

Coûts et matériaux dans la construction de ponts en béton

Autor(en): **Spataro, Raoul / Oribasi, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **118 (1992)**

Heft 1/2

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77731>

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.

Raoul Spataro,
ing. civ. dipl. EPFZ
Studio d'ingegneria
civile
Passera e Pedretti
Via C. Molo 21
6500 Bellinzona
André Oribasi,
ing. civ. dipl. EPFL
Institut de statique
et structures
Béton armé
et précontraint
Ecole polytechnique
fédérale
1015 Lausanne

Coûts et matériaux dans la construction de ponts en béton

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, la construction des ponts en béton a connu des développements considérables. L'invention et l'application de la précontrainte ont permis de franchir des portées beaucoup plus importantes et d'introduire de nouvelles méthodes de construction. La mécanisation et la rationalisation des procédures de travail liées à ces progrès ont entraîné une réduction considérable des besoins en main-d'œuvre et par là même des coûts des ouvrages.

L'expansion de l'économie d'après-guerre et la mobilité croissante des personnes et des marchandises ont nécessité la construction d'un grand nombre de nouvelles voies de communication nouvelles, et donc d'ouvrages d'art. Toutefois, la prépondérance accordée à des critères purement économiques a trop souvent présidé à l'édification de ponts dont l'aspect esthétique et l'intégration à l'environnement laissent beaucoup à désirer.

A l'avenir, le véritable défi consistera à appliquer les méthodes de pointe à la construction d'ouvrages aussi économiques que possible, tout en accordant une importance primordiale à leur intégration dans le site. Dans ce but, l'ingénieur doit prendre conscience des interactions qui existent entre la conception, l'esthétique, la métho-

de de construction et les coûts d'un ouvrage. En effet, seule une parfaite connaissance de ces facteurs lui permettra de proposer des solutions à la fois convaincantes et économiquement viables.

Afin de mieux cerner les principaux critères qui influencent la conception des ponts routiers en béton et de mettre en évidence les tendances actuellement suivies dans notre pays, l'IBAP (Institut de béton armé et précontraint) du professeur R. Walther à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne [1, 2]¹ a effectué une analyse comparative des coûts, ainsi qu'une étude des matériaux utilisés pour divers ouvrages routiers construits au cours des dix dernières années et d'une longueur totale de plus de 100 m. Une clé de répartition des coûts dissociant les parties de l'ouvrage et les matériaux a tout d'abord été élaborée. Les matériaux utilisés ont ensuite été examinés en relation avec le comportement statique de l'ouvrage. Enfin, le grand nombre d'ouvrages considérés autorise l'évaluation comparative des divers types de ponts et modes de construction. Le présent article présente les principaux résultats de cette étude et en résume les conclusions essentielles.

¹Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

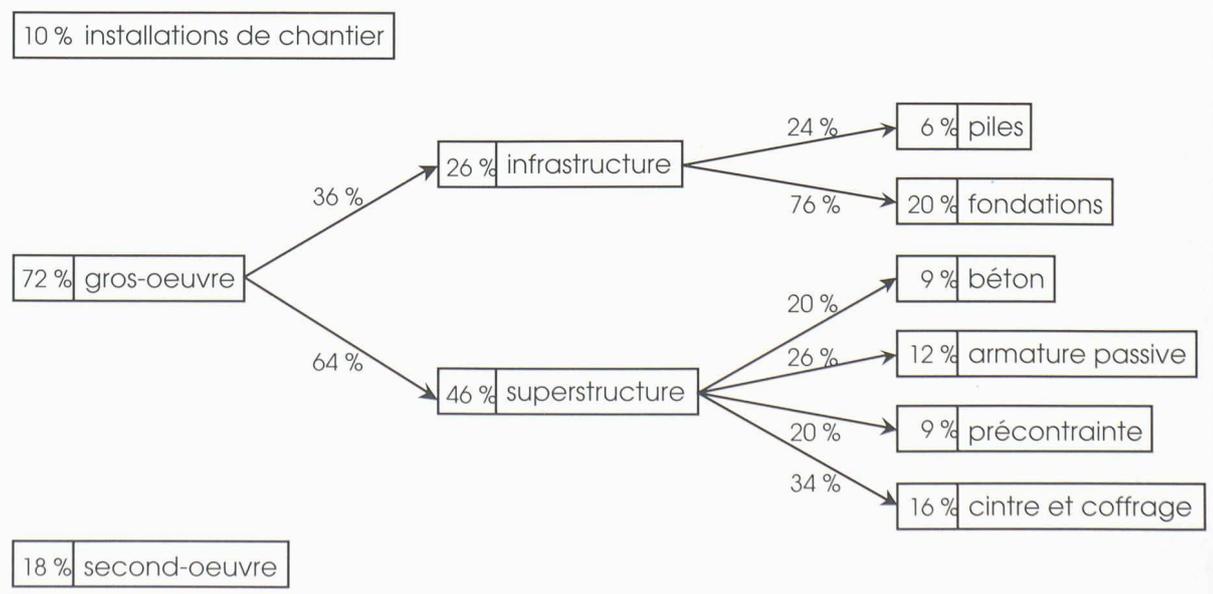
2. Analyse des coûts de construction

Une analyse économique exhaustive de ce type d'ouvrages ne saurait se limiter au prix de la construction: il importe également de prendre en compte les frais d'entretien et l'amortissement, de même que des coûts indirects (résultant, par exemple, de la fermeture temporaire d'une voie de circulation). L'évaluation de ces coûts accessoires s'avère particulièrement difficile, dans la mesure où ils sont directement liés à l'ouvrage considéré. Pour les frais d'entretien, on peut, à titre indicatif, se baser sur une dépense annuelle moyenne de l'ordre de 1 à 2% des coûts de construction [3, 4, 5]. Une telle estimation n'inclut toutefois pas les éventuelles réparations rendues nécessaires par des vices de conception.

La répartition des coûts de construction pour l'ensemble des ponts considérés est représentée à la figure 1. Pour les installations et les équipements nécessaires à assurer la bonne marche du chantier, il faut compter quelque 10% du coût total de l'ouvrage; cette moyenne peut cependant fortement varier en fonction des conditions locales.

Le second œuvre (revêtement, étanchéité, système d'évacuation des eaux, barrières, joints de dilatation et systèmes d'appui) totalise 18% du

Fig. 1. - Répartition des coûts de l'ensemble des ponts étudiés.



prix de l'ouvrage. Comparé aux chiffres obtenus par des études antérieures analogues [5, 6], ce poste indique l'importance croissante qui est attribuée aux éléments du second œuvre. Il est manifeste que les concepteurs se tournent vers des matériaux de meilleure qualité afin de limiter au minimum les frais d'entretien et de réparation ultérieures.

L'infrastructure représente en moyenne 26% du prix total d'un ouvrage. La faible part du coût total (6%) associée aux piles laisse à l'ingénieur une certaine liberté de manœuvre: si, en effet, la variation de la section de pile en fonction des contraintes n'entraîne que des dépenses supplémentaires minimales, elle est en revanche susceptible d'améliorer grandement l'aspect esthétique d'un pont. Le coût des fondations revêt, lui, une importance considérable puisqu'il se monte à près de 20% du coût total, les devis étant souvent sous-évalués sur ce point. Aussi, lors de l'élaboration du projet, une attention particulière est-elle de mise au niveau des fondations, si l'on veut éviter de gros dépassements de coûts.

Enfin, la superstructure de l'ouvrage absorbe en moyenne quelque 46% du coût total d'un pont, répartis comme suit: un tiers pour le coffrage et le cintre, un quart pour l'armature passive, les 40% restants étant également partagés par le béton et la précontrainte. Une fois la phase de conception achevée, toute économie réalisée sur les matériaux s'avère peu judicieuse car elle peut entraîner une réduction de la durabilité de l'ouvrage et, par conséquent, conduire à une augmentation des frais d'entretien. Seule une conception saine de l'ensemble de l'ouvrage, alliée au choix du mode de construction le plus approprié, permet, en effet, de déboucher sur des solutions à la fois économiques, sûres, durables et élégantes. Si les particularités de certains ouvrages commandent la prudence en matière de comparaison des coûts pour divers types de ponts, on peut néanmoins affirmer ce qui suit:

- la construction sur cintre fixe reste la plus répandue. Pour de faibles portées types, les coûts de la su-

perstructure sont modérés alors que ceux de l'infrastructure vont en augmentant;

- l'emploi d'un cintre mobile n'entraîne pas forcément une augmentation des coûts, pour autant que la conception de l'ouvrage soit adaptée à cette méthode de construction. Il faut toutefois prévoir une majoration des coûts de la précontrainte, lorsque de mauvaises conditions topographiques et géologiques exigent de plus grandes portées, ou lorsque la construction se fait par encorbellement;
- la construction par poussage cadencé permet avant tout une économie des coûts associés aux installations de chantier et au béton. Tout le processus de montage et de construction étant centralisé, le travail s'en trouve rationalisé. Dans ce cas, c'est le poussage, et notamment les besoins accrus en matière de précontrainte, qui augmentent le prix de la construction, différents cas de charge déterminants apparaissant au fur et à mesure des phases d'avancement;
- les ponts construits par encorbellement et munis d'un tablier à inertie variable, constituent une manière élégante et économique pour franchir de grandes portées. Le caractère répétitif des étapes d'exécution permet également un usage rationalisé des matériaux. La précontrainte nécessaire aux diverses phases des travaux est naturellement plus coûteuse, tout comme les piles qui sont généralement très hautes dans ce type de construction;
- la préfabrication de poutres et le coulage en place de la dalle de roulement s'avèrent de loin les

méthodes de construction les plus économiques. En Suisse toutefois, son utilisation est peu répandue par crainte d'une moindre durabilité de l'ouvrage;

- les ponts en arcs, quant à eux, ne sont actuellement concurrentiels que dans des conditions topographiques et géologiques particulières. Malgré le développement de nouvelles méthodes de construction, le renchérissement de la main-d'œuvre a fortement augmenté le prix de tels ouvrages. Ainsi, pour un arc construit par encorbellement à l'aide d'un haubannage provisoire, un tiers du coût total du pont est absorbé par les éléments temporaires, tels que haubans, ancrages provisoires, chariots de coffrage et étayage du tablier.

La figure 2 présente le prix moyen par unité de surface du tablier pour les différents types de construction mentionnés. Actualisées sur la base d'un taux de renchérissement annuel des coûts de la construction estimé à 4%, ces valeurs permettent une première évaluation de l'investissement nécessaire à la construction d'un ouvrage.

3. Analyse comparative des besoins en matériaux

L'analyse comparative a été limitée aux matériaux utilisés pour la superstructure des ponts considérés, les caractéristiques de l'infrastructure étant trop étroitement liées aux particularités topographiques et géologiques propres à chaque site. Quant aux différences que présentent les superstructures des ponts étudiés (courbure, appuis en biais), elles n'influencent que faiblement les résultats et se limitent à des aspects spécifiques.

Fig. 2. - Prix unitaires de différents types de ponts.

ponts construits sur cintre fixe	2180.- Fr/m ²
ponts construits sur cintre mobile	1600.- Fr/m ²
ponts construits par poussage cadencé	1310.- Fr/m ²
ponts préfabriqués	980.- Fr/m ²
ponts construits par encorbellement	2670.- Fr/m ²
ponts arc	3060.- Fr/m ²

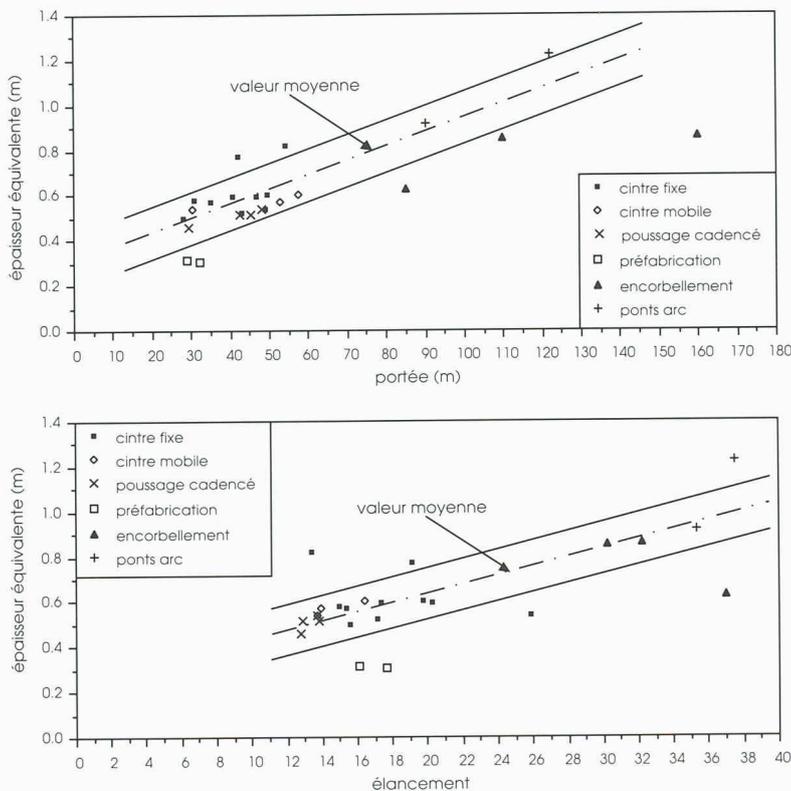


Fig. 3. – Section équivalente – portée, élancement.

La figure 3 présente l'épaisseur équivalente du tablier (section moyenne/largeur) des différents ouvrages en fonction de la portée moyenne et de l'élancement. Mis à part quelques résultats dispersés, les tendances indiquées par les graphiques sont claires: une augmentation de la portée et de l'élancement entraîne un accroissement de la zone comprimée et donc de la quantité de béton. La dispersion des résultats obtenus pour une même portée et un même élancement s'explique par l'influence conjuguée de facteurs tels que les caractéristiques géométriques de l'ouvrage, sa conception et la méthode de construction.

La comparaison des différents modes de construction permet de mettre en évidence les particularités de chaque type d'ouvrage:

- les ponts réalisés au moyen de poutres préfabriquées présentent une substantielle économie de béton; la précontrainte et une vibration optimale du béton en usine permettant de réduire la section des divers éléments;

- les ponts construits par poussage cadencé se caractérisent par des élancements quelque peu inférieurs, d'où une section légèrement au-dessus de la moyenne;
- les ponts en arcs ne se distinguent pas d'autres ouvrages de grande portée; il faut toutefois préciser que, pour ce type de pont, les sections moyennes du tablier et de l'arc ont été additionnées;
- enfin, les valeurs relatives aux ponts construits par encorbellement les placent généralement au-dessous de la moyenne, en raison d'une meilleure utilisation des matériaux due à une variation adaptée de la hauteur du tablier.

En ce qui concerne les matériaux d'armature, seules les données relatives à l'armature longitudinale ont été retenues. En effet, l'armature transversale étant essentiellement déterminée par la forme de la section, la prise en compte de la totalité de l'acier utilisé fausserait les résultats.

L'étude de l'armature passive montre qu'il n'existe aucune relation entre les pourcentages obtenus et la portée

d'un pont ou l'élancement de son tablier:

- l'armature minimale imposée par la norme SIA 162 (1989) représentée en moyenne quelque 60 à 65% de l'armature passive mise en place. Cette armature vise à satisfaire à des exigences d'aptitude au service et ne dépend ni de la portée moyenne du pont, ni de l'élancement du tablier;
- la sécurité structurale est en grande partie assurée par la précontrainte. Ainsi, le degré de précontrainte détermine-t-il directement la part d'armature passive nécessaire à la reprise des moments de flexion;
- la comparaison des différents ouvrages a par ailleurs révélé d'importantes différences de conception en ce qui concerne notamment la répartition de l'armature passive et compte tenu de l'armature minimale.

L'analyse de la précontrainte livre, en revanche, un résultat plus intéressant: la précontrainte équivalente (précontrainte totale corrigée par le facteur f_{pr}/f_{sy}) est en rapport plus équilibré tant avec la portée moyenne qu'avec l'élancement du tablier (fig. 4). Une plus grande dispersion des valeurs caractérise le diagramme illustrant l'influence de la portée, car la hauteur statique de la section, qui détermine le bras de levier des forces intérieures, n'est pas prise en compte. En effet, le calcul basé sur l'élancement, soit sur le rapport entre la portée et la hauteur statique de la section, livre des données plus exactes se prêtant mieux à l'interprétation. Les variations qui subsistent sont dues à divers facteurs:

- le degré de précontrainte dépend avant tout des critères de conception choisis par l'ingénieur pour répondre aux exigences du maître de l'ouvrage. Dans les ouvrages considérés, le degré de balancement des charges permanentes, admis pour dimensionner la précontrainte, peut varier de 0,5 à 1,0;
- une précontrainte moindre entraîne évidemment une augmentation de l'armature passive;
- le taux d'armature dépend directe-

ment de la section du béton, aussi, une section généreusement dimensionnée est-elle liée à un faible degré de précontrainte.

Certaines particularités propres aux divers modes de construction influencent également le taux équivalent d'armature de précontrainte:

- le degré de précontrainte est proche de la valeur moyenne pour les ponts construits sur cintre mobile;
- le poussage cadencé exige un fort pourcentage de précontrainte;
- les ouvrages réalisés par encorbellement se caractérisent par des sections relativement élancées, à inertie variable. Il convient de préciser ici que l'élancement a été déterminé pour une section moyenne, bien que la majeure partie des moments de flexion soit reprise au droit des piles, où l'élancement peut, selon les cas, atteindre la valeur $\lambda = 17$;
- quant aux ponts composés de poutres préfabriquées, malgré le gain réalisé sur la précontrainte, leur taux d'armature ne les distingue guère d'autres types d'ouvrages, puisque dans ce cas les quantités de béton se trouvent également diminuées.

4. Conclusions

Une analyse de la répartition des coûts permet de mettre en évidence quelques données propres à la conception des ponts actuels en béton. Dès lors, la qualité des finitions et les problèmes de durabilité se voient accorder une importance accrue. De plus, la part des coûts absorbée par les fondations en font des éléments à analyser et à budgétiser avec soin.

Quant aux quantités de matériaux utilisées dans la superstructure, elles dépendent étroitement de la concep-

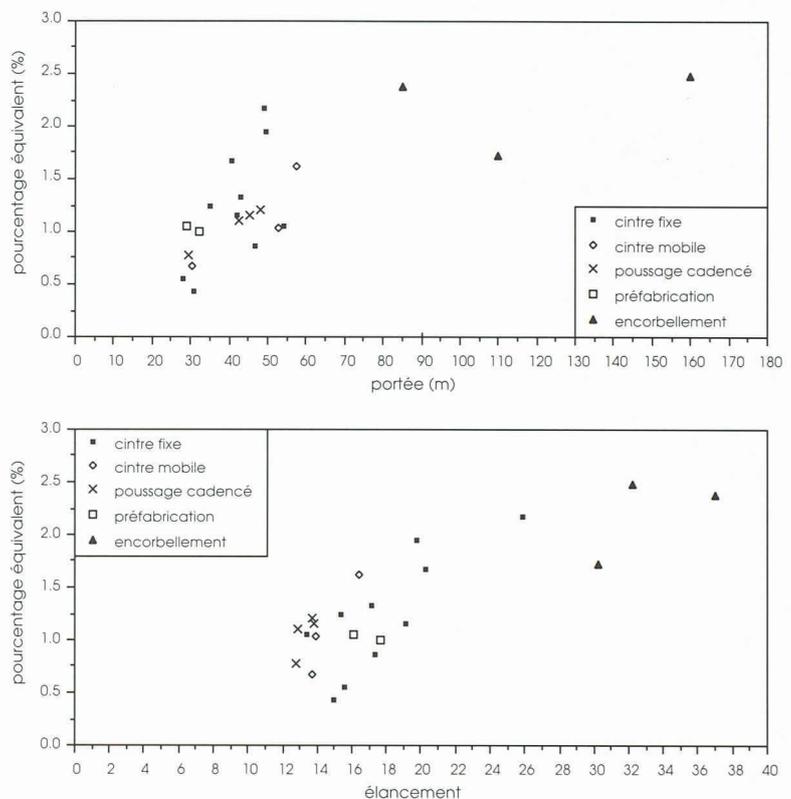


Fig. 4. – Taux équivalent d'armature de précontrainte – portée, élancement.

tion de l'ouvrage, du mode de construction choisi et des caractéristiques du site. Enfin, la liberté dont jouit l'ingénieur qui conçoit un projet se traduit souvent par des différences notables au niveau de l'exploitation et de la répartition des matériaux employés, mais elle permet également l'application des connaissances les plus récentes en matière de construction de ponts en béton.

Il est souhaitable qu'un public de plus en plus attaché à la qualité esthétique de son environnement encourage un nombre croissant d'ingénieurs et de maîtres d'ouvrage à réaliser des ponts dont les aspects, tant visuels que techniques, deviennent des témoignages de notre civilisation, même s'il faut y mettre un certain prix.

Bibliographie

- [1] SPATARO R., ORIBASI A.: «Ponts en béton. Coûts de construction et quantités de matériaux: étude comparative», Rapport de recherche EPFL-IBAP N° 91.02.01, Lausanne, 1991.
- [2] WALTHER R.: «Ponts en béton», Traité de Génie Civil, 9^e tome, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne (en cours de préparation).
- [3] ANDREY D., SUTER R.: «Maintenance et réparation des ouvrages d'art», IBAP, Lausanne, 1986.
- [4] KOENIG G., MAURER R., ZEICHNER T.: «Spannbeton: Bewehrung im Brückenbau. Analyse von Bauwerksdaten, Schäden und Unterhaltungskosten», Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1986.
- [5] MENN Ch.: «Stahlbetonbrücken», Springer-Verlag, Wien-New York, 1986.
- [6] MENN Ch.: «Kosten- und Massenvergleich für einige neue Autobahnbrücken in der Schweiz», aus vorgespannter Beton der Schweiz, Schweizerische Zementindustrie, Wildegg, 1982.