

LES GRANDS TRAVAUX de la Jonction Nord-Midi à Bruxelles

EXPOSE PAR M. E. FRANCHIMONT,
INGENIEUR EN CHEF AU MINISTERE DES
TRANSPORTS, DIRECTEUR DE L'OFFICE
NATIONAL POUR L'ACHEVEMENT DE
LA JONCTION NORD-MIDI

Nos lecteurs n'ignorent pas que fut attribué récemment par l'Académie Royale de Belgique à M. Franchimont le prix Charles Lemaire, réservé à l'ingénieur qui produit tous les deux ans le plus bel ouvrage technique. Cette distinction récompense notamment l'invention du remarquable système d'étaffonnement métallique des fouilles de la Jonction, conçu de manière à servir d'armature aux travaux de bétonnage.

L'éditeur.

A. — APERÇU SOMMAIRE DE L'ENSEMBLE DES TRAVAUX.

1. Nœud ferroviaire de Bruxelles (fig. 1.).

Si l'on examine la carte des voies ferrées qui constituent le nœud ferroviaire de Bruxelles et aboutissent actuellement aux gares du Nord et du Midi, on est frappé par le manque de liaison simple entre les deux grands réseaux ferrés, conduisant aux gares précitées.

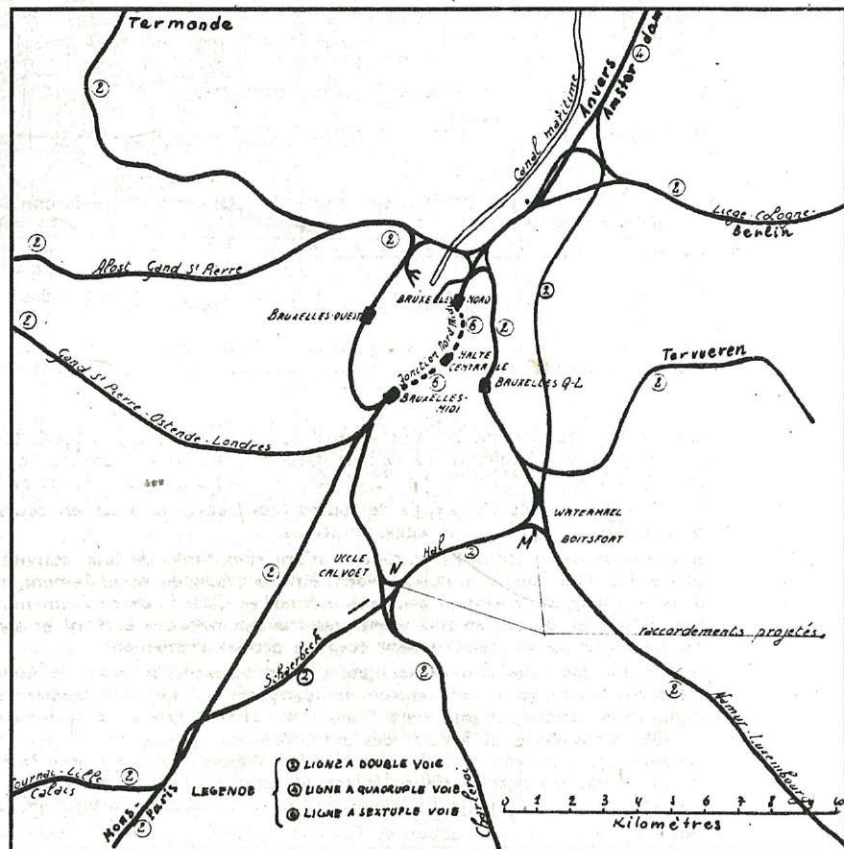


Fig. 1. — Nœud ferroviaire de Bruxelles.

Alors que les lignes venant d'Anvers et de la Hollande, de Liège et d'Allemagne, du littoral, via Alost, ainsi que de Namur et du Luxembourg ont leur terminus à Bruxelles-Nord, celles de Charleroi, de Mons et de la France convergent vers Bruxelles-Midi.

Entre ces deux grands réseaux qui desservent l'un, la partie Nord et Est du Pays et l'autre la partie Ouest et Sud, existent actuellement deux liaisons qui, en contournant l'agglomération bruxelloise à l'Est et à l'Ouest, ne permettent d'assurer une interconnexion ferroviaire, réellement satisfaisante, qu'au point de vue du trafic « marchandises ».

Ces deux liaisons, dont la plus courte, celle de la ceinture Ouest, a onze kilomètres de développement, sont beaucoup trop longues pour se prêter, au point de vue du trafic « voyageurs » à la création d'un service rapide et économique entre les deux plus grandes gares à voyageurs du pays, distantes seulement à vol d'oiseau d'environ 3 km.

L'objet principal de la Jonction Nord-Midi est donc la soudure des réseaux Nord et Sud du Pays, par une liaison ferroviaire directe et

Fig. 2. — Taudis en démolition, sur l'emplacement du premier tronçon du tunnel.

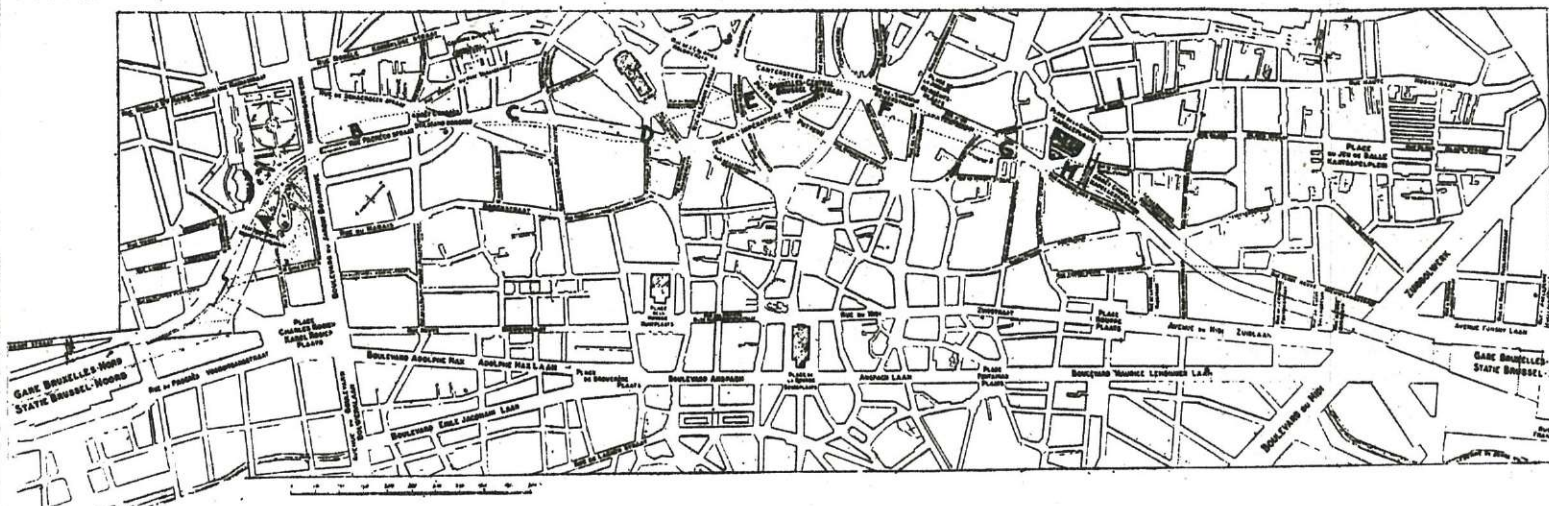


Fig. 3. — Tracé en plan du tunnel à six voies de la Jonction Nord-Midi.

rapide; permettant d'exploiter, d'une manière intensive, les gares du Nord et du Midi, et cela non plus comme gares de rebroussement, mais comme gares de passage.

2. Métropolitain électrique de Belgique.

L'expérience acquise en matière d'exploitation de réseaux métropolitains a fait ressortir qu'un chemin de fer métropolitain n'est pas rentable à cause de la faible densité de la population dans une agglomération d'un million d'habitants, comme c'est le cas pour Bruxelles et ses faubourgs. Dès lors, est née l'idée de l'étoile ferroviaire autour de Bruxelles, réseau métropolitain susceptible de desservir la partie de la Belgique où, au point de vue démographique, la population est la plus dense, la plus industrielle et la plus riche. Moyennant un réseau très réduit de 500 kilomètres électrifié, représentant le dixième seulement du réseau ferré belge, il est possible, de la sorte, de desservir 6 millions d'habitants sur un total, pour toute la Belgique, de 8 millions et demi environ. Il en est ainsi par le fait que cette étoile, à électrifier autour de Bruxelles, réunit entre elles la plupart des villes importantes du pays : Anvers, Gand, Liège, Bruges, Ostende, Malines, Louvain, Tirlemont, Alost, Mons, Charleroi, Namur, etc... L'expérience de l'électrification de la ligne d'Anvers-Bruxelles ayant été concluante, ce sont ces possibilités nouvelles qui permettent d'entrevoir, non seulement, la rentabilité du réseau électrifié autour de Bruxelles, dont la pierre angulaire sera la Jonction Nord-Midi, mais également une amélioration du bilan financier d'exploitation de la S.N.C.F.B. dont le déficit annuel actuel est à la charge de l'Etat.

En outre, il est bien évident que l'intercommunication, qui sera réalisée grâce à la Jonction Nord-Midi, entre les deux réseaux ferrés qui desservent les deux régions, à régime linguistique différent, qui se partagent le territoire, ne peut que contribuer à la consolidation de l'unité nationale belge, chose dont se préoccupe actuellement, plus que jadis, la très grande majorité des Belges.

3. Raccordement à la Jonction de la ligne du Luxembourg.

Dans les projets primitifs, un raccordement souterrain, Halte Centrale-Gare du quartier Léopold, avait été prévu. Toutefois, il eut entraîné des dépenses considérables : double raccordement à Halte Centrale, tunnel de 1500 m. devant être exécuté forcément au bouclier à une trentaine de mètres dans le sol, rampes de 25 mm. par mètre et plus, jugées excessives pour une exploitation ferroviaire intensive ultérieure.

Une autre solution, représentée figure 1, beaucoup plus économique et de réalisation plus facile, est envisagée à l'heure actuelle. En effet, les trains de la ligne du Luxembourg pourront être amenés à la gare du Midi, grâce à deux raccordements à créer : le premier en M à Watermael-Boitsfort, entre la ligne du Luxembourg et celle de Schaerbeek-Hal, et le second en N, à Uccle-Calevoet, entre cette dernière ligne et celle de Charleroi-Bruxelles-Midi.

4. Détermination du nombre de voies à établir dans la Jonction Nord-Midi.

L'importance des deux grands réseaux ferrés à réunir, l'impossibilité d'apporter ultérieurement l'un ou l'autre remaniement aux travaux exécutés et la différence de prix, relativement minime, existant entre une jonction à 4 ou à 6 voies, dans laquelle il faut tenir compte, et cela dans les deux hypothèses, du coût élevé du relèvement des deux gares, ont conduit le Conseil d'Administration de l'O. N. J. à adopter la solution du tracé à 6 voies.

L'augmentation du nombre de trains, due à un mode moderne d'exploitation du réseau au moyen de trains légers, à horaire fixe et à courte périodicité, font prévoir que la Jonction doit être aménagée pour pouvoir assurer le passage de 800 trains par jour ; trains pouvant se suivre, aux heures de pointe, sur chacune des six voies, à la cadence de deux minutes.

5. Tracé de la Jonction en plan (fig. 3).

L'ouvrage établi dans le flanc Est de la vallée de la Senne, comporte un tunnel de 2 km. environ, prolongé au Nord et au Sud par deux viaducs aériens ayant respectivement deux cents et neuf cents mètres environ de longueur.

Ce tracé était imposé « quasi ne varietur » par suite des raisons suivantes :

- a) établir l'ouvrage dans les sables, tassés sous l'eau depuis les temps géologiques, du coteau Est de la vallée et non dans les terrains alluvionnaires et tourbeux du centre de la ville ;
- b) soustraire, autant que possible, à la vue du public, une ligne ferrée à 6 voies, comportant un trafic intense, tout en récupérant en vue de la bâtisse et de l'élargissement de la voirie, les terrains situés au-dessus du plafond du tunnel ;
- c) supprimer tout passage à niveau tout en facilitant, par le relèvement des gares du Nord et du Midi et par la création de passages inférieurs, la circulation entre des quartiers de la ville séparés entre eux depuis l'origine des chemins de fer ;
- d) rendre possible l'évacuation permanente des eaux de toutes natures vers les égouts du bas de la ville ;
- e) assainir un certain nombre de quartiers de la Ville par la démolition des immeubles vétustes et des taudis situés sur le tracé choisi.

6. Tracé de la Jonction en hauteur.

Le relèvement des gares du Nord et du Midi et l'établissement du tunnel à flanc de coteau, ont permis de réaliser un profil longitudinal comportant un minimum de rampes; le maximum atteint ne dépassant pas 4 mm., 5 par mètre, l'exploitation de la ligne de Jonction nécessitera un minimum de dépense de force motrice et, par voie de conséquence, donnera lieu à un dégagement, relativement réduit, de fumée. Ce résultat a de l'importance car on envisage, à titre transitoire, de faire remorquer un certain nombre de trains par des locomotives à vapeur.

7. Profondeur du rail sous le niveau du sol.

Cette profondeur est essentiellement variable, car la cote du rail dans le tunnel varie de la cote 23,80 à la cote 25,926, tandis que celle du terrain aux abords du tunnel oscille entre les cotes 30 et 39.

Si l'on tient compte de l'infrastructure de la voie et de l'épaisseur du radier, la profondeur de la tranchée à ouvrir varie de 8 à 16 mètres.

8. Description sommaire des gares (voir fig. 3).

La jonction comportera 3 gares (Nord-Centrale-Midi), et deux points d'arrêt (Chapelle et Congrès). Nous allons les décrire succinctement.

a) Gare du Nord.

Les voies seront relevées à partir de Schaerbeek jusqu'à la gare du Nord où le relèvement atteindra une hauteur de 8 m. par rapport au niveau actuel. Grâce à ce relèvement, il est possible de créer cinq passages inférieurs carrossables, qui relieront, entre elles, au niveau des rues actuelles, les deux parties des communes de Schaerbeek et de Saint-Josse-ten-Noode, séparées depuis l'installation du chemin de fer.

La gare du Nord, avec sa façade principale du côté de la rue du Progrès, sera une gare latérale de passage, à exploitation intensive et à 12 voies, placées à front de quais de 300 m. de longueur. Le recul de la gare par rapport à la situation actuelle est de 350 m. et est inévitable de façon à permettre, notamment, l'établissement des appareils de voies, nécessaires pour passer dans les meilleures conditions des 12 voies de la gare à l'une des 6 voies du tunnel. Une des caractéristiques de cette gare latérale résulte du fait que par suite de la plate-forme surélevée qui est prévue devant sa façade et qui sera accessible aux tramways et aux autos, les voyageurs débarquant de ces moyens de transport seront amenés à proximité de l'axe des quais, en plan et en hauteur.

b) Halte Centrale.

La Halte Centrale, située dans le triangle constitué par les rues Cantersteen, Putterie et Impératrice, c'est-à-dire en plein centre de Bruxelles, sera une gare de passage souterraine à 6 voies. Les trois quais desservant ces six voies auront, comme au Nord et au Midi, 300 m. de longueur.

c) Gare du Midi.

Le relèvement de la gare, qui atteindra six mètres au maximum, permet de créer, notamment, un passage inférieur rue Théodore Verhaegen, qui assurera la liaison des communes de Saint-Gilles, Forest et Anderlecht, séparées depuis l'origine des chemins de fer.

La gare du Midi sera, au point de vue « voyageurs » la grande gare de formation de Bruxelles, et comportera 22 voies à quai, dont 16 de passage et 6 en impasse.

Son recul est également de 350 m. et il est commandé par les mêmes raisons que celles signalées à propos de la gare du Nord. Un grand hall transversal, établi au niveau des rues voisines, donnera accès aux différents quais surélevés.

d) Points d'arrêt.

Deux points d'arrêt avec quai de 200 m. environ de longueur, desservis seulement par les deux voies du pertuis Est, sont prévus pour la ligne électrique d'Anvers et les services urbains, desservant les confins de l'agglomération. L'un sera établi à hauteur de la colonne du Congrès, l'autre aux environs de l'église de N.-D. de la Chapelle.

9. Urbanisation des quartiers traversés et reconstruction architecturale du centre de Bruxelles (voir fig. 3).

Cette urbanisation comporte, notamment, la création d'une artère de 22 m. de largeur minimum, réunissant entre elles les gares du Nord et du Midi et desservant la Halte Centrale et les deux points d'arrêt intermédiaires « Chapelle » et « Congrès ». Cette nouvelle artère décongestionnera la circulation des véhicules au droit des boulevards centraux dont l'encombrement actuel, aux heures de pointe, constitue une véritable entrave à la circulation, précisément au moment où celle-ci devrait être réalisée d'une façon parfaite.

La gare de l'Allée-Verte perdant, du fait de la Jonction, toute son importance comme gare de secours de Bruxelles-Nord, pourra être désaffectée. La mise à la disposition de la bâtisse, de son assiette ainsi que de son raccordement, le tout mesurant sept hectares, permettra, en connexion avec le comblement du bassin voisin et de l'ancien lit de la Senne, l'aménagement parfait de tout le quartier compris entre les gares de Bruxelles-Nord et de Bruxelles-Tour et Taxis.



Fig. 4. — Tuyauteries de pompage pour le rabattement de la nappe aquifère.

La création de l'artère nouvelle de 22 m. de largeur et de 2500 m. de longueur, permet la construction, suivant des plans architecturaux d'ensemble, d'immeubles modernes à travers des quartiers où il n'existait précédemment que des taudis ou des immeubles vétustes sans aucun caractère et sans confort.

B. — DESCRIPTION ET METHODE D'EXECUTION DU TUNNEL DE LA JONCTION NORD-MIDI.

1. Généralités.

Le tunnel de la Jonction Nord-Midi a été divisé, au point de vue entreprise des travaux, en 4 tronçons : Eglise de la Chapelle — rue de l'Hôpital, rue de l'Hôpital—rue de Loxum, rue de Loxum—rue des Sables, rue des Sables—rue Saint-Lazare.

En ce qui concerne le premier tronçon, Chapelle-Hôpital, actuellement terminé, nous donnerons ci-dessous une description des caractéristiques, ainsi que des méthodes d'exécution des travaux ; la largeur de 35 m. y reste sensiblement constante. Ce 1^{er} tronçon a été exécuté par S. A. les Entreprises Van Rymenant.

Pour le deuxième tronçon, Hôpital-Loxum, actuellement en cours d'exécution (S. A. les Entreprises Ed. François et Fils), nous donnerons également une description sommaire de l'ouvrage et des moyens d'exécution, car ceux-ci présentent certaines différences avec ceux qui ont été mis en œuvre ou seront mis en œuvre dans les autres tronçons ; cela résulte de ce que, par suite de la présence de la Halte Centrale dans ce tronçon, la largeur de la fouille du tunnel y passe de 35 à près de 60 m. Cette grande largeur doit, en effet, permettre l'intercalation entre les 6 voies normales de la Halte Centrale de 3 quais en forme de fuseau de plus de 8 m. de largeur maximum.

Les troisième et quatrième tronçons seront mis en adjudication en 1939 et 1940 et seront, selon toute vraisemblance, exécutés par les méthodes appliquées, avec plein succès au premier tronçon.

2. Nombre de puits affectés aux 6 voies (voir fig. 5).

Le tunnel comporte trois puits. Dans chacun de ceux-ci, une double voie sera posée afin que, pour chacune d'elles, l'ex-

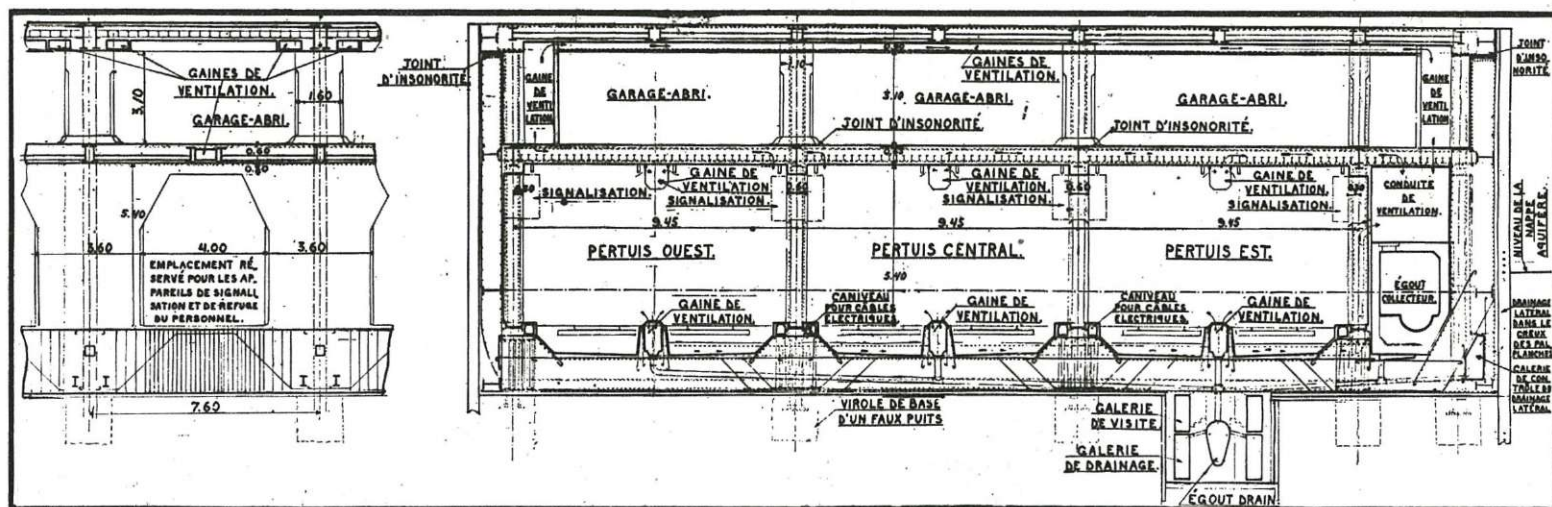


Fig. 5. — Coupe du tunnel de la Jonction. A gauche, coupe longitudinale ; à droite, coupe transversale.

ploitation et la signalisation restent, dans leurs principes essentiels, conformes à celles du restant du réseau ; d'autre part, les trois puits sont séparés les uns des autres par une succession de pilastres suivis de baies dans lesquelles la signalisation sera placée et qui serviront également de refuge éventuel pour le personnel de la voie appelé à travailler dans le tunnel pendant l'exploitation intensive de celui-ci.

3. Puits supplémentaire destiné à recevoir un égout collecteur.

Un quatrième puits est accolé au flanc Est de l'ouvrage. Isolé complètement de celui-ci, il est destiné à loger un égout collecteur devant répondre à un double but :

1^o) Soulager l'égout collecteur des boulevards centraux de la ville dont le trop-plein, lors des pluies d'orage, se déverse actuellement dans les puits de la Senne. La mise hors service de ces puits, prévue lors de l'achèvement de certains travaux de détournement du lit de la Senne, actuellement en cours de réalisation, n'est possible que si cet ancien lit ne doit plus servir de déversoir à ces eaux d'égouts. Cela sera réalisé lorsque l'égout collecteur accolé, à la demande de la Ville, à l'Est des trois autres puits du tunnel, sera complètement exécuté et raccordé au nouveau lit de la Senne.

2^o) Le tunnel, établi à flanc de coteau, recoupe 18 égouts principaux, que, normalement, il eut été nécessaire de faire passer en syphon sous le tunnel. C'est pour éviter ces travaux onéreux et susceptibles de donner lieu à de très graves inconvénients, que l'Office de la Jonction a consenti à supporter la dépense d'établissement de ce collecteur. C'est à la partie d'égout collecteur longeant le tunnel que les 18 égouts recoupés viendront se raccorder. A la demande de la ville de Bruxelles cet égout collecteur est établi avec une pente générale allant du boulevard du Jardin Botanique jusqu'au nouveau lit de la Senne prévu aux abords de la gare de Bruxelles-Midi.

4. Garage situé au-dessus du tunnel.

Entre la place de Dinant et la rue de l'Hôpital, on a prévu, au-dessus du tunnel, un garage souterrain d'un demi-hectare de superficie, susceptible d'être utilisé comme abri de protection pour la population, contre le péril aérien.

Le toit du tunnel et du garage a été calculé de façon à répondre, dans le cadre des possibilités pratiques, aux exigences de pareille protection.

Des dispositions analogues sont, dès maintenant, prévues en d'autres points de la ligne de Jonction Nord-Midi.

5. Ventilation.

Le tunnel sera entièrement électrifié et le courant de traction, fourni sous 3000 volts, sera continu et distribué au moyen de fils aériens.

Malgré l'électrification prochaine, en vue de permettre le passage de locomotives à vapeur et d'automotrices Diesel pendant une période transitoire, qui peut durer de 10 à 15 ans, il a été reconnu indispensable de prévoir une très importante aération du tunnel.

Une ventilation longitudinale, comportant la séparation des trois pertuis, sera réalisée pour les premier, troisième et quatrième tronçons du tunnel; seul le deuxième tronçon, comportant la Halte Centrale, sera ventilé transversalement avec au droit des quais une dépression maximum de 4 mm. d'eau aux heures de grand trafic. Aucun cloisonnement n'y séparera les pertuis.

L'installation totale de ventilation comportera trois centrales aspirantes et trois sous centrales de soufflage d'air frais.

De la sorte, la Halte Centrale sera encadrée par deux centrales d'aspiration raccordées à des hottes placées dans le plafond du tunnel et en dessous desquelles les locomotives à vapeur et les automotrices Diesel viendront s'arrêter. Ces centrales seront situées rue Saint-Jean et rue Vieille de la Bergère et seront dissimulées ainsi que leurs cheminées d'évacuation des gaz par des immeubles. Deux stations de soufflage seront installées dans la zone centrale de la gare; l'air frais sera amené sous les quais par deux gaines principales. De grands conduits d'évacuation d'air vicié seront accrochés au plafond du tunnel au-dessus des quais.

La ventilation du 1^{er} tronçon (Eglise de la Chapelle—rue de l'Hôpital) sera assurée par la centrale aspirante située au sud de la Halte Centrale, la rentrée d'air frais se faisant par la tête du tunnel voisine de l'Eglise de N.-D. de la Chapelle.

La ventilation des 3^{me} et 4^{me} tronçons (Saint-Lazare—rue des Sables et rue des Sables—rue de Loxum) sera assurée par la centrale nord de la Halte Centrale et par la centrale d'aspiration combinée avec le point d'arrêt Congrès. Les rentrées d'air frais se feront par la tête nord du tunnel et par la troisième station de soufflage laquelle sera située rue des Comédiens.

Au total les 6 centrales (3 d'aspiration et 3 de soufflage) résoudront parfaitement le problème. La commande sera centralisée dans un seul poste, afin de synchroniser leur fonctionnement et de réaliser une économie de personnel.



Fig. 6. — Mise en place d'une poutre transversale du système d'étaie métallique — 1^{er} tronçon du tunnel.

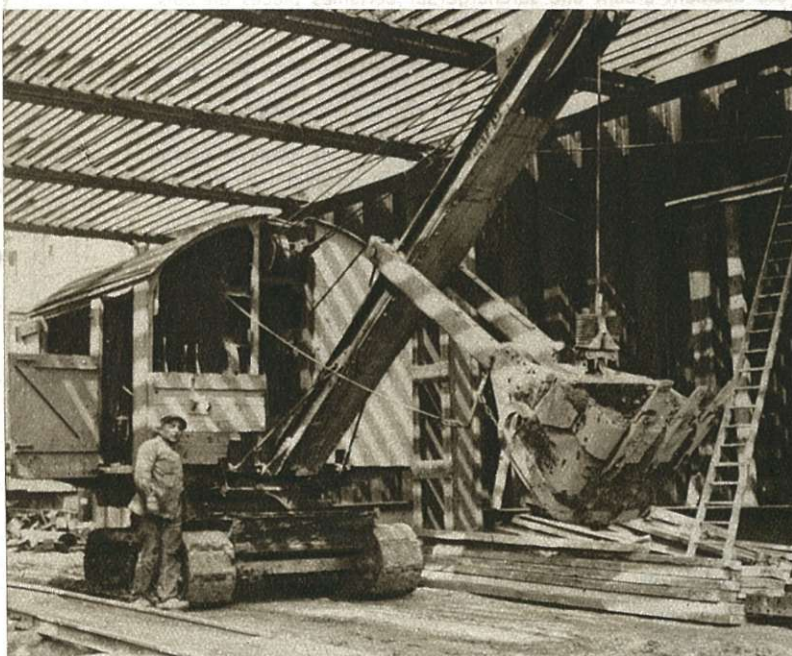


Fig. 7. — Pelle mécanique travaillant sous le poutrage du plafond du tunnel — 1^{er} tronçon.

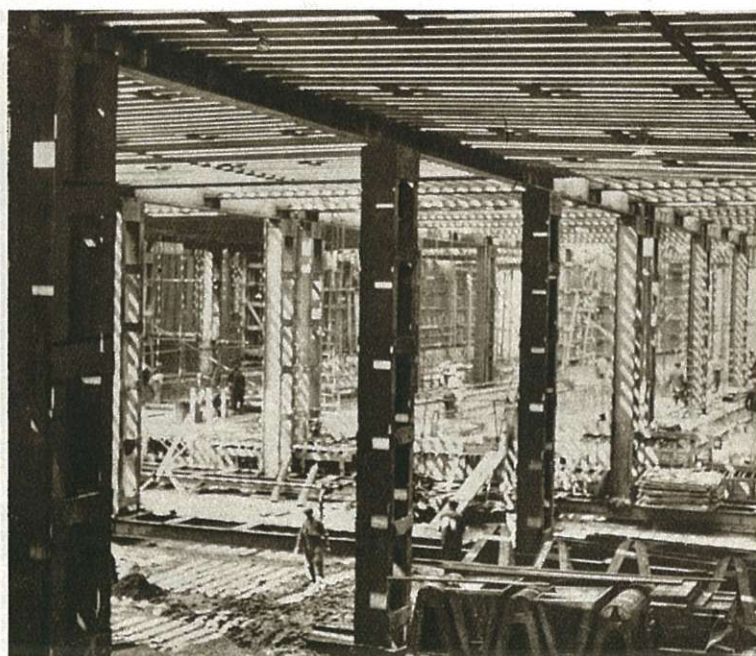


Fig. 8. — Vue de la charpente du tunnel, dans le 1^{er} tronçon.

Des dispositions spéciales seront prises pour assurer la ventilation des parties du tunnel transformées en abri de protection contre le péril aérien. En outre un système de rainures est prévu dans les montants du tunnel, afin de pouvoir réaliser un abondant cloisonnement transversal de celui-ci et localiser de la sorte les dégâts en cas de destruction partielle du plafond du tunnel.

6. Nature géologique des terrains à traverser.

L'O.N.J. s'est spécialement préoccupé de la nature des terrains à traverser et a fait exécuter, à cet effet, deux séries de sondages de 25 mètres environ de profondeur, encadrant à l'Est et à l'Ouest, le tunnel sur toute sa longueur. Les échantillons provenant des sondages furent étudiés au point de vue géologique et granulométrique par MM. Halet et Thoreau.

Après avoir traversé des terrains remaniés, la sonde a recoupé partout des sables appartenant à l'étage supérieur de la formation yprésienne. Ces sables qui se caractérisent par leur finesse extrême, sont farcis de lentilles argileuses d'épaisseur et de superficie variables. Ils sont connus sous l'appellation commune de sables « boullants ».

En trois endroits du tracé, les terrains remaniés sont séparés de l'yprésien par du sable jaune grossier appartenant à l'étage bruxellien. De nombreux bancs de grès lustrés s'y rencontrent. Ce sont ces concrétions pierreuses qui ont rendu assez difficile le battage des palplanches, notamment du côté de l'église de N.-D. de la Chapelle. Ces poches de sable bruxellien ne sont pas en place et proviennent de paquets de sable ayant glissé le long du flanc de la colline au cours des temps géologiques. La nappe aquifère se trouvant entre la cote 25 et la cote 30, le travail de fouille nécessaire pour exécuter le radier du tunnel n'a pu être réalisé, comme on le verra plus loin, qu'à la suite du rabattement préalable de la nappe aquifère au droit de l'ouvrage. Lors de ce travail d'assèchement, il a été constaté que les sables yprésiens étaient environ dix fois moins perméables que les sables bruxelliens. Quoique la chose puisse paraître paradoxale, cette circonstance a fait, qu'en présence de la perfection des moyens de rabattement mis en œuvre, le travail dans l'yprésien a été plus facile que dans le bruxellien et a exigé, au total, moins de force motrice pour l'extraction de l'eau.

7. Principe d'exécution des travaux.

Comme les travaux devaient s'exécuter en mauvais terrain, en pleine ville et sur une largeur minimum de l'ordre de 35 m., on s'est immédiatement rendu compte que les procédés classiques utilisés pour la construction de tunnels, d'un type courant, étaient ici inapplicables.

On vint, de la sorte, à la conclusion que la seule solution possible consistait à encoffrer la fouille, établie à flanc de coteau, entre deux rideaux de palplanches métalliques de grande longueur. De la sorte, il était possible de contenir les sables fluents, non asséchés, se trouvant des deux côtés de la fouille et d'éviter des afflux de boue qui, sous forme de « renards », auraient pu envahir la tranchée.

Cette solution, se conciliant parfaitement avec l'assainissement nécessaire des vieux quartiers traversés, il fut décidé que les immeubles se trouvant sur le tracé seraient, vu la largeur de la fouille, expropriés et démolis. Il fut établi, en outre, que les palplanches métalliques seraient abandonnées dans le sol afin que leur retrait n'occasionne aucun trouble dans la compacité des terrains donnant appui à des immeubles voisins. En vue d'assurer à ces palplanches une durée maximum, on y a incorporé 0,4 % de cuivre. La semi-inoxydabilité qui en résulte, a été complétée par un goudronnage à chaud destiné à fermer tous les pores du métal dont la résistance à la rupture est supérieure à 50 kil. par mm². Ces palplanches n'interviennent pas dans le calcul de la résistance des pieds droits du tunnel.

8. Principe de l'étaisonnement des fouilles.

La largeur (35 m. minimum et 60 m. maximum) ainsi que la profondeur de la fouille, aux abords immédiats de monuments historiques importants tels que l'église de N.-D. de la Chapelle et la Collégiale SS. Michel et Gudule, exigeaient un mode de blindage exceptionnellement puissant et sûr, garantissant l'indéformabilité des deux rideaux de palplanches.

C'est pour ce motif que le procédé habituel d'étaisons provisoires en bois fut rejeté. En outre, deux très graves accidents de chantier, survenus récemment aux travaux de construction du tunnel du métropolitain Nord-Sud de Berlin, ont confirmé que pareille précaution était parfaitement justifiée. L'un de ceux-ci est résulté d'un incendie de la forêt de bois qu'il avait fallu accumuler dans le tunnel pour assurer l'étaisonnement des fouilles; l'autre, au contraire, fut causé par une mauvaise disposition des étaisons en bois. En effet, pareil dispositif, utilisé dans une large tranchée, se prête toujours à un certain désaxement des étaisons transversaux et, dès lors, on se trouve à la merci du moindre accident créant une surcharge sur certaines pièces en bois, souvent mal liaisonnées et insuffisamment contreventées entre elles; une rupture locale d'équilibre entraîne, par les surcharges

accrues qui se produisent immédiatement dans les pièces de bois voisines, la rupture de toute la charpente et la fermeture de la tranchée, sous l'effet de la poussée des terres; le tout peut s'accomplir, comme cela a été le cas à Berlin, en un temps tellement court que les ouvriers travaillant en cet endroit n'ont pas le temps de se sauver.

Dans les travaux de la Jonction, on a recouru à une charpente d'étaisonnement métallique, arrivant sur chantier, toute terminée et ayant été essayée préalablement, en montage à blanc, à l'usine. De la sorte, aucun désaxement n'est plus à craindre, comme c'est le cas pour des étaisons en bois, dont les

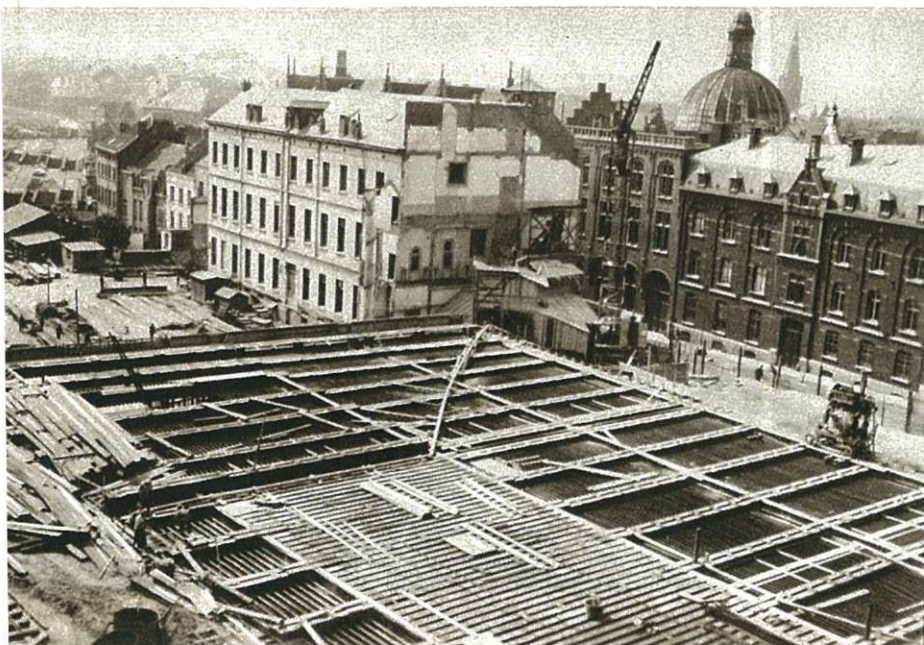


Fig. 9. — Charpente métallique du toit du tunnel dans le 1^{er} tronçon.

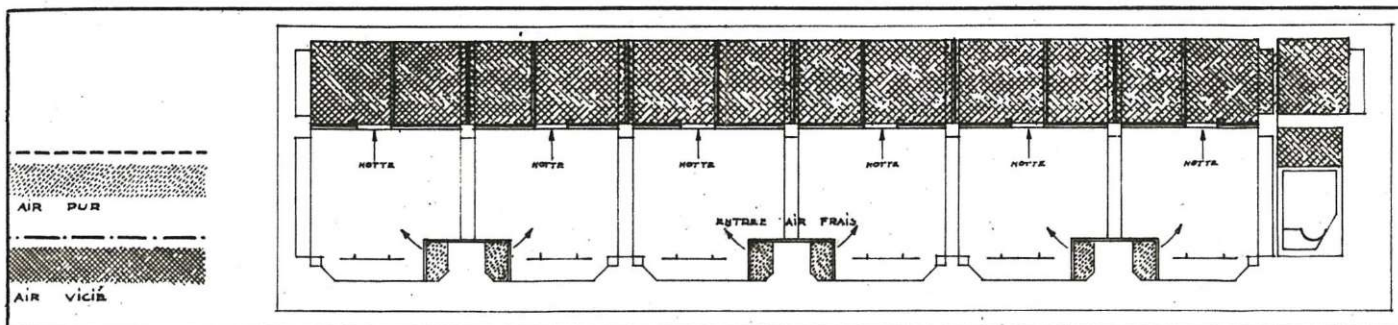


Fig. 10. — La ventilation. Coupe dans le tunnel (2^{me} tronçon), au droit des hottes, à l'extrémité des quais.

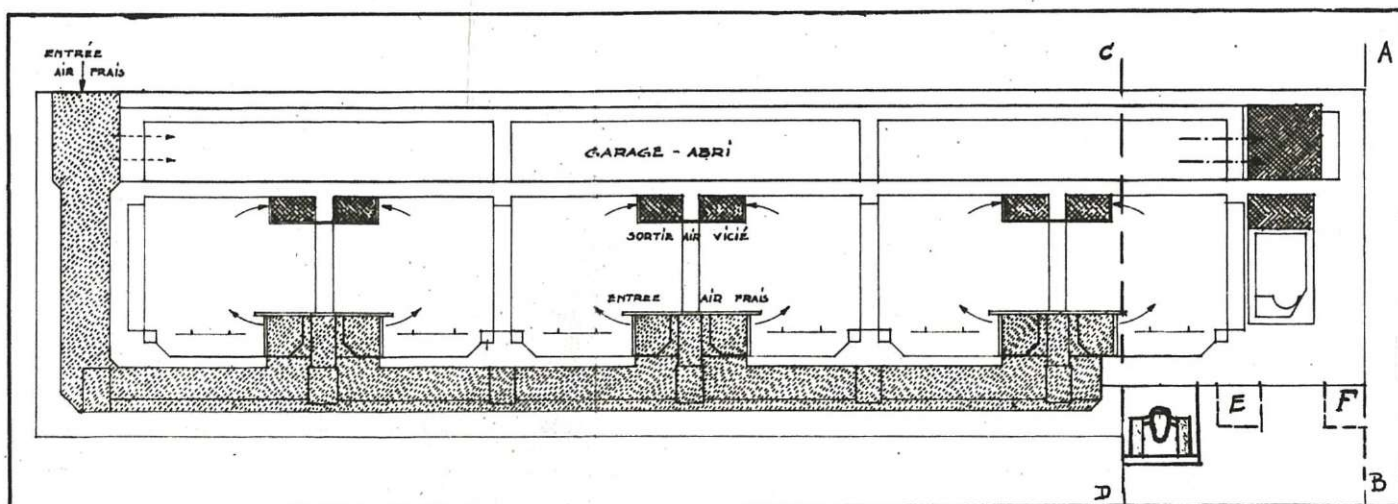


Fig. 11. — La ventilation. Coupe dans le tunnel (2^{me} tronçon), au droit des quais.

assemblages sont laissés, dans une certaine mesure, à l'appréciation d'un personnel subalterne de chantier, souvent enclin à sous-estimer les dangers.

L'on obtient également, de la sorte, un minimum d'encombrement pour les travaux ultérieurs de fouilles, de bétonnage, etc..., la résistance élevée des étaçons métalliques, constitués généralement au moyen de poutrelles jumellées, assemblées de façon à avoir un moment résistant considérable dans les deux sens de flexion et éviter ainsi tout risque de flambage permet, en effet, sans danger, pareille simplification qui assure le dégagement complet du chantier.

La caractéristique inédite, de cette ossature métallique d'étaçonnement consiste, en outre, dans le fait que, sans avoir nécessité l'enlèvement des terres de toute la fouille, cette charpente ainsi que les montants qui la supportent sont posés à titre définitif. En effet, elle est également conçue pour constituer, pour les travaux ultérieurs de bétonnage de l'ouvrage, l'armature principale du béton.

9. Appuis intermédiaires des étaçons.

Vu la longueur et le poids des étaçons transversaux (35 m. environ), il ne pouvait être question de ne pas les supporter intermédiairement par des appuis appropriés. D'autre part, enfoncer simplement des poutrelles dans le sol, comme cela s'est fait à Berlin et ailleurs, c'était s'exposer, à coup sûr, à de graves déboires de tassement dus, ici, à la nature fluente du sous-sol bruxellois. Il est à remarquer, en effet, que certains supports verticaux doivent pouvoir porter, à un moment donné, par exemple lors du montage de la charpente métallique d'étaçonnement, des charges de l'ordre de 60 à 80 tonnes par colonne d'appui intermédiaire.

Dans ces conditions, il importait de donner à ces montants, une base de fondation suffisante pour éviter tout affaissement appréciable qui eut pu provoquer la flexion des poutres horizontales d'étaçonnement de la tranchée et compromettre la bonne exécution du travail. C'est d'ailleurs, grâce à l'existence de bons appuis de l'espèce qu'il est possible d'utiliser la charpente métallique, non encore enrobée dans le béton, pour supporter une partie du matériel et des matériaux de chantier, là où la place fait défaut.

10. Faux-puits avec virole de base en acier.

La nécessité d'établir, à la profondeur voulue, une base d'appui de surface suffisante, a conduit, tout naturellement, à devoir creuser des faux-puits permettant ultérieurement d'y placer les montants métalliques servant de support aux poutrelles transversales et longitudinales de l'étaçonnement général de la fouille.

A la base de ces faux-puits, dont le blindage se compose d'un cuvelage en bois, renforcé par des cerces métalliques réglables, on descend une virole d'acier de 1,50 m. de hauteur et de 1,50 m. à 1,75 m. de diamètre, suivant les endroits et les circonstances.

Ces viroles, descendues sous le niveau inférieur du radier de l'ouvrage, sont abandonnées dans le sol. Dès que le béton, qui

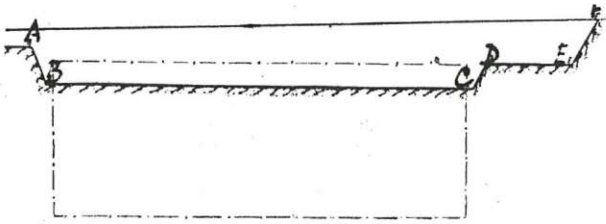


Fig. 12. — Enlèvement des maçonneries anciennes et premiers déblais superficiels suivant A, B, C, D, E, F.

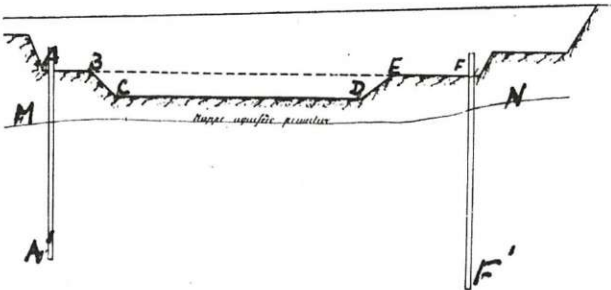


Fig. 13. — a) Battage des palplanches AA' et FF'; b) Approfondissement des fouilles en B, C, D, E jusqu'au-dessus de la nappe aquifère primitive M N.

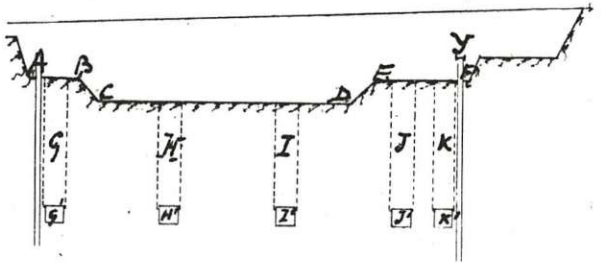


Fig. 14. — a) Rabattement de la nappe aquifère à partir de A, B, C, D, E, F; b) Mise en place de la poutre (métallique ou en béton armé) Y destinée à solidariser les têtes des palplanches du rideau le plus exposé à cause de la proximité des faux puits J et K, principalement au droit des joints de dilatation où ces faux puits sont doublés; c) Creusement des faux puits G, H, I, J, K à la faveur du rabattement de la nappe aquifère; d) Mise en place des viroles métalliques G', H', I', J', K'.

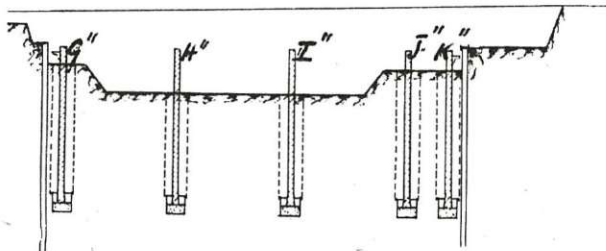


Fig. 15. — a) Bétonnage de la moitié inférieure des viroles de base des faux puits; b) Mise en place des montants verticaux G'', H'', T'', J'', K'', de l'ossature métallique d'étaisonnement des fouilles.

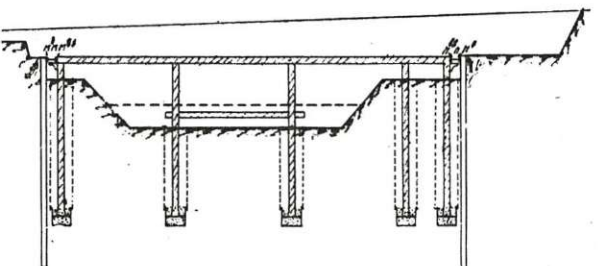


Fig. 16. — a) Pose de l'ossature métallique du plafond du garage et d'une partie du plafond du tunnel; b) Mise en place des poutres longitudinales M N d'étaisonnement supérieur du rideau de palplanches. Pose des coins de calage en M'' et N''; c) Bétonnage des poutres M et N contre les rideaux de palplanches en M' et N'; d) Scellement définitif de la base des montants par bétonnage de la moitié supérieure des viroles.

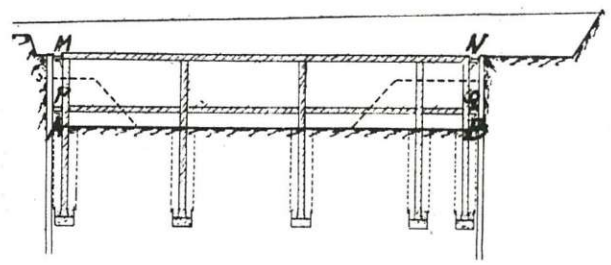


Fig. 17. — a) Enlèvement des déblais suivant A B; b) Achèvement de la pose de l'ossature métallique du plafond du tunnel et calage en P et Q de cet étaisonnement contre les rideaux de palplanches.

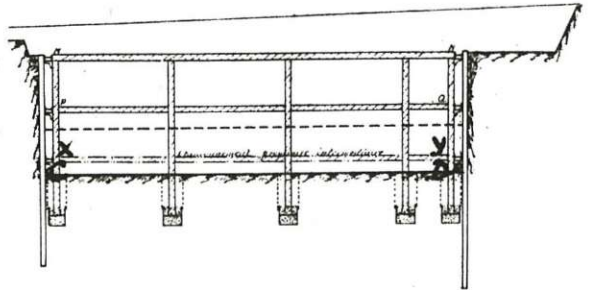


Fig. 18. — a) Approfondissement de la fouille jusqu'en C D; b) Pose d'un poutrage d'étaisonnement provisoire intermédiaire en X Y.

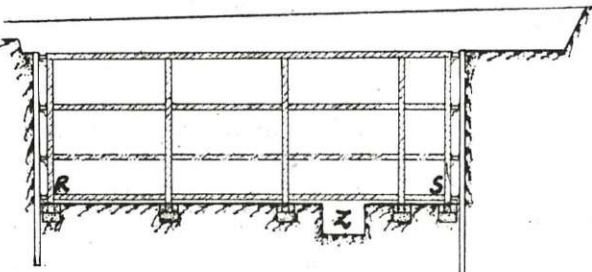


Fig. 19. — a) Enlèvement des déblais jusqu'au fond de la fouille; b) Pose du poutrage d'étaisonnement R S à enrober dans le radier; c) Déblayage en Z en sol asséché, sous la protection d'un blindage spécial.

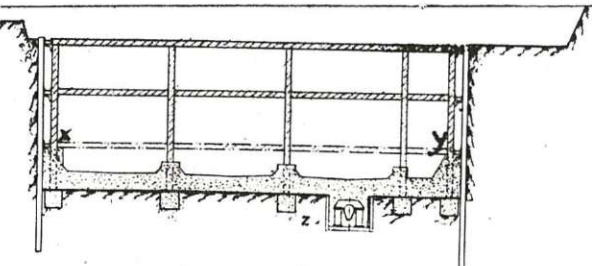


Fig. 20. — a) Ferrailage et bétonnage de l'égout-drain Z; b) Bétonnage du radier du tunnel, des pieds-droits et des colonnes du tunnel jusqu'au niveau de l'étaçon intermédiaire X-Y.

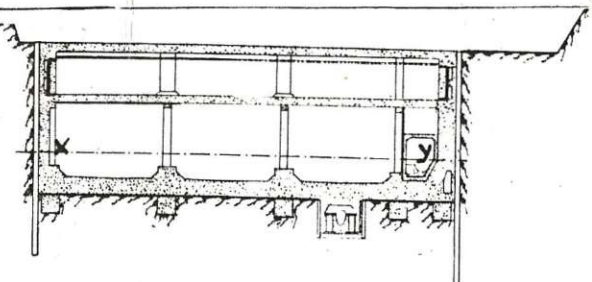


Fig. 21. — a) Enlèvement de l'étaçon intermédiaire X Y; b) Ferrailage et bétonnage successif du restant de l'ouvrage; c) Travaux divers de parachèvement.

remplit les viroles jusqu'à mi-hauteur, a fait prise, on peut descendre, dans les faux-puits, les poutrelles métalliques formant les montants de l'ossature. A la faveur de ce bétonnage de base, ces montants y trouvent, au droit du sol, une surface d'appui suffisante pour leur permettre de porter, sans affaissement, le poids de l'ossature métallique d'étalement et même d'une partie du matériel et des matériaux de chantier.

Ce bétonnage de base, exécuté à l'intérieur de faux-puits de diamètre relativement considérable, permet le réglage immédiat et précis de la mise en place définitive de ces montants métalliques de support.

En plan, cette opération se fait à l'aide du fil à plomb, permettant de déterminer d'une façon précise, en se basant sur les données du plan d'implantation, l'emplacement exact où devra venir se placer, sur le bétonnage de base d'un faux-puits, l'axe du montant métallique correspondant.

Un premier réglage en hauteur s'effectue à l'aide d'un niveau à lunette; les tassements éventuels sont rattrapés par des lames d'acier, d'épaisseur variable, intercalées, en s'aidant de vérins, entre le pied des montants et le bétonnage de base des viroles.

Une seconde vérification de ce réglage s'effectue après la pose d'un tronçon de l'ossature métallique générale d'étalement; elle s'exécute grâce à un nivellement de la partie supérieure de l'ossature. Un dernier réglage, effectué comme précédemment, au moyen de lames d'acier, est réalisé avant l'enrobage du pied du montant dans le bétonnage de la seconde moitié de la virole. A partir du moment où ce bétonnage est terminé, ce montant est immobilisé dans sa position définitive.

11. Rabattement de la nappe aquifère.

La nature fluente des sables yprésiens s'opposait à tout creusement des faux-puits, décrits précédemment, par les procédés ordinaires. Afin de pouvoir réaliser ce travail, il importait d'extraire l'eau du terrain, grâce à un procédé approprié de rabattement de la nappe aquifère. Cette opération, difficile à cause de la finesse des grains de sable, a été facilitée par les deux rideaux de palplanches qui limitent la fouille à exécuter.

Ce n'est que lorsque le rabattement de la nappe est suffisamment poussé en dessous du niveau inférieur des viroles de base des faux-puits, qu'il est possible d'effectuer le bétonnage intérieur des viroles de base, dont il a été question ci-dessus.

L'assèchement du terrain est obtenu à l'aide de puits filtrants groupés, en général, en 3 files longitudinales. La première, le long du rideau Ouest des palplanches, la deuxième dans l'axe de l'ouvrage et la troisième le long du rideau Est. En cas de nécessité, un ou plusieurs autres puits filtrants sont intercalés localement entre les puits établis tout d'abord, à l'espacement de 7 mètres environ.

La profondeur des puits dépassant notablement les possibilités d'aspiration des pompes ordinaires et le rabattement en deux étages étant impossible à cause de la nécessité de mettre les faux-puits à profondeur au cours d'une seule opération, on a dû avoir recours à l'emploi d'éjecteurs situés à la base des puits filtrants.

Dans les travaux en cours, ces éjecteurs fonctionnant à l'aide d'eau sous pression, sont à l'abri de la plupart des dérangements auxquels il faut s'attendre lorsqu'on fait usage de pompes; leur encombrement est insignifiant et l'eau utilisée comme force motrice est reprise à la sortie des tubes et remise sous pression. Un déversoir permet d'éliminer l'eau en excès provenant de l'assèchement du terrain.

12. Equilibre de la poussée des rideaux de palplanches.

L'écartement, suivant l'axe du tunnel, des cadres métalliques d'étalement ainsi réalisés, varie de 6 à 8 m. suivant les endroits et les circonstances.

Pour reporter la poussée des terres transmise par les rideaux de palplanches, il était nécessaire d'interposer, entre ceux-ci et les cadres, des poutrelles horizontales, formant des filières longitudinales.

Celles-ci sont établies aux différents niveaux de l'ouvrage et leur serrage contre le rideaux de palplanches est réalisé au moyen de blocs en béton, à durcissement rapide, exécutés entre les poutrelles formant filières horizontales et chacune des palplanches bordant la fouille. Quelques armatures en acier rond de petit diamètre, noyées dans ces blocs en béton, servent à accrocher ces blocs aux poutrelles horizontales.

En vue d'assurer le serrage, on a intercalé entre les filières horizontales et les cadres transversaux d'étalement, un système de coins en acier dont le serrage permet d'équilibrer les poussées des terres transmises aux filières et aux cadres par les rideaux de palplanches.

13. Phases d'exécution des travaux (voir fig. 12 à 21).

Les principales phases d'exécution des travaux, dont les différents principes ont été exposés précédemment, ont été groupées ci-dessous par ordre chronologique :

- a) battage des deux rideaux de palplanches après avoir enlevé les terres, farcies de vieilles fondations, sur une hauteur de deux à trois mètres;
- b) fonçage des puits filtrants établis principalement à proximité des faux-puits à exécuter. Rabattement de la nappe aquifère;
- c) creusement des faux-puits dans le terrain asséché;
- d) mise en place des viroles de base des faux-puits;
- e) bétonnage de la moitié inférieure des faux-puits;
- f) mise en place des montants de la charpente d'étalement; réglage en plan et en hauteur de ces montants;
- g) montage et assemblage aux montants, de la charpente transversale destinée à équilibrer, à l'aide des filières horizontales, la poussée transmise par les rideaux de palplanches. Calage des filières par coins et blocs de béton;
- h) une fois le montage terminé, approfondissement de la fouille;
- i) dès que le calcul montre qu'à partir d'une certaine profondeur, le rideau de palplanches est incapable de supporter, sans déformation excessive, l'effort correspondant de la poussée des terres, intercalation d'une nouvelle filière horizontale qu'on serre contre les palplanches et les cadres par le procédé décrit en g.;
- j) approfondissement successif du fond de la fouille et pose d'un dernier étalement transversal qui sera ultérieurement noyé dans le béton du radier de l'ouvrage;
- k) dès la mise en place de tout cet étalement métallique, ainsi que la pose, au fur et à mesure de l'approfondissement de la fouille, des poutres longitudinales de liaison et de contreventement entre cadres, mise en place du ferrailage de l'ouvrage et de l'enrobage dans du béton, de toutes les poutres métalliques d'étalement ainsi que des fers ronds divers destinés à compléter, de façon judicieuse, l'armature du béton.

14. Construction du radier du tunnel.

Sur la surface asséchée du sol formant le fond de la fouille, on coule une couche de béton de propreté de 10 cm. d'épaisseur. Sur celle-ci, on pose une chape composée de 3 feuilles de gros papier asphaltique que l'on colle ensemble au moyen de bitume mis en œuvre à chaud.

Sur cette chape, mettant la base du radier à l'abri soit d'infiltrations d'eau, soit d'agents nocifs au béton, pouvant se trouver dans le sous-sol, on coule une nouvelle couche de 5 cm. de béton, de même composition que celle du radier proprement dit.

Une fois cette couche de protection de la chape terminée, on procède au ferrailage du radier, des pieds-droits et des montants du tunnel. Le ferrailage terminé est suivi par le bétonnage successif du radier et des autres parties du tunnel.

15. Mise en œuvre du béton.

La mise en place du béton, par gravité, à l'aide de goulottes, nécessitant un béton trop fluide, n'était pas admise par le cahier spécial des charges. Dans les travaux du premier tronçon du tunnel, le béton est amené sur place au moyen de conduites reliées

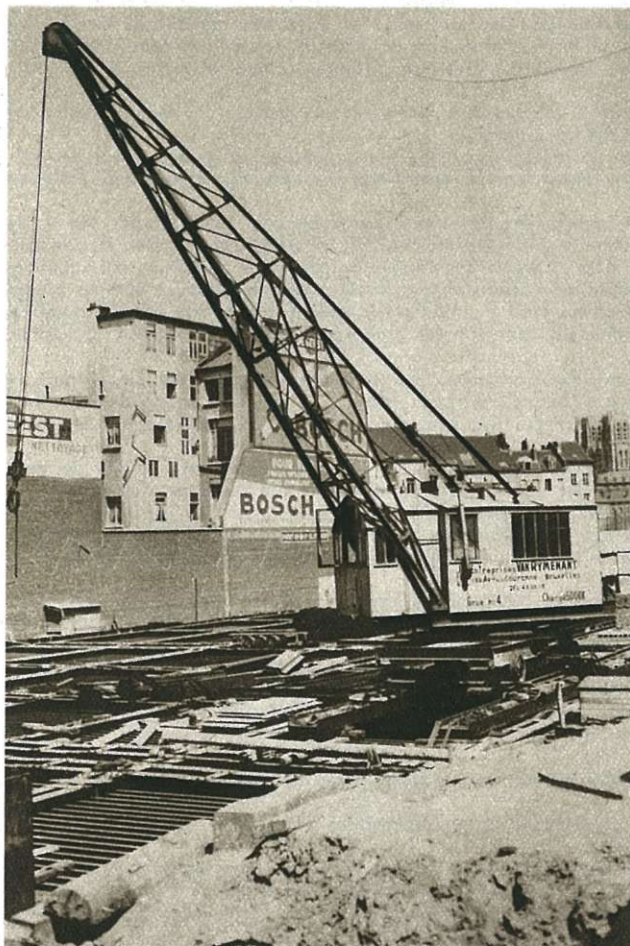


Fig. 22. — Engin de levage circulant sur le poutrage (1er tronçon).



Fig. 23. — Pose des fers du radier du tunnel — 1er tronçon.

à une centrale à béton, pourvue de pompes de refoulement du béton. Cette bétonnière mécanique est située, au maximum, à 150 m. environ de l'endroit où le béton doit être mis en œuvre.

Pour l'exécution du premier tronçon du tunnel, l'entrepreneur a utilisé une centrale à béton se composant de deux bétonnières automatiques d'une capacité de 1000 litres. En dessous des bétonnières, qui sont complétées par des silos pour matériaux, se trouvent deux pompes donnant chacune une production horaire de 8 à 10 m³ de béton. Incidemment il est à remarquer que l'entrepreneur chargé de l'exécution du second tronçon a préféré utiliser un système de mise en place du béton au moyen de petits véhicules susceptibles d'être amenés par des ascenseurs au niveau voulu et de là conduits, à bras d'homme, jusqu'à l'endroit de la mise en œuvre du béton.

Un joint de retrait provisoire d'un mètre environ de largeur, est prévu dans le radier tous les 25 m. environ; les barres constituant l'armature des deux parties voisines du radier chevauchent librement au droit de ce joint provisoire qui reste ouvert pendant un mois, afin d'éliminer de la sorte les 2/3 de la fatigue que ces armatures auraient à supporter, du fait du retrait des masses de béton, si pareille disposition n'avait pas été prévue.

Une solution analogue est appliquée aux pieds-droits, tandis que les montants et la dalle du plafond sont pourvus de joints de dilatation munis d'une feuille de cuivre.

16. Joints spéciaux transversaux de déformation longitudinale du radier.

Comme on vient de le voir, le radier est rendu continu après la disparition des 2/3 des tensions dues au retrait.

Toutefois, l'étude de la stabilité en long du tunnel, qui est assimilable à une poutre de longueur finie posée sur le sol, a conduit à prévoir des joints spéciaux, conçus de façon à ne pas nuire à la continuité du radier, tout en permettant une légère déformation angulaire ou verticale d'une partie du radier par rapport à sa voisine. Ces joints sont placés tous les 150 m. environ, en tenant compte de la discontinuité des surcharges (immeubles, voirie, etc.), susceptibles d'être réalisées ultérieurement sur le tunnel.

Ces joints sont caractérisés par une coupure locale horizontale voisine du niveau inférieur du radier, complétée par une coupure verticale, s'arrêtant vers le bas au joint horizontal.

En dessous du joint horizontal, se trouve une dalle mince en béton. Cette dalle est fortement armée de manière à fonctionner comme dalle continue, encastrée d'une façon parfaite à ses extrémités, mais suffisamment peu rigide cependant pour permettre d'assurer, sans fissuration, un petit mouvement relatif des deux parties contiguës de l'ouvrage.

Latéralement, au droit des pieds-droits, le joint spécial est complété par un dispositif en tôle de cuivre, à plusieurs plis, se prêtant à une certaine déformation verticale parallèle à ces plis.

Au droit du plafond du tunnel, au contraire, le joint spécial est complété par un dispositif analogue à ceux qu'on rencontre en cet endroit tous les 25 m. environ tout le long du tunnel.

Pour assurer l'étanchéité, ces joints, ainsi que les coupures horizontales et verticales du joint spécial, sont remplis de bitume.

17. Installations de drainage.

La construction du tunnel à flanc de coteau a eu comme conséquence de constituer une entrave à l'écoulement naturel des eaux descendant sans cesse souterrainement le long du versant de la colline. On s'est donc trouvé devant une nappe dynamique, contrariée dans sa descente, qu'il fallait capter sous peine d'avoir des remontées d'eau susceptibles d'inonder les caves des immeubles du voisinage situées en amont.

Un double drainage a été jugé indispensable à cet effet.

a) un drainage profond se trouvant sous le radier du puits Est du tunnel, s'opposant aux sous-pressions susceptibles de provoquer soit des introductions d'eau dans l'infrastructure des voies, soit un certain effet de soulèvement du radier du tunnel ; cette dernière éventualité eut pu se produire aux endroits où, localement, aucune surcharge n'existe sur le plafond de l'ouvrage.

Le drain a été conçu de manière à être visitable et réglable ; de plus, des dispositifs spéciaux ont été prévus en vue de permettre la régénération des matériaux filtrants. Le drain est, en outre, raccordé aux trois puits du tunnel par des tuyaux en grès, de façon à permettre l'évacuation, sous le simple effet de la gravité, des eaux de condensation ou de toute autre nature, qui se trouveraient dans le tunnel.

Toutes ces eaux, recueillies par l'égout-drain, sont évacuées vers les égouts du bas de la ville.

Le débit de l'égout-drain peut être réglé au moyen de bouchons en bois venant obstruer les tuyères en éternit assurant le déversement des eaux filtrées dans l'égout-drain. Eventuellement, si on le jugeait utile, cet égout-drain pourrait, de la sorte, être transformé en égout hermétique.

b) un drainage latéral, combiné avec le rideau Est de palplanches, a été établi en vue de s'opposer à toute remontée des eaux de la nappe aquifère à l'Est du tunnel.

Le rideau de palplanches a été muni, au droit de l'axe neutre de ses éléments constitutifs, d'une série de trous, situés légèrement au-dessus du niveau de la nappe aquifère primitive.

En vue de la réalisation du drain latéral, les creux des palplanches ont été fermés du côté de la fouille par une cloison d'une demi-brique d'épaisseur et l'espace, ainsi réalisé, a été rempli au moyen de matériaux filtrants.

A la partie inférieure de ce drainage vertical, des tuyaux en éternit ont été placés. Ils relient les drains latéraux à une galerie de contrôle située sensiblement au niveau du radier ; cette galerie de contrôle est reliée, elle-même par des tuyaux en grès, à l'égout-drain se trouvant sous le puits Est. Si la chose était jugée utile, l'obturation partielle de ces tuyaux en éternit permettrait de provoquer localement le relèvement de la nappe aquifère à l'Est du tunnel.

Grâce à ce drainage latéral, tout relèvement anormal de la nappe aquifère peut être empêché.

Vu le rôle important qu'ils sont appelés à jouer, ces drains latéraux sont régénérables comme le sont les éléments filtrants de l'égout-drain lui-même. A cet effet, le gros sable remplissant ces drains latéraux peut être remplacé par le haut des palplanches, au fur et à mesure de la descente et de l'évacuation, au moyen d'un trou de vidange, prévu à cet effet, dans la galerie de contrôle, de la matière filtrante colmatée.

18. Caractéristiques principales du second tronçon du tunnel Hôpital-Loxum.

a) Infrastructure.

Le second tronçon du tunnel, actuellement en cours de construction, s'étend depuis la rue de l'Hôpital jusqu'à la rue de Loxum et a une longueur d'environ 450 m.

Il est caractérisé par des voies en courbe, circulaires, de rayons différents, réunies entre elles par des raccordements paraboliques. L'intercalation des trois quais de la Gare Centrale ayant au maximum 8 m. de largeur, porte la largeur de l'ouvrage de 35 à 60 m. Ces quais ont une longueur de 300 m. et se terminent de part et d'autre en fuseau.

Les difficultés d'une implantation en courbe ont exigé des tracés très exacts tant sur le terrain que pour la charpente métallique, constituant, comme dans les autres tronçons, l'ossature du béton de l'ouvrage. Celui-ci comporte également trois puits. Toutefois, par suite de l'intercalation, dans chaque puits, d'un quai de 8 m. de largeur, la largeur de ces puits passe de 9 m. 45 (d'axe en axe des colonnes) à 17 m. 50 environ. Par raison d'économie, pour diminuer pareilles portées, un support intermédiaire est donc placé dans l'axe de chacun des trois quais. Pour en diminuer l'encombrement et dans un but architectural, ces colonnes ont une section circulaire.

L'ouvrage comporte également un égout collecteur le long du flanc Est et un égout-drain situé sous le puits Est.

Des escaliers fixes (2 par quai) assurent le service des voyageurs au départ et à l'arrivée. De même, deux escaliers mécaniques par quai assurent le service des voyageurs à l'arrivée.

b) Superstructure.

La Halte Centrale proprement dite, confiée à M. l'architecte Baron V. Horta, se trouve placée dans un vaste bâtiment d'environ 4.400 m² de surface. Les installations de la gare occupent une partie du rez-de-chaussée et un entre-sol inférieur.

Les voyageurs au départ entrent de niveau dans le hall des recettes par le carrefour elliptique (angle des rues de la Putterie et de l'Impératrice). Une autre entrée est située rue Cantersteen et, par des escaliers, les voyageurs arrivent dans ce même hall des recettes. Une différence de niveau de 4 m. existe entre le carrefour elliptique et la rue Cantersteen.

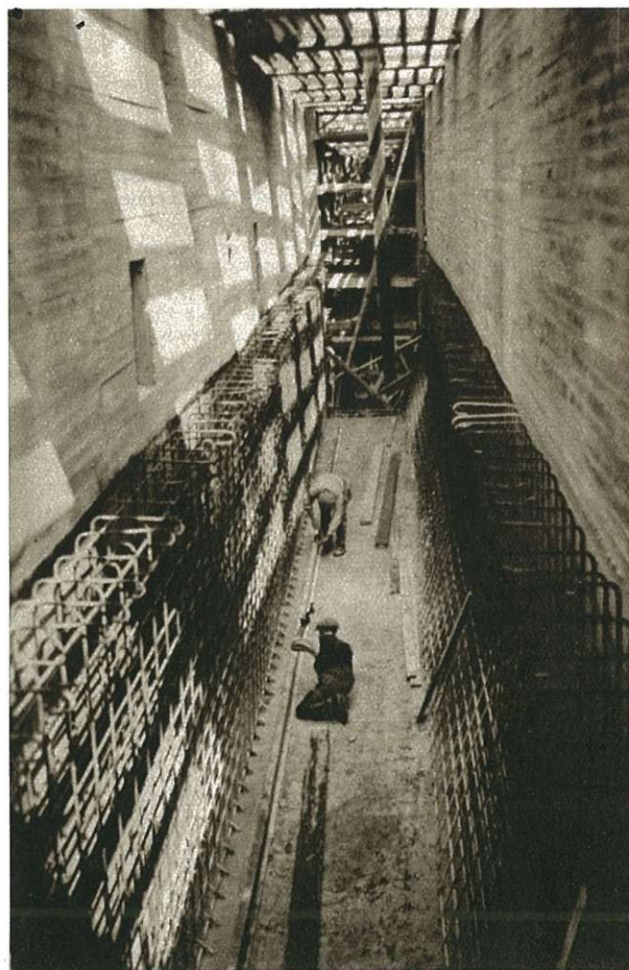


Fig. 24. — Pose du ferrailage de l'égout collecteur — 1er tronçon.

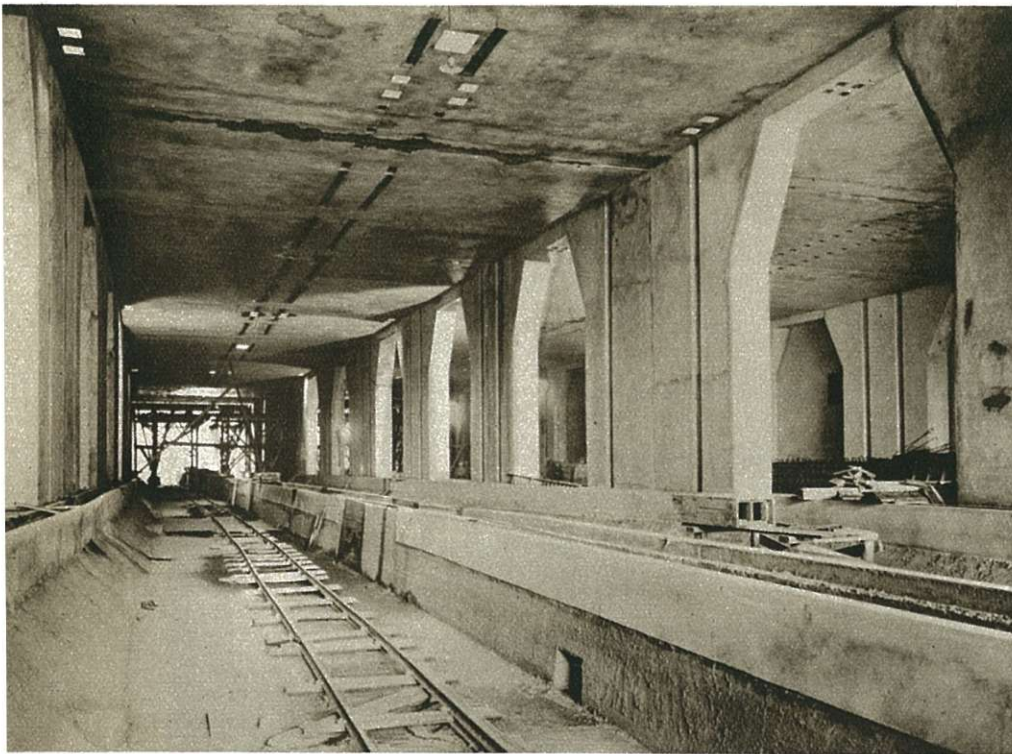


Fig. 25. — Le puits central achevé — 1^{er} tronçon.
(Photo Graphopresse.)

Du hall des guichets, les voyageurs descendent par un vaste escalier fixe à un large couloir de tête situé 3 m. 40 plus bas et, de là, se rendent à l'un des trois quais surélevés par des escaliers fixes permettant de racheter une hauteur de 5 m. 24.

Le restant du rez-de-chaussée est occupé par des services auxiliaires : postes, etc... et par des magasins.

Les 4 étages du bâtiment surmontant le hall des recettes proprement dit seront occupés par des services publics ou loués à des particuliers.

L'entresol inférieur, situé entre le rez-de-chaussée et les quais, est affecté aux voyageurs à l'arrivée ; il est donc entièrement séparé du hall des voyageurs au départ. Ce hall donne accès à une rue privée reliant la rue de l'Impératrice à la rue Cantersteen et où les voyageurs trouveront les taxis, autos, etc...

Les garages existants, construits par la Ville de Bruxelles, seront mis en

communication directe avec la gare. De la sorte, un voyageur pourra garer sa voiture et pénétrer directement dans le hall des recettes de la gare.

19. Particularités de certains moyens d'exécution mis en œuvre dans le second tronçon (fig. 10).

Les parties Nord et Sud du chantier (vers la rue de l'Hôpital et vers la rue de Loxum) sont exécutées entre deux rideaux de palplanches par faux-puits après rabattement de la nappe aquifère comme dans le procédé décrit pour le premier tronçon (Brigittines-Hôpital).

La partie centrale comprise entre la rue de la Madeleine et la rue du Cardinal Mercier a été exécutée par un procédé qui, tout en s'inspirant de la méthode générale présente quelques différences dues, en ordre principal, à la largeur de la fouille qui atteint 60 m. à son maximum.

Du côté Ouest, la fouille est limitée par les garages souterrains que la Ville de Bruxelles a fait construire à cet endroit en 1928-30. Une partie assez importante de ceux-ci a, du reste, dû être démolie pour loger le puits Ouest de l'ouvrage conçu actuellement suivant des données différentes de celles prévues lors de la construction de ces garages.

Du côté Est, depuis la rue de la Madeleine jusqu'à la rue des Sols, vu la largeur de la fouille, la proximité d'immeubles et l'impossibilité d'avoir une contre-butée sérieuse du côté Ouest, il a fallu constituer un mur de soutènement formé par l'égout collecteur et une partie du puits Est. Ce mur est construit avec un double rideau de palplanches AB, CD de 23 m. de longueur et distant d'une dizaine de mètres. Des faux-puits sont creusés en E et en F à l'abri du rabattement de la nappe aquifère et une charpente d'étalement peut y être descendue. Ce mur, une fois constitué, la fouille centrale put être reprise et l'ouvrage exécuté par les procédés ordinaires. Le rideau de palplanches intermédiaire CD est recoupé lors du raccordement de l'ouvrage.

Il est à noter que, dans cette partie centrale du tronçon, le rabattement de la nappe aquifère et, partant, l'exécution de la fouille a été facilité par un drainage établi d'une façon assez rudimentaire, il y a une vingtaine d'années, et qui s'est révélé de nos jours encore efficace. Les terres asséchées se sont maintenues avec des talus très raides sans éboulis et sans crevasse d'immeubles, notamment du côté de la rue de Loxum.

Entre autres particularités, nous noterons que l'on a battu, sans inconvénients, des palplanches de 23 m. de longueur à une distance de 1 m. 30 du « Café des Arts » situé au bas du Mont des Arts.

Citons encore parmi les particularités de ce chantier, le raccordement du second et du premier tronçon du tunnel, rue de l'Hôpital. En cet endroit, passe un caniveau en béton renfermant 5 câbles internationaux et 20 câbles urbains reliant la centrale téléphonique de la rue de la Paille à celle de la Place de la Monnaie. Il était donc impossible de détourner ces câbles et la fouille fut exécutée en maintenant les câbles en service. Des palplanches normales furent battues des deux côtés de la fouille, en amont et en aval du caniveau. A l'emplacement de celui-ci, une fouille fut réalisée de façon à permettre d'installer sous le caniveau une petite sonnette de battage. Celle-ci battit des bouts de palplanches de 2 m. de hauteur, mis en œuvre successivement et soudés au fur et à mesure. Malgré les difficultés inhérentes à un travail aussi délicat, on peut dire que celui-ci s'est déroulé normalement.

Le tunnel étant en courbe et le bâtiment de la Halte Centrale étant de forme triangulaire et débordant le tunnel, des fondations spéciales doivent être réalisées à certains endroits. La liaison définitive entre parties de bâtiment fondées sur fondations différentes se fera après l'exécution et la mise en charge de ces parties; elles sont cependant reliées entre elles dès le début, au moyen de fers ronds destinés à être enrobés ensuite dans le bétonnage de remplissage du joint vertical provisoire.

20. Aperçu des 3^{me} et 4^{me} tronçons du tunnel (rue de Loxum-rue des Sables et rue des Sables-rue Saint-Lazare).

Les 3^{me} et 4^{me} tronçons du tunnel, qui comportent une largeur normale de 35 m., seront exécutés dans les mêmes conditions que le premier.

Le 3^{me} tronçon passera à côté de la Banque Nationale, située rue de Berlaumont. Des arrangements spéciaux ont été pris avec

cet organisme pour combiner le travail de la Jonction avec certains travaux en profondeur envisagés par la Banque. Des palanques de 23 m. de longueur devront être battues en certains endroits à une distance de un mètre de parties de la façade de la Banque. Une centrale de soufflage sera construite rue des Comédiens et l'air frais sera amené directement sous les voies qui devront être établies localement sur un poutrage formant une sorte de pont à l'intérieur du tunnel.

Le 4^{me} tronçon comportera le point d'arrêt « Congrès » intéressant seulement le pertuis Est Bruxelles-Anvers. L'égout collecteur se sépare du tunnel et se raccorde à l'égout du boulevard du Jardin Botanique et, à partir de celui-ci, le tunnel passe sous le Jardin Botanique.

La continuité de la grande artère venant de la place de la Chapelle et de la Halte Centrale et aboutissant au boulevard du Jardin Botanique sera réalisée vers la gare du Nord à travers la commune de Saint-Josse-ten-Noode, par un tunnel routier, passant sous le boulevard du Jardin Botanique, afin de ne pas recouper au même niveau la circulation de cette artère. Toutefois des raccordements seront réalisés pour permettre aux automobiles de prendre ce boulevard.

La disparition du Jardin en tant que Jardin Botanique et sa transformation en parc public ornemental, nécessitera un léger remaniement des niveaux. La disparition des anciennes serres, non accessibles actuellement au public, se combine assez bien avec la nécessité de construire le tunnel en tranchée blindée. Toutes les dispositions seront prises pour que, dès l'achèvement du travail, on puisse mettre, au-dessus du tunnel, une couche de terre arable d'épaisseur suffisante pour les nouvelles plantations.

Du fait de la disparition des petites serres, le Jardin sera agrandi et, d'autre part, en conséquence de la démolition des immeubles rue Saint-Lazare, le Jardin sera bordé par des immeubles dont on verra les façades principales au lieu des façades arrières, souvent lépreuses, des maisons de l'actuelle rue Saint-Lazare.

21. Principaux monuments historiques voisins des travaux.

a. Eglise de N.-D. de la Chapelle.

Cette église, une des plus anciennes de Bruxelles, se trouve à une distance de 14 m. de la tranchée; d'autre part, le fond de la fouille est à 8 m. environ en dessous du niveau inférieur de ses fondations.

Le cahier spécial des charges de l'adjudication du premier tronçon du tunnel (Hôpital-Brigittines) insistait à plusieurs reprises sur les précautions à prendre au cours des travaux, en vue du maintien de l'église dans son état actuel. Un poste spécial du métré était consacré aux mesures à envisager par les soumissionnaires pour le maintien du monument en parfait état. Les projets remis par les soumissionnaires furent extrêmement variés et les prix demandés pour ces travaux s'échelonnèrent entre 145.000 fr. et 6 millions de fr.

Cette grande différence de prix et la diversité des solutions proposées, ont montré que le problème devait être réétudié. C'est dans ce but que l'O.N.J. a été conduit à faire installer dans l'église, des appareils de précision révélateurs du moindre trouble pouvant survenir par suite des travaux.

En outre, des étançons, des tirants et des appareils d'ancrage, furent approvisionnés sur place, de façon à pouvoir être mis en œuvre immédiatement en cas de danger.

Les appareils de contrôle furent mis en position avant l'exécution des travaux, afin de pouvoir étudier la vie normale de l'édifice.

Trois espèces d'appareils ont été utilisés :

a) des pendules horizontales ont été ancrées à la base des deux piliers intérieurs de la tour et permettent ainsi d'observer le moindre déversement de la construction. Leur sensibilité est de 1/200.000, correspondant à une inclinaison de 1 mm. en hauteur pour 200 m. en longueur.

Des pendules verticales, fixés à la voûte de la grande nef centrale ont, en outre, été placés à proximité des principaux piliers intérieurs de l'église.



Fig. 26. — Tête sud du Tunnel et halte de l'Eglise de la Chapelle.



Fig. 27. — Un aspect de la voirie nouvelle, sur le 1^{er} tronçon du tunnel.

b) des comparateurs, permettant de mesurer les déformations suivant les trois dimensions, ont été placés sur les principales fissures anciennes de l'édifice. Leur sensibilité est de l'ordre de 1/100 de mm.

c) un vibroscope à lunette, permettant de déceler l'importance relative et la direction des ébranlements vibratoires, a permis de faire un genre tout spécial d'essais.

Les appareils ont enregistré les différentes phases des travaux : battage des palplanches, rabattement de la nappe aquifère, creusement de la tranchée. Toutefois, leurs indications ne dépassèrent pas des normes raisonnables; ce fait a été confirmé pratiquement par la constatation qu'aucun vitrail et qu'aucune pierre saillante de l'édifice n'ont été détériorés au cours du travail.

Ces appareils furent construits et installés par M. le professeur Vanderhaegen de l'Université de Louvain, chargé de la mise en observation scientifique du monument. Les différentes lectures étaient faites plusieurs fois par jour. Ces appareils ont permis à l'O.N.J. de suivre, d'une manière tout à fait précise, l'influence des travaux sur la bonne tenue de l'édifice, en évitant les frais considérables de travaux de soutènement, de rempiètement, etc... d'un vieux monument dont la stabilité eut même pu être compromise s'ils avaient été exécutés.

A titre indicatif, la sensibilité des pendules horizontaux est telle, qu'elle a permis d'étudier, avant l'exécution des travaux, les déformations de la tour de l'église sous l'effet de la rotation diurne du soleil autour de l'édifice, ainsi que l'effet du freinage de tramways, de la sonnerie des cloches, etc... Ces données étaient évidemment des plus intéressantes pour servir de point de comparaison pour les constatations subséquentes.

b. Collégiale, SS. Michel et Gudule.

Des mesures analogues à celles dont question ci-dessus seront employées pour la mise en observation de ce monument, dont le point le plus rapproché des travaux se trouve, toutefois, à 60 m. de ceux-ci. Comme, en cet endroit, la nappe aquifère se trouve à dix mètres sous le niveau du sol, l'influence du rabattement de la nappe aquifère, du fait des travaux, sera beaucoup moins importante qu'à l'église de la Chapelle où elle ne se trouvait qu'à cinq mètres sous le sol.

22. Charges et surcharges admises sur le tunnel.

Pour autant que les règlements communaux le permettent, on a envisagé de pouvoir construire sur le tunnel des immeubles comportant caves, rez-de-chaussée et 8 étages.

Les fondations, piliers, montants et hourdis de celui-ci ont donc dû être calculés en conséquence.

En vue de pouvoir alléger les plafonds du tunnel et des locaux (garage, etc...) qui peuvent le surmonter, tout en permettant la construction d'immeubles importants, il a été jugé indispensable d'obliger les constructeurs futurs à concentrer les charges décrites précédemment en des points obligés, correspondant aux colonnes de support de ces plafonds. Ce n'est qu'au droit des alignements de façade de la voirie future qu'il a été prévu des poutres de répartition reportant ces charges sur les colonnes voisines. Afin que, dans l'avenir, il n'y ait aucun doute possible au sujet de la capacité de charge de ces supports, des plaques avec indication du tonnage susceptible d'être porté en ces endroits sont placées dans le béton de l'ouvrage au sommet et dans l'axe de chacune des colonnes. Il est procédé d'une manière analogue au droit de chacun des alignements de façade se trouvant sur le tunnel.

23. Composition des bétons.

Pour les travaux du 1^{er} tronçon, le béton mis en œuvre a comporté un dosage de 350 kg. de ciment Portland ou métallurgique



Fig. 28. — Vue d'ensemble du chantier du 2^{me} tronçon. Il s'agit de la construction de la gare Centrale (arch. Victor Horta) dont les voies ont un tracé courbe. A la date du 16 décembre 1938, les rideaux de palplanches étaient en place, le garage de la ville (visible au centre) était sectionné et le rabattement de la nappe aquifère amené à la cote la plus basse. Aux abords du Mont-des-Arts, cette cote atteignait 12 m. sous le niveau normal de la nappe.

par m3 de béton mis en œuvre. Pour l'adjudication du second tronçon du tunnel, la composition exacte du béton et plus particulièrement la quantité de ciment à mettre en œuvre, tient compte, notamment, des moyens que l'entrepreneur emploie pour sa mise en place et est fixée par l'entrepreneur au moyen d'essais préalables au commencement des travaux. Le dosage de ciment est augmenté éventuellement, sans majoration de prix, de telle manière que les essais de compression sur cubes de 20 cm. de côté, effectués au cours des travaux donnent après 14 jours, une résistance d'au moins 170 kg./cm² et d'au moins 220 kg./cm² après 28 jours. Le dosage de ciment peut être ramené à 300 kg. pour le radier-général, à condition que les essais préalables donnent au moins 150 kg. après 14 jours et 200 kg. après 28 jours.

Pour tenir compte de la différence qui peut exister entre échantillons de béton effectués en laboratoire et sur chantier, les essais effectués en laboratoire doivent donner une résistance de 20 % supérieure aux chiffres donnés ci-dessus.

De tels bétons conviennent pour résister à des taux de travail à la compression de 60 à 70 kil. par cm², conformément aux prescriptions de l'Association belge de Standardisation.

24. Assurance des risques.

Les risques afférents aux divers travaux, effectués jusqu'à ce jour pour compte de l'O.N.J. ont été couverts au moyen d'une police d'assurance; le contrôle technique pour compte des diverses compagnies d'assurance assumant les risques financiers de pareilles opérations, a toujours été fait, à l'entière satisfaction de l'O.N.J., par les ingénieurs du Bureau « Seco ».

C. - CONCLUSION.

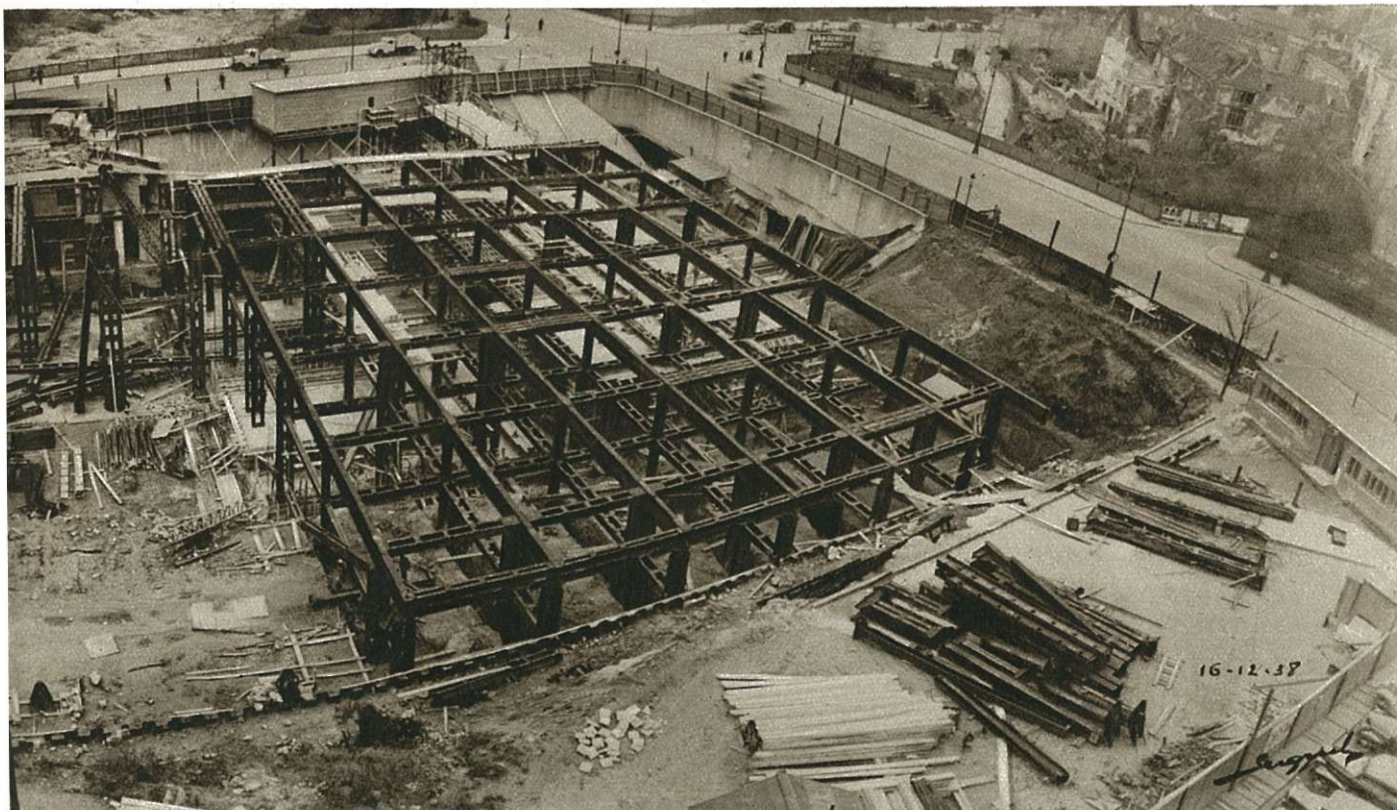
L'ouvrage en voie d'exécution que nous venons de décrire, se présente sous cinq aspects différents : travaux de génie civil, urbanisation de la ville de Bruxelles, reconstruction architecturale le long d'une artère de 2 kilomètres, située en plein centre d'une agglomération, électrification de l'étoile ferroviaire autour de Bruxelles et possibilité d'utiliser éventuellement le tunnel et les installations annexes comme abri de défense contre le péril aérien. Chacun de ces aspects constitue la solution d'un problème grandiose, n'ayant, en général, guère d'équivalent, quand on tient compte des circonstances spéciales devant lesquelles on se trouve. Au point de vue génie civil, le tunnel, de 2 km. de longueur, comportant 6 voies et un égout collecteur accolé, doit être établi en pleine agglomération, à côté de monuments historiques, et cela, dans un sous-sol comportant des sables aquifères, appelés communément sables « bouillants ».

Au point de vue ferroviaire, le tunnel doit être exploité du moins pendant une période transitoire, plus ou moins longue, par des trains à vapeur, malgré la présence d'une halte souterraine très importante et de points d'arrêt. Il en résulte des problèmes de ventilation d'autant plus spéciaux qu'on désire combiner la ventilation pour que le tunnel et les installations de gare puissent servir éventuellement d'abris.

Enfin, la reconstruction urbanistique et architecturale, suivant des plans d'ensemble d'une artère nouvelle en plein cœur de Bruxelles et s'étendant sur plus de 2 km. et demi de longueur constituera, en quelque sorte, pour toute urbanisation ultérieure de la Ville de Bruxelles, l'épine dorsale de plans beaucoup plus vastes d'urbanisation.

Comme on a pu s'en rendre compte, tout le travail de réalisation du tunnel s'effectue à l'air libre. Le raisonnement théorique, confirmé d'ailleurs par la pratique acquise à ce jour, a montré que c'était, en l'occurrence, vu l'ampleur de l'ouvrage, le procédé le plus économique et le plus efficace pour obtenir, avec sécurité, un travail parfait en sous-sol. D'autre part, il permet seul de réaliser ultérieurement en surface une reconstruction architecturale et urbanistique répondant, à tous points de vue, aux desiderata du confort immobilier moderne.

Bruxelles, le 19-12-1938.



Le chantier fut ouvert en avril 1938. Les travaux de ce second tronçon ont été confiés aux entreprises Ed. François & Fils. Ils nécessiteront le déblaiement de 270,000 mètres cubes de terre. Ils exigeront la mise en œuvre de 100,000 mètres cubes de béton armé et de 20,000 tonnes d'acier.

(Photo Sergysels.)