

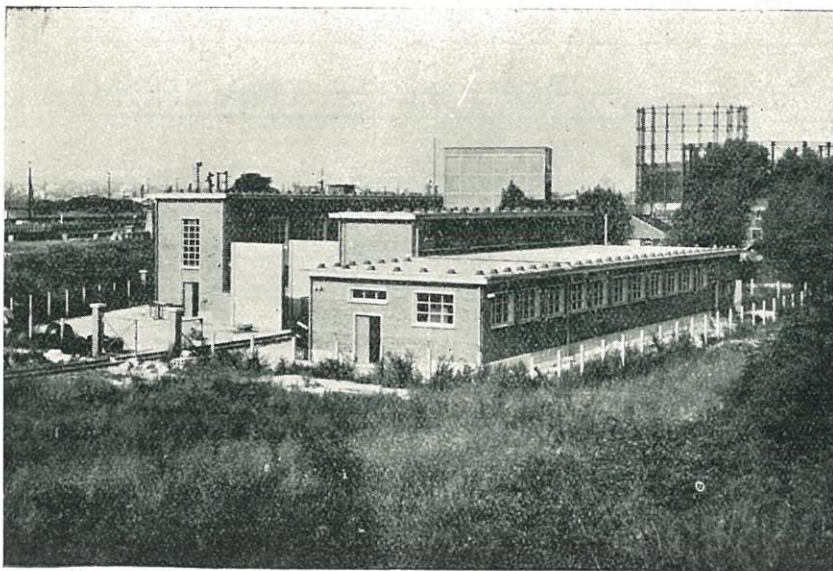


Fig. 1. — Sous-station de Forest-Midi.

Les installations fixes pour l'électrification des lignes de Bruxelles-Midi-Charleroi et de Linkebeek-Anvers-Nord

par E. J. F. DERIJCKERE,

Directeur de l'Electricité et de la Signalisation de la S.N.C.B.

avec la collaboration de MM. les ingénieurs principaux DEGREGZ, GODIN et HANCE, et de M.M. les ingénieurs DUQUESNE, MARTOU, MERTENS, PIERRARD, SCHOONJANS et STORDIAU.

Le but du présent article ne sera pas de faire l'historique de l'électrification ni d'en énumérer les raisons. Cela a été fait précédemment par la Commission Nationale d'Electrification des Chemins de fer belges. Cette Commission qui fut installée le 26 avril 1945 par Monsieur RONGVAUX, Ministre des Communications a fonctionné pendant environ deux ans sous la présidence de Monsieur l'ingénieur ANSEELE, Membre de la Chambre des Représentants. Elle a déposé son rapport en 1947 par l'organe de son regretté rapporteur général, feu Monsieur LESSINNES, administrateur de la S.N.C.B. et membre de son Comité Permanent à qui nous tenons à rendre ici un hommage respectueux pour tout le dévouement, la science et le savoir-faire qu'il mit au service de l'électrification.

* * *

Dans le présent article, nous nous bornerons à faire une description raisonnée des installations fixes de traction électrique, de la signalisation et des télécommunications établies le long des lignes de Bruxelles-Midi-Charleroi (trafic voyageurs et marchandises) et de Linkebeek-Anvers-Nord (trafic marchandises).

Cette double électrification porte sur 125 km de double voie principale et 75 km de voies secondaires.

L'électrification de ces lignes améliorera les relations entre trois grands centres industriels et économiques du pays, reliera le bassin de Charleroi au port d'Anvers et favorisera l'extension vers le sud de la banlieue bruxelloise.

Rappelons qu'à l'heure actuelle, le programme d'électrification envisagé par la S.N.C.B. porte sur un total de 1500 km de lignes, soit environ la moitié des lignes à double voie du réseau belge.

En outre l'électrification de la Jonction Nord-Midi, en cours d'établissement, permettra une liaison électrique rapide et directe entre les deux grandes gares de Bruxelles dont l'ensemble formera le noyau des électrifications futures.

La rapidité de son exécution dépendra principalement des possibilités financières du moment.

I. — SOUS-STATIONS DE TRACTION ELECTRIQUE

A. Généralités.

Les lignes de contact seront alimentées en courant continu 3.300 V par des sous-stations, réparties le long des voies et distantes de 30 à 40 km environ. Afin d'en réduire le nombre, on les situera au voisinage des nœuds ferroviaires importants.

Le nombre total de sous-stations prévu pour le programme de 1.500 km est de 31, soit environ, en moyenne, une par 50 km de double voie.

Ces sous-stations, qui comprendront un nombre variable de groupes transformateurs-redresseurs à vapeur de mercure, de 3.000 KW chacun, seront alimentées par les réseaux des grandes centrales électriques belges à fréquence industrielle (50 périodes) sous diverses tensions qui peuvent atteindre 70 KV.

La ligne de Bruxelles-Anvers, électrifiée en 1935, est alimentée par les sous-stations de Haren et Mortsels aux tensions primaires respectives de 11 KV et 15 KV. La double voie vers Anvers-Nord électrifiée est alimentée par les mêmes sous-stations agrandies.

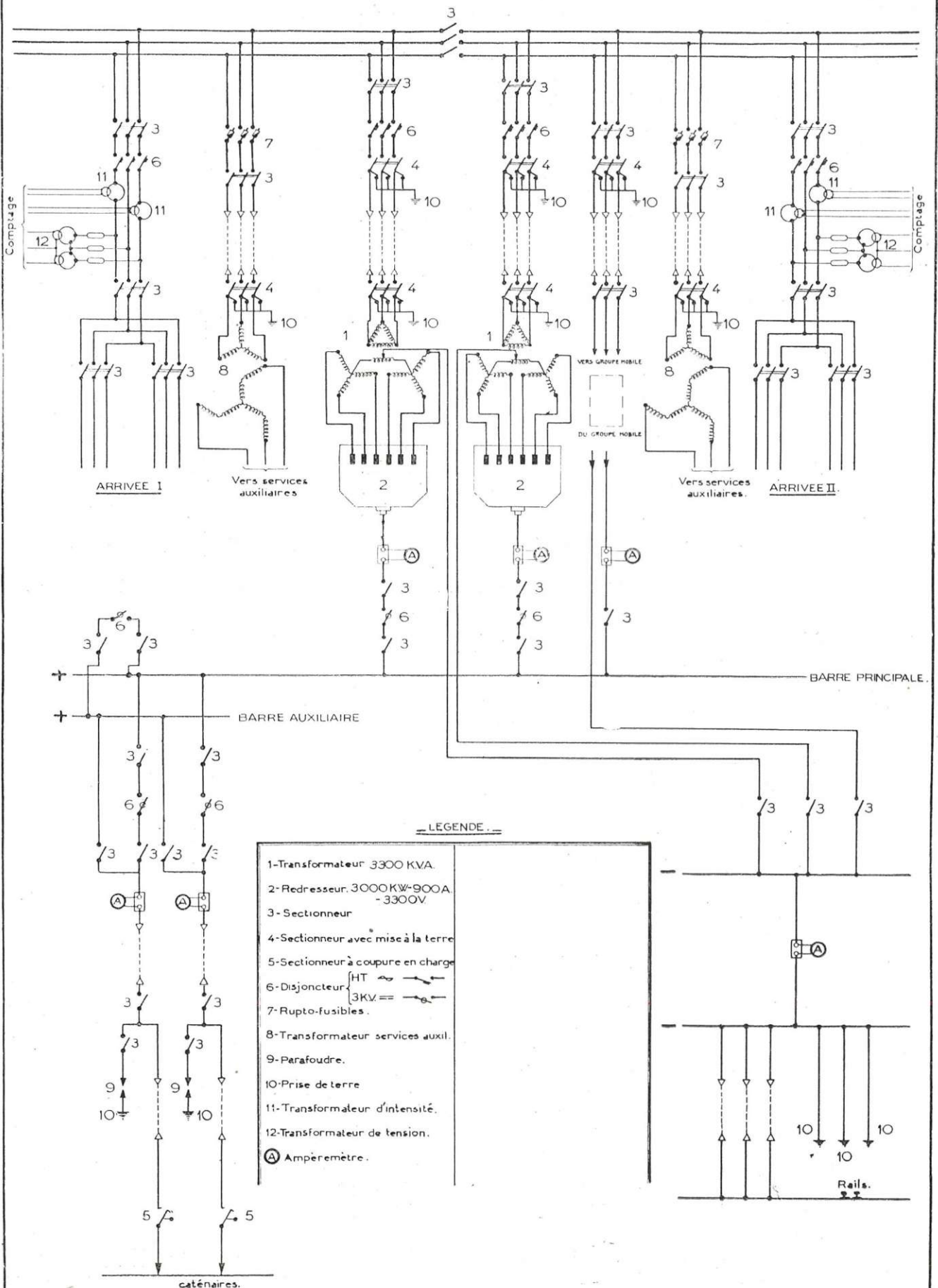
La ligne de Bruxelles-Midi-Charleroi, est alimentée par trois sous-stations nouvelles à Bruxelles-Midi, Baulers et Charleroi (tensions primaires respectives de 36 KV, 70 KV et 30 KV).

Les puissances installées sont de 6.000 KW à Charleroi et Bruxelles-Midi, de 3.000 KW à Baulers plus 3.000 KW en groupe mobile et de 9.000 KW à Haren et Mortsels.

L'alimentation de Bruxelles-Midi et de Charleroi se fait par câbles souterrains, celle de Baulers par lignes aériennes.

Pour tenir compte de la valeur des tensions d'alimentation en jeu et du mode de raccordement, les postes à haute tension des sous-stations de Bruxelles-Midi et de Charleroi sont du type intérieur. Le poste

SCHEMA ELECTRIQUE D'UNE SOUS-STATION DE TRACTION.



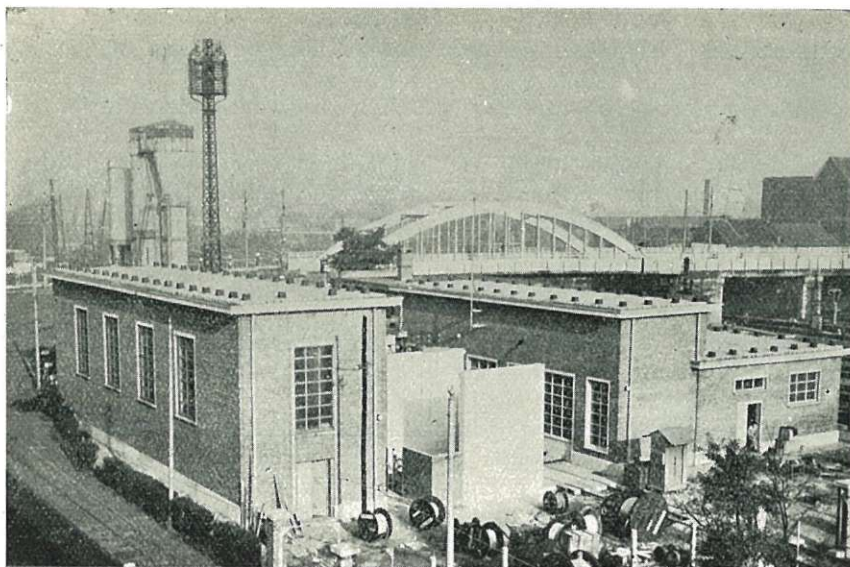


Fig. 2. — Sous-station de Baulers.

sans étage, de renoncer au hall de décuage et d'éviter l'installation d'un pont roulant coûteux.

Au point de vue architectural, ces bâtiments ont été conçus dans un style sobre et moderne. Leur aspect, bien qu'il s'agisse de constructions industrielles, n'est cependant pas déplaisant comme en témoignent les figures 1 et 2 qui donnent une vue d'ensemble des sous-stations de Bruxelles-Midi et de Baulers.

C. Postes à haute tension.

a) Bruxelles-Midi et Charleroi.

Rappelons que ces postes sont du type intérieur.

L'alimentation est assurée par deux câbles qui pénètrent symétriquement dans le poste, aux deux extrémités du bâtiment.

Ces deux câbles alimentent un jeu de barres unique par l'intermédiaire de disjoncteurs destinés à contrôler les lignes d'arrivée de courant à haute tension.

Des sectionneurs, dont le nombre varie suivant le nombre des groupes alimentés, sont prévus dans le jeu de barres haute tension pour permettre, en cas de besoin d'en isoler une partie.

L'alimentation des groupes transformateurs-redresseurs de la sous-station, qui se fait à partir du jeu de barres, est contrôlée par des disjoncteurs encadrés de sectionneurs.

Les disjoncteurs équipant les postes à haute tension des sous-stations de Bruxelles-Midi et de Charleroi sont du type pneumatique. Leur pouvoir de coupure est de 500 MVA. Ils peuvent être commandés électriquement à partir du tableau du répartiteur dans le cas de la commande à distance, solution prévue pour l'avenir.

à haute tension de la sous-station de Baulers est du type extérieur en charpente métallique.

B. Bâtiments.

Les bâtiments des nouvelles sous-stations ont été standardisés.

Leur conception procède d'un esprit de stricte économie et leurs dimensions ont été réduites autant que possible.

Dans cet esprit, il a été prévu que les transformateurs de puissance et les transformateurs des services auxiliaires seraient placés à l'extérieur.

Ceci a permis de réduire considérablement le bâtiment comprenant les installations à basse tension, de le construire

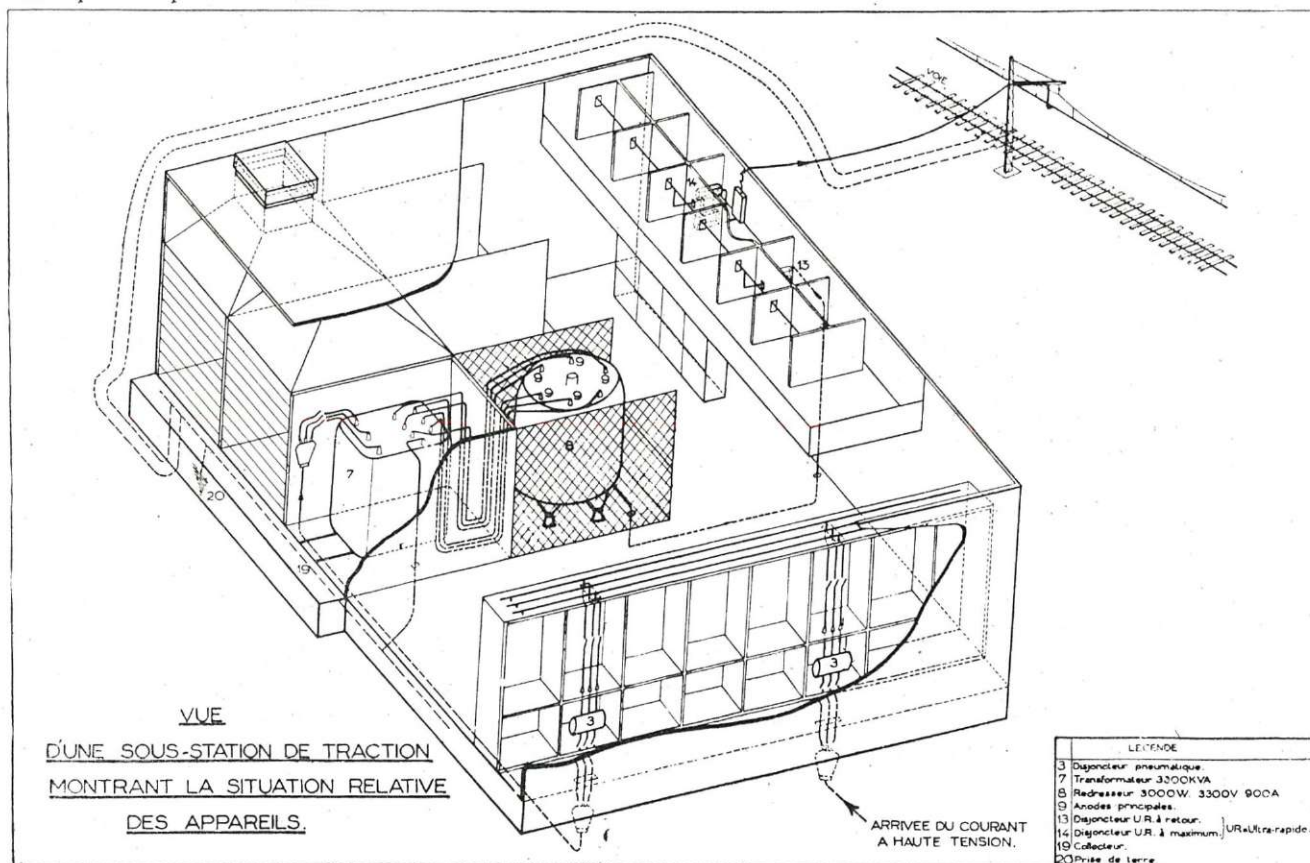


Fig. 4.

En outre une commande directe de secours est prévue dans le coffret de commande même des disjoncteurs.

Deux groupes de compression installés au rez-de-chaussée du bâtiment assurent l'alimentation des disjoncteurs en air comprimé.

La figure 3 donne le schéma de principe d'une sous-station de traction du type employé à Charleroi et Bruxelles-Midi et la figure 4 donne une vue perspective schématique d'une sous-station de traction du type, plus ancien, employé à Haren et Mortsels.

b) Baulers.

Le poste à haute tension du type extérieur à charpente métallique est alimenté par une double ligne aérienne à 70 KV.

Tout comme dans le cas des postes intérieurs, ces lignes alimentent symétriquement un jeu de barres unique par l'intermédiaire de disjoncteurs à faible volume d'huile de 1.000 MVA, encadrés de sectionneurs et qui sont destinés à contrôler les lignes d'alimentation de la sous-station.

C'est à partir de ce jeu de barres unique que se fait l'alimentation des groupes transformateurs-redresseurs, cette alimentation étant contrôlée pour chaque groupe par un disjoncteur.

La commande des disjoncteurs est électrique par moteur à courant continu 110 V. Il est en outre prévu pour ces disjoncteurs une commande mécanique de secours manœuvrable à la main.

D. Services auxiliaires.

Chaque sous-station comprend deux transformateurs branchés sur la haute tension et qui fournissent le courant triphasé 380/220 V pour l'alimentation des services auxiliaires de la sous-station. Un seul transformateur est en service, l'autre servant de réserve.

Leur puissance varie de 125 à 250 KVA suivant l'importance de la sous-station.

La mise sous tension de ces transformateurs se fait par la simple fermeture d'un sectionneur tripolaire, avec fusibles.

Ces transformateurs concourent notamment au fonctionnement de la protection de l'équipement de la sous-station ; les relais Bucholtz qui les protègent, provoquent le déclenchement des disjoncteurs d'alimentation de la sous-station.

E. Groupes transformateurs-redresseurs.

Les sous-stations de traction sont équipées d'un certain nombre de groupes transformateurs-redresseurs, dont le nombre dépend de l'importance de la sous-station.

Au stade définitif de l'électrification, la sous-station de Bruxelles-Midi sera équipée de quatre groupes, celle de Charleroi de trois groupes et celle de Baulers de deux.

Ajoutons qu'un groupe transformateur-redresseur mobile, ayant Baulers comme point d'attache, pourra être appelé à remplacer un groupe défaillant dans l'une quelconque des sous-stations de la partie sud du pays.

Chaque groupe transformateur-redresseur comprend notamment (voir fig. 3) :

- un disjoncteur identique à ceux des alimentations haute tension des sous-stations à la différence toutefois que celui protégeant le groupe mobile est à gros volume d'huile.

- un transformateur bobiné en triangle au primaire et dont l'enroulement secondaire est en double étoile triphasée avec bobine d'absorption.

- un redresseur à vapeur de mercure à cuve métallique avec refroidissement individuel par air. Ce redresseur comporte 6 anodes principales avec grilles de commande permettant le blocage des anodes en cas d'arc en retour. Trois anodes auxiliaires assurent l'entretien de l'arc.

- un dispositif de polarisation des grilles d'anodes du redresseur.

- un disjoncteur ultra-rapide à retour de courant.

F. Alimentation des lignes de contact.

Les lignes de contact de chaque voie sont coupées au droit des sous-stations et au droit des postes dits de mise en parallèle et de sectionnement placés à peu près à mi-distance entre les sous-stations (voir fig. 5).

En outre, les gares où il existe des faisceaux de voies électrifiées sont pourvues d'un poste d'alimentation (fig. 6).

Chaque tronçon compris entre une sous-station et un poste de sectionnement, est relié à ses extrémités, par l'intermédiaire d'un disjoncteur ultra-rapide à maximum de courant à la barre 3 KV de la sous-station et à celle du poste.

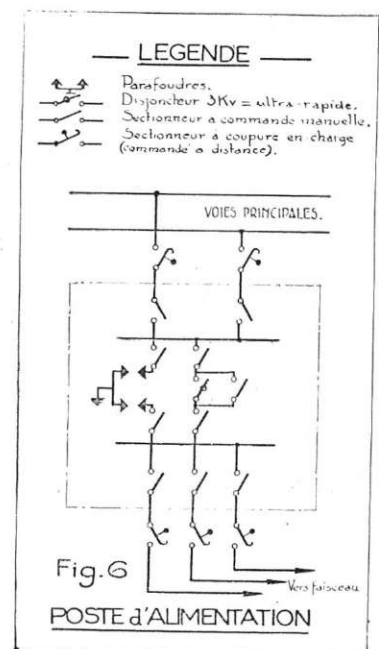
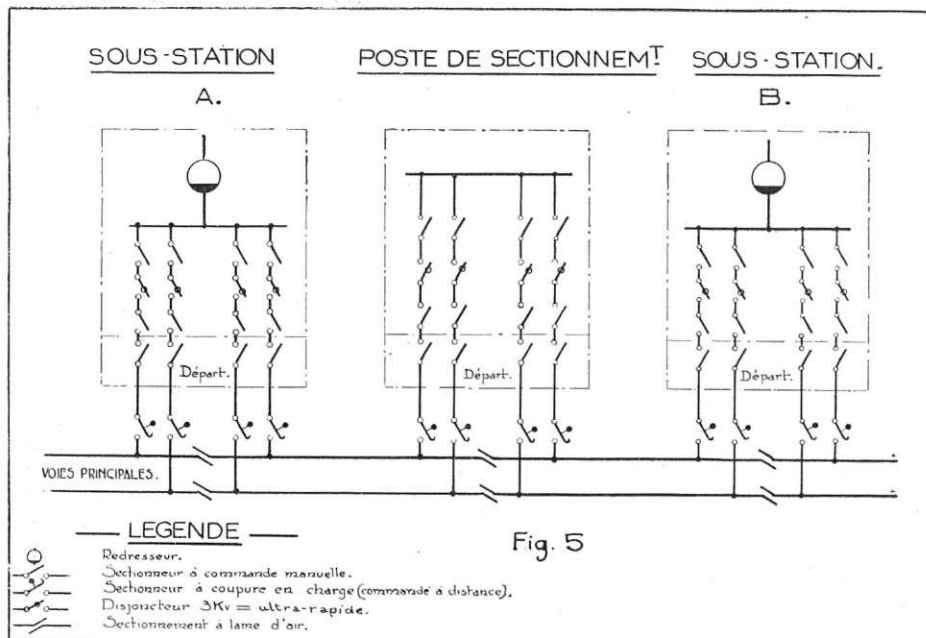
Les disjoncteurs correspondant à un même tronçon de ligne sont verrouillés entre eux de telle manière que le déclenchement accidentel de l'un provoque automatiquement le déclenchement de l'autre.

Les disjoncteurs de protection des feeders de sous-station sont enclenchés ou déclenchés à distance. Tout ordre d'enclenchement est suivi automatiquement d'un test de l'isolement du feeder, l'enclenchement n'étant réalisé que si le test donne un résultat convenable (voir fig. 3).

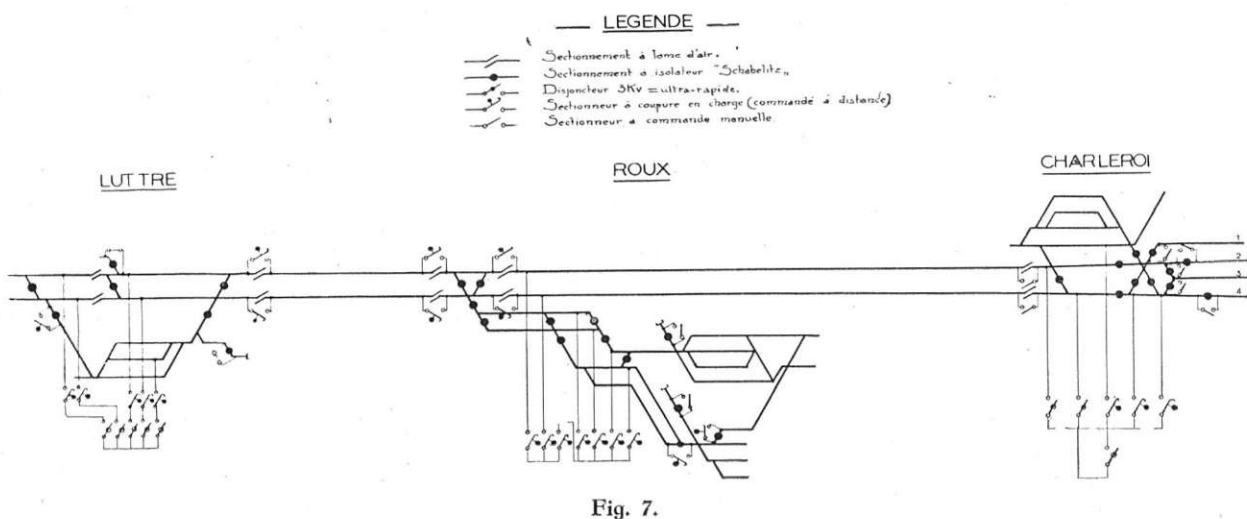
En cas de déclenchement par maxima d'un disjoncteur de feeder le réenclenchement a lieu automatiquement avec intervention du dispositif de test à moins qu'un ordre de déclenchement n'ait été donné à partir du tableau de commande.

Le test ayant lieu dans les conditions susdites se poursuit jusqu'à l'enclenchement du disjoncteur ou jusqu'à ce qu'un ordre de déclenchement soit donné.

Pour permettre l'entretien ou la réparation d'un disjoncteur de feeder, il a en outre été prévu dans le poste basse tension des sous-stations un disjoncteur de réserve, appelé disjoncteur de by-pass, connecté en permanence et qui peut alimenter l'un quelconque des départs par l'intermédiaire d'une barre auxiliaire, moyennant simple manœuvre des sectionneurs (voir fig. 3).



Il existe en outre en campagne des sectionneurs à coupure en charge qui permettent de tronçonner les lignes caténaïres en segments isolés. Les figures 7 et 8 donnent respectivement une vue schématique du tronçon de ligne Luttre-Charleroi, et une vue perspective de toutes les lignes électrifiées jusqu'à présent.



G. Commande des sous-stations.

Au début, les appareils des sous-stations seront commandés sur place à partir du tableau des sous-stations même.

Cette commande sera semi-automatique : c'est ainsi, p.ex. qu'au cours de la mise en service d'un groupe transformateur-redresseur, l'enclenchement du disjoncteur haute tension commandant le groupe, provoquera automatiquement l'enclenchement du disjoncteur de cathode du redresseur, dès que la tension continue normale apparaît aux bornes du redresseur, c'est-à-dire lorsque, après enclenchement du disjoncteur haute tension l'allumage du redresseur aura été correctement réalisé.

Il est toutefois prévu de réaliser dans un avenir prochain la commande à distance des sous-stations à partir de Charleroi, de Bruxelles et d'Anvers.

II. LIGNES DE CONTACT

A. Principes directeurs d'établissement.

Les lignes de contact de grande traction ont un double but à remplir : assurer une bonne captation de courant, même à grande vitesse, et constituer un transport d'énergie ne provoquant pas de chute de tension exagérée.

La première préoccupation nous amène à réaliser une surface de contact suffisante et permanente entre le ou les fils de contact d'une part et le frotteur du pantographe de l'autre.

Pour qu'elle soit permanente il faut, outre une pression verticale suffisante, qu'elle soit et reste lisse et propre et que l'on évite donc toute cause de décollements, sources de brûlures.

SCHEMA DE PRINCIPE DE LA DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE DES LIGNES

25, 26 ET 124.

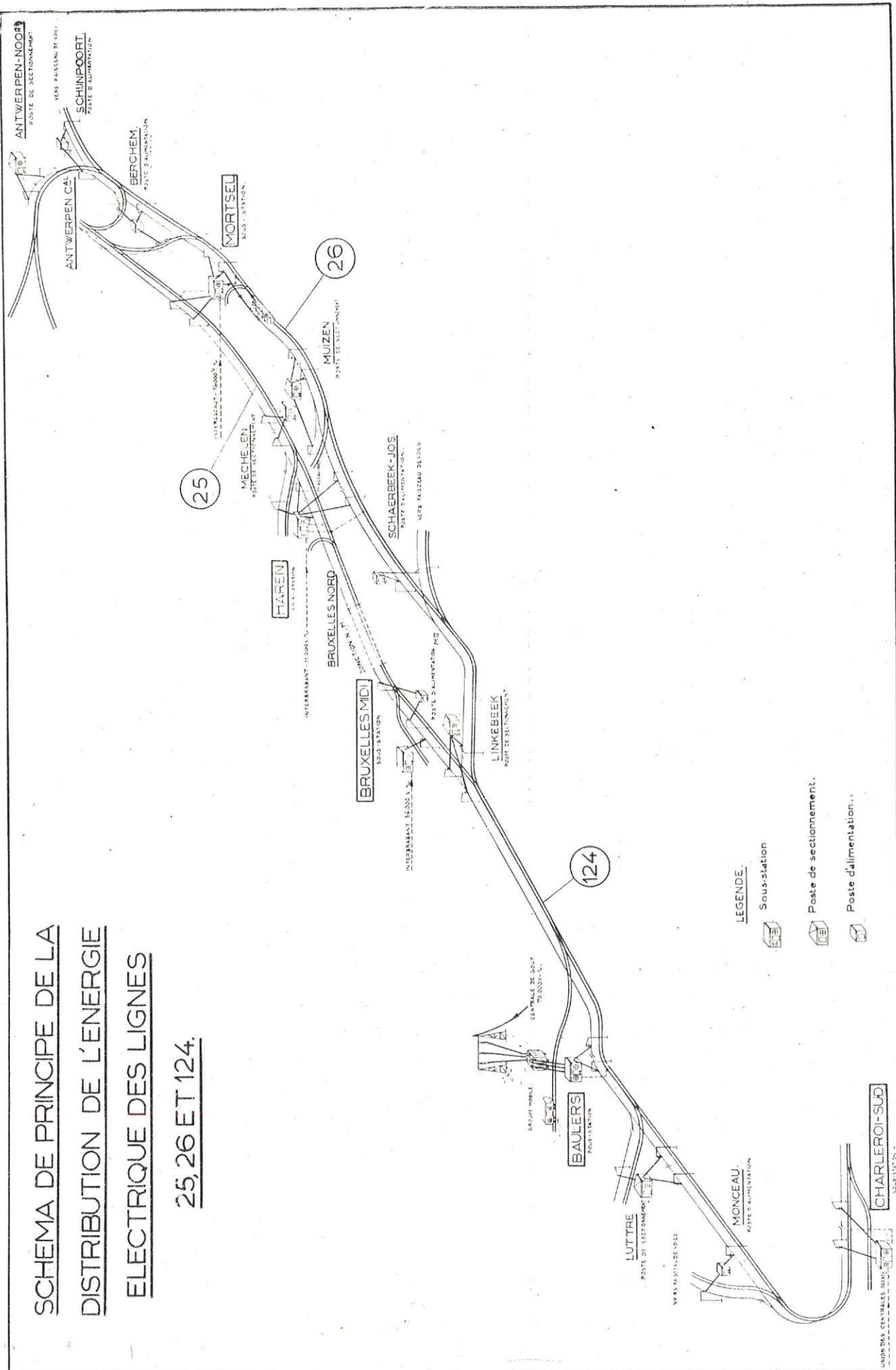


Fig. 8.

Or, les décollements sont précisément d'autant plus à craindre que la vitesse est plus grande. En effet, en supposant une pression verticale pratiquement constante exercée sur le pantographe, l'ordonnée de la trajectoire parabolique virtuelle de décollement est inversement proportionnelle au carré de la vitesse.

Il en résulte que pour une ligne de contact dont les points de suspension se trouvent sur une horizontale il faut limiter les flèches, et les balourds ou points durs en fonction de la vitesse, et d'autre part, il faut limiter de même les inclinaisons et les variations d'inclinaison du plan de contact.

Pour une ligne de contact de grande traction, parcourue à 140 ou 160 km/heure, la flèche maxima du conducteur et son inclinaison admissible devront donc être beaucoup plus petites et les points durs devront être évités avec beaucoup plus de soin que pour une ligne coloniale ou vicinale ou une ligne de tramways urbains.

Eviter les points durs signifie que la suspension doit être homogène.

Quant à la limitation de la flèche, elle ne s'impose que pour autant que la rigidité de la suspension est telle que les différences de niveau maxima des points de contact ne sont pas complètement neutralisées par le relèvement instantané dû à la pression verticale transmise par le pantographe.

En fait, afin d'une part, d'éviter les difficultés d'établissement et surtout de maintien permanent d'une suspension également souple en tous les points de contact, et le coût prohibitif d'une suspension rigide de grande longueur, d'autre part, c'est à la solution intermédiaire que l'on a recours en pratique.

Il importe en effet que les conditions de bonne captation réalisées lors du montage et du réglage à température normale et sans vent, restent suffisamment assurées aux températures extrêmes et dans les conditions atmosphériques les plus défavorables.

Il en résulte notamment que, par des dispositifs appropriés de réglage, on est amené à assurer au fil de contact une tension mécanique et donc aussi une flèche aussi indépendante que possible de ses contractions et allongements lors des variations de température.

Cette tension mécanique constante doit être assez importante afin de vaincre aisément les résistances passives qui s'opposent à son réglage.

D'autre part, il importe d'assurer une rigidité transversale de la suspension telle que le fil de contact soit maintenu dans les limites de la longueur utile du frotteur du pantographe, compte tenu du désaxement systématique ou accidentel de ces deux éléments, par rapport à l'axe de la voie.

Un tel désaxement provient par exemple soit de la superposition au tracé en courbe de la voie du tracé forcément polygonal de la ligne de contact, soit de la fixation dite « en zig zag » du fil de contact au-dessus d'une voie en alignement afin de répartir l'usure du frotteur du pantographe, soit encore de l'inclinaison de ce dernier par suite du dévers de la voie, soit enfin de ressorts brisés. Certaines de ces causes peuvent d'ailleurs agir simultanément.

Nous nous contenterons d'examiner ci-après comment les principes analysés ci-dessus ont déterminé les caractéristiques d'établissement des lignes de contact de pleine voie parcourues aux vitesses maxima.

Il va de soi qu'entre ce type de lignes de contact et celui des lignes de tramway urbain ou de celles d'un faisceau de garage d'une gare par exemple il existe une infinité de solutions intermédiaires qui se rapprochent d'autant plus de celle que nous allons décrire que la vitesse de parcours est plus grande et que la chute de tension admissible y est plus limitée.

Pour ce qui concerne cette dernière préoccupation, il va de soi qu'une fois la tension d'alimentation et l'écartement entre points d'alimentation fixés, elle se réduit à une question de section et de résistivité des conducteurs utilisés en fonction de la consommation en ligne.

B. Principes et avantages des suspensions caténaïres.

La suspension dite « caténaire » d'une ligne de contact comprend un câble porteur, tendu entre des supports qui sont échelonnés le long de la voie, auquel le fil de contact est suspendu au moyen de pendules de longueurs appropriées.

La hauteur du point de suspension du câble porteur au-dessus de celui du fil de contact s'appelle « l'encombrement » de la suspension caténaire.

Lorsque la tension mécanique du fil de contact est réglée, ce qui se fait automatiquement tous les 1200 m environ au moyen d'appareils à contrepoids ou à ressorts compensés, nous assistons, lors des variations de température, à un cheminement de ce fil par rapport au câble porteur. En nos régions ce cheminement peut atteindre, pour un tronçon de 1200 m une amplitude totale, entre températures extrêmes de quelque 60 cm aux abords des appareils de réglages, qui sont prévus à chaque extrémité.

Les extrémités inférieures des pendules, agrafées sur le fil de contact, suivent évidemment ce déplacement.

Or, les extrémités supérieures de ces mêmes pendules ne peuvent pas coulisser d'autant sur le câble porteur, du moins à proximité des supports.

En effet, afin de limiter la section et la tension de poste de ce dernier à une valeur admissible on est amené à lui donner une flèche appréciable.

Il en résulte que près des supports il prend une inclinaison telle que les pendules coulissent difficilement en montée, et en tous cas provoqueraient un dérèglement inadmissible du niveau de contact.

Deux solutions s'avèrent dès lors possibles :

1° *la suspension caténaire simple à grand encombrement et avec pendules oscillants* : disons tout de suite que pour des vitesses de 140 à 160 km/h elle exigerait un encombrement absolument prohibitif, s'il faut allonger les pendules de telle façon que pour un cheminement maximum, les différences de relèvement des extrémités inférieures de deux pendules voisins soient suffisamment réduites.

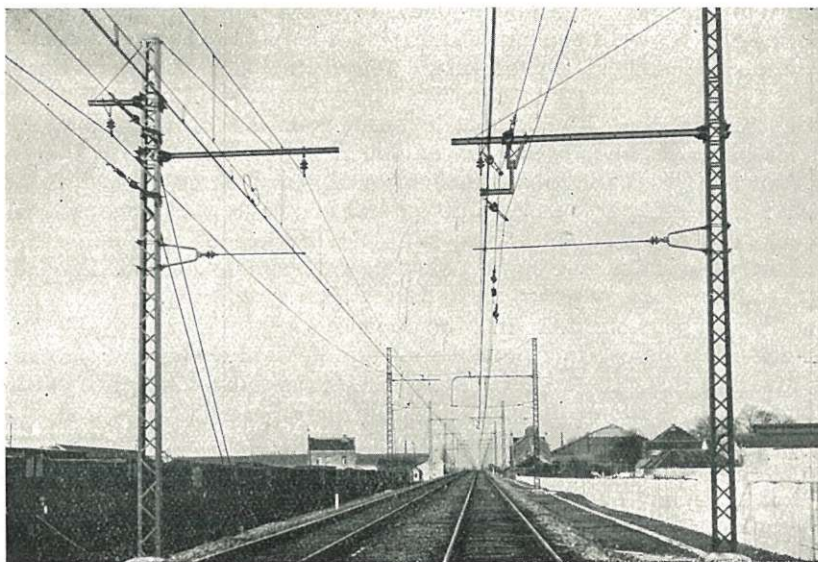


Fig. 9. — Suspension caténaire compound.

chacun des deux fils ; est ainsi réduit au minimum, le léger inconvénient qu'offre le point dur qu'ils constituent.

Notons ici toutefois, à titre d'information, que certains réseaux de grande traction n'utilisent pas la caténaire compound mais des systèmes de conception plus hétérogène qui se situent en fait entre les deux solutions extrêmes signalées ci-dessus. Nous nous bornerons à signaler à ce propos la caténaire à grand encombrement dite « caténaire en Y » utilisée en Hollande et la caténaire italienne qui remplace le fil auxiliaire de la caténaire compound par des étriers de coulissage fixés au câble porteur, et ce seulement pour autant que l'inclinaison de celui-ci à cet endroit ainsi que l'amplitude du cheminement du pendule correspondant le justifient.

C. La suspension caténaire compound de 360 mm².

Le système de suspension caténaire compound dite « de 360 mm² », appliqué en Belgique, comporte une utilisation rationnelle de la section de conducteur nécessaire au transport en ligne de la puissance requise par un réseau dense, à fort trafic et alimenté sous 3.000 volts.

Sa section totale qui correspond à un équivalent de 360 mm² de cuivre électrolytique, est constituée en réalité d'un câble porteur en bronze de 94 mm² de section, ayant à supporter un effort mécanique pouvant atteindre au maximum 1840 kgs, d'un fil auxiliaire rond de 104 mm² en cuivre au cadmium, soumis à une tension maximum de 1387 kgs et de deux fils de contact rainurés, chacun de 100 mm² de section, en cuivre électrolytique, et dont la tension mécanique est maintenue à 1.000 kgs par fil.

La ligne de contact ainsi constituée est suspendue par l'intermédiaire d'isolateurs à des consoles montées sur pylônes ou à des traverses de portiques. L'encombrement mesure 1,65 m.

Alors que pour la suspension dite « tramway » c'est le fil de contact qui est directement suspendu, pour la caténaire compound ou simple c'est évidemment le câble porteur ainsi qu'il est figuré sur la photographie de la fig. 9 prise sur la ligne Bruxelles-Anvers.

Afin de fixer la suspension caténaire dans le sens transversal, il est prévu au droit de chaque support, un dispositif d'attache latérale dénommé « antibalancant ».

En alignement et dans les courbes de rayon supérieur à 10.000 m, où il ne s'agit que d'empêcher le déplacement latéral par l'effet du vent sur la ligne et de réaliser le tracé en zig-zag des fils de contact un simple bras de rappel isolé fixé au câble auxiliaire suffit.

La photographie de la fig. 9 en montre divers cas d'application.

Dans les courbes de rayon inférieur à 10.000 m la composante radiale de la tension dans les fils de contact tend à relever ces derniers de manière exagérée et l'on est obligé de reprendre cet effort au moyen de légères biellettes, articulées aux deux extrémités, qui sont fixées d'un côté sur le bras de rappel isolé dont question ci-dessus et de l'autre sur le fil de contact.

Sur la photographie de la fig. 10 on distingue deux cas d'application de ces biellettes, lesquelles doivent toujours être montées de manière à n'être sollicitées qu'en traction seulement.

D. Equipements tendeurs et sectionnements à lame d'air.

La fig. 10 montre un type d'appareil tendeur à contre-poids destiné au réglage automatique de la tension mécanique des fils de contact.

Cet appareil comporte essentiellement un tambour et une poulie à gorge calés sur le même axe et dont les diamètres sont dans le rapport de 1 à 5.

L'extrémité des fils de contact est ancrée à un câble qui s'enroule sur le tambour, tandis que le câble du contrepoids est solidaire de la poulie. Un poids de fonte de 400 kgs réalise ainsi la tension désirée sur les deux fils de contact.

2° la suspension caténaire dite « compound » : ce mode de suspension comprend un fil auxiliaire, non réglé, qui est suspendu en position sensiblement horizontale au câble porteur au moyen de pendules à extrémités fixes et auquel deux fils de contact, réglés, sont suspendus à leur tour au moyen de petits pendules couliissants.

Ce système, présente un encombrement minimum et réalise une suspension d'une horizontalité et d'une homogénéité remarquables.

Tous les petits pendules couliissants sont légers et identiques, et de plus alternés pour réaliser la suspension indépendante de

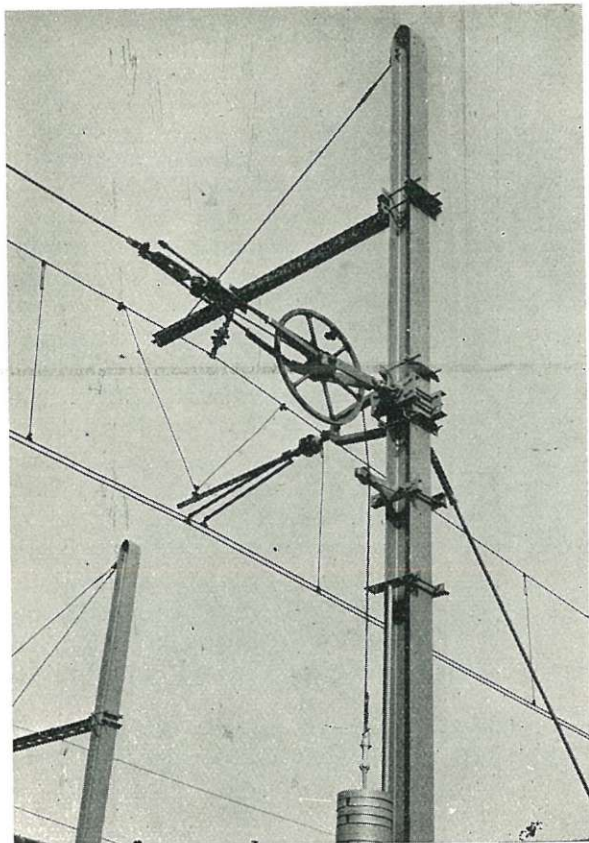


Fig. 10. — Appareil tendeur.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment les longueurs de fil de contact ainsi réglées sont de 1.200 m. environ et comportent un appareil tendeur à chaque extrémité

Notons encore que deux zones de réglage successives chevauchent sur une longueur de plusieurs portées, réalisant ce que l'on appelle un « équipement tendeur » qui comporte ainsi une zone commune où le pantographe peut à pleine vitesse et sans heurt passer d'un tronçon de fils de contact sur l'autre. De part et d'autre de cette zone commune l'une et l'autre des extrémités de fils de contact est relevée puis déviée, au besoin avec croisement à travers le plan de la caténaire, pour venir s'ancrer sur l'appareil tendeur correspondant.

Ce même principe de zone commune est appliqué également à la réalisation des sectionnements mécaniques et électriques dits « à lame d'air » qui limitent les sections de lignes pouvant être mises hors tension pour réparations, travaux ou entretien.

La suspension figurée à droite de la photographie de la fig. 9 relative à la ligne Bruxelles-Anvers, donne une idée assez nette de la réalisation d'un tel sectionnement sur quatre portées, le support muni d'une console à bec en constituant le point central.

Ici de part et d'autre de la zone commune c'est l'entièreté de l'une et l'autre des extrémités de suspension caténaires qui sont relevées puis déviées pour aller s'ancrer sur les poteaux d'extrémité, haubanés en conséquence tout comme le poteau d'ancrage représenté à gauche sur la même photographie de la fig. 9.

E. Les supports et leurs fondations.

Les poteaux en béton ayant été écartés par suite surtout de leur manque de résistance à la torsion en cas de rupture accidentelle de ligne et les poteaux en treillis métallique étant actuellement plus coûteux, c'est uniquement au moyen de poteaux Grey que nos supports pour lignes de contact de pleine voie sont réalisés pour le moment.

L'emploi de poteaux tubulaires en acier ou en béton précontraint, qui offrent beaucoup moins de prise de vent, n'est toutefois pas exclu pour l'avenir, pour autant que leur prix puisse se comparer avantageusement aux prix des autres poteaux.

Les poteaux Grey sont parachevés en ogive au sommet et ont une fiche de 1,20 m scellée dans un massif de fondation en béton.

Pour des motifs qui trouvent leur justification initiale dans les modalités d'exécution qui seront décrites plus loin, ces massifs ne sont le plus souvent pas armés et comportent un volume de béton relativement important.

F. Sujétions de sécurité, d'exploitation et d'entretien.

Outre les préoccupations dominantes visant à assurer une bonne captation et un transport économique du courant, il nous semble utile de dire un mot également de certaines autres sujétions, moins importantes sans doute, mais qui n'en ont pas moins une influence non négligeable sur les modalités d'établissement des lignes de contact de grande traction.

Il convient tout d'abord de ne pas perdre de vue que ces installations sont soumises à une tension continue de quelque 3.000 volts, sans parler encore des surtensions instantanées d'origine atmosphérique. Il en résulte évidemment des préoccupations toutes spéciales visant à assurer au mieux la sécurité tant du personnel d'entretien et d'exploitation que des voyageurs et de tous ceux qui peuvent être amenés à approcher dangereusement des installations.

Signalons à ce sujet les soins apportés à la réalisation d'un isolement largement conditionné de toutes les parties sous tension, d'une mise à la terre ou au rail de toutes les autres parties métalliques susceptibles d'être mises accidentellement sous tension, et d'un circuit de retour par les rails présentant un minimum de résistance ohmique afin de favoriser les déclenchements de protection éventuels.

Notons également le placement de portiques gabarits devant les passages à niveau, de tôles ou de grillages de protection aux balustrades des passages supérieurs, ainsi que d'avis affichés à l'intention des voyageurs, les consignes et manœuvres de sécurité imposées au personnel, etc...

D'autre part, étant donné que les lignes électrifiées sont normalement des lignes à grand rendement et donc à fort trafic, l'on conçoit que toute entrave dans l'exploitation d'une ligne peut avoir des conséquences économiques importantes qu'il faut s'efforcer d'éviter.

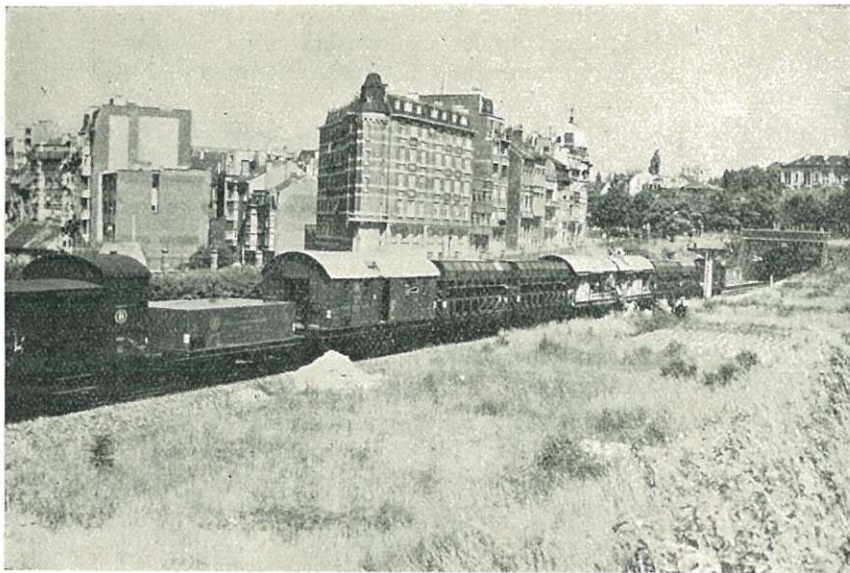


Fig. 11. — Train de bétonnage.

ne se fasse pas aux dépens du coût direct et indirect des sujétions d'entretien qui peuvent en découler.

Il va de soi que dans ce domaine le choix judicieux des matières premières et les précautions à prendre contre les usures anormales et les destructions accélérées de certains éléments revêtent une importance capitale et souvent décisive.

G. Construction des lignes de contact.

La construction des lignes de contact comprend trois phases principales qui sont, dans l'ordre : l'établissement des massifs de fondation, le levage des supports et le montage des fils et câbles.

Les travaux de fouilles proprement dits sont souvent précédés du renforcement des voies et de l'enlèvement du ballast.

Ensuite, on pose un cadre en bois qui délimite l'implantation et les dimensions du massif.

Les fouilles sont exécutées à la main avec, en cas de nécessité, l'appoint d'outillage mécanique. Le boitage des parois latérales n'est effectué que lorsqu'il y a danger d'éboulement des terres.

Quand la fouille est terminée on fixe un « carotte » métallique sur le cadre. Cette carotte permet de réaliser l'alvéole nécessaire à la plantation du poteau dans le massif.

Les installations ferroviaires, même en pleine voie, ne se prêtent guère à l'installation de nombreux petits chantiers de bétonnage, c'est pourquoi l'on utilise des trains de bétonnage à grande production qui remplissent les fouilles en un minimum de temps.

Le train de bétonnage (fig. 11) employé pour couler les massifs des lignes Bruxelles-Charleroi et Linkebeek-Anvers-N. se compose de :

- 4 wagons trémies d'une capacité unitaire de 37 m³ ;
- 2 wagons bétonnières ;
- 1 wagon citerne d'une capacité de 27 m³ ;
- 1 wagon électrogène avec un groupe Diesel alternateur de 125 CV produisant l'énergie électrique nécessaire aux moteurs du train ;
- 1 ou plusieurs wagons plats pour le transport de matériel et d'outillage.

Le sable et le gravier préalablement mélangés sont amenés des wagons trémies aux bétonnières par courroies transporteurs.

Les sacs de ciment sont déversés au fur et à mesure des besoins dans une trémie.

Une pomperie installée sur le wagon électrogène permet de refouler l'eau du wagon citerne

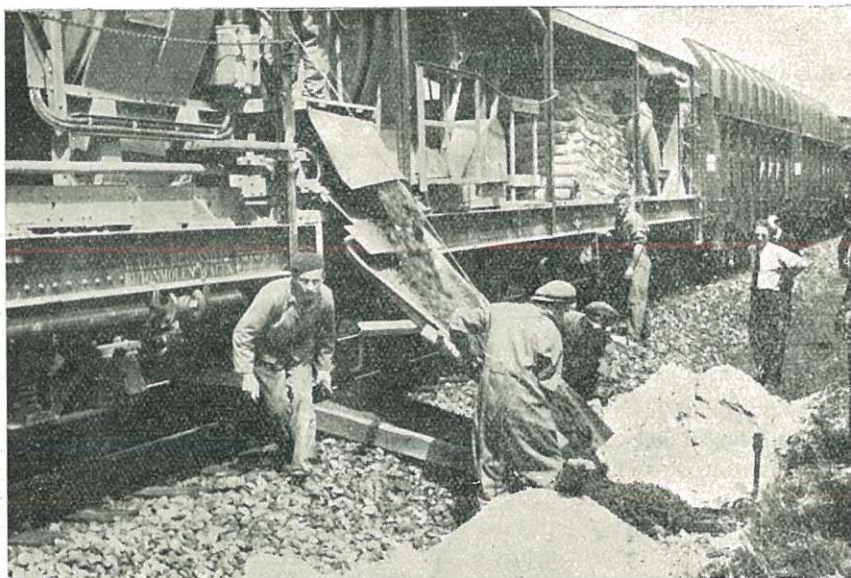


Fig. 12. — Coulage du béton dans la fouille.



Fig. 13. — Train-dérouleur.

Le poteau doit être scellé le plus tôt possible après le plombage pour éviter les déplacements accidentels qui pourraient survenir entretemps.

Le scellement est effectué avec le train de bétonnage.

Avant la prise du béton, une dernière visite a lieu pour déceler et corriger les dérèglages éventuels des poteaux sous l'effet des coups de vent ou des trépidations dues au passage des trains.

Les consoles et leurs accessoires sont distribués par train de route devant chaque poteau.

Ensuite, une équipe d'ouvriers procède au levage des consoles préalablement « habillées » à l'aide d'un palan. La fixation au poteau de la console et de son hauban est effectuée avec les outils ordinaires.

Les consoles pour double voie et les traverses de portiques en raison de leur poids et de leur encombrement, sont levées à la grue.

Le train utilisé pour le déroulement des conducteurs comporte un wagon dérouleur et un wagon plate-forme (fig. 13 et 14).

Le wagon dérouleur transporte six à dix tourets de fils et câbles calés sur des axes pouvant tourner sur un châssis.

Le wagon plate-forme, comme son nom l'indique, est pourvu d'une plate-forme télescopique manœuvrée par un treuil à main.

Avant de commencer le déroulement la queue d'ancrage du câble porteur est fixée à un poteau d'ancrage de sectionnement.

Au fur et à mesure que le train avance, le câble se déroule et les hommes debout sur la plate-forme le suspendent sous chaque console au moyen de petites poulies folles.

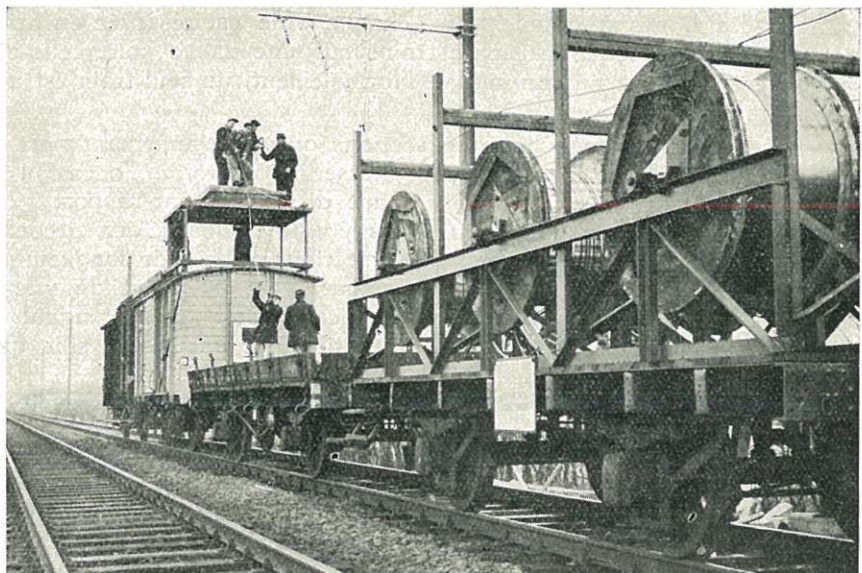


Fig. 14. — Wagon-dérouleur.

Le déroulement est arrêté au poteau d'ancrage de l'équipement tendeur (ancrage provisoire) ou du sectionnement suivant (ancrage définitif).

Le porteur auxiliaire est tiré de la même façon que le porteur principal. Il est suspendu à ce dernier par des crochets qui ont la même longueur que les pendules définitifs.

Les deux fils de contact sont déroulés simultanément en prenant grand soin d'éviter de les blesser ou de les tordre. Ils sont suspendus au porteur auxiliaire par des crochets doubles.

Tous ces fils et câbles ont été tendus provisoirement.

Maintenant, il s'agit de donner au porteur principal sa tension de pose définitive.

Celle-ci doit être déterminée en tenant compte de la température et du vent au moment de la pose. L'effort de traction est exercé par la locomotive et contrôlé par un dynamomètre.

On fixe alors le câble dans les pinces des isolateurs et on vérifie sa flèche dans chaque portée.

Le porteur auxiliaire est tendu, à son tour, de la même manière que le porteur principal et les crochets de suspension sont remplacés par les pendules qui peuvent être préfabriqués ou coupés sur place à leur longueur définitive.

Les fils de contact ayant été soumis à la tension de leurs appareils tendeurs, les crochets doubles sont également remplacés par les petits pendules coulissants.

Enfin, on place les antibalançants.

Signalons que le montage des isolateurs, pendules, anti-balançants, etc., s'effectue en utilisant des échelles doubles sur lorries.

L'équipement des appareillages spéciaux, des grands portiques de gare tels que ceux de la gare de Bruxelles-Midi (fig. 20 à la fin de cet article) et des ouvrages d'art exige des opérations beaucoup plus complexes et délicates sur lesquelles nous ne pouvons nous étendre dans le cadre du présent article.

La phase du montage est normalement suivie de celle du réglage qui concerne notamment les tensions, les flèches, les pendules, les ancrages, les désaxements, etc.

En outre, avant de mettre la ligne en service, il faut encore procéder à la vérification de sa tenue mécanique jusqu'à la vitesse maximum, à des mesures d'isolement et de rigidité diélectrique et à des essais de captation de courant aux différentes vitesses.

Généralement, la mise au point finale de la ligne de contact, c'est-à-dire la correction de toutes les petites déficiences, s'échelonne encore sur plusieurs mois après la mise en service.

III. — SIGNALISATION

A. Généralités.

L'électrification d'une voie ferrée affecte profondément la signalisation de celle-ci.

Il est en effet évident qu'en introduisant des conditions techniques nouvelles, on impose des mesures d'adaptation. Ces récentes conditions techniques consistent dans la présence du courant de traction dont le retour s'effectue par les rails et dans l'introduction dans la superstructure de la voie d'un équipement de nature à réduire la visibilité des signaux, dont l'emplacement latéral est au surplus conditionné par la modification apportée au gabarit de section libre pour assurer le passage du pantographe.

Mais il y a une seconde raison aussi importante que la première, quoique moins directe. Le bénéfice que l'on attend de l'électrification provient dans une large mesure des performances supérieures du matériel électrique tant au point de vue vitesse qu'au point de vue accélération. Pour mettre à fruit ces possibilités nouvelles, il faut revoir les emplacements des signaux — le sectionnement — en fonction des nouveaux horaires et déplacer, sinon tous les signaux, du moins bon nombre d'entre eux. Il n'est pas exagéré de dire que la signalisation d'une ligne est pratiquement renouvelée au moment de son électrification.

B. Sectionnement.

Sur les lignes à double voie, chaque voie est réservée en principe à un seul sens de circulation. Pour pouvoir admettre plusieurs trains sur une même voie, celle-ci est partagée en **sections**; chaque section est couverte par un signal. Normalement, un seul train est admis dans une section et celle-ci est alors dite « occupée ».

Le découpage d'une ligne en sections ou « **sectionnement** » est déterminé en fonction de la cadence de succession des trains et de leur vitesse. Dès lors, à l'occasion de l'électrification d'une ligne, la succession et la vitesse des trains étant différentes par rapport à celles en vigueur en traction vapeur, le sectionnement de la ligne doit être réétudié et adapté aux circonstances nouvelles.

De la détermination du nombre de sections et de leur longueur découle l'emplacement des signaux qui doivent les couvrir. Cet emplacement idéal au point de vue de l'exploitation de la ligne doit ensuite être adapté aux circonstances locales, soit que le signal doive assurer en même temps la protection d'un point dangereux (bifurcation par exemple), soit qu'il faille choisir un emplacement voisin pour améliorer la visibilité.

C. Type de signalisation.

Nous renvoyons le lecteur à l'article publié par la Revue « Trains » du mois d'octobre 1947 pour la description détaillée du signal employé sur les lignes électrifiées de la S.N.C.B. On y trouvera également les multiples avantages de cette nouvelle signalisation lumineuse.

Ajoutons y quelques détails de réalisation pratique qui ont fait l'objet de recherches minutieuses et précises.

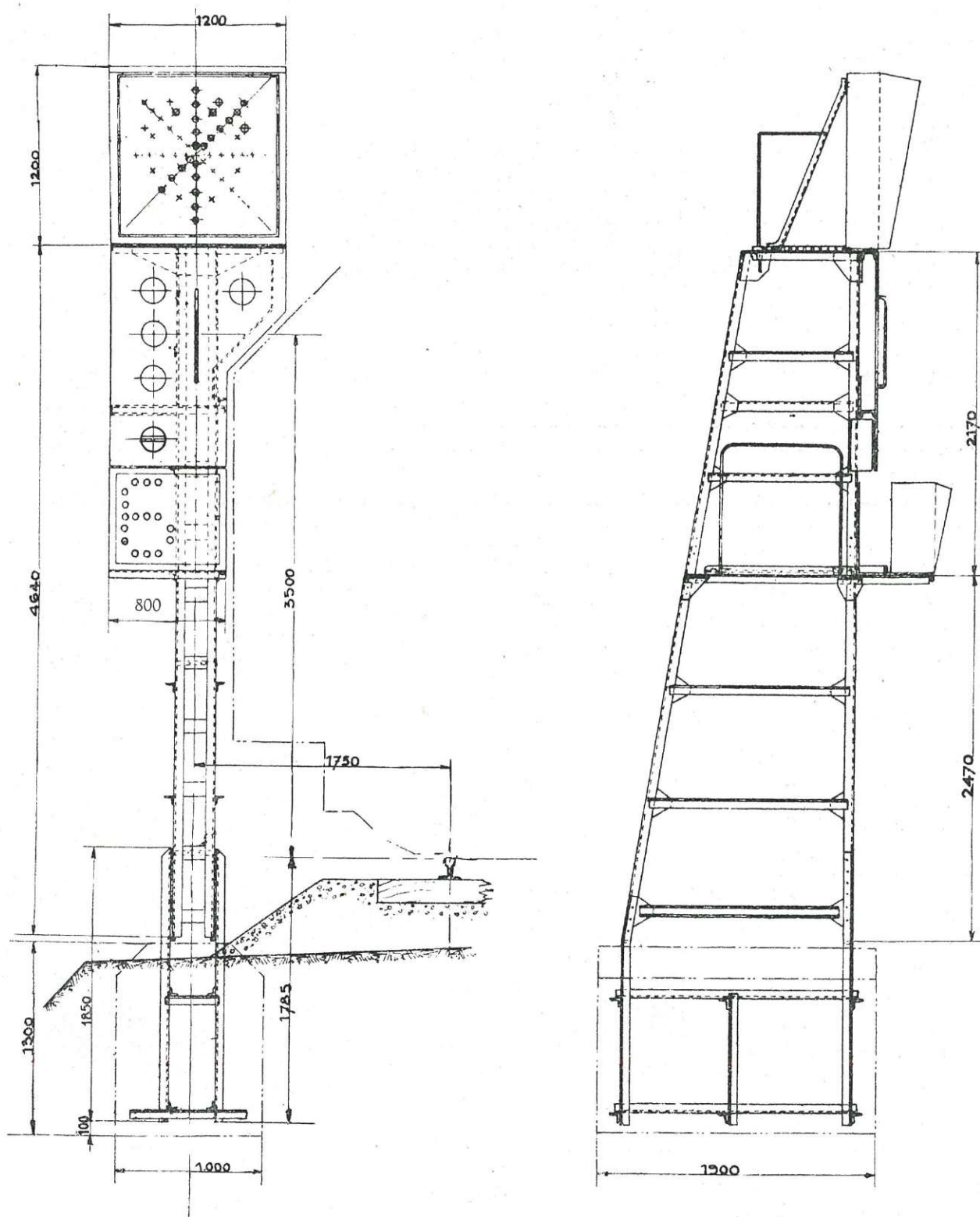


Fig. 15. — Signal lumineux.

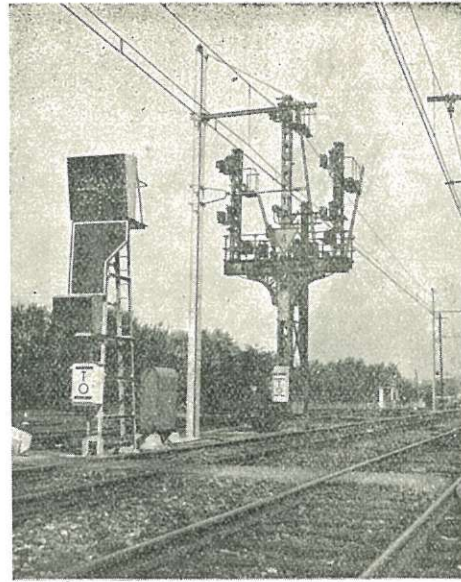
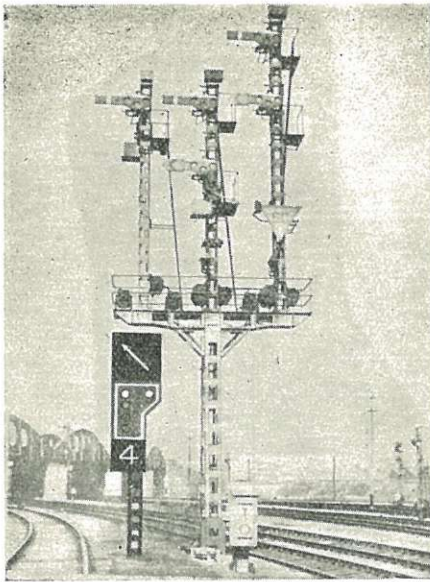


Fig. 16 et Fig. 16bis. — Comparaison.

tenu, assez étroit, est favorable à la visibilité à distance et évite les confusions de signaux dans le cas de voies parallèles et de même sens.

Pour les voies en courbe de faible rayon, de même que pour l'équipement des signaux de tête de faisceau, qui doivent être visibles sous de grands angles, des optiques à plus grande divergence (jusque 20 degrés) ont été prévues.

Dans la pratique, il est admis qu'un observateur se trouvant en dehors de l'angle de divergence d'un faisceau lumineux, ne verra plus assez distinctement le feu dont il est issu. Il est donc indispensable pour la sécurité de l'exploitation, que l'œil du conducteur ne s'écarte pas sensiblement de l'axe optique des unités lumineuse dans la zone où le signal doit être observé.

C'est ainsi que, dans les types normaux, le feu le plus impératif (feu d'arrêt rouge) est placé à 3,5 mètres au-dessus du rail, hauteur moyenne de l'œil du mécanicien. Les autres feux principaux sont groupés autour de lui, avec un écartement suffisant pour éviter que deux feux brûlant simultanément viennent se confondre à distance en un seul, la distance entre les centres de tels feux a été fixée à 0,60 mètre.

Quant aux feux secondaires de direction et de vitesse, leur éclat est plus faible pour ne pas gêner la visibilité des feux principaux ; en outre, en leur position excentrée, ils sont équipés d'optique à divergence de 14 degrés.

L'ensemble du signal lumineux ainsi constitué est réalisé en construction soudée dont la figure 15 représente un modèle.

Pour pouvoir juger de la grandeur effective de ce signal par rapport à un chandelier actuel de la signalisation sémaphorique, il suffit de jeter un coup d'œil sur les photographies des fig. 16 et 16bis.

Il n'est pas toujours possible de planter les supports des signaux à gauche de la voie. Le cas se présente surtout dans les grandes gares, où plusieurs voies cheminent parallèlement l'une à l'autre, avec une entrevoie minimum qui ne laisse pas de place pour l'implantation des signaux nécessaires.

Quand un signal ne peut être dressé, à gauche de la voie à laquelle il s'adresse, on peut au moins y ramener le panneau des feux au moyen d'une potence plantée à droite, dont le bras enjambe la voie intéressée par dessus la suspension de la ligne de contact.

Dans certains cas exceptionnels, on est même obligé de suspendre les signaux à une passerelle

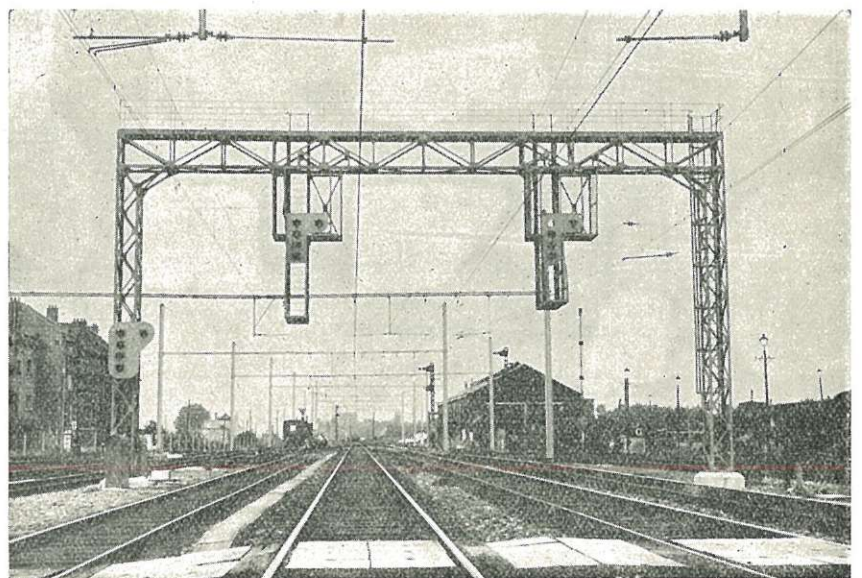


Fig. 17. — Passerelle à signaux.

Chaque feu principal est constitué par une « unité lumineuse » donnant un faisceau lumineux de couleur déterminée ; chacune est fixée en trois points sur le panneau central jouant donc à la fois le rôle de support et d'écran de fond.

Les caractéristiques optiques fondamentales d'une telle unité sont l'intensité lumineuse du faisceau émis, comptée suivant l'axe optique de celui-ci et sa divergence ou angle d'ouverture. Dans les voies en alignement droit, le choix s'est porté sur les valeurs de 4 degrés pour la divergence et de 6.000 bougies pour l'intensité en lumière blanche : le faisceau ainsi ob-

enjambant plusieurs voies. La figure 17 montre la disposition d'une passerelle intéressant quatre voies électrifiées à Baulers.

On se rend compte de l'importance prise par cette construction à cause du gabarit de traction électrique. La passerelle doit passer au-dessus de la caténaire. Les signaux doivent être suspendus le plus bas possible entre les gabarits de manière à améliorer leur visibilité à faible distance, les trains devant s'arrêter au pied du signal.

La figure 17 montre bien la hauteur d'un signal suspendu à la passerelle entre deux gabarits, comparée à celle d'un signal ordinaire.

Des précautions spéciales doivent être prises pour empêcher le personnel affecté à l'entretien des unités lumineuses, au nettoyage des lentilles et au remplacement des lampes, d'empiéter dans le gabarit, soit lui-même, soit avec ses outils, de même qu'il faut le protéger contre un contact accidentel avec un élément porté au potentiel de 3.000 volts.

Pour assurer cette protection d'une manière efficace, les signaux sont fixés dans des nacelles complètement entourées de grillages.

D. Block automatique et sécurités.

Le remaniement du sectionnement de block, nécessité par l'électrification se traduit généralement par un raccourcissement des sections. Il appelle un autre complément sur les lignes à trafic très dense. En effet, en exploitation normale, les trains circulent sous le régime du block qui implique que chaque section ne soit jamais occupée que par un seul train à la fois. Indépendamment des sécurités qui peuvent être matérialisées, la réalisation de ce programme nécessite entre les postes de signalisation un système complexe de communications comportant en principe : la demande d'autorisation de pénétration en section (du poste amont au poste aval), l'octroi de l'autorisation (du poste aval au poste amont), l'annonce de pénétration en section (du poste amont au poste aval), l'annonce de sortie de section (du poste aval au poste amont). En cas de bloc enclenché, l'octroi de l'autorisation est matérialisé par une opération manuelle sur les appareils de block. Les annonces se font par téléphone et s'accompagnent d'inscriptions dans des carnets adéquats, inscriptions comportant les numéros des trains, heures de passages et numéros des communications. On se rend compte par ce programme que l'échange de ces communications prend un certain temps. On peut l'évaluer au minimum à 45 secondes (par train). Il en résulte que ce système de block ne peut plus être appliqué dans les cas de lignes à circulation très dense. Indépendamment de mesures qui ont été prises pour activer les communications, il a été décidé de recourir dans une mesure assez large au block automatique qui supprime ces communications.

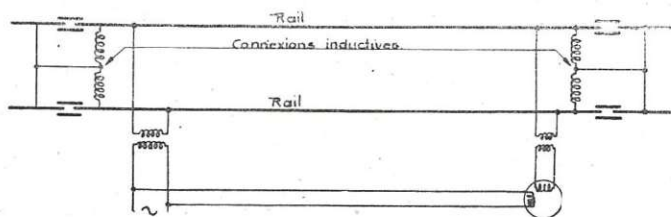
Dans le système du block automatique, la manœuvre des signaux ne dépend plus de l'intervention des agents. La fermeture et l'ouverture des signaux se font par le train lui-même de la manière suivante. En principe, les deux rails du tronçon de voie constituant la section de block sont isolés électriquement l'un par rapport à l'autre et par rapport aux rails des zones voisines. Un relais est connecté entre ces deux files de rails, qui sont d'autre part soumises à une différence de potentiel électrique. Quand la voie est libre, le courant circule de la source vers un des rails, le relais, l'autre rail et revient à la source. Au contraire, si la voie est occupée, le relais est mis en court-circuit par les essieux du train et n'est plus parcouru que par un courant infime. C'est ce relais, le relais de circuit de voie, qui intervient pour réaliser la commutation des feux : lorsqu'il est en position désexcitée, il allume le feu rouge, lorsqu'il est en position excitée, il éteint le feu rouge et allume les feux de passage.

Le système du block automatique élimine donc complètement les pertes de temps dues aux opérations de block. Il impose évidemment l'utilisation d'un matériel pratiquement impeccable.

L'établissement du block automatique nécessite la pose d'un câblage important comprenant entre autres un circuit d'alimentation le long de la ligne pour desservir tous les signaux et circuits de voie.

*
**

Dans le domaine des sécurités, l'électrification impose également une série de mesures particulières dont nous citerons les plus marquantes.



Circuit de voie en cas de traction électrique.

Fig. 18. — Circuit de voie.

1. Dans tous les circuits électriques à courant continu qui sortent des postes de signalisation et se rendent en campagne, par exemple les circuits de moteurs d'aiguilles, les retours de courant qui se faisaient précédemment par le manteau en plomb des câbles, doivent être isolés complètement pour éviter l'apparition dans le circuit de forces électromotrices parasites provenant du courant de traction. De plus, il est nécessaire, dans les circuits les plus importants de contrôler en permanence le bon

isolement des fils de câbles par rapport à la terre, de manière à éliminer tout risque de fonctionnement intempestif.

2. La sécurité de l'exploitation ferroviaire repose en partie sur l'établissement de zones de voies isolées, rails isolés et circuits de voie. Les premiers diffèrent des seconds par le simple fait que l'une seulement des files de rails est isolée par rapport aux rails des zones voisines. Jusqu'ici ces zones isolées étaient alimentées par une source à courant continu. L'électrification impose le remplacement de l'appareillage à courant continu par de l'appareillage à courant alternatif, insensible aux courants de traction ainsi qu'une alimentation adéquate. Se remplacement pose des problèmes de matériel et de réglage délicats.

3. Comme le retour des courants de traction se fait par les rails de roulement, des modifications doivent être apportées dans les réalisations des circuits de voie. La connexion des zones isolées avec les zones voisines doit se faire par l'intermédiaire de bobines de self-induction à faible résistance ohmique qui sont connectées entre les files de rails d'une même zone isolée et dont les points milieux sont réunis entre eux. On réalise ainsi un système qui présente les caractéristiques suivantes :

a) passage très aisé du courant continu ;

b) blocage du courant alternatif aussi bien entre les deux files de rails d'une même zone isolée que par rapport aux rails des zones voisines. La figure 18 donne le schéma d'un circuit de voie à connexions inductives.

Indépendamment des modifications à apporter aux circuits de sécurité, l'électrification impose également des mesures particulières pour éviter la corrosion des câbles par les courants vagabonds et la mise sous haute tension des circuits ou des appareils. On arrive à ce résultat :

1. par l'établissement de prises de terre qui évitent les mises sous tension d'appareils métalliques et qui canalisent les courants vagabonds ;

2. par le reliaement de la nappe de câbles au négatif de la sous-station de traction.

E. Alimentation des signaux lumineux et des appareils de sécurité.

Le principe de la signalisation lumineuse étant admis, il y a lieu de réaliser une alimentation sûre en énergie électrique. Sur celle-ci vient se greffer l'alimentation de l'appareillage des sécurités, tels que : circuits de voie et rails isolés dont il vient d'être parlé.

Deux cas sont à considérer pour l'alimentation des signaux et des appareils de sécurité, suivant qu'il s'agit du block automatique ou du block manuel (signaux commandés par un poste de block ou cabine de signalisation).

1° Cas du block manuel.

Les signaux étant manœuvrés d'un poste de signalisation et les appareils de sécurité étant directement en relation avec ce poste, l'alimentation des signaux et de ces appareils se fait à partir du poste de block. Cette alimentation est effectuée sous forme de courant alternatif à 110 volts pour les signaux et les circuits de voie et à 24 volts pour les pédales. Pour cette dernière tension un transformateur approprié abaisse la tension de 110 V à 24 V.

L'énergie électrique nécessaire est fournie par les réseaux de distribution existants.

Cependant les installations de signalisation ne peuvent être à la merci de coupures de courant provoquées par le réseau distributeur. A cet effet quand il est possible de réaliser économiquement deux alimentations, une normale et une de secours, branchées sur deux réseaux de distribution distincts, cette solution est adoptée. Sinon, la cabine de signalisation disposera d'une alimentation normale branchée sur le réseau et d'une alimentation de secours avec un alternateur local qui tourne normalement à vide et qui prend automatiquement à charge l'alimentation de l'installation en cas de rupture du courant du réseau.

Les postes de block sont souvent fort éloignés des points de fourniture de courant par les réseaux locaux : il est alors fait usage d'un câble d'alimentation qui va de poste à poste et y amène l'énergie à une tension relativement élevée (600 V ou plus) de façon à réduire les pertes de tension en ligne. La tension amenée au poste de block y est alors abaissée à la tension de 110 V à l'aide de transformateurs.

2° Cas du block automatique.

Dans le cas du block automatique, les signaux ne sont plus commandés par un poste de signalisation mais par le train lui-même grâce aux circuits de voie.

L'alimentation des signaux et des circuits de voie ne doit plus nécessairement passer par un poste de block ; l'énergie électrique peut être directement fournie au pied du signal, tant pour le signal que pour le circuit de voie dont l'alimentation est généralement située très près du signal.

L'emploi d'un câble d'alimentation à moyenne tension permet ici également de diminuer sensiblement les pertes de tension en ligne. Cet élément est d'importance, car lors de l'occupation de plusieurs sections successives, le courant débité dans les circuits de voie à ce moment passe par les essieux des trains occupant la voie, donc à travers une résistance réduite, et la consommation est plus élevée. Si l'alimentation s'effectuait à partir d'un poste central sous une tension de 110 volts pour 5 ou 6 sections successives sur chacune des voies, les pertes de tension pourraient atteindre 30 à 40 % et compromettre le bon fonctionnement des appareils de sécurité. La sécurité proprement dite n'en serait pas compromise mais ces perturbations pourraient influencer la succession des trains et provoquer des retards qui se répercuteraient d'un train à l'autre.

La moyenne tension de 600 volts peut être abaissée à 110 volts par des transformateurs appropriés installés près du signal ; grâce aux prises multiples prévues sur ces transformateurs, les pertes de tension en ligne peuvent éventuellement être compensées.

IV. — TELECOMMUNICATIONS

A. Mise sous câbles des lignes aériennes.

L'électrification de nos voies ferrées entraîne avec elle également des travaux très importants dans le domaine des télécommunications. Les lignes téléphoniques aériennes doivent en effet disparaître. Elles doivent être remplacées par des câbles, ce qui amène des modifications sérieuses dans tout l'appareillage de téléphonie, de télégraphie et spécialement dans celui employé pour le train-dispatching.

Les bonnes vieilles lignes téléphoniques doivent disparaître ? En effet, elles sont exposées, du fait de l'induction de la ligne caténaire toute proche, à recevoir des tensions dangereuses non seulement pour les appareils qui y sont reliés, mais aussi pour le personnel appelé à utiliser ces appareils. Il y a ensuite les bruits électriques induits par la caténaire. Ces bruits proviennent généralement des phénomènes de commutation se produisant à la fois dans les moteurs de traction et dans les redresseurs à vapeur de mercure placés dans les sous-stations d'alimentation. Parfois ils peuvent être la conséquence d'un défaut accidentel à un isolateur de la caténaire. Ces bruits sont tels que toute conversation deviendrait impossible sur lignes aériennes : les communications de sécurité entre cabines de signalisation seraient compromises ; le train-dispatching dont l'importance au point de vue de l'exploitation n'est plus à démontrer, deviendrait impraticable.

La disparition des lignes aériennes résulte encore de raisons d'ordre pratique : l'étroitesse de la plate-forme de la voie est telle que les lignes téléphoniques sont établies le plus souvent aux endroits même où les supports de la caténaire doivent être plantés. Même aux endroits où tels n'est pas rigoureusement le cas, si la nappe de fils téléphoniques était maintenue dans le voisinage immédiat de la caténaire, la moindre rupture de conducteur risquerait d'amener les circuits de télécommunications en contact avec un conducteur à 3.000 volts, ce qui provoquerait des perturbations très graves, voire des accidents.

B. Travaux incombant à la Régie des Télégraphes et Téléphones.

Les nappes de lignes téléphoniques aériennes doivent donc être démontées. Or elles comportent non seulement des circuits appartenant à la S.N.C.B., mais une proportion importante de lignes appartenant à la Régie des Télégraphes et des Téléphones.

Le déplacement des circuits appartenant à la Régie est celui qui, tout en demandant beaucoup de travail, pose le moins de complications. Ces circuits ne sont jamais des circuits importants, car ceux-là se trouvent déjà dans les câbles interurbains que la Régie a posés depuis vingt à vingt-cinq ans. Les circuits à déplacer sont donc des circuits d'importance locale. Ils peuvent pour une certaine part être détournés dans des câbles locaux existants, mais généralement la Régie doit compléter ce réseau de câbles locaux ou construire des lignes aériennes nouvelles en dehors du domaine du chemin de fer.

C. Problèmes relatifs aux circuits spéciaux du chemin de fer.

1° *Emploi de câbles pupinisés.*

Pour la S.N.C.B., qui de par la situation des points à desservir (gares, cabines de signalisation, sous-stations de traction électrique, etc.), ne peut pas s'écarter du tracé de la voie, l'envergure des travaux est considérable.

Le câble qui remplace les lignes aériennes doit en effet permettre des communications convenables d'un bout à l'autre de la ligne électrifiée, par exemple environ 60 km. dans le cas de Bruxelles-Charleroi.

Il ne peut pas être question de construire un câble ayant des conducteurs de cuivre ou de bronze de 2 ou de 3 mm. de diamètre, comme ceux qu'on emploie pour les lignes aériennes. Les conducteurs choisis pratiquement ont un diamètre de l'ordre de 1 mm., c'est-à-dire qu'ils présentent une résistance ohmique de 4 à 8 fois plus élevée et un affaiblissement proportionnel des courants téléphoniques.

Cet affaiblissement provient de l'effet Joule produit. De plus la capacité électrique par kilomètre de circuit est beaucoup plus forte dans les câbles que dans les lignes aériennes et provoque un nouvel accroissement de l'affaiblissement.

Pour combattre l'affaiblissement élevé des câbles, il faut employer le remède indiqué par Michael Pupin, professeur à l'Université Columbia de New-York à la fin du siècle dernier, remède d'ailleurs appliqué dans les réseaux téléphoniques publics depuis la pose des grands câbles interurbains : la charge ou la « pupinisation » des circuits.

Ce procédé consiste à intercaler des bobines de self-induction dans chaque circuit, à des distances absolument régulières (de l'ordre de 1.300 mètres actuellement). Aux fréquences du courant téléphonique qui sont nettement inférieures à une fréquence critique, dite « fréquence de coupure », à partir de laquelle la transmission devient impossible, l'effet de ces différentes bobines est identique à celui d'une augmentation homogène de la self-induction du circuit. La self-induction produit son effet habituel, elle augmente l'impédance du câble et diminue l'intensité du courant qui peut circuler sous une tension donnée. L'effet Joule est fortement réduit et l'affaiblissement produit par le câble est diminué corrélativement.

L'amélioration que l'on peut ainsi obtenir est néanmoins limitée, car en augmentant la valeur des bobines de self-induction qu'on intercale, on diminue en même temps la valeur de la fréquence de coupure. En fait le choix de la self-induction est fonction surtout de la qualité de transmission qu'on

désire obtenir et résulte d'un compromis établi en tenant compte également de considérations économiques.

2. Emploi de répéteurs.

La réduction de l'affaiblissement obtenue par la pupinisation n'est pas suffisante pour obtenir des conversations téléphoniques convenables dans tous les cas ; lorsque l'affaiblissement reste trop élevé, on est conduit à employer des répéteurs téléphoniques. Ceux-ci sont actuellement tous constitués au moyen de tubes électroniques montés en amplificateurs.

Des répéteurs ont été étudiés non seulement pour les circuits téléphoniques à grande distance mais aussi pour les circuits de dispatching.

3. Equilibrage des câbles.

Mentionnons maintenant une autre difficulté qui provient du serrage des divers circuits dans la section très réduite du câble : ces circuits sont soumis à l'induction du circuit formé par la caténaire et les rails véhiculant le courant de retour de traction. Pour combattre les effets de l'induction, il faut procéder à une réduction très poussée des déséquilibres des capacités mutuelles entre circuits et des déséquilibres des circuits vis-à-vis de la gaine de plomb, déséquilibres que la fabrication la plus soignée ne parvient pas à annuler. La réduction des déséquilibres est réalisée lors du jointage par des procédés spéciaux dans le détail duquel il ne sera pas entré ici. Disons cependant que pour la réduction des déséquilibres et la confection des épissures, il faut faire en chantier (sous tente, le long de la voie) de nombreuses mesures de laboratoire et que les travaux sont forcément très longs.

4. Cas des circuits avec dérivations multiples.

Les problèmes posés par la mise sous câbles sont relativement simples lorsqu'il s'agit de circuits reliant deux points déterminés et qui en tous cas ont reçu des solutions acceptables, mises au point par les administrations des téléphones.

Si sur un réseau de chemin de fer il se présente d'assez nombreux circuits de ce type, la S.N.C.B. considère cependant comme de première importance les circuits téléphoniques présentant de nombreuses dérivations : circuits de dispatching, circuits omnibus de gare à gare, circuits d'alarme, circuits de raccordement des sous-stations de traction électrique et des postes de sectionnement de la caténaire.

Sur chacun de ces circuits téléphoniques spéciaux, il faut brancher de nombreux postes ; tous sont reliés en dérivation sur la ligne principale. Il est clair qu'à chaque dérivation il y a un affaiblissement à cause de la division du courant : si le courant se partage en deux parties sensiblement égales à chaque dérivation, on conçoit que l'intensité décroît très rapidement sur la ligne principale. L'affaiblissement dû aux dérivations l'emporte aisément sur l'affaiblissement dû aux caractéristiques électriques du câble principal.

Si le nombre de postes est faible et si la ligne est relativement courte, l'affaiblissement global reste néanmoins dans des limites tolérables ; on emploie alors la dérivation pure et simple.

C'est la solution adoptée pour deux types de circuits entièrement nouveaux, créés à l'occasion de l'électrification : les circuits d'alarme et les circuits de raccordement des sous-stations de traction électrique et des postes de sectionnement de la caténaire.

5. Les circuits d'alarme.

Un circuit d'alarme est un circuit téléphonique placé le long de la voie et comportant des prises de courant, à des distances régulières (de l'ordre de 650 mètres) auxquelles le personnel roulant et le personnel d'entretien de la caténaire peut raccorder un poste téléphonique portatif pour entrer en communication, en cas d'incident, soit avec le dispatcher soit avec le personnel de desserte des sous-stations, plus exactement, avec l'agent régulateur ayant pour mission de coordonner les manœuvres dans les diverses sous-stations, c'est-à-dire le répartiteur de la charge des sous-stations.

En réalité, étant donné l'importance pratique de ce circuit, on l'a dédoublé et les prises de courant sont établies alternativement sur l'un et sur l'autre circuit ne comportant qu'une dérivation tous les 1300 mètres.

Un autre circuit de secours, avec prises établies tous les 1300 mètres environ, est réservé à l'usage du personnel d'entretien de la voie et permet à ce dernier de se mettre en rapport avec les gares voisines en vue d'obtenir notamment les autorisations nécessaires pour les coupures de voie et d'assurer la protection des chantiers importants.

6. Les circuits de régulation des sous-stations.

Le circuit de raccordement des sous-stations de traction et des postes de sectionnement met en communication téléphonique les différents services intéressés à des manœuvres de mise sous tension ou de coupure des divers tronçons de la caténaire.

Généralement les ordres sont donnés par un agent appelé répartiteur de la charge des sous-stations, chargé de la surveillance des sous-stations et postes de sectionnement dans une zone déterminée.

Les manœuvres devant pouvoir s'effectuer d'urgence, les ordres à donner ne peuvent être transmis en faisant usage des autres circuits téléphoniques utilisés par l'exploitation. Un circuit dénommé de « régulation des sous-stations » doit être réservé exclusivement à cette fin.

Les postes dont il est doté sont des postes automatiques, dits à « appels sélectifs ». Ils comportent chacun un disque d'appel et un petit coffret d'appareillage. Lors de l'établissement d'une communication, le poste demandeur (qui peut être un poste quelconque de la ligne) envoie au moyen de son disque d'appel des impulsions de courant le long de la ligne et celles-ci sont reçues par les relais de chacun des coffrets. Ces impulsions font avancer pas à pas et synchroniquement les sélecteurs de chaque coffret.

Chaque sélecteur est câblé différemment, de telle sorte qu'à chaque numéro différent formé par le disque il ne corresponde qu'un seul sélecteur agencé de manière à fermer le circuit local d'une sonnerie d'appel. A chaque numéro formé au moyen d'un disque correspond donc un seul poste recevant l'appel.

7. Les circuits de dispatching.

Nous venons de passer en revue les circuits de faible longueur avec dérivations courtes et peu nombreuses.

Si par contre le nombre de postes est élevé et les distances grandes (comme c'est le cas notamment pour les circuits de train-dispatching), l'affaiblissement limite est dépassé.

Il faut alors nécessairement faire usage de répéteurs ; ceux-ci ne peuvent toutefois pas être du type 2 fils, à cause de l'impossibilité de confectionner des équilibrateurs tenant compte de l'irrégularité de l'impédance du circuit suivant les emplacements parfois changeants des postes et suivant que ces postes sont décrochés ou non.

Les circuits de dispatching quelque peu chargés de postes seront donc des circuits à 4 fils : on branche les microphones de tous les postes sur un circuit pupinisé à 2 fils, et les écouteurs de ces mêmes postes sur un autre circuit pupinisé à 2 fils.

Chacun des deux circuits à 2 fils (donc le circuit à 4 fils) est coupé de distance en distance (nommée « section d'amplification ») par des répéteurs qui compensent l'affaiblissement du câble. De plus, pour réduire l'affaiblissement à l'intérieur de chaque section d'amplification, chaque dérivation se fait à haute impédance au moyen d'un translateur. L'affaiblissement dû à la dérivation est donc diminué au profit d'une amélioration de la transmission du câble ; par contre, dans les dérivations, il n'y a pas adaptation des impédances et par conséquent il y a des pertes par réflexion. On voit que ce qui est gagné au point de vue de la transmission sur le câble est reperdu partiellement à la dérivation. Cependant l'affaiblissement du circuit étant moindre, les répéteurs peuvent être espacés davantage.

L'adoption d'un circuit à 4 fils, implique la construction de postes téléphoniques où le circuit du récepteur est totalement séparé de celui du microphone. Il en résulte qu'on n'entend pas si un autre poste n'a pas engagé une conversation avec le dispatcher. Ce sont deux inconvénients à éviter.

On y est arrivé par une connexion convenable du poste de dispatcher à la fois aux 2 circuits à 2 fils. De cette façon, une liaison est établie, en un point, entre les deux circuits et, à chaque poste, on s'entend parler, de même qu'on entend parler les autres postes (il est vrai avec un affaiblissement sensible, ce qui, par suite d'un effet psychologique, amène à parler assez haut et avantage la transmission).

8. Equipement à haut-parleur pour dispatcher.

Le poste téléphonique du dispatcher combiné avec ces circuits à 4 fils est un poste à haut-parleur nécessitant un traitement des parois du local où il se trouve placé afin d'obtenir une reproduction acoustique convenable. Disons ici quelques mots du problème téléphonique posé par l'appareillage central qui par les nécessités techniques, est relié par deux fils seulement au circuit 4 fils des postes (pour les raisons exposées plus haut) et cependant doit posséder un microphone et un haut-parleur. Il faut que, suivant l'évolution de la conversation, ce soit tantôt le microphone, tantôt le haut-parleur qui soit relié à la ligne à 2 fils, et ce sans qu'il soit admis de manœuvrer de clé ou de pédale de commutation. Cette commutation se fait par des moyens électroniques : la ligne est en connexion soit avec le microphone, soit avec le haut-parleur, mais jamais avec les deux à la fois, c'est-à-dire qu'il existe des blocages. La connexion s'établit par des polarisations de sens et de valeur convenables appliquées aux électrodes de contrôle des tubes électroniques, ces polarisations provenant à leur tour de la détection de courants téléphoniques venant soit de la ligne, soit du microphone de façon telle que ces courants débloquent la voie de conversation devant eux. La fig. 19 représente la photographie d'une table de dispatcher moderne, du modèle employé sur les lignes électrifiées.

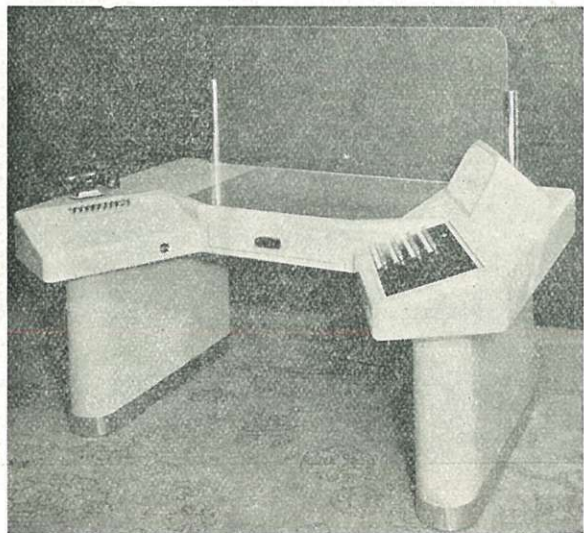


Fig. 19. — Table de dispatcher.

Pour l'exécution des travaux, il y a lieu de distinguer deux phases principales : les travaux en campagne et le montage des équipements intérieurs.

La plate-forme est préparée à recevoir le câble par la pose de caniveaux en béton, établis à fleur de sol le long de la piste cyclable par éléments de 50 cm. ou de 1 m., suivant le type de caniveau.

En effet, le câble n'est pas enterré, car il doit être soustrait à l'action corrosive des courants de retour de traction qui s'échappent du rail et empruntent le sol pour retourner à la sous-station.

Des précautions spéciales doivent encore être prises à la traversée des ouvrages d'art métalliques, les vibrations des ponts provoquant une destruction du plomb par cristallisation. On y remédie en ajoutant

un faible pourcentage d'étain au plomb (2 %) et en intercalant entre le câble et le pont des dispositifs amortisseurs constitués de ressorts.

Les caniveaux prévus en pleine voie pour la pose du câble sont complétés par des caniveaux spéciaux pour contenir les boîtes d'épissure ou de dérivation, par des caniveaux devant contenir des pots en fonte

avec les bobines de self-induction pour la pupinisation, par des caniveaux pour le placement des câbles de dérivation vers les gares, cabines, sous-stations, etc...

Ensuite on amène le câble enroulé sur de gros tambours placés sur des wagons spécialement aménagés en vue de permettre un déroulement aisé. Les tambours de câbles sont posés, moyennant une barre de fer formant axe de rotation, sur des supports spéciaux fixés à demeure sur les wagons. L'ensemble de ces wagons forme un train spécial de pose, terminé par un wagon court muni d'un bras orientable. Le câble est déroulé du tambour, passe par des guides vers le bras de déroulement, d'où suivant les circonstances il est déposé soit sur la piste le long du ballast, soit, si possible directement dans les caniveaux en béton. Si, par suite de la présence d'obstacles (supports de caténaires ou poteaux téléphoniques, car la ligne aérienne doit rester en service jusqu'à ce que les travaux du câble soient terminés) le câble a été déroulé le long du ballast, il est repris à bras d'hommes pour être mis définitivement en place.

A ce moment commencent les mesures délicates de déséquilibre de capacité. Puis on confectionne les épissures, on relie les pots en fonte contenant les bobines de charges, on raccorde les dérivation avec les translateurs.

Ce travail en campagne est suivi, dans chaque gare, cabine, sous-station, etc..., du placement de la tête du câble dérivé, de son raccordement aux appareils téléphoniques, ceux-ci étant en règle générale remplacés car ils doivent s'adapter à la technique nouvelle.

En même temps, on monte les stations de répéteurs téléphoniques et tout l'appareillage annexe d'alimentation et de surveillance. Il en est de même des appareils de dispatching.

A ce moment se placent de nombreux essais de vérification et de contrôle : chaque détail à son importance dans l'édifice complexe qui est réalisé, où tout doit concourir harmonieusement au but poursuivi, mais où deux fils mal raccordés par exemple peuvent compromettre le résultat final.

Ce n'est qu'après que ces essais ont été reconnus satisfaisants que le câble et ses accessoires sont mis en service, et que les lignes aériennes peuvent être démontées.

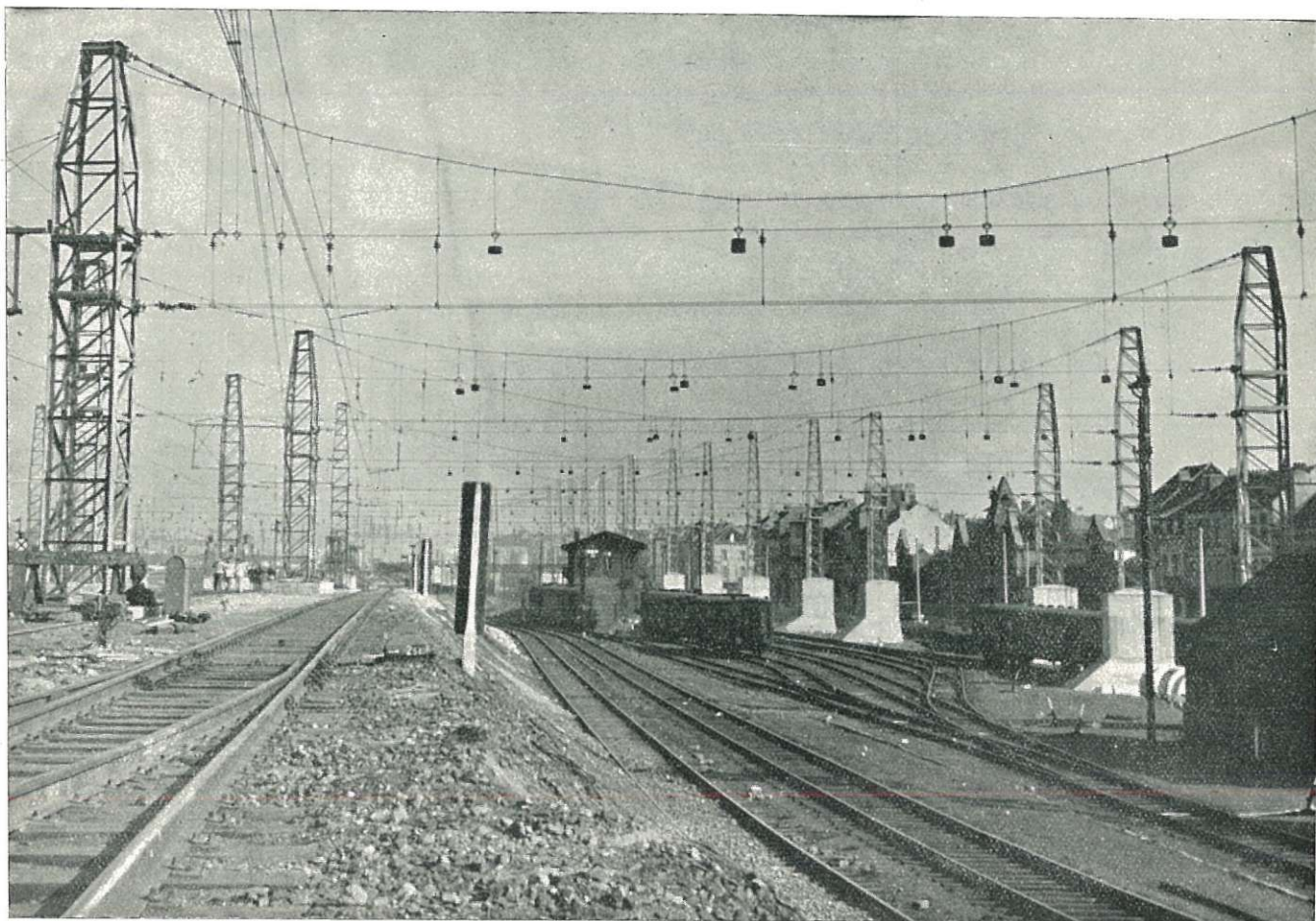


Fig. 20. — Les portiques à Bruxelles-Midi.