

# AU FIL DU RAIL

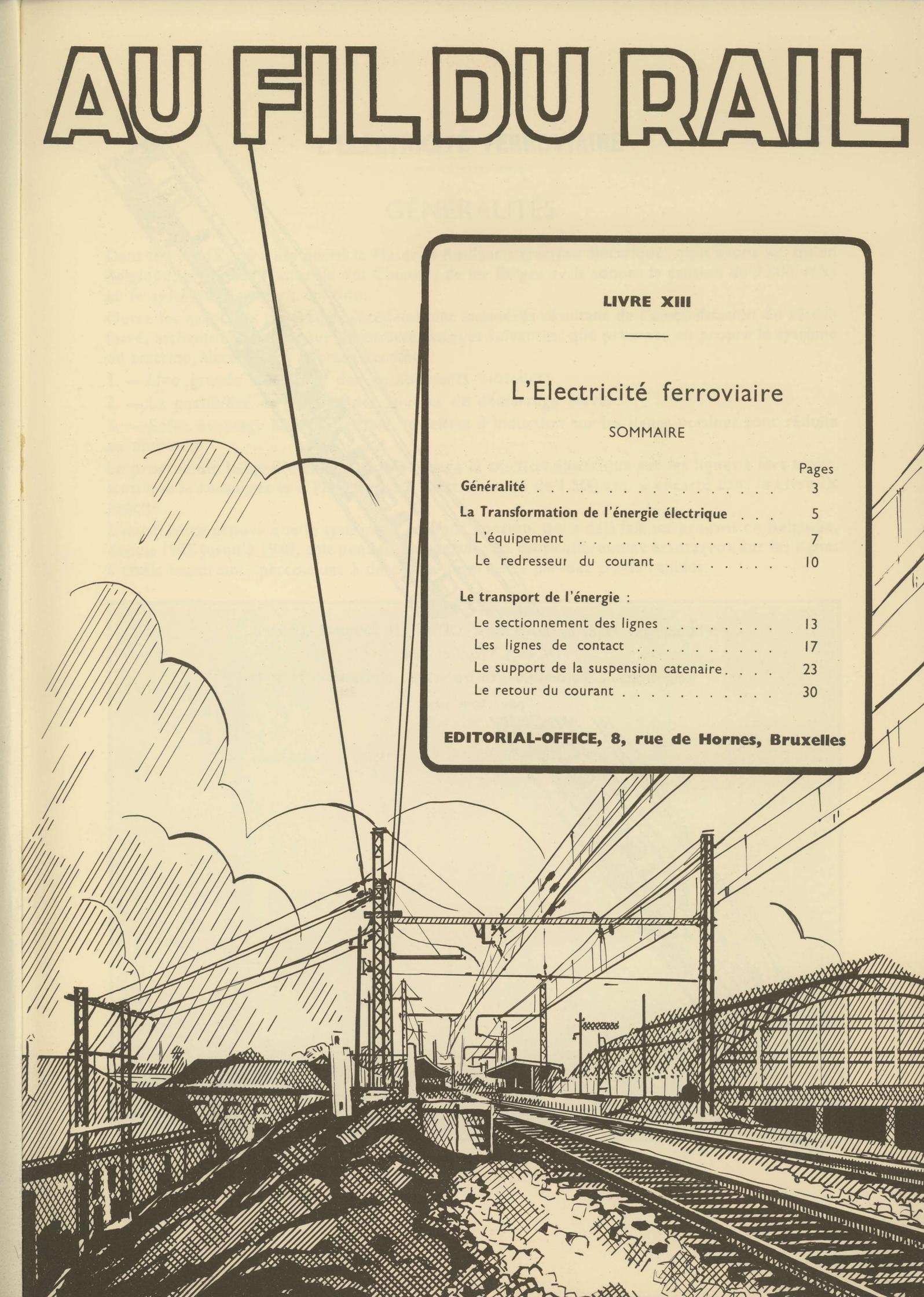
PAR FERNAND LEBBE

XIII. - NOTIONS SPÉCIALES - L'ÉLECTRICITÉ FERROVIAIRE



ÉDITORIAL - OFFICE -- BRUXELLES

# AU FIL DU RAIL



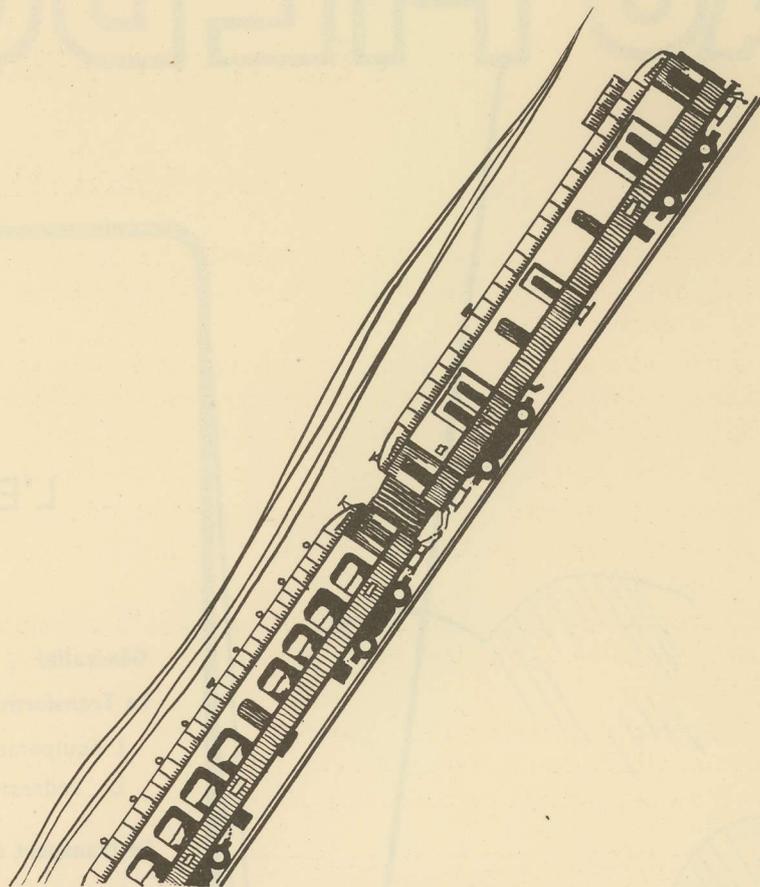
LIVRE XIII

## L'Electricité ferroviaire

SOMMAIRE

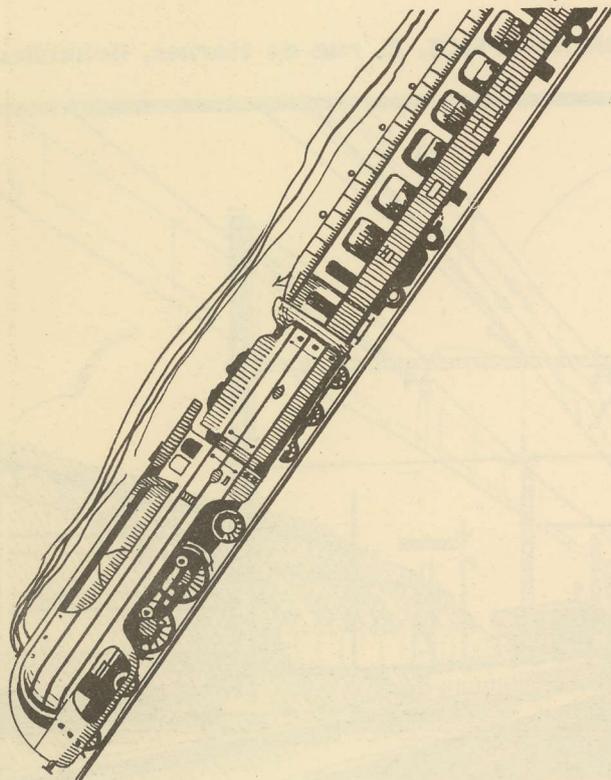
	Pages
Généralité . . . . .	3
La Transformation de l'énergie électrique . . . . .	5
L'équipement . . . . .	7
Le redresseur du courant . . . . .	10
<b>Le transport de l'énergie :</b>	
Le sectionnement des lignes . . . . .	13
Les lignes de contact . . . . .	17
Le support de la suspension catenaire . . . . .	23
Le retour du courant . . . . .	30

**EDITORIAL-OFFICE, 8, rue de Hornes, Bruxelles**



Copyright 1948, by EDITORIAL OFFICE H. Wauthoz-Legrand  
(A. et J. Wauthoz, Succ<sup>rs</sup>)

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation réservés  
pour tous pays.



# L'ÉLECTRICITÉ FERROVIAIRE

## GÉNÉRALITÉS

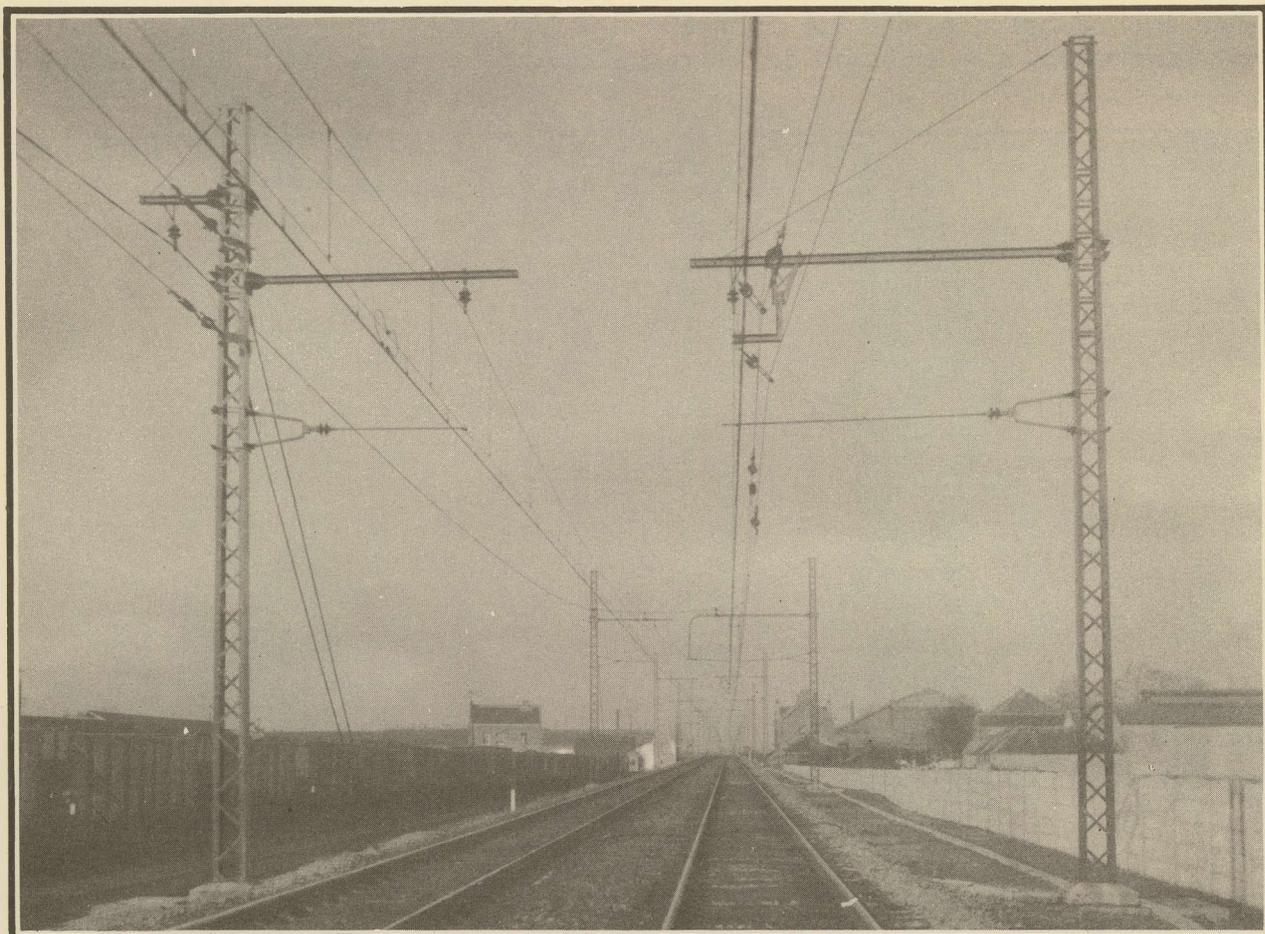
Dans le livre IX, où a été décrit le Matériel Roulant à traction électrique, nous avons vu, qu'en Belgique, la Société Nationale des Chemins de fer Belges avait adopté la tension de 3.000 volts et le système à courant continu.

Outre les avantages généraux précédemment énumérés résultant de l'électrification du réseau ferré, attirons l'attention sur les caractéristiques suivantes, que présente en propre le système de traction électrique à courant continu :

1. — Une grande simplicité des équipements moteurs;
2. — La possibilité de réaliser des couples de démarrage élevés;
3. — Enfin, avantage non négligeable, les effets d'induction sur les lignes voisines sont réduits au minimum.

Le programme belge d'électrification envisage la traction électrique sur les lignes à fort trafic, ainsi que le renseigne le « Programme d'Electrification de 1.500 km. » encarté dans le Livre IX précité.

L'expérience prouve que le système à courant continu, qui a déjà fait ses preuves en Belgique, depuis 1935 jusqu'à 1948, soit pendant douze ans, est particulièrement avantageux sur les lignes à trafic important, parcourues à de courts intervalles par des trains rapides.



LA LIGNE ÉLECTRIQUE BRUXELLES-ANVERS A HAREN

La France et la Hollande, qui ont débuté plus tôt que la Belgique dans la voie de l'électrification, du réseau ferré, ont adopté la tension de 1.500 volts.

Leurs expériences, concordantes avec celle de la S.N.C.B., ont démontré que seules des considérations économiques influent sur le choix entre les tensions de 1.500 et de 3.000 volts.

Les considérations économiques, qui ont fait préférer, en Belgique, la tension de 3.000 volts à celle de 1.500, proviennent de ce que l'élévation de tension a permis un plus grand espacement des sous-stations de transformation du courant et d'en réduire, par conséquent, le nombre. Mais cette élévation de la tension a entraîné comme conséquence l'obligation de prévoir un isolement plus important du matériel roulant. Mais compte tenu de ce fait, l'adoption du courant à 3.000 volts c'est révélé cependant moins onéreuse.

Au point de vue purement technique, les deux tensions se valent.

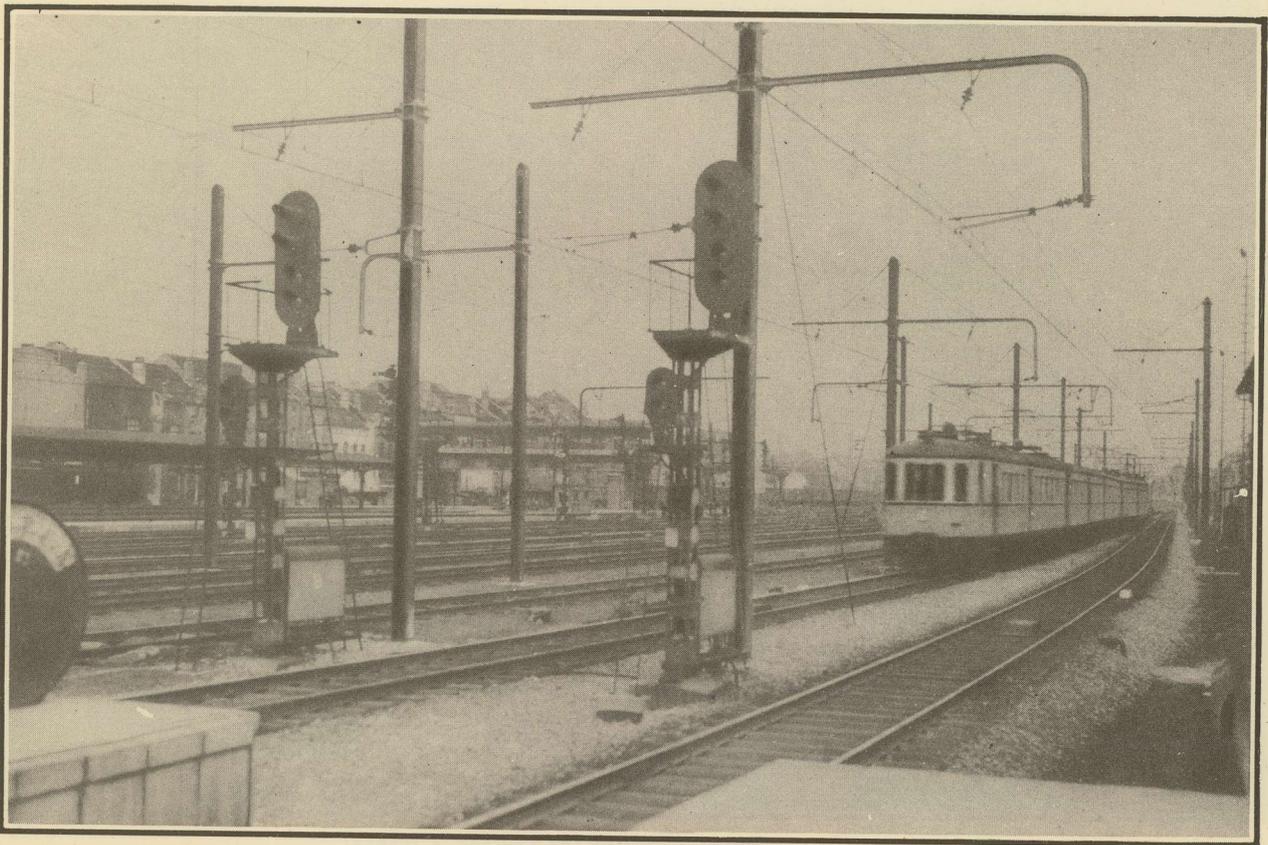
Les automotrices, actuellement en service, ainsi que les locomotives électriques en construction sont à la tension de 3.000 volts. Elles comportent des moteurs fonctionnant en série de deux sous tension individuelle de 1.500 volts. Il suffit donc de leur adjoindre un combinateur permettant de mettre ces moteurs en parallèle pour que le matériel roulant belge puissent circuler sur les réseaux à 1.500 volts.

Le matériel belge est donc susceptible d'être utilisé sur le réseau de la N.V.N.S. (National Vereniging Nederlandsche Spoorwegen) qui est à 1.500 volts.

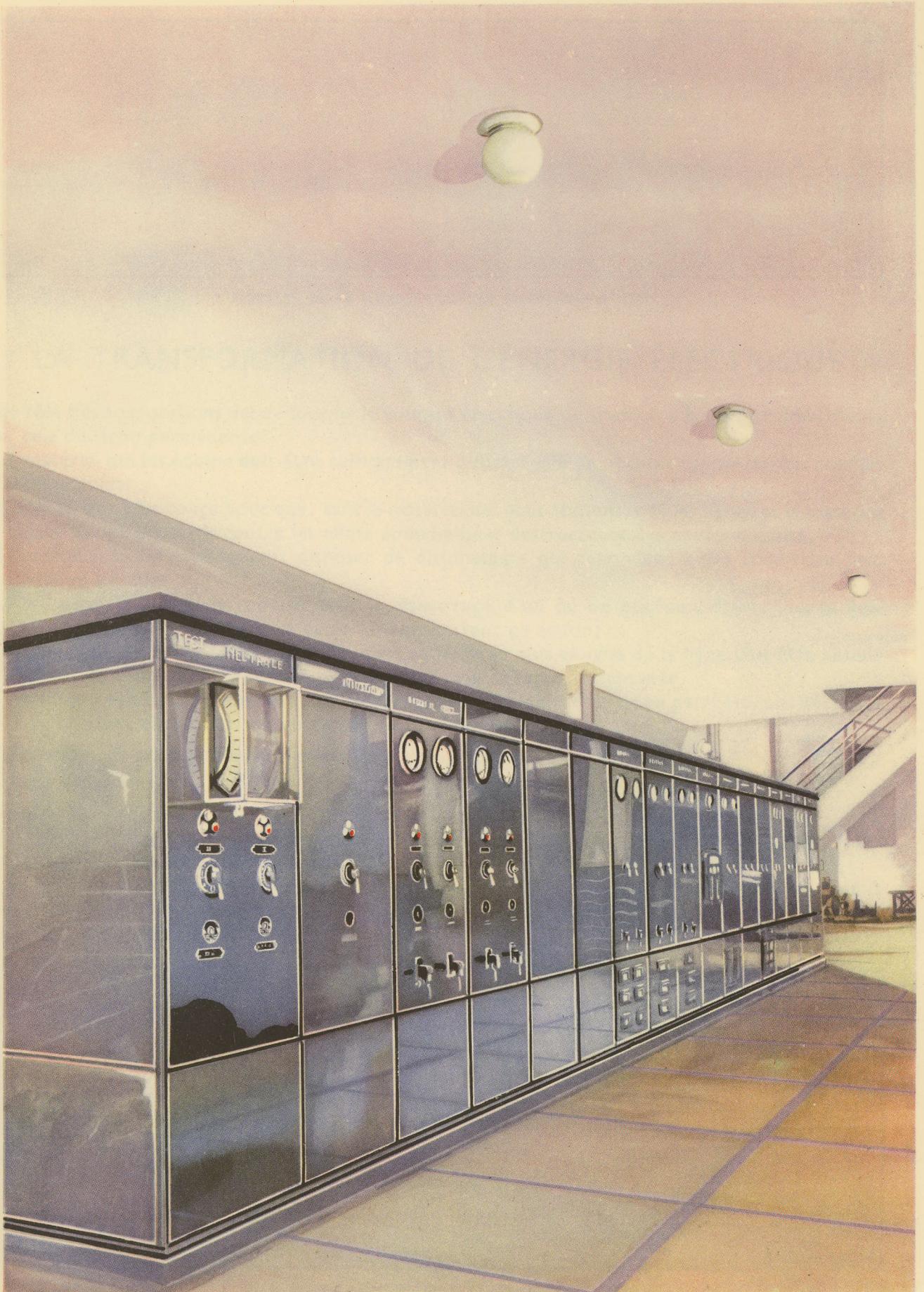
Son isolement plus conséquent joue ici dans le sens favorable en offrant un plus grand coefficient de sécurité.

Le passage du matériel hollandais sur le réseau belge entraînerait de plus grandes complications, car pour pouvoir être utilisé sous la tension de 3.000 volts, outre l'adjonction d'un combinateur, il devrait être pourvu d'un isolement supérieur à celui existant, qui s'il est suffisant pour la tension de 1.500 volts est nettement insuffisant pour celle de 3.000.

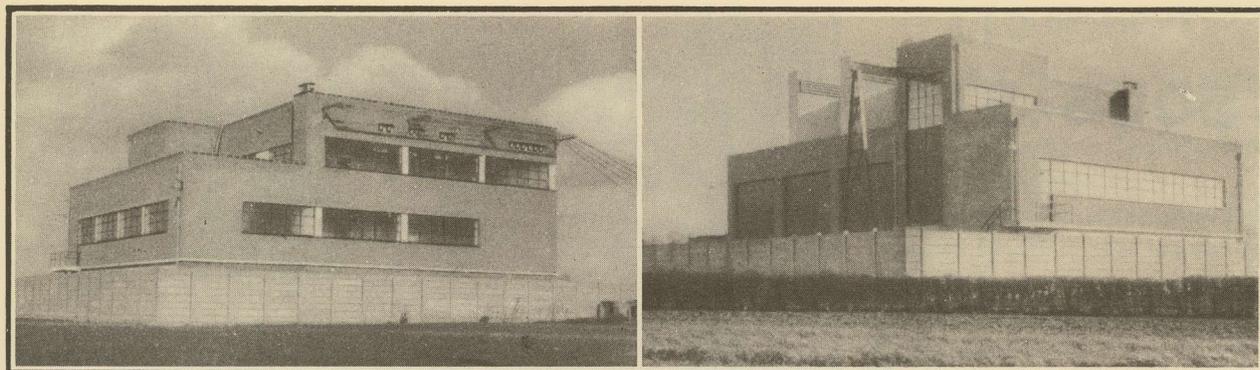
Le matériel roulant ayant déjà été examiné dans le Livre IX, le présent Livre sera consacré à la transformation et au transport de l'énergie électrique de traction.



L'ENTRÉE DES VOIES ÉLECTRIFIÉES A BRUXELLES-NORD, EN 1937



SOUS-STATION DE TRANSFORMATION DE HAREN — LE TABLEAU CENTRAL



MORTSEL. — LA SOUS-STATION DE TRANSFORMATION

## LA TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Le rôle des sous-stations est de fournir le courant électrique de traction à la tension convenable et cela de façon permanente.

Le matériel qui les équipe doit être suffisamment puissant afin de pouvoir supporter des charges fort variables.

Il doit être de plus conçu pour que, tant le matériel des sous-stations, que les lignes et le matériel roulant soient protégés contre les effets éminemment destructeurs des courts-circuits.

Elles doivent, par conséquent, disposer de disjoncteurs qui répondent à des conditions fort opposées. En effet :

d'une part, la puissance requise pour le démarrage d'un ou de plusieurs trains lourds doit pouvoir être fourni sans que les déclencheurs entrent en action ;

d'autre part, un court-circuit ce produisant au point le plus éloigné de la ligne doit être annulé en quelques centièmes de secondes, pour ainsi dire de façon instantanée.

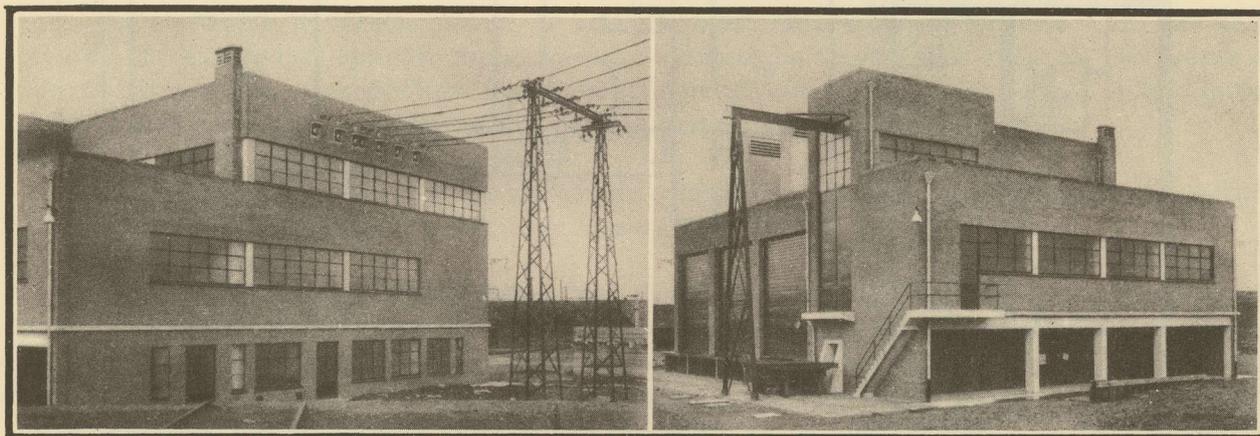
Ces deux conditions, compte tenu de ce que les sous-stations débitent en parallèle, ont nécessité l'intercallation entre elles de postes de sectionnement.

Ces postes de sectionnement comportent :

- a) des disjoncteurs ;
- b) des appareils coupleurs.

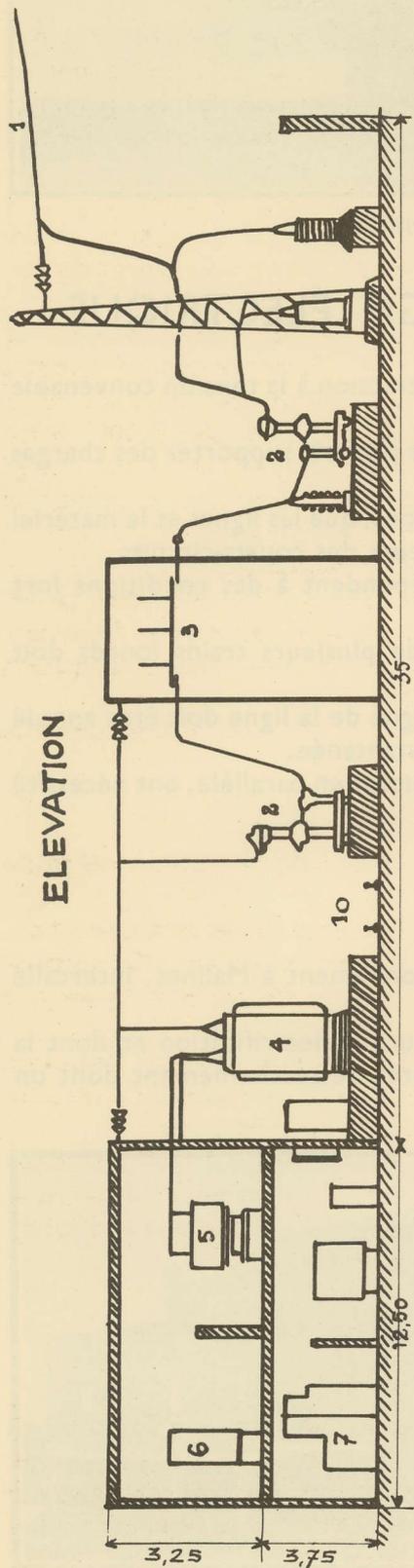
Sur la ligne Bruxelles-Nord à Anvers, il existe un poste de sectionnement à Malines, intercallé entre les sous-stations de Haren et de Mortsel.

Sur la ligne Bruxelles-Midi à Charleroi-Sud actuellement en cours d'électrification et dont la mise en service est envisagée pour 1949, il est prévu deux postes de sectionnement dont un à Lillois et l'autre à Marcinelle.



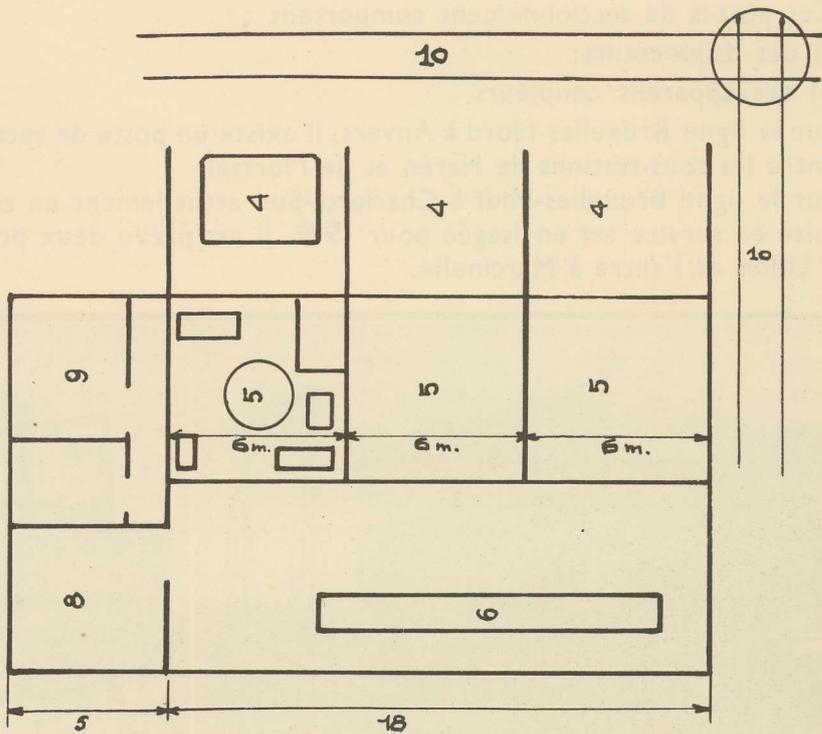
HAREN. — LA SOUS-STATION DE TRANSFORMATION

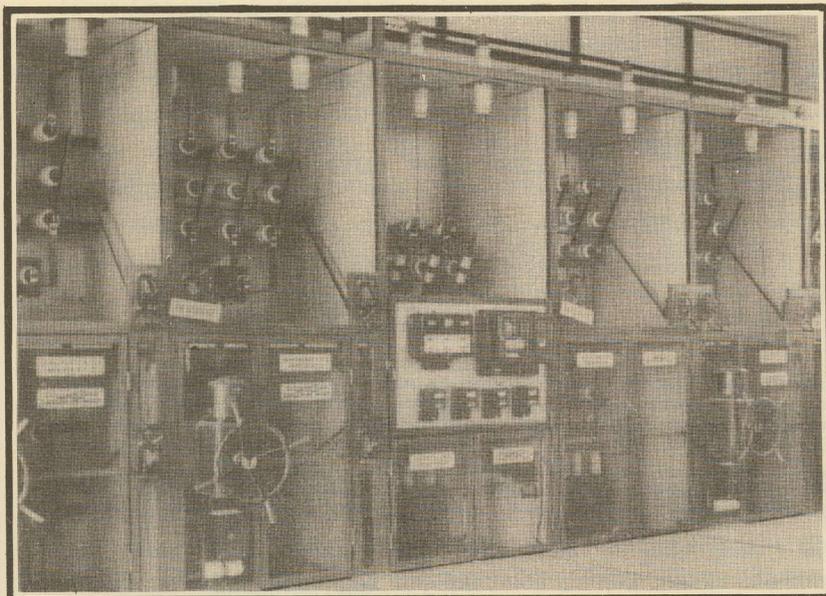
# SOUS-STATION de TRANSFORMATION de 50.000 VOLTS



## LEGENDE

1. ARRIVEE DU FOURNISSEUR 50.000V.
2. DISJONCTEUR
3. JEU DE BARRES
4. TRANSFORMATEUR
5. REDRESSEUR
6. TABLEAU DE COMMANDE
7. CELLULE DE DEPART A 3000V.
8. BATTERIE D'ACCUMULATEURS
9. LOCAUX DIVERS (CHAUFFERIE, TOILETTE, SALLE DE THEORIE, MAGASIN, ATELIER.)
10. VOIE DE SERVICE





HAREN. — LES CELLULES D'ARRIVÉE DU COURANT H.T.

## L'ÉQUIPEMENT

L'on peut diviser en trois grands groupes principaux, les éléments formant l'équipement des sous-stations.

Ces groupes caractérisent nettement le rôle que jouent les sous-stations dans l'alimentation en énergie des réseaux électriques.

Le premier a pour objet de recevoir le courant à haute tension triphasé venant du secteur privé.

Le second a pour mission de transformer ce courant triphasé en courant continu à la tension d'utilisation de 3.000 volts.

Le troisième enfin est chargé

de distribuer aux lignes le courant continu produit par le groupe précédent, et comporte des appareils de protection contre les courts-circuits survenant sur les lignes.

Le schéma de la page 8 donne un aspect très simplifié des connexions établies.

Nous avons vu (Livre IX, page 9) que le courant à haute tension est fourni par le secteur privé, dont l'interconnexion des centrales assure au maximum la sécurité de la fourniture. En outre, des lignes spéciales de transports, particulièrement soignées, comportent des canalisations de réserve pour éviter tout risque d'interruption de livraison du courant.

Il est à remarquer que habituellement, les sous-stations sont raccordées aux installations des fournisseurs par :

- a) des lignes aériennes si la tension est de 50.000 volts et plus;
- b) des lignes souterraines si cette tension est inférieure à 50.000 volts.

Dans les sous-stations de la ligne Bruxelles-Anvers (Harèn et Mortsels), le courant triphasé est fourni à la tension de 11.000 ou 15.000 volts.

Sur le schéma de la page 8, l'on remarque que dès l'entrée du courant dans la sous-station, les conducteurs d'amenée du courant sont connectés à un sectionneur tripolaire. Ce sectionneur est pourvu de gâches de mise à la terre. Il est commandé par une bielle isolée et la poignée de cette bielle est cadenassée dans l'une ou l'autre de ses positions.

Le courant traverse ensuite un réducteur d'intensité (non figuré sur le schéma) destiné à l'alimentation des appareils auxiliaires, puis un disjoncteur automatique à commande électromagnétique. Cette commande est complétée par une commande de secours à main.

Par l'intermédiaire de sectionneurs, le courant électrique alimente ensuite l'un des deux jeux de barres que l'on appelle respectivement « Barres en service » et « Barres en réserve ». Sur ces barres, sont raccordés (non figurés au schéma) des transformateurs de tension et d'intensité protégés par des fils fusibles tendus par des ressorts et baignant dans l'huile.

Par ces derniers appareils, sont alimentés :

1. — Deux voltmètres montés sur le tableau de commande. L'un de ces voltmètres est à lecture directe tandis que l'autre est un voltmètre enregistreur;
2. — Les compteurs.

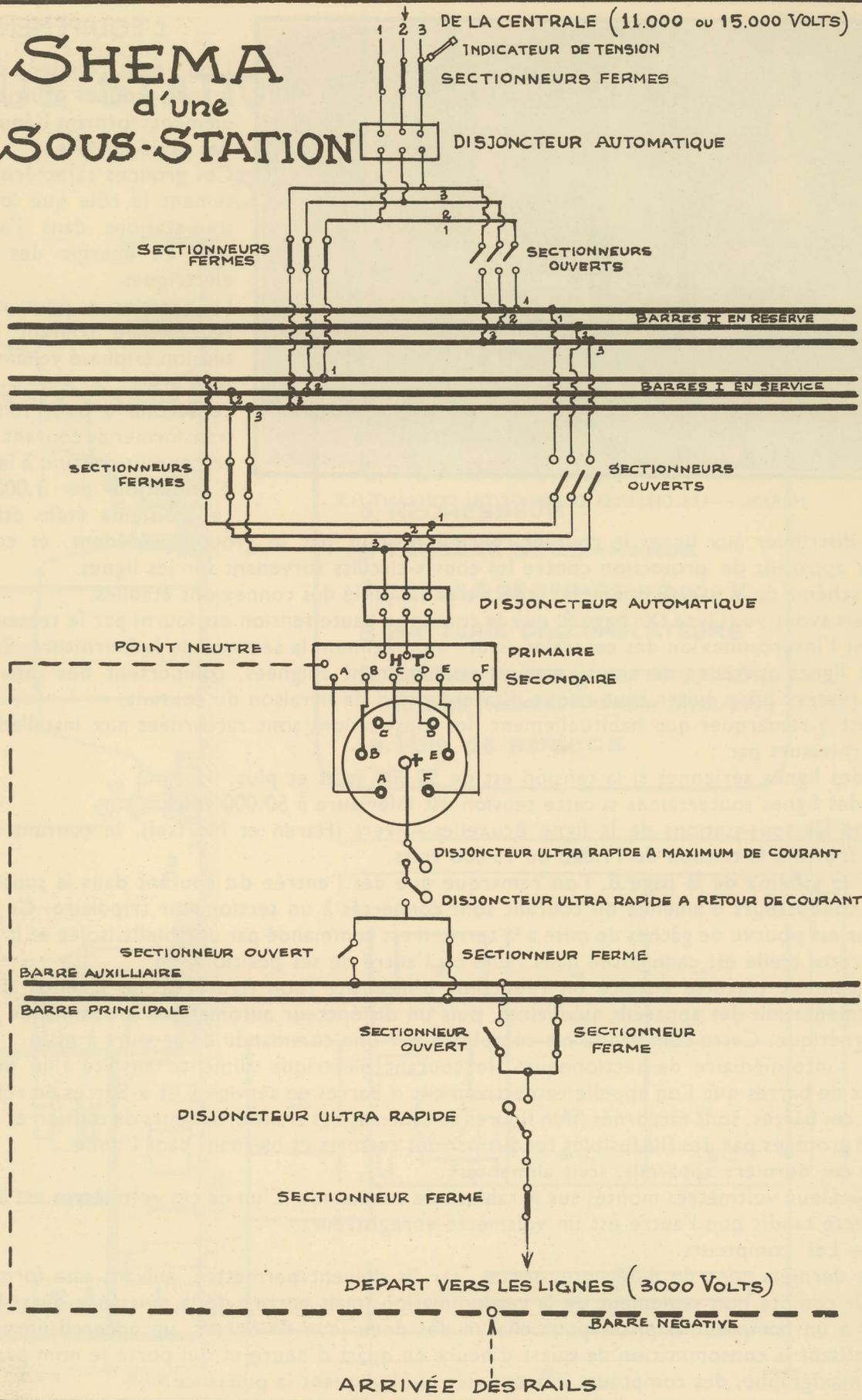
Ces derniers sont de différentes sortes, car ils doivent permettre, suivant une formule, de tenir compte non seulement de la consommation, mais encore de la puissance quart-horaire. Il y a un compteur triphasé pour chacun des deux jeux de barres, un appareil enregistreur totalisant la consommation de quart d'heure en quart d'heure et qui porte le nom particulier de maxigraphe, des compteurs monophasés qui indiquent la puissance.

# SCHEMA d'une SOUS-STATION

ARRIVEE DU COURANT TRIPHASE

TRANSFORMATION EN COURANT CONTINU

DISTRIBUTEUR DU COURANT CONTINU



A partir des barres d'arrivées, le courant électrique quitte les connexions de réception du courant pour passer à celles de sa transformation.

Par l'intermédiaire de deux sectionneurs (permettant d'utiliser l'un ou l'autre des jeux de barres de réception) le courant passe par un disjoncteur à haute tension protégeant les appareils transformateurs du courant sur la section alimentée par le courant alternatif.

Les transformations apportées au courant se font en deux opérations :

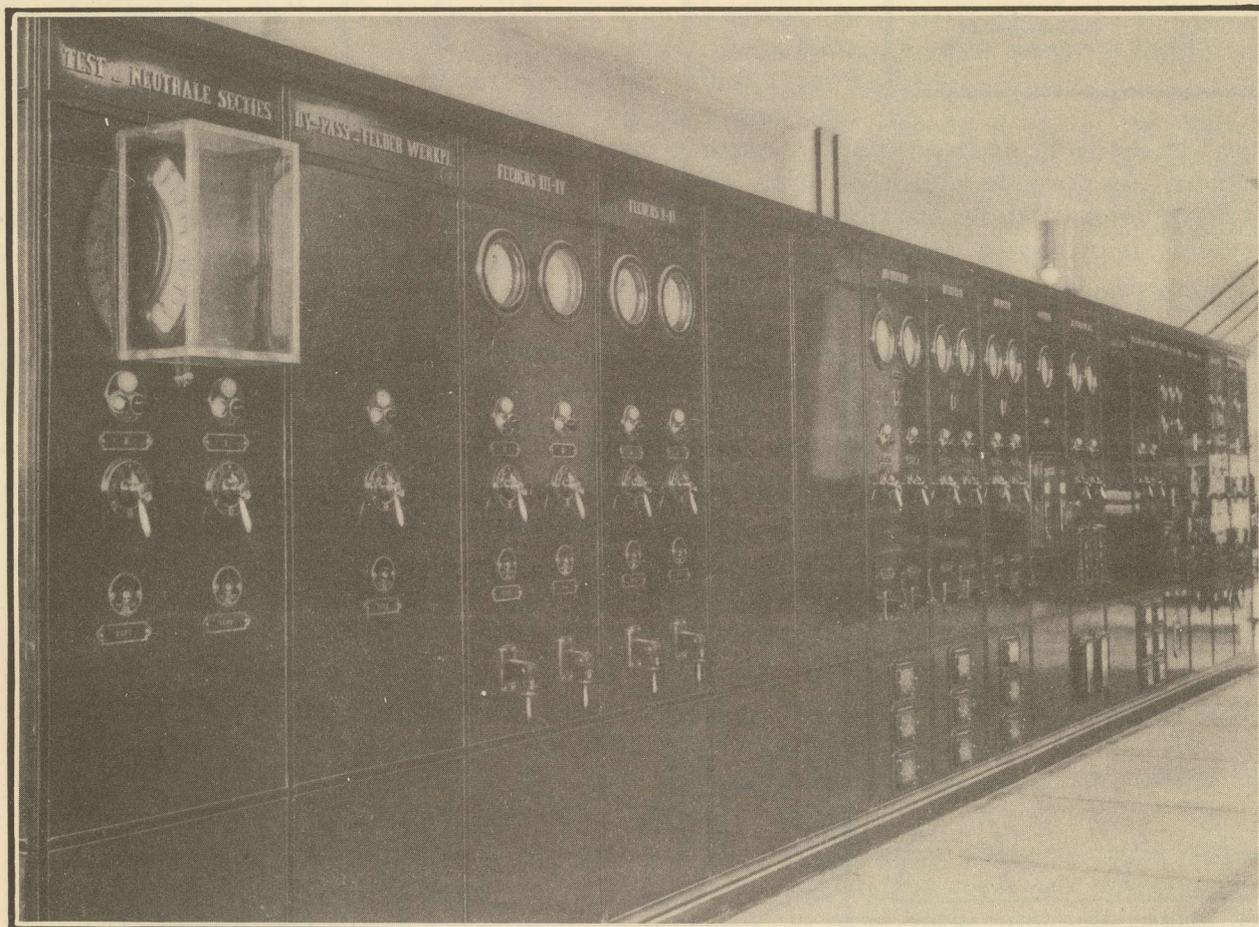
La première abaisse la tension du courant triphasé au moyen d'un transformateur statique dont le primaire est bobiné en triangle et le secondaire en étoile triangle.

Dans les sous-stations de Haren et de Mortsels, le rapport de transformation est respectivement

$$\frac{11.000 \text{ volts}}{2.220 \text{ volts}} \text{ et de } \frac{15.000 \text{ volts}}{2.220 \text{ volts}}$$

Ces transformateurs, qui risquent de subir de nombreux courts-circuits, ont été prévus en conséquence. A cet effet, ils ont l'isolement de leurs premières spires renforcé; ils ont des anneaux de garde qui connectés avec les premières spires les protègent des ondes de choc à front raide; des relais ampèremétriques les protégeant contre les surintensités et de plus, des relais du type Bucholtz les gardent contre les échauffements et les ruptures intérieures. Ils sont équipés, en outre, de thermomètres à mercure qui, lorsque l'huile dans laquelle les transformateurs baignent atteint une température critique, actionnent automatiquement des sonneries d'alarme.

De ces transformateurs, et ceci forme la seconde opération de la modification des caractéristiques du courant électriques, le courant triphasé se rend à des redresseurs à vapeur de mercure dont le rôle est de transformer le courant alternatif en courant continu.



HAREN. — LES TABLEAUX DE DISTRIBUTION ET DE CONTROLE

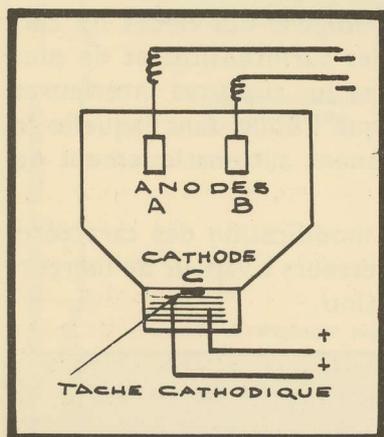
## LE REDRESSEUR DU COURANT

Le redresseur à vapeur de mercure est une soupape électrique à vide incomplet. Il ne possède aucun élément en mouvement. C'est, de même que le transformateur qui le précède, un appareil statique.

Le redresseur à vapeur de mercure agit sur le courant électrique d'une manière qui peut se comparer à celle des clapets de retenue utilisées dans les installations hydrauliques et qui ne permettent le passage du fluide que dans un seul sens.

Bien que le redresseur à vapeur de mercure ne soit pas un appareil spécifiquement ferroviaire et que dans son rôle de redresseur de courant il ait reçu de nombreuses applications dans d'autres domaines, il occupe dans l'électrification des chemins de fer une place si importante que nous donnerons les principes élémentaires de son fonctionnement.

Le redresseur utilisé par les chemins de fer sont des appareils puissants. Ils sont constitués d'une cuve d'acier dans laquelle règne un vide poussé.



Dans cette cuve se trouvent introduits deux conducteurs dont l'un, appelé **anode (A sur le schéma)**, est terminé par du graphite et l'autre, appelé **cathode (C sur le schéma)**, est constitué par un bain de mercure.

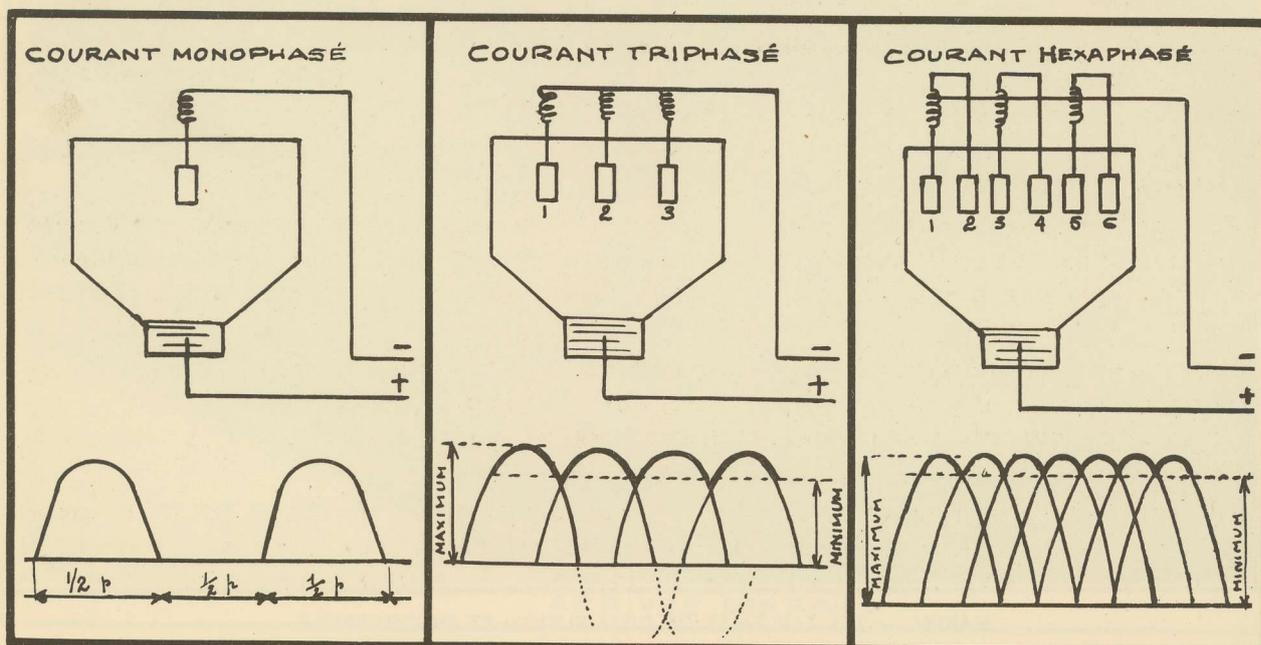
Si l'on chauffe la cathode à haute température et si l'on connecte l'anode et la cathode à une source de courant continu, on constate une émission d'électrons dans le champ électrostatique qui se trouve entre l'anode **A** et la cathode **C**.

Les électrons ainsi émis neutralisent sur l'anode **A** une charge d'électricité positive et le courant passe à travers la cuve comme si l'espace compris entre la cathode **C** et l'anode **A** était devenu conducteur.

Pour chauffer le mercure à la température requise pour le fonctionnement du redresseur, on provoque un arc électrique

que l'on fait jaillir de façon continue entre le mercure (cathode **C**) et une autre anode (**B sur le schéma**). Au point de la cathode où se forme l'arc électrique, le mercure s'échauffe fortement et de ce point jaillit des électrons, ce qui réalise les conditions nécessaires pour que le courant passe de la cathode à l'anode **A**.

Ce point chauffé de la cathode s'appelle tache cathodique.

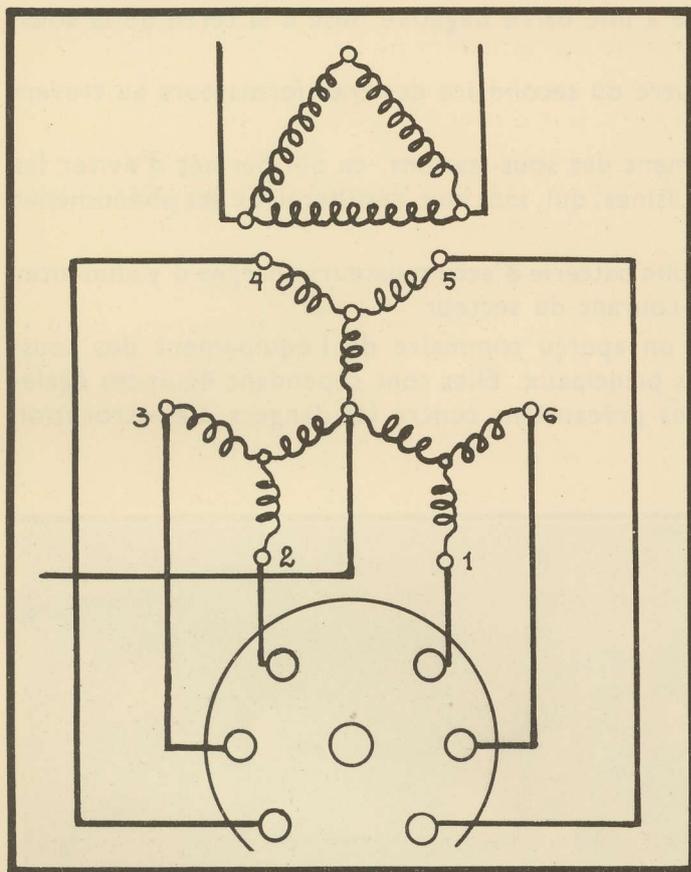


Si nous connectons maintenant l'anode **A** et la cathode **C** à une source de courant monophasé, l'on constate que le courant passe tant que l'anode est au potentiel positif, mais qu'il y a arrêt lorsque le potentiel de l'anode devient nul ou négatif.

Le courant ainsi produit est à la fois variable et intermittent.

Le redresseur ainsi décrit n'est utilisable que pour un courant monophasé.

En munissant le redresseur de trois anodes **A** et en utilisant un courant triphasé, on obtient non plus un courant intermittent mais un courant continu et ondulé. Si l'on utilise un courant hexaphasé et six anodes **A**, on réduit l'amplitude des oscillations et on augmente leur fréquence, ce qui donne un courant continu de meilleure qualité.



Si le courant redressé obtenu à partir d'un courant alternatif monophasé est peu utilisable, il n'en est plus de même de celui obtenu par l'emploi d'un courant hexaphasé qui donne au contraire un courant permanent ondulé dont les variations sont peu importantes.

L'utilisation d'un bain de mercure comme cathode présente l'avantage d'éviter une altération à l'endroit où jaillit l'arc électrique. De plus, les vapeurs de mercure qui se dégagent rendent l'air raréfié de la cuve meilleur conducteur de l'électricité. Enfin, les vapeurs de mercure en se condensant sur les parois de la cuve coulent dans la cuvette cathodique et le mercure se récupère automatiquement.

De ce qui précède et en vue de réaliser les conditions nécessaires au fonctionnement, nous trouverons les redresseurs à vapeur de mercure utilisés dans les sous-stations, complétés par :

1. — Des pompes à vide qui maintiennent une très basse pression dans la cuve;
2. — Un dispositif permettant l'allumage d'un arc électrique et un dispositif d'entretien de celui-ci;

3. — Un système de réfrigération, habituellement hydraulique, qui maintient la température du redresseur dans des limites déterminées.

Notons que les arcs électriques sont entretenus par des anodes appelées **anodes d'entretien**. Elles débitent dans des résistances un courant qui leur est fourni par un transformateur auxiliaire. Les redresseurs ainsi que le disjoncteur ultra-rapide assurant leur protection sont placés dans des cellules.

Celles-ci sont constituées par des panneaux en treillis. La face avant ainsi que la porte d'accès de chacune des cellules sont protégées par des glaces du type « Securit ». La porte de chaque cellule est pourvue d'un interrupteur intercalé dans le circuit de commande à distance du disjoncteur du redresseur.

Cette mesure est prise dans un but de sécurité. L'ouverture de la porte d'une cellule en faisant fonctionner l'interrupteur du circuit de commande du disjoncteur intéressé, provoque le déclenchement de celui-ci, ce qui a pour conséquence, la mise hors-tension de toutes les pièces ou appareils se trouvant dans la cellule.

Nous avons vu que le groupe transformateur du courant est protégé par un disjoncteur du côté courant alternatif. Il est prévu une protection similaire du côté courant continu.

A sa sortie des redresseurs à vapeur de mercure, le courant continu traverse :

1. — Un disjoncteur ultra-rapide à maximum de courant;
2. — Un disjoncteur ultra-rapide à retour de courant.

Il se rend ensuite aux jeux de barres d'utilisation en passant par des sectionneurs.

Des barres d'utilisation, qui sont en réalité les barres distributrices, le courant passe au travers de sectionneurs pour se rendre, après avoir passé par un disjoncteur ultra-rapide et un sectionneur, aux feeders alimentant les lignes à la tension de 3.000 volts en courant continu.

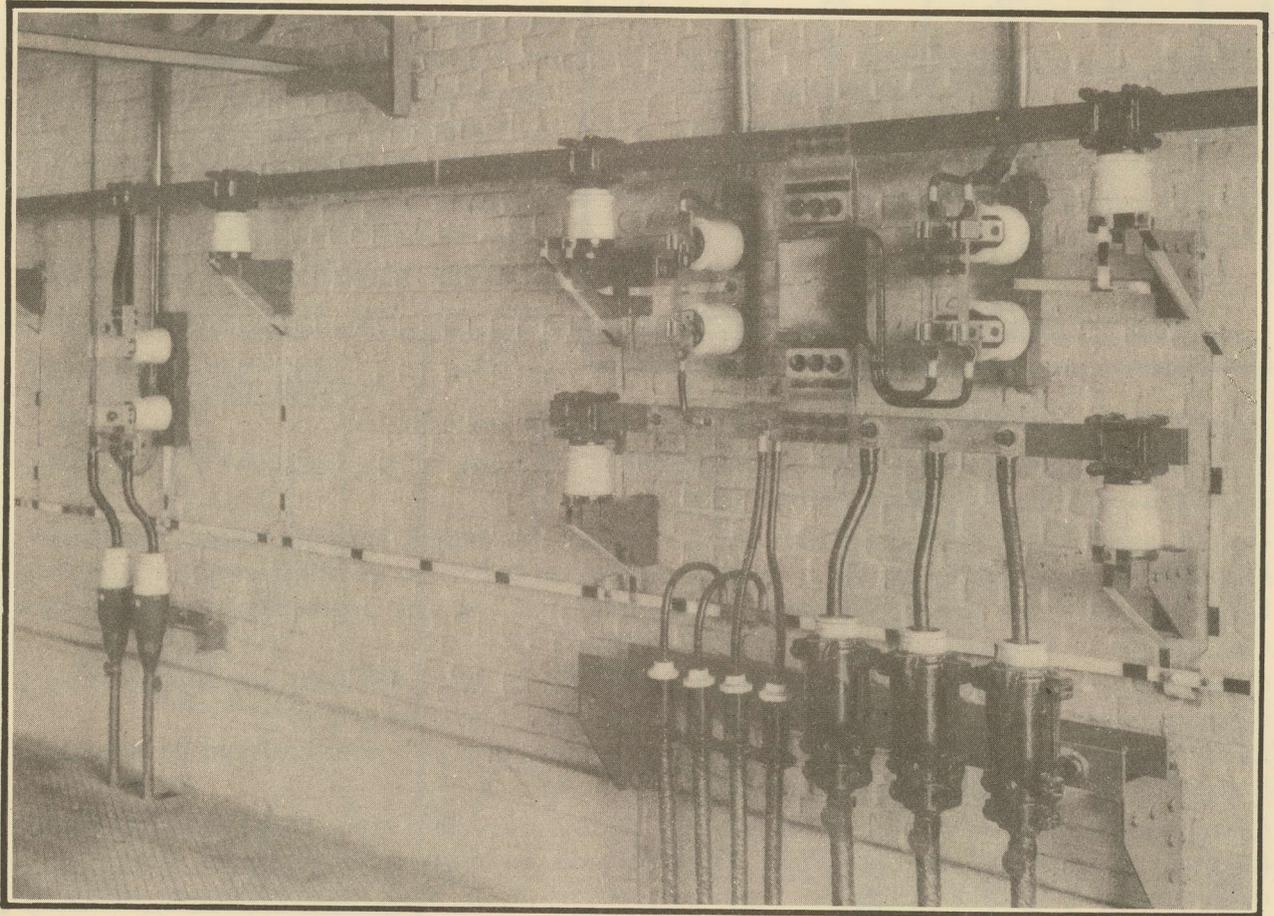
En face des sous-stations, chaque rail est connecté par deux câbles à une barre dénommée **barre collectrice**. Cette barre est à son tour reliée à une barre négative mise à la terre de la sous-station.

Cette barre négative est reliée au point neutre du secondaire des transformateurs au travers d'un ampèremètre enregistreur général.

Des shunts résonnants complètent l'équipement des sous-stations, ce qui permet d'éviter les perturbations dans les lignes téléphoniques voisines, qui, sans eux, résulteraient des phénomènes d'induction.

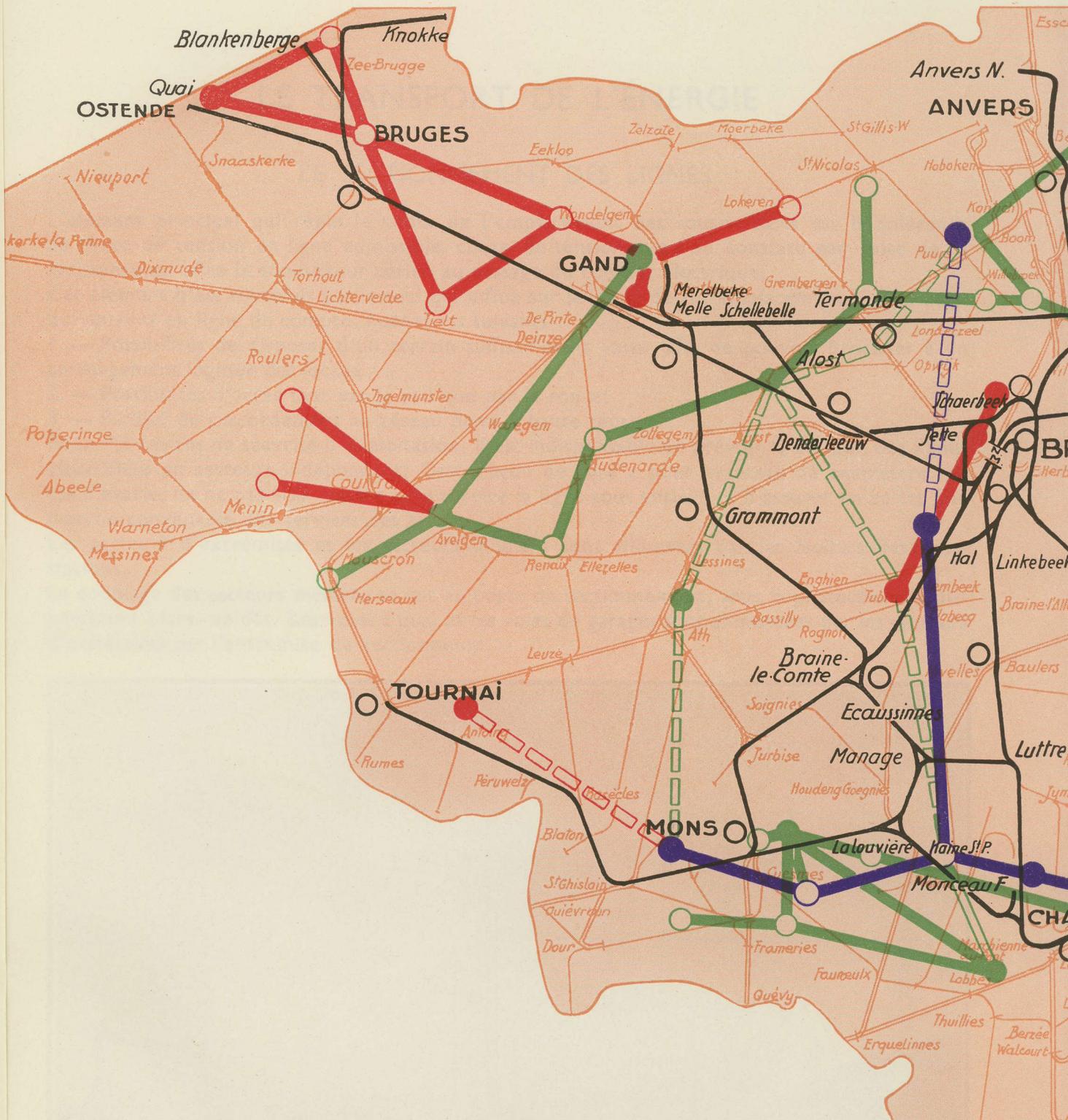
Les sous-stations sont également équipées d'une batterie d'accumulateurs chargée d'y alimenter le réseau d'éclairage en cas de coupure du courant du secteur.

Nous n'avons pu, forcément, que donner un aperçu sommaire de l'équipement des sous-stations, ayant dû nous borner aux éléments principaux. Elles sont cependant équipées également de nombreux services auxiliaires et les précautions contre les dangers d'électrocution sont poussées aussi loin que possible.



HAREN. — BARRES DE CONNEXIONS DE RETOUR DU COURANT





## CENTRALES ET RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| ● | ● | ● | Centrale électrique de distribution                          |
| ○ | ○ | ○ | Poste de transformation intéressé à l'alimentation du réseau |
| — | — | — | Lignes à électrifier   |
| — | — | — | Sous-station de traction                                     |
| — | — | — | Ligne à 150 kv. et plus                                      |
| — | — | — | Ligne à 50-70 kv.  |
| — | — | — | Ligne à 36 kv.   |
| — | — | — | Projet   |

# LE TRANSPORT DE L'ÉNERGIE

## LE SECTIONNEMENT DES LIGNES

L'élément principal qui règle le choix de l'emplacement des sous-stations est la tolérance de chute de tension en ligne admissible chute de tension que l'on constate par suite de la résistance qu'offre le conducteur aérien au passage du courant électrique.

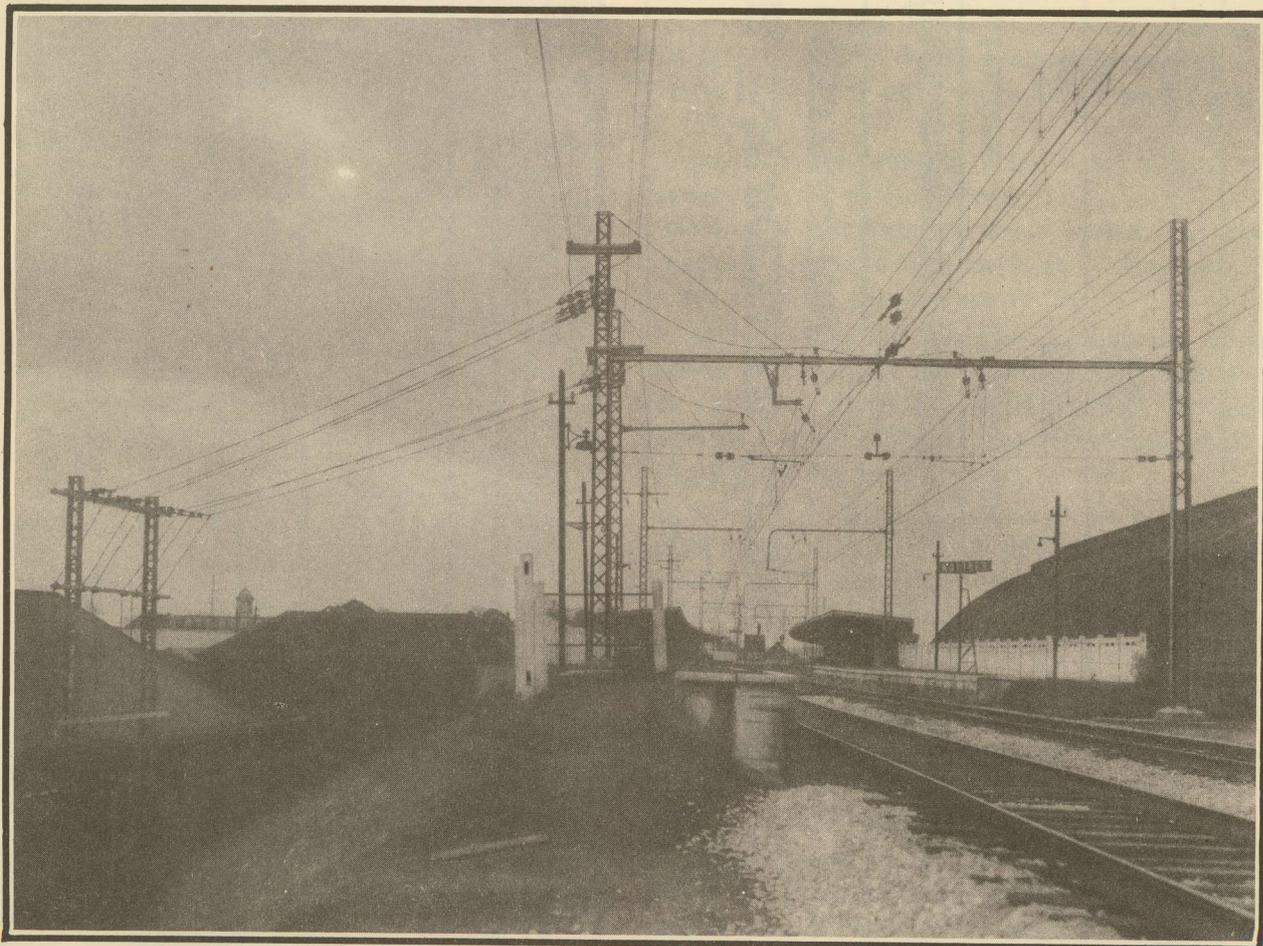
Cet élément n'est toutefois pas le seul qui influe sur le choix de cet emplacement. Parmi ceux qui entrent en ligne de compte, notons les suivants :

1. — Possibilités de disposer d'un terrain suffisamment vaste, afin de pouvoir procéder à un aménagement logique des locaux;
2. — Possibilités d'accès tant par le rail que par la route;
3. — Facilité de raccordement au réseau privé à haute tension.

Pour des raisons de sécurité d'exploitation, il est indispensable de prévoir la division des lignes électrifiées en secteurs indépendant. Cette façon de faire a pour avantage de permettre, en cas d'avarie, de ne pas voir mettre hors service la ligne tout entière et d'assurer en ce cas une marche convenable des services des trains.

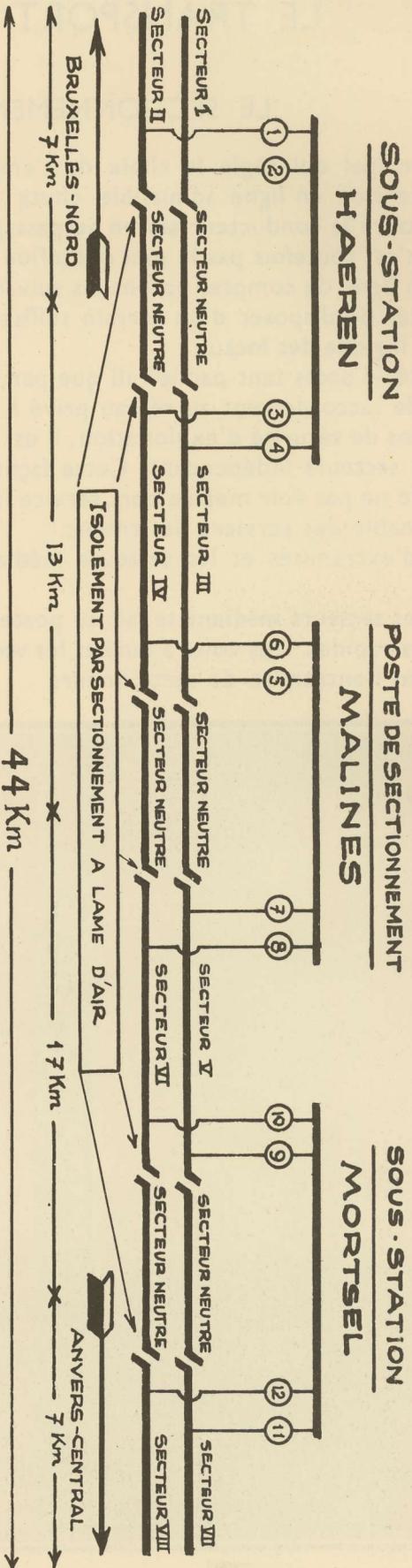
Les secteurs d'extrémités et les secteurs médians sont alimentés par les feeders des sous-stations.

Le couplage des **secteurs médians** se fait au poste de sectionnement, sous la protection de disjoncteurs ultra-rapides. Les voies à quai et les voies de garages sont alimentées par les **secteurs d'extrémités** par l'entremise de sectionneurs.

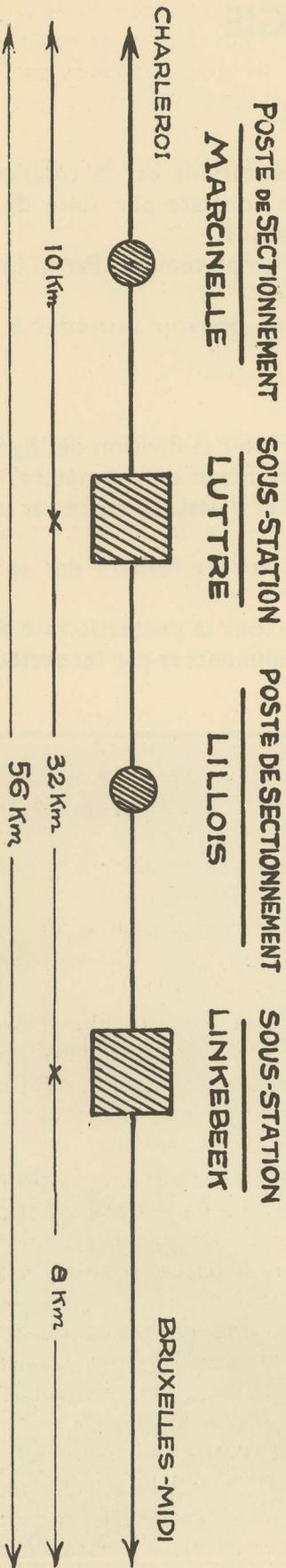


MALINES. — RACCORDEMENTS DU POSTE DE SECTIONNEMENT

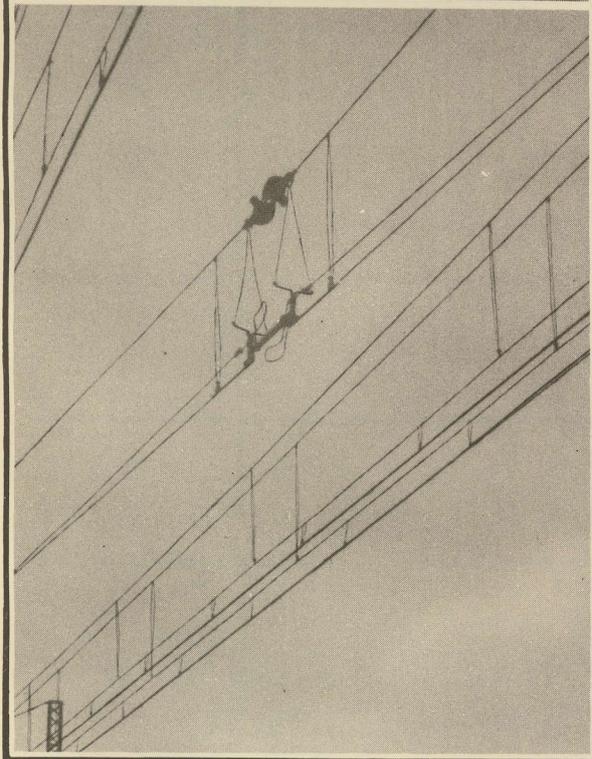
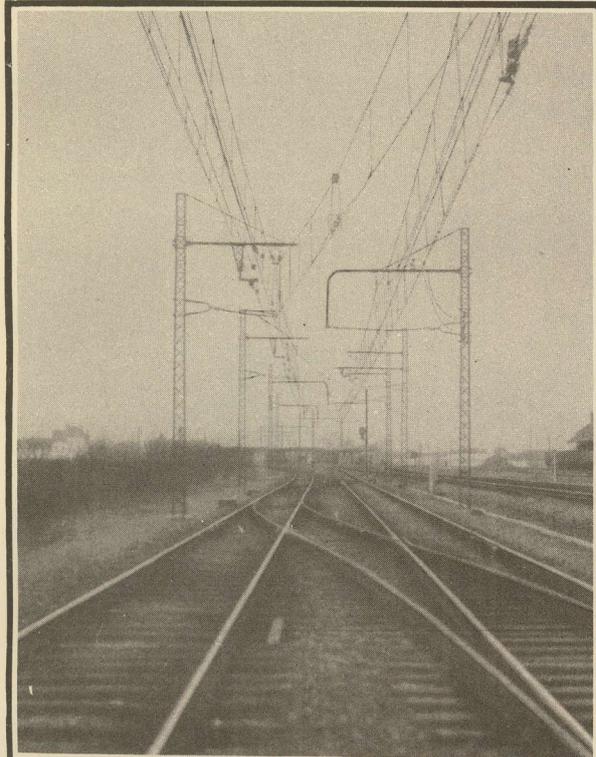
# SCHEMA SIMPLIFIE de la LIGNE BRUXELLES-ANVERS EN EXPLOITATION



# SCHEMA de la LIGNE BRUXELLES-CHARLEROI EN CONSTRUCTION



Au droit des sous-stations et des postes de sectionnement, on intercale des secteurs de faible longueur appelés **secteurs neutres**. Ces secteurs séparent les secteurs principaux et ont pour but d'éviter la mise hors tension de secteurs de grande longueur. Ils sont alimentés par un sectionneur auxiliaire mis en série avec le disjoncteur ultra-rapide d'alimentation du secteur suivant, dans le sens de la circulation des trains.



SECTIONNEMENT DE LA LIGNE

Au-dessus : Liaison entre deux voies parallèles

Au-dessous : Isolateur de sectionnement

Les liaisons sont habituellement montées en catenaire simple.

Celle-ci est coupée en deux, par un isolateur de sectionnement. Chaque moitié de la liaison ainsi coupée est raccordée à la catenaire de la voie voisine.

L'équipement des stations se complique du fait que les risques d'avaries à la catenaire y sont plus grands.

Les manœuvres, ainsi que les démarrages fréquents, en font des points particulièrement sensibles et les incidents y sont plus fréquents. D'autre part, il faut qu'un train quittant une voie à quai ne s'engage pas sur un secteur isolé provoquant son immobilisation.

On remédie à ce risque en alimentant les voies à quai par le secteur de la voie que va emprunter le train.

Le schéma de la page 16 montre comment le sectionnement des lignes et liaisons avait été réalisé à la station de Bruxelles-Nord, lors de la mise en service de la ligne Bruxelles-Anvers, en 1935.

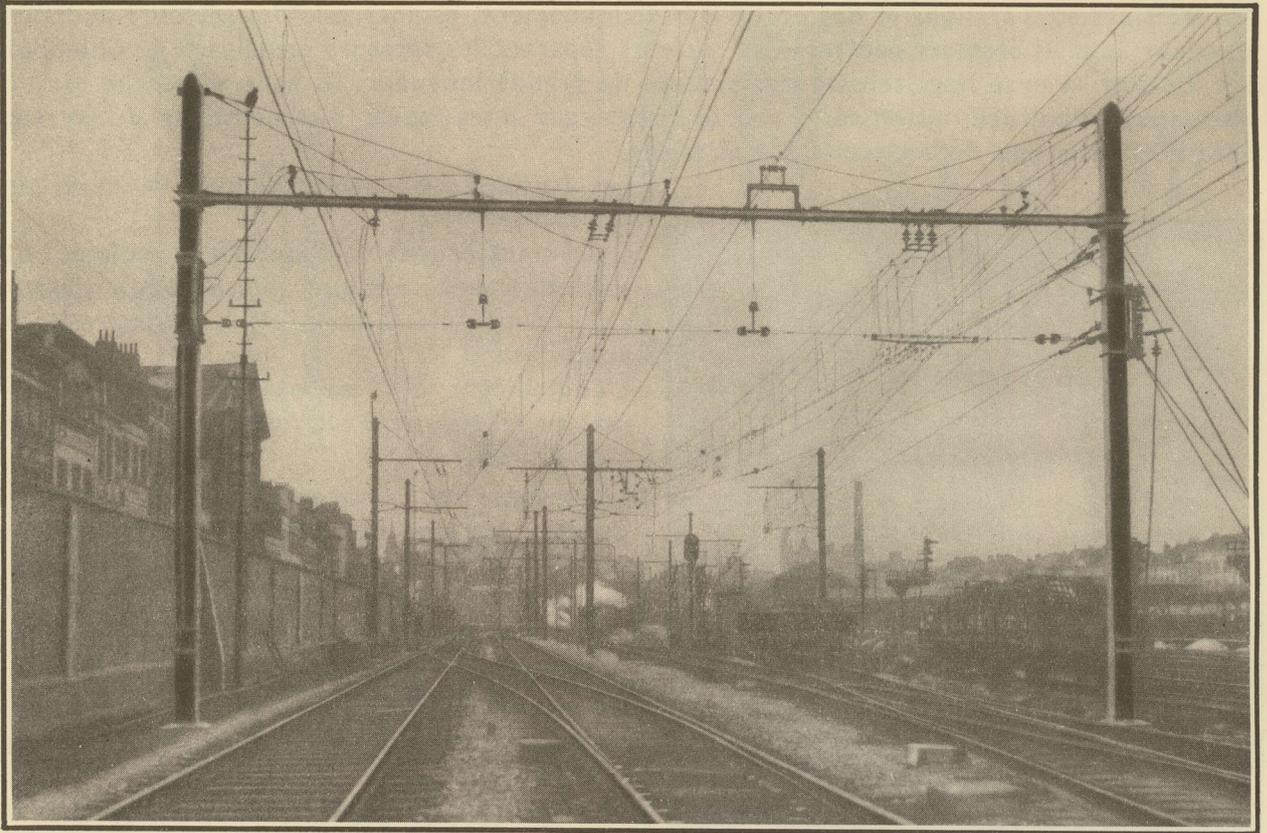
L'installation comportait trois voies à quai en impasse et une voie de garage.

L'isolement des sections était réalisé par des isolateurs de sectionnement et l'alimentation de ces sections par des sectionneurs.

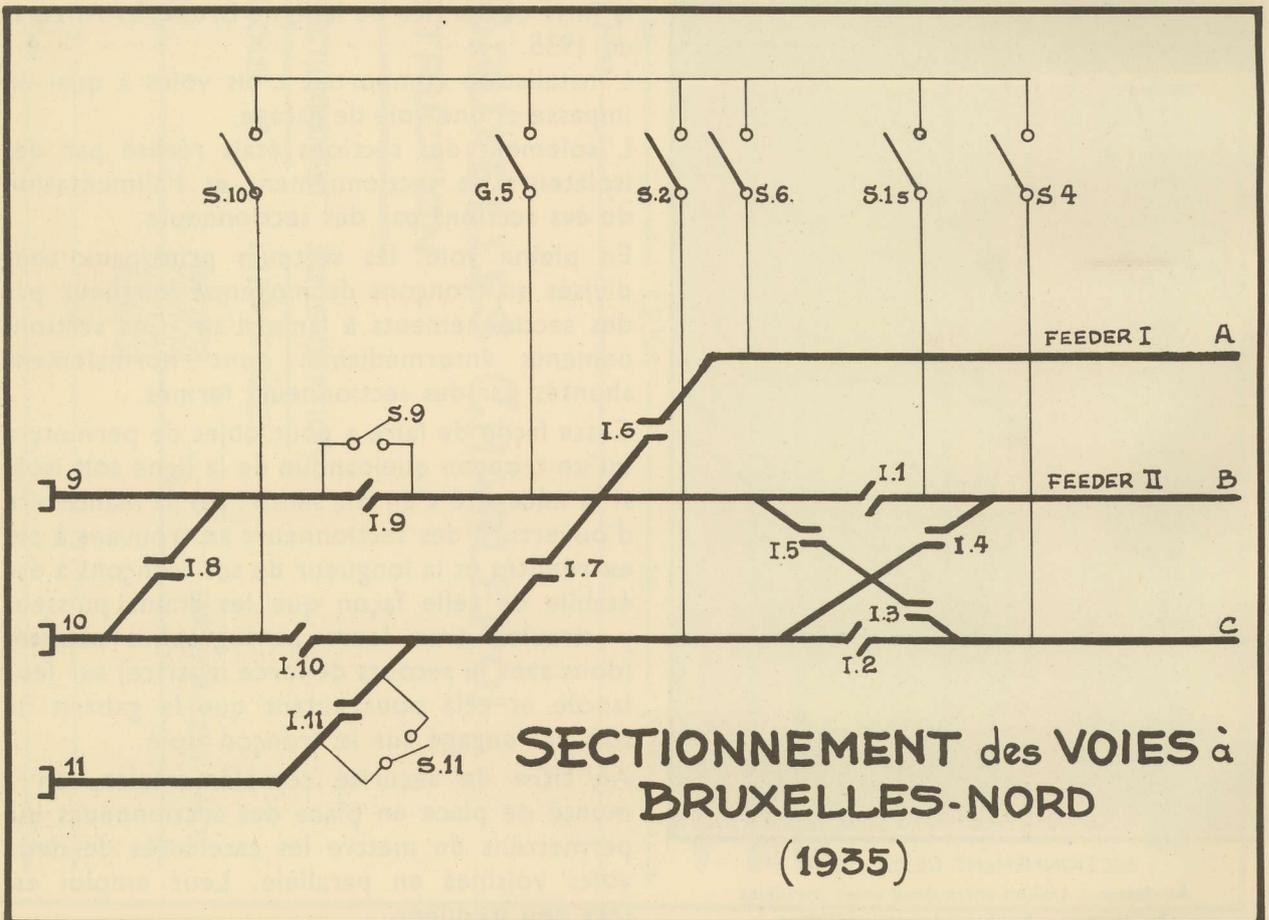
En pleine voie, les secteurs principaux sont divisés en tronçons de moyenne longueur par des sectionnements à lame d'air. Ces sectionnements intermédiaires sont normalement shuntés par des sectionneurs fermés.

Cette façon de faire a pour objet de permettre qu'un tronçon quelconque de la ligne soit isolé si la nécessité s'en fait sentir, par la manœuvre d'ouverture des sectionneurs se trouvant à ses extrémités et la longueur de ses tronçons a été établie de telle façon que les trains puissent y circuler avec leurs pantographes abaissés (donc sans le secours de force motrice) sur leur lancée et cela pour autant que le gabarit ne soit pas engagé sur le tronçon isolé.

Au titre de sécurité complémentaire, on a monté de place en place des sectionneurs qui permettent de mettre les catenaires de deux voies voisines en parallèle. Leur emploi est très peu fréquent.



BRUXELLES-NORD. — LES CATENAIRES DES VOIES D'ENTRÉE



## LES LIGNES DE CONTACT

Dans le système à traction électrique, la captation du courant assurant la force motrice des locomotives électriques ou des automotrices se fait à des vitesses élevées.

Il faut que, malgré ces vitesses, l'établissement des lignes soit conçu de telle sorte que la transmission du courant de la ligne aérienne au pantographe se fasse de la façon la plus parfaite. Le seul organe de captation qui, aux grandes vitesses, ait donné satisfaction dans l'exploitation des voies ferrées électrifiées est l'archet monté sur pantographe.

Si sur les lignes de tramways où les vitesses restent relativement faibles, les flèches et les archets utilisés peuvent suivre sans difficulté les dénivellations du fil de contact de poteau à poteau, il n'en est pas de même du pantographe.

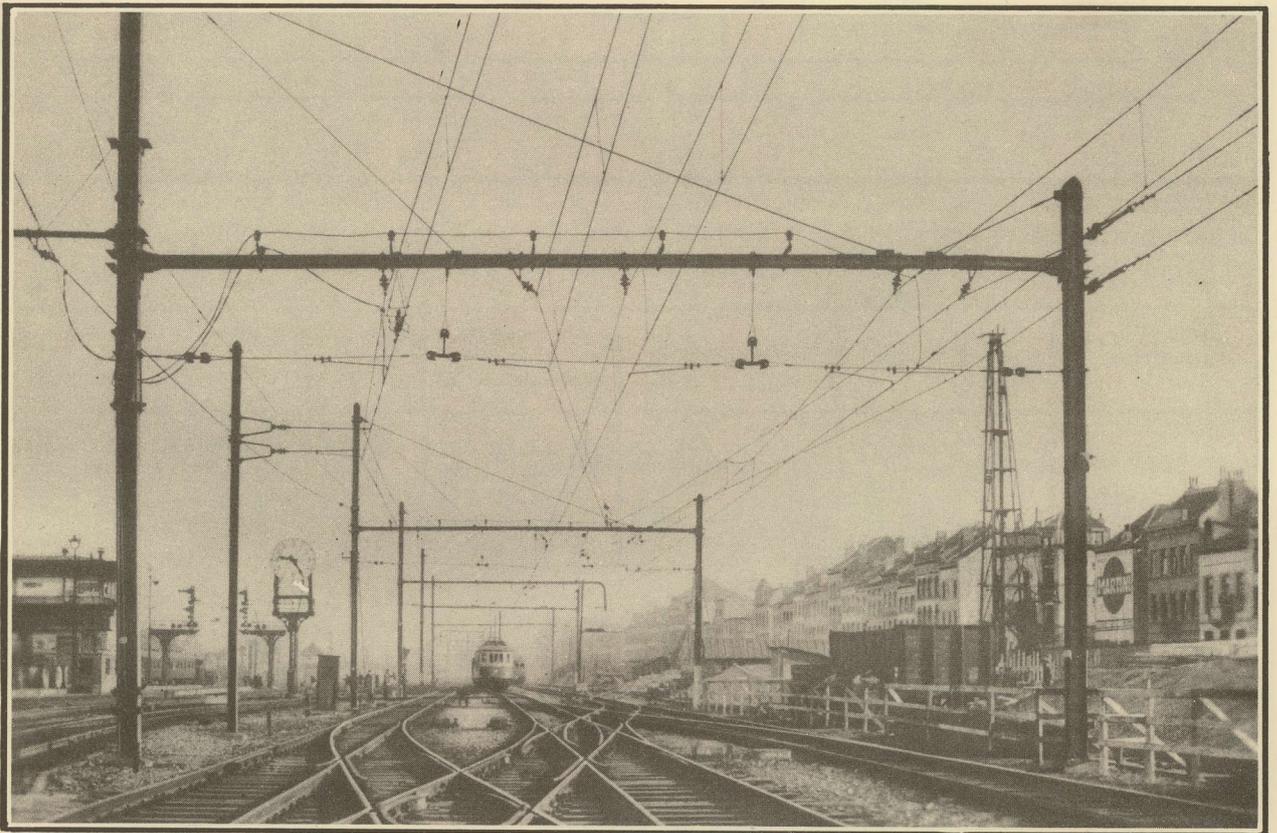
Pour éviter des pertes de contact, il faut par conséquent, que la suspension du fil d'alimentation en contact avec l'archet du pantographe se fasse de telle façon que les dénivellations de ce fil soient aussi faibles que possible, ce qui ne peut s'obtenir qu'en assurant la suspension du fil par des points très rapprochés.

Il ne peut être question de placer des poteaux à de si courts intervalles, aussi a-t-on suspendu les fils de contact à d'autres fils, posés avec une flèche importante, par des pendules espacés. Ce type de suspension porte le nom de **suspension catenaire**.

Les pantographes des locomotives électriques et des automotrices font subir, d'autre part, une forte poussée localisée au contact du fil, ce qui pourrait occasionner également une dénivellation de la ligne.

Pour éviter cet effet, on y a remédié en soumettant le fil de contact à une tension mécanique constante, calculée de façon à éviter son soulèvement par les pantographes.

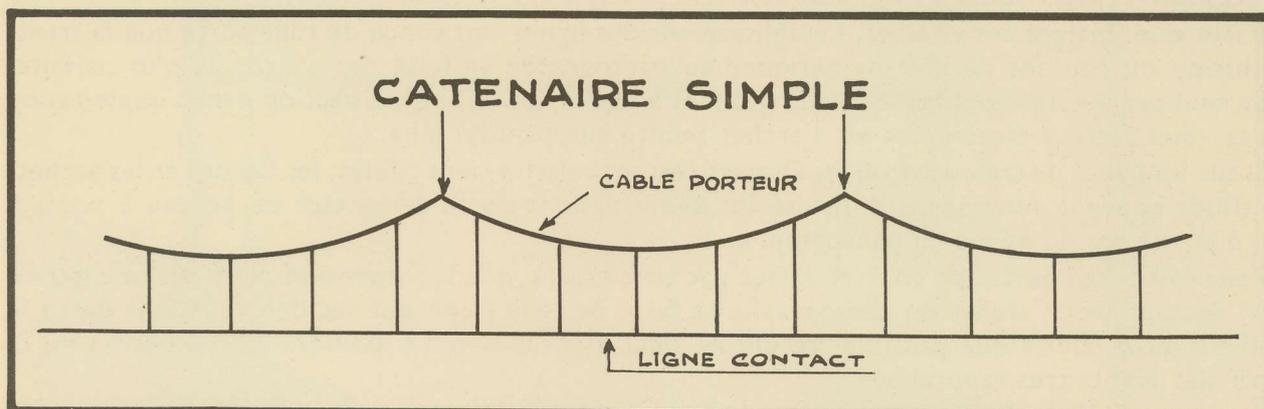
Les lignes ainsi conçues ont donné toute satisfaction au cours de l'exploitation de la ligne électrifiée Bruxelles-Anvers. Leur usage est du reste devenu universel et toutes les installations ferroviaires électrifiées récentes sont équipées par la suspension catenaire.



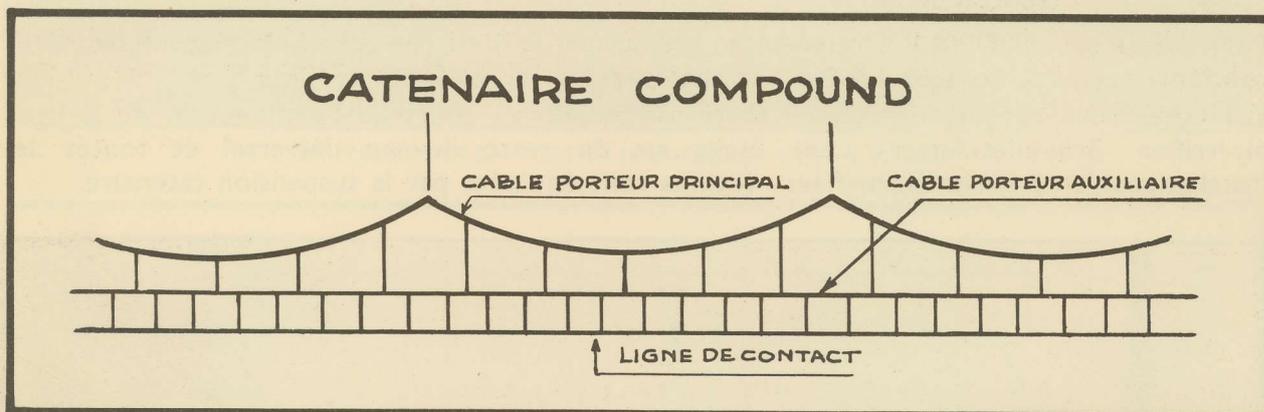
BRUXELLES-NORD. — LES LIGNES DE CONTACT (1939)

Il existe deux types de lignes de contact avec suspension caténaire. Ce sont :

1. — La **caténaire simple**, qui comporte un câble porteur auquel se trouve suspendu un ou deux fils de contact.



2. — La **caténaire compound**, qui comprend un câble porteur dit câble porteur principal, celui-ci porte un deuxième câble porteur appelé câble porteur auxiliaire et auquel est suspendu un ou deux fils de contact.



Le système de caténaire utilisé à la Société Nationale des Chemins de fer Belges sur la ligne Bruxelles-Anvers présente les caractéristiques suivantes :

Fonctions	Nature du métal	Section en m <sup>2</sup>	Conductibilité en % du cuivre électrolytique à 20°	Charge de rupture en kg/mm <sup>2</sup>	Tension de pose à 20° en kg.
Porteur principal	bronze phosphoreux	94,13 mm <sup>2</sup> en fil de 18/10 de diamètre	0,75	68 — 75	1.385
Porteur auxiliaire	Cd 1/2 % minimum	72 mm <sup>2</sup> section ronde	0,93	42,5 — 44,7	625
Fils de contact	Cuivre électrolytique	section en forme	1,00	38	2 × 1.000

Ce type de caténaire est lourd et compliqué, mais il assure une captation très satisfaisante du courant de traction.

La hauteur normale des fils de contact au-dessus du rail est de 5 m. 50 lorsque la ligne se trouve en pleine voie. Dans les gares, cette hauteur atteint 6 mètres. Elle descend à 4 m. 80 sous certains ouvrages d'art qui existaient avant l'électrification de la ligne Bruxelles-Anvers.

Notons encore quelques caractéristiques de la ligne caténaire :

1. — La distance entre pendules est de 4 m. 50;
2. — La portée normale entre poteaux, en ligne droite est de 63 mètres.

Lorsque la voie est en courbe et si le rayon de courbure est inférieur à 1.400 mètres, la portée est réduite de la façon suivante pour différents rayons de courbure :

de 1.400 à 1.000 mètres	= 54 mètres
1.000 à 750 mètres	= 45 mètres
750 à 450 mètres	= 36 mètres
450 à 300 mètres	= 27 mètres

Pour éviter les points anguleux et réaliser le maximum de souplesse dans l'établissement de la ligne de contact, la Société Nationale des Chemins de fer Belges a utilisé :

1. — Pour la suspension du câble porteur auxiliaire au câble porteur principal, des pendules espacés de 4 m. 50;

2. — Pour soutenir les deux fils de contact au porteur auxiliaire, des pendules cavaliers de 20 centimètres de hauteur espacés également de 4 m. 50.

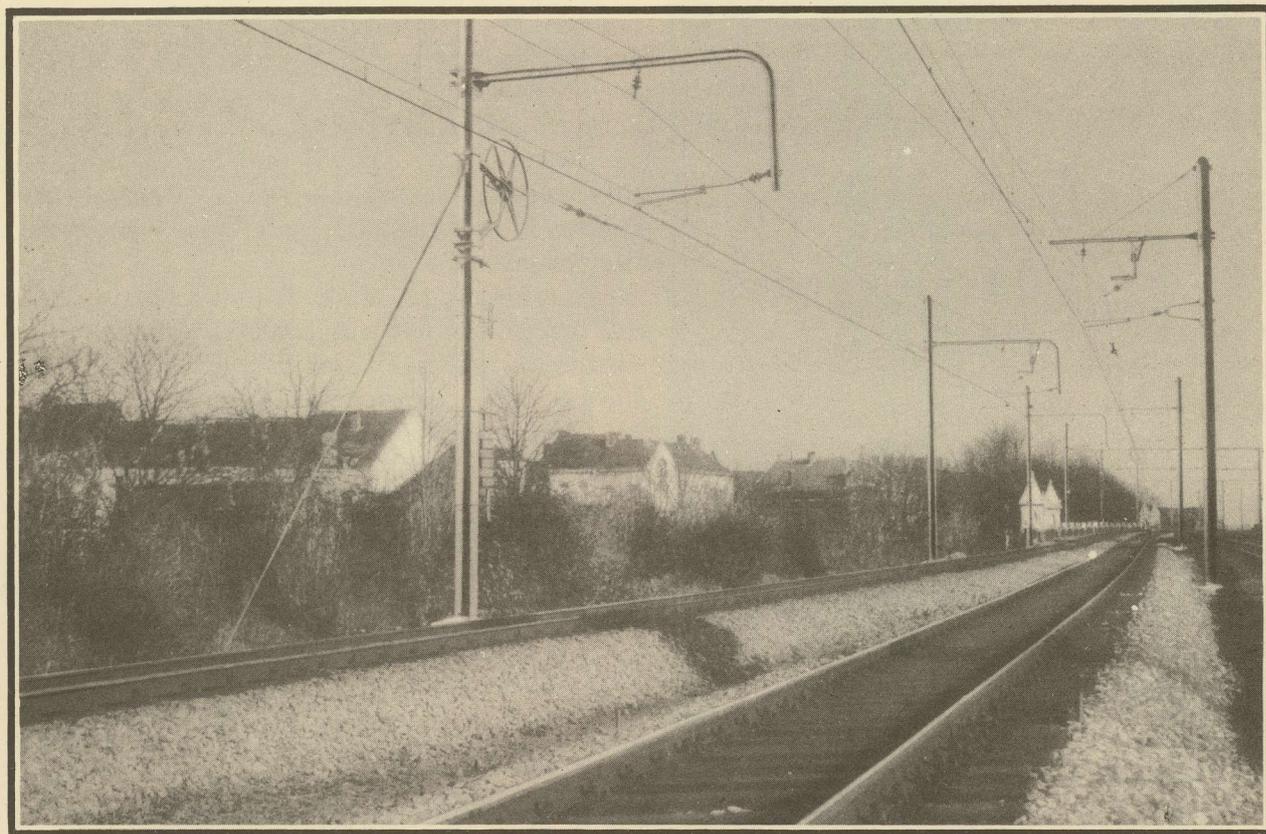
Comme ces pendules cavaliers sont placés en quinconce, il y a, sur la ligne, un pendule cavalier tous les 2 m. 25.

Le câble porteur est fixé aux consoles par l'intermédiaire d'isolateurs à double jupe et à noyau plein. La construction de cet isolateur lui permet de se placer dans tous les sens par rapport à la traverse d'une part et d'autre part, le berceau porte-câble peut osciller dans un plan parallèle au câble porteur principal.

Le porteur principal de même que le porteur auxiliaire ne sont pas sectionnés sur toute la longueur d'un tronçon de caténaire. Ils sont fixés à chaque poteau.

Notons que les fils de contact présentent habituellement une section en forme de 8. La boucle supérieure du 8 étant plus petite que celle de la boucle inférieure. Ils se prêtent facilement à l'emploi de pinces ou de griffes.

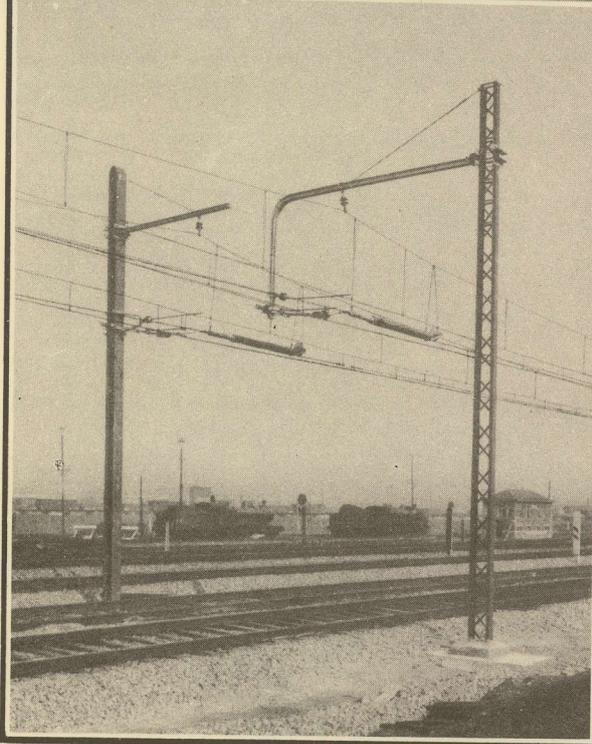
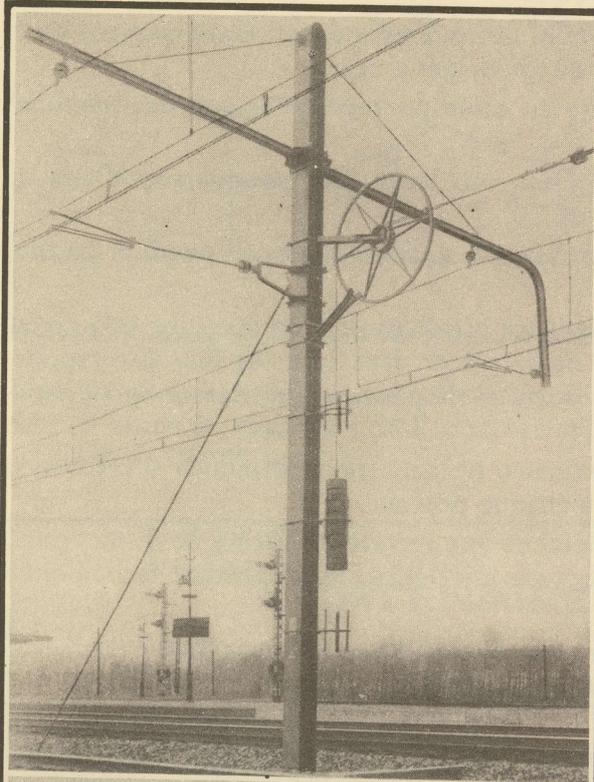
Suivant le mode de captation du courant de traction, sa face inférieure est soit arrondie (trolley), soit plate et large (archet, rouleau ou pantographe avec archet).



VILVORDE. — LA SUSPENSION CATENAIRE A L'ENTRÉE DE LA STATION

Les fils de contact doivent rester sensiblement horizontaux. Ils sont notamment soumis à des contraintes résultant :

1. — De l'influence de la température ambiante;
2. — De celle du vent;
3. — Et de celle, non négligeable, du givre.



EQUIPEMENT TENDEUR DE CATENAIRE

Au-dessus : Équilibreur type Siemens

Au-dessous : Appareil Iten

Les câbles porteurs principaux et auxiliaires étant fixés à chaque poteau, leur flèche varie à chaque portée suivant la température.

Les fils de contact qui y sont suspendus suivraient ces flèches si l'on n'avait pas recours au réglage automatique de leur tension.

On a limité à 1.500 mètres la longueur des fils de section de catenaire. Cette longueur est celle de fabrication des fils de contact.

Les câbles porteurs principaux et porteurs auxiliaires sont ancrés aux extrémités de chaque tronçon. Les fils de contact, eux, sont sous une tension constante réglée automatiquement en fonction de la température.

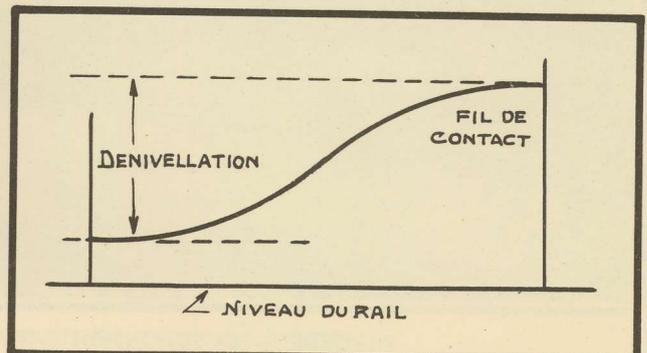
Nous avons vu précédemment que la hauteur de la ligne de contact n'était pas constante au-dessus du niveau du rail. Cette dénivellation va de 4 m. 80 à 6 mètres.

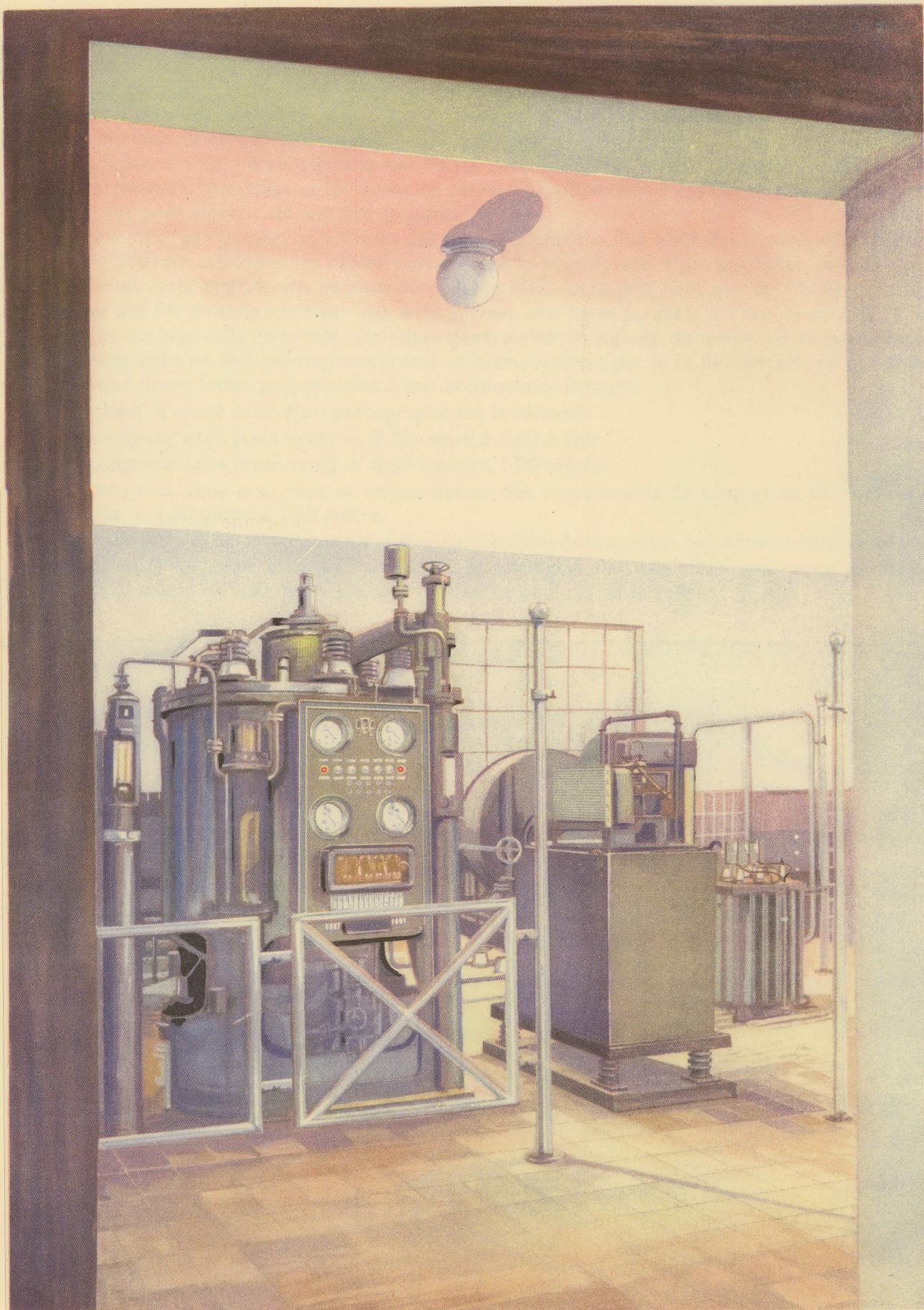
Aux vitesses à laquelle les lignes sont parcourues et qui dépassent 120 kilomètres à l'heure, des décolllements de pantographes, avec tous les risques de production d'arcs destructeurs, pourraient se produire si les dénivellations étaient brusques, ces décolllements résultant de l'inertie qu'offrent les pantographes.

Pour les éviter, les relèvements ou les abaissements des fils de contact sont établis progressivement et s'étendent sur une distance d'environ 250 mètres pour une dénivellation de 50 centimètres.

Ce relèvement présente dans le plan vertical, une courbe suivie d'une contre-courbe et évite ainsi les décolllements, les chocs et les pressions élevées.

Le croquis ci-dessous donne une idée de ce qui est réalisé dans la zone de relèvement.





SOUS-STATION DE TRANSFORMATION DE HAREN — LES REDRESSEURS

La position horizontale des fils de contact est fonction de la position moyenne du câble porteur principal.

A une flèche plus grande correspondra par conséquent une tension plus faible, d'où il résultera que la section des câbles en sera d'autant réduite et que les supports pourront être moins robustes, mais ils seront plus hauts.

L'on adoptera pour l'établissement des lignes dans les gares, où les catenaires sont tendues transversalement aux voies et les lignes de contact parallèlement à ces dernières, des supports élevés qui permettront de réduire le poids.

En pleine voie, par contre, on utilisera des supports plus bas, car pour des facilités d'entretien, on doit pouvoir atteindre les câbles porteurs de la plate-forme d'un wagonnet circulant sur les voies et cette plate-forme ne peut être, de ce fait, placée plus haut que les fils de contacts. La pose des fils de contact n'est pas faite suivant une ligne parallèle à l'axe de la voie. Si sa direction est bien celle de la voie, son allure générale est en zig-zag, de manière à ce que l'archet du pantographe ne soit pas toujours frotté au même endroit par le fil de contact, ce qui créerait une usure locale préjudiciable à son bon fonctionnement.

La longueur d'usure utile d'un pantographe est la suivante :

1. — Longueur utile (sans vent) = 0,40 mètre à 0,60 mètre;
2. — Longueur utile (avec vent) = 0,80 mètre à 1,00 mètre;
3. — Longueur utile avec vent et compensation des mouvements de tangage et de roulis des véhicules = 1,00 mètre à 1,20 mètre.

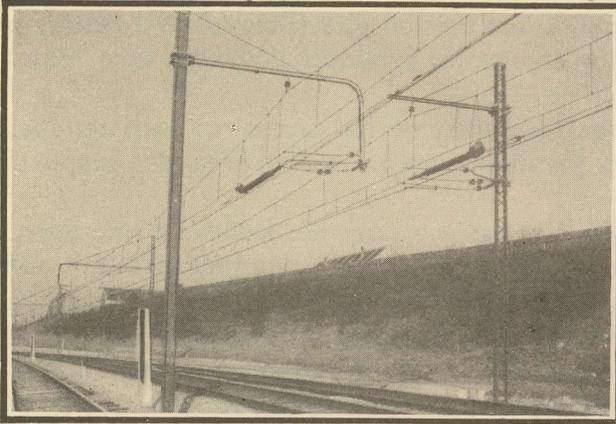
Le désaxement des fils de contact est réalisé par l'emploi de dispositifs appelés anti-balancements.

En courbe, la longueur utile du frotteur du pantographe se situe dans une zone comprise entre 0,20 mètre et 0,30 mètre de part et d'autre de l'axe de la voie.

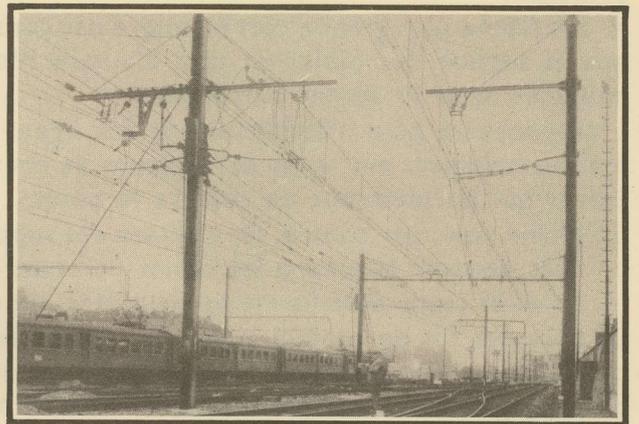


ANVERS-CENTRALE. — LES PORTIQUES

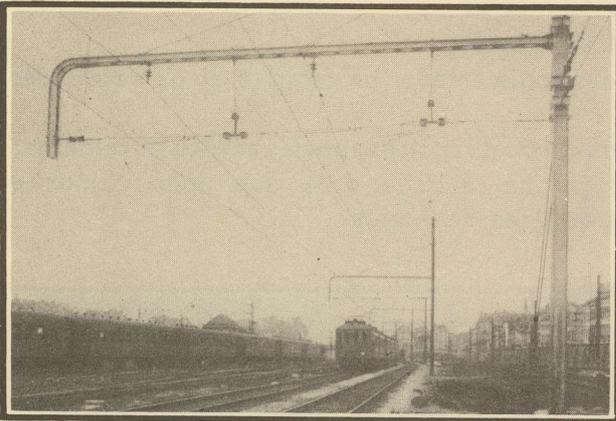
## TYPE DE CONSOLES SUPPORTS DE CATENAIRES



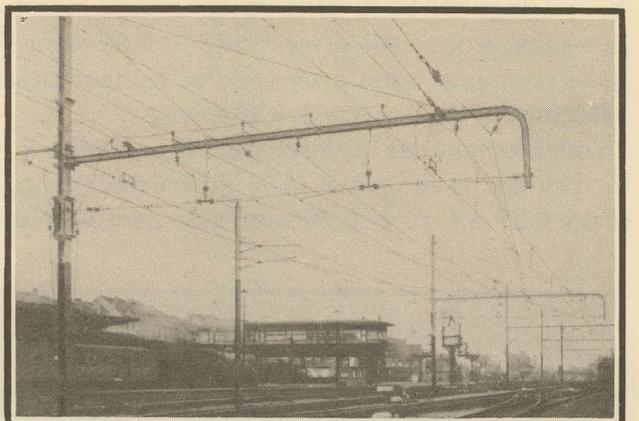
UNE CONSOLE SIMPLE DROITE  
UNE CONSOLE SIMPLE A BEC



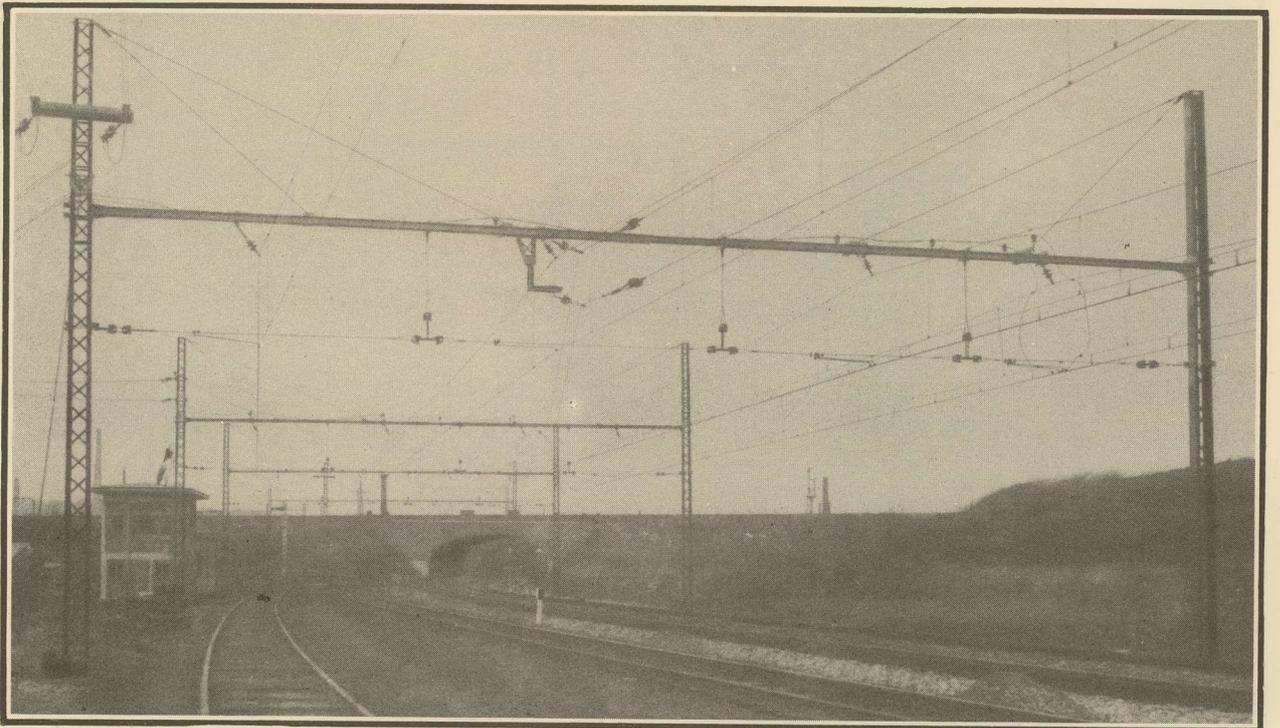
UNE CONSOLE SIMPLE DROITE  
DEUX CONSOLES SIMPLES DROITES



CONSOLE DOUBLE A BEC



CONSOLE TRIPLE A BEC



PORTIQUE DU TYPE RIGIDE

## LE SUPPORT DE LA SUSPENSION CATENAIRE

A l'époque de la construction de la première ligne électrifiée en Belgique par la Société Nationale des Chemins de fer Belges, c'est-à-dire en 1934, lors de l'électrification de deux des quatre voies de la ligne Bruxelles-Anvers, il a été imposé comme règle de conduite d'adopter partout ou faire se pouvait, un équipement indépendant pour chaque voie.

Si ce mode de construction offre l'inconvénient d'être plus onéreux d'établissement, il a toutefois l'avantage, à l'usage, d'apporter une plus grande garantie quant à la sécurité et à la régularité de l'exploitation.

Un accident, en effet, entraînant la chute d'un poteau, amenant la destruction partielle de la ligne aérienne, n'affectera dans la majorité des cas, que le trafic d'une seule voie, permettant d'assurer de façon plus ou moins normale les services. C'est également pour un motif identique de sécurité que l'on ne s'est pas servi des poteaux comme support des signaux.

Il n'a toutefois pas été possible de respecter le principe énoncé ci-dessus sur toute la longueur de la ligne, car à certains endroits, les gabarits de la voie électrique et celui de la voie à vapeur qui la longe ne permettaient pas le placement entre elles des supports de catenaires.

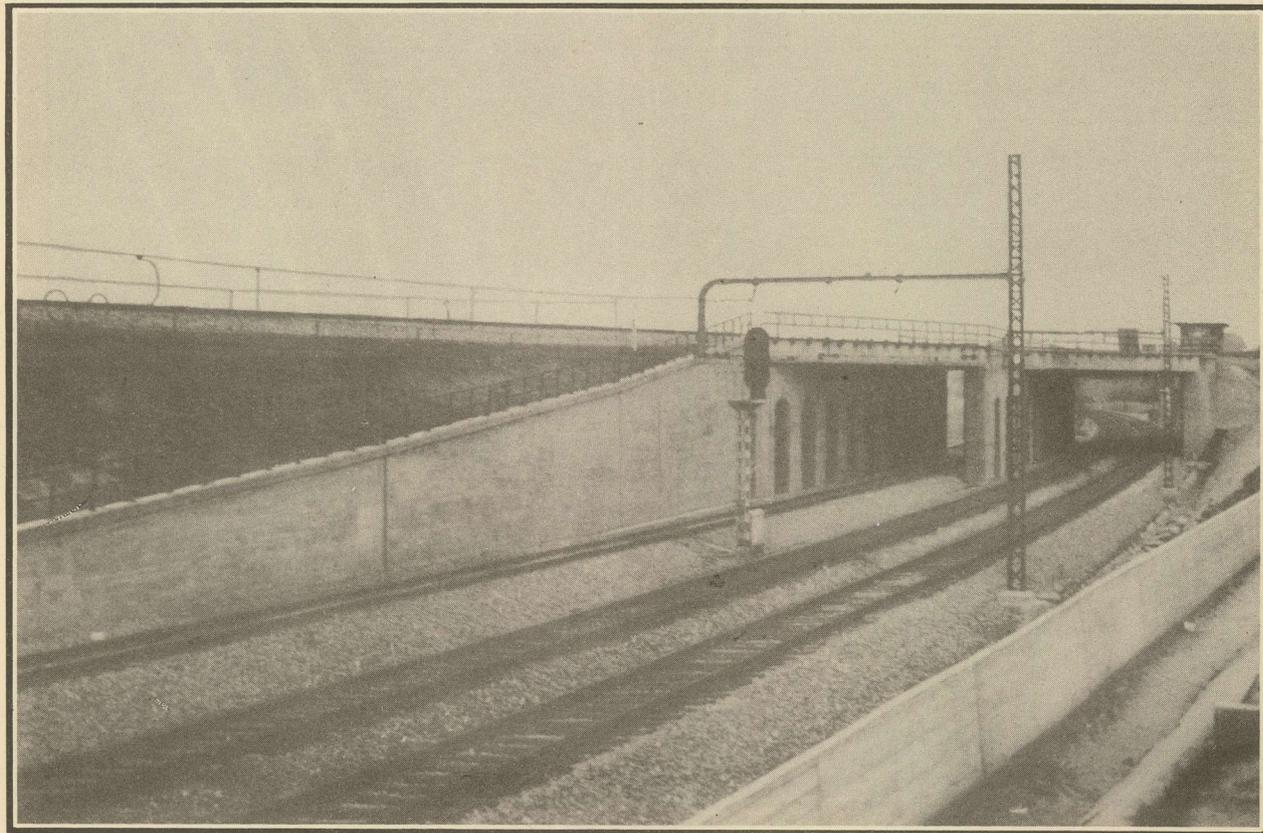
On a été amené à faire usage, soit de poteaux à consoles doubles et même parfois triples, soit de poteaux à consoles doubles établis entre les deux voies électriques. Dans les gares, il a été utilisé des portiques du type rigide.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de portiques souples, sur le réseau belge. Toutefois, il sera fait usage de ce type de portique dans les grandes gares, au cours de l'électrification de la partie du réseau actuellement en cours.

Les consoles ont des longueurs qui varient entre 3 m. 30 minimum et 8 m. 50 maximum.

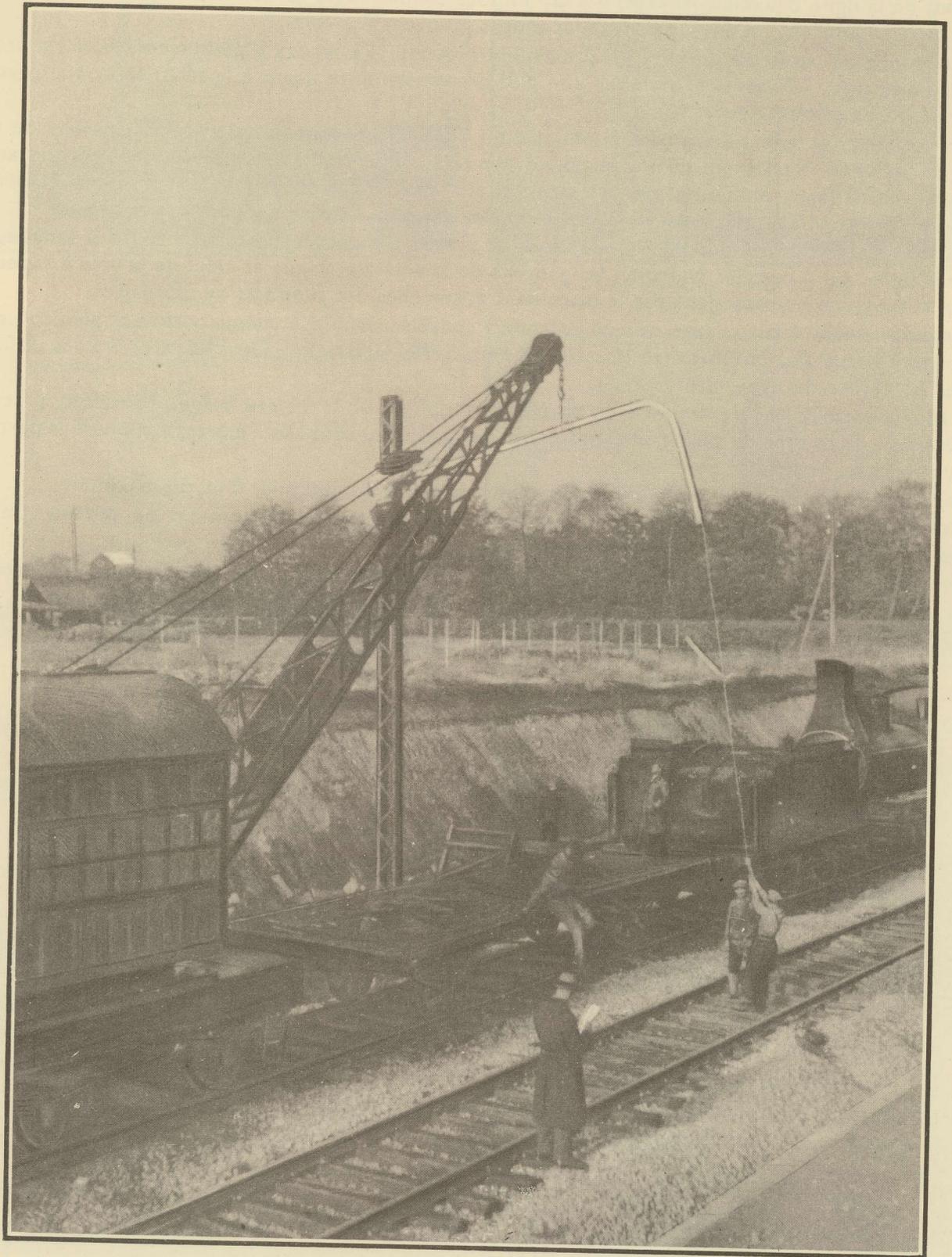
Un ou plusieurs haubans retiennent leur extrémité extérieure, au sommet du poteau. Dans ces haubans est intercallé un tendeur de réglage.

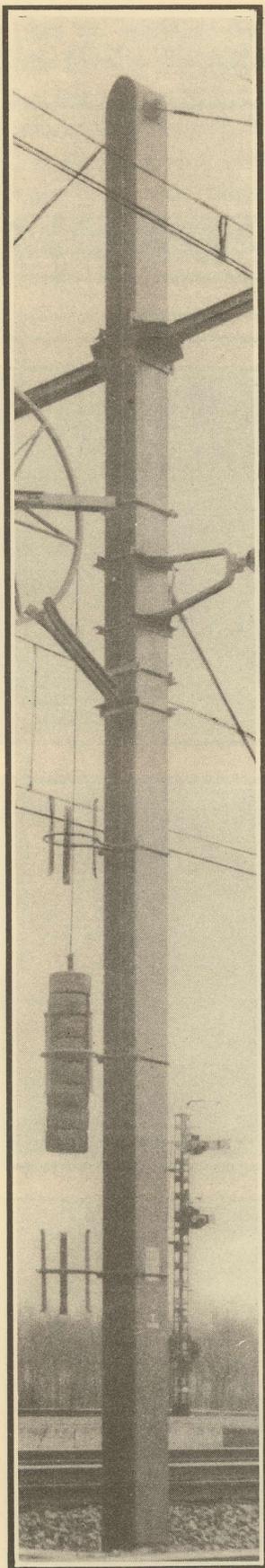
On a pris la précaution d'intercaler entre les poteaux et les consoles des plaques élastiques.



SCHAERBEEK. — LE CHEVALEMENT

LA POSE DES POTENCES SUR LES SUPPORTS DE CATENAIRES  
LORS DE L'ÉLECTRIFICATION DE LA LIGNE BRUXELLES-ANVERS (1934)





TYPE DE POTEAUX  
EN POUTRELLES GREY

L'on a utilisé trois types de poteaux différents :

1. — Poteaux métalliques constitués de fer U assemblés par des fers plats soudés;
2. — Poteaux métalliques faits d'une poutrelle Grey; et enfin, à titre d'essai de
3. — Poteaux en béton vibrés.

De l'expérience acquise, il semble résulter que si le montage et le transport des poteaux en béton présente plus de difficultés, leur entretien est plus facile, car ils ne doivent pas, comme les poteaux métalliques, être repeints tous les dix ans.

La protection des poteaux métalliques et des consoles contre les agents atmosphériques a dû être particulièrement poussée, car les difficultés de peinture en cours d'exploitation sont considérables.

Les poteaux métalliques ont reçu quatre couches de couleur et les potences, après avoir été galvanisées à chaud, deux couches.

Les poteaux ont été implantés, de façon générale, de manière à ce qu'il existe une distance de 1 m. 75 entre le parement du poteau et l'axe du rail le plus proche.

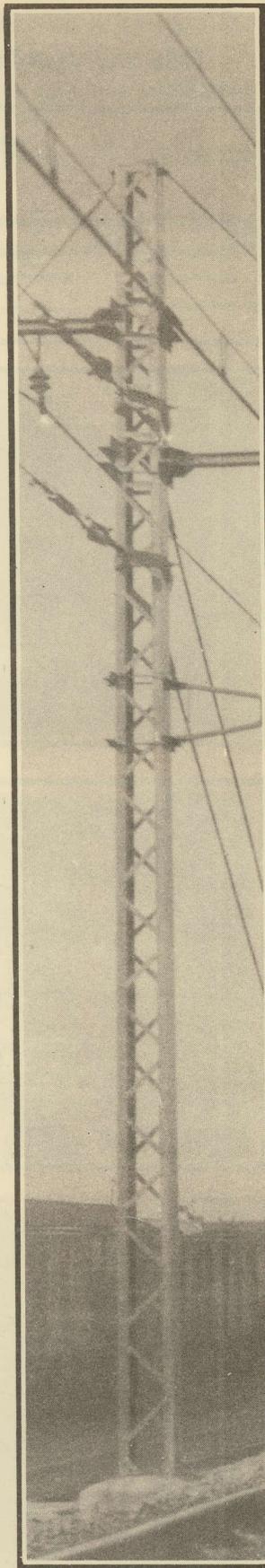
Cette distance a parfois dû être augmentée pour améliorer la visibilité des signaux ou pour permettre le maintien de la piste de circulation longeant les voies.

Les massifs de fondation en béton ont été adaptés au terrain. Le logement dans ce massif, destiné à recevoir le poteau a 1 m. 30 de profondeur.

Pour les travaux d'électrification en cours, la S.N.C.B. utilise un train bétonneur moderne, qui, sur la section Bruxelles-Charleroi, a donné toute satisfaction, tant au point de vue rapidité que facilité d'exécution.

Ce train permet de déverser en deux heures de temps, 120 mètres cubes de béton, le long de la voie, pour réaliser les massifs de fondation des pylônes soutenant les fils de contact de la caténaire.

Pour éviter le déplacement de la caténaire sous l'influence du vent, ainsi que pour obtenir une usure normale des frotteurs de pantographes, il est fait usage de biellettes isolées ou antibalçants. Celles-ci agissent sur le porteur auxiliaire et parfois en courbe, sur les fils de contact. Elles travaillent toujours à la traction et sont montées soit sur les poteaux ou leurs consoles, soit sur des câbles transverseaux.



TYPE DE POTEAUX  
SOUDÉS

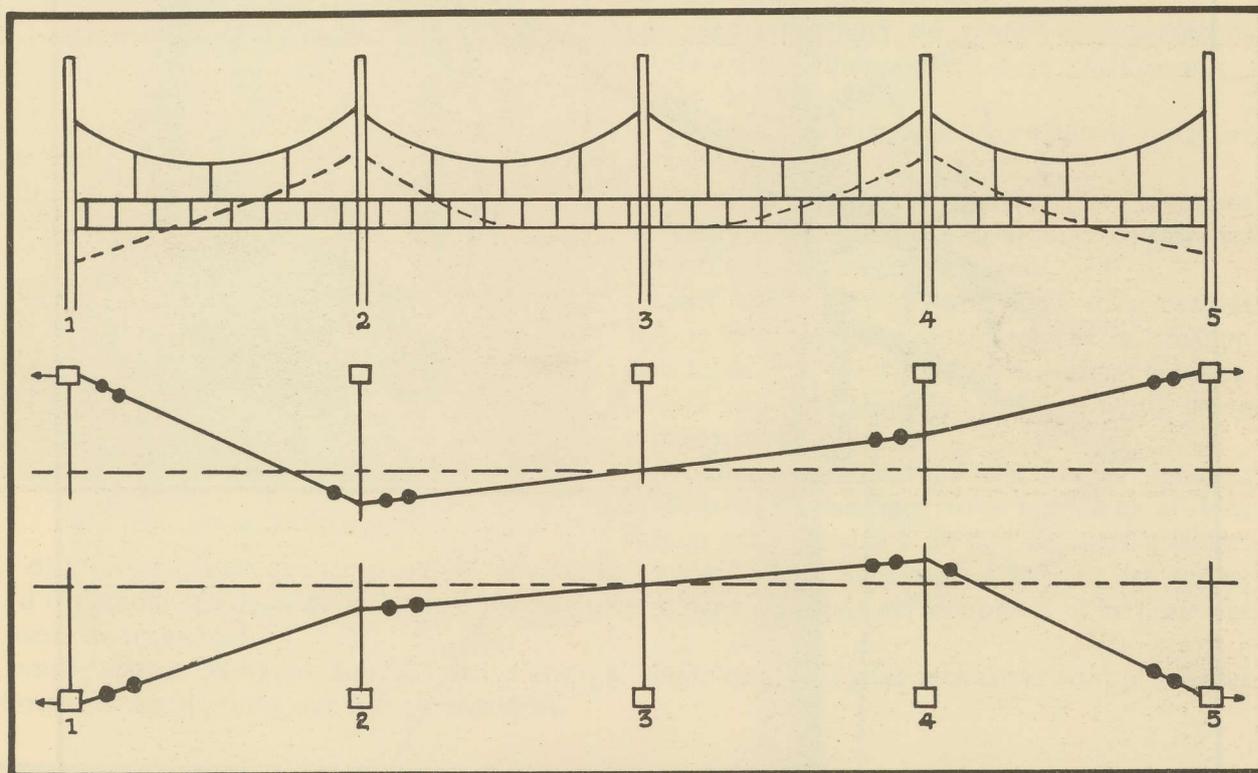


Lors du montage de la ligne catenaire, les bobines de câbles et celles des fils de contact sont placées sur des wagons permettant un déroulage aisé.

Le déroulage se fait à partir d'un poteau ancreur et la tension est réglée par une locomotive assurant la tension des câbles et fils par l'intermédiaire d'un dynamomètre.

Les équipements tendeurs affectent quatre portées, soit cinq poteaux. Les deux fils de contact sont posés normalement jusqu'au poteau central.

A partir du poteau central, ils se relèvent jusqu'aux poteaux intermédiaires et vont s'ancrer au poteau extrême.



Cette combinaison a pour résultat qu'au regard du poteau central, le pantographe des locomotives électriques ou des automotrices porte sur les deux fils de contact de chacune des portées et le passage se fait ainsi sans heurt ni choc d'une portée de 1.500 mètres à une autre portée de 1.500 mètres.

A la Société Nationale des Chemins de fer Belges et sur la ligne Bruxelles-Anvers, c'est l'équilibreur du type Siemens qui est le plus utilisé.

Celui-ci comporte un tambour sur lequel s'enroule le câble à tendre et une poulie dont le diamètre est cinq fois plus grand que celui du tambour sur lequel s'enroule le câble des contre-poids. Ceux-ci pèsent 400 kilogrammes.

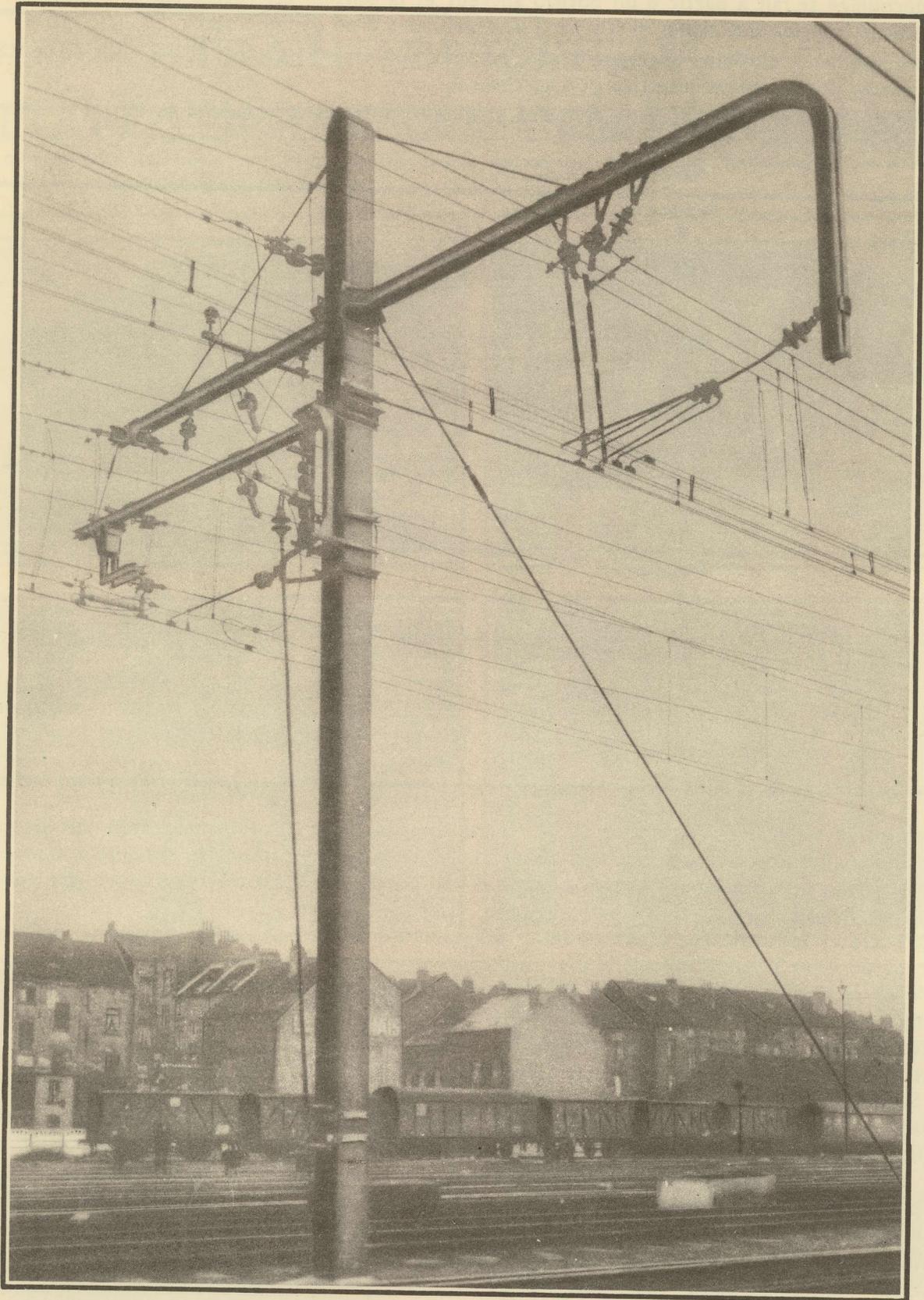
Quelques appareils d'un autre type ont été mis à l'essai. Il s'agit des appareils Iten déjà utilisés en Suisse. Les figures de la page 20 ci-avant représentent ces deux types d'appareils.

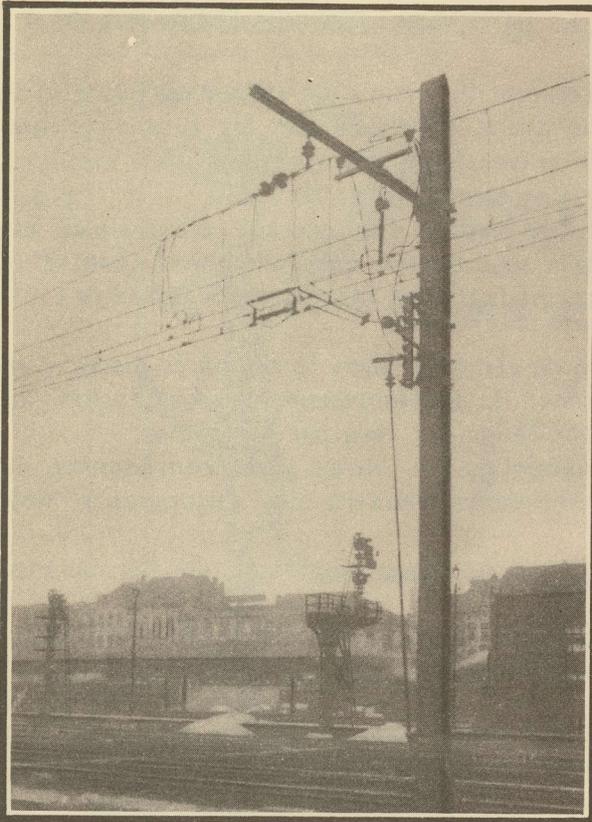
Pour être assuré que la catenaire forme un tout électriquement parfait, les câbles porteurs principaux, les câbles porteurs auxiliaires, ainsi que les fils de contact sont reliés entre eux par des connexions constituées par des câbles en cuivre. Les fils de contact sont ainsi reliés au porteur auxiliaire et celui-ci au porteur principal.

Aux équipements tendeurs, d'autres connexions complètent la liaison entre deux portées successives.

Ces connexions sont établies de telle manière que si elles réalisent un ensemble électriquement parfait, elles ne contraignent en rien les déplacements relatifs des fils porteurs et des fils de contact qui constituent la catenaire.

SECTIONNEUR EN PLEINE VOIE





UN SECTIONNEUR

Nous avons vu, page 13, que les lignes sont sectionnées et les raisons de cette division en sections. Ces sectionnements sont électriques. L'isolement des secteurs est permanent entre eux, sauf toutefois celui des secteurs neutres qui sont momentanés, car ils sont couplés par le passage des pantographes des trains. L'isolement entre des portions de secteurs de 1.500 mètres est normalement supprimé par la fermeture d'un sectionneur.

Les sectionnements de tronçons appartenant à une même voie peuvent être réalisés soit :

- a) par des lames d'air;
- b) par des isolateurs spéciaux appelés isolateur de sectionnement.

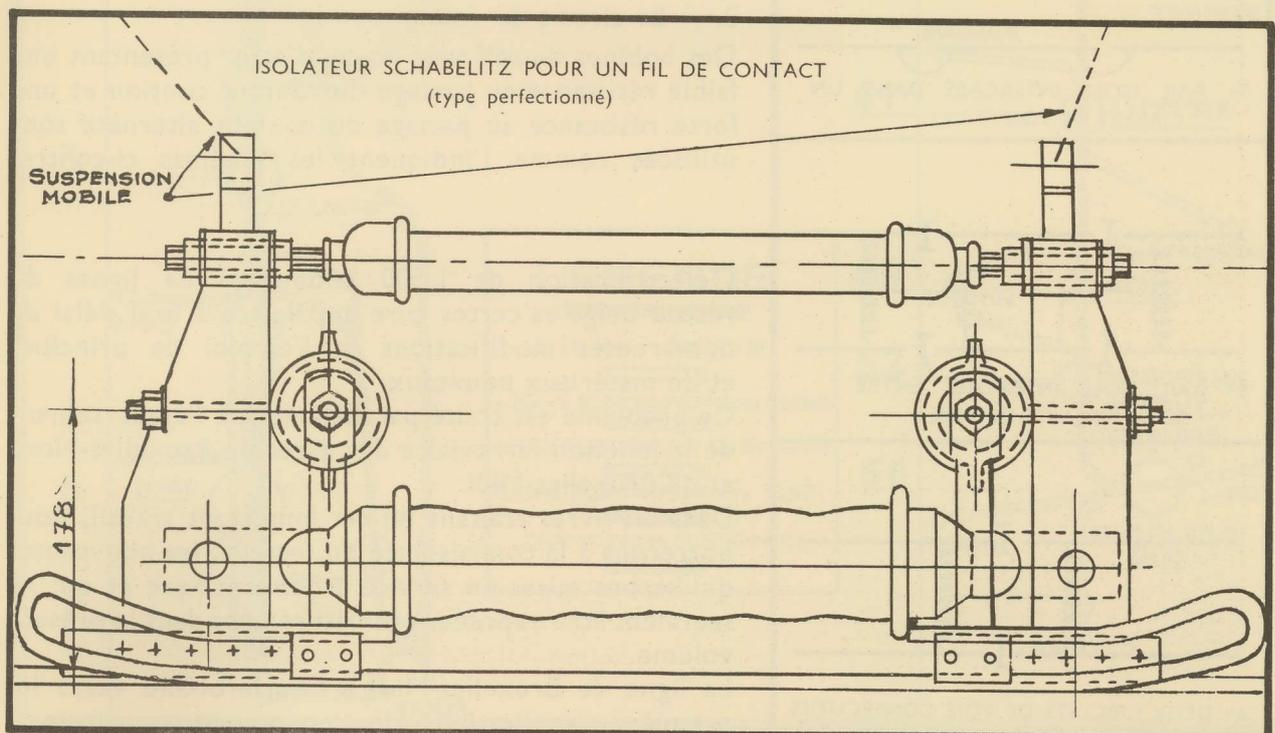
Les sectionnements appartenant à des tronçons de voies différentes sont toujours réalisés par des isolateurs de sectionnement.

Les sectionnements à lame d'air sont réalisés dans le même esprit que les sections de 1.500 m. mais les sectionneurs sont normalement ouverts. Quant aux isolateurs de sectionnement, ils se composent de :

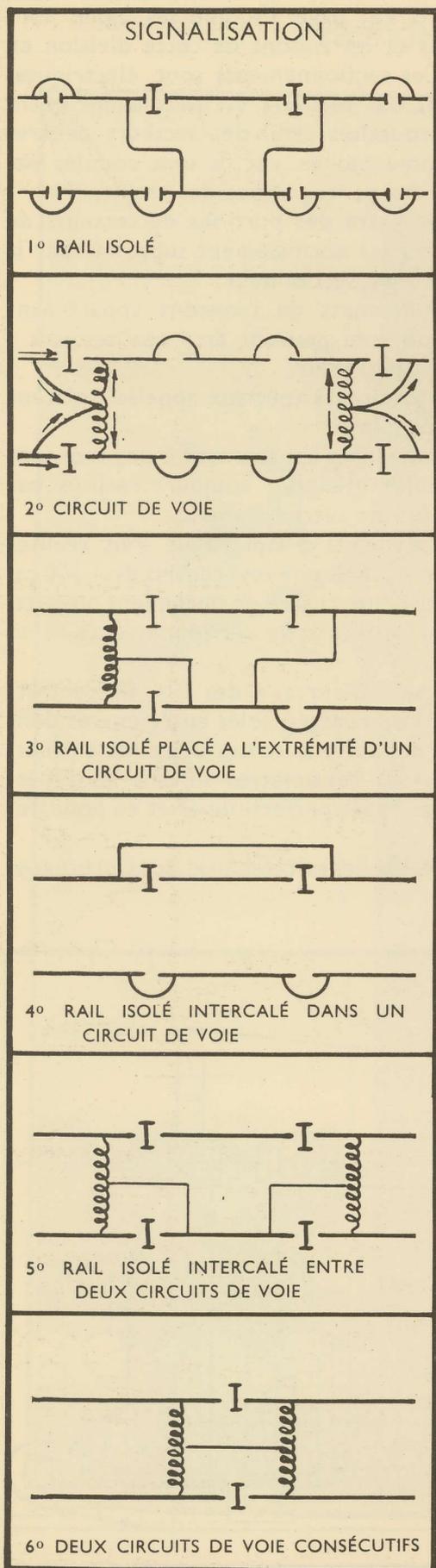
- a) le dispositif d'ancrage des fils de contact;
- b) de patins de contact isolés entre eux et dont chacun est connecté à un des deux fils à isoler.

La distance d'axe en axe longitudinal des patins est de 20 à 25 centimètres suivant les types; c) d'isolateurs spéciaux au nombre d'un ou de deux dans les types perfectionnés et ce pour des raisons mécaniques.

Comme toutes les lignes de transport d'énergie électrique, les lignes catenaires sont protégées contre les surtensions par des parafoudres.



## LE RETOUR DU COURANT



Les voies servent de chemin de retour au courant de traction qui ayant été capté sur les catenaires est, après avoir traversé les équipements des moteurs, ramené à la sous-station par les rails.

Le courant de retour d'un secteur d'extrémité est dirigé vers la sous-station qui l'alimente. Celui d'un secteur intermédiaire est réparti entre les deux sous-stations.

Par mesure de sécurité, dans le cas où la masse d'un poteau serait mise accidentellement sous tension, les poteaux sont reliés aux rails par des câbles.

Leur mise sous tension aurait pour conséquence de provoquer le déclenchement des disjoncteurs intéressés.

Les rails des voies sont connectés en permanence entre eux.

Les éclisses sont shuntées par deux câbles en cuivre nu de 50 mm<sup>2</sup> de section, placé à l'extrémité de chaque rail.

Les rails d'une même voie sont connectés entre eux tous les 125 mètres. Les voies connexes tous les 250 mètres.

Nous avons vu plus avant que le courant était repris par les sous-stations.

Des précautions multiples sont prises pour lutter contre le fléau des courants vagabonds.

L'électrification des lignes a influé sur les dispositifs courants utilisés par la signalisation et qui sont :

1. — Le rail isolé;
2. — Le circuit de voie.

Des bobines de self avec noyau d'acier présentant une faible résistance au passage du courant continu et une forte résistance au passage du courant alternatif sont utilisées comme l'indiquent les schémas ci-contre.

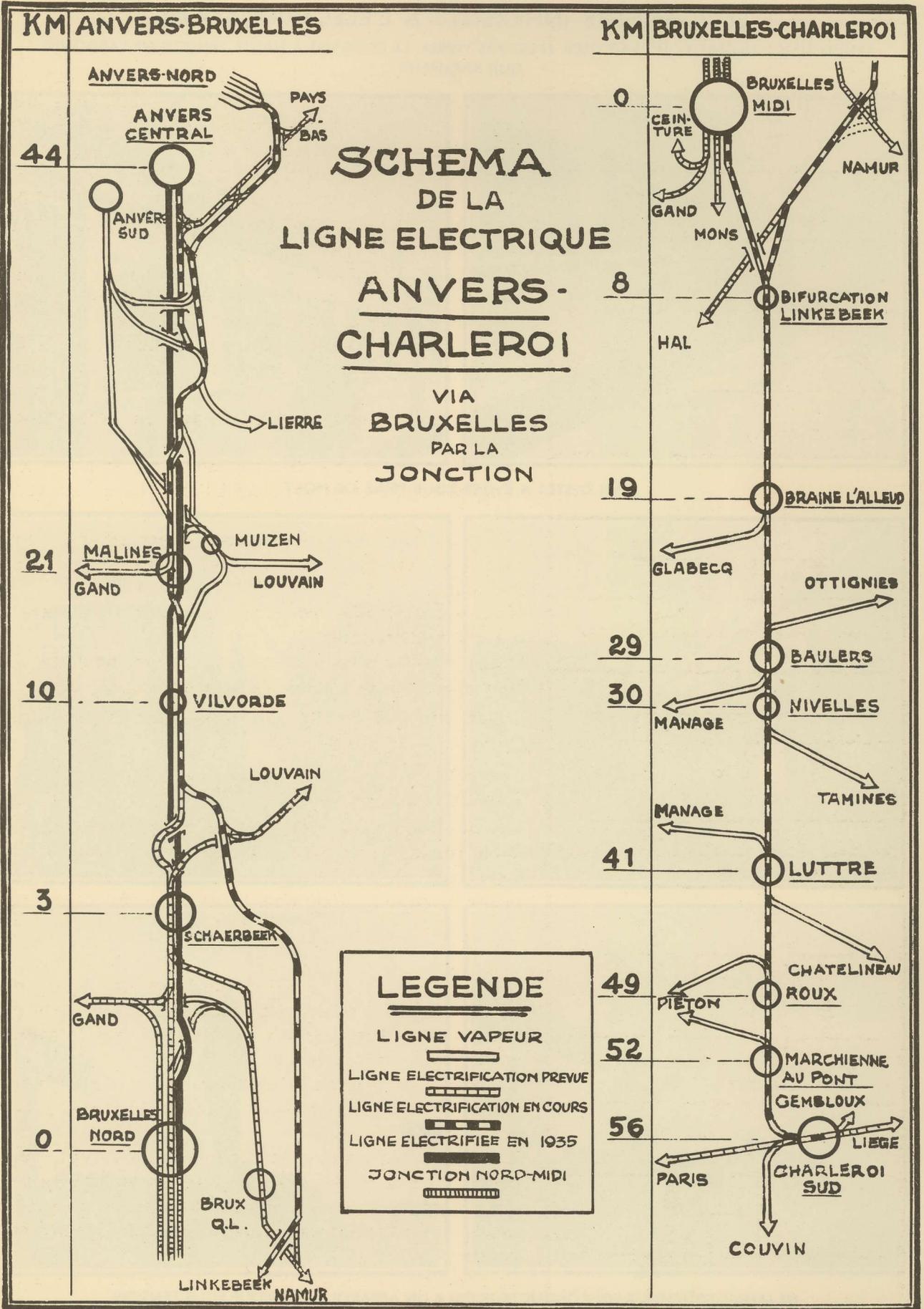
\* \* \*

L'électrification de 1.500 kilomètres de lignes du réseau belge va certes faire apparaître à bref délai de nombreuses modifications et l'emploi de principes et de matériaux nouveaux.

Ce problème est traité parallèlement à l'établissement de la jonction ferroviaire des gares de Bruxelles-Nord et de Bruxelles-Midi.

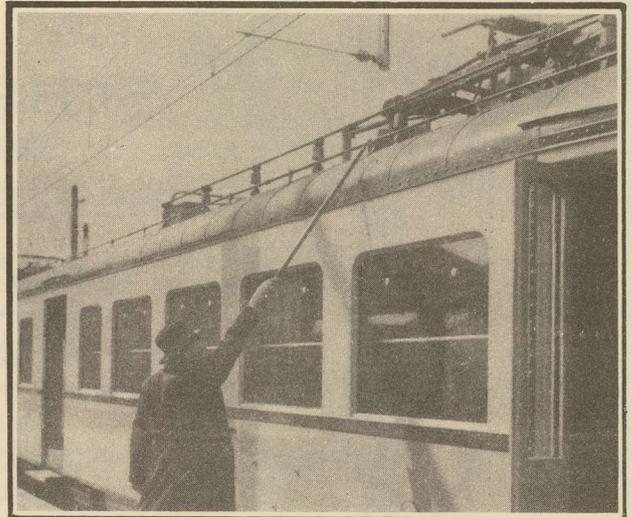
Dans les livres traitant de cet important travail, nous porterons à la connaissance du lecteur, les nouveautés qui seront mises en service à cette époque et qui ne sauraient être exposées prématurément dans le présent volume.

La ligne de Bruxelles-Midi à Charleroi-Sud verra les premières applications de ces nouveaux principes.

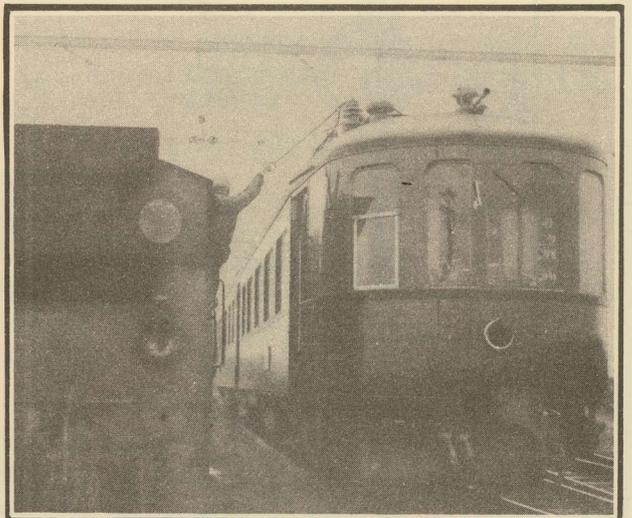
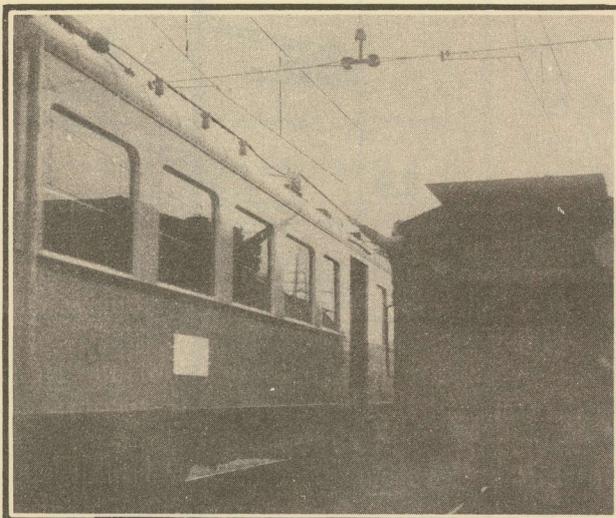


## LES DANGERS INHÉRENTS A L'ÉLECTRIFICATION

RENDU PLUS DANGEREUX DU FAIT QU'IL N'EST PAS VISIBLE, LE COURANT A HAUTE TENSION NE PARDONNE QUE RAREMENT



DES GESTES A EVITER SOUS PEINE DE MORT



NE JAMAIS TOUCHER A UN CONDUCTEUR OU A UN APPAREIL ÉLECTRIQUE SOUS TENSION

