

# Les travaux d'art des autoroutes

Autor(en): **Soutter, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **84 (1958)**

Heft 9

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-63492>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le diagramme de gauche de la *figure 7* donne le rapport de mélange  $\beta$  en fonction de la température et de la pression dans la chambre de combustion. On voit que les fortes pressions permettent d'atteindre des températures plus élevées ; cela vient de ce que le degré de dissociation est plus faible lorsque la pression est plus grande ; ainsi une plus grande partie de  $H_1$  introduit dans la chambre de combustion pourra s'associer et fournir de la chaleur.

$\beta$  croît très fortement lorsque la température à atteindre diminue ; des températures de l'ordre de 2000° K pourraient être obtenues avec une faible proportion de  $H_1$ .

Le diagramme de droite de la *figure 7* montre les vitesses de sortie que l'on peut atteindre en fonction de la température (resp. du mélange initial) pour une pression de 5 bar dans la chambre de combustion.

## 8. Conclusion

Si l'on compare les vitesses de sortie calculées dans cette étude aux vitesses de sortie aujourd'hui atteintes (environ 2300 à 2700 m/s), on voit l'énorme progrès que représenterait la réalisation d'un propulseur à l'hydrogène. Aussi n'est-il pas étonnant que l'Amérique ait investi dernièrement de très fortes sommes pour les recherches dans ce domaine.

## LES TRAVAUX D'ART DES AUTOROUTES

par P. SOUTTER, ingénieur, Zurich

C'est dans une intention précise que le titre de ce bref exposé consacré aux ponts contient le terme « travaux d'art ». En effet, il me semble important de souligner dès le début que tout projet de pont doit être considéré à la fois comme un ouvrage technique et comme une œuvre d'art. C'est l'occasion pour l'ingénieur de mettre en valeur tous ses dons en cherchant, parmi toutes les solutions possibles, celle qui satisfait à la fois aux exigences esthétiques, techniques et économiques. Je dirai même que l'ingénieur doit être tout d'abord son propre architecte, car la collaboration d'un ingénieur et d'un architecte dans ce domaine n'est à mon avis pas fructueuse. C'est un peu comme si l'architecte devait s'adjoindre un artiste peintre pour lui dessiner ses façades. L'ingénieur doit donc sentir son pont mûrir sous son crayon. Ce n'est qu'après avoir — comme l'artiste, comme le peintre — esquissé après bien des essais un pont qui soit adapté au paysage et aux conditions techniques et économiques qu'il doit commencer ses calculs de stabilité et de résistance. Le pont est la carte de visite de l'ingénieur. C'est par lui que l'ingénieur a la possibilité de réaliser la synthèse de ses dons et qualités. Il faudrait du reste la durée d'une conférence pour développer ce thème.

Les ponts ont pour les routes et pour le paysage une importance au moins aussi grande que les réalisations architecturales dans nos cités. Des sommes souvent considérables sont dépensées, du reste à juste titre, pour une recherche architecturale, pour l'esthétique d'une façade, par exemple, alors que le bâtiment rendrait les mêmes services avec une simple façade en damier, en béton brut de décoffrage. Pour les mêmes raisons, il est nécessaire de ne pas établir un projet de pont uniquement d'après des critères techniques et économiques mais de choisir la solution qui s'harmonise le mieux avec le paysage et l'esthétique de la route tout en observant un juste équilibre avec les critères techniques et économiques, qui ne doivent toutefois pas être seuls déterminants. Du reste, l'évolution de ces dernières années et les possibilités qu'offre actuellement le béton précontraint ont prouvé que généralement la solution esthétique est en même temps la solution technique et économique la plus rationnelle.

Je voudrais essayer de dégager en quelques mots certains principes généraux qui devraient être à la base des projets de ponts de nos futures autoroutes :

1. Les ponts, ainsi que les passages inférieurs et supérieurs, doivent être conçus de manière à découper une surface minimum dans le paysage.
2. Les ouvrages d'art doivent être sobres de ligne, avec aussi peu d'arêtes que possible.
3. Les ouvrages, en particulier les passages supérieurs, doivent laisser le maximum de visibilité aux usagers de la route.
4. Les ouvrages ne doivent pas provoquer un rétrécissement psychologique de la route qu'ils franchissent.
5. Les ouvrages sont partie intégrante de la route et doivent suivre strictement son tracé, même s'il en résulte des biais considérables ou s'ils doivent être construits dans une combe.
6. Pour une route dans la même région, les ouvrages doivent observer une certaine unité de doctrine dans leur conception, afin de contribuer à donner un caractère architectural homogène à la route dans cette région.
7. Dans la plupart des cas, un modèle à une échelle suffisante sera nécessaire pour juger l'équilibre des masses du pont dans l'espace.
8. Ces bases étant respectées, l'ouvrage sera dimensionné et construit en tenant compte des derniers progrès de la technique aussi bien pour la superstructure que pour les fondations et en appliquant en particulier les expériences faites avec le béton précontraint.
9. Les calculs statiques devront tenir compte des conditions réelles de l'ouvrage. Dans les cas particuliers, par exemple pour des biais très accentués, un essai sur modèle réduit sera souvent indispensable. Seul cet essai sur modèle, combiné avec les calculs statiques, permettra, souvent, un dimensionnement exact et économique de l'ouvrage.
10. L'exécution de l'ouvrage sera surveillée par l'auteur du projet, afin d'offrir toute garantie que ses intentions et prescriptions sont bien respectées. Une surveillance sévère de l'exécution permettra d'admettre des contraintes élevées. En particulier, les agrégats ne seront livrés qu'en trois composants et mélangés sous contrôle au poids sur le chantier, avec une installation automatique ou semi-automatique appropriée.

Les principes généraux contenus dans ces dix commandements du constructeur de pont peuvent être illustrés par quelques exemples.

L'Inspectorat fédéral des travaux publics a fait établir des types normaux de passages supérieurs et inférieurs pour les autoroutes et le coût de la construction, afin de

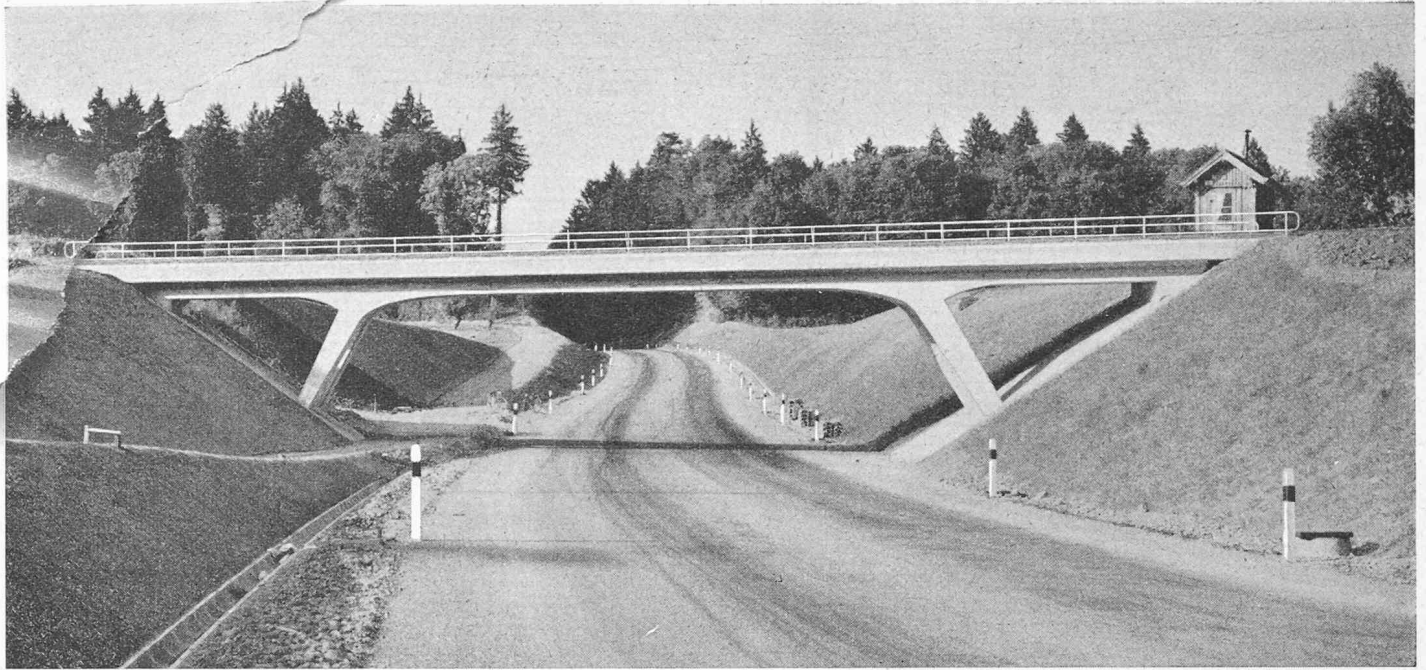


Fig. 1. — Passage supérieur des C.F.F., à Stigli près d'Andelfingen.

faciliter l'étude des projets généraux d'autoroutes et surtout l'établissement des devis. Il n'est aucunement dans l'intention de l'Inspectorat de faire exécuter tous les ouvrages selon ces types, chaque ingénieur ayant toute latitude d'exercer sa fantaisie et de trouver une solution meilleure et peut-être plus économique, la formule qui donne le coût étant établie de façon à lui en laisser le plaisir.

Le calcul du coût de la construction se détermine par la formule :

$$K = X + \frac{Y}{\sin \alpha}$$

$K$  = coût de la construction en milliers de francs (état des prix au 1<sup>er</sup> janvier 1956) ;

$X, Y$  = facteurs dépendant de la nature des ouvrages et de leurs fondations ;

$\alpha$  = angle de croisement des axes de routes ou voies de chemin de fer.

Une série de tableaux donne les valeurs d' $X$  et d' $Y$  pour les différents types de passages supérieurs et inférieurs et pour quatre cas de fondation normale et à pieux, sans ou avec nappe souterraine.

Les types normaux sont basés sur les excellentes expériences faites avec des ponts entièrement précontraints avec montant en V. L'avantage essentiel est de n'avoir que deux fondations pour trois portées et d'écartier de la route les montants à leur base, ce qui augmente la largeur psychologique de la route elle-même.

Enfin, ces types donnent une solution économique pour un minimum de la hauteur de construction, surtout si l'on utilise la dalle sans nervure qui a une grande marge de sécurité, à cause de ses possibilités de répartition des charges, et offre des facilités de bonne exécution. Ce type permet enfin d'utiliser de manière fort rationnelle un biais accentué éventuel.

Le calcul statique peut être simplifié en admettant les tirants extérieurs obliques précontraints comme articulés à leurs deux extrémités. Pour un passage supé-



Fig. 2. — Essai sur modèle réduit, en plexiglas, d'un pont biais avec appuis triangulés. Echelle du modèle 1 : 50.

rieur route, les montants obliques intérieurs seront généralement toujours comprimés, tandis que pour un passage supérieur pour chemin de fer, les montants pourront avoir des tractions pour certains cas de charge et devront donc être précontraints comme le tablier. Il va sans dire que pour tout autre pont d'une certaine importance, une étude spéciale tenant compte des conditions particulières de l'ouvrage sera indispensable.

*Passage supérieur pour chemin de fer à Andelfingen*  
(voir S.B.Z., n° 40, du 6 octobre 1956)

Il s'agit d'un pont-cadre précontraint avec montants triangulés correspondant aux types normaux de l'Inspectorat fédéral. Les béquilles obliques extérieures précontraintes disparaissent complètement dans les talus. La visibilité sur la route est excellente et l'obliquité des béquilles intérieures augmente sensiblement la largeur psychologique de la route. Des essais de charge sur ce

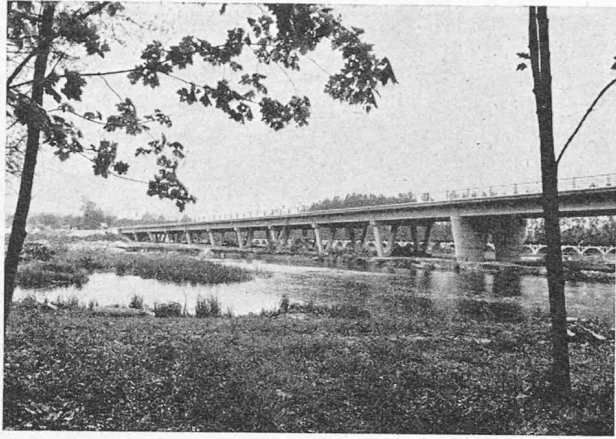


Fig. 3. — Viaduc franchissant la vallée du Loing. Route nationale Paris-Fontainebleau.

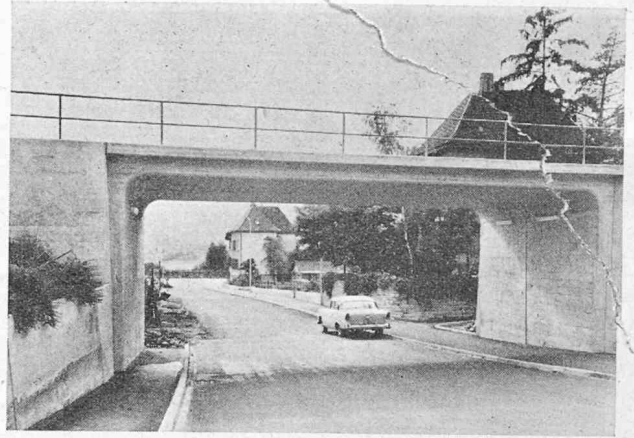


Fig. 5 a. — Passage supérieur sans ballast des C.F.F. à Küssnacht.

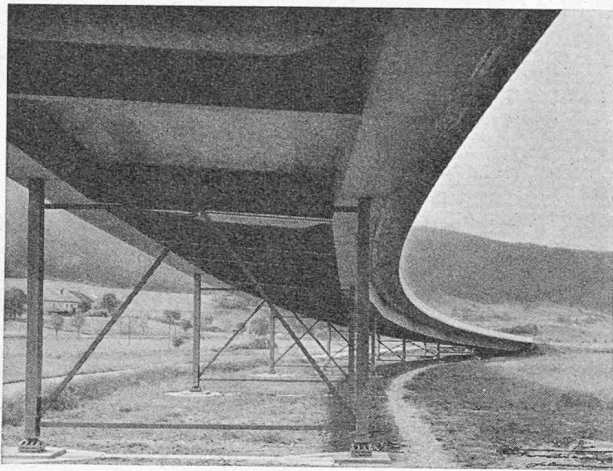


Fig. 4. — Viaduc d'accès au passage supérieur, à Travers.

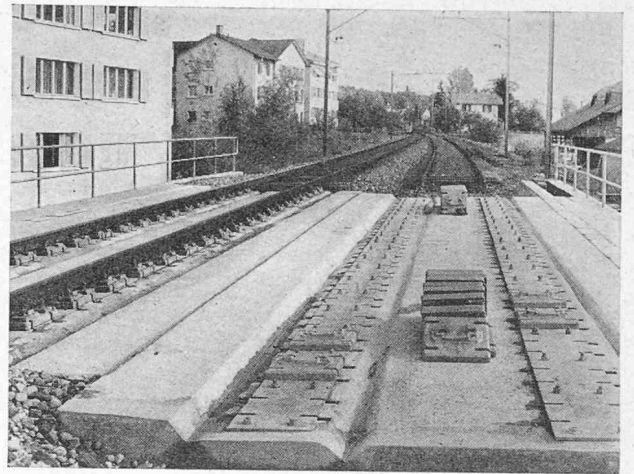


Fig. 5 b. — Fixation des rails sur le béton.

pont comme sur celui du même genre à Opfikon (voir *B. T.* n° 17, du 18 août 1956) ont prouvé que ces types de ponts précontraints se comportent vis-à-vis des efforts statiques et dynamiques exactement comme un pont classique en béton armé.

#### *Essai sur modèle réduit*

Ce modèle réduit est en plexiglas, à l'échelle 1 : 200.

Les mesures de résistance électrique au moyen de jauges fixées au modèle sont proportionnelles aux tensions pour chaque cas de charge particulière. Des rosettes comprenant deux jauges à 90° permettent de déterminer les directions principales.

Les modèles peuvent être exécutés en d'autres matériaux, comme le plâtre, l'anticorodal, le mortier de ciment. Il n'est pas indispensable d'avoir la même échelle pour les longueurs que pour les épaisseurs. La disposition et l'interprétation des mesures exigent beaucoup de finesse et un essai sur modèle demande souvent plus de temps que le calcul statique.

#### *Déviations de Moret-sur-Loing*

Les palées en V ont pour but de concentrer les fondations sur deux puits-colonnes par palée (ordre de grandeur 500 t. par puits). Chaque palée est constituée par deux systèmes identiques accolés, articulés à leur partie

inférieure, les poteaux étant reliés par des plaques de caoutchouc synthétique et des boulons. La stabilité de l'ouvrage est réalisée par la culée et des portiques renversés en U toutes les cinq travées. Le viaduc a été préfabriqué, chaque travée étant une poutre simple. Seule la travée sur le Loing est précontrainte, pour conserver la même hauteur. La durée d'exécution de l'ouvrage complet a été d'une année.

#### *Viaduc d'accès à Travers*

Cet ouvrage est intéressant, par les diverses astuces dont il fait usage pour éviter les inconvénients d'un terrain particulièrement instable. Le nombre limité d'appuis permet de relever facilement le viaduc si les tassements effectifs le rendent nécessaire ; les fondations sont constituées par des pieux de 20 m de longueur reportant les charges en profondeur. L'ensemble des palées s'appuie sur des appareils à rouleaux, afin que le terrain puisse, le cas échéant, se déplacer transversalement sous l'ouvrage, qui reste ancré d'une part au passage supérieur fondé sur la roche et d'autre part au dernier appui stable.

#### *Passage supérieur des C.F.F. sans ballast à Küssnacht*

La question de la hauteur de construction joue souvent un rôle important lorsqu'il s'agit d'un passage

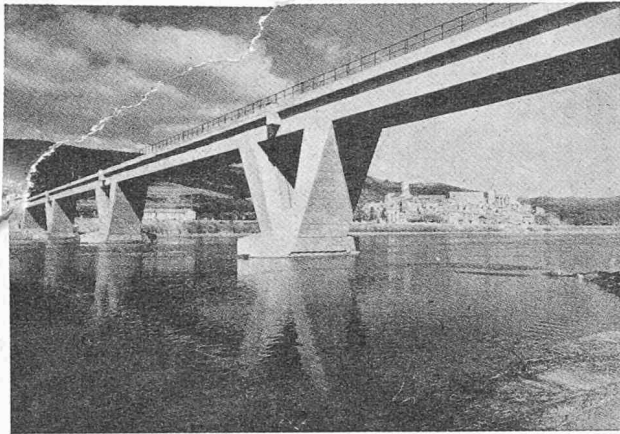


Fig. 6. — Viaduc de La Voult-sur-Rhône, au sud de Valence.

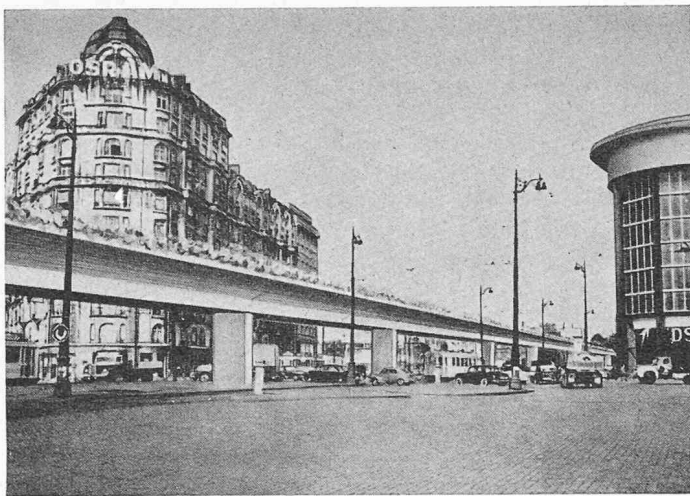


Fig. 7. — Viaduc entre les places de l'Yser et de Saintelette, à Bruxelles.

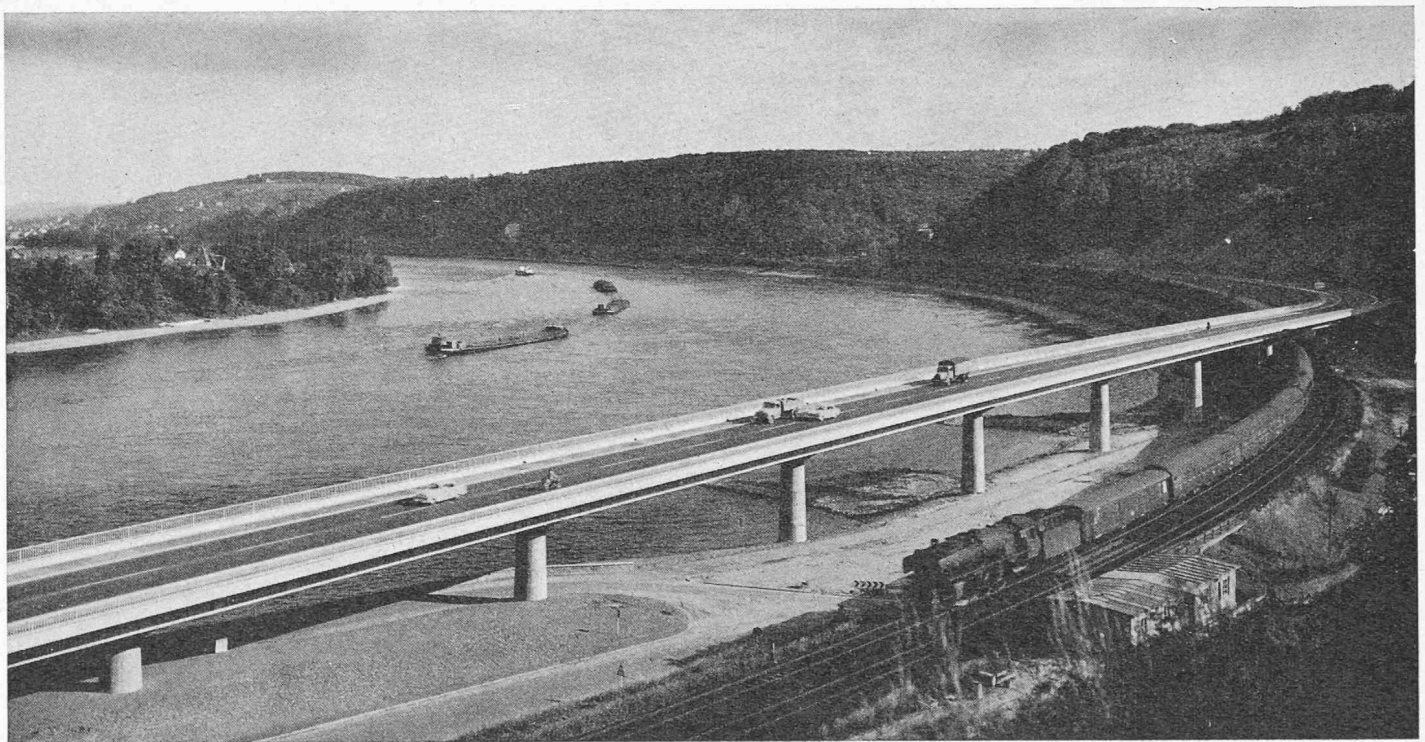


Fig. 8. — Viaduc en bordure du Rhin à Unkelstein, près de Remagen.

supérieur pour chemin de fer. L'économie de la hauteur du ballast peut permettre de relever d'autant le profil de la route sous-jacente.

Les chemins de fer étrangers, par exemple les canadiens et la S.N.C.F., exécutent depuis longtemps des ponts-rails sans ballast, avec fixation élastique des rails directement sur le tablier.

Le système S.N.C.F. est des plus simples et semble donner toute satisfaction. Le principe consiste à sceller dans le béton, sur toute la longueur du rail, une platine à laquelle seront fixés les crapauds élastiques fixant le rail par l'intermédiaire d'une semelle en caoutchouc.

Les C.F.F. ont mis à l'essai un premier système fixant les selles par des boulons traversant toute la dalle. Une disposition plus simple a été mise au point pour un pont exécuté à Küssnacht près de Zurich. Les selles fixées à la platine sont interchangeables et l'élasticité est garantie par des semelles en caoutchouc synthétique (Lonstroff S.A., Aarau) cannelées ou gaufrées.

Le tablier du pont en question a une hauteur de 75 cm du sommet du rail à l'intrados, tandis qu'une solution classique avec ballast aurait demandé au moins 115 cm, ce qui correspond donc à une économie de 40 cm sur la hauteur de la construction. Il n'y a actuellement aucune raison de ne pas exécuter les ponts-rails rectilignes suivant ces principes.

#### *Viaduc de La Voult-sur-Rhône, au sud de Valence*

Le premier grand pont-rail précontraint français, de 300 m de longueur avec cinq travées identiques. Ce pont est d'une sobriété de ligne remarquable et contient une série d'astuces particulièrement raffinées. Il a été exécuté sans échafaudages de la manière suivante :

1. Construction des béquilles symétriques rendues solitaires sur les piliers.
2. Exécution des traverses par vousoirs successifs de 2,75 m en porte-à-faux, au moyen d'un coffrage glissant supporté par un pont de service métallique entre les piles.

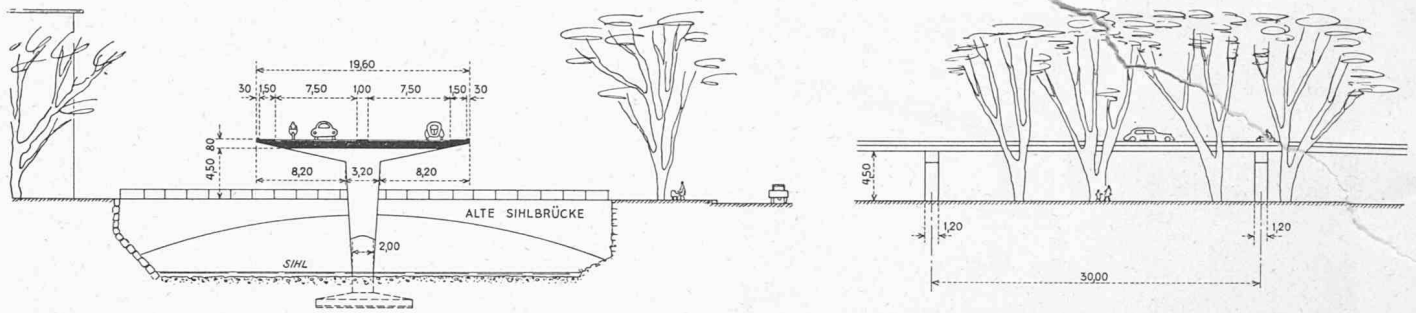


Fig. 9. — Proposition pour une route aérienne sur la Sihl, à Zurich.

3. Réglage du portique en arc à trois articulations sous les charges permanentes. Mise en précontrainte.
4. Blocage de l'articulation provisoire et mise en tension des câbles de continuité.

#### Viaduc à Bruxelles

La ville de Bruxelles est en train de moderniser ses conditions de circulation en supprimant le plus possible de croisements. Un programme de travaux de 180 millions de francs suisses sera réalisé en deux ans et terminé pour l'Exposition universelle. Dans le cadre de ce programme, la ville construit actuellement une route aérienne sous forme d'un viaduc d'une longueur de 724 m. Le tablier, réalisé en béton précontraint, repose sur une seule file de colonnes espacées de 25 m. Les poutres sont préfabriquées et les porte-à-faux bétonnés après montage. Les appuis sont constitués par des plaques de caoutchouc synthétique frettées (néoprène), qui permettent les déplacements dans toutes les directions.

#### Viaduc à Unkelstein

Cet ouvrage récent, en bordure du Rhin, présente des particularités intéressantes. Il s'agit d'un viaduc de 358 m de longueur, avec neuf travées de 32,6 m à 40,0 m sur une seule file de colonnes. La poutre est continue, précontrainte et fixée sur la colonne médiane. Les déplacements longitudinaux sont assurés sur chaque colonne par un système de quatre appuis sur rouleaux multiples qui donnent un encastrement élastique entre tablier et colonnes. Le Ministère des travaux publics déclare avoir voulu contribuer par cette construction au développement des routes aériennes, qui prendront un essor considérable ces prochaines années dans les villes allemandes.

#### Route aérienne sur la Sihl, à Zurich

Voici un avant-projet établi pour la route express prévue sur la Sihl à Zurich. Il est certain qu'en utilisant les ressources du béton précontraint et en appliquant au projet et à la construction les astuces nécessaires, il est actuellement possible de réaliser une route aérienne de proportions agréables à l'œil et qui non seulement ne troubleraient en rien le visage de nos cités mais bien au contraire y mettraient un accent nouveau montrant que ce visage est bien tourné vers l'avenir et non vers le passé.

\* \* \*

Une question actuellement controversée est celle du *refroidissement du béton* après mise en place et pendant la prise, par exemple par une circulation d'eau. Cette technique, courante dans la construction des barrages poids, ne semble pour le moment avoir d'intérêt que dans des conditions spéciales et pour des éléments de très grande dimension.

Pour terminer, quelques mots sur le *chauffage des tabliers de ponts*.

La question du chauffage du tablier a fait l'objet de quelques essais d'exécution ces derniers temps, notamment pour des ponts construits dans le canton de Saint-Gall. Pour le pont de Murg, par exemple, le chauffage est réalisé par un treillis métallique en fils minces galvanisés, placés dans le béton à 3 cm de profondeur et réunis à un transformateur réduisant la tension du courant électrique à 25 volts. La température du treillis métallique ne dépasse pas 10°. La consommation du courant par m<sup>2</sup> de tablier peut varier de 36 à 150 watts.

Les expériences ont démontré qu'un chauffage électrique du tablier ne peut agir économiquement que si le courant est mis suffisamment tôt avant la chute de neige ou la formation de verglas. Il faut que les flocons fondent en tombant sur le tablier ou que le brouillard ne puisse y former du verglas. Ce chauffage n'est par contre pas capable de faire fondre une couche de neige compacte si la température extérieure est de plusieurs degrés au-dessous de 0°.

Ce système de chauffage peut être utile, par exemple pour des ouvrages sur des pentes nord sensibles en automne au verglas. Mais cela implique qu'ils soient chauffés pendant une certaine période d'une manière continue.

D'autre part, ce chauffage n'est intéressant que pendant le temps où l'infrastructure des routes d'accès n'est pas encore gelée et où la chaleur du sol libère la chaussée de la neige et du verglas de la même façon que le tablier chauffé du pont. Si la chaussée doit être de toute façon sablée, une fois que le sous-sol est gelé, il est préférable d'avoir une solution homogène pour le tablier et la chaussée.

Les études et observations faites sur ce point ont établi que les contraintes supplémentaires dans le béton dues au chauffage dans les limites données peuvent atteindre 10 kg/cm<sup>2</sup>. Le coût de l'installation de chauffage a été estimé de 25 à 38 fr. par m<sup>2</sup> de tablier. Les frais d'exploitation pour une consommation de courant de 100 watts par m<sup>2</sup> seraient par exemple, pour le pont de Murg, d'une surface de 360 m<sup>2</sup>, de l'ordre de grandeur de 50 fr. par jour de vingt-quatre heures (90 kWh).

En conclusion, on peut certainement affirmer, d'une manière générale, qu'un pont doit exprimer par sa conception et sa réalisation l'état du progrès technique à l'époque de sa construction. Il faut donc résolument abandonner les solutions classiques de facilité et réaliser des ouvrages de conception nouvelle qui soient, en Suisse, comme les produits de notre industrie, le témoignage d'un esprit large et ouvert vers l'avenir. Ces ouvrages ont le devoir de prouver, non seulement dans notre pays, mais aussi à l'étranger, que les ingénieurs suisses sont également dans le domaine du génie civil à l'avant-garde du progrès technique.