

Note sur quelques ouvrages en béton armé de la Société nationale des Chemins de fer belges,

par M. R. DESPRETS,

Professeur à l'Université de Bruxelles,
Chef du service d'études des ouvrages d'art à la Société nationale des chemins de fer belges.

Cette note comporte la description succincte avec dessins et photographies de quelques types d'ouvrages en béton armé construits pendant ces dernières années sur le réseau de la Société Nationale des chemins de fer belges à l'occasion de travaux de construction de lignes nouvelles ou de suppression de passages à niveau.

Ces ouvrages ont été étudiés avec la collaboration de MM. Degreef, Clément et Deryckere, ingénieurs, et de MM. Doison et Lebon, chefs du bureau de dessin du service d'études.

Tout en s'en tenant aux formes les plus simples et les plus faciles à réaliser sur chantier, on s'est efforcé de recourir largement aux ressources de la « Mécanique de la construction » en développant l'évolution des formes des éléments et des ensembles des ouvrages.

* * *

Ponts à poutres droites, sous chaussée.

Des ponts à poutres principales droites de types divers ont été construits dans plusieurs cas sous forme de passage « supérieur » d'une route au-dessus des voies ferrées.

Le béton armé est adopté de préférence au métal parce qu'il est plus économique de construction, qu'il demande moins d'entretien et qu'il résiste mieux

aux actions corrosives des fumées de locomotives. Cette dernière propriété n'est acquise qu'à condition de réaliser un enrobage soigné des armatures tout en maintenant ces dernières à distance suffisante et constante des coffrages.

Ces tabliers en béton armé sont de plusieurs types : *a*) tablier appuyé sur culées en béton ou *b*) sur appuis intermédiaires en poteaux simples ou béquilles.

Le tablier appuyé sur culées en béton est en général plus onéreux que celui sur appuis intermédiaires. Toutefois ces derniers peuvent être difficiles à établir eu égard au dispositif des voies à franchir. Lorsqu'il faut s'en tenir à la solution ordinaire des culées pleines, il est toujours possible d'éviter largement ces dernières en ne prévoyant que les armatures nécessaires pour assurer la solidarité de l'ensemble tout en conservant au béton son caractère « non armé ».

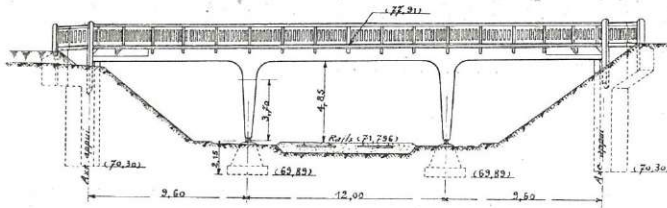
Lorsque les poutres sont sur appuis intermédiaires, une solution fréquente dans la construction des lignes nouvelles est de réserver la travée centrale pour deux voies principales, deux travées latérales vides permettant l'étalement libre des talus de déblais ou de remblais.

S'il est nécessaire de prévoir pour l'avenir le passage de voies nouvelles sous l'ouvrage, les travées latérales peuvent être établies de manière à pouvoir être

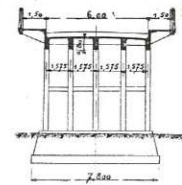
PLANCHE 1. — Ponts avec poutres droites.

Pont à Uccle (1927). — Ligne de Schaerbeek-Hal.

Elévation.

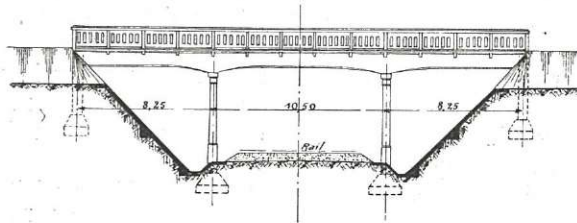


Coupe transversale.

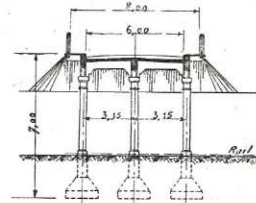


Pont à Anderlecht (1925). — Ligne de Bruxelles (Midi) à Gand-Saint-Pierre.

Elévation.

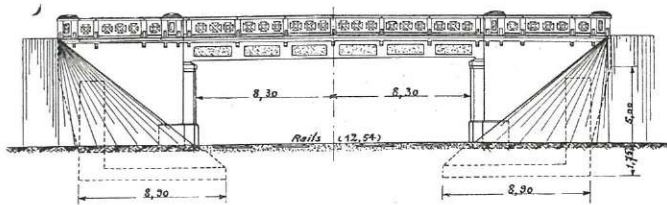


Coupe transversale.

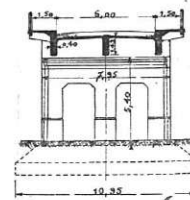


Tablier sur culées évidées (1934).

Elévation.



Coupe transversale.



déblayées sans entraver la circulation routière supérieure. (Passage supérieur à Hoevenen-Station d'Anvers-Nord.)

Les appuis intermédiaires sont de simples poteaux ou des béquilles. Quoique la solution « béquilles » soit plus satisfaisante au point de vue théorique, il est douteux que l'avantage matériel d'un allègement de sollicitation des pou-

tre compense l'aggravation de sollicitation des montants. Ces derniers transformés en béquilles sont plus difficiles à ferrailer et à relier aux poutres. Il semble que dans les cas ordinaires de portée moyenne on puisse s'en tenir aux poteaux simples intermédiaires, économiques et d'une réalisation facile.

De nombreux exemples de ces ouvrages

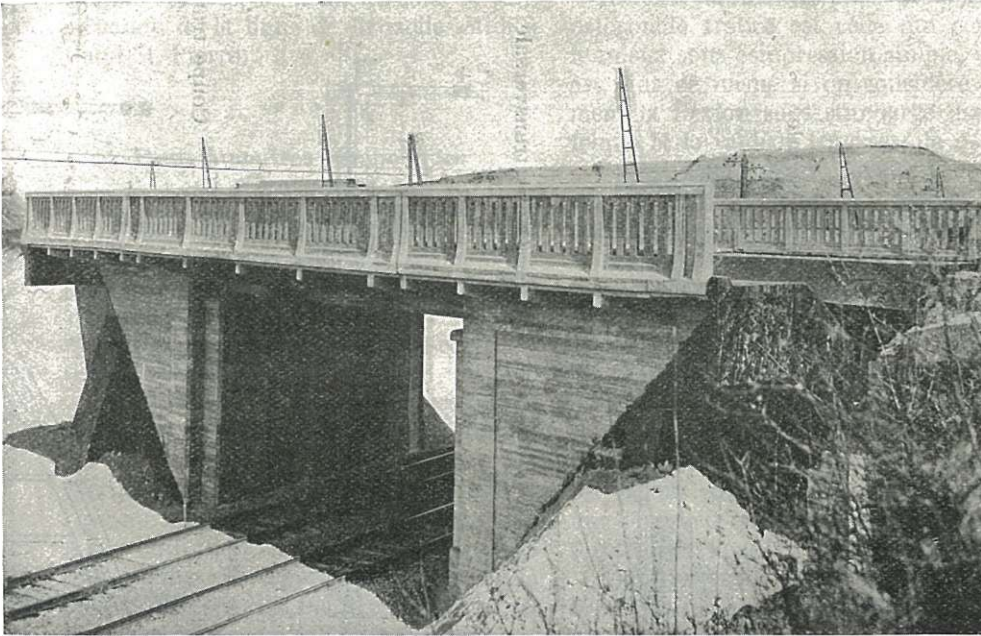


Photo 1. — Passage supérieur, rue de la Procession, à Uccle.
Ligne de Schaërbeek-Hal.

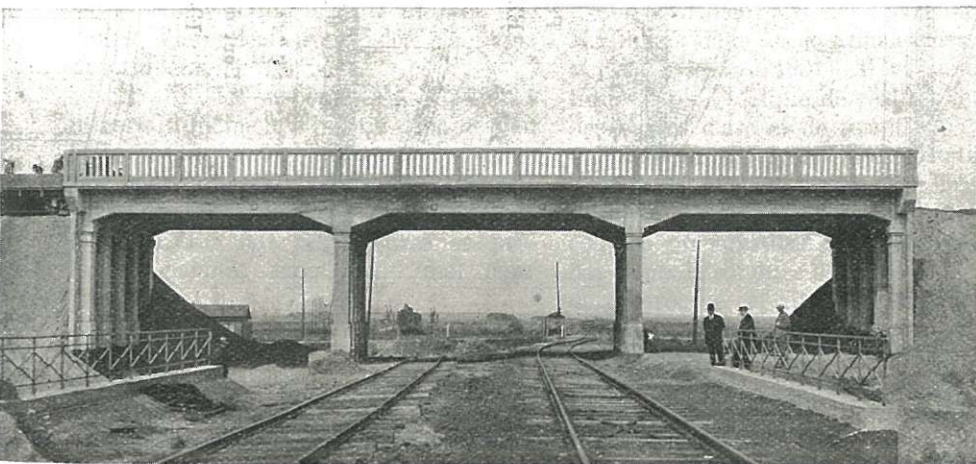
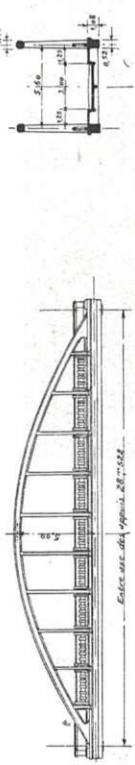


Photo 2. — Passage supérieur de Hoevenen. Gare d'Anvers-Nord.

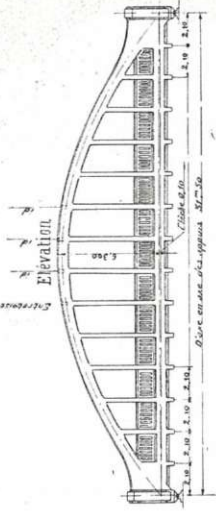
PLANCHE 2. — Passages supérieurs avec poutres principales en "bowstring".
Pont au-dessus de la Dendre à Ath (1921).

Elévation. Coupe transversale.



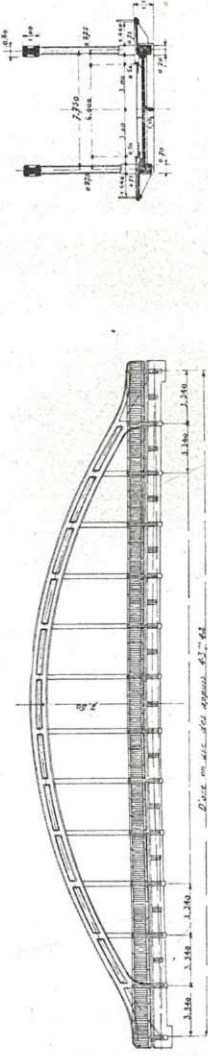
Pont du Gouffre à Châtelineau (1928).

Coupe transversale.



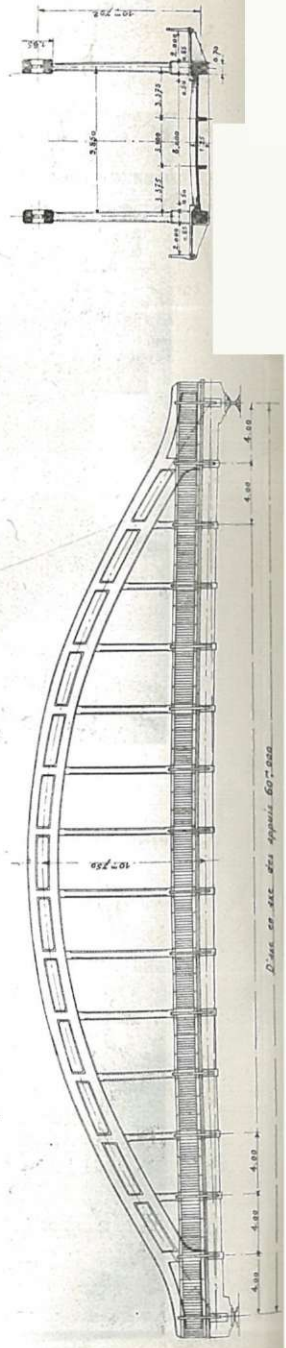
Pont de la rue de Pintamont à Ath (1931).

Elévation. Coupe transversale.



Pont de la chaussée de Bruxelles à Termonde (1932).

Elévation. Coupe transversale.



ont été réalisés, notamment dans la construction de la ligne de Bruxelles-Midi à Gand-St.-Pierre.

* * *

Ponts à poutres paraboliques en « bow string ».

Lorsque la portée à franchir atteint 35 à 40 m., une solution économique pour un passage supérieur de chaussée au-dessus de voies ferrées consiste à prévoir un pont à poutres en garde-corps du type « bow string ».

Cette poutre est constituée essentiellement par un arc parabolique sous-tendu par un tirant en bordure du platelage, la charge de ce platelage étant reportée sur l'arc au moyen de suspentes minces.

La définition théorique complète de cette poutre correspondrait à celle d'une poutre Vierendeel. Dans cette dernière, les montants soumis à flexion seraient épanouis aux greffes dans l'arc et dans le tirant; en compensation la fatigue de l'arc et du tirant sous surcharge dissymétrique serait diminuée. En somme, une poutre « bow string » est la limite d'une poutre Vierendeel ayant des montants sans raideur.

En réalité, les suspentes ayant toujours un certain moment d'inertie dans le plan de la poutre sont soumises à flexion et sont donc sujettes à se fissurer aux sections d'encastrement dans l'arc et dans le tirant. En fait ces fissures se produisent parfois, sans grand mal pour l'ouvrage.

Au point de vue esthétique, il semble d'ailleurs que l'aspect des suspentes minces soit plus favorable que des montants de poutre Vierendeel.

Les premiers ouvrages de ce genre ont été étudiés par le bureau d'études Considère de Paris, les arcs étant réalisés en béton fretté avec une section octogonale.

Il faut reconnaître que, si la section octogonale frettée est celle qui convient le mieux sous compression simple, il n'en est plus de même si on considère également la flexion sous surcharge dissymétrique et la raideur transversale de l'arc.

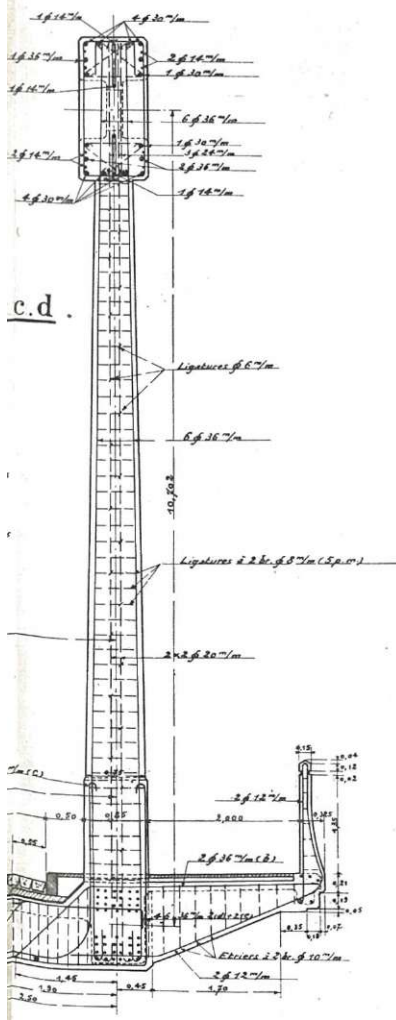
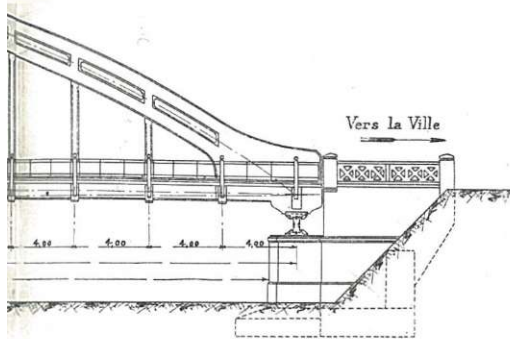
On est amené ainsi à préférer une section en double té haute et à flanges larges avec âme pleine ou évidée (ponts d'Ath et de Termonde).

Une autre particularité essentielle de ces poutres réside dans l'agencement de la culasse d'extrémité où les armatures du tirant et de l'arc se joignent dans un solide en béton dont l'analyse des tensions est compliquée. Si l'on s'en tient aux principes élémentaires, il faut que les barres de tirant soient ancrées sur une longueur suffisante au delà de l'axe théorique d'appui.

Cette condition prise à la lettre conduit à établir un ferrailage de culasse compliqué, difficile à réaliser et à bétonner d'une manière satisfaisante. Les recouvrements de barres à prévoir au voisinage des appuis compliquent encore davantage cette partie de la construction.

Conformément aux idées exprimées par M. Dumas dans les « Annales des Ponts et Chaussées » (1931); il est plus pratique et plus logique de réaliser le nœud des barres d'arc et de tirant sous forme d'un réseau orthogonal « d'isostatiques » pourvu de crochets d'extrémité largement calibrés. Le problème se simplifie beaucoup si on substitue aux recouvrements des joints la soudure des barres. La limite de ce procédé est atteinte quand on peut réaliser une continuité complète entre les barres d'arc et de tirant. Une passerelle actuellement en construction sur la ligne de Bruxelles à Anvers a été étudiée suivant ces principes.

La planche 2 sur laquelle sont représentés différents types d'arc indique l'évolution des formes depuis la section



octogonale jusqu'à la section en double té évidée. Les formes les plus récentes sont celles des arcs d'Ath et de Termonde.

L'arc d'Ath, d'un aspect gracieux, est à âme pleine avec caissons.

L'arc de Termonde, qui représente le dernier terme de la série, est évidé entre montants; ces évidements lui donnent un aspect aérien.

Les poutres en « bow string » du P. S. de Termonde ont encore d'autres particularités. Comme il est indiqué ci-avant, la soudure des barres y a été appliquée systématiquement pour la première fois dans nos régions à un pont en béton armé.

Dans les arcs, conformément aux prescriptions du règlement publié par les soins de la Chambre de Commerce du béton armé de Paris, la soudure à l'arc électrique n'implique aucun déforçement de la barre.

Dans les tirants, le principe du ferrillage a été d'ajouter un nombre de barres suffisant pour réaliser les joints en prévoyant des découpes rationnelles des barres. La sécurité de la construction était donc assurée sans souder les barres. Les soudures, en supprimant les discontinuités des barres, ont fourni un accroissement automatique de résistance en améliorant la transmission des tensions.

Il est d'ailleurs probable que l'avantage essentiel de la soudure réside non dans les économies de métal ou de béton qui en résultent mais surtout dans la simplicité plus grande des ferrillages sans chevauchement de barres et dans la sûreté et l'aisance plus grandes de l'exécution du bétonnage et de l'enrobage des armatures.

A cet égard, l'exécution des poutres du pont de Termonde — de 60 m. de portée entre appuis — a été d'une aisance remarquable et a prouvé que la constitution du ferrillage avait été bien étudiée.



Photo 3. — Passage supérieur du « Gouffre ». Station de Châtelineau.



Photo 4. — Pont de Termonde. — Ferrailage d'une culasse d'extrémité.



Photo 5. — Passage supérieur à Ath. — Suppression du passage à niveau.

Une particularité de la structure organique de l'ensemble du pont est l'absence de tout contreventement. Ce dernier n'a pu être supprimé que moyennant l'adoption d'un profil d'arc de grande raideur transversale et une butée efficace des suspentes — montants de la poutre. — Cette butée a été assurée par des ferrailages — pièce de pont montants — en béquilles renversées aux extrémités des poutres.

Nous nous proposons de revenir dans une note spéciale sur la question de résistance au flambage général des arcs de ces poutres. Nous ajouterons que l'expérience a prouvé que l'application des dispositifs organiques du pont de Termonde pourrait être étendue à des ponts de plus grande portée.

Il convient encore de signaler la structure des culées constituées par deux piliers principaux sous appuis, réunis sous les appuis et en semelle de fondation par

deux sommiers transversaux transformant l'ensemble en un cadre fermé.

Les terres des remblais peuvent s'étaler librement entre les piliers principaux d'appui.

Ces derniers, par l'intermédiaire du sommier inférieur, peuvent être assis directement sur le sol ou fondés sur pilotis.

Les appareils d'appui de Termonde sont en acier moulé. L'appareil mobile est constitué simplement par un balancier entre sabots supérieur et inférieur.

A cet égard, les passages supérieurs d'Ath, de Manage et de Charleroi ont fait l'objet d'une innovation intéressante. Aux appareils d'appui métalliques avec rouleaux, on a substitué des dispositifs entièrement en béton armé. L'appareil mobile est muni d'un balancier en béton renforcé par nappes d'armatures transversales. Les surfaces d'appui supérieure et inférieure sont cintrées. Dans le but



Photo 6. — Passage supérieur de Termonde. — Suppression du passage à niveau.

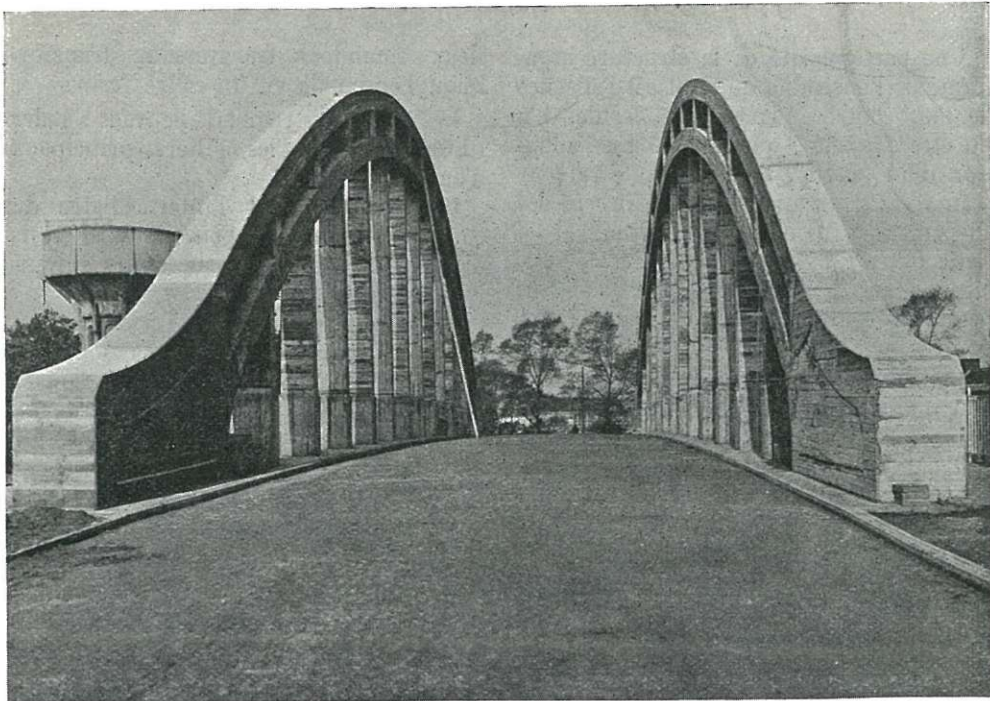


Photo 7. — Passage supérieur de Termonde.

d'éviter tout écrasement local dû à des inégalités dans les surfaces en contact, on a interposé entre les masses d'appui et le balancier des lames minces en plomb antimonieux. L'exécution de ces balanciers a été facile et économique. Eu égard au fini des surfaces en contact, on eût pu se dispenser de mettre en œuvre les lamelles de plomb prévues.

Nous annexons également une vue d'ensemble de l'ouvrage complet construit pour permettre la suppression du P. N. d'Ath. Les tabliers minces à poutres droites ont été exécutés avec poutrelles enrobées.

* * *

Passerelles.

Plusieurs passerelles ont été construites depuis 1926 en béton armé, la plupart avec poutres légères en « bow string ». La plus ancienne, au-dessus de la gare de Liège-Guillemins, est composée de 2 travées d'une quarantaine de mètres sur pile centrale mince évidée. Les arcs sont polygonaux à allure générale parabolique.

L'aspect eût gagné à les réaliser franchement en courbe parabolique. Les sections d'arc et de tirant ont un profil sensiblement en double té avec caissons.

La passerelle d'Herbatte à Namur comprend une travée centrale avec poutres en « bow string » et deux travées latérales droites.

Plus récemment, une plus grande légèreté a été recherchée et atteinte dans la passerelle d'Athus et les passerelles actuellement en construction sur la ligne de Bruxelles à Anvers.

Dans ces dernières passerelles, le problème des appuis a été résolu d'une façon ingénieuse et économique en articulant l'une des palées d'appui de manière à constituer un balancier de grande hauteur.

Les articulations sont réalisées par de simples barres droites, les coupes dans les poteaux étant normales à l'axe.

Dans les passerelles actuellement en construction sur la ligne de Bruxelles à

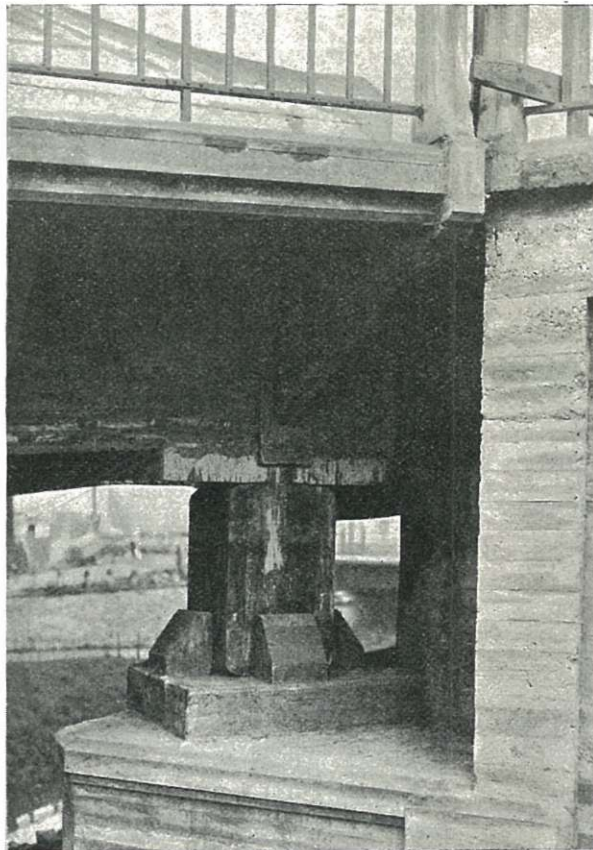


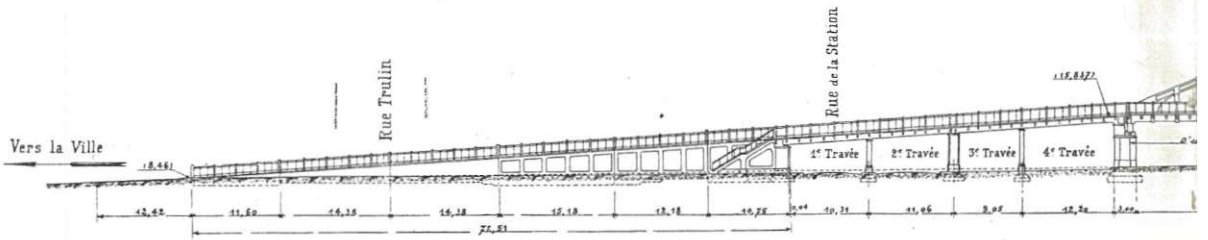
Photo 8. — Passage supérieur à Ath.
Balancier d'appui mobile.

Anvers, les armatures d'arc et de tirant sont soudées entre elles réalisant ainsi la continuité des barres de l'arc au tirant.

Toutes ces passerelles sont contreventées supérieurement.

Comme exemple de passerelle avec

PLANCHE 4. — Sta
Suppression des passages à niv
Elévation générale de l'ouvrage



5^{me} Travée. — (Portée théorique 43 m. 42).

1/2 coupe transversale
suivant l'axe d'un montant.

1/2 coupe transversale
suivant l'axe d'un panneau.

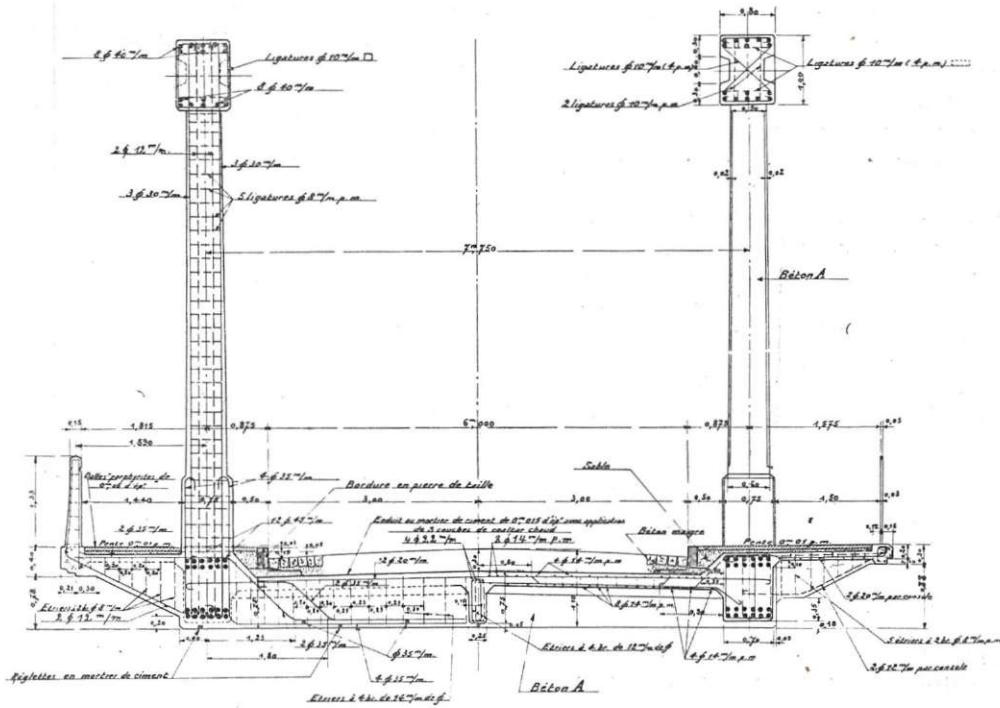




Photo 9. — Station d'Ath. — Suppression du passage à niveau.

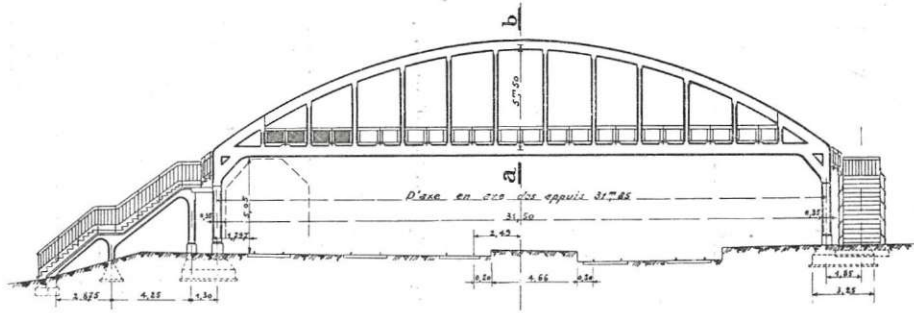


Photo 10. — Passerelle au-dessus de la gare de Liège-Guillemins.

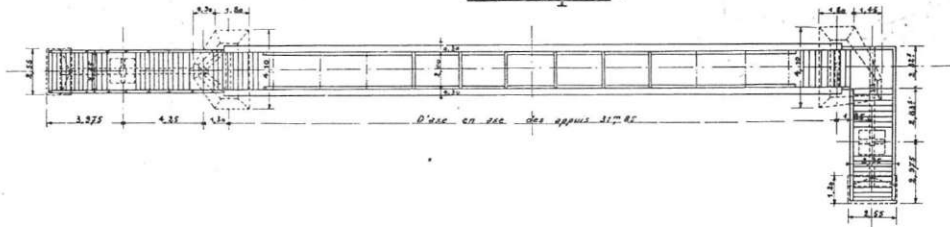
PLANCHE 6. — Station d'Athus. — Passerelle pour piétons.

(Portée théorique 31 m. 85).

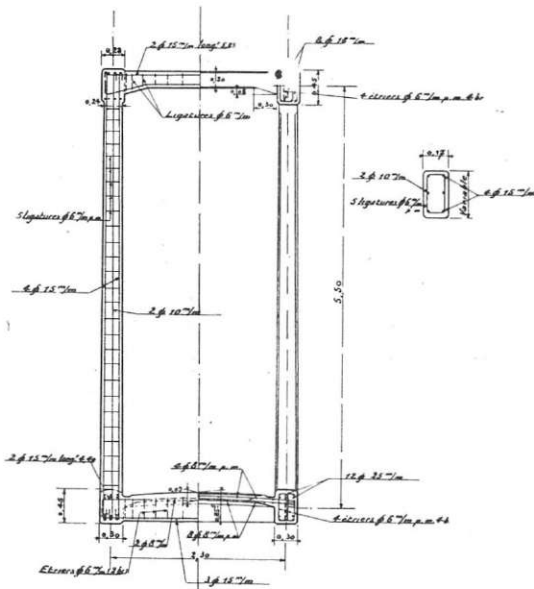
Elévation.



— Vue en plan. —



Coupe transversale suivant a. b.



Des essais de murs en béton armé faits avant la guerre mais insuffisamment mis au point n'ont pas donné de résultats favorables.

La question remise à l'étude à l'occasion des grands travaux à exécuter par la Société Nationale des Chemins de fer belges fut résolue avec succès suivant plusieurs variétés de profils.

Sous sa forme la plus simple le profil se présente en équerre avec voile vertical retenant les terres et semelle horizontale. La semelle est enterrée de manière à laisser le voile seul apparent; elle est constituée d'une culasse arrière recevant la charge du contrepoids d'équilibre des terres et d'un bec avant constituant l'élargissement nécessaire pour assurer une répartition convenable des pressions sur le sol de fondation.

Le voile vertical a généralement un



Photo 11. — Passerelle en gare d'Athus.

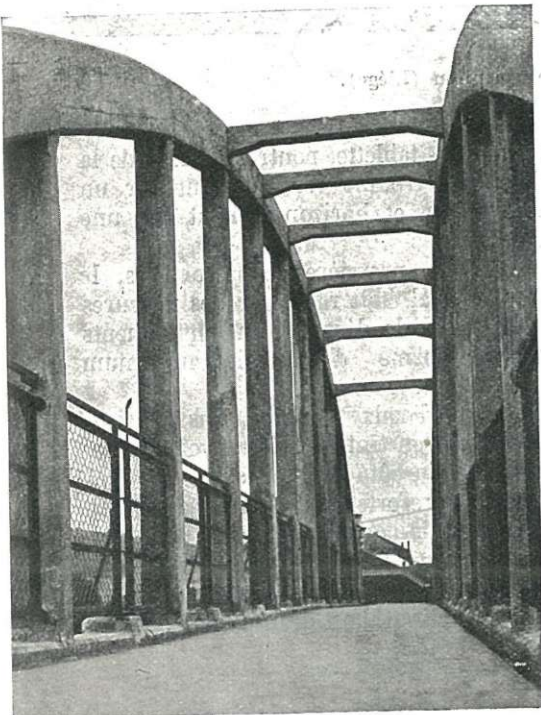


Photo 12. — Passerelle en gare d'Athus.

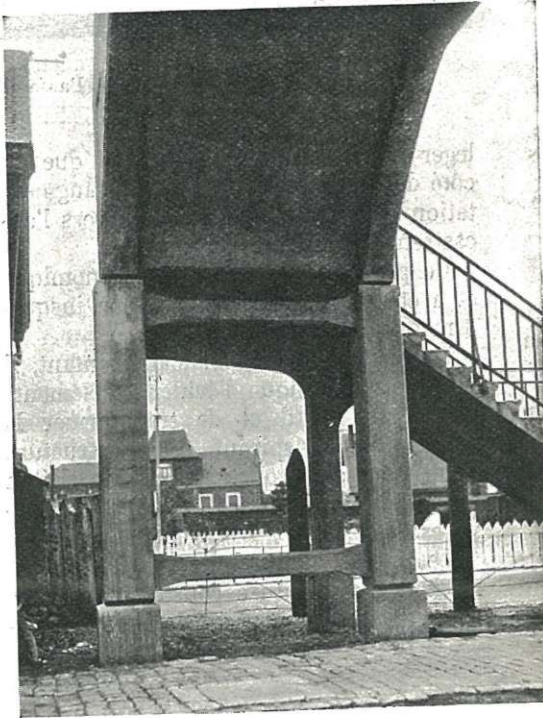


Photo 13. — Palée mobile de la passerelle d'Athus.



Photo 14. — Passerelle de Cornillon (Liège).

léger fruit sur la face vue ainsi que du côté des terres afin de réaliser l'augmentation progressive de la section vers l'encastrement sur la semelle.

Ce profil de mur est très économique et a été réalisé sous cette forme jusqu'à 3 mètres environ de hauteur.

La hauteur du remblai augmentant, il est plus économique d'évider les éléments pleins du profil et de transformer la section en s'inspirant de la structure habituelle des constructions en béton armé en dalles minces et poutres nervures.

Le profil habituel appliqué actuellement a une ossature constituée par des contreforts avec poutres de liaison hori-

zontales — tablette, poutres de rive de la semelle — réunis verticalement par un voile mince et horizontalement par une semelle.

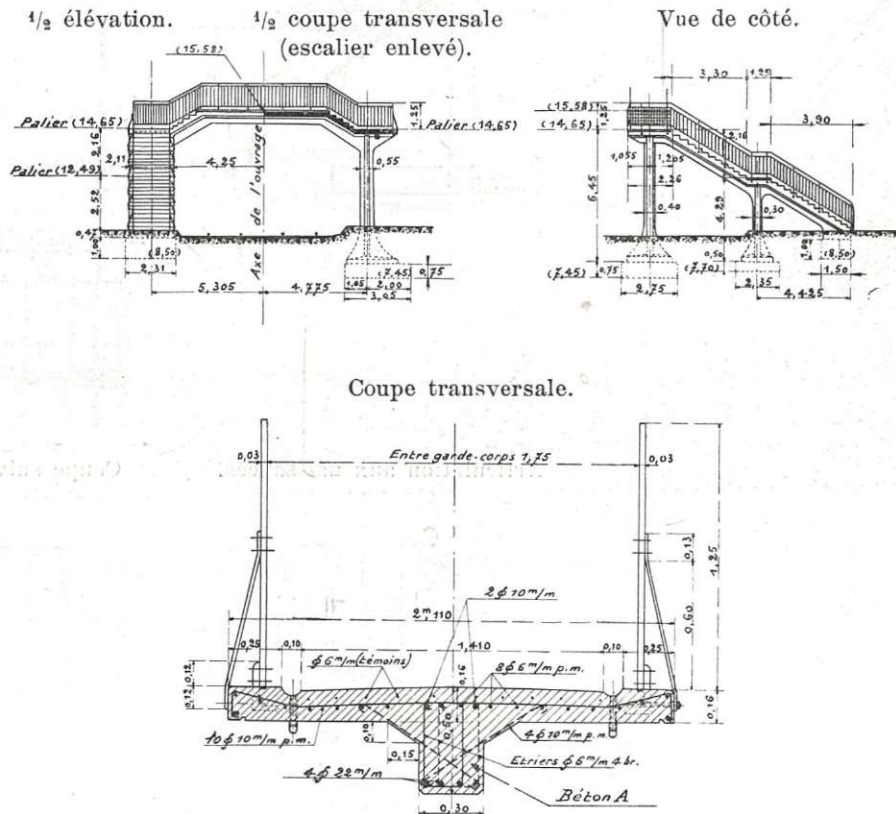
Dans les premières constructions, le voile vertical était raidi par des nervures orthogonales le décomposant en éléments carrés (forme d'économie maximum pour la dalle).

Eu égard aux complications de coffrages on s'en tint bientôt au voile à surface lisse du côté des terres.

Les contreforts sont écartés d'environ 3 mètres. Ils constituent aussi une complication dans les coffrages et les ferrailages. Au point de vue de l'économie de la construction, il est désirable de pousser

PLANCHE 7. — Ligne de Liège à Visé. — Station de Cornillon.

Passerelle pour piétons au droit du passage à niveau.



l'application du profil en té aussi haut que possible, le rôle des contreforts se réduisant à celui de raidisseurs pour le voile.

Ces types de murs, beaucoup plus économiques que les murs pleins ou à arcades, ont été construits sur des terrains de consistance médiocre où l'adoption des anciens types de murs eût exigé des fondations coûteuses sur pilots.

Il faut prévoir une largeur libre assez grande pour établir la culasse. Quand

l'exécution du remblai suit celle du mur, cette condition est facile à remplir.

Dans certains cas, il s'agit de soutenir les parois d'une tranchée étroite et assez profonde, par exemple pour la plongée d'une ligne nouvelle sous une gare (ligne Bruxelles-Tervueren sous la gare d'Etterbeek) ou pour l'établissement des rampes d'accès à un passage inférieur sous voies dans l'axe d'une chaussée bordée de bâtisses.

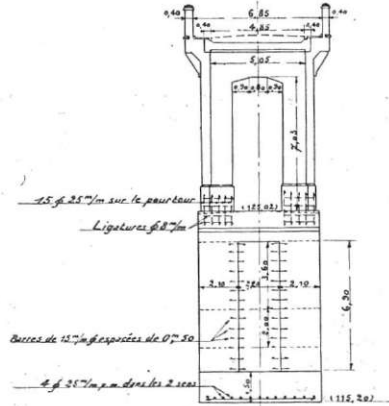
Dans ces cas il ne serait guère possible

eur de Mont-Saint-Guibert.

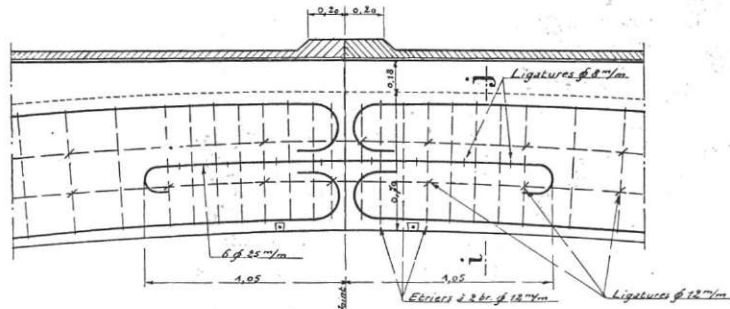
xe longitudinal de l'ouvrage.

Elévation suivant a. b.

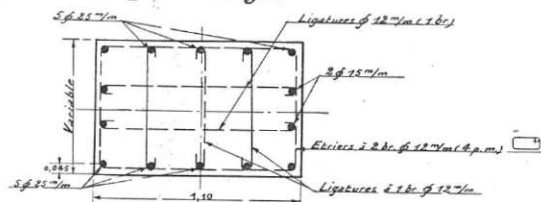
(Hourdis enlevé).



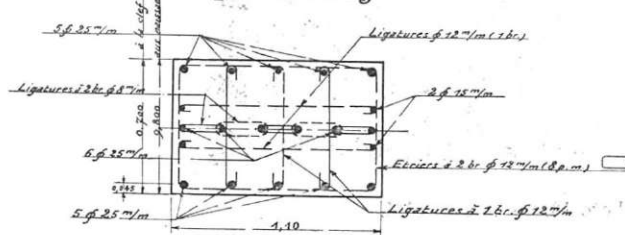
Articulation à la clef.



- Coupe suivt g.h. -



Coupe suivt i.j. -



Passage supérieur de Mont-Saint-Guibert

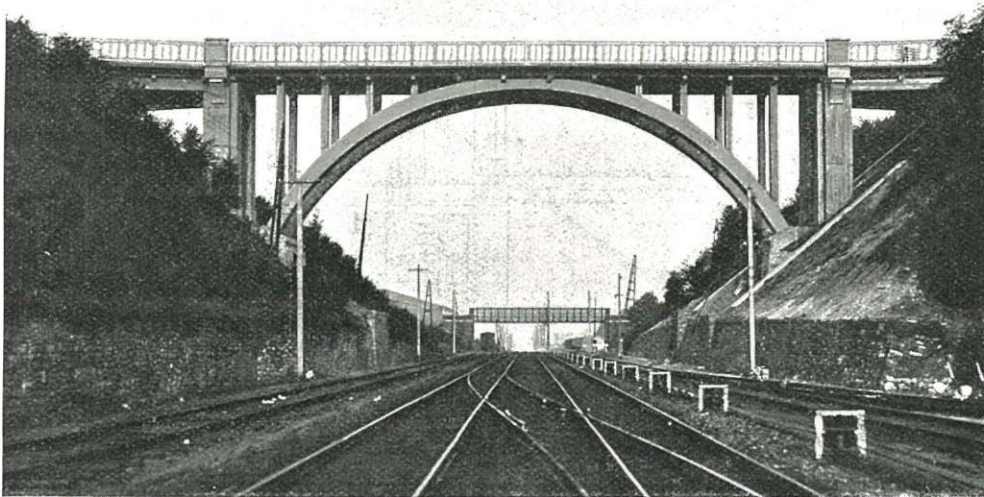


Photo 15. — Elévation générale.

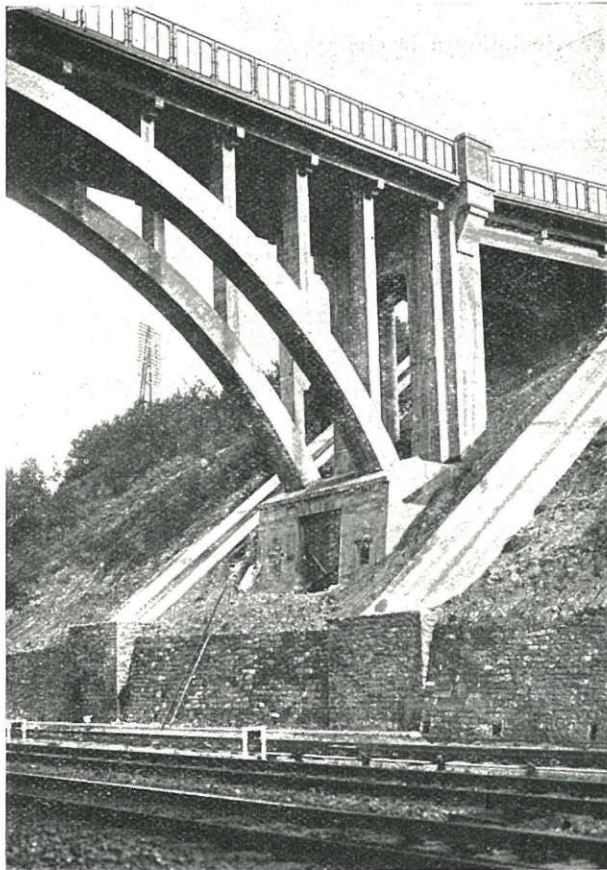


Photo 16. — Vue de côté.

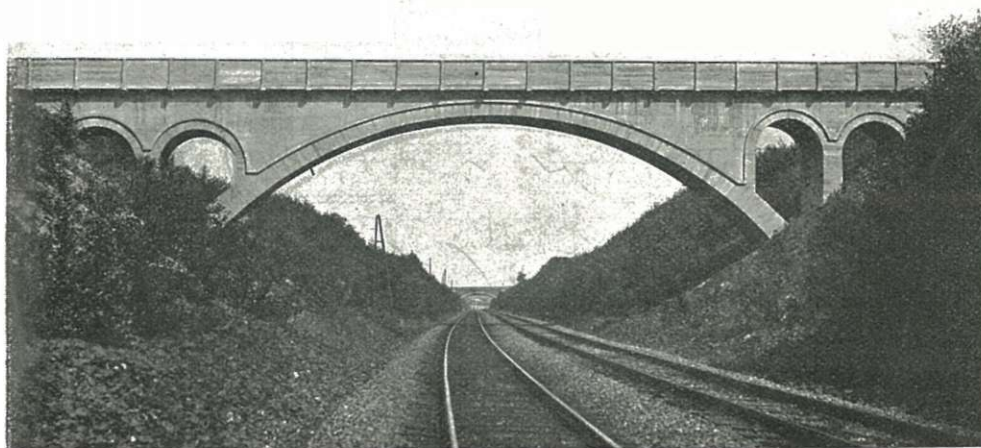


Photo 17. — Ligne de Schaerbeek-Hal. — Passage supérieur de Beersel.

d'établir les culasses de contrepoids nécessaires à l'équilibre des poussées de terres. Il faut, pour équilibrer ces dernières, mettre en jeu des réactions intérieures.

Le problème est résolu par la constitution de part et d'autre de deux voiles verticaux de retenue des terres appuyés sur des cadres en béton armé ouverts par le haut en U ou bien entièrement fermés. Cette solution est d'application quand il est onéreux d'établir des culasses et que d'autre part l'écartement horizontal des murs est assez réduit pour ne pas exagérer l'équarrissage des U ou des cadres.

Si au lieu d'une tranchée, il faut réaliser sur une chaussée bordée de bâtisses un remblai enserré dans des murs pour rampes d'accès à un passage supérieur, il n'est pas difficile de disposer les culasses de mur vers l'intérieur du remblai. Toutefois, si la largeur de la rampe est assez réduite — 9 à 12 m. par exemple — la solution ordinaire peut être heureusement modifiée en ne maintenant que les voiles

verticaux de retenue des terres raidis par jambages verticaux et reliés à travers le remblai par des tirants flexibles articulés absorbant les poussées. Cette solution a permis de réaliser une économie notable par rapport aux murs ordinaires avec culasse (travaux de construction de rampes d'accès à un passage supérieur — Ath et Manage).

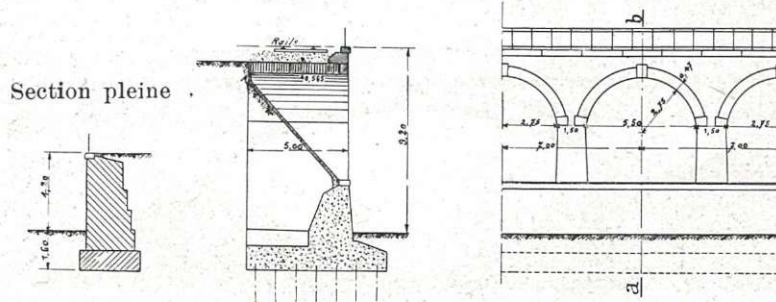
En ce qui concerne la construction de murs en béton armé, il est utile de rappeler la recommandation générale de prévoir des coupes de dilatation et de retrait à des intervalles assez rapprochés. En général, ces murs ont été construits par sections de 4 à 5 panneaux entre joints (avec contreforts contigus). L'expérience indique que les jeux ainsi réservés sont efficaces et nécessaires.

* * *

Tubes en béton armé.

Cette désignation s'applique habituellement à des ouvrages de faible ouverture à section libre carrée ou rectangu-

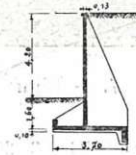
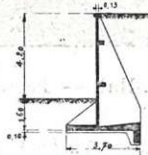
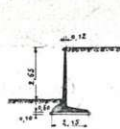
PLANCHE 9.
Mur à arcades. — Ligne Schaerbeek-Hal
Coupe a-b. Fragment d'élévation.



Type équerre.
Malines.

Types à contreforts.
Bruxelles-Midi.

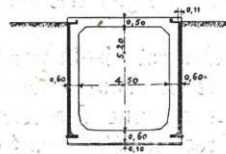
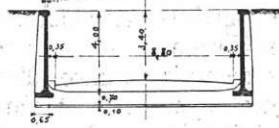
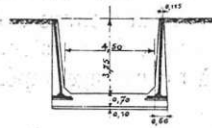
Malines.



Etterbeek.

Contreforts en U.
Houdeng-Goegnies.

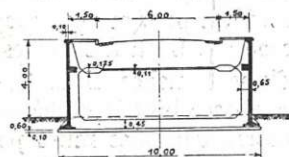
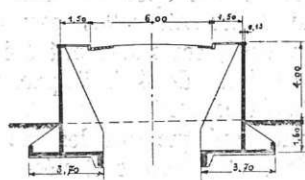
Contreforts en cadre.
Etterbeek.



Chaussée entre murs à contreforts.

Type ordinaire.

Voiles avec tirants.
Ath et Manage.



laire. Les parois de la section sont réalisées par des dalles non nervurées relativement minces.

Des ouvrages nombreux de cette forme ont été construits après la guerre, soit

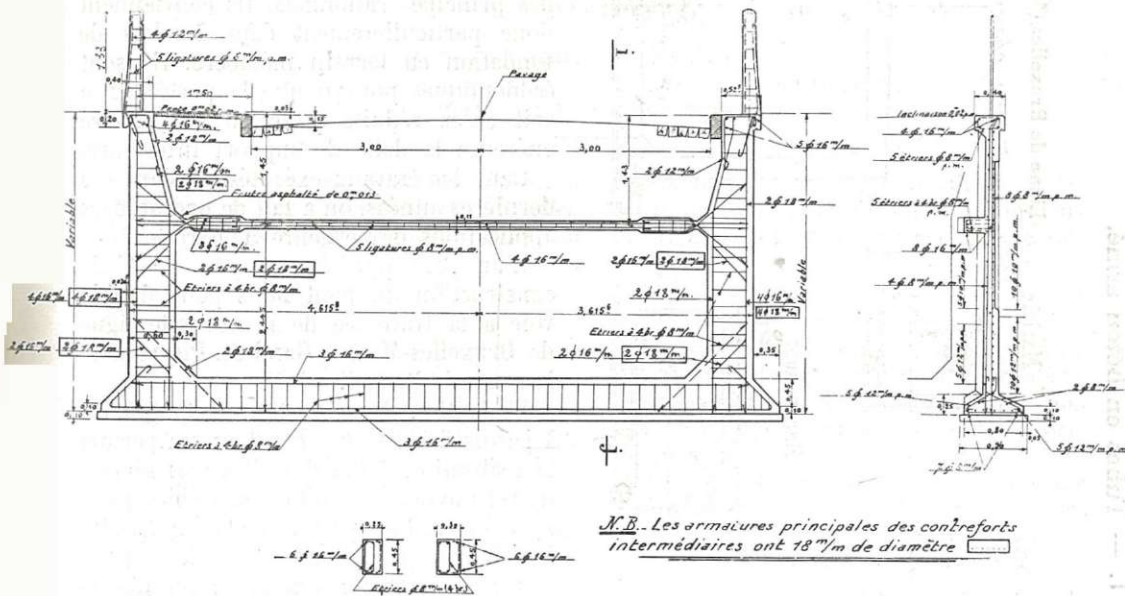
comme aqueducs et ponceaux, soit comme passages inférieurs d'ouverture réduite. Une traversée biaise à deux tubes accolés pour voie unique a été construite il y a déjà plusieurs années dans

LANCHE 10. — Station d'Ath. — Suppression des passages à niveau de la rue Pintamont.

Murs de soutènement des rampes établies pour le passage au-dessus du chemin de fer.

Coupe transversale suivant l'axe d'un contrefort extrême.

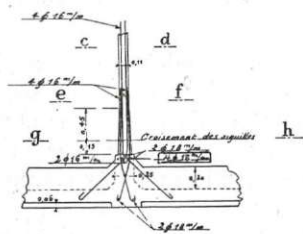
Coupe suivant a. b.



N.B. - Les armatures principales des contreforts intermédiaires ont 18^m de diamètre

Elévation arrière d'un tronçon suivant i j.

Détails des tirants.



Coupe suiv: c. d. Coupe suiv: e. f. Coupe suiv: g. h.

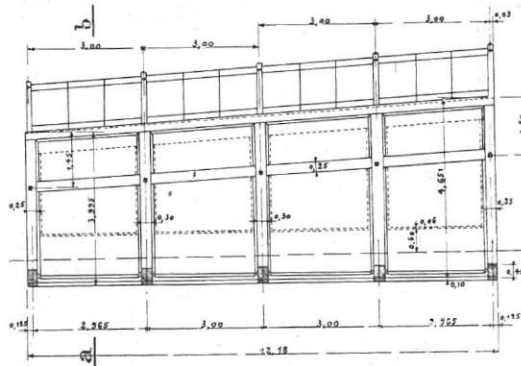
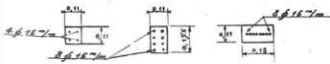
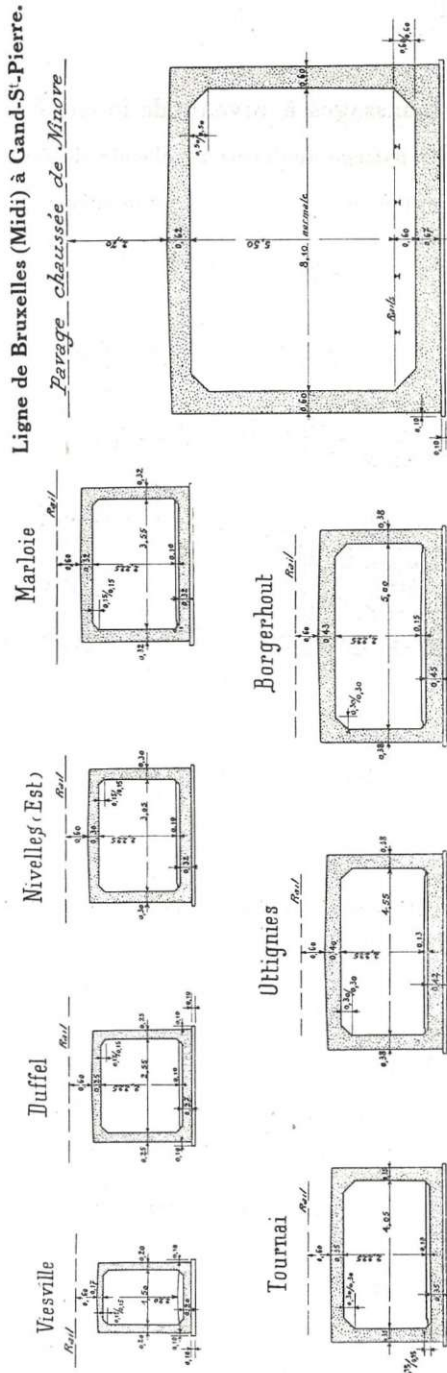


PLANCHE 11. — Tubes en béton armé.

Couloirs sous voies.



la gare de Schaerbeek sur remblai neuf dans des conditions économiques.

Ces ouvrages comprennent en section transversale une dalle de fondation qui constitue un radier général établi suivant des principes rationnels. Ils conviennent donc particulièrement dans les cas de fondation en terrain médiocre. Ils sont économiques pourvu que la portée libre soit assez réduite pour ne pas rendre onéreuse la dalle de support inférieure.

Dans les travaux exécutés pendant ces dernières années, on a fait de nombreuses applications de ce genre d'ouvrage.

L'une des plus importantes a été la construction du pont biais pour double voie à la traversée de la nouvelle ligne de Bruxelles-Midi à Gand-St.-Pierre avec la route de Bruxelles à Ninove.

L'adoption d'une section rectangulaire à parois d'épaisseurs constantes a permis la réalisation facile des têtes très biaisées de cet ouvrage. En outre, la faible épaisseur du radier permet d'établir l'assise inférieure de fondation assez haut pour éviter d'entamer pendant les fouilles la couche de sable fluent sous-jacente de forte épaisseur. Ce fut cette dernière raison qui détermina surtout l'adoption de ce type d'ouvrage.

La construction de nombreux couloirs sous voies fournit un autre exemple d'application systématique de ce genre d'ouvrage.

En général, ces couloirs ont une largeur libre variant de 3 à 5 m. La section transversale rectangulaire à parois minces permet de réaliser des fondations faciles et de réduire au minimum de largeur la fouille à creuser sous les voies maintenues en exploitation. Ces dernières peuvent être soutenues sans difficulté sur des poutres en caisson de hauteur réduite ou renforcées par des poitrails en rails.