliaire de 25 Kw (10 volts)  
 N: Rhéostat pour le réglage de l'excitation séparée de la génératrice  
 P: Rhéostat pour le réglage de l'excitation séparée des moteurs de traction  
 X.Y.Z.: Connexions souples entre les deux trucks  
 ( X: Circuits à courant continu, 125 volts ;  
 Y: Circuits à courant alternatif, 1240 volts  
 Z: Circuits des moteurs de traction )

FIG. 33. — Detroit, Toledo and Ironton Railroad : schéma des circuits de la locomotive d'essai (truck du groupe moteur-générateur).

port au châssis pour l'inscription en courbe, avec jeu maximum de 50 millimètres de part et d'autre. Grâce à cette disposition, on a pu réduire à 3<sup>m</sup>,350 l'empattement rigide de chaque truck.

Comme nous l'avons dit, les moteurs de traction, *invariablement couplés en parallèle, peuvent fonctionner soit comme moteurs série, soit comme moteurs à excitation séparée*. La mise en vitesse se fait avec la marche en moteurs série jusqu'à la vitesse de 27<sup>km</sup>,5, en faisant varier de 0 à 600 volts la tension aux bornes de la génératrice; cette variation s'obtient en manœuvrant un rhéostat intercalé sur l'excitation séparée de la génératrice (voir *fig. 32 et 33*).

Si la charge et le profil le permettent, on peut obtenir des vitesses de marche plus élevées en passant au fonctionnement à excitation séparée des moteurs de traction: la transition entre les deux régimes d'excitation série et d'excitation séparée (ou *vice-versa*) se fait à circuit fermé, et elle est combinée de façon à maintenir le couple moteur sensiblement constant durant la transition.

Une fois cette transition effectuée, l'excitation séparée des moteurs de traction est assurée par l'excitatrice auxiliaire. On peut alors accélérer de 27<sup>km</sup>,5 jusqu'à 40 kilomètres à l'heure, en affaiblissant graduellement l'excitation des moteurs de traction; ce réglage s'obtient en agissant sur le rhéostat d'excitation séparée de l'excitatrice auxiliaire.

Avec ces deux combinaisons, *on dispose au total de 45 régimes de marche en traction, correspondant à des vitesses variant progressivement de 0 à 40 kilomètres à l'heure.*

La transition du régime à excitation série des moteurs de traction au régime à excitation séparée peut d'ailleurs s'effectuer à une vitesse inférieure à 27<sup>km</sup>,5, si l'on désire passer à la *marche en récupération* sans attendre

que cette vitesse ait été atteinte. De toute façon, lorsque les moteurs fonctionnent en traction à excitation séparée, à une vitesse quelconque, on peut immédiatement passer à la marche en récupération, soit en abaissant la tension aux bornes de la génératrice (si la vitesse est inférieure à 27<sup>km</sup>,5), soit en renforçant l'excitation des moteurs (si la vitesse est comprise entre 27<sup>km</sup>,5 et 40 kilomètres à l'heure). Par l'un ou l'autre procédé, on amène la force contre-électromotrice des moteurs à dépasser la tension aux bornes de la génératrice ; dès lors le courant s'inverse, et les moteurs de traction fonctionnent en génératrices pour alimenter la génératrice principale qui fonctionne comme moteur ; celle-ci entraîne le moteur synchrone qui marche comme alternateur, et renvoie du courant monophasé au transformateur et par suite sur la ligne de contact.

Lors de la marche en récupération à des vitesses supérieures à 27<sup>km</sup>,5, on peut augmenter l'effort retardateur, et réduire progressivement la vitesse aux environs de ce taux, en renforçant l'excitation séparée des moteurs ; pour réduire davantage la vitesse, on abaisse la tension aux bornes de la génératrice. Ces deux résultats s'obtiennent au moyen des rhéostats déjà utilisés pour le réglage de la marche en traction. On peut amener ainsi le train à une vitesse très faible avant de serrer les freins pour l'arrêt. La récupération comporte une marge de vitesses très progressive, puisqu'on dispose encore ici des 45 crans de réglage prévus pour la marche en traction.

Les principales caractéristiques de cette locomotive sont les suivantes (\*) :

---

(\*) D'après les études, la charge par essieu ne devait être que de 19<sup>t</sup>,250 ; ce chiffre s'est trouvé dépassé d'environ 10 p. 100 à l'exécution.

Longueur totale	} d'une unité.....	17 <sup>m</sup> ,830
		} de la locomotive.....
Empattement rigide.....		
Charge par essieu.....		21 t.
Poids total (adhérent)	} d'une unité.....	168 t.
		} de la locomotive ...
Effort maximum au démarrage avec adhérence 1/3.....		
Puissance maxima à 27 <sup>km</sup> ,5.....		5.000 CV
Puissance nominale à 27 <sup>km</sup> ,5.....		4.200 CV
Puissance continue entre 27 <sup>km</sup> ,5 et 40 km ..		3.600 CV
Effort continu à 40 km.....		24 <sup>t</sup> ,5

En dehors des particularités que nous avons eu l'occasion de signaler, la locomotive du Detroit, Toledo and

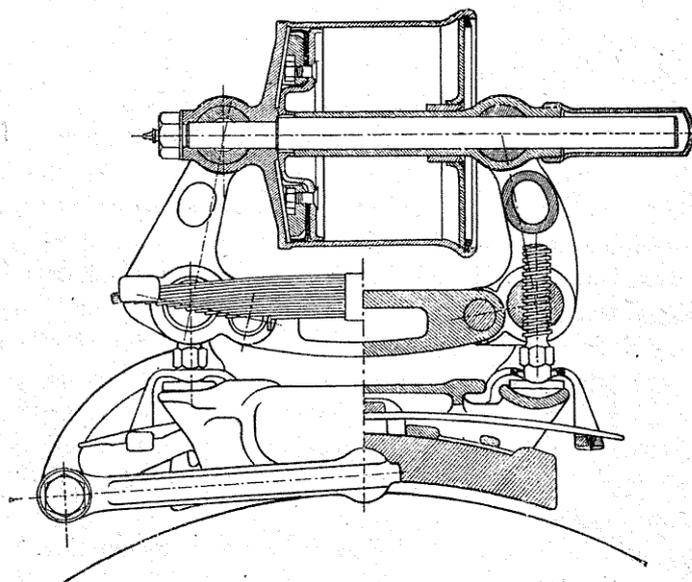


FIG. 34. — Detroit, Toledo and Ironton Railroad : disposition des freins à air comprimé sur la locomotive d'essai.

Ironton renferme encore un grand nombre de détails intéressants. Nous nous bornerons à indiquer, par exemple,

la disposition adoptée pour les *freins à air comprimé* (voir *fig. 34*). Au-dessus de chacune des roues motrices (à l'exception toutefois de celles des essieux extrêmes de chaque unité, pourvus comme nous l'avons dit d'un certain jeu latéral) se trouve un petit cylindre de frein, relié à une patte d'attache ménagée sur la carcasse du moteur. Lorsque l'air est admis dans le cylindre, le piston et le cylindre se déplacent en sens inverse, pour appliquer à la partie supérieure du bandage un sabot de frein actionné par des leviers. Lorsque le cylindre est mis à l'échappement, un ressort à lames rappelle le mécanisme. Ce dispositif a donc simplement pour effet de décharger les fusées des essieux, en reportant une partie de leur charge sur le dessus des bandages. Le but poursuivi était de supprimer toute la timonerie de frein, lourde et difficile à installer. Tous les assemblages sont combinés de façon à permettre des démontages faciles avec les outils les plus simples.

En résumé, les ingénieurs de la Ford Motor Co ont incorporé dans la construction de leur locomotive d'essai *un nombre considérable de dispositions originales*, mais dérivant toutes d'idées très simples, et dont il sera fort intéressant d'observer les résultats.

#### **Ligne de contact.**

Bien que la ligne de contact monophasée du Detroit and Ironton Railroad ne soit actuellement alimentée qu'à la tension de 11.000 volts, elle n'en a pas moins été construite pour une tension de 22.000 volts afin de réserver l'avenir (\*). Dans ce but, elle est suspendue à des chaînes d'isolateurs à quatre cloches au lieu des chaînes

(\*) Nous avons vu précédemment que la même décision avait été prise sur le Virginian Railway.

à trois cloches utilisées pour toutes les autres électrifications américaines à courant monophasé à 11.000 volts.

Cette ligne est constituée par une *caténaire simple*, qui a paru suffisante en raison des faibles vitesses envisagées. *Tous les éléments de la caténaire sont en bronze*, aussi bien le câble porteur que le fil de contact et les pendules. Le câble porteur a un diamètre extérieur de 12<sup>m</sup>,7; il est formé de 7 torons, et sa tension de pose est de 1.350 kilogrammes environ. Il supporte directement, au moyen de pendules espacés de 4<sup>m</sup>,570, un fil de contact de 107 millimètres carrés, ayant une tension de pose de 900 kilogrammes environ. La portée normale de la caténaire entre deux supports consécutifs est de 91 mètres.

Le mode d'alimentation du fil de contact est analogue à celui qui a été adopté tout d'abord sur le New-York, New-Haven and Hartford Railroad (\*) et ultérieurement sur le Virginian Railway (voir *fig. 28*), avec feeder et autotransformateurs de compensation.

La particularité la plus intéressante de cette installation consiste dans l'adoption de *portiques d'un type nouveau*, étudié par les ingénieurs de la Ford Motor C<sup>o</sup>.

Ces portiques sont *construits entièrement en béton armé*, et composés d'un petit nombre de pièces fabriquées en série, facilement transportables, et d'un montage rapide.

Le portique normal pour double voie est formé de quatre pièces : deux pylônes et deux demi-arcs (voir *fig. 35*). Après exécution des fondations, on installe les pylônes au moyen d'une grue automotrice à vapeur; puis on assemble les deux demi-arcs par leurs semelles, et la grue dépose l'arc ainsi constitué sur les pylônes, dans les extrémités desquels il vient s'encastrier.

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 73-74.

Les pylônes sont d'ailleurs construits pour recevoir au besoin un arc de chaque côté, de façon que le même type de pylône puisse être utilisé soit comme pylône extrême, soit comme pylône intermédiaire pour portique couvrant quatre voies (voir *fig. 36*).

Quant aux portiques pour trois voies, ils sont constitués

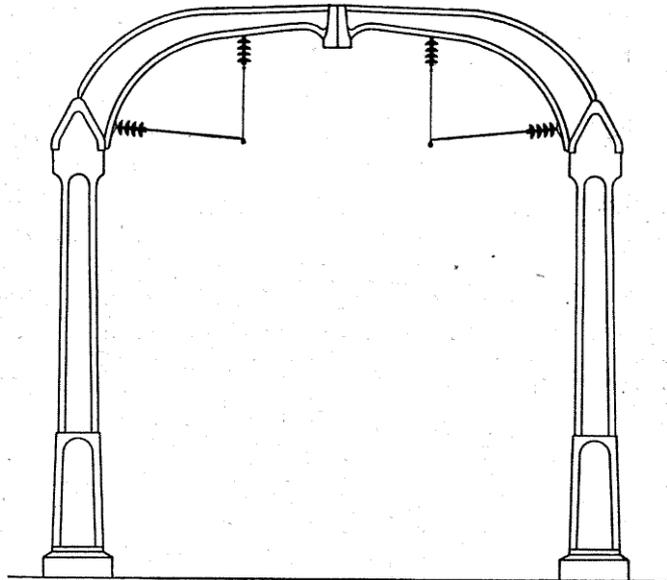


FIG. 35. — Detroit, and Ironton Railroad : portique pour double voie.

par les mêmes éléments que les pylônes pour double voie, avec intercalation d'une poutrelle entre les semelles des deux demi-arcs (voir *fig. 37*).

L'association de ces divers éléments permet ainsi de constituer des portiques s'étendant sur un nombre quelconque de voies, par travées correspondant à deux ou trois voies, *en limitant les types de pièces à trois seulement* : le pylône, le demi-arc et la poutrelle intercalaire.

La fabrication des pièces en série est donc aisée. Lors de cette fabrication, les pièces démoulées sont placées pendant vingt-quatre heures dans une étuve à vapeur, puis elles

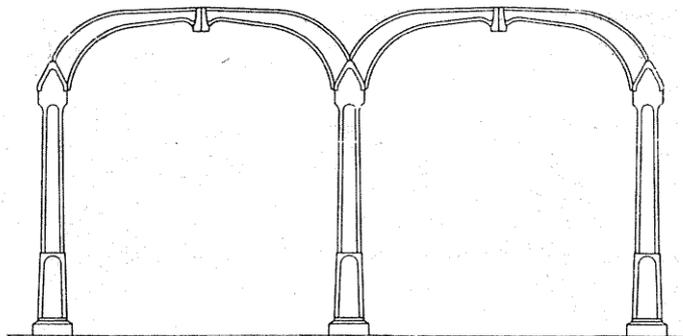


FIG. 36. — Detroit and Ironton Railroad : portique pour quatre voies.

séjournent également vingt-quatre heures dans un four de séchage. Elles sont ensuite déposées au parc de stockage, où elles doivent rester 18 jours avant leur mise en place.

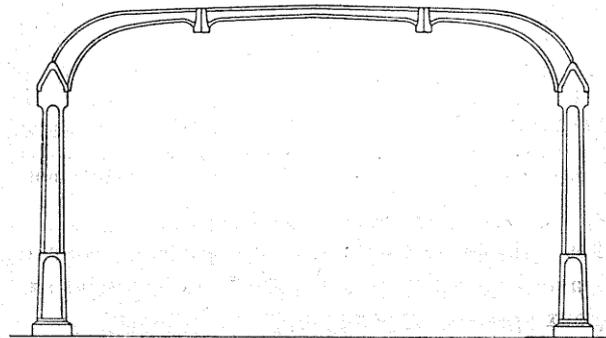


FIG. 37. — Detroit and Ironton Railroad : portique pour trois voies.

Le poids d'un pylône est d'environ 5 tonnes, et celui d'un demi-arc est inférieur à 2 tonnes; leur manutention à la grue à vapeur est par conséquent facile, et leur

assemblage sur place est très simple. Le montage de ces portiques est donc particulièrement rapide (\*).

Chaque massif de fondation pèse 6 à 7 tonnes, et le poids complet d'un portique pour double voie, fondations comprises, est d'environ 27 tonnes.

---

(\*) Sur l'exécution de ces portiques, ainsi que de leurs fondations, voir *Railway Age*, 19 décembre 1925, *Electric Railway Journal*, 26 décembre 1925, *Railway Electrical Engineer*, janvier 1926.

## HUITIÈME PARTIE.

### NEW-YORK, NEW-HAVEN AND HARTFORD.

L'électrification du New-York, New-Haven and Hartford Railroad en courant monophasé à 11.000 volts et 25 périodes n'a pas subi d'extension notable depuis 1920 (\*); on s'est borné à électrifier en 1925 l'embranchement à voie unique de 37 kilomètres de longueur, dit « *Danbury Branch* », allant de South Norwalk (sur la ligne principale) à Danbury, dans les Berkshires (\*\*).

La longueur des lignes électrifiées s'élève maintenant à 180 kilomètres (\*\*\*), correspondant à plus de 900 kilomètres de voies électrifiées (près de 600 kilomètres de voies principales, et plus de 300 kilomètres de voies de gares).

Au point de vue de l'alimentation du réseau, on avait pu faire face à l'augmentation du trafic en remplaçant en 1924 l'un des groupes générateurs de 3.750 kilovoltampères de la centrale de *Cos Cob* (\*\*\*\*) par un nouveau groupe de 12.860 kilovoltampères. Mais on a dû entreprendre, en 1926, la construction d'une sous-station à *Devon* (Connecticut), comportant deux groupes convertisseurs de fréquence (60-25 périodes) de 5.000 kilowatts, du type Scherbius, qui transformeront l'énergie fournie

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 64 à 115.

(\*\*) Sur l'électrification de la *Danbury Branch*, voir *Electric Railway Journal*, 29 août 1925.

(\*\*\*) Non compris le New-York Connecting Railroad, ni le tronçon commun avec le New-York Central.

(\*\*\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 69.

par la Connecticut Power Company, pour venir en aide à la centrale de Cos Cob.

L'effectif des *locomotives électriques*, qui comprenait déjà 106 machines en 1920 (\*), a été augmenté afin de permettre de supprimer complètement l'emploi des locomotives à vapeur, tant sur la ligne principale que sur celle du New-York Connecting Railroad (\*\*).

Le New-York, New-Haven and Hartford a commandé à cet effet, en 1923, à la Compagnie Westinghouse et aux Ateliers Baldwin, douze locomotives électriques à six essieux moteurs, qui ont été mises en service en 1924. Ces machines, équipées pour pouvoir fonctionner soit en courant monophasé à 11.000 volts, soit en courant continu à 600 volts (troisième rail), sont identiques aux locomotives de la série 0300-0304 mises en service en 1919 (\*\*\*) : on a toutefois adopté un rapport d'engrenages de 25-89 au lieu de 27-87, afin de mieux adapter leur vitesse au service auquel on les destinait.

Pour faire face à l'augmentation du trafic, le New-York, New-Haven and Hartford a ensuite commandé à la General Electric C<sup>o</sup>, en 1924, cinq locomotives à marchandises et deux locomotives de manœuvres, de types nouveaux, qui ont été mises en service en 1926 : nous donnerons plus loin la description de ces machines, pour lesquelles on a adopté, à titre d'essai, le *système monophasé-continu*.

On a enfin commandé en 1926, à la Compagnie Westinghouse et aux Ateliers Baldwin, six locomotives pour trains de voyageurs, identiques aux douze commandées

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 83 à 103, et planche I.

(\*\*) Voir *Electric Railway Journal*, 7 juin 1924.

(\*\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 100 et planche III ; au sujet des nouvelles locomotives de cette série construites en 1923-1924, voir *Railway Age*, 17 mars 1923, et *Railway Electrical Engineer*, avril 1923.

en 1923 (voir plus haut), et trois locomotives de manœuvres identiques à celles de la série 0200-0215 mises en service en 1912 (\*).

Après réception de ces dernières machines, le parc du New-York, New-Haven and Hartford comprendra donc 133 locomotives électriques, dont 22 à six essieux moteurs et 49 à quatre essieux moteurs pour trains de voyageurs, 41 à quatre essieux moteurs pour trains de marchandises, et 21 pour le service des manœuvres de gares.

Parallèlement à cet accroissement d'effectif des locomotives, le réseau a augmenté son parc d'*automotrices* et de remorques pour les trains de la banlieue de New-York et le service des embranchements.

Ce parc comprenait, en 1920, 27 automotrices et 52 remorques (\*\*). Il s'est accru, en 1922-1923, de 8 automotrices et 14 remorques (\*\*\*). Une nouvelle commande de 12 automotrices et 15 remorques a été passée en 1926.

#### Nouveaux types de locomotives.

Les locomotives à marchandises et les locomotives de manœuvres mises en service en 1926 sont, comme nous l'avons dit, du *système monophasé-continu*.

Alors que l'adoption de ce système par le Detroit, Toledo and Ironton Railroad se justifiait, ainsi que nous l'avons vu, par des considérations techniques, et que les mêmes considérations ont motivé ensuite son adoption par le Great Northern Railway (voir plus loin), l'essai de

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 98 et *fig.* 27.

(\*\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 103.

(\*\*\*) Pour la description de ces nouvelles voitures, qui ne diffèrent pas sensiblement des anciennes, décrites dans notre mémoire antérieur, voir *Railway Age*, 17 juin 1922, et *Railway Electrical Engineer*, août 1922.

ce système sur le New-York, New-Haven and Hartford a une origine toute différente.

Antérieurement à 1924, toutes les locomotives monophasées du New-York, New-Haven and Hartford, à l'exception d'une seule, avaient été construites par la Westinghouse Electric and Manufacturing C<sup>o</sup> pour la partie électrique, et par les Ateliers Baldwin pour la partie mécanique.

C'est pour faire cesser ce monopole de fait que la General Electric C<sup>o</sup> présenta à ce réseau, en 1924, des propositions exceptionnellement avantageuses pour la construction de quelques locomotives du système monophasé-continu (\*).

L'essai de ce système par le New-York, New-Haven and Hartford ne constitue donc nullement, de sa part, une marque de défaveur à l'égard du système monophasé ordinaire; les ingénieurs de ce réseau déclarent, au contraire, que les locomotives monophasées construites antérieurement continuent à leur donner *entière satisfaction*. La meilleure preuve en est que, pour la dernière commande, lancée en 1926, on est revenu aux types antérieurs.

Il en résulte par conséquent que la mise en service des locomotives du système monophasé-continu sur le New-York, New-Haven and Hartford conserve bien jusqu'à présent le caractère d'un *essai*, destiné à permettre la comparaison, en service courant, des mérites et des inconvénients respectifs des deux systèmes en présence; tant que cet essai n'aura pas duré suffisamment longtemps pour aboutir à des conclusions certaines, les ingénieurs du New-York, New-Haven and Hartford ont estimé préférable de s'en tenir, pour les nouvelles commandes, au

---

(\*) La partie mécanique de ces locomotives a été construite par l'American Locomotive Company.

système monophasé ordinaire, qui a fait ses preuves depuis longtemps sur leur réseau.

Il faut d'ailleurs reconnaître que, dans ces essais comparatifs, les locomotives du système monophasé-continu se trouvent *sérieusement handicapées*, du fait de l'obligation qui leur est imposée de pouvoir *fonctionner en unités multiples avec les locomotives monophasées antérieures* : il en est fatalement résulté, pour les nouvelles locomotives, l'adoption d'un système de contrôle électropneumatique plus compliqué qu'il n'eût été nécessaire si cette condition n'avait pas été imposée ; on a dû d'autre part ajouter des dispositifs complémentaires pour accorder la caractéristique des moteurs à courant continu des nouvelles machines avec celle des moteurs monophasés des anciennes. Au lieu de réaliser dans l'appareillage de ces nouvelles locomotives la simplification qui aurait dû constituer l'un des avantages du système monophasé-continu (comme nous l'avons vu à propos de la machine d'essai du Detroit, Toledo and Ironton), on a ainsi abouti, en raison des conditions imposées, à des complications qui ne sont nullement négligeables.

**Locomotives à marchandises 0112-0116.** — La disposition générale de ces machines est la même que celle des locomotives à marchandises antérieures, de la série 076-0111 (\*), à deux trucks, comportant chacun deux essieux moteurs et un bissel (voir *fig.* 38).

Chaque essieu moteur est entraîné, au moyen d'engrenages élastiques, par un moteur à courant continu, suspendu par le nez, du type GE-286-A, identique aux moteurs des locomotives à marchandises et des locomotives de manœuvres du New-York Central Railroad décrites précédemment.

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 94 et *fig.* 24.

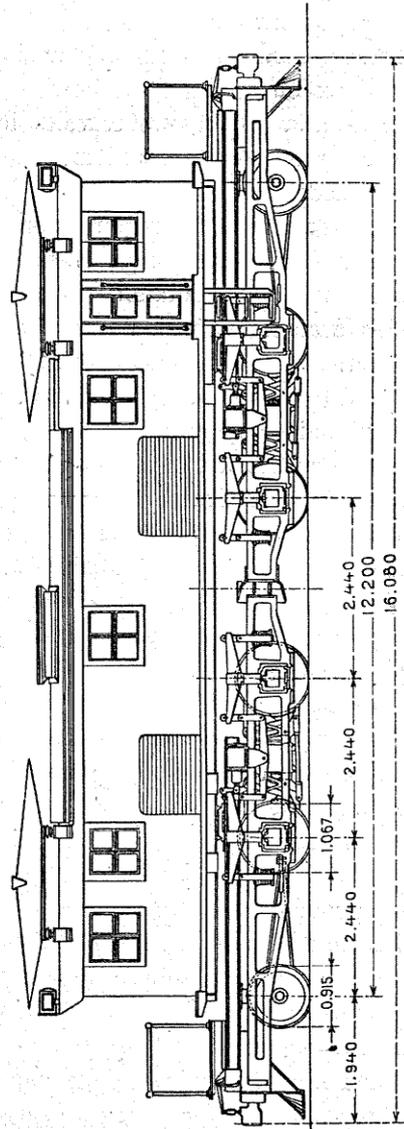


Fig. 38. — New-York, New-Haven and Hartford Railroad : locomotive à marchandises de la série 0112-0416.

Au centre de la caisse sont montés le transformateur et le groupe moteur-générateur.

Le *transformateur*, à refroidissement par simple ventilation, possède deux enroulements secondaires : l'enroulement principal alimente à 2.300 volts le groupe moteur-générateur, tandis que le deuxième enroulement dessert tous les services auxiliaires.

L'alimentation du groupe moteur-générateur par l'enroulement secondaire principal comporte un *dispositif automatique* commandé par un relais de tension, et destiné à corriger les écarts de tension trop considérables sur le fil de contact. Si la tension à la prise de courant est supérieure à 8.900 volts, le contacteur 1 (voir planche II) est seul maintenu fermé par le relais de tension, tandis que les contacteurs 2 et 3 sont ouverts ; le circuit du groupe moteur-générateur n'est alors alimenté que par une partie seulement de l'enroulement secondaire principal. Lorsque la tension s'abaisse au-dessous de 8.900 volts, le contacteur 2 se ferme, puis le contacteur 1 s'ouvre, et le contacteur 3 se ferme à son tour : le circuit du groupe moteur-générateur est alors alimenté par la totalité des spires de l'enroulement secondaire principal, la transition entre les deux régimes se faisant avec insertion, au deuxième temps, de la résistance R. Si la tension au primaire remonte au-dessus de 8.900 volts, les mêmes opérations se reproduisent dans l'ordre inverse.

L'enroulement secondaire pour les *services auxiliaires* donne une tension de 631 volts, qui est utilisée directement dans les radiateurs de chauffage de la locomotive. Une borne intermédiaire subdivise cette tension en 516 et 115 volts : sur le circuit à 516 volts sont branchés d'une part trois moteurs auxiliaires (deux compresseurs d'air et le ventilateur du transformateur), et d'autre part un petit transformateur 516-32 volts pour les circuits

d'éclairage. Quant au circuit à 415 volts, il alimente un petit groupe moteur-générateur pour la recharge de deux batteries d'accumulateurs, qui desservent alternativement les circuits de contrôle (courant continu à 20 volts).

Le *groupe moteur-générateur*, comme celui de la locomotive du Detroit, Toledo and Ironton Railroad, comporte dans une seule carcasse le moteur et la génératrice, séparés par un ventilateur commun : l'ensemble repose sur deux paliers seulement.

Le moteur, du type monophasé synchrone, tourne à 750 tours par minute ; sa puissance continue est de 4.200 kilovoltampères.

Celle de la génératrice est de 1.000 kilowatts (1.400 ampères sous 715 volts) ; cette génératrice fonctionne à excitation séparée, avec un enroulement série antagoniste.

En bout d'arbre, côté moteur synchrone, se trouve le *moteur de lancement* du groupe ; ce moteur, du type à répulsion, fonctionne sous 2.300 volts, comme le moteur principal, et sa puissance est de 75 CV (nous avons vu précédemment que le groupe moteur-générateur de la locomotive du Detroit, Toledo and Ironton démarre au contraire par le côté continu). A l'autre extrémité de l'arbre, côté génératrice, se trouve l'*excitatrice* d'une puissance de 45 kilowatts, à excitation shunt ; cette machine fournit du courant à 125 volts pour l'excitation du moteur synchrone, l'excitation séparée de la génératrice principale, et l'alimentation du moteur du ventilateur pour les moteurs de traction.

Le *démarrage du groupe* s'obtient automatiquement par la manœuvre d'un simple bouton-poussoir dans l'une ou l'autre des cabines de commande. Cette manœuvre provoque la fermeture des contacteurs électro-pneumatiques 4 et 5 (voir planche II), qui appliquent la pleine tension de 2.300 volts aux bornes du moteur de lance-

ment L. Celui-ci démarre et accélère progressivement le groupe ; dès que la vitesse devient suffisante, un relais de synchronisation commande à son tour la fermeture des contacteurs 6, 7 et 8, qui branchent le moteur principal M sur le transformateur. La fermeture des interrupteurs 9 et 10 assure enfin l'excitation du moteur synchrone, puis celle de la génératrice.

En plaçant la manette du contrôleur de commande sur le premier cran de démarrage, on provoque la fermeture des contacteurs 13 à 16, qui relient les quatre moteurs de traction à la génératrice ; ces moteurs sont *invariablement couplés en parallèle*. En continuant à déplacer la manette du contrôleur, on ferme successivement les contacteurs 25 à 33 du *rhéostat d'excitation* H de la génératrice, et on augmente ainsi progressivement la tension appliquée aux moteurs de traction, et par suite la vitesse de la locomotive. Les trois premiers crans du contrôleur ne sont utilisés que pour le démarrage ; les sept suivants sont des crans de marche normale à vitesses croissantes ; les deux derniers sont des crans de shuntage, permettant ainsi d'obtenir neuf régimes de vitesse différents.

Pour les deux *crans de shuntage*, il a toutefois été nécessaire de compliquer légèrement l'équipement de la machine, en vue du fonctionnement à unités multiples avec les locomotives monophasées : afin d'obtenir, pour les nouvelles machines, des *caractéristiques compatibles* avec celles des anciennes sur les deux derniers crans de marche, on a dû shunter simultanément les inducteurs des moteurs et l'enroulement série antagoniste de la génératrice. A cet effet, le passage du contrôleur au premier cran de shuntage provoque la fermeture du contacteur 11 en même temps que des contacteurs 17 à 20 : il en est de même au deuxième cran de shuntage, où le contacteur 12 se ferme en même temps que les contacteurs 21 à 24.

Dans le même but de permettre la marche en unités multiples avec les machines à moteurs monophasés, il a fallu munir les nouvelles machines d'un appareillage destiné à *ajuster automatiquement leur caractéristique* de fonctionnement avec celle des anciennes machines en cas de *variation de la tension* sur le fil de contact. Nous avons déjà indiqué que, si cette tension tombait de son taux nominal de 11.000 volts jusqu'à moins de 8.900 volts, un dispositif automatique commandé par un relais de tension modifiait en conséquence le rapport de transformation pour l'alimentation du groupe moteur-générateur : on peut ainsi corriger les effets d'une chute de tension importante. Pour de moindres écarts, la modification des caractéristiques de la machine s'obtient au moyen de *cinq relais* commandés par le même transformateur de potentiel que le relais du dispositif précédent ; pour des chutes de tension s'échelonnant de 5 en 5 p. 100, ces relais provoquent respectivement la fermeture des contacteurs 34 à 38 du rhéostat d'excitation H de la génératrice, et relèvent par suite automatiquement la tension appliquée aux bornes des moteurs de traction.

On peut aisément se rendre compte, par ces quelques détails, des *complications notables* qu'a entraînées, pour l'appareillage de la locomotive, l'obligation de pouvoir fonctionner à unités multiples avec les anciennes locomotives à moteurs monophasés : on s'est donc trouvé, comme nous l'avons dit, dans la nécessité de renoncer délibérément à l'un des principaux avantages que l'on faisait valoir en faveur du système monophasé-continu, à savoir la simplicité des circuits de contrôle et de l'appareillage correspondant.

Pour terminer la description de ces machines, nous ajouterons que la *protection* du circuit de traction à courant continu est assurée par un disjoncteur extra-rapide X placé sur le côté négatif de la génératrice, et déclen-

chant par surintensité, soit en cas de surcharge générale, soit sous l'action de relais de surcharge individuels S insérés en amont de chaque moteur de traction. Du côté alternatif, la protection est réalisée par le disjoncteur à huile D placé en amont du transformateur, qui déclenche soit en cas de surcharge (relais de surintensité à action différée), soit en cas de manque de tension en ligne.

**Locomotives de manœuvres.** — Pour les locomotives de manœuvres, on avait d'abord projeté de monter la caisse sur deux bogies indépendants, analogues à ceux des locomotives de manœuvres du New-York Central décrites précédemment (\*).

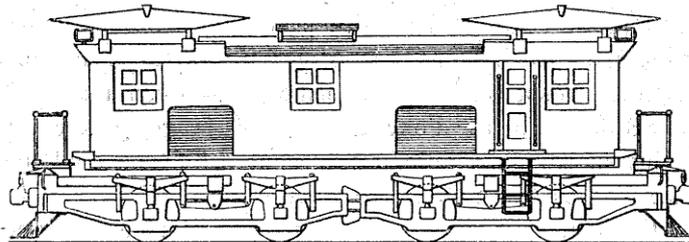


FIG. 39. — New-York, New-Haven and Hartford Railroad : locomotive de manœuvres du système monophasé-continu.

On a ensuite décidé, par mesure d'unification, d'utiliser deux trucks articulés de construction analogue à ceux des locomotives à marchandises dont nous venons de parler, sauf la suppression des bissels (voir *fig. 39*). Dans le même but, on a muni ces trucks de *moteurs identiques* à ceux des machines à marchandises; mais, afin de réaliser des vitesses de régime moins élevées,

(\*) Voir *Railway Age et Electric Railway Journal*, 18-octobre 1924.

ces moteurs sont invariablement *couplés en série-parallèle*, au lieu d'être montés en parallèle.

En outre, on a pu simplifier quelque peu l'équipement en se contentant d'un seul cran de shuntage.

A part les différences qui résultent de ces modifications, l'appareillage est le même que sur les locomotives à marchandises.

## NEUVIÈME PARTIE.

### GREAT NORTHERN RAILWAY.

---

Il nous souvient d'avoir entendu *James J. Hill* nous exposer, il y a quelque vingt ans, dans une agréable conversation où les vues générales les plus élevées alternaient avec les considérations les plus techniques, les avantages que présentait, par rapport aux autres lignes transcontinentales des États-Unis et du Canada, sa ligne du Great Northern Railway, de Saint-Paul à la côte du Pacifique (\*).

Au premier rang de ces avantages, il plaçait le profil particulièrement favorable qu'un heureux tracé avait permis d'adopter pour la traversée de la chaîne principale des Montagnes Rocheuses.

Il regrettait par contre de n'avoir pu faire mieux que ses concurrents pour la traversée de la chaîne côtière, dite *Cascade Range* : le profil de la ligne sur cette section est, en effet, beaucoup plus dur que dans la traversée de la chaîne principale, car il comporte, sur les deux ver-

---

(\*) Si James J. Hill dut partager avec plusieurs de ses émules le titre de « roi des chemins de fer », dont la presse américaine fut peut-être trop prodigue à une certaine époque, — si même il fut parfois moins heureux que certains d'entre eux dans ses combinaisons financières, — personne ne songeait du moins à lui contester le titre d'« empire builder », que lui valut son rôle génial dans le merveilleux développement du Nord-Ouest américain.

L'accueil si simple et si cordial qu'il nous réserva en 1906, dans sa pittoresque résidence de Saint-Paul, dominant la haute rive du Mississippi, est resté l'un des souvenirs les plus vivaces de nos premiers voyages en Amérique, en partie peut-être à cause des appréciations élogieuses qu'il formula sur la France, et notamment sur son rapide relèvement après la guerre de 1870. Son plus grand regret était de ne pouvoir inculquer aux fermiers du Far West la mentalité du paysan français.

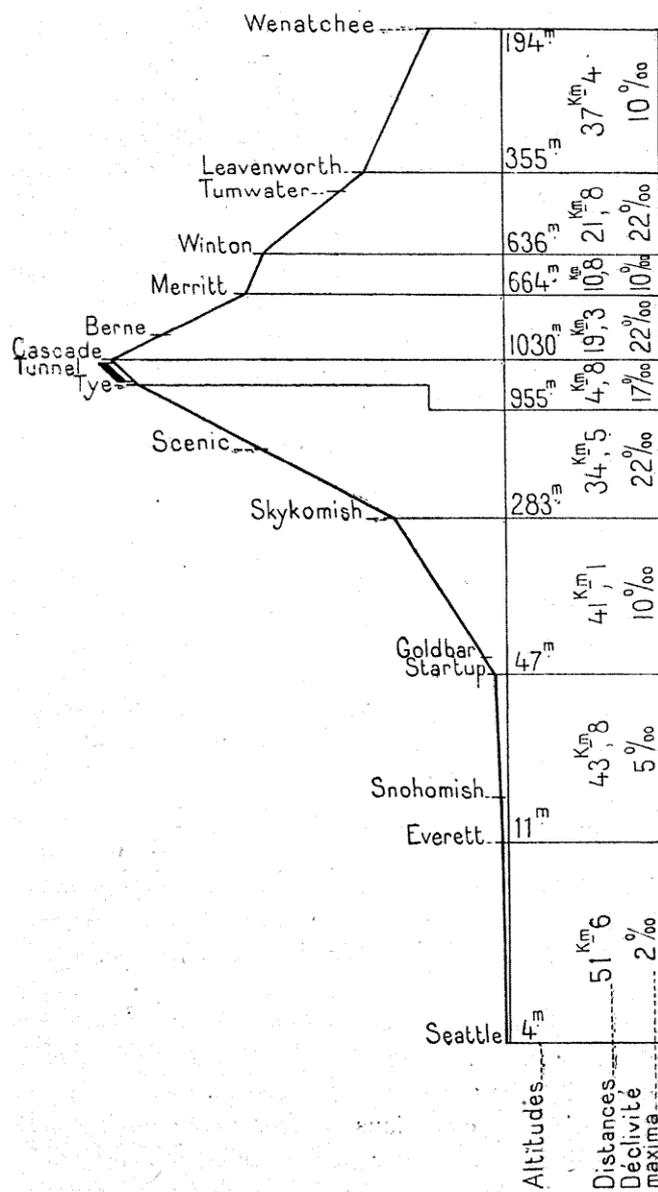


FIG. 40. — Great Northern Railway : profil de la traversée de la Cascade Range.

sants, des rampes atteignant 22 millimètres par mètre de part et d'autre du tunnel de faite (voir *fig.* 40). Ces déclivités de 22 millimètres règnent d'ailleurs sur une fraction notable des deux rampes d'accès au tunnel, puisque la déclivité *moyenne* atteint 19<sup>mm</sup>,5 sur le versant Ouest, de Skykomish à Tye (34<sup>km</sup>,5) et 13<sup>mm</sup>,5 sur le versant Est, entre Leavenworth et le tunnel (51<sup>km</sup>,9). Quant au tunnel lui-même, à voie unique, il est en rampe continue de 17 millimètres par mètre; sa longueur est de 4.228 mètres.

Les difficultés de la traction à vapeur sur les rampes de la Cascade Range sont en outre aggravées par la présence de courbes nombreuses et très raides (175 mètres de rayon), et par un climat rigoureux, avec des chutes de neige considérables (dépassant parfois 15 mètres au total par hiver aux abords du point culminant), et donnant lieu, jusqu'au début de l'été, à des avalanches fort dangereuses.

Les conditions étaient encore plus mauvaises lors de l'ouverture de la ligne, en 1893, car le tracé s'élevait, par une série de rebroussements, jusqu'au col dit Stevens Pass, que la ligne franchissait à ciel ouvert, à l'altitude de 1.236 mètres. C'est en 1897 seulement que fut entrepris le percement du tunnel destiné à éviter les difficultés de ce passage, encombré de neige pendant de longs mois. Le tunnel, achevé en 1901, permit d'abaisser le point culminant de la ligne de 1.236 à 1.030 mètres, et de diminuer de façon appréciable la longueur du tracé. La ligne n'en restait pas moins fort exposée aux avalanches, et nous verrons plus loin qu'une nouvelle amélioration du tracé, beaucoup plus importante que la précédente, a dû être entreprise récemment.

En dehors des conditions défavorables dans lesquelles s'effectuait la traction des lourds trains de marchandises sur les deux rampes d'accès, la traversée du tunnel lui-

même présentait de son côté des difficultés particulières. Bien que ce tunnel fût à pente unique et en alignement droit, la ventilation y était, en effet, très mauvaise, souvent même complètement nulle, et l'on pouvait relever, sous l'abri des locomotives à vapeur, des températures atteignant jusqu'à 200° Fahrenheit (*sic*), soit plus de 90° C. On conçoit aisément à quel point la traversée de ce long tunnel à voie unique, dans une atmosphère chargée de vapeur et de gaz chauds, était pénible et même dangereuse pour le personnel. Par ailleurs, bien que le tunnel fût naturellement sec, la condensation de la vapeur rendait le rail glissant, et les locomotives patinaient fréquemment, ce qui augmentait encore les difficultés de cette traversée.

Il n'est donc pas étonnant qu'on ait songé, dès 1908, à *électrifier toute la section accidentée*, de Skykomish à Leavenworth (environ 91 kilomètres), *en commençant par la traversée du tunnel de faite*. En vue de l'extension que l'on comptait donner à l'électrification sur les pentes des deux versants, on fit choix du *système triphasé*, qui était à cette époque le seul système permettant de descendre les pentes en récupération à vitesse constante.

La traction électrique fut mise en service le 1<sup>er</sup> juillet 1909 entre les gares de Tye (\*) et de Cascade Tunnel, aux deux extrémités du tunnel de faite : l'électrification ne s'étendait ainsi que sur 6 kilomètres environ de voies principales, et sur une longueur à peu près égale de voies de gares (\*\*).

---

(\*) Cette gare était alors désignée sous le nom de Wellington.

(\*\*) Sur cette électrification du tunnel de faite, voir le mémoire présenté par l'ingénieur-conseil du Great Northern Railway, Mr Cary T. Hutchinson, le 12 novembre 1909, devant l'American Institute of Electrical Engineers.

Des extraits de ce mémoire ont paru notamment dans l'*Electric Railway Journal* du 20 novembre 1909.

L'énergie nécessaire était produite dans une centrale hydroélectrique spécialement aménagée dans ce but à *Tumwater*, sur la *Wenatchee River*, près de *Leavenworth*. La centrale comportait deux groupes de 2.500 kilovolt-ampères, fournissant du courant triphasé à 6.600 volts et 25 périodes. Une double ligne à 33.000 volts, d'environ 48 kilomètres de longueur, installée le long de la voie ferrée, amenait le courant à une sous-station située dans la gare de *Cascade Tunnel*, où la tension était abaissée à 6.600 volts pour l'alimentation des fils de contact.

Le service électrique était assuré par quatre locomotives construites par la *General Electric Co.* Ces locomotives comportaient deux trucks articulés à deux essieux, chaque essieu étant entraîné par un moteur triphasé, avec transmission à engrenages du type ordinaire.

Bien que la traction électrique ait permis de faire face aux difficultés de la traversée du tunnel de faite, son *extension aux rampes d'accès* des deux versants fut ajournée pour diverses raisons, et c'est seulement dans ces dernières années que le *Great Northern Railway* en reprit le projet, avec l'idée d'y englober non seulement les sections à rampes de 22 millimètres, mais encore les sections encadrantes, à rampes maxima de 10 millimètres par mètre, *jusqu'à Gold Bar vers l'Ouest et Wenatchee vers l'Est* (voir *fig. 40*).

Pour débiter, on a entrepris en 1925 l'électrification de la section la plus difficile, *de Skykomish à Tye*, sur 34<sup>km</sup>,5 de longueur (\*).

Sur cette section, le poids des trains de voyageurs varie actuellement de 550 à 900 tonnes, et celui des trains

---

(\*) Sur l'extension de l'électrification du *Great Northern Railway*, voir notamment : *Electric Journal*, octobre 1925 ; *Railway Age*, 14 novembre 1925 et 27 novembre 1926 ; *Railway Electrical Engineer*, novembre 1925 et décembre 1926.

de marchandises est normalement fixé à 2.250 tonnes.

Avec cette charge, un train de marchandises remorqué par une locomotive Mikado franchit en cinq heures et demie environ les 129 kilomètres qui séparent Interbay (gare de triage de Seattle) de Skykomish. En ce point, un stationnement d'une heure est prévu pour intercaler dans le train, en des points convenablement choisis, deux locomotives Mallet du type 2-6-8-0 (quatre essieux couplés sous le châssis principal, précédés d'un truck comportant trois essieux couplés et un bissel à l'avant), utilisées comme machines de renfort sur les rampes de 22 millimètres jusqu'à Tye. En y comprenant un arrêt intermédiaire de vingt minutes à Scenic pour prise d'eau, ce parcours est effectué en trois heures et demie. A Tye, les machines de renfort sont retirées et remplacées en trente minutes par les locomotives électriques, deux en tête du train, et deux au milieu ; la traversée du tunnel demande vingt-deux minutes. Le train s'arrête quinze minutes à Cascade Tunnel pour retrait des locomotives électriques et visite des freins, et descend ensuite en quatre heures jusqu'à Wenatchee. On compte que l'électrification de la section de Skykomish à Tye procurera une économie d'au moins une heure et demie sur le trajet total, tout en permettant de porter le poids des trains de marchandises à 2.500 tonnes. Toutefois, tant que l'énergie ne sera fournie que par l'ancienne centrale de Tumwater, la vitesse des trains de marchandises sera limitée entre 11 et 11<sup>km</sup>,5 à l'heure sur les rampes de 22 millimètres, parce que le débit des conduites forcées limite la puissance maxima que peut fournir la centrale en question ; cette limitation tombera dès que l'alimentation des sous-stations pourra être assurée par les centrales de la Puget Sound Power and Light C<sup>o</sup>, comme nous le verrons plus loin.

Pour les trains de voyageurs d'un poids maximum de 900 tonnes, la vitesse sur les rampes de 22 millimètres par

mètre sera d'environ 30 kilomètres à l'heure avec la traction électrique.

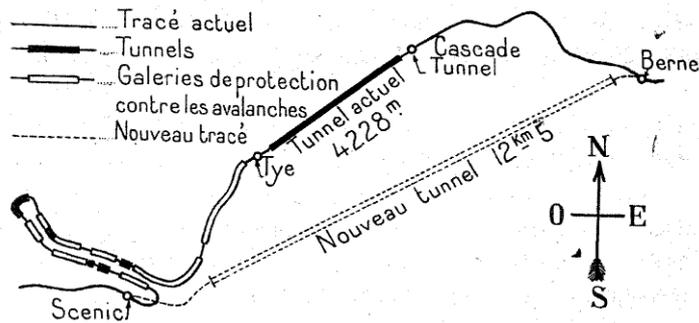


FIG. 41. — Great Northern Railway :  
tracé du nouveau tunnel de la Cascade Range.

La longueur totale de la partie de ligne dont on projette l'électrification, entre Gold Bar et Wenatchee, at-

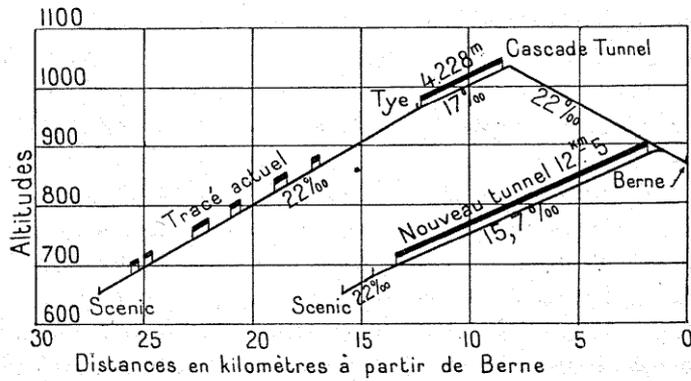


FIG. 42. — Great Northern Railway :  
profil du nouveau tunnel de la Cascade Range.

teindrait 166 kilomètres par le tracé actuel, mais elle sera ramenée à 154 kilomètres, du fait de la construction d'un nouveau tunnel à voie unique entre Scenic et Berne

(voir *fig. 41*). Ce tunnel, en rampe continue de 15<sup>mm</sup>,7 par mètre, aura 12<sup>km</sup>,5 de longueur, et sera ainsi de beaucoup le plus long tunnel d'Amérique. Il permettra d'abaisser de 1.030 à 877 mètres l'altitude du point culminant du tracé à la traversée de la Cascade Range, en évitant une partie de ligne fréquemment dévastée par les avalanches; il supprimera en outre une fraction importante des rampes de 22 millimètres (voir *fig. 42*), ainsi que certaines courbes de très faible rayon, et de longues galeries de protection contre la neige, dont la réfection occasionne chaque année des frais d'entretien considérables (300.000 à 400.000 dollars par an). La distance entre Scenic et Berne, qui est de 28<sup>km</sup>,4 par le tracé actuel, sera ramenée à 16 kilomètres par le nouveau tunnel. Le percement du tunnel a été entrepris en décembre 1925, et le délai prévu pour son exécution est de trois ans (\*).

#### **Adoption du système monophasé-continu.**

Le Great Northern Railway n'a pas cru devoir conserver, pour l'extension projetée, le système triphasé adopté pour l'électrification du tunnel.

On désirait, en effet, réaliser un *facteur de puissance* aussi voisin que possible de l'unité afin de pouvoir utiliser, pour l'alimentation des locomotives, toute la puissance de la station de Tumwater, limitée, comme nous l'avons dit, par le débit des conduites forcées: or, avec le système triphasé, dont le facteur de puissance est peu élevé, la puissance développée par les locomotives du Cascade Tunnel n'était guère que la moitié de la puissance fournie par la centrale de Tumwater, ce qui présentait en outre l'inconvénient de nécessiter l'emploi des quatre locomotives

---

(\*) Voir *Railway Electrical Engineer*, janvier 1926.

électriques pour la remorque d'un train de marchandises à la vitesse de 24 kilomètres à l'heure.

On reprochait aussi aux locomotives triphasées leur *appel de courant exagéré* pendant la période de mise en vitesse.

On avait essayé de remédier en partie à ces difficultés en modifiant les connexions des moteurs des locomotives, pour pouvoir les faire fonctionner soit en cascade à la vitesse de 12 kilomètres à l'heure, soit en parallèle à la vitesse de 24 kilomètres. Néanmoins, il était nécessaire de faire aider les locomotives électriques par la locomotive à vapeur titulaire pendant le démarrage, sans quoi l'appel de courant eût excédé les possibilités de la centrale.

Par ailleurs, la caractéristique des moteurs triphasés ne correspondait nullement aux besoins de la traction électrique sur la section de Gold Bar à Wenatchee, dont le profil est très variable (voir *fig. 40*) ; on estimait nécessaire d'employer au contraire un système qui permit d'*adapter la vitesse aux déclivités*, aussi bien lorsque les moteurs fonctionneraient en traction à la montée que lors de la marche en récupération à la descente.

Enfin la complication du *double fil aérien* de la ligne triphasée était considérée comme particulièrement gênante sur la rampe du versant Ouest, à cause du grand nombre des tunnels et des galeries de protection contre la neige, où une ligne aérienne unique présentait de grands avantages au double point de vue de l'économie d'installation et surtout de la simplicité d'entretien. Cette dernière considération était d'autant plus importante que, pendant la période où l'on procède chaque année à la réfection de ces galeries en bois, on devait pouvoir déposer le fil de contact et le remettre en place dans l'intervalle de deux trains, afin de ne pas interrompre le service.

Pour toutes ces raisons, et aussi pour d'autres motifs sur lesquels nous ne reviendrons pas, puisque nous les

avons exposés en détail à propos du Detroit, Toledo and Ironton Railroad, le Great Northern Railway décida d'adopter le *système monophasé-continu*, et de transformer en conséquence l'installation du tunnel en même temps que l'électrification serait étendue vers l'Ouest jusqu'à Skykomish, à titre de première étape.

En ce qui concerne la *fréquence* à adopter sur la ligne de contact monophasée, la question s'est posée de savoir s'il ne convenait pas de la fixer à 60 périodes au lieu de 25, pour tenir compte du fait que la ligne serait ultérieurement alimentée par les lignes triphasées à 60 périodes de la Puget Sound Power and Light Co. On a décidé de conserver la fréquence de 25 périodes pour les raisons suivantes : ceci permettra tout d'abord d'utiliser les installations de la centrale actuelle de Tumwater, au prix de quelques modifications peu onéreuses, comme nous le verrons plus loin. D'autre part, la fréquence de 25 périodes est la fréquence usuelle en Amérique pour toutes les installations de traction monophasées, de sorte que la construction des transformateurs et des équipements de locomotives pour cette fréquence est maintenant bien au point. L'adoption de la fréquence 25 nécessite évidemment l'installation de convertisseurs tournants pour la transformation du courant qui sera fourni à 60 périodes, mais alors même qu'on aurait adopté cette dernière fréquence pour le courant monophasé de traction, il eût fallu néanmoins des machines tournantes pour obtenir ce courant en partant d'un réseau triphasé, sur les trois phases duquel il était indispensable de prendre des charges équilibrées. Le réglage de la tension sur un réseau à 25 périodes, pour des fluctuations brusques et considérables de la charge, est d'ailleurs plus facile que sur un réseau à 60 périodes. De plus, les perturbations susceptibles d'être engendrées dans les circuits à courants faibles sont moindres. Enfin, avec le courant à 25 périodes, on peut

utiliser les rails de roulement, convenablement éclissés, pour constituer le circuit de retour : avec le courant à 60 périodes, au contraire, l'impédance des rails eût été trop forte, et l'on aurait dû nécessairement employer un feeder de retour en cuivre, entraînant une dépense très élevée.

L'adoption de la fréquence 25 permet, par surcroît, d'éviter la mise au rebut des quatre locomotives triphasées assurant actuellement le service dans le tunnel. Afin d'en tirer parti, on constituera, avec ces quatre machines, deux locomotives *monotriphasées*. Chacune de ces nouvelles locomotives sera formée par l'accouplement de deux des anciennes machines avec un truck intermédiaire, portant un transformateur et un groupe convertisseur de phases synchrone identiques à ceux des locomotives monotriphasées du Norfolk and Western Railway et du Virginian Railway, et transformant le courant monophasé pris sur le fil de contact en courants triphasés pour l'alimentation des moteurs des anciennes machines.

#### **Alimentation en énergie.**

Pour alimenter la section en cours d'électrification de Skykomish au tunnel de faite, on se contentera, pour le début, d'utiliser l'*ancienne centrale de Tumwater*.

Les alternateurs de cette centrale ont, en effet, été construits à une époque (1909) où le dimensionnement des machines électriques était calculé beaucoup plus largement qu'aujourd'hui, à tel point qu'ils pourront fournir en courant monophasé la puissance nominale qui avait jadis été spécifiée en triphasé. Il n'en serait plus de même avec des alternateurs de construction moderne, qui ne peuvent guère fournir, lorsqu'ils fonctionnent en monophasé, que 70 p. 100 de leur puissance nominale en triphasé.

Les transformateurs-élévateurs de Tumwater pourront être utilisés sans autres modifications que celles de leurs connexions : actuellement, le poste comprend six transformateurs monophasés 6.600/19.000 volts, groupés par trois, avec leurs secondaires en étoile pour 33.000 volts. Il suffira de les grouper par deux, avec les primaires en parallèle et les secondaires en série, pour obtenir du courant monophasé à 38.000 volts.

La ligne de transmission actuelle à 33.000 volts sera utilisée telle quelle de Tumwater à la sous-station de Cascade Tunnel, où le transformateur triphasé sera remplacé par un nouveau transformateur monophasé de 1.500 kilovoltampères. Une nouvelle ligne de transmission, établie pour la tension de 44.000 volts, qui sera adoptée ultérieurement, sera posée de Cascade Tunnel à Skykomish, pour desservir deux *sous-stations* installées en plein air à Scenic et à Skykomish, avec des puissances de 3.000 et 1.500 kilovoltampères pour débiter.

On a également entrepris, en 1926, l'installation à *Skykomish* d'une sous-station pour la conversion, en courant monophasé à 25 périodes, du courant triphasé à 60 périodes provenant de la centrale hydroélectrique de *Baker River*, appartenant à la *Puget Sound Power and Light Company*. Cette centrale est reliée par une ligne à 110.000 volts à la sous-station de Beverly, à proximité d'Everett ; la ligne à 110.000 volts sera prolongée de Beverly jusqu'à Skykomish suivant un tracé peu différent de celui du Great Northern Railway (voir *fig. 43*). L'appareillage de la sous-station de Skykomish, fourni par la General Electric Company, comprendra en définitive (\*) :

— trois transformateurs-abaisseurs monophasés 110.000/13.200 volts, de 2.750 kilovoltampères ;

---

(\*) Pour débiter, on n'a installé à Skykomish qu'un seul groupe convertisseur.

— deux groupes convertisseurs composés chacun d'un moteur triphasé synchrone de 8.000 kilovoltampères (13.200 volts, 60 périodes), d'un alternateur monophasé de 7.500 kilovoltampères (13.200 volts, 25 périodes), d'une excitatrice de 52 kilowatts pour le moteur, et d'une excitatrice de 77 kilowatts pour l'alternateur ;

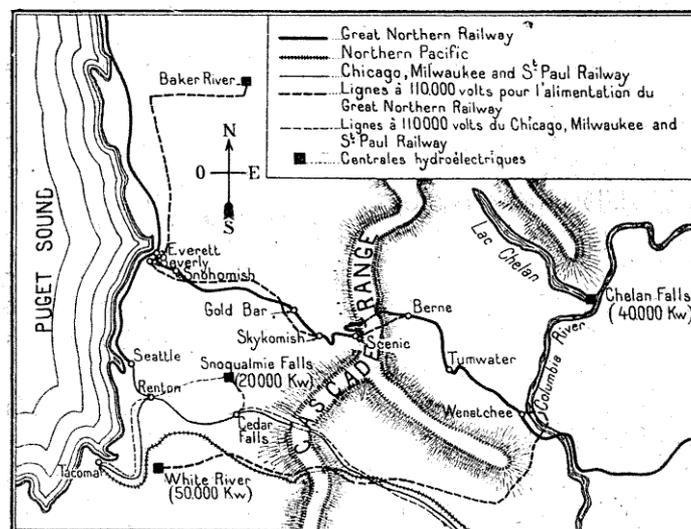


FIG. 43. — Électrification du Great Northern Railway : schéma de l'alimentation en énergie de la section de la Cascade Range.

— deux transformateurs-élévateurs monophasés 13.200/44.000 volts, de 7.500 kilovoltampères, pour l'alimentation de la ligne distribuant l'énergie aux sous-stations de traction.

Lorsque cette alimentation par la Puget Sound Power and Light Company sera mise en route, cette compagnie prendra en charge l'exploitation de la centrale de Tumwater, qui fonctionnera dès lors en parallèle avec celle de Baker River, par l'intermédiaire de la ligne à 44.000 volts longeant la voie ferrée.

Pour l'électrification ultérieure du versant Est, on prévoit la construction d'une ligne à 110,000 volts depuis la centrale hydroélectrique de *White River* (entre Seattle et Tacoma), appartenant également à la Puget Sound Power and Light Company, jusqu'à *Wenatchee*, terminus de l'électrification envisagée, où seraient installés des groupes convertisseurs analogues à ceux de Skykomish. Cette centrale, dont la puissance dépasse 50.000 kilowatts, est d'ailleurs reliée à celle de Snoqualmie Falls (20.000 kilowatts), par laquelle la même compagnie alimente déjà la dernière section électrifiée du Chicago, Milwaukee and Saint-Paul Railway (\*). Le Great Northern pourra également être alimenté, sur le versant Est, par la nouvelle centrale de 40.000 kilowatts que la Washington Water and Power Company construit actuellement à Chelan Falls (voir *fig. 43*).

La fourniture d'énergie pour l'électrification de la traversée de la Cascade Range pourra donc être assurée par plusieurs centrales très puissantes, placées dans des bassins différents, et reliées par un ensemble de lignes à haute tension qui donneront toutes garanties au point de vue de la continuité de l'alimentation.

#### **Ligne de contact.**

La ligne de contact en cours d'installation est du type *caténaire simple*, à pendules inclinés dans les courbes.

Elle est entièrement constituée en *matériaux non ferreux*.

Le câble porteur est formé de 19 torons, partie en cuivre et partie en bronze au cadmium; son diamètre total est de 19 millimètres. Le fil de contact, en bronze au cadmium, a une section de 107 millimètres carrés.

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 311 à 315.

L'ensemble du câble et du fil a une conductibilité équivalente à celle de 152 millimètres carrés de cuivre.

Comme pour la ligne voisine du Chicago, Milwaukee and Saint Paul Railway (\*), on emploie exclusivement comme supports des *poteaux en bois de cèdre*, d'excellente qualité, que l'on trouve en abondance dans cette région.

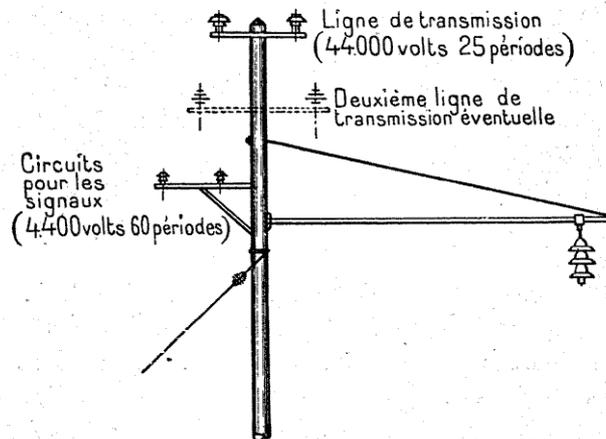


FIG. 44. — Great Northern Railway : disposition des lignes aériennes.

Les mêmes poteaux supportent également un circuit à 4.400 volts (60 périodes) pour l'alimentation des signaux du block automatique (\*\*), et la ligne de transmission à 44.000 volts (25 périodes) reliant les sous-stations (voir *fig. 44*). Quant aux lignes téléphoniques, on les reporte à une distance suffisante de la voie pour éviter les perturbations inductives.

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 377.

(\*\*) La signalisation par courant alternatif est substituée à l'ancien système à courant continu à l'occasion de l'électrification.

**Locomotives électriques.**

Le Great Northern Railway a commandé à titre d'essai, en 1926, quatre locomotives du *système monophasé-continu* : d'eux d'entre elles ont été construites par la Compagnie Westinghouse et les ateliers Baldwin, et les deux autres par la General Electric Company et l'American Locomotive Company. Nous donnerons ci-après la description de ces deux types de locomotives.

Des pourparlers sont en cours avec les constructeurs pour la commande d'un lot d'une dizaine de locomotives semblables aux précédentes.

Nous avons en outre indiqué plus haut comment on comptait constituer deux locomotives monotriphasées avec les quatre locomotives triphasées fournies par la General Electric Co en 1909.

**Locomotives Westinghouse.** — Chaque locomotive est constituée par deux unités identiques, reposant sur quatre essieux moteurs et deux bissels (voir *fig. 45*).

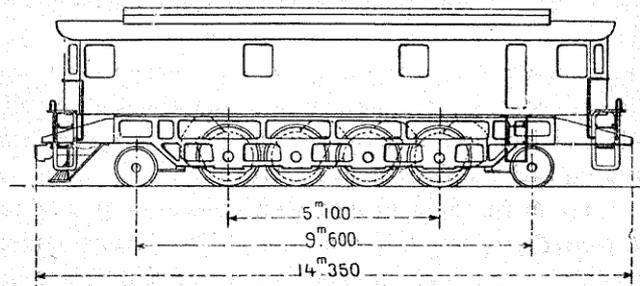


FIG. 45. — Great Northern Railway :  
diagramme d'une des unités des locomotives Westinghouse.

Le châssis est formé de deux longerons latéraux du type américain ordinaire, réunis par un bâti en acier moulé, sur lequel sont montées les pièces lourdes de

l'équipement (transformateur, groupe moteur-générateur, compresseur, etc.).

Chaque unité est munie de deux pantographes, à relevage par ressorts, et abaissement par l'air comprimé; les quatre pantographes d'une locomotive sont réunis par une barre omnibus à haute tension.

Le courant arrive, par un disjoncteur à huile, à un transformateur de 2.000 kilovoltampères, à refroidissement par ventilation, qui alimente sous 1.240 volts le moteur synchrone du groupe moteur-générateur.

Le *groupe moteur-générateur* est de construction analogue à celui de la locomotive d'essai du Detroit, Toledo and Ironton, décrite précédemment. La génératrice a une puissance de 1.500 kilowatts sous 600 volts. Une excitatrice principale de 75 kilowatts fournit du courant à 125 volts pour l'excitation des machines du groupe, et pour l'alimentation du moteur du compresseur et de certains circuits auxiliaires. Une autre excitatrice fournit du courant continu à 10 volts pour l'excitation séparée des moteurs de traction, soit lors de la marche en récupération, soit pour les vitesses les plus élevées de la marche en traction.

Le *démarrage du groupe moteur-générateur* s'effectue par le côté continu, comme sur la locomotive du Detroit, Toledo and Ironton, au moyen d'une *batterie d'accumulateurs* de 238 ampères-heure (125 volts).

La mise en route du groupe s'exécute au moyen d'un *petit contrôleur auxiliaire* à 9 positions. Au premier cran, on branche la génératrice du groupe sur la batterie d'accumulateurs par l'intermédiaire d'une résistance. Sur les crans suivants, on réduit progressivement cette résistance pour accélérer le groupe au moyen de la génératrice fonctionnant comme moteur. Sur les derniers crans, on réduit l'excitation de cette machine pour continuer à augmenter la vitesse du groupe.

La manœuvre du petit contrôleur étant ainsi terminée, le reste des opérations de mise en vitesse du groupe s'effectue *automatiquement*. Tout d'abord, dès que la vitesse atteint environ le tiers de la vitesse de synchronisme, un premier relais de tension, branché aux bornes de l'excitatrice principale, provoque la fermeture de contacteurs reliant le moteur du groupe à une borne intermédiaire à 930 volts sur l'enroulement secondaire du transformateur; aussitôt après, le même relais coupe la connexion entre la batterie et la génératrice.

Sous l'action du moteur principal, fonctionnant alors comme moteur d'induction, le groupe continue à accélérer. Lorsque sa vitesse atteint environ les trois quarts de celle du synchronisme, un second relais de tension entre en jeu pour assurer l'excitation des inducteurs du moteur à un taux réduit (environ 45 p. 100 de l'excitation normale pour la marche à vide); pendant cette phase de la mise en route, le courant d'excitation est pris momentanément sur la batterie d'accumulateurs. Ce même relais de tension excite en outre un troisième relais, électropneumatique, à action différée; le réglage de ce dernier relais est tel qu'il ne doit se fermer que plusieurs secondes après que le groupe a atteint la vitesse du synchronisme. Par suite de la fermeture de ce dernier relais, l'alimentation du moteur synchrone se trouve d'abord reportée de la borne intermédiaire du transformateur (930 volts) sur la prise normale (1.240 volts), avec intercalation d'une bobine préventive pour la transition, puis son excitation est amenée au taux normal pour la marche à vide.

Ce dispositif de mise en route du groupe présente plusieurs avantages: d'une part, l'accélération du moteur sous tension réduite diminue la perturbation en ligne; d'autre part, en excitant le moteur bien avant d'atteindre et synchronisme, on est certain que les inducteurs le

L'armature auront la même polarité lorsque le groupe arrivera au synchronisme; enfin, grâce au procédé utilisé, on n'a pas à se préoccuper des variations qui peuvent se produire dans la fréquence.

Lorsque les opérations de synchronisation sont terminées, l'excitation de toutes les machines du groupe est assurée par l'excitatrice principale, la batterie n'intervenant que pour la mise en route, comme nous l'avons vu, ainsi que pour l'alimentation du moteur du compresseur lorsque le groupe moteur-générateur est arrêté.

Les *moteurs de traction*, du type 356-A, ont une puissance unihoraire de 540 CV sous 600 volts. Chaque moteur entraîne l'essieu correspondant par une transmission du type ordinaire à engrenages élastiques (un de chaque côté); les centres des roues dentées sont fixés sur les moyeux des roues motrices. Les moteurs, invariablement couplés *en parallèle*, fonctionnent soit à excitation série, soit à excitation séparée, dans les mêmes conditions que ceux de la locomotive du Detroit, Toledo and Ironton. L'excitatrice auxiliaire à 10 volts, utilisée pour exciter séparément les moteurs, soit aux vitesses élevées en traction, soit à toutes les vitesses en récupération, est reliée aux inducteurs des moteurs de traction par l'intermédiaire de *résistances stabilisatrices*.

Les *ventilateurs* (un pour le transformateur et deux pour les moteurs de traction) sont entraînés par des *moteurs d'induction* qui démarrent en triphasé, et fonctionnent ensuite en monophasé. Le courant triphasé de démarrage est obtenu par l'intermédiaire d'un enroulement auxiliaire, placé sur l'armature du moteur synchrone, à égale distance de ses pôles principaux, et produisant une tension déphasée par rapport à celle du transformateur; cet enroulement auxiliaire est relié à certaines bornes du transformateur par des connexions convenablement disposées pour donner du courant tri-

phasé. Les moteurs des ventilateurs sont mis en route au moyen d'un commutateur à trois positions : une position de coupure des circuits, une position de démarrage en triphasé, et une position de marche en monophasé.

Le *contrôle* est du type électropneumatique. Le démarrage et le réglage de la vitesse de la locomotive s'obtiennent, comme sur celle du Detroit, Toledo and Ironton, en agissant d'abord sur l'excitation de la génératrice principale, puis sur l'excitation séparée des moteurs pour les vitesses les plus élevées : on dispose au total de 30 crans de marche permettant de régler la vitesse entre 3 et 56 kilomètres à l'heure, aussi bien en traction qu'en récupération.

La *répartition des efforts* entre les deux unités d'une même locomotive est assurée par des barres d'équilibre reliant leurs deux excitatrices principales, et par un ajustage convenable des circuits des moteurs de traction.

Les circuits des moteurs de traction ne sont mis à la masse que par un *détecteur de terre*, qui indique constamment l'état des circuits : si le détecteur dénote une mise à la masse, il suffit d'isoler le moteur défectueux pour continuer la marche avec les autres.

En cas d'*interruption momentanée du courant* sur la ligne, un relais provoque l'ouverture des contacteurs reliant les moteurs de traction à la génératrice, et rétablit les connexions de démarrage du moteur synchrone : lorsque le courant revient sur la ligne, celui-ci démarre automatiquement, et dès que la synchronisation du groupe est réalisée, les moteurs de traction sont de nouveau reliés à la génératrice. Le même relais rétablit aussi les connexions de démarrage des moteurs des ventilateurs : lorsque le groupe est synchronisé, ces moteurs démarrent automatiquement en triphasé et passent ensuite à la marche normale en monophasé.

Pour assurer la *stabilité de fonctionnement* du moteur

synchrone, son excitation augmente automatiquement lorsque la charge devient telle que le décrochage est à craindre, et le mécanicien en est averti par un signal. De plus, en cas de variation brusque, soit de la tension en ligne, soit du profil, tendant à provoquer une surcharge excessive pour le moteur synchrone, la charge est automatiquement réduite par une diminution de l'excitation de la génératrice, qui provoque une réduction de la tension appliquée aux moteurs de traction.

La *protection* des divers circuits contre les surintensités est assurée par des relais de surcharge pour la haute tension et pour les circuits à 125 volts, et par des fusibles pour les circuits de traction (un fusible par moteur) et les circuits auxiliaires : la génératrice principale n'a pas d'autre protection que celle des fusibles individuels des moteurs de traction qu'elle alimente.

Il n'y a dans chaque cabine qu'un seul jeu d'appareils de mesure, mais, par la manœuvre d'un commutateur, ils peuvent fournir des indications se rapportant soit à l'une, soit à l'autre des unités composant la locomotive.

Les principales caractéristiques de ces locomotives sont les suivantes :

	UNITÉ séparée	LOCOMOTIVE complète
Longueur hors tampons.....	14 <sup>m</sup> ,350	28 <sup>m</sup> ,700
Empattement total.....	9 <sup>m</sup> ,600	23 <sup>m</sup> ,950
Empattement rigide.....		5 <sup>m</sup> ,400
Diamètre des roues motrices.....		1 <sup>m</sup> ,424
Diamètre des roues porteuses.....		0 <sup>m</sup> ,915
Rapport d'engrenages.....		18-91
Charge par essieu moteur.....		31 <sup>t</sup> ,1-0
Poids total.....	162 t.	324 t.
Poids adhérent.....	124 <sup>t</sup> ,5	249 t.
Régime unihoraire. { puissance.....	2.165 CV	4.330 CV
{ vitesse.....		23 km.
{ effort.....	25 t.	50 t.
Régime continu... { puissance.....	1.830 CV	3.660 CV
{ vitesse.....		25 km.
{ effort.....	20 t.	40 t.
Effort normal au démarrage.....	31 t.	62 t.
Effort maximum au démarrage.....	41 <sup>t</sup> ,5	83 t.
Vitesse maxima.....		60 <sup>km</sup> ,5

Dans ce tableau, l'effort normal au démarrage est calculé pour un coefficient d'adhérence de 25 p. 100, et l'effort maximum pour un coefficient de 33 p. 100, suivant la pratique américaine usuelle pour les locomotives électriques ; mais les constructeurs déclarent qu'avec le système monophasé-continu, en raison de l'absence de tendance au patinage (comme nous l'avons vu à propos de la locomotive du Detroit, Toledo and Ironton), on pourrait tabler sans inconvénient sur *un effort au démarrage atteignant jusqu'à 50 p. 100 du poids adhérent*, soit 62 tonnes pour une unité séparée, et 125 tonnes pour la locomotive complète. Un tel coefficient d'adhérence peut sembler bien élevé : il est vrai qu'avec des essieux chargés à 31 tonnes les conditions d'adhérence sont sans doute assez différentes de celles qu'on obtient en Europe, avec des charges de 18 à 20 tonnes seulement, et des rails d'un poids comparable à celui des rails américains.

Ces locomotives ont été étudiées pour remorquer, sur la rampe de 22 millimètres de Skykomish à Tye, soit un train de voyageurs de 900 tonnes en simple traction à la vitesse de 32 kilomètres à l'heure, soit un train de marchandises de 2.500 tonnes en double traction (tête et queue) à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure.

Elles ont été livrées dans les derniers mois de 1926 (\*).

**Locomotives G. E. C°.** — Les deux locomotives construites par la General Electric Company pour la partie électrique, et par l'American Locomotive Company pour la partie mécanique, sont du type à une seule caisse reposant sur deux trucks moteurs. Chaque truck possède trois essieux moteurs et un bissel à l'avant.

Le courant monophasé à 11.000 volts pris sur le fil de contact est transformé à 2.300 volts pour l'alimentation

---

(\*) Voir *Railway Age*, 29 janvier 1927.

du *groupe moteur-générateur* ; celui-ci comporte, de part et d'autre du moteur synchrone, deux génératrices de 1.250 kilowatts, produisant du courant continu dont la tension peut varier de 0 à 1.500 volts.

Chaque essieu moteur est entraîné, au moyen d'engrenages élastiques du type ordinaire (un de chaque côté), par un moteur fonctionnant sous la tension maxima de 750 volts, mais isolé pour 1.500 volts ; ces moteurs sont couplés *deux par deux en série* de façon permanente, et les trois groupes ainsi constitués sont alimentés *en parallèle* par le groupe moteur-générateur. Les moteurs peuvent fonctionner en récupération avec excitation séparée.

La vitesse maxima prévue pour la marche en traction est de 65 kilomètres à l'heure, mais les locomotives sont construites pour pouvoir rouler sans inconvénient à 80 kilomètres à l'heure.

Le contrôle est du type électro-pneumatique PCL de la General Electric Company, disposé pour le fonctionnement en unités multiples. La protection des circuits à courant continu est assurée par un disjoncteur extrarapide.

Les principales caractéristiques de ces locomotives sont les suivantes :

Diamètre des roues motrices .....	1 <sup>m</sup> ,370
Diamètre des roues porteuses .....	0 <sup>m</sup> ,915
Longueur hors tampons .....	22 <sup>m</sup> ,400
Empattement total .....	18 <sup>m</sup> ,300
Empattement rigide .....	4 <sup>m</sup> ,850
Charge par essieu moteur .....	31 t.
Poids adhérent .....	186 t.
Poids total .....	231 t.

## CONCLUSION.

Nous avons indiqué en détail, dans notre mémoire antérieur, les considérations techniques et économiques qui avaient conduit à adopter en 1920 le courant continu à 1.500 volts pour l'électrification des grands réseaux de chemins de fer français (\*); il nous paraît inutile de reprendre ici cet exposé, dont les conclusions conservent encore actuellement toute leur valeur.

Nous nous bornerons donc à examiner les quelques points sur lesquels les progrès réalisés depuis lors paraissent appeler des observations complémentaires.

Du fait de la transformation de l'électrification du Cascade Tunnel, sur le Great Northern Railway, le *système triphasé* a maintenant disparu en Amérique, où le système monophasé et le système à courant continu restent seuls en présence.

On sait que la traction par courants triphasés est pratiquement limitée à l'Italie, où ce système a pris un remarquable essor. Des essais fort intéressants sont en cours dans ce pays, pour utiliser directement sur les locomotives le courant triphasé à *fréquence industrielle*. Si le succès de cette tentative se confirme, on pourra ainsi supprimer, pour des électrifications ultérieures, l'un des inconvénients de la traction triphasée, qui est d'exiger un réseau d'alimentation à basse fréquence, pratiquement inutilisable pour d'autres usages.

Sans diminuer l'importance de ce résultat, on peut dire néanmoins que les autres inconvénients bien connus du système triphasé l'emporteront en général sur ses avan-

---

(\*) Voir notre mémoire antérieur, p. 531 à 574.

tages. Il ne semble donc pas que, sauf dans des cas très particuliers, il puisse avoir la préférence sur les autres systèmes, soit à courant monophasé, soit à courant continu.

Dans ces dernières années, à part le cas spécial de l'Illinois Central Railroad, où le choix s'est porté sur le courant continu à 1.500 volts pour des raisons que nous avons fait connaître avec quelques détails, les ingénieurs américains paraissent surtout avoir dirigé leurs efforts du côté de la traction à *courant monophasé*, avec ses variantes, système monotriphasé et système monophasé-continu.

Le principal attrait du courant monophasé pour la traction électrique sur les lignes américaines réside dans le *taux très élevé* que l'on peut adopter pour la *tension sur le fil de contact*: la tension de 11.000 volts utilisée normalement en Amérique pour les installations de traction monophasées est déjà bien plus élevée que celle que l'on peut envisager actuellement en courant continu, et l'on paraît tendre, comme nous l'avons vu, à élever ultérieurement cette tension jusqu'à 22.000 volts. Il n'est pas douteux qu'une tension aussi élevée soit particulièrement avantageuse pour la traction de *trains exceptionnellement lourds*: la puissance appliquée à *un seul train* de marchandises (somme des puissances unihoraires des machines utilisées) atteint par exemple 8.000 chevaux sur le Norfolk and Western, 8.600 chevaux sur le Great Northern, et 12.000 chevaux sur le Virginian Railway. De telles puissances sont évidemment plus faciles à transmettre avec les hautes tensions du système monophasé qu'avec les tensions sensiblement moindres auxquelles on doit actuellement se limiter pour le système à courant continu.

Ainsi s'explique l'adoption du système monophasé (ou de ses variantes) pour la grande majorité des nouvelles électrifications américaines, alors que, dans les autres pays (en dehors toutefois de ceux qui avaient déjà adopté anté-

rièvement le système monophasé), c'est le système à courant continu à 1.500 ou 3.000 volts qui a été choisi pour la plupart des installations récentes.

La haute tension permise par la ligne de contact monophasée a une telle importance pour les ingénieurs américains, qu'ils se sont décidés à employer ce système alors même que l'énergie devait être prise sur des réseaux triphasés à *fréquence industrielle*, condition que l'on a souvent considérée jusqu'ici comme devant entraîner *ipso facto* l'adoption du système à courant continu.

Cette dernière opinion paraît devoir prendre aujourd'hui une forme moins absolue. D'une part, nous avons indiqué plus haut que les ingénieurs italiens cherchaient à utiliser directement sur des locomotives *triphases* du courant à fréquence industrielle. D'autre part, on a effectué dernièrement en Hongrie des essais d'utilisation du courant alternatif à fréquence industrielle sur une ligne *monophasée* alimentant une locomotive monotriphasée. Il est évident que les locomotives du système monophasé-continu se prêteraient également à l'utilisation de la fréquence industrielle. Mais cette fréquence présente pour la traction certains inconvénients que nous avons eu l'occasion d'indiquer à propos du Great Northern Railway. Par ailleurs, l'obtention du courant monophasé en partant d'un réseau triphasé, sur lequel on veut conserver l'équilibre des phases, ne va pas sans complication. Aussi s'est-on borné, sur le Great Northern Railway, comme pour la nouvelle alimentation du New-York, New-Haven and Hartford, à brancher simplement sur le réseau triphasé des groupes convertisseurs, malgré le prix élevé d'une telle installation, et la perte de rendement qui en résulte.

Si la majorité des ingénieurs américains témoignent une préférence marquée pour la ligne de contact mono-

phasée, leurs avis sont par contre partagés en ce qui concerne le *mode d'utilisation* de ce type de courant.

Les uns ont cherché à remédier à certains inconvénients des moteurs monophasés par l'adoption du *système monotriphasé*, qui, après une mise au point laborieuse sur le Norfolk and Western, a donné ensuite des résultats remarquables, tant sur cette ligne que sur celle du Virginian Railway.

Les autres, désirant plus de souplesse, ont eu recours au système *monophasé-continu*.

Ces variantes ont chacune leurs mérites, mais n'atteignent le but poursuivi qu'au prix de complications et de pertes de rendement qui ne peuvent être justifiées que dans des conditions assez spéciales. On comprend donc que le Pennsylvania, après avoir fait l'essai du système monotriphasé, en soit revenu au système monophasé ordinaire pour les nouvelles locomotives étudiées en vue de l'électrification de sa grande ligne de New-York à Washington, — et que le New-York, New-Haven and Hartford, tout en se décidant à expérimenter le système monophasé-continu, s'en soit également tenu, jusqu'à plus ample informé, au système monophasé ordinaire pour ses dernières commandes.

L'exemple de ces deux réseaux tend à prouver que, malgré la fréquence de 25 périodes adoptée aux États-Unis, moins favorable que celle de  $16 \frac{2}{3}$  périodes des installations européennes, la traction par moteurs monophasés peut répondre aux exigences d'un grand réseau américain, sans qu'il soit nécessaire de recourir à des variantes plus compliquées.

Il n'en est pas moins vrai que, grâce à ces variantes, le système monophasé peut se plier à des conditions d'exploitation très différentes, dont les cas extrêmes sont représentés par le réseau du Pennsylvania d'une

part (grande densité de trafic et service très varié) et par la ligne transcontinentale du Great Northern Railway d'autre part (ligne à voie unique, avec trains lourds, mais peu nombreux).

Il est donc vraisemblable que si un mouvement se dessinait maintenant aux États-Unis en faveur de l'unification, celle-ci se ferait sur le principe du *courant monophasé* à 25 périodes ; mais rien ne fait prévoir qu'un pareil mouvement soit à la veille de se produire, et l'on peut espérer que cette liberté réserve encore à la technique américaine, en matière de traction électrique, d'heureuses possibilités.

Il ne faudrait d'ailleurs pas déduire de cet aperçu sur les idées américaines que les décisions prises *en France* doivent être remises en question.

Nous avons indiqué, en effet, au début du présent mémoire, que les Américains se préoccupaient avant tout de donner à chaque problème de traction électrique la solution qui paraissait *la meilleure dans le cas considéré*. C'est dans le même esprit qu'il faut envisager le problème des réseaux français, dont les conditions d'exploitation sont bien différentes de celles de la plupart des réseaux américains : c'est en tenant compte de toutes les conditions de ce problème, que l'on est arrivé à préconiser, en 1920, pour le *cas particulier* des réseaux français, l'adoption du courant continu à 1.500 volts. *Aucun des progrès techniques réalisés depuis lors ne conduit à modifier cette conclusion.*

On connaît les brillants résultats obtenus avec ce système, sur les réseaux du Midi et de l'Orléans, qui emploient comme conducteur de prise de courant une *ligne aérienne*. De son côté, le P.-L.-M., dont les travaux d'électrification se sont trouvés retardés pour des raisons économiques et financières, a fait choix du *troisième rail*

comme conducteur de prise de courant pour l'équipement d'une section d'essai de 25 kilomètres de longueur. Les expériences poursuivies depuis plus de deux ans sur cette section, avec des locomotives de types divers, ont montré que le troisième rail à 1.500 volts donnerait toute satisfaction; ce type de conducteur, dont la pose et l'entretien sont particulièrement faciles, permet en effet de capter, aux vitesses les plus élevées, des courants dont l'intensité répondrait à tous les besoins de l'avenir. Aussi le P.-L.-M. a-t-il décidé d'adopter définitivement le troisième rail à 1.500 volts pour l'équipement de la ligne de Chambéry à Modane, dont l'électrification va désormais se poursuivre activement.

Par ailleurs, les groupes de commutatrices installés dans les *sous-stations* des trois réseaux fonctionnent de façon remarquable, et supportent sans inconvénient les surcharges les plus brusques et les courts-circuits les plus violents. Il en est de même des groupes moteurs-générateurs installés dans l'une des sous-stations du P.-L.-M., tandis que les essais de redresseurs à vapeur de mercure exécutés sur le réseau du Midi ouvrent des perspectives fort intéressantes.

Enfin les expériences effectuées sur les trois réseaux avec des *locomotives à grande vitesse* de types différents ont nettement montré que l'on disposerait, pour la remorque des trains rapides les plus lourds, d'une marge d'avenir considérable.

Tous ces résultats viennent heureusement confirmer l'opportunité des décisions prises antérieurement au sujet du choix du type de courant, et ne peuvent qu'engager les grands réseaux français à persévérer dans la voie où ils se sont délibérément engagés.

Paris, le 1<sup>er</sup> juillet 1927.

## TABLE DES MATIERES.

	Pages.
PRÉAMBULE .....	5
<b>PREMIÈRE PARTIE.</b>	
<b>NEW-YORK CENTRAL RAILROAD.....</b>	
Sous-stations semi-automatiques.....	44
Locomotives électriques.....	22
Locomotives à grande vitesse, série T-3.....	22
Locomotives à marchandises, série R.....	25
Locomotives de manœuvres, série Q.....	34
<b>DEUXIÈME PARTIE.</b>	
<b>STATEN ISLAND .....</b>	
37	
<b>TROISIÈME PARTIE.</b>	
<b>ILLINOIS CENTRAL RAILROAD.....</b>	
Programme d'électrification.....	45
Adoption du courant continu à 1.500 volts.....	55
Fourniture d'énergie.....	60
Solutions envisagées.....	60
Contrat avec la Commonwealth Edison Co.....	63
Sous-stations.....	73
Lignes aériennes.....	81
Caténaires.....	81
Dispositif de sectionnement.....	84
Supports des caténaires.....	85
Circuits secondaires.....	88
Circuit de retour.....	91
Pose des lignes aériennes.....	93
Automotrices.....	95
Description générale.....	95
Équipement électrique.....	98
Coupleurs automatiques.....	101
Entretien.....	103
<b>QUATRIÈME PARTIE.</b>	
<b>PENNSYLVANIA RAILROAD.....</b>	
Nouveaux travaux d'électrification.....	106
Locomotives électriques.....	113
Locomotives de la série L-5.....	113
Locomotives de la série BB-1.....	118

## CINQUIÈME PARTIE.

	Pages.
<b>NORFOLK AND WESTERN RAILWAY</b> .....	121
Extension de l'électrification.....	121
Locomotives électriques.....	124

## SIXIÈME PARTIE.

<b>VIRGINIAN RAILWAY</b> .....	129
Alimentation du réseau.....	137
Distribution du courant.....	143
Ligne de contact.....	146
Locomotives électriques.....	149
Résultats obtenus.....	154

## SEPTIÈME PARTIE.

<b>DETROIT, TOLEDO AND IRONTON</b> .....	158
Adoption du système monophasé-continu.....	160
Locomotive d'essai.....	164
Ligne de contact.....	177

## HUITIÈME PARTIE.

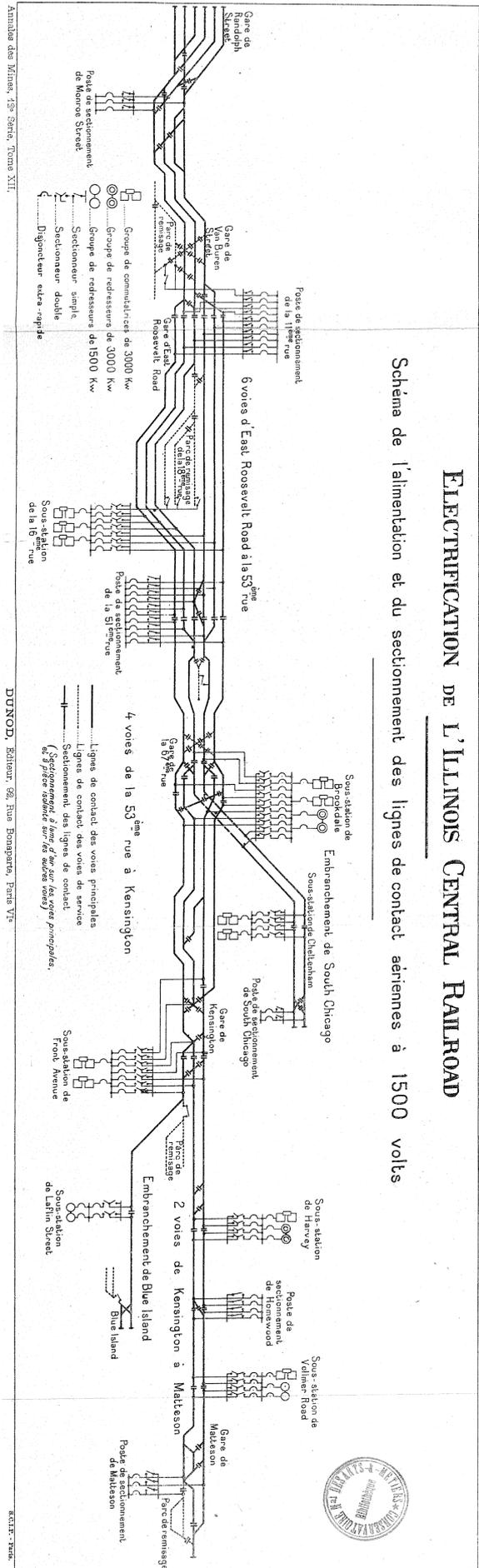
<b>NEW-YORK, NEW-HAVEN AND HARTFORD</b> .....	182
Nouveaux types de locomotives.....	184
Locomotives à marchandises 0112-0116.....	186
Locomotives de manœuvres.....	192

## NEUVIÈME PARTIE.

<b>GREAT NORTHERN RAILWAY</b> .....	194
Adoption du système monophasé-continu.....	201
Alimentation en énergie.....	204
Ligne de contact.....	207
Locomotives électriques.....	209
Locomotives Westinghouse.....	209
Locomotives G. E. C <sup>e</sup> .....	215
CONCLUSION.....	217

# ELECTRIFICATION DE L'ILLINOIS CENTRAL RAILROAD

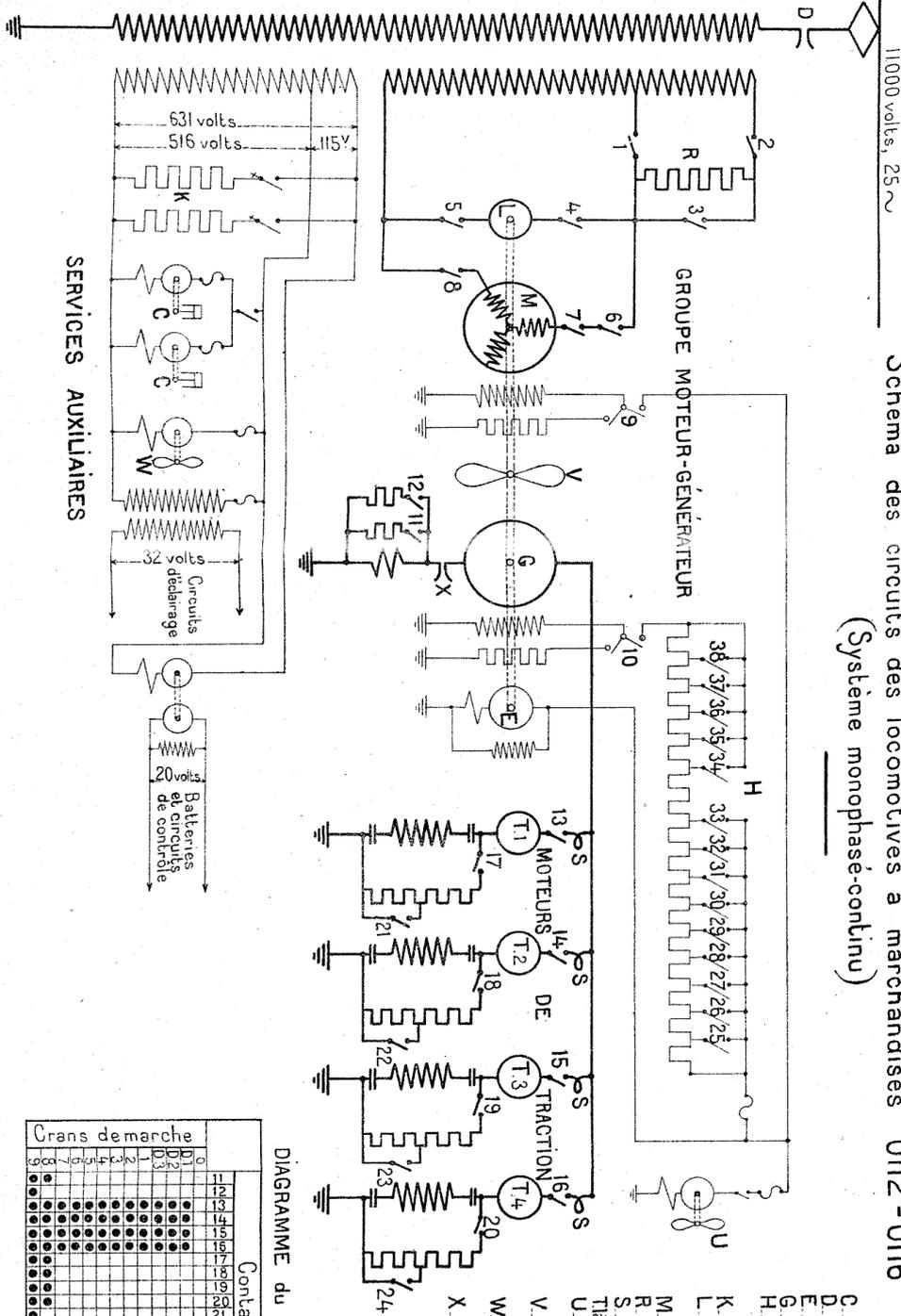
Schéma de l'alimentation et du sectionnement des lignes de contact aériennes à 1500 volts





# NEW-YORK, NEW-HAVEN and HARTFORD RAILROAD

Schema des circuits de marchandises 0112 - 0116  
(Système monophasé-continu)



## LÉGENDE

- C Compresseurs
- D Disjoncteur à huile
- E Excitatrice
- G Génératrice
- H Rhéostat d'excitation séparée de la génératrice
- K Radiateurs de chauffage
- L Moteur de lancement du groupe moteur-générateur
- M Moteur synchrone
- R Résistance
- S Relais de surcharge
- T1 à T4 Moteurs de traction
- U Ventilateur des moteurs de traction
- V Ventilateur du groupe moteur-générateur
- W Ventilateur du transformateur
- X Disjoncteur extra-rapide

## DIAGRAMME du CONTRÔLEUR

Grands marche	Contacteurs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
02	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
03	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
04	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
05	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
06	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
07	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
08	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
09	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
11	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
12	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
13	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
14	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
15	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
16	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
17	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
18	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
19	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
20	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
21	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
22	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
23	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
24	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

